

اثر هندسه اندازه‌گیری بر رنگ‌سنجی نمونه‌های سفید براق

مهدی صفی^{۱*}، نجمه خلیلی^۲

۱- استادیار، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴.

۲- کارشناس پژوهشی، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۱ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۹/۶/۳۰

چکیده

هندسه اندازه‌گیری بر نتایج ارزیابی دستگاهی رنگ و ظاهر اشیاء تاثیر گذار است. در تحقیق حاضر، نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های هشت نمونه سفید براق با درجات مختلفی از براقیت و شش نمونه رنگی براق مانسل با دو هندسه اندازه‌گیری متفاوت $45^\circ a:0^\circ$ و $di:8^\circ$ بررسی و مقایسه شدند. مقادیر مختصات رنگی به همراه اندیس سفیدی و ته رنگ CIE و مقدار براقیت ارزیابی شدند. نتایج نشان داد با تغییر هندسه اندازه‌گیری دستگاهی از $45^\circ a:0^\circ$ به $di:8^\circ$ برای نمونه‌های رنگی براق مانسل، متوسط اختلاف رنگ به حدود ۱۰ واحد اختلاف رنگ ΔE^*_{ab} در فضا رنگ CIELAB می‌رسد که این مقدار می‌تواند به حدود ۱۵ واحد نیز برسد. برای نمونه‌های سفید براق برخلاف اینکه برق سطحی در نتایج $45^\circ a:0^\circ$ از اطلاعات بازتابشی کسر شد، مولفه روشنایی، فام و خلوص تغییرات قابل توجهی نشان ندادند. بنابراین با تغییر هندسه اندازه‌گیری، متوسط اختلاف رنگ برای نمونه‌های سفید براق حدود ۰.۸۸ واحد اختلاف رنگ ΔE^*_{ab} محاسبه گردید که نشان داد نتایج اندازه‌گیری شده تا حدی می‌تواند مستقل از هندسه اندازه‌گیری باشد.

واژه‌های کلیدی: سفید، براقیت، هندسه اندازه‌گیری، اندیس سفیدی CIE.

Effect of Measurement Geometry on the Colorimetry of Glossy White Samples

M. Safi*, N. Khalili

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

Received: 02-02-2020

Accepted: 22-07-2020

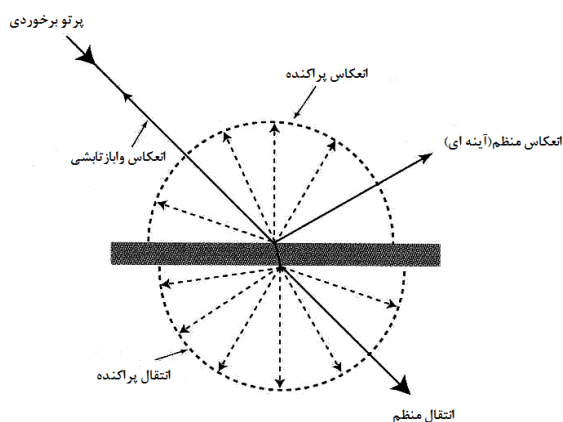
Available online: 20-09-2020

Abstract

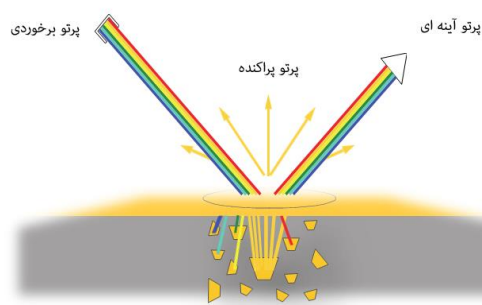
The measurement geometry affects the results of the instrumental assessment of the color and appearance of objects. In the present study, the results of property measurement of different eight-glossy white samples and six-glossy color Munsell were considered with two variant forms of the geometries, i.e., $45^\circ a:0^\circ$ and $di:8^\circ$. The color coordinates with the CIE whiteness index and tint were evaluated. These results shown for the glossy color Munsell samples; there is an average of 10 units of ΔE^*_{ab} in CIELAB color space between $di:8^\circ$ and $45^\circ a:0^\circ$ geometry, which can sometimes reach to about 15 units. For the glossy white samples, although the specular component was removed at $45^\circ a:0^\circ$ measuring results from the reflectance data, the lightness, hue, and chroma attributes did not show noticeable change. Therefore, an average of 0.88 units of ΔE^*_{ab} between two measurement geometry on glossy white samples proved the results of measuring could be, to some extent, device-geometry independent. J. Color Sci. Tech. 14(2020), 237-246©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: White, Gloss, Measurement geometry, CIE whiteness index.

اشیا تیره یا با کرومای زیاد بطور مشخص توسط براقیت تحت تأثیر قرار می‌گیرند [۷]. مشاهده هم‌زمان برق و رنگ باعث می‌شود سهم نور سفید مشاهده شده بیشتر شود در نتیجه عمق رنگی کمتری از شی درک شود.



شکل ۱: برهمکنش نور با یک شی [۱].



شکل ۲: نمایی از پرتو انتشار یافته از درون و بازتابش یافته از سطح [۵].

۱- مقدمه

وقتی یک دسته پرتو نور به یک شی برخورد می‌کند، متناسب با ماهیت آن، با تغییرات کمی و کیفی مطابق شکل ۱ مواجه می‌گردد. این تغییرات عبارتند از: انعکاس (بازتابش) منظم^۱، انعکاس پراکنده^۲، انعکاس در جهت برخورد (وابازتابش)^۳، جذب^۴، انتقال (عبور) منظم^۵، انتقال پراکنده^۶ [۱].

برای مثال، پدیده انعکاس منظم در سطح یک فلز یا یک آینه، انعکاس پراکنده در سطوح مات، حالت واپازتابش در نمونه رنگ‌های مورد استفاده در علائم ترافیکی، فرآیند جذب برای نمونه‌های رنگی، پدیده انتقال منظم برای شیشه و انتقال پراکنده برای شیشه‌های مات قابل مشاهده است. انعکاس و انتقال به ترتیب بیانگر ظرفیت یک شی یا یک محمل برای بازتابش و انتقال یک پرتو برخوردی می‌باشند. ظاهر رنگی اشیا که مجموعه‌ای از ویژگی‌های مرتبط با رنگ و براقیت است، با استفاده از اطلاعات طیف انعکاسی و یا انتقالی قابل تشخیص و تعریف است [۲-۴].

وقتی نور برخوردی از سطح یک شی بازتابش می‌کند به دو صورت انتشار درونی و بازتابش سطحی نمود پیدا می‌کند [۵]. شکل ۲ نشان می‌دهد پرتو بازتابش یافته از سطح شی هم ماهیت پرتو برخوردی بوده و مسئول ویژگی‌های هندسی از جمله براقیت و بافتار است. براقیت یک پدیده سطحی بوده و کیفیت و کمیت آن به عواملی مانند ضریب شکست، کیفیت سطح، زاویه برخورد و زاویه مشاهده نور بازتابشی بستگی دارد. برای مثال، سطوح مات از براقیت کمتری نسبت به سطوح فلزی و صیقل یافته برخوردار هستند. این در حالی است که وجود پستی و بلندی‌های موجود در سطح را که باعث پراکندگی نور برخوردی با آن می‌شوند را عامل کاهش براقیت در سطوح مات تشخیص داده‌اند [۳-۶] (شکل ۳).

مطلب مهم در اندازه‌گیری رنگ این سطوح، توجه به حضور و یا عدم حضور عامل براقیت می‌باشد. در صورتی که در بیشتر سطوح مات، مقدار رنگ اندازه‌گیری شده تابع زاویه اندازه‌گیری نیست. اما با افزایش براقیت سطح، مقادیر مختصات رنگی با تغییر زاویه تابش و مشاهده تغییر می‌کند. در شرایطی که همه چیز برابر باشد، اشیا مات با شدت رنگ کمتری دیده می‌شوند و دارای کرومای کمتر و روشنایی بالاتری نسبت به نمونه براق مشابه هستند.



شکل ۳: تأثیر کیفیت سطح بر میزان توزیع نور بازتابش یافته از سطح برای نمونه‌های مات، نیمه‌براق و براق [۵].

¹ Regular or specular reflection

² Diffuse reflection

³ Retroreflection

⁴ Absorption

⁵ Regular transmission

⁶ Diffuse transmission

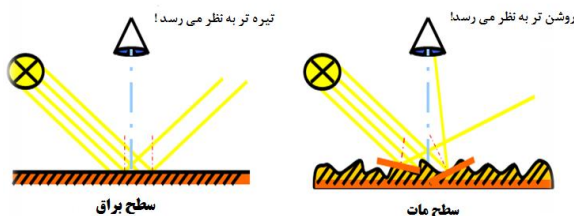
تحقیق این بوده است که آیا نتایج ارزیابی نمونه‌های سفید براق مشابه نمونه‌های رنگی با داشتن برق سطحی مشخص، به هندسه اندازه‌گیری دستگاهی وابسته است یا خیر.

برخی از محصولات تولیدی چه نمونه‌های رنگی و غیررنگی (خنثی)، براق هستند. بنابراین به عنوان بخشی از کار کنترل کیفیت، ظاهر رنگی آن محصول با کمک تجهیزات اندازه‌گیری رنگ کنترل می‌شود. از طرفی گاهی برای کنترل عملکرد آزمایشگاهی ممکن است یک نمونه مرجع برای آزمون به آزمایشگاه ارسال شود. لذا پیشنهاد شده است کلیه عوامل تاثیرگذار بر اندازه‌گیری رنگ شبیه‌سازی شده و کنترل شوند. در این تحقیق برای اولین بار ظاهر رنگی مجموعه‌ای از نمونه آکروماتیک سفید براق با تغییر در هندسه اندازه‌گیری بررسی شده و با هم مقایسه شده‌اند. سوال اصلی این تحقیق این بوده است که آیا نتایج ارزیابی نمونه‌های سفید براق مشابه نمونه‌های رنگی با داشتن برق سطحی مشخص، به هندسه اندازه‌گیری دستگاهی وابسته است یا خیر.

۲- بخش تجربی

در تحقیق حاضر از یک مجموعه نمونه سفید براق شامل پنل‌های خودروبی روغنی (معرفی شده با کدهای P1-P8) [۱۷] به همراه یکسری شش‌تایی از نمونه‌های رنگی و سفید براق مانسل با کدهای 2.5R و N/9, 2.5YR 6/14, 5Y 8.5/12, 2.5PB 4/10, 2.5P 4/10 cm استفاده شد. پنل‌های خودروبی مورد استفاده با ابعاد 4/12 × ۱۰ × ۲۰ با مقدار تقریباً برابر در اندیس سفیدی CIE و ته رنگ CIE آماده‌سازی شده بودند. علت انتخاب نمونه‌های رنگی براق مانسل نیز برای بررسی بیشتر موضوع تحقیق حاضر بوده است.

مقادیر براقیت آینه‌ای نمونه‌ها با کمک دستگاه دستگاه گونیوفتومتر مدل Novo-Gloss I.Q. ساخت شرکت Rhopoint Instruments و با هندسه 20° و 60° اندازه‌گیری شدند. براقیت نمونه‌ها طبق روش استاندارد [۱۸] و مطابق جدول ۲ اندازه‌گیری گردید.



شکل ۴: تاثیر کیفیت سطح شی بر رنگ درک شده از آن [۹].

1- Texture

این موضوع در شکل ۴ نشان داده شده است. مثلاً یک نمونه با براقیت زیاد در مقایسه با یک نمونه مات با مقدار ماده رنگی برابر و یکسان، تیره تر و با اشباع بیشتری قضاوت می‌شود [۸، ۵].

ارزیابی و کنترل رنگ و ظاهر اشیا به دو طریق چشمی و دستگاهی قابل انجام است. روش‌های چشمی با کمک مشاهده کننده انسانی اگرچه اهمیت زیادی دارند، اما نتایج آن کیفی بوده و تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند سن، جنسیت و عیوب بینایی رنگی مشاهده‌گر همچنین محیط پیرامون، اندازه نمونه، سطح روشنایی، بافتار سطحی، اثر زمینه و غیره قرار دارد. در روش‌های دستگاهی نتایج به صورت کمی گزارش می‌شوند و نتایج به مراتب از دقت تکرارپذیری بیشتری برخوردار هستند. نتایج روش‌های دستگاهی هم به نوبه خود به عواملی از جمله هندسه اندازه‌گیری، سطح روزنه اندازه‌گیری، حذف و یا حفظ جز آینه‌ای در نمونه‌های براق و غیره بستگی دارد [۱۰]. گرجی نشان داد در نمونه‌های رنگی حاوی مقداری بافتار سطحی^۱، بیشترین اختلاف با تغییر در هندسه اندازه‌گیری در مولفه روشنایی دیده می‌شود [۱۱].

منظور از هندسه اندازه‌گیری، نحوه زاویه برخورد نور با نمونه و زاویه اندازه‌گیری مقادیر نور بازتابش یافته است. با هدف تقلید شرایط مشاهده کننده انسانی، دو هندسه اندازه‌گیری متداول $d:8^\circ$ و $45^\circ a:0^\circ$ (هندسه پراکنده با جز آینه‌ای حفظ شده، $d_i:8^\circ$ و هندسه پراکنده با جز آینه‌ای حذف شده، $d_e:8^\circ$) در تجهیزات رنگ‌سنجی مشخص شده است [۱۳، ۱۲]. مقدار عددی سمت چپ به زاویه برخورد نور به شی و مقدار عددی سمت راست به زاویه اندازه‌گیری نور اشاره دارد. شکل ۵ نمایی از این دو هندسه اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. نتایج این دو روش در اندازه‌گیری ظاهر رنگی اشیا بخصوص نمونه‌های براق کاملاً متفاوت گزارش شده است. در جدول ۱ هندسه‌های اندازه‌گیری پیشنهاد شده برای اشیا مختلف (پوشش‌هایی با اثرات ویژه) گزارش شده است [۱۴]. در اندازه‌گیری ظاهر رنگی یک نمونه کاملاً براق با استفاده از هندسه اندازه‌گیری $45^\circ a:0^\circ$ فقط بازتابش پراکنده اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۳). معمولاً نتایج اندازه‌گیری با دستگاه‌های با هندسه اندازه‌گیری $45^\circ a:0^\circ$ ، با نتایج ارزیابی‌های چشمی انطباق بیشتری دارند [۱۵، ۱۶].

برخی از محصولات تولیدی چه نمونه‌های رنگی و غیررنگی (خنثی)، براق هستند. بنابراین به عنوان بخشی از کار کنترل کیفیت، ظاهر رنگی آن محصول با کمک تجهیزات اندازه‌گیری رنگ کنترل می‌شود. از طرفی گاهی برای کنترل عملکرد آزمایشگاهی ممکن است یک نمونه مرجع برای آزمون به آزمایشگاه ارسال شود. لذا پیشنهاد شده است کلیه عوامل تاثیرگذار بر اندازه‌گیری رنگ شبیه‌سازی شده و کنترل شوند. در این تحقیق برای اولین بار ظاهر رنگی مجموعه‌ای از نمونه آکروماتیک سفید براق با تغییر در هندسه اندازه‌گیری بررسی شده و با هم مقایسه شده‌اند. سوال اصلی این

جدول ۱: هندسه‌های اندازه‌گیری پیشنهادشده برای اشیا (پوشش‌های) مختلف [۱۴].

چند زاویه‌ای (Multi-angle)	هندسه اندازه‌گیری				نمونه (نوع پوشش)
	d:8° با حذف جز آینه‌ای (SCE ^۱)	d:8° با حفظ جز آینه‌ای (SCI ^۱)	45°a:0° مدور (Annular)	45°a:0° مدور (Circumference)	
-	*	*	*	*	رنگ‌های یکنواخت ^۳ (پوشش‌های بدون اثرات ویژه)
*	-	*	-	-	متالیک
*	-	-	-	-	رنگدانه‌های صدفی ^۴
*	-	-	-	-	پراکنده کننده‌های پشت‌پوش ^۵
*	-	*	-	-	پرک‌های آلومینیمی رنگی ^۶
*	-	-	-	-	پرک‌های شیشه‌ای ^۷
*	-	*	-	-	تغییردهنده‌های رنگی پشت‌پوش ^۸

جدول ۲: بررسی براقیت آینه‌ای یک سطح مطابق استاندارد ASTM D523.

انتخاب صحیح زاویه اندازه‌گیری	مقدار براقیت در ۶۰°	محدوده براقیت
۶۰°	۷۰ تا ۱۰	براقیت متوسط
۲۰°	۷۰ <	براقیت زیاد
۸۵°	۱۰ >	براقیت کم



شکل ۵: نمایی از هندسه اندازه‌گیری الف) (45°a:0° و ب) (d:8°) [۸].

- 1- Specular component included
- 2- Specular component excluded
- 3- Solid colors
- 4- Pearlescent
- 5- Opaque diffractive
- 6- Colored aluminum
- 7- Glass flakes
- 8- Opaque color shifting

مختصات رنگی نمونه در فضا رنگ CIEXYZ است. مقادیر x_n و y_n هم مقدار مختصات رنگی پراکنده کننده ایده‌آل یا منبع نوری می‌باشد. مقادیر اختلاف رنگ بین نمونه‌ها نیز با کمک رابطه اختلاف رنگ ΔE^*_{ab} در فضا رنگ CIELAB (رابطه ۳) تعیین شد.

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (3)$$

۳- نتایج و بحث

برای بررسی رفتار براقیت نمونه‌های انتخاب شده مقادیر براقیت همه آنها در زاویه ۶۰ درجه تعیین و در جدول ۳ گزارش شد. با مقایسه نتایج و انطباق آنها با جدول ۲ مشاهده می‌شود کلیه نمونه‌ها متعلق به دسته نمونه‌های با براقیت بالا هستند. همچنین برای این دسته مقادیر براقیت در زاویه ۲۰ درجه نیز به عنوان مقدار صحیح در جدول ۳ گزارش شد.

برای بررسی اثر هندسه اندازه‌گیری بر نتایج رنگ‌سنجی، ابتدا نتایج نمونه‌های رنگی براق مانسل ارزیابی شد. در جدول ۴ نتایج اندازه‌گیری مختصات رنگی این نمونه‌ها با دو هندسه اندازه‌گیری $45^\circ a:0^\circ$ و $di:8^\circ$ گزارش شده است.

مطابق با توصیه جدول ۲، در صورتی که مقدار براقیت در زاویه ۶۰ بیشتر از ۷۰ GU باشد، شی مورد بررسی از براقیت بالایی برخوردار بوده لذا مقدار صحیح براقیت آینه‌ای آن در زاویه ۲۰ می‌بایست اندازه‌گیری و گزارش شود [۱۹، ۱۸].

مقادیر انعکاس طیفی با کمک دو دستگاه طیف‌سنج انعکاسی مختلف MiniScan EZ ساخت شرکت HunterLab با هندسه $45^\circ a:0^\circ$ و Color Eye 7000A ساخت شرکت GretagMacbeth با هندسه $d:8^\circ$ ($di:8^\circ$ و $de:8^\circ$) در محدوده طیفی ۳۶۰-۷۵۰ نانومتر با فواصل ۱۰ نانومتری از سطح نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. کلیه اندازه‌گیری‌ها در حالت UVD65 Included انجام شد. کمیت‌های رنگی در فضا رنگ CIELAB و CIELCH تحت منبع نوری استاندارد D65 و مشاهده کننده ۱۹۶۴ (1°) محاسبه شدند [۱۹]. همچنین مقدار شاخص سفیدی و ته رنگ برای نمونه‌ها نیز تحت منبع نوری D65 و مشاهده کننده ۱۰ درجه طبق استاندارد ASTM E313 از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شد [۲۰].

$$WI = Y + 800(x_n - x) + 1700(y_n - y) \quad (1)$$

$$T = 900(x_n - x) - 650(y_n - y) \quad (2)$$

در روابط فوق مقادیر x, Y و y به ترتیب مقدار روشنایی و

جدول ۳: بررسی رفتار براقیت آینه‌ای نمونه‌ها.

N/9	2.5R 4/12	2.5YR 6/14	5Y 8.5/12	2.5P 4/10	2.5PB 4/10	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	نمونه
۷۹,۰۰	۸۱,۷۰	۸۱,۳۰	۷۳,۱۰	۷۴,۵۰	۷۹,۹۰	۹۶,۴۰	۸۴,۵۰	۷۳,۶۰	۹۳,۲۳	۹۱,۸۰	۹۴,۴۳	۸۷,۵۳	۸۶,۲۰	مقدار براقیت در ۶۰°
۲۵,۲۰	۵۰,۰۰	۵۳,۲۰	۳۴,۱۰	۳۸,۳۰	۴۸,۹۰	۹۱,۳۰	۵۶,۵۰	۴۰,۰۰	۹۴,۸۳	۸۶,۲۰	۹۰,۹۳	۶۹,۸۰	۷۲,۱۳	مقدار براقیت در ۲۰°

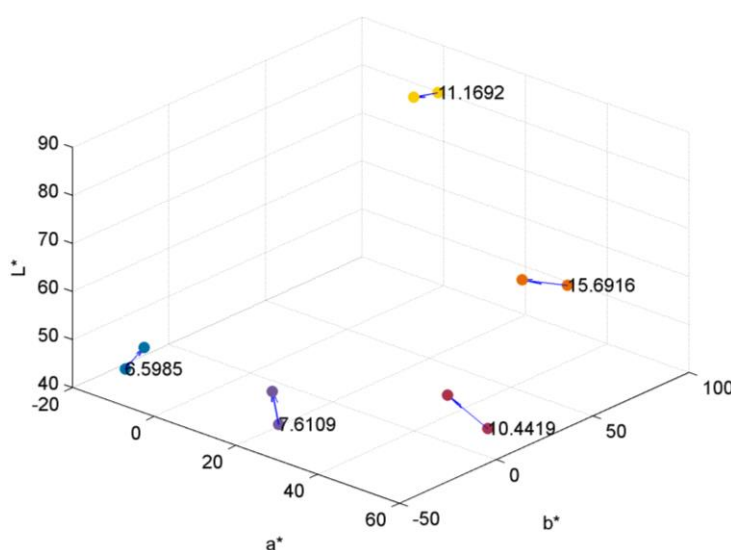
جدول ۴: مختصات رنگی نمونه‌های براق مانسل تعیین شده با دو هندسه اندازه‌گیری دستگاهی $45^\circ a:0^\circ$ و $di:8^\circ$

2.5R 4/12		2.5YR 6/14		5Y 8.5/12		2.5P 4/10		2.5PB 4/10		نمونه
$di:8^\circ$	$45a^\circ:0^\circ$	$di:8^\circ$	$45a^\circ:0^\circ$	$di:8^\circ$	$45a^\circ:0^\circ$	$di:8^\circ$	$45a^\circ:0^\circ$	$di:8^\circ$	$45a^\circ:0^\circ$	مختصات رنگی نمونه‌ها
۴۶,۴۴	۴۱,۰۸	۶۲,۵۳	۵۹,۸۸	۸۵,۵۰	۸۴,۵۹	۴۷,۳۴	۴۲,۳۱	۴۸,۲۵	۴۳,۷۵	L*
۴۳,۱۵	۵۱,۰۵	۴۱,۸۲	۴۵,۸۲	۴,۸۹	۵,۵۹	۱۹,۲۳	۲۲,۸۶	-۱۰,۳۵	-۱۳,۰۵	a*
۱۰,۵۹	۱۴,۸۲	۵۲,۰۷	۶۷,۰۱	۷۴,۰۳	۸۵,۱۴	-۲۹,۴۸	-۳۳,۸۹	-۳۳,۴۴	-۳۷,۴۴	b*
۴۴,۴۳	۵۳,۱۶	۶۶,۷۸	۸۱,۱۸	۷۴,۲۰	۸۵,۳۲	۳۵,۲۰	۴۰,۸۸	۳۵,۰۰	۳۹,۶۵	C*
۱۳,۷۹	۱۶,۱۸	۵۱,۲۴	۵۵,۶۳	۸۶,۲۳	۸۶,۲۴	۳۰,۳,۱۳	۳۰,۴,۰۰	۲۵۲,۸۱	۲۵۰,۷۸	h°
۱۰,۴۴		۱۵,۶۹		۱۱,۱۶		۷,۶۱		۶,۵۹		ΔE^*_{ab}

روشنایی تغییرات محسوسی داشته بلکه رنگ نمونه هم با توجه نتایج بدست آمده برای دو مولفه a^* و b^* تغییر کرده است. از نتایج بدست آمده برای روشنایی و خلوص نمونه‌ها کاملاً مشخص است با حذف مولفه براقیت در اندازه‌گیری، جلوه ظاهری نمونه‌ها با کاهش مقدار روشنایی (L^*) تیره‌تر و با افزایش مقدار خلوص (C^*) اشباع‌تر به نظر می‌رسند. در مقادیر زاویه فام تغییر محسوسی مشاهده نمی‌گردد. از نتایج بالا مشخص شد هندسه اندازه‌گیری بطور موثری بر نتایج رنگ‌سنجی تاثیرگذار بوده و بایستی قبل از اندازه‌گیری رنگ بطور مناسب برای داشتن اطلاعات رنگ صحیح، بررسی و انتخاب شود. در جدول‌های ۵ و ۶ مقادیر مختصات رنگی، اندیس و ته رنگ سفیدی پنل‌های خودرویی سفید براق و نمونه سفید براق مانسل در دو هندسه اندازه‌گیری $45^\circ a:0^\circ$ و $di:8^\circ$ گزارش شده است.

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد تغییر در هندسه اندازه‌گیری از $di:8^\circ$ به $45^\circ a:0^\circ$ منجر به بروز نتایج خیلی متفاوتی در مختصات رنگی نمونه‌ها می‌شود. مقادیر عددی اختلاف رنگ محاسبه شده نشان می‌دهد که تاثیر تغییر هندسه اندازه‌گیری در نمونه‌های رنگی براق بین ۶ تا ۱۰ واحد اختلاف رنگ ΔE^*_{ab} است. به عبارتی در نمونه‌های رنگی براق مانسل انتخابی با تغییر در هندسه اندازه‌گیری که منجر به حذف بخش عمده‌ای از پرتوهای بازتابشی می‌شود، مقادیر مختصات رنگی تغییرات محسوسی از خود نشان می‌دهند. این تغییرات برای ۳ مولفه L^* ، a^* و b^* ، در شکل ۶ نشان داده شده است.

برخلاف اینکه با حذف برق سطحی یک عامل بی‌رنگ از اطلاعات بازتابشی کسر شده است اما مشاهده می‌شود که نه تنها مولفه



شکل ۶: تغییر مختصات رنگی نمونه‌های رنگی براق مانسل انتخاب شده با تغییر در هندسه اندازه‌گیری از $45^\circ a:0^\circ$ به $di:8^\circ$ (مقادیر عددی نشان‌دهنده مقدار اختلاف در رنگ هستند).

جدول ۵: مختصات رنگی، اندیس سفیدی و ته رنگ نمونه براق تعیین شده با دو هندسه اندازه‌گیری دستگاهی $45^\circ a:0^\circ$ و $di:8^\circ$.

N/9		P5		P4		P3		P2		P1		نمونه
$di:8^\circ$	$45a:0^\circ$	$di:8^\circ$	$45a:0^\circ$	$di:8^\circ$	$45a:0^\circ$	$di:8^\circ$	$45a:0^\circ$	$di:8^\circ$	$45a:0^\circ$	$di:8^\circ$	$45a:0^\circ$	مختصات رنگی نمونه‌ها
۹۱,۰۴	۹۰,۳۲	۹۲,۹۳	۹۱,۹۹	۹۳,۲۶	۹۲,۳۴	۹۳,۴۸	۹۲,۱۶	۹۳,۰۲	۹۲,۶۵	۹۳,۲۰	۹۲,۴۴	L^*
-۰,۱۴	-۰,۰۸	-۱,۲۲	-۱,۰۶	-۱,۱۸	-۱,۰۳	-۱,۰۹	-۱,۰۴	-۱,۱۳	-۰,۹۷	-۱,۱۳	-۰,۹۹	a^*
۱,۴۵	۱,۰۴	۱,۷۳	۱,۶۹	۱,۷۱	۱,۸۲	۱,۷۸	۱,۶۱	۱,۵۲	۱,۸۰	۱,۵۲	۱,۵۲	b^*
۱,۴۵	۱,۰۴	۲,۱۱	۱,۹۸	۲,۰۷	۲,۰۰	۲,۰۹	۱,۹۱	۱,۸۹	۲,۰۵	۱,۹۰	۱,۸۳	C^*
۹۵,۵۱	۹۴,۶۳	۱۲۵,۲۵	۱۲۱,۷۰	۱۲۴,۵۴	۱۲۱,۰۳	۱۲۱,۵۷	۱۲۲,۵۲	۱۲۶,۷۴	۱۱۸,۳۵	۱۲۶,۷۹	۱۲۳,۳۹	h°
۷۱,۷۳	۷۲,۱	۷۴,۸۰	۷۲,۷۷	۷۵,۶۶	۷۳,۴۵	۷۵,۸۴	۷۳,۷۹	۷۵,۹۶	۷۳,۵۲	۷۶,۳۸	۷۴,۵۸	WI
-۰,۳۲	-۰,۲۶	۱,۳۹	۱,۱۲	۱,۳۲	۱,۰۹	۱,۱۶	۱,۱۲	۱,۳۲	۰,۹۵	۱,۳۳	۱,۱۱	T

جدول ۶: مختصات رنگی، اندیس سفیدی و ته رنگ نمونه براق تعیین شده با دو هندسه اندازه‌گیری دستگاهی $di:8^\circ$ و $45^\circ a:0^\circ$.

P8		P7		P6		نمونه
$di:8^\circ$	$45^\circ a:0^\circ$	$di:8^\circ$	$45^\circ a:0^\circ$	$di:8^\circ$	$45^\circ a:0^\circ$	مختصات رنگی نمونه‌ها
۹۱,۷۱	۹۰,۶۷	۹۳,۱۹	۹۲,۴۲	۹۲,۳۵	۹۱,۳۶	L*
-۱,۷۶	-۱,۵۰	-۱,۵۴	-۱,۴۳	-۱,۵۸	-۱,۳۹	a*
-۱,۹۹	-۱,۹۸	-۱,۶۵	-۱,۵۰	-۲,۱۶	-۲,۱۷	b*
۲,۶۶	۲,۸۳	۲,۲۵	۲,۲۳	۲,۶۸	۲,۵۷	C*
۲۲۸,۶۱	۲۴۰,۰۵	۲۲۶,۸۴	۲۳۳,۱۵	۲۳۳,۷۰	۲۳۶,۸۸۷	h°
۸۹,۳۴	۸۷,۰۹	۹۰,۹۶	۸۸,۶۱	۹۱,۴۹	۸۷,۰۹	WI
۳,۷۰	۳,۳۶	۳,۱۷	۲,۹۵	۳,۴۵	۳,۱۸	T

تاییدی بر تغییرات ناچیز رنگ و تقریباً غیر قابل درک در سفیدی نمونه‌ها می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در مقایسه با نمونه‌های رنگی براق، رفتار رنگی نمونه‌های سفید براق خیلی به هندسه اندازه‌گیری وابسته نمی‌باشد و به نظر می‌رسد سهم بازتابش آینه‌ای (براقیت) در نمونه‌های سفید براق که مقدار بازتابش آنها زیاد بوده و تقریباً در همه جهات یکسان است (رفتار ایزوتروپیک)، از رفتار انتشار درونی خیلی متفاوت‌تر نبوده لذا با تغییر در هندسه اندازه‌گیری و حذف آن تغییر محسوس در نتایج حاصل نمی‌گردد. در طرح‌واره شکل ۷ مقایسه‌ای بین رفتار جذب و انتشار یک نمونه رنگی براق و یک سفید براق بررسی شده است. هر چقدر مقدار انتشار نمونه به خصوص انتشار درونی افزایش یابد سهم حضور براقیت از کل کاهش می‌یابد [۷]. نتایج بدست آمده در این تحقیق نیز نتیجه حاصل را تایید می‌کند.

برای بررسی بیشتر نتایج بدست آمده از این تحقیق، رفتار بازتابشی نمونه‌های سفید براق استفاده شده در این تحقیق در دو حالت SCI (با حفظ جز آینه‌ای - هندسه اندازه‌گیری $di:8^\circ$) و SCE (با حذف جز آینه‌ای - هندسه اندازه‌گیری $de:8^\circ$) تعیین و در شکل ۸ نمایش داده شده است. مطابق تئوری، برای نمونه‌های براق با حذف جز آینه‌ای مقدار بازتابش کلی و در نهایت مقدار عددی در اختلاف رنگ بایستی تغییر قابل توجهی کند [۲۳-۲۱].

نتایج به دست آمده در شکل ۸ نشان می‌دهد برای نمونه‌های سفید براق با حذف جز آینه‌ای (شاخص براقیت سطحی) در مقایسه با نمونه رنگی براق، اختلاف زیادی در رنگ، سفیدی و ته‌رنگ حاصل نمی‌شود. بطوریکه متوسط مقادیر اختلاف رنگ بدست آمده حاصل از این دو هندسه اندازه‌گیری ۱,۸۹ واحد ΔE^*_{ab} بوده است که با توجه به منابع خطای موجود در صنعت این اختلاف رنگ، عدد بزرگی نیست. از طرفی متوسط اختلاف در اندیس سفیدی و ته‌رنگ به ترتیب حدود ۴,۷۳ و ۰,۱۴ واحد است که این اختلاف نیز بطور مشابه محسوس نیست. این موضوع توسط صفی و همکارانشان بررسی شده است [۲۴].

مقادیر بدست آمده برای L^* و C^* نشان دهنده رفتار سفید نمونه‌های انتخاب شده است. برای یک نمونه سفید طبق پیشنهاد CIE، لازم است مقدار روشنایی CIE بالای ۶۵ و خلوص مانسل آن به ترتیب مقادیری کمتر از ۰,۵ برای فام‌های آبی، ۰,۸ فام‌های زرد و ۰,۳ فام‌های قرمز واحد حاصل گردد. همچنین رفتار سفیدی نمونه‌های انتخاب شده با شرایط توصیه شده در رابطه CIE انطباق دارد [۱۰، ۲۰]. به عبارتی شرایط مندرج در رابطه‌های ۴ و ۵ برای همه آنها صادق است. لذا اندیس سفیدی و ته‌رنگ CIE برای تحلیل رفتار آنها بکار گرفته شد.

$$40 < WI < 5Y-280 \quad (۴)$$

$$-4 < T < +2 \quad (۵)$$

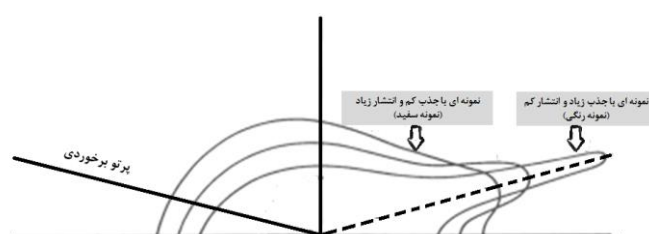
طبق نتایج جدول‌های ۵ و ۶، تغییرات اندیس سفیدی اندازه‌گیری شده برای پنل‌های خودرویی و نمونه مانسل سفید با هر دو هندسه اندازه‌گیری در محدوده ۷۱ تا ۹۱,۵ و ته رنگ آنها در محدوده ۰,۳۲- تا ۳,۷ قرار می‌گیرد. همچنین مقادیر اختلاف رنگ و اجزا آن یعنی ΔL^* ، Δa^* و Δb^* ، اختلاف سفیدی و اختلاف ته‌رنگ با تغییر این دو هندسه اندازه‌گیری نیز در جدول ۷ گزارش شده است.

برخلاف نتایج بدست آمده برای نمونه‌های رنگی براق در جدول ۴، نتایج جدول‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند مقادیر به دست آمده برای مختصات رنگی نمونه‌های سفید براق به واسطه تغییر در هندسه اندازه‌گیری از $di:8^\circ$ به $45^\circ a:0^\circ$ و یا بالعکس تغییر خیلی کمی داشته به طوری که برای نه نمونه مورد آزمون در این تحقیق، متوسط تغییرات مختصات رنگی ΔL^* حدود ۰,۸۷، Δa^* حدود ۰,۱۴ و Δb^* حدود ۰,۱۳ می‌باشد.

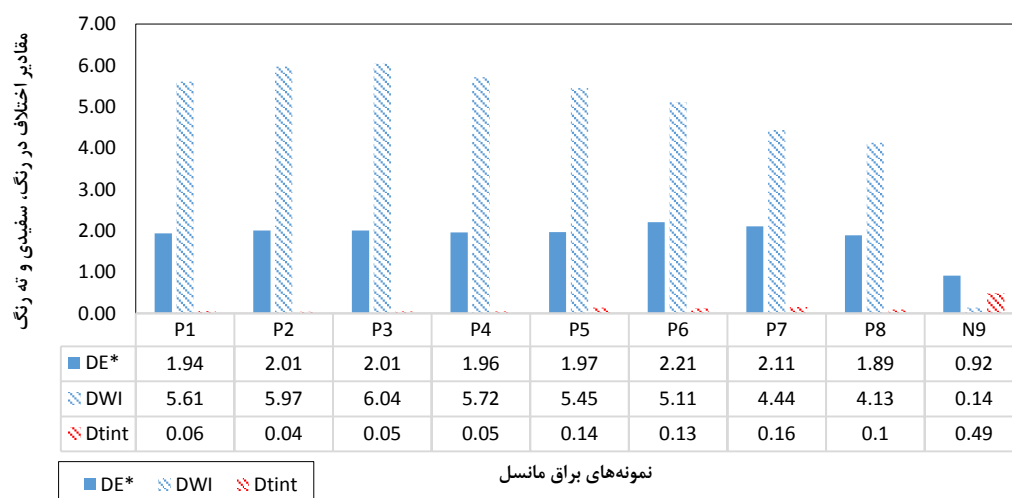
علاوه بر این طبق نتایج جدول ۷ متوسط مقادیر اختلاف رنگ ΔE^*_{ab} ، متوسط اختلاف اندیس سفیدی و همچنین متوسط اختلاف ته رنگ به ترتیب حدود ۰,۹۱، ۲,۲۱ و ۰,۲۲ واحد بوده است که

جدول ۷: مقادیر اختلاف مختصات‌های رنگی، اختلاف رنگ، اختلاف اندیس سفیدی و اختلاف تهرنگ برای نمونه‌های سفید براق با تغییر هندسه اندازه‌گیری دستگاهی از 8°di به 45°a

نمونه	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*_{ab}	ΔWI	ΔT_w
P1	۰٫۷۶	۰٫۱۴	۰	۰٫۷۷	۱٫۸	۰٫۲۲
P2	۰٫۳۷	۰٫۱۶	۰٫۲۸	۰٫۴۹	۲٫۴۴	۰٫۳۷
P3	۱٫۳۲	۰٫۰۵	۰٫۱۷	۱٫۳۴	۲٫۰۵	۰٫۰۴
P4	۰٫۹۲	۰٫۱۵	۰٫۱۱	۰٫۹۴	۲٫۲۱	۰٫۲۳
P5	۰٫۹۴	۰٫۱۶	۰٫۰۴	۰٫۹۶	۲٫۰۳	۰٫۲۷
N/9	۰٫۷۲	۰٫۰۶	۰٫۴۱	۰٫۸۳	۰٫۳۷	۰٫۰۶
P6	۰٫۹۹	۰٫۱۹	۰٫۰۱	۱٫۰۱	۴٫۴۰	۰٫۲۷
P7	۰٫۷۷	۰٫۱۱	۰٫۱۵	۰٫۷۹	۲٫۳۵	۰٫۲۲
P8	۱٫۰۴	۰٫۲۶	۰٫۰۱	۱٫۰۷	۲٫۲۵	۰٫۳۴
قدر مطلق میانگین	۰٫۸۷	۰٫۱۴	۰٫۱۳	۰٫۹۱	۲٫۲۱	۰٫۲۲
قدر مطلق کمینه	۰٫۳۷	۰٫۰۵	۰	۰٫۴۹	۰٫۳۷	۰٫۰۴
قدر مطلق بیشینه	۱٫۳۲	۰٫۲۶	۰٫۴۱	۱٫۳۴	۴٫۴۰	۰٫۳۷



شکل ۷: طرح‌واره از رفتار بازتابشی یک نمونه سفید و رنگی با براقت سطحی مشخص.



شکل ۸: مقادیر اختلاف در رنگ، سفیدی و تهرنگ برای نمونه‌های سفید براق در دو حالت SCI (با حفظ جز آینه‌ای- در هندسه اندازه‌گیری 8°di) و SCE (با حذف جز آینه‌ای- در هندسه اندازه‌گیری 8°de).

شامل مولفه براقیت آینه‌ای نیز می‌گردد. بنابراین توصیه شده است قبل از بررسی ظاهر رنگی یک شی، در انتخاب هندسه اندازه‌گیری صحیح دقت شود. در تحقیق حاضر رفتار بازتابشی و رنگی یکسری نمونه سفید براق با کمک دو هندسه اندازه‌گیری مختلف دستگاهی $45^\circ a:0^\circ$ و $di:8^\circ$ تعیین و نتایج به همراه نمونه‌های رنگی براق بررسی شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد در نمونه‌های سفید که ویژگی اصلی آنها بازتابش برابر نور در همه جهات است سهم براقیت از کل بازتابش، مقدار قابل توجهی نیست. به عبارتی هر چقدر مقدار انتشار نمونه بخصوص انتشار درونی افزایش یابد سهم حضور براقیت از کل کاهش می‌یابد. بنابراین مشاهده شد که تغییر در هندسه اندازه‌گیری بر روی نتایج اندازه‌گیری ظاهر رنگی نمونه سفید براق محسوس نیست. از اهمیت نتایج این تحقیق می‌توان در آزمون مهارت^۱ بین آزمایشگاهی نیز استفاده نمود به این ترتیب که در مواردی که نمونه مورد آزمون سفید براق باشد آزمایشگاه‌ها می‌توانند مستقل از هندسه اندازه‌گیری دستگاه در آزمون شرکت کنند.

1- Proficiency Test (PT)

علاوه بر این، مقایسه نتایج جدول ۸ با ۷ نشان می‌دهد مقادیر اختلاف رنگ و اختلاف سفیدی به دست آمده برای این نه نمونه سفید براق با تغییر هندسه اندازه‌گیری از $di:8^\circ$ به $de:8^\circ$ در مقایسه با تغییر هندسه اندازه‌گیری از $di:8^\circ$ به $45^\circ a:0^\circ$ کمی بیشتری است. با این حال مقادیر بدست آمده از تغییرات حاصل از حذف اثر براقیت در هندسه $de:8^\circ$ در مقایسه با هندسه $45^\circ a:0^\circ$ در محدوده تغییرات قابل قبول می‌باشد.

به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که نمونه‌های سفید براق تقریباً مستقل از هندسه اندازه‌گیری دستگاه رفتار می‌کنند و تغییر قابل توجهی در کمیت‌های طیفی و رنگی آنها در مقایسه با نمونه‌های رنگی براق به واسطه تغییر در هندسه اندازه‌گیری بدست نمی‌آید.

۴- نتیجه‌گیری

آنچه که واضح است در هندسه اندازه‌گیری $45^\circ a:0^\circ$ با توجه به اینکه منبع نوری در زاویه 45° درجه و گیرنده دستگاه در زاویه صفر درجه نسبت به خط عمود قرار گرفته است، در اندازه‌گیری بازتابش کلی مولفه براقیت آینه‌ای حذف می‌گردد ولی در هندسه $di:8^\circ$ اندازه‌گیری

۵- مراجع

- R. S. Berns, F. W. Billmeyer, M. Saltzman, Principles of color technology. John Wiley & Sons, Inc., 4th Ed, New York. 2019, 115-118.
- B. Philips-Invernizzi, D. Dupont, C. Caze, Bibliographical review for reflectance of diffusing media. *Opt. Eng., Inc.* 40(2001), 1082-1092.
- R. S. Hunter, R. W. Harold, The measurement of appearance, Wiley Inter science, Inc., 2nd Ed. New York, 1987, 76-83.
- Standard Guide for Selection of geometric conditions for measurement of reflection and transmission properties of materials, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, 06.01, E179 – 17, 2017.
- Hunter Lab Presents, The Basics of color perception and measurement, https://uncarucanr.edu/data_store_files/608-161.pdf, accessed online Jun. 2020.
- H. J. Streitberger, K. F. Dossel, Automotive paints and coatings, Willy-VCH., Inc., 2nd Ed. New York. 2008, 175-181.
- E. N. Dalal, K. M. Natale-Hoffman, The effect of gloss on color. *Color Res. Appl.* 24(1999), 369-376.
- R. McDonald, Color physics for industry. SDC. Inc., 2nd Ed, England, 1997, 65-68.
- A. Fehr, What measurement geometry fits my application $45/0$ or $d/8^\circ$, https://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/technical_information/.pdf, accessed online Jun. 2020.
- س.ج. امیر شاهی، ف. آگهیان، فیزیک رنگ محاسباتی، انتشارات ارکان دانش، اصفهان، پاییز ۱۳۸۶، ۲۵-۲۲.
- S. G. Kandi, The effect of spectrophotometer geometry on the measured colors for textile Samples with different textures. *J. Eng. Fiber Fabr.* 6(2011), 70-78.
- CIE Technical Report, Colorimetry 015, 4th Ed. Central Bureau of the CIE, Vienna, 2018.
- Standard practice for obtaining spectrometric data for object-color evaluation, Annual Book of ASTM Standard, ASTM standard, 06.01, E1164-09, 2009.
- M. Nofi, Understanding color measurement geometry, <https://www.pcimag.com/articles/102356>, accessed online Aug. 2016.
- F. Mirjalili, S. Moradian, F. Ameri, A new approach to investigate relationships between certain instrumentally measured appearance parameters and their visually perceived equivalents in the automotive industry. *J. Coat. Technol. Res.* 11(2014), 341-350.
- G. K. Boeckler, Measuring gloss and reflection properties of surfaces. *Metal Finish.* 93(1995), 28-31.
۱۷. ف. عامری، ن. خلیلی، تاثیر شرایط نوردهی در ارزیابی برخی ویژگی‌های هندسی پوشش‌رنگ‌های خودروبی. نشریه علمی علوم و فناوری رنگ. ۷(۱۳۹۲)، ۳۲۳-۳۳۰.
- Standard test method for specular gloss, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, 06.01, E523-14(2018).
۱۹. م. صفی، ن. خلیلی، ا. م. اعرابی، اثر پشت‌پوش‌کننده‌های مختلف بر پارامترهای رنگی و براقیت کاشی‌های لعاب‌دار. نشریه علمی علوم و فناوری رنگ. ۵(۱۳۹۰)، ۲۶۱-۲۵۳.
- Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates. Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, 06.01,

- E313-15e1.
21. Y. Hosoya, T. Shiraishi, M. Oshiro, S. Ando S. M. Miyazaki, J. M. Powers. Effects of specular component on color differences of different filler type resin composites after aging. *Dent.* 37(2009), 585-590.
22. onica Minolta, Specular-component-included-sci-vs-specular-component- excluded-sce, <https://sensing.konicaminolta.us/blog/pdfs>, accessed online Jun. 2020.
23. X rite-Pantone, A guide to understanding color communication, https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/whitepaper_pdfs, accessed online Jun. 2020.
۲۴. ف. طاهری، م. صفی، ر. جعفری، تعیین حد رواداری در نمونه‌های سفید فلورسنسی بر پایه فرمول‌های اختلاف رنگ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی کار قزوین، آذر ۱۳۹۸.