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/ ۱۱ (۱۳۹۶)، ۳۴-۲۳

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

بررسی کارآیی اندیس سفیدی یوچیدا در محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE

راضیه جعفری[1*]، مینا شاه‌محمدی[2]

۱- استادیار، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۸۱۱-۱۶۶۸۸۱.
۲- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نساجی، موسسه آموزش عالی کار، قزوین، ایران، صندوق پستی: ۵۱۱۷.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۱۵ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۶/۳/۲۰

چکیده

با توجه به اهمیت و کاربرد گسترده محصولات سفید در صنایع مختلف، بررسی کارآیی فرمول‌های سفیدی و میزان انطباق آنها با نتایج ارزیابی‌های چشمی ضروری می‌باشد. با توجه به اصلاحیه اخیر CIE مبنی بر تغییر محدوده ته‌رنگ برای تعریف نمونه‌های سفید، کارآیی اندیس سفیدی یوچیدا در ارزیابی نمونه‌های سفید فلورسنتی مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا میزان پذیرش سفیدی نمونه‌های سفید فلورسنتی با مقادیر مختلف اندیس سفیدی و ته‌رنگ، مطابق نظر ارزیابان به‌دست آمد. همچنین همبستگی میان دو اندیس سفیدی CIE و یوچیدا با یکدیگر و با درصدپذیرش سفیدی نمونه‌های سفید محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد هرچند عملکرد اندیس سفیدی یوچیدا با اصلاح محدوده ته‌رنگ CIE بهبود یافته است اما همچنان کارآیی اندیس سفیدی CIE به مراتب مطلوب‌تر می‌باشد. به این معنی که با تغییر در مرزهای ته‌رنگ نمونه‌های سفید، تطابق درصد پذیرش سفیدی نمونه‌ها با فرمول سفیدی CIE بهتر از فرمول سفیدی یوچیدا بوده است. ضمن آنکه، به نظر می‌رسد در محدوده اصلاح شده ته‌رنگ CIE نتایج فرمول سفیدی یوچیدا به نتایج اندیس سفیدی CIE نزدیک شده است.

واژه‌های کلیدی: اندیس سفیدی CIE، محدوده ته‌رنگ CIE، اندیس سفیدی یوچیدا، ارزیابی سفیدی.

Evaluation of Performance of Uchida Whiteness Formula in CIE Modified Tinting Region

R. Jafari[*1], M. Shahmohammadi[2]

[1.] Department of Color Physics, Institute for Color Science and Technology, P.O. Box: 166881-4811, Tehran, Iran.
[2.] Department of Textile Engineering, Kar Higher Education Institute, P.O. Box: 5117, Qazvin, Iran.

Received: 03-07-2016 Accepted: 05-11-2016 Available online: 10-06-2017

Abstract

Regarding the commercial importance and industrial application of white products, investigation into the performance of whiteness indices and their conformity to the visual assessments is essential. In this paper, the performance of Uchida whiteness index for the evaluation of fluorescent whitening agents (FWAs) treated white specimens is investigated based on the modified CIE tinting formula. In this way, the percentage of whiteness acceptance of the fluorescent white samples with different whiteness and tinting attributes, are achieved based on the observers visual assessments. Besides, the correlations between CIE and Uchida whiteness indices as well as with the results of visual assessments are calculated. The results show that while the performance of Uchida whiteness index has been improved by modifying CIE tinting formula, the CIE whiteness index access white specimens, better. It means that, in the modified tinting region the results of visual assessments conform to CIE whiteness index better than Uchida formula. Moreover, it seems that the results of the Uchida whiteness formula closes to those achieved from CIE whiteness index in the modified tinting region. J. Color Sci. Tech. 11(2017), 23-34© Institute for Color Science and Technology.

Keywords: CIE Whiteness index, CIE tinting formula, Uchida whiteness index, Whiteness assessment.

***Corresponding author: jafari-ra@icrc.ac.ir**

Arhive of SID
www.SID.ir

۱ـ مقدمه

در علم فیزیک رنگ مشخصه بارز نمونه‌های سفید، مقادیر روشنایی بالا و خلوص اندک است. تولید محصولات سفید در صنایع کاغذسازی، رنگ و پوشش، پزشکی، لوازم بهداشتی و آرایشی و نساجی بسیار مورد توجه است بطوری که حجم معاملات تجاری وابسته به آن چشمگیر است [۱]. سفید تداعی‌کننده احساساتی نظیر پاکیزگی، تازگی و خلوص است از این رو تولید محصولات سفید، به نظر و سلیقه مصرف‌کننده بستگی زیادی دارد. از سوی دیگر میزان سفیدی زیرآیند به لحاظ کیفی تاثیر به سزایی در کیفیت رنگرزی و چاپ کالای نساجی دارد [۲، ۳]. امروزه مواد سفیدکننده نوری بطور گسترده‌ای در صنایع مختلف جهت افزایش میزان سفیدی محصول نهایی به‌کار برده می‌شود. این مواد پرتوهای فرابنفش را در طول‌موج‌های کوتاه (۴۰۰-۳۰۰ نانومتر) جذب نموده و در طول موج‌های بالاتر طیف مریی در محدود (۵۰۰-۴۰۰ نانومتر) نشر می‌دهند که نتیجه آن افزایش انعکاس در ناحیه آبی طیف مریی و بروز سفید درخشان است [۴، ۵]. تحقیقات گسترده انجام شده در صنایع نساجی نشان داد که میزان سفیدی کالای پنبه‌ای عمل شده با مواد سفیدکننده نوری بسیار به خواص و غلظت ماده سفیدکننده و خصوصیات منبع نوری بستگی دارد. به طوری که افزایش غلظت مواد سفیدکننده نوری لزوما با افزایش میزان سفیدی کالای پنبه‌ای همراه نخواهد بود بلکه، بیشینه سفیدی در غلظت بهینه ماده سفیدکننده نوری رخ می‌دهد و پس از آن با بروز پدیده خود خاموش‌شوندگی، میزان سفیدی کالا افت خواهد کرد[۶].

جهت ارزیابی میزان سفیدی از روابطی که به نوعی خواص طیفی منبع نوری، انعکاس جسم و حساسیت چشم را لحاظ کنند، استفاده می‌شود. بدیهی است میزان اعتبار فرمول ارائه شده تابع میزان همبستگی میان نتایج ارزیابی‌های چشمی با نتایج بدست آمده از اندیس سفیدی است. در بین بیش از ۱۰۰ فرمول سفیدی ارائه شده جهت ارزیابی سفیدی، اندیس سفیدی CIE به عنوان یکی از اندیس‌های پرکاربرد و متداول، مورد پذیرش جوامع علوم رنگ است [۷]. روابط ۱ و ۲ به ترتیب اندیس سفیدی CIE و ته‌رنگ نمونه‌های سفید را تحت مشاهده کننده استاندارد CIE1964 و استاندارد روشنایی D65 نشان می‌دهند.

$$W_{CIE} = Y +800(x_0-x) +1700(y_0-y) \quad (۱)$$

$$T_W = 900(x_0-x)-650(y_0-y) \quad (۲)$$

بطوریکه x و y مولفه های کروماتیسیتی نمونه سفید و x_0 و y_0 مختصات پراکنده‌کننده ایده‌آل (منبع نوری) می‌باشند. در رابطه ۱ Y، میزان روشنایی نمونه سفید را بیان می‌کند.

در صورتی که مقدار ته‌رنگ (T_W) محاسبه شده در رابطه ۲ مثبت باشد، نمونه سفید، ته سبز خواهد بود و مقدار منفی ته‌رنگ نیز بیانگر نمونه سفید ته قرمز است. هنگامی که مقدار ته‌رنگ تقریبا برابر صفر باشد آنگاه نمونه سفید ته‌آبی می‌باشد [۸].

طبق فرمول سفیدی CIE تنها نمونه‌هایی به عنوان سفید پذیرفته می‌شوند که مقادیر سفیدی و ته‌رنگ آنها در محدوده‌های تعریف شده تحت روابط ۳ و ۴ واقع شوند [۹-۱۱]:

$$40< W_{CIE} <5Y-280 \quad (۳)$$

$$-4 < T_W < +2 \quad (۴)$$

شایان ذکر است محدوده ته‌رنگ تعریف شده در رابطه ۴ پیشتر به صورت رابطه ۵ تعریف شده بود. مطالعات انجام شده نشان داد به منظور افزایش همبستگی میان نتایج ارزیابی فرمول با نتایج ارزیابی‌های چشمی، محدوده ته‌رنگ نیاز به بازنگری دارد. در نتیجه محدوده ته‌رنگ اعلام شده توسط CIE (رابطه ۵) اخیرا به‌صورت رابطه ۴ اصلاح و معرفی گردید [۹-۱۱].

$$-3 < T_W < +3 \quad (۵)$$

مطالعات انجام گرفته بر نمونه‌های سفید فلورسنتی و دارای ته-رنگ، عدم همبستگی بین نتایج فرمول سفیدیCIE و ارزیابی بصری را گزارش کرده‌اند. در نتیجه کمیته فنی سفیدی CIE(TCI-77) پس از بررسی موضوع بیان نمود عدم همبستگی نشات گرفته از اندیس سفیدی نمی‌باشد بلکه وابسته به عواملی است که در حال حاضر کاملا تحت کنترل نیستند [۶].

در سال ۱۹۹۸، یوچیدا اندیس سفیدی جدیدی را بر اساس نتایج ارزیابی‌های چشمی مشاهده‌کنندگان ژاپنی ارائه نمود و ادعا کرد که فرمول سفیدی وی قادر به ارزیابی نمونه‌های سفید خارج از محدوده‌های تعریف شده اندیس سفیدی CIE است. در پی اعلام فرمول سفیدی جدید، یوچیدا ابتدا محدوده اندیس سفیدی را ۵ واحد گسترش داد و مقدار (5Y-280) در رابطه ۳ به مقدار (5Y-275) در رابطه ۶ تغییر یافت. پس از اعمال تغییر فوق، یوچیدا نمونه‌های واقع در محدوده تعریف شده در رابطه ۶ را به عنوان نمونه‌های دارای نقطه پایه داخلی و نمونه‌های خارج از این محدوده را به عنوان نمونه‌های خارج از نقطه پایه تعریف کرد.

$$40 <W_{CIE} <(5Y - 275) \quad (۶)$$

در مرحله بعد با توجه به تعاریف جدید، دو رابطه ۷ و ۸ به ترتیب برای ارزیابی نمونه‌های سفید دارای نقطه پایه داخلی و خارج از نقطه پایه ارائه شدند [۱۳].

$$W= W_{CIE} - 2(T_W)^2 \quad (۷)$$

$$W= P_w - 2(T_W)^2 \quad (۸)$$

Archive of SID

www.SID.ir

به طوری که:

$$P_W = (5Y - 275) - \{800[0.2742 + 0.00127(100 - Y) - x]^{0.82} + 1700[0.2762 + 0.00176(100 - Y) - y]^{0.82}$$

جعفری و امیرشاهی همبستگی فرمول سفیدی یوچیدا و اندیس سفیدی CIE را برای نمونه های سفید پنبه‌ای مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور ۱۲ پارچه سفید پنبه‌ای با درجات مختلف سفیدی به روش مقایسه جفتی، تحت ارزیابی چشمی قرار گرفتند. بررسی میزان همبستگی بین نتایج ارزیابی‌های چشمی با نتایج حاصل از دو اندیس سفیدی CIE و یوچیدا موجب رد ادعای یوچیدا مبنی بر کارآیی بیشتر فرمول پیشنهادی وی نسبت به اندیس سفیدی CIE گردید [۱۴]. شایان ذکر است این تحقیق در زمانی صورت گرفت که هنوز محدوده ته‌رنگ توسط CIE اصلاح نشده بود و ارزیابی‌ها در محدوده تعریف شده در رابطه ۵ انجام می‌شد.

مطالعه دیگری با عنوان آنالیز فرمول سفیدی CIE روی پارچه‌های سلولزی سفیدگری نوری شده، انجام گرفت. در این تحقیق پارچه هایی از جنس پنبه، ویسکوز، تنسل[1] و مدال[2] با بافت حلقوی و تاری پودی تحت چهار غلظت مختلف از ماده سفیدکننده نوری، سفیدگری شدند. در ادامه نمونه‌های آزمون تحت شرایط خاص بین صفر تا ۱۰۰ ساعت تحت تابش نور زنون قرار گرفتند و انعکاس آنها با دستگاه طیف‌سنج در فواصل زمانی ۱۰ ساعت اندازه‌گیری شد. بررسی‌ها نشان داد غلظت ماده سفید کننده، مدت زمان تابش نور به نمونه‌ها و نوع پارچه، روی میزان سفیدی نمونه‌ها تاثیرگذار است به نحوی که اندیس سفیدی نمونه های سفید فلورسنتی با افزایش مدت زمان پرتودهی کاهش می‌یابد. ضمن آنکه تغییر غلظت ماده سفید کننده نوری تاثیری روی میزان ته‌رنگ نمونه‌های سفید ندارد [۱۵].

تحقیقات جداگانه‌ای تاثیر ویژگی‌های ظاهری پارچه نظیر زبری، جهت بافت و تراکم را بر میزان سفیدی درک شده نمونه‌های سفید پشمی و پنبه‌ای مطالعه نمود. بررسی نتایج با استفاده از ضریب تعیین و رگرسیون، بیانگر وجود رابطه معکوس بین زبری و درک میزان سفیدی پارچه‌ها بود، در حالی که میزان تراکم پارچه‌ها رابطه مستقیم با سفیدی درک شده داشت. همچنین به دلیل اثبات تاثیر بافت پارچه در درک سفیدی آن، استفاده از نمونه‌هایی با بافت یکسان در آزمون‌های ارزیابی چشمی توصیه شد [۱۶، ۱۷].

تحقیق دیگری با عنوان عوامل موثر بر سفیدی نمونه‌های سفید فلورسنتی و با هدف بررسی تاثیر محتوی فرابنفش منابع نوری شبیه‌ساز استانداردهای روشنایی D65 و D75 توسط شمعی و هینک انجام شد. در تحقیق مذکور پارچه‌های سفید پنبه‌ای با بافت ساده که تحت چهار غلظت مختلف ماده سفیدکننده نوری سفیدگری شده بودند به عنوان نمونه آزمون آماده‌سازی شدند. سپس شدت تابش پرتو فرابنفش دو منبع نوری شبیه‌ساز D65 و D75 به طور جداگانه با فیلترهای فیزیکی به میزان ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و۱۰۰٪ تغییر داده شد. بررسی میزان همبستگی نتایج حاصل از اندازه‌گیری و مشاهدات نشان داد مقدار صدور فرابنفش منابع نوری شبیه‌ساز D65 وD75 برای ارزیابی نمونه‌های سفید فلورسنتی ایده‌آل نیست، زیرا این منابع توانایی شبیه‌سازی نور روز را به طور کامل ندارند. بنابراین توصیه می‌شود از منبع مکمل فرابنفش استفاده شود. همچنین مشخص شد به رغم سطح صدور فرابنفش بالاتر در منبع نوری شبیه‌ساز D75 نسبت به منبع شبیه‌ساز D65، نتایج ارزیابی‌ها تحت منبع D75 از همبستگی کمتری با اندیس سفیدی CIE برخوردار است. به نظر می‌رسد علت این امر استفاده از منبع نوری D65 در تدوین فرمول سفیدی CIE باشد [۱۰].

در راستای بررسی عوامل موثر در بروز اختلاف رنگ بین نمونه‌های سفید فلورسنتی، جعفری و همکارانش همبستگی چهار فرمول اختلاف رنگ DE2000، DE94، DE1976 و DECMC را با اختلاف در مقادیر ویژگی‌های مرتبط با سفیدی نظیر اختلاف در اندیس سفیدی، اختلاف در فاکتور روشنایی، ته‌رنگ و مولفه‌های کروماتیسیتی نمونه‌ها مطالعه نمودند. ضرایب همبستگی به دست آمده میان مقادیر اختلاف رنگ و مقادیر اختلاف در عوامل مرتبط با سفیدی نشان داد بیشترین و کمترین همبستگی به ترتیب مربوط به اختلاف در اندیس سفیدی (ΔWI) و اختلاف در ته‌رنگ (ΔTw) می‌باشد. در این بین دو رابطه اختلاف رنگ DE94 و DE2000 به ترتیب بیشترین و کمترین همبستگی را با اختلاف در اندیس سفیدی (ΔWI) نمونه‌ها نشان دادند [۱۸].

عملکرد محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE (رابطه۴) اخیرا توسط جعفری و همکارانش با هدف بررسی نحوه تصمیم‌گیری مشاهده‌کنندگان ایرانی مورد تحقیق قرار گرفت. به این منظور درصد پذیرش سفیدی نمونه‌های سفید فلورسنتی با مقادیر مختلف اندیس سفیدی و میزان ته‌رنگ مطابق نظر ارزیابان و با استفاده از آزمون ارزیابی چشمی تعیین شد. نتایج نشان داد اغلب مشاهده‌کنندگان نمونه‌های سفید ته‌قرمز را صرف نظر از مقدار روشنایی و فاکتور ته‌رنگ به عنوان سفید پذیرفته‌اند. در حالیکه نمونه‌های سفید ته‌سبز توسط تعداد اندکی از مشاهده‌کنندگان به عنوان سفید پذیرفته شدند[۱۹]. بررسی انجام شده در خصوص پذیرش سفیدی نمونه‌ها مطابق نظر مشاهده‌کنندگان خانم و آقا نشان داد با افزایش مقدار روشنایی و اندیس سفیدی نمونه‌ها، درصد پذیرش سفیدی در هیچ یک از دو گروه لزوما افزایش نمی‌یابد. ضمن آنکه ترجیح سفیدی توسط هر دو گروه مشاهده‌کننده به نمونه‌های سفید ته‌قرمز اختصاص دارد. همچنین مشخص شد تاثیر مقادیر روشنایی و اندیس

1- Tencel
2- Modal

Archive of SID

www.SID.ir

سفیدی بر تصمیم‌گیری آقایان بیشتر از خانم‌ها است [۲۰]. با تایید نتایج کسب شده در آزمون بررسی تاثیر جنسیت مشاهده‌کنندگان در ارزیابی چشمی سفیدی مشخص گردید اصلاح محدوده ته‌رنگ CIE با نتایج ارزیابی مشاهده‌کنندگان هم راستا است [۲۰، ۱۹].

اصلاح انجام شده بر محدوده ته‌رنگ CIE موجب شد تا در تعریف نمونه‌های سفید، سهم نمونه‌های سفید ته‌قرمز نسبت به نمونه‌های سفید ته‌سبز افزایش یابد. برخلاف تحقیقات صورت گرفته در خصوص هم‌راستایی نتایج ارزیابی‌های چشمی با نتایج فرمول سفیدی CIE، میزان مطابقت فرمول سفیدی یوچیدا با درک چشمی سفیدی ارزیابان بررسی و مطالعه نگردیده است. از این‌رو با توجه به ادعای یوچیدا مبنی بر توانایی ارزیابی نمونه‌های سفید خارج از محدوده سفیدیCIE، تحقیق حاضر در نظر دارد میزان کارآیی فرمول سفیدی یوچیدا را در محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE بررسی نموده و نتایج را با فرمول سفیدی CIE مقایسه نماید.

۲ـ بخش تجربی

۲ـ۱ـ مواد

در این پژوهش از پارچه سفید با بافت ساده، استفاده شده است. جهت افزایش میزان سفیدی نمونه‌ها از مواد سفیدکننده نوری با مشخصات ذکر شده در جدول ۱ استفاده شد. همچنین برای تامین نمونه‌هایی با مقادیر مختلف ته‌رنگ، رنگ قرمز با نام تجاری C.I. Direct Red 80 نیز مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱: مشخصات مواد سفیدکننده نوری مختلف جهت تهیه نمونه‌های سفید فلورسنتی.

کالر ایندکس سفیدکننده نوری	عرضه‌کننده	نام تجاری
251	Ciba	Uvitex 2BT
336	Ciba	Uvitex BAM
362	Ciba	Uvitex 2B
113	Dystar	Blankophor BA
134	Ciba	Uvitex CF
24	Sinochem	Ultrawhite 2B
32	Youhao	Flourwhitehao BF

۲ـ۲ـ روش کار

۲ـ۲ـ۱ـ آماده‌سازی نمونه‌ها و اندازه‌گیری مشخصات طیفی و رنگی

پارچه پنبه‌ای با بافت ساده سفیدگری شیمیایی شده تحت چهارده غلظت مختلف از ۷ ماده سفید کننده نوری گوناگون سفیدگری نوری شدند. با توجه به اهداف این پژوهش جهت دستیابی به نمونه‌های سفید با مقادیر مختلف ته‌رنگ، محلول رقیقی از رنگ تجاری (C.I. Direct Red 80) در حد ppm جهت لکه‌گذاری نمونه‌ها به روش رنگرزی مستقیم استفاده شد. در جدول ۲ نام و غلظت سفیدکننده نوری مورد استفاده به همراه غلظت ماده رنگزا بر حسب وزن کالا نشان داده شده است [۱۲]. جهت اندازه‌گیری میزان پرتودهی کلی نمونه‌های سفید فلورسنتی از دستگاه طیف‌سنج Color Eye 7000 A متعلق به شرکت GretagMacbeth در محدوده ۷۵۰-۳۶۰ نانومتر با گام‌های ۱۰نانومتری استفاده شد. هندسه اندازه‌گیری دستگاه (d/8) بوده و انعکاس آیینه‌ای و محتوای پرتو فرابنفش منبع نوری نیز لحاظ شد. در گام نخست مقادیر محرکه‌های سه‌گانه (CIEXYZ) نمونه‌ها تحت استاندارد روشنایی D65 و مشاهده کننده استاندارد CIE 1964 محاسبه شد. در گام بعدی اندیس‌های سفیدی CIE و یوچیدا و فاکتور ته‌رنگ نمونه‌های سفید فلورسنتی با استفاده از روابط تعریف شده محاسبه گردید. در پایان با توجه به مقادیر اندیس سفیدی و ته‌رنگ CIE، ۳۰ نمونه سفید فلورسنتی در راستای تحقق هدف پژوهش حاضر انتخاب شدند.

۲ـ۳ـ ارزیابی بصری

به منظور بررسی کارآیی اندیس سفیدی یوچیدا در محدوده اصلاح شده ته‌رنگ CIE، ۳۰ نمونه سفید فلورسنتی با مقادیر مختلف سفیدی و ته‌رنگ توسط ۳۲ مشاهده کننده متشکل از ۱۶ خانم و ۱۶ آقا مورد ارزیابی بصری قرار گرفتند. خانم‌ها دارای حداقل سن ۲۵ سال و حداکثر ۴۱ سال با متوسط سنی ۳۲ و آقایان با حداقل سن ۲۵ سال، حداکثر ۴۲ سال و متوسط سنی ۳۴ حضور داشتند. در این راستا ابتدا بینایی رنگی نرمال هر مشاهده‌کننده با استفاده از آزمون ایشیهارا مورد سنجش قرار گرفت. ارزیابی چشمی در اتاق تاریک زیر کابینت نوری استاندارد VeriVide مدل CAC 120، تحت هندسه مشاهده 0/45 انجام گرفت. جهت رعایت شرایط مشاهده‌کننده استاندارد CIE 1964، و با توجه به ابعاد نمونه‌ها (۲/۵×۲/۵ cm)، فاصله چشم مشاهده‌کننده با نمونه‌های سفید معادل ۱۴cmتنظیم شد. همچنین در کابینت نوری از لامپ‌هایD65 و UV به صورت هم‌زمان جهت روشن‌سازی و تهییج نمونه‌های سفید فلورسنتی استفاده شد.

Arhive of SID

www.SID.ir

جهت انجام آزمون ارزیابی چشمی هر یک از ۳۰ نمونه سفید فلورسنتی به صورت تصادفی به مشاهده‌کنندگان ارائه شده و از آنها خواسته می‌شد که به این پرسش پاسخ دهند:" آیا نمونه مورد مشاهده از نظر آنها سفید است یا خیر؟" در پایان با انجام ۹۶۰ آزمون ارزیابی چشمی، درصد پذیرش سفیدی هر یک از ۳۰ نمونه محاسبه شد. در پایان به منظور بررسی صحت و دقت نتایج به دست آمده از ارزیابی چشمی، آزمون‌های تکرارپذیری[1] و دوباره تولید[2] نیز انجام گرفت.

۳ـ نتایج و بحث

۳ـ۱ـ مشخصات نمونه‌های سفید

شکل ۱ مختصات کروماتیسیتی ۳۰ نمونه سفید فلورسنتی را به همراه منبع نوری D65 نشان می‌دهد. نمونه‌های سفید فلورسنتی با علامت (۰) و منبع نوری D65 با علامت (▲) مشخص شده‌اند. تراکم نمونه‌ها حول منبع نوری D65 حاکی از میزان سفیدی بالای نمونه‌های آماده‌سازی شده است.

مشخصات نمونه‌های سفید شامل مقادیر اندیس سفیدی CIE، ته‌رنگ، اندیس سفیدی یوچیدا و درصد پذیرش سفیدی مطابق نظر مشاهده‌کنندگان در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به رابطه ۶ تمامی ۳۰ نمونه سفید داخل محدوده اندیس یوچیدا قرار دارند و لذا مقادیر سفیدی آنها از رابطه ۷ محاسبه شده است. از میان ۳۰ نمونه آماده‌سازی شده، مقادیر ته‌رنگ ۲۳ نمونه داخل محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE (رابطه ۴) قرار داشته و ۷ نمونه دیگر خارج از محدوده مذکور قرار دارند که در جدول با رنگ خاکستری مشخص شده‌اند. به طوری که اشاره شد انتخاب این نمونه‌ها آگاهانه و جهت بررسی کارایی فرمول سفیدی یوچیدا بوده است.

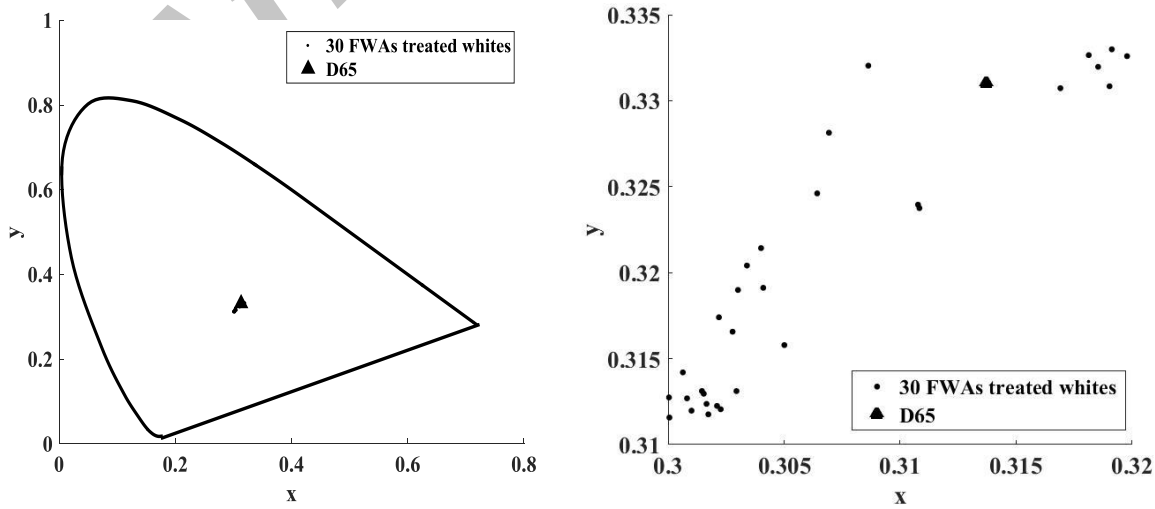
۳ـ۲ـ آزمون بصری پذیرش سفیدی

شکل ۲ درصد پذیرش سفیدی نمونه‌ها را به صورت شمایی و براساس شماره نمونه‌ها نشان می‌دهد. شماره نمونه‌ها در شکل و جدول ۲ از s1 به s30 بیانگر افزایش درصد پذیرش سفیدی نمونه‌ها مطابق نظر ارزیابان است به طوری که نمونه‌های s1، s2 و s3 توسط هیچ یک از ارزیابان به عنوان سفید پذیرفته نشده‌اند در حالیکه نمونه s30 توسط بیش از ۹۶٪ از ارزیابان به عنوان نمونه سفید پذیرفته شده است.

همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود با افزایش درصد پذیرش سفیدی نمونه‌های سفید از نظر مشاهده‌کنندگان، اندیس سفیدی CIE و یوچیدا افزایش نمی‌یابد. به عبارت دیگر پذیرش سفیدی نمونه‌های سفید از نظر مشاهده‌کنندگان شرکت‌کننده در این آزمون منحصرا تابعی از مقادیر اندیس سفیدی نمونه‌ها نمی‌باشد. این عدم تابعیت به صورت شمایی در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳ (الف و ب) به ترتیب رابطه میان اندیس سفیدی CIE و یوچیدا را با درصد پذیرش سفیدی تمامی نمونه‌های سفید از نظر مشاهده‌کنندگان نشان می‌دهد. در محور افقی شماره نمونه‌های سفید به ترتیب افزایش درصد پذیرش سفیدی از چپ به راست نشان داده شده است.

1- Repeatability
2- Reproducibility



شکل ۱: مختصات کروماتیسیتی ۳۰ نمونه سفید فلورسنتی (۰) به همراه منبع نوری D65(▲).

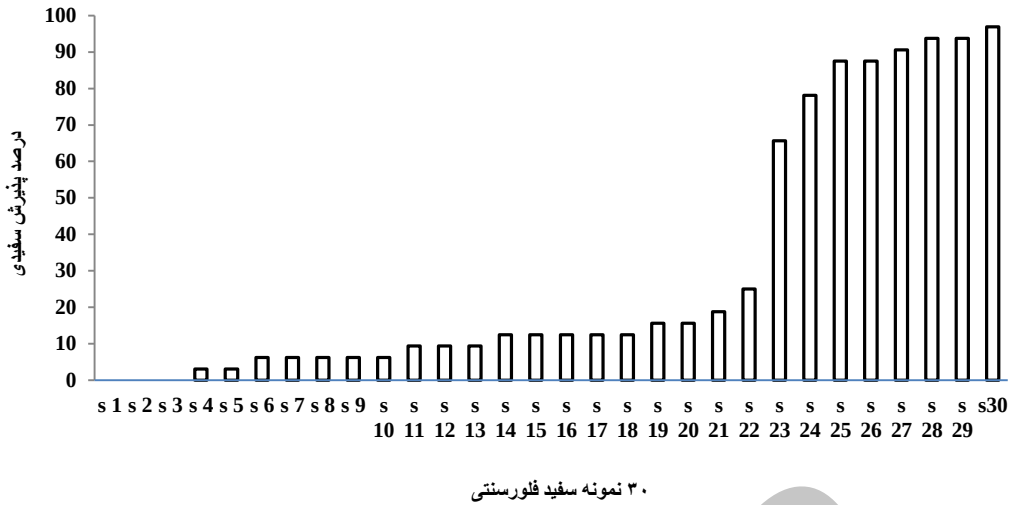
Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲: مشخصات سفیدکننده نوری، ماده رنگزا، مقادیر سفیدی و ته‌رنگ CIE و درصد پذیرش سفیدی نمونه‌ها.

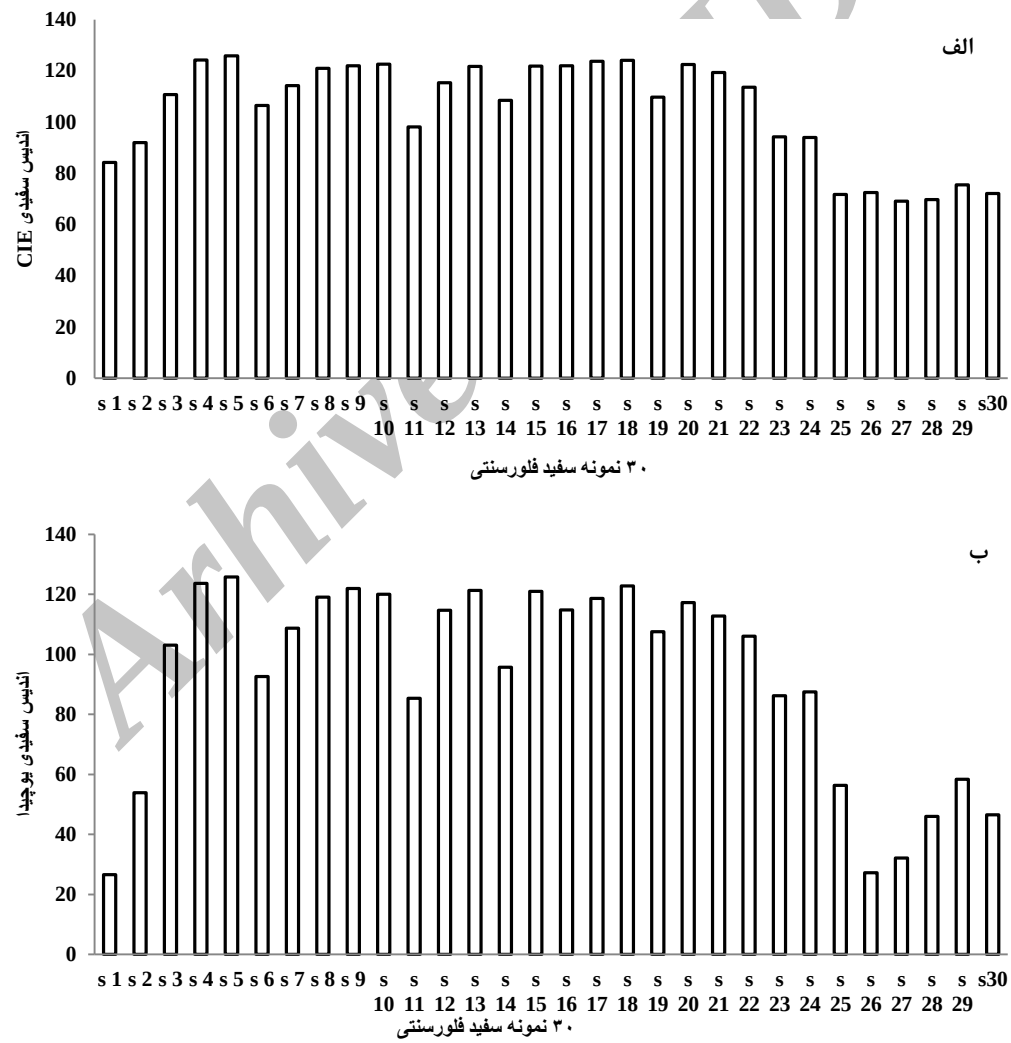
نمونه‌ها	سفیدکننده نوری	غلظت سفیدکننده نوری (o.w.f)	غلظت رنگزا (o.w.f)	اندیس سفیدی CIE	فاکتور ته‌رنگ	اندیس سفیدی یوچیدا	درصد پذیرش سفیدی
s1	UvitexCF	۰,۰۰۵	۰,۰۰۰۸	۸۴,۲۶	۵,۳۷	۲۶,۵۵	۰
s2	UvitexCF	۰,۰۰۵	۰,۰۰۰۴	۹۱,۹۴	۴,۳۶	۵۳,۸۶	۰
s3	UvitexBAM	۲,۵	۰	۱۱۰,۶۵	۱,۹۵	۱۰۳,۰۶	۰
s4	UvitexBAM	۲	۰	۱۲۴,۲۳	۰,۵۶	۱۲۳,۶۱	۳,۱۳
s5	UvitexBAM	۲,۵	۰	۱۲۵,۸۴	-۰,۲۲	۱۲۵/۷۴	۳,۱۳
s6	UvitexBAM	۴	۰	۱۰۶,۵	۲,۶۴	۹۲,۶۱	۶,۲۵
s7	UvitexCF	۰,۰۱	۰,۰۰۰۴	۱۱۴,۲۰	۱,۶۵	۱۰۸,۷۳	۶,۲۵
s8	UvitexBAM	۳,۵	۰	۱۲۰,۹۸	۰,۹۷	۱۱۹,۱۰	۶,۲۵
s9	UvitexCF	۰,۰۱	۰,۰۰۰۸	۱۲۲	-۰,۱۷	۱۲۱,۹۴	۶,۲۵
s10	Fluorwhitehao BF	۱	۰	۱۲۲,۶۱	-۱,۱۴	۱۲۰,۰۱	۶,۲۵
s11	BlankophorBA	۰,۲۵	۰	۹۸,۰۸	۲,۵۳	۸۵,۳۰	۹,۳۷
s12	Ultrawhite2B	۰,۵	۰	۱۱۵,۳۳	۰,۵۸	۱۱۴,۶۵	۹,۳۷
s13	Ultrawhite2B	۲	۰	۱۲۱,۷۷	-۰,۴۷	۱۲۱,۳۲	۹,۳۷
s14	Ultrawhite2B	۳	۰	۱۰۸,۴۵	۲,۵۲	۹۵,۷۲	۱۲,۵
s15	Uvitex2BT	۰,۵	۰	۱۲۱,۷۹	-۰,۶۵	۱۲۰,۹۵	۱۲,۵
s16	Ultrawhite2B	۴	۰	۱۲۱,۹۹	-۱,۹	۱۱۴,۸۳	۱۲,۵
s17	Uvitex2BT	۱	۰	۱۲۳,۷۷	-۱,۶	۱۱۸,۶۲	۱۲,۵
s18	Uvitex2BT	۱,۵	۰	۱۲۴,۱۰	-۰,۸۱	۱۲۲,۷۸	۱۲,۵
s19	Uvitex2B	۰,۲۵	۰	۱۰۹,۷۴	۱,۰۵	۱۰۷,۵۳	۱۵,۶۲
s20	Ultrawhite2B	۳,۵	۰	۱۲۲,۴۹	-۱,۶۲	۱۱۷,۲۳	۱۵,۶۲
s21	UvitexCF	۰,۰۰۵	۰,۰۰۰۲	۱۱۹,۳۲	-۱,۸۲	۱۱۲,۷۲	۱۸,۷۵
s22	BlankophorBA	۰,۱	۰	۱۱۳,۵۳	-۱,۹۳	۱۶۰,۰۴	۲۵
s23	UvitexBAM	۰,۱	۰	۹۴,۱۷	۱,۹۹	۸۶,۲۲	۶۵,۶۲
s24	UvitexCF	۰,۰۱	۰,۰۰۰۲	۹۴,۰۱	-۱,۸۰	۸۷,۴۶	۷۸,۱۲
s25	Fluorwhitehao BF	۴	۰	۷۱,۷۷	-۱,۷۸	۵۶,۳۳	۸۷,۵
s26	Uvitex CF	۰,۰۰۵	۰	۷۲,۵۲	-۴,۷۶	۲۷,۲۰	۸۷,۵
s27	Uvitex 2B	۰,۰۲۵	۰	۶۹,۰۸	-۴,۳۰	۳۲,۰۸	۹,۶۲
s28	Fluorwhitehao BF	۲	۰	۶۹,۷۸	-۳,۴۵	۴۵,۹۴	۹۳,۷۵
s29	Fluorwhitehao BF	۲,۵	۰	۷۵,۵۱	-۲,۹۳	۵۸,۳۶	۹۳,۷۵
s30	BlankophorBA	۴	۰	۷۲,۱۵	۳,۵۸	۴۶,۴۷	۹۶,۸۷

Arhive of SID

www.SID.ir



شکل ۲: درصد پذیرش سفیدی ۳۰ نمونه سفید فلورسنتی مطابق ارزیابی چشمی مشاهده‌کنندگان.



شکل ۳: ارتباط میان اندیس‌های سفیدی با درصد پذیرش سفیدی نمونه‌ها. الف) اندیس سفیدی CIE ب) اندیس سفیدی یوچیدا. محور افقی در هر دو شکل از چپ به راست شماره نمونه‌ها را برحسب افزایش درصد پذیرش سفیدی آنها مطابق نظر ارزیابان نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

روند تغییرات نمودارها در شکل ۳ نشان می‌دهد هماهنگی قابل توجهی میان اندیس‌های سفیدی محاسبه شده و درصد پذیرش سفیدی ۳۰ نمونه مورد ارزیابی وجود ندارد. به منظور بیان کمی ارتباط میان اندیس‌های سفیدی CIE و یوچیدا با درصد پذیرش سفیدی نمونه‌ها، ضرایب همبستگی میان عوامل مذکور محاسبه شده و در شکل ۴ نشان داده شده است.

مطابق شکل ۴ ضریب تعیین میان اندیس سفیدی CIE و یوچیدا با درصد پذیرش سفیدی ۳۰ نمونه سفید فلورسنتی به ترتیب برابر با ۰,۶۹ و ۰,۴۷ است. شیب منفی مشاهده شده در شکل ۴ بیانگر آن است که برای هر دو اندیس سفیدی CIE و یوچیدا با افزایش میزان سفیدی، درصد پذیرش سفیدی نمونه‌ها مطابق نظر ارزیابان کاهش می‌یابد. اما مقایسه دو شکل (الف) و (ب) نشان‌دهنده آن است که در مقایسه با اندیس سفیدی یوچیدا اکثر مشاهده‌کنندگان (صد در صد) نمونه‌هایی با اندیس CIE بالاتر را به عنوان سفید ارزیابی می‌کنند.

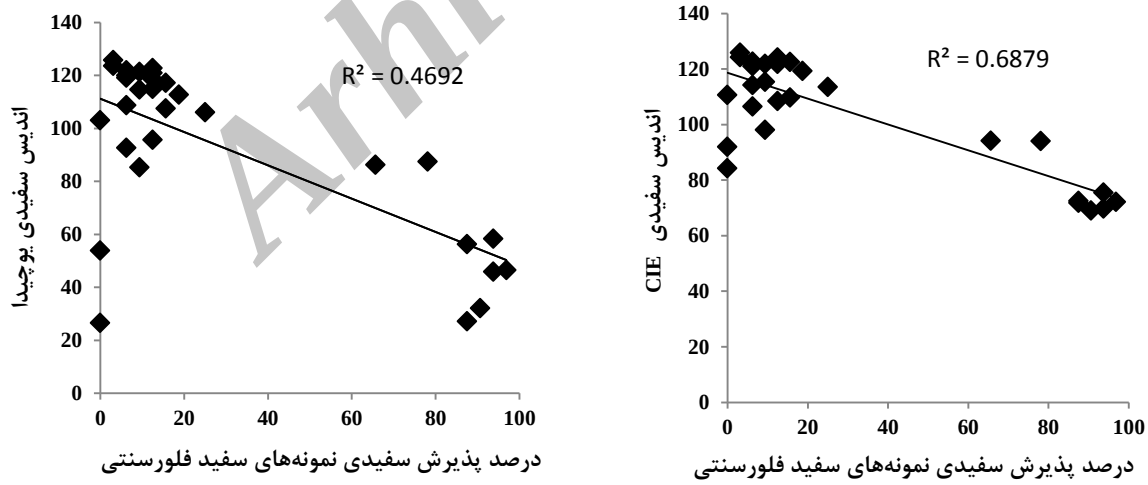
به منظور بررسی اثر اصلاح محدوده ته‌رنگ در میزان مطابقت اندیس‌های سفیدی با نتایج ارزیابی‌های چشمی، این بار تنها ۲۳ نمونه سفیدی که در محدوده ته‌رنگ اصلاح‌شده CIE قرار دارند و از نظر CIE سفید محسوب می‌شوند انتخاب شدند. رابطه میان دو اندیس سفیدی CIE و یوچیدا با درصد پذیرش سفیدی ۲۳ نمونه سفید واقع در محدوده ته‌رنگ اصلاح شده است. محور افقی شماره۲۳ نمونه سفید را به ترتیب افزایش درصد پذیرش سفیدی نشان می‌دهد. محور عمودی نیز مقادیر اندیس سفیدی نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

بررسی شکل ۵ بیانگر عدم ارتباط مستقیم میان افزایش اندیس سفیدی نمونه‌ها با درصد پذیرش سفیدی آنها است. هر چند مقایسه شکل‌های ۳ و ۵ بیانگر آن است که هماهنگی بین اندیس‌های سفیدی و درصد پذیرش سفیدی نمونه‌ها با در نظر گرفتن نمونه‌های واقع در محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE (شکل۵) به جز در انتهای شکل افزایش یافته است.

به منظور بررسی تاثیر اصلاح محدوده ته‌رنگ CIE بر ارزیابی اندیس‌های سفیدی، ضریب تعیین میان دو اندیس سفیدی CIE و یوچیدا با درصد پذیرش سفیدی ۲۳ نمونه سفید واقع در محدوده CIE در شکل۶ (الف و ب) نشان داده شده است.

مطابق شکل ۶ ضریب تعیین میان دو اندیس سفیدی CIE و یوچیدا با درصد پذیرش سفیدی ۲۳ نمونه سفید واقع در محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE به ترتیب برابر با ۰,۹۲ و ۰,۹۰ می باشد. مقایسه دو شکل ۴ و ۶ بیانگر آن است که ضریب تعیین هر دو اندیس سفیدی CIE و یوچیدا با درصد پذیرش سفیدی نمونه‌های واقع در محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE افزایش یافته است. به‌عبارت دیگر با حذف نمونه‌های سفید خارج از محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE، میزان افزایش همبستگی هر دو اندیس سفیدی CIE و یوچیدا با درصد پذیرش سفیدی نمونه‌ها افزایش می‌یابد.

از طرف دیگر مطابق شکل‌های ۴ و ۶، با در نظر گرفتن نمونه‌های واقع در محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE، نتایج ارزیابی فرمول سفیدی یوچیدا به نتایج ارزیابی فرمول سفیدی CIE نزدیک‌تر شده است.

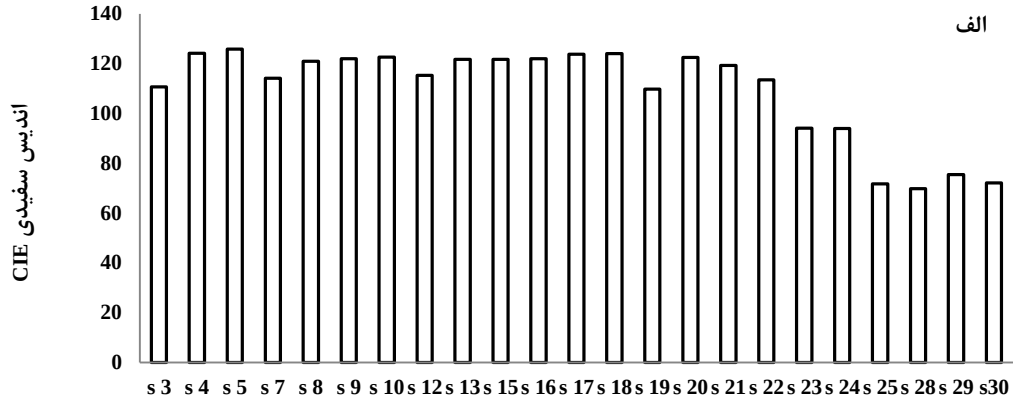


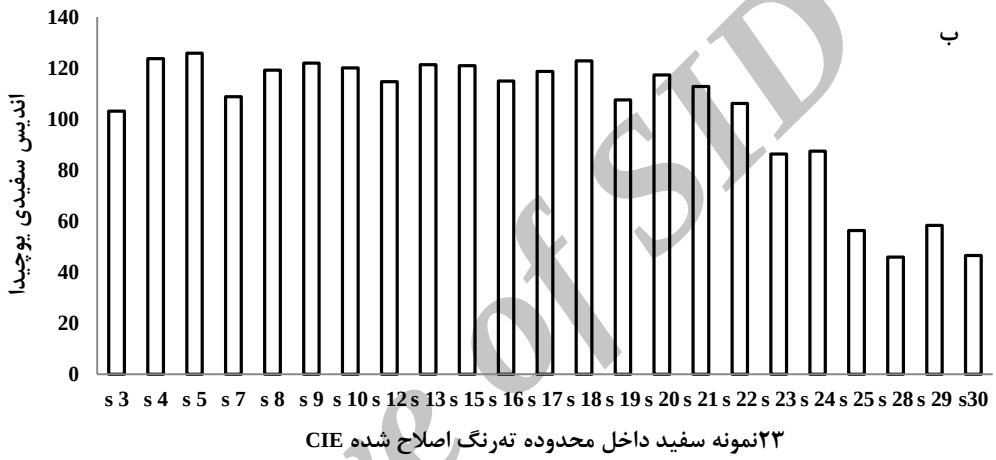
(الف) (ب)

شکل ۴: همبستگی میان اندیس‌های سفیدی با درصد پذیرش سفیدی نمونه‌های سفید فلورسنتی. الف) اندیس سفیدی CIE و ب) اندیس سفیدی یوچیدا.

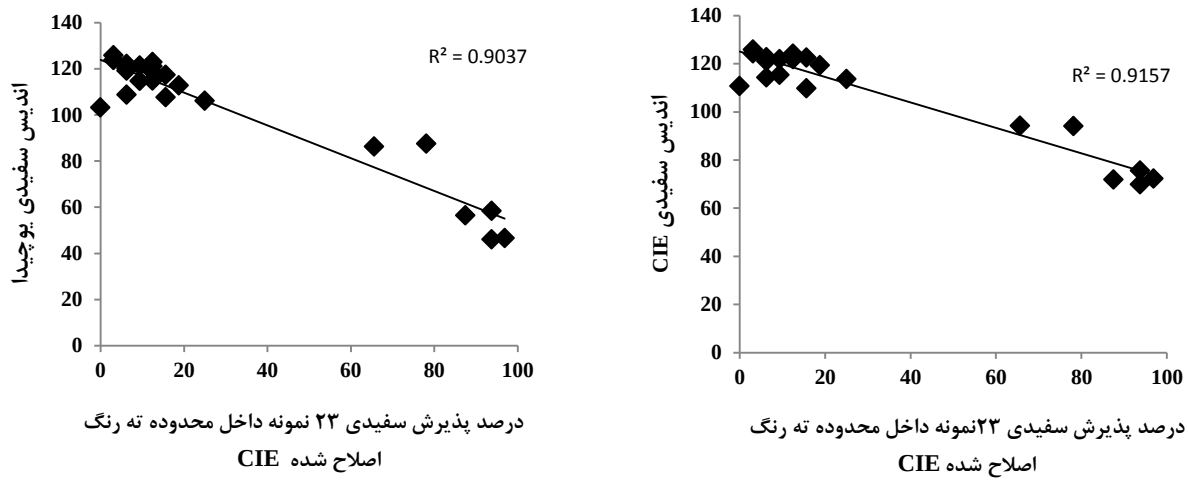
Arhive of SID

www.SID.ir





شکل ۵: اندیس سفیدی ۲۳ نمونه سفید فلورسنتی واقع در محدوده ته‌رنگ اصلاح شدهCIE . الف) اندیس سفیدی CIE، ب) اندیس سفیدی یوچیدا.



شکل۶: همبستگی میان اندیس‌های سفیدی با درصد پذیرش سفیدی ۲۳ نمونه سفیدواقع در محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE. الف) اندیس سفیدی CIE، ب) اندیس سفیدی یوچیدا .

Archive of SID

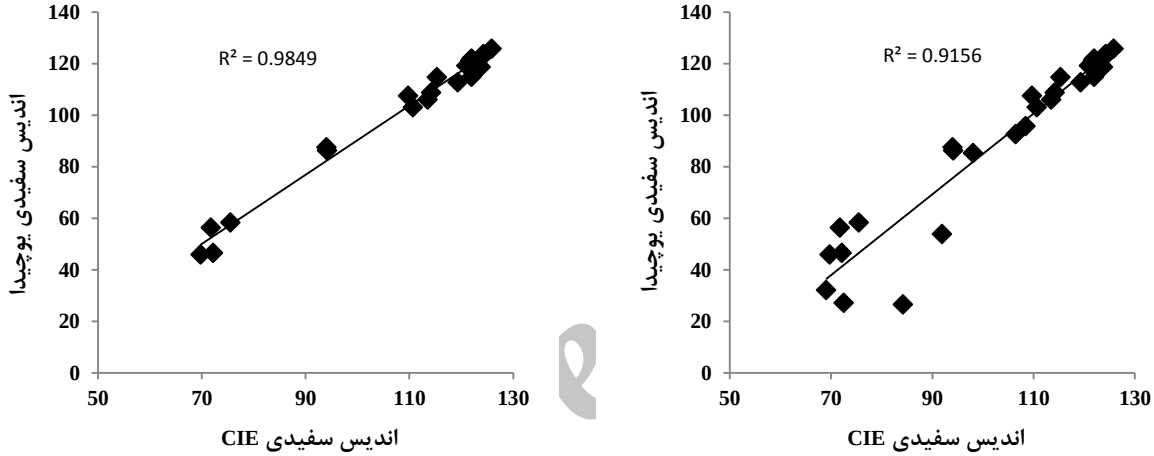
www.SID.ir

به منظور تایید تاثیر محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE در کارآیی اندیس سفیدی یوچیدا، میزان همبستگی بین دو اندیس سفیدی CIE و یوچیدا برای تمامی نمونه‌های سفید و نیز برای ۲۳ نمونه‌ای که از نظر CIE سفید به شمار می‌روند، محاسبه شده و به ترتیب در بخش‌های الف و ب شکل ۷ نشان داده شده است.

مطابق شکل ۷ همبستگی میان دو اندیس سفیدی CIE و یوچیدا برای تمامی نمونه‌های سفید برابر با ۰,۹۲ است در صورتیکه برای ۲۳ نمونه سفید واقع در محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE معادل ۰,۹۸ می باشد. در واقع با حذف نمونه‌های سفید خارج از محدوده ته‌رنگ CIE، دو اندیس سفیدی CIE و یوچیدا نمونه‌های سفید فلورسنتی را مشابه تر ارزیابی می‌کنند.

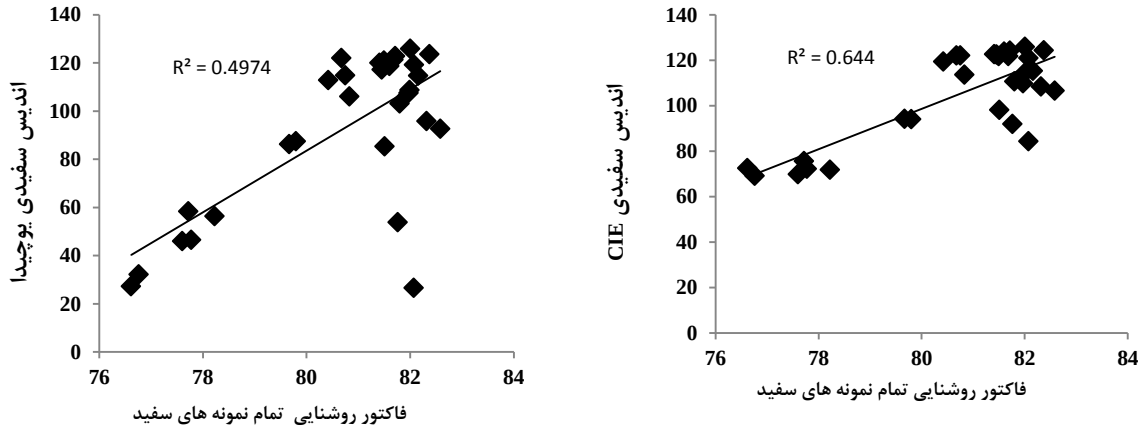
در افزایش سفیدی کالای نساجی به کمک مواد سفید کننده نوری، میزان روشنایی نمونه‌ها افزایش یافته و منجر به افزایش سفیدی منسوج می‌شود. مطابق فرمول سفیدیCIE، میزان روشنایی (Y) به طور مستقل در ارزیابی سفیدی نمونه‌ها اثرگذار است. به منظور مقایسه تاثیرپذیری اندیس سفیدی CIE و یوچیدا از میزان روشنایی نمونه‌های سفید، همبستگی بین دو اندیس مذکور با میزان روشنایی تمام نمونه‌های سفید شکل ۸ و نیز نمونه‌های سفید واقع در محدوده ته‌رنگ اصلاح شدهCIE ، شکل ۹ بررسی می‌گردد.

مطابق شکل ۸، ضریب تعیین میان اندیس سفیدی CIE و میزان روشنایی تمام نمونه‌های سفید ۰,۶۴ و برای اندیس سفیدی یوچیدا معادل ۰,۵است. با توجه به نتیجه کسب شده، همبستگی میان فرمول سفیدی یوچیدا و فاکتور روشنایی نمونه‌ها کمتر از فرمول سفیدی CIE است.



(ب) (الف)

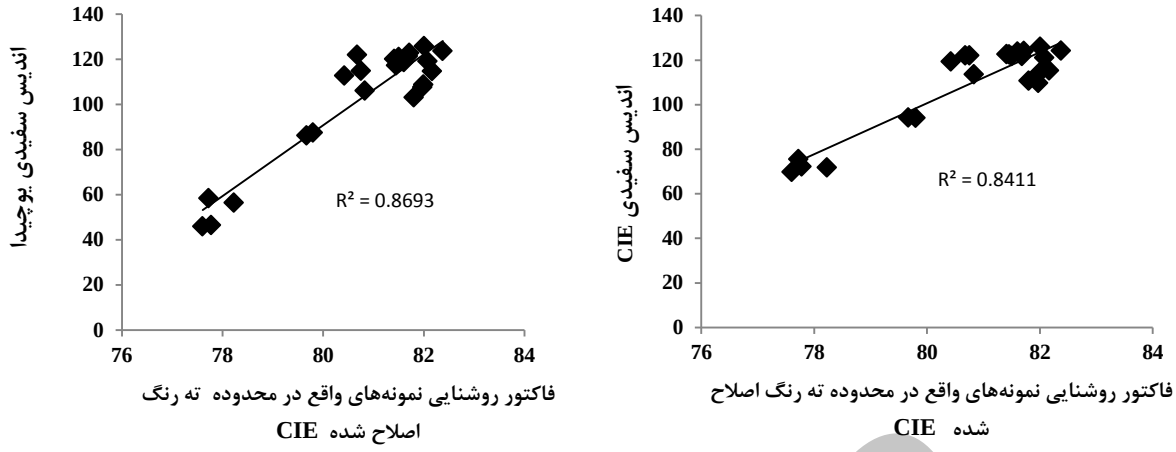
شکل ۷: همبستگی میان دو اندیس سفیدی CIE و یوچیدا برای الف) تمامی نمونه‌های سفید فلورسنتی و ب) ۲۳نمونه سفید واقع در محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE.



(ب) (الف)

شکل ۸: همبستگی اندیس‌های سفیدی با میزان روشنایی تمام نمونه‌های سفید. الف) اندیس سفیدی CIE و ب)اندیس سفیدی یوچیدا.

www.SID.ir



شکل ۹: همبستگی اندیس‌های سفیدی با میزان روشنایی نمونه‌های سفید واقع در محدوده ته‌رنگ اصلاح شده‌CIE. الف)اندیس سفیدی CIE و ب) اندیس سفیدی یوچیدا.

مطابق شکل ۹ ضریب تعیین اندیس سفیدی CIE با میزان روشنایی نمونه‌های سفید واقع در محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE ۰،۸۴ و ضریب تعیین مذکور برای اندیس سفیدی یوچیدا برابر با ۰،۸۷ است. مقایسه دو شکل ۸ و ۹ بیانگر آن است که با حذف نمونه‌های خارج از محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE، میزان همبستگی میان دو اندیس سفیدی CIE و یوچیدا با فاکتور روشنایی نمونه‌ها افزایش یافته است. از طرف دیگر مقایسه شکل‌های ۸ و ۹ بیانگر آن است که با حذف نمونه‌های سفید خارج از محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE، تاثیرپذیری اندیس سفیدی یوچیدا از فاکتور روشنایی مشابه اندیس سفیدی CIE می‌گردد.

۳ـ۲ـ۱ـ تکرارپذیری و دوباره‌تولید

جهت تعیین دقت و صحت نتایج ارزیابی‌های چشمی، مقادیر خطای تکرارپذیری و دوباره تولید نتایج آزمون‌های ارزیابی چشمی با استفاده از معیار تصمیم‌گیری اشتباه[1] مورد بررسی قرار گرفت. آزمون تکرارپذیری به مفهوم مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی چشمی مجدد یک ارزیاب با نتایج ارزیابی اولیه خودش است. جهت بررسی خطای تکرارپذیری، کلیه ارزیابی‌ها تحت شرایط یکسان توسط ۳۵٪ از مشاهده‌کنندگان مجددا انجام شد. مطابق معیار تصمیم‌گیری اشتباه، برای هریک از ارزیابان که در آزمون مجدد نتیجه‌ای متفاوت با ارزیابی اولیه ارائه کنند یک خطا درنظرگرفته می‌شود. نتایج به دست آمده از آزمون تکرارپذیری بیانگر آن است که کم‌ترین و بیشترین میزان خطای تکرارپذیری به ترتیب ۰٪ و ۲۶،۶۷٪ بوده است به طوری که به طور متوسط ۹،۰۹٪ از ارزیابان نتایجی مغایر با ارزیابی اولیه ارائه نمودند. آزمون دوباره تولید به مفهوم مقایسه تصمیمات هر ارزیاب با میانگین تصمیمات کل ارزیابان می‌باشد. در این پژوهش نمونه‌هایی که درصد پذیرش سفیدی ۵۰٪ یا بیشتر دارند به عنوان سفید در نظر گرفته شده و هر تصمیم مخالف به عنوان یک خطا در نظر گرفته می‌شود. نتایج آزمون دوباره تولید نشان داد که کم‌ترین و بیشترین خطا به ترتیب برابر با ۰٪ و ۴۶،۶۷٪ و همچنین مقدار میانگین برابر با ۹،۱۷٪ می‌باشد. روشن است درصد تصمیم‌گیری اشتباه کمتر در هر دو آزمون، به مفهوم تکرارپذیری و دوباره تولید بیشتر نتایج حاصل از آزمون‌های ارزیابی چشمی است. با توجه به نتایج آزمون‌های دوباره تولید و تکرارپذیری گزارش شده در سایر تحقیقات [۲۳-۲۱]، نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر حاکی از آن است که آزمون‌های ارزیابی چشمی از دقت و صحت بالایی برخوردار است.

۴ـ نتیجه‌گیری

در این پژوهش عملکرد فرمول سفیدی یوچیدا در محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE بررسی شد و نتایج با اندیس سفیدی CIE مقایسه گردید. از بین ۳۰ نمونه سفید فلورسنتی آماده‌سازی شده، ۲۳ نمونه طبق محدوده‌های سفیدی و ته‌رنگ تعریف شده فرمول سفیدی CIE، سفید محسوب می‌شدند. ضمن آنکه کلیه نمونه‌های سفید در بازه تعریف شده فرمول سفیدی یوچیدا واقع شده بودند. درصد پذیرش سفیدی ۳۰ نمونه سفید فلورسنتی بر اساس ارزیابی مشاهده‌کنندگان به دست آمد. در ادامه همبستگی میان دو اندیس سفیدی CIE و

1- Wrong decision

Archive of SID
www.SID.ir

یوچیدا با یکدیگر و با درصد پذیرش سفیدی نمونه‌های سفید فلورسنتی محاسبه شد. نتایج نشان داد میزان همبستگی دو اندیس سفیدی CIE و یوچیدا با درصد پذیرش سفیدی نمونه‌های سفید واقع در محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE بیشتر از کل نمونه های سفید است. از طرف دیگر اصلاح محدوده ته‌رنگ سبب نزدیکی نتایج ارزیابی دو اندیس یوچیدا و CIE شده است. همچنین با حذف نمونه‌های سفید خارج از محدوده ته‌رنگ اصلاح شده CIE تاثیرپذیری اندیس سفیدی یوچیدا از میزان روشنایی نمونه‌های سفید افزایش یافته و کارآیی آن به فرمول سفیدی CIE نزدیک‌تر می‌گردد.

۵ـ مراجع

۱. ر. جعفری، سفیدی: تعاریف، مفاهیم و اندیس‌ها، *نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ*، (۱۳۹۲)۴، ۵۶-۴۹.

2. M. Shahmohammadi, Evaluation of performance of some color difference formula for assessment of fluorescent white samples. MS thesis, Kar Higher Education Institute, Iran, 2016.
3. R. Jafari, M. Shahmohammadi, The research about white color's situation in the culture and literature of Quran concepts. First International Conference on Social Studies, cultural, religious study Ghadir. Rasht, Iran, 2016.
4. S. H. Amirshahi, F.Agahian, Basis functions of the total radiance factor of fluorescent whitening agents. *Text. Res. J*. 76(2006), 197-207.
5. F. Steves, C. Noronha, M. Marinho, Optical brightener's effect on white and colored textiles. World Textile Conference - 4th AUTEX Conference, (2004), 22-24.
6. Xu. Changhai, The chemistry and perception of fluorescent white materials. PhD thesis, North Carolina State University, 2009.
7. R. Jafari, S. H. Amirshahi, Variation in the decisions of observers regarding the ordering of white samples. *Color Technol*. 124(2008), 127-131
8. S. H. Amirshahi, F. Aghahian, Computational color physics, Arkan danesh, Isfahan .2007.
9. CIE Colorimetry, Publication CIE No. 10, 3rd Ed, 2012.
10. J. Lin, R. Shamey, D. Hinks, Factors affecting the whiteness of optically brightened material. *Optica*. 29(2012), 2289-2299.
11. Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, 06:34:05, E313-10, 2012.
12. R. Jafari, Comparing of selected whiteness formulae in assessment of sample out of CIE 1982 whiteness formula restriction boundaries. MS thesis. Amirkabir University of Technology, Iran. 2006.
13. H.Uchida, A new whiteness formula. *Color Res. Appl*. 23(1998), 202-209.
14. R. Jafari, S. H. Amirshahi, A comparison of the CIE and Uchida whiteness formulae as predictor of average visual whiteness evaluation of textiles. *Text. Res. J*. 77(2007), 756-763.
15. M. Tutak, O. Demiryurek, S. Bulut, D. Haroglu, Analysis of the CIE whiteness and whiteness tint of optically whitened cellulosic fabrics. *Text. Res. J*. (2010), 1-9.
16. Y.Lu, J. Lin, R. Shamey, Influence of texture on perceived whiteness of objects. Color and imaging conference, 21st Color and Imaging Conference Final Program and Proceedings, (2013), 128-133.
17. J. Lin, R. Shamey, J. Trussell , The effect of texture on perception and measurement of whiteness *AATCC Rev*. 12(2012), 61-68.
18. R. Jafari, M. Safi, M. Shahmohammadi, The correlation of color difference formulae with differential functions of white sample. The 6th international color and coating congress, ICST, Tehran, Iran (2015).
19. R. Jafari, M. Safi, M. Shahmohammadi, Investigation of the performance of modified CIE tinting formula. The 6th international color and coating congress, ICST, Tehran, Iran (2015).
20. R. Jafari, M. Safi, M. Shahmohammadi, The effect of gender observer in the whiteness assessment. Iran's 10th national conference of textile engineering, Isfahan University of Technology Faculty of Textile Engineering, Isfahan, Iran (2016).
21. S. Westland, T. L. V. Cheung, O. R. Lozman, A metric for predicting perceptual blackness, in Proceeding of 14th Color Imaging Conference, Arizona, U.S.A. (2006), 14-17.

۲۲. ر. جعفری، ف. عامری، ن. خلیلی، تأثیر برخی عوامل جلوه ظاهری خودرو بر درک چشمی سیاهی از دیدگاه مشتری، *نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ*، (۱۳۹۵)۱۰، ۱۹۳-۱۸۵.

23. J. R. Clonts Haslup, R. Shamey, D. Hinks, The effect of hue on the perception of blackness using Munsell samples. *Color Res. Appl*. 38(2013), 423–428.

Archive of SID

www.SID.ir