استاندارد ملی ایران- ایزو

۲۰۷۴۷-۳

چاپ اول

۱۳۹۵

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization

INSO-ISO

20747-3
1st.Edition
2016

Identical with
ISO11664-1:
2007

رنگ‌سنجی- قسمت ۳:
مقادیر محرک سه‌گانه استاندارد CIE

Colorimetry --
Part 3: CIE tristimulus values

ICS: 17.180.20

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است .

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان ، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود . پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب ، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود . بدین ترتیب ، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند . در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور ، از آخرین پیشرفت های علمی ، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود .

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون ، برای حمایت از مصرف کنندگان ، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی ، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی ، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور ، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید . همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره ، آموزش ، بازرسی ، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی ، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش ، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم ، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند . ترویج دستگاه بین المللی یکاها ، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش ، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد
«رنگ‌سنجی- قسمت۳: مقادیر محرک سه‌گانه استاندارد CIE »
(چاپ اول)

رئیس :	**سمت و/ یا محل اشتغال:**
عموزاده، علی (دکترای شیمی آلی)	عضو هیئت علمی دانشگاه سمنان
دبیر :	
تیموری، مهدی (کارشناسی ارشد فیزیک ذرات بنیادی)	شرکت سنگواره آهوان
اعضاء : (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
امیرجان، سمیه (کارشناسی ارشد ریاضی محض)	مربی دانشگاه سمنان
خدام عباسی، روح ا... (کارشناسی فیزیک)	رئیس اندازه شناسی، اوزان و مقیاس‌های اداره کل استاندارد استان سمنان
دارائی، مهدی (کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی)	مربی اداره کل فنی و حرفه‌ای استان سمنان
دوستمحمدی، آزاده (کارشناسی ارشد شیمی معدنی)	کارشناس سازمان صنعت، معدن و تجارت استان سمنان
فلاحی، زهرا (کارشناسی ارشد زیست شناسی)	شرکت دقیق پردازان سمنان
نظری، محمد (کارشناسی برق و الکترونیک)	اداره کل استاندارد استان سمنان
یغمایی، فرانک (کارشناسی ارشد کشاورزی)	شرکت دقیق پردازان سمنان

یغمایی، فرزاد (کارشناسی ارشد عمران)	شرکت متین گچ سمنان

ویراستار :

خدام عباسی، روح ا... (کارشناسی فیزیک)	رئیس اندازه شناسی، اوزان و مقیاس‌های اداره کل استاندارد استان سمنان

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد ج
پیش گفتار و
مقدمه ز
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف، علائم و احتصارات ۲
۴ روش استاندارد ۳
۵ روش های مختصر ۵
۶ راه حل مکمل برای داده های ورودی ۷
۷ مختصات رنگ ۹
۸ روش های عددی ۱۰
۹ ارائه نتایج ۱۰

پیش‌گفتار

استاندارد «رنگ‌سنجی- قسمت ۳: مقادیر محرک سه‌گانه استاندارد **CIE**» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده است و در دویست و هشتاد و سومین اجلاس کمیته ملی استاندارد اندازه شناسی مورخ ۱۳۹۵/۰۱/۲۴ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 11664-3: 2007(E), Colorimetry-Part 3:CIE tristimulus values.

مقدمه

محرک با توزیع طیفی متفاوت، می‌توانند یکسان به نظر برسند. مشخص‌کردن محرک‌های رنگ یکسانی که به یک مشاهده گر با یک مجموعه‌ی معین از توابع رنگ همانندی، داده‌می‌شود یک عملکرد مهم در رنگ‌سنجی به حساب می‌آید. این امر توسط محاسبات مجموعه‌ای از سه مقادیر سه‌گانه برای هر تحریک انجام می‌پذیرد. تساوی مقادیر سه‌گانه، حاکی از تساوی ظاهر رنگ در شرایط تشعشع و دید مشابه می‌باشد. این استاندارد بر اساس پیشنهادات بلند مدت کمیسیون بین‌المللی روشنایی (CIE, 2004)، برای محاسبه مقادیر سه‌گانه تدوین گردیده است.

سری استانداردهای ملی ایران- ایزو ۳-۲۰۷۴۷ (که این استاندارد قسمت سوم آن است)، در مورد رنگ‌سنجی و توابع رنگ همانندی برای مشاهده گران مختلف مطابق با استانداردهای بین‌المللی CIE صحبت می‌کند. این سری از استاندارد شامل قسمت‌های زیر می‌باشد:

- رنگ‌سنجی-قسمت۲: منابع نوری استاندارد CIE
- رنگ‌سنجی-قسمت۳: مقادیر محرک سه‌گانه استاندارد CIE
- رنگ‌سنجی-قسمت ۴: فضای رنگ L*a*b* استاندارد CIE 1976
- رنگ‌سنجی- قسمت ۶: فرمول اختلاف رنگ CIEDE2000

رنگ‌سنجی- قسمت ۳: مقادیر محرک سه‌گانه استاندارد CIE

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین روش های محاسبه مقادیر محرک سه‌گانه محرک‌های رنگ است که توزیع های طیفی آنها تعیین شده است. این محرک‌های رنگ ممکن است توسط منابع نور خودافروز یا توسط اشیای بازتاب‌کننده یا عبور دهنده، تولید شده باشند.

لازمه‌ی استاندارد مذکور، دسته‌بندی تابع محرک در فواصل اندازه‌گیری ۵ نانومتر یا کمتر در گستره طول موج حداقل ۳۸۰ نانومتر تا ۷۸۰ نانومتر می‌باشد. روش‌های برون‌یابی برای مواردی پیشنهاد می‌شود که گستره طول موج اندازه‌گیری شده کمتر از ۳۸۰ نانومتر تا ۷۸۰ نانومتر باشد.

حاصل‌جمع با فواصل یک نانومتر، در گستره طول موج ۳۶۰ نانومتر تا ۸۳۰ نانومتر، به عنوان روش استاندارد تعریف شده است. روش‌های مختصر جایگزین، برای بازه‌های بزرگتر (تا ۵ نانومتر) و گستره کوچکتر (پایین تر از ۳۸۰ نانومتر تا ۷۸۰ نانومتر) تعریف شده‌اند. روش‌های جایگزین، تنها در مواقعی که اقتضا کند و کاربر از تاثیرات آن‌ها بر روی نتایج نهایی آگاه باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

استاندارد مذکور ممکن است در رابطه با مشاهده‌گر رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1931 یا مشاهده‌گر رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1964 مورد استفاده قرار گیرد.

۲ مراجع الزامی[1]

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 CIE DS 017. 2/E: 2009. ILV: International Lighting Vocabulary.

2-2 ISO 11664-1: 2007(E)/CIE S 014-1/E: 2006. Joint ISO/CIE Standard: Colorimetry Part 1- CIE Standard Colorimetric Observers.

---

[1] 1-NORMATIVE REFERENCES

2-3 ISO 11664-2:2007(E)/CIE S 014-2 /E: 2006. Joint ISO/CIE Standard: Colorimetry Part 2- CIE Standard Illuminants.
2-4 ISO 23539: 2005(E)/CIE S 010/E: 2004. Joint ISO/CIE Standard: Photometry - The CIE

۳ اصطلاحات و تعاریف، علائم و اختصارات[۱]

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف و نمادهای موجود در استاندارد بند ۲-۱، نمادها و اختصارات زیر نیز به کار می رود:

k, k_{10}	ثابت‌های نرمال
Km	بیشینه اثر نورانی طیفی تشعشع در سیستم‌های استاندارد نورسنجی فیزیکی CIE
$Km,10$	بیشینه اثر نورانی طیفی تشعشع وقتی تابع $V_{10}(\lambda)$ برای نورسنجی استفاده می‌شود
$R(\lambda)$	ضریب انعکاس طیفی
$S(\lambda)$	توزیع طیفی نسبی یک منبع نور
$V(\lambda)$	تابع بازده نورانی طیفی در سیستم نورسنجی فیزیکی استاندارد CIE
$V_{10}(\lambda)$	تابع بازده نورانی طیفی هنگامی که از تابع $y_{10}(\lambda)$ در نورسنجی استفاده می شود
$W_x(\lambda), W_y(\lambda), W_z(\lambda)$	توابع وزنی از پیش حساب شده برای یکپارچگی محرک سه‌گانه با استفاده از مشاهده‌گر رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1931
$W_{x,10}(\lambda), W_{y,10}(\lambda), W_{z,10}(\lambda)$	توابع وزنی از پیش حساب شده برای یکپارچگی محرک سه‌گانه با استفاده از مشاهده‌گر رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1964
x, y, z	مختصات رنگ محاسبه‌شده با استفاده از مشاهده‌گر رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1931
x_{10}, y_{10}, z_{10}	مختصات رنگ محاسبه‌شده با استفاده از مشاهده‌گر رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1964
$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$	توابع رنگ همانندی مشاهده‌گر رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1931 (همچنین به عنوان استاندارد مشاهده‌گر رنگ‌سنجی CIE 2° نیز شناخته‌می‌شود)
$\bar{X}_{10}(\lambda), \bar{Y}_{10}(\lambda), \bar{Z}_{10}(\lambda)$	توابع رنگ همانندی مشاهده‌گر رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1964 (همچنین به عنوان استاندارد مشاهده‌گر رنگ‌سنجی CIE 10° نیز شناخته‌می‌شود)
X, Y, Z	مقادیر محرک سه‌گانه محاسبه‌شده با استفاده از مشاهده‌گر رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1931
X_{10}, Y_{10}, Z_{10}	مقادیر محرک سه‌گانه محاسبه‌شده با استفاده از مشاهده‌گر رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1964
$\beta(\lambda)$	ضریب تشعشع طیفی
$\Delta\lambda$	فاصله طول‌موجی

---

[1] 1-DEFINITION

$\varphi_\lambda(\lambda)$	تابع محرک (توصیف یک محرک با استفاده از تراکم طیفی یک مقدار تشعشع-سنجی، مانند تشعشع یا منبع تشعشع به عنوان تابعی از طول موج)
$\varphi(\lambda)$	تابع محرک نسبی(توزیع طیفی نسبی تابع محرک)
λ	طول‌موج
$\rho(\lambda)$	قابلیت انعکاس طیفی
$\tau(\lambda)$	قابلیت عبور طیفی

۴ روش استاندارد

این استاندارد می‌تواند همراه با استاندارد مشاهده‌گر رنگ‌سنجی CIE 1931 یا مشاهده‌گر رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1964 استفاده شود. اگر زاویه چشم با محرک(یا میدان‌هایی که معادل همان رنگ را تولید کنند) بین حدود ۱درجه و ۴ درجه باشد، استاندارد مشاهده‌گر رنگ‌سنجی CIE 1931 باید استفاده شود. اگر این زاویه بزرگتر از ۴ درجه باشد استاندارد مشاهده‌گر رنگ‌سنجی CIE 1964، باید مورد استفاده قرار گیرد. برای همه محرک‌های رنگ که قرار است با یکدیگر مقایسه شوند، باید از مشاهده‌گر رنگ‌سنجی یکسان استفاده کرد.

۴-۱ محاسبه مقادیر محرک سه‌گانه

در سیستم رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1931، مقادیر محرک سه‌گانه X، Y و Z به صورت انتگرال‌هایی بر روی گستره طیفی ۳۶۰ نانومتر تا ۸۳۰ نانومتر طبق معادلات زیر تعریف می‌شوند:

$$\begin{aligned} X &= k\int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda \\ Y &= k\int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda \\ Z &= k\int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda \end{aligned} \qquad (۱)$$

که $\varphi_{\lambda}(\lambda)$ تابع محرک مورد ارزیابی، $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ توابع رنگ همانندی مشاهده‌گر رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1931 و k یک ثابت نرمال بوده که در زیر تعریف شده است. روش استاندارد برای برآورد این انتگرال‌ها، مجموع عددی از ۳۶۰ نانومتر تا ۸۳۰ نانومتر در فواصل طول‌موجی $\Delta\lambda$ معادل ۱ نانومتر با معادلات زیر است:

$$\begin{aligned} X &= k\sum_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda)\bar{x}(\lambda)\Delta\lambda \\ Y &= k\sum_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda)\bar{y}(\lambda)\Delta\lambda \\ Z &= k\sum_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda)\bar{z}(\lambda)\Delta\lambda \end{aligned} \qquad (۲)$$

که با استفاده از توابع رنگ همانندی $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ که با هفت رقم معنادار در استاندارد بند ۲-۲ تعریف و یک تابع محرک $\varphi_{\lambda}(\lambda)$ ، با استفاده از روش مثلث متقارن یا فیلتر میان‌گذر ذوزنقه‌ای، با نیم عرضی معادل یک نانومتر، اندازه‌گیری شد.

مقادیر محرک سه‌گانه، اغلب بر اساس یک مرجع نسبی برآورد می‌شوند. در این موارد به جای استفاده از تابع محرک $\varphi_{\lambda}(\lambda)$ ، از تابع محرک نسبی $\varphi(\lambda)$ می‌توان استفاده کرد. لازم است که برای محرک‌های رنگی که با هم در نظر گرفته می‌شوند، تمام توزیع‌های طیفی مورد بحث بر اساس یک مرجع نسبی ارزیابی شوند. بنابراین مقادیر محرک سه‌گانه به‌دست آمده از نظر حسی، نسبی هستند که می‌توان تمام مقادیر مورد بحث را در همان ثابت اختیاری منفرد k، ضرب کرد. اگرچه در موارد خاص، ضریب k باید مطابق قراردادهای توافق شده انتخاب گردد؛ این قراردادها در بندهای ۴-۲ و ۴-۳ توضیح داده می‌شوند.

یادآوری- گستره طول موج ۳۶۰ نانومتر تا ۸۳۰ نانومتر با روش تعیین شده در استاندارد بند ۲-۲، مطابق است. بند ۵ این استاندارد روش‌های مختصری را مشخص می‌کند که می‌توان از آن‌ها در مواقع عدم دسترسی به داده‌ها در سراسر گستره کامل ۳۶۰ نانومتر تا ۸۳۰ نانومتر در فواصل ۱ نانومتری استفاده کرد.

۴-۲ ثابت نرمال برای منابع نور خودافروز

انتخاب ضریب ثابت k برای اجسام خودافروز، معمولا بر اساس راحتی و سادگی انجام می‌شود. هرچند که اگر در سیستم رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1931، لازم است که مقدار عددی Y با قدر مطلق مقدار نورسنجی فوتوپیک[1] برابر باشد، در نتیجه $\varphi_{\lambda}(\lambda)$ باید تراکم طیفی مقدار تشعشع مربوط به مقدار نورسنجی مورد نیاز باشد و ثابت k، برابر با 683 Im.w^{-1} تعیین شود. همچنین مقدار عددی K_m بازده روشنایی طیفی بیشینه، در سیستم نورسنجی فیزیکی استاندارد CIE(استاندارد بند ۲-۴ را ببینید) است.

۴-۳ ثابت نرمال برای اجسام منعکس‌کننده یا عبوردهنده

در تعیین رنگ اجسام منعکس‌کننده یا عبوردهنده باید از تابع محرک نسبی $\varphi(\lambda)$ به جای تابع محرک $\varphi_{\lambda}(\lambda)$ همانند زیر استفاده کرد:

$$\varphi(\lambda) = R(\lambda)S(\lambda) \quad (۳)$$

$$\varphi(\lambda) = \beta(\lambda)S(\lambda) \quad (۴)$$

$$\varphi(\lambda) = \rho(\lambda)S(\lambda) \quad (۵)$$

$$\varphi(\lambda) = \tau(\lambda)S(\lambda) \quad (۶)$$

---

[1] 1-Photopic

که در آن $R(\lambda)$ ضریب انعکاس طیفی، $\beta(\lambda)$ ضریب تشعشع طیفی، $\rho(\lambda)$ قابلیت انعکاس طیفی، $\tau(\lambda)$ قابلیت عبور طیفی و $S(\lambda)$ توزیع طیفی نسبی منبع نور می‌باشد.

در تمام این موارد، ثابت k باید به گونه‌ای انتخاب شود که در تمام طول موج‌ها برای اجسامی که $R(\lambda)$ (یا $\beta(\lambda)$، $\rho(\lambda)$، $\tau(\lambda)$) برابر یک دارند، مقدار Y=100 باشد. بنابراین:

$$k = 100 \Big/ \sum_{\lambda} S(\lambda)\bar{y}(\lambda)\Delta\lambda \qquad (۷)$$

که در آن گستره و فاصله جمع و مقادیر $\bar{y}(\lambda)$ ، مانند معادله‌های (۲) می‌باشد.

بنابراین مقادیرY برای تمام اجسام برابر درصد مقادیر ضریب انعکاس روشنایی (در مورد $R(\lambda)$)، ضریب تشعشع (در مورد $\beta(\lambda)$)، قابلیت انعکاس روشنایی (در مورد $\rho(\lambda)$) یا قابلیت عبور روشنایی (در مورد $\tau(\lambda)$) است. این موضوع به دلیل معادل بودن تابع $\bar{y}(\lambda)$ با تابع بازده روشنایی طیفی $V(\lambda)$ استاندارد CIE می‌باشد.

یادآوری- همه چهار مقدار $R(\lambda)$، $\beta(\lambda)$ ، $\rho(\lambda)$ و $\tau(\lambda)$ نسبت‌های معین و ثابت هستند. اگر هرکدام از این مقادیر برای راحتی، به درصد بیان شوند برای به‌دست آوردن k صحیح، باید آن‌ها را بر ۱۰۰ تقسیم کرد.

۴-۴ سیستم نورسنجی استاندارد CIE 1964

توابع رنگ همانندی $\bar{x}_{10}(\lambda), \bar{y}_{10}(\lambda), \bar{z}_{10}(\lambda)$ مشاهده‌گر رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1964 را می‌توان به جای $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ استفاده نمود. در این حالت باید در تمامی معادلات این استاندارد، نمادهای X_{10}، Y_{10}، Z_{10} و k_{10} را به جای X، Y، Z و k مورد استفاده قرار داد.

یادآوری- استفاده از تابع $\bar{y}_{10}(\lambda)$ برای نورسنجی (مانند بند ۴-۲) با مقدار مناسب $K_{m,10}$ توسط کنفرانس عمومی اوزان و اندازه‌ها، استاندارد یا تایید نشده‌است. اگرچه گزارش فنی۱۶۵ سال ۲۰۰۵ استاندارد CIE (CIE 2005a) پیشنهاد کرده است که اگر منبع نور باید به‌صورت فراحفره‌ای[1] تعیین شود، می‌توان از این تابع، به صورت ویژه استفاده نمود.

۵ روش‌های مختصر

در بعضی موارد، روش استاندارد تعریف شده در بند ۴ این استاندارد را نمی‌توان استفاده کرد، زیرا این تابع محرک یا تابع محرک نسبی در سراسر گستره کامل ۳۶۰ نانومتر تا ۸۳۰ نانومتر با فواصل یک نانومتری، قابل استفاده نمی‌باشد.

---

[1] Para-foveally

۵-۱ روش مختصر برای داده ۵ نانومتری

اگر ثابت‌شود که خطاهای به‌دست‌آمده برای مقصود کاربر مهم نیست، مقادیر محرک سه‌گانه X، Y، Z باید با استفاده از جمع عددی از ۳۸۰ نانومتر تا ۷۸۰ نانومتر، در فواصل طول‌موج $\Delta\lambda$ برابر با ۵ نانومتر، مطابق معادلات (۲) تا (۷) محاسبه شود. در این معادلات، توابع رنگ همانندی استفاده شده $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ با هفت رقم معنادار در استاندارد بند ۲-۲، تعریف شده است.

اگر داده‌ی تابع محرک یا تابع محرک نسبی بر اساس فواصل طول موج (۲، ۳ یا ۴) نانومتر تقسیم شوند، تحت شرایط یکسان، باید از روش یکسان استفاده شود.

اگر فاصله طول موج کمتر از ۵ نانومتر بوده اما مضرب صحیحی از ۱ نانومتر نباشد، هم توابع رنگ همانندی و هم منبع نوری، یا داده‌ی محرک باید طوری درون‌یابی شوند که بر هم منطبق شوند.

یادآوری۱- برخی از منابع توابع رنگ همانندی را با استفاده از استاندارد بند ۲-۲ همراه با مقادیر گرد شده به ۴ رقم معنادار ارائه می‌کنند. اگر ثابت شود خطاهای به‌دست آمده برای مقصود کاربر مهم نیست، از این مقادیر گرد شده می‌توان استفاده نمود.

یادآوری۲- برخی از طیف‌سنج‌های آرایه‌ای CCD، داده‌ها را در فواصل طول موجی نابرابر، ثبت می‌کنند. در این صورت $\Delta\lambda$ در معادلات (۲) تا (۷) تغییر خواهد کرد.

۵-۲ روش مختصر برای داده‌های (۱۰ یا ۲۰) نانومتر برای اشیای منعکس‌کننده یا عبوردهنده

این استاندارد روش‌های مختصر برای داده‌های (۱۰ یا ۲۰) نانومتری را پوشش نمی‌دهد و تنها برای داده‌هایی با فواصل ۵ نانومتری یا کمتر اعمال می‌شود. یک کمیته فنی CIE (TC 1-71) در حال حاضر مشغول کار برای ایجاد یک توصیه‌نامه در این زمینه می‌باشد.

یادآوری۱- یک روش رایج برای محاسبه مقادیر محرک سه‌گانه X، Y، Z برای اجسام منعکس‌کننده یا عبوردهنده در فواصل طول‌موجی $\Delta\lambda$ برابر (۱۰ یا ۲۰) نانومتر، استفاده از روابط زیر است:

$$
\begin{aligned}
X &= \sum_{\lambda} R(\lambda) W_X(\lambda) \\
Y &= \sum_{\lambda} R(\lambda) W_Y(\lambda) \\
Z &= \sum_{\lambda} R(\lambda) W_Z(\lambda)
\end{aligned}
\qquad (۸)
$$

که در آن‌ها:

$R(\lambda)$ فاکتور انعکاس طیفی اندازه‌گیری شده با روش مثلث متقارن یا فیلتر میان‌گذر ذوزنقه‌ای با نیم عرض معادل با فاصله‌ی طول موجی (۱۰ یا ۲۰) نانومتر و همچنین $W_x(\lambda)$، $W_y(\lambda)$ و $W_z(\lambda)$ توابع وزنی از پیش محاسبه شده می‌باشند که در محاسبه‌ی توابع

رنگ همانندی، توزیع طیفی نسبی منبع نور، فاصله‌ی طول‌موجی، پهنای باند و ثابت نرمال کننده استفاده می‌شوند تا با فرض تغییرات آرام $R(\lambda)$ بر روی گستره اندازه‌گیری شده (فاصله (۱۰ یا ۲۰) نانومتری)، بیشترین تطابق را با روش استاندارد(بند ۴ را ببینید) داشته باشند. فاکتور انعکاس طیفی $R(\lambda)$ در معادلات (۸) می‌تواند با فاکتور تشعشع طیفی $\beta(\lambda)$، قابلیت انعکاس طیفی $\rho(\lambda)$، یا قابلیت عبور طیفی $\tau(\lambda)$ جایگزین شود.

یادآوری۲- به این منظور، مثال‌هایی از توابع وزنی از پیش محاسبه شده در استاندارد ASTM E308-08(ASTM, 2008a) آورده شده است.

یادآوری۳- جزئیات محاسبه‌ی توابع وزنی، در(Fairman, 1985; Venable, 1989; ASTM, 2008b; Li et al., 2004) منتشر شده است.

۵-۳ روش مختصر برای داده های (۱۰ یا ۲۰) نانومتر برای منابع نور خودافروز

این استاندارد روش‌های مختصر برای داده‌های (۱۰ یا ۲۰)نانومتر را پوشش نمی‌دهد و تنها برای داده‌هایی با فواصل ۵ نانومتری یا کمتر کاربرد دارد. توصیه می‌شود فواصل بیش از ۵ نانومتری برای منابع نور استفاده نشود، مگر در مواقعی که نشان داده شود برای منبع نور مشخص تحت ارزیابی، این خطاها برای یک فاصله بزرگتر، قابل چشم پوشی است. برای بسیاری از منابع نور خودافروز، به ویژه منابعی که پهنای باند کمی دارند، مانند لامپ‌های فلوئورسنت، لامپ‌های تخلیه گازی و دیودهای نوری، محاسبه‌ی مقادیر محرک سه‌گانه حاصل از توابع محرک سه‌گانه که از فواصل طول موجی $\Delta\lambda$ بزرگتر از ۵ نانومتری اندازه‌گیری شد، نتایج درستی را ارائه نخواهد کرد.

۶ عمل مکمل برای داده‌های ورودی

این بند به طرح عمل مکمل برای داده‌هایی می‌پردازد که لازم است به روش‌های بندهای ۴ و ۵ اعمال شود یا اینکه داده‌های اندازه‌گیری شده را برای بهبود درستی، تصحیح کند.

استفاده از روش‌های گفته شده در بندهای ۴ و ۵ این استاندارد، مستلزم معلوم بودن تابع محرک $\varphi_{\lambda}(\lambda)$، یا تابع محرک نسبی $\varphi(\lambda)$ بر روی گستره طول موج، یک فاصله و با یک پهنای باند مشخص است. برای هر سری از محاسباتی که در آن داده‌ها برای رنگ‌های مختلفی هستند که قرار است با دقت مقایسه شوند استفاده از یک گستره طول موج، فاصله و پهنای باند، مهم است. اگرچه در کاربردهای عملی ممکن است تمام داده‌های مورد نیاز در دسترس نباشد، زیرا اندازه‌گیری در فواصل بزرگ‌تر از حد مشخص، انجام گرفته است و یا اینکه فواصل طول موجی نامساوی استفاده شده و یا اینکه داده‌ها در حدود طیفی از قلم افتاده و یا پهنای باند با فواصل نمونه برداری یکسان نبوده و یا شکل فیلتر میان‌گذر مثلث متقارن یا ذوزنقه‌ای نبوده است. در برخی موارد می‌توان داده‌های لازم اما اندازه‌گیری نشده را پیش‌بینی نمود، اگرچه محاسبه با داده‌های پیش‌بینی شده ممکن است دقیق نباشد. بنابراین بهتر است تنها در مواقعی که کاربر تاثیر روش‌های پیش‌بینی را بر روی نتایج نهایی بازبینی کرده و نشان داده است که خطاهای به‌دست آمده برای هدف کاربر مهم نیست، می‌توان از این روش‌ها، استفاده کرد. چند مورد تذکر و راهنمایی در بندهای ۶-۱، ۶-۲ و ۶-۳ آورده شده است.

۶-۱ برون‌یابی

برون‌یابی داده‌هایی که در گستره کوچکتر از ۳۸۰ نانومتر تا ۷۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شده‌اند، ممکن است منجر به خطاهایی شود و تنها در مواقعی باید استفاده شود که بتوان نشان داد خطاهای حاصله، ناچیز و قابل چشم‌پوشی هستند.

یادآوری۱- وقتی مقادیر مورد نیاز پیش‌بینی شده $\varphi_\lambda(\lambda), \varphi(\lambda), R(\lambda), \beta(\lambda), \rho(\lambda)$ یا $\tau(\lambda)$ در خارج از محدوده‌ی اندازه‌گیری‌شده باشد، ممکن است مقادیر اندازه‌گیری نشده، با یک تقریب ناهنجار برابر با نزدیک‌ترین مقدار اندازه‌گیری‌شده مقدار مناسب باشد (CIE, 2004) یا ممکن است از یک برونیابی خطی ساده استفاده شود (CIE, 2005b) . مقادیر غائب ممکن است با سایر مقادیر داده شوند مثل صفر یا ٪۱۰۰ اگر یک علت برای انجام عملی بر پایه داده‌ها یا تجربه دیگر، وجود داشته باشد(CIE, 2005b).

یادآوری۲- مجموع وزن‌ها در طول‌موج‌های اندازه‌گیری نشده، تقسیم بر مجموع وزن‌ها در تمامی طول‌موج‌ها، برابر با حداکثر خطای آورده‌شده به‌وسیله استفاده از مقادیر پیش‌بینی‌شده به‌جای واحدهای اندازه‌گیری‌شده است.

۶-۲ درون‌یابی

اگر طول‌موج‌های داده‌های اندازه‌گیری‌شده، دقیقا با طول‌موج‌های توابع رنگ همانندی، منطبق نباشند لازم است که یکی از آن‌ها را با روش میان‌یابی به‌دست آوریم تا منطبق شوند. برای داده‌های انعکاسی یا عبوری و برای منابع نوری که منحنی توزیع طیفی آن‌ها صاف است، هم داده‌های اندازه‌گیری‌شده و هم توابع رنگ همانندی، ممکن است درون‌یابی شوند. برای درون‌یابی داده‌های اندازه‌گیری شده، اگر معادله‌ی تئوری وجود داشته باشد، ممکن است یک تخمین مقادیر بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده به‌وسیله یک معادله تئوری به نمایندگی داده یا به‌وسیله برازش منحنی[1] یافت شود. در CIE 2005b مرور و پیشنهاداتی در این زمینه ارائه گردید. اگر توابع رنگ همانندی درون‌یابی گردند، درون‌یابی خطی برای محاسبه‌ی نقاط، بین فواصل ۱ نانومتر استفاده می‌شود. برای اطلاعات منبع نور که شامل قله‌ی موج‌های کوتاه و خطوط صدور می‌شود، نمی‌توان داده‌ها را درون‌یابی نمود و باید با درون‌یابی توابع رنگ همانندی، طول‌موج‌ها را بر هم منطبق کرد.

یادآوری۱- درون‌یابی داده‌های اندازه‌گیری‌شده به فواصل کوتاه‌تر، عموما بهبودی در دقت رنگ‌های محاسبه‌شده ایجاد نمی‌کند. فواصلی که در بندهای ۴ و ۵ تعریف شد، بر روی داده‌های اندازه‌گیری‌شده، اعمال می‌شوند. اگر فواصل بین داده‌های اصلی بزرگتر از ۵ نانومتر باشد، حتی با درون‌یابی بر روی فواصل ۵ نانومتر یا کمتر، این داده‌ها قابل استفاده در این استاندارد نمی‌باشند.

یادآوری۲- در اغلب موارد فواصل طول‌موج‌ها و پهنای باند یک دستگاه با یکدیگر منطبق هستند. در این‌گونه موارد، اگر داده‌ها در فواصل دیگری درون‌یابی شوند ایجاد نقص در انطباق را به دنبال دارد و داده‌ی تبدیل شده، قابل استفاده در اصلاحات فیلتر میان‌گذری که در بند ۶-۳ اشاره می‌شود، نیستند.

---

[1] برازش منحنی (Curve Fitting) روش ریاضی برای پیدا کردن یک فرمول که نمایشگر مجموعه‌ای از نقاط داده می‌باشد.

۶-۳ پهنای‌باند

تمامی داده‌های طیفی استخراج شده از دستگاه‌ها دارای پهنای باند محدود هستند که سبب افزایش خطا در محاسبه‌ی مقادیر سه‌گانه می‌شوند. خطاهایی که از پهنای باند ناشی می‌شوند، عموما بسیار بزرگ‌تر (چندین برابر) از خطاهایی است که در اثر فواصل داده‌ها به‌وجود می‌آیند.

پهنای باند دستگاه‌هایی که برای تولید داده‌های ورودی برای این استاندارد استفاده می‌شود، برابر ۵ نانومتر یا کمتر می‌باشد، مگر اینکه توسط یکی از روش‌های موجود مانند ASTM, 2009، Fairman, 2010، Gardner, 2006، Kostkowski, 1997، Ohno, 2005، Robertson, 1967، Stearns and Stearns, 1988، Venable, 1989 و Woolliams and Cox. 2005 اصلاح شود.

برای منابع نوری که دارای خطوط گسیل درطیف نشری خود هستند، مانند لامپ‌های تخلیه، فواصل داده‌ها و پهنای باند بر یکدیگر به نحوی منطبق هستند که هر نقطه‌ای از طول‌موج، نسبت به سایر نقاط طول‌موج، دارای نمونه‌برداری یکسان است.

برای این حالت، فیلتر میان‌گذر باید به شکل مثلث متقارن باشد و همچنین نصف پهنای باند آن، باید با فواصل طول‌موج و مضرب صحیحی از آن، منطبق باشد. اگر فاصله‌ی طول‌موج خیلی کوچکتر از پهنای باند باشد، شرط انطباق بحرانی نیست. شرط انطباق برای اندازه‌گیری انعکاس/عبوری رنگ اجسام لازم نمی‌باشد زیرا این‌گونه طیف‌ها نسبتا صاف هستند. استثنائی که وجود دارد این است که اگر فیلتر میان‌گذر اصلاح شود، شرط انطباق ضروری است.

۷ مختصات رنگ

در صورت لزوم مختصات رنگ x، y و z باید با استفاده از مقادیر محرک سه‌گانه X، Y و Z به شکل زیر محاسبه شود:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$
$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \qquad (۹)$$
$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

به دلیل رابطه‌ی x+y+z=1 ، تنها بیان x و y کفایت می‌کند.

نمودار به‌دست آمده از رسم x به عنوان محور افقی و y به عنوان محور عمودی، باید مانند نمودار رنگ‌پذیری CIE 1931 یا نمودار CIE (x, y) در نظر گرفته شود.

مختصات رنگ x_{10}, y_{10} و z_{10} باید به‌طور مشابه از X_{10}، Y_{10} و Z_{10} محاسبه شود و نمودار حاصل از ترسیم x_{10} به عنوان محور افقی و y_{10} به عنوان محور عمودی باید مانند نمودار رنگ‌پذیری CIE 1964 یا نمودار CIE (x_{10}, y_{10}) در نظر گرفته شود.

۸ روش‌های عددی

تمام محاسبات عددی باید به‌وسیله تمام ارقام معناداری انجام شوند که با استفاده از داده‌های ورودی تامین می‌شود. نتایج نهایی باید به تعداد ارقام معنادار ارائه شده به وسیله عدم قطعیت اندازه‌گیری‌ها، گرد شوند.

۹ ارائه نتایج

هر گزارشی از مقادیر محرک سه‌گانه و پارامترهای به‌دست‌آمده، باید به وسیله یک جمله درباره هندسه اندازه‌گیری، مشاهده‌گر، منبع نور(برای رنگ‌های موردنظر) و برگرداننده نمونه(برای رنگ‌های منعکس‌کننده مورد نظر) که برای تولید آن‌ها استفاده شده است، باشد. همچنین گزارش باید گستره طول‌موج و فاصله جمع‌بندی را مشخص کند.

کتاب نامه

[1] ASTM, 2008a. ASTM E308-08. *Standard practice for computing the colors of objects by using the CIE system*

[2] ASTM, 2008b. ASTM E2022.-08. *Standard practice for calculation of weighting factors for tristimulus integration.*

[3] ASTM 2009. ASTM E2729-09. *Standard practice for rectification of spectrophotometric bandpass differences.*

[4] CIE, 2004. CIE 15:2004. *Colorimetry, 3rd edition*.

[5] CIE, 2005a. CIE 165:2005. *CIE 10 degree photopic photometric observer* .

[6] CIE, 2005b. CIE 167:2005. *Recommended practice for tabulating spectral data for use in colour computations*.

[7] FAIRMAN, H.S., 1985. The calculation of weight factors for tristimulus integration. *Color Res. Appl.* **10**, 199-203. FAIRMAN, H.S., 2010. An improved method for correcting radiance data for bandpass error. *Color Res. Appl.* **35**, 328-333.

[8] GARDNER, J.L., 2006. Bandwidth correction for LED chromaticity. *Color Res. Appl.* **31**, 374- 380. KOSTKOWSKI, H.J., 1997. *Reliable Spectroradiometry*, Spectroradiometry Consulting, Maryland, USA.

[9] LI, C.J., LUO, M.R., RIGG, B., 2004. A new method for computing optimum weights for calculating CIE tristimulus values, *Color Res. Appl.* **29**, 91-103.

[10] OHNO, Y., 2005. A flexible bandpass correction method for spectrometers. *AIC Colour 05: Proc. 10th Congress of the International Colour Association* **2**, 1087-1090.

[11] ROBERTSON, A.R., 1967. Colorimetric significance of spectrophotometric errors. *J. Opt. Soc. Am.* **57**, 691-698.

[12] STEARNS, E.I. and STEARNS, R.E., 1988. An example of a method for correcting radiance data for bandpass error. *Color Res. Appl.* **13,** 257-259.

[13] VENABLE, W.H., 1989. Accurate tristimulus values from spectral data. *Color Res. Appl.* 14, 260-267.

[14] WOOLLIAMS, E.R. and COX, M.G., 2005. Correcting for bandwidth effects in monochromator measurements. *9th International Conference on New Developments and Applications in Optical Radiometry (NEWRAD*), Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos, Switzerland.