INSO
11717
1st. Revision
2015

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۱۱۷۱۷
تجدیدنظر اول
۱۳۹۳

طیف‌سنجی - تعیین داده‌های طیف‌سنجی برای ارزیابی شیء رنگی- آیین‌کار

Spectrometric -Determination of Data for Object-Color Evaluation – Standard Practice

ICS:17.180.20

به‌نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ 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 می‌کنند 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 بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های 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 درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می‌کند. 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 Electro technical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrology Legal)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«طیف‌سنجی - تعیین داده‌های طیف‌سنجی برای ارزیابی شیء رنگی- آیین کار»

رئیس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
ردائی، احسان (کارشناسی ارشد شیمی تجزیه)	اداره کل استاندارد استان همدان
دبیر:	
صنعتگر دلشاد، الهام (کارشناسی ارشد شیمی فیزیک)	شرکت رویان پژوهان سینا
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
افتخاری دافچاهی، سمیه (کارشناسی ارشد شیمی فیزیک)	شرکت رویان پژوهان سینا
اوحدی، افشین (کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی)	کارشناس ارشد مرکز اندازه‌شناسی- سازمان ملی استاندارد ایران
بیگلری، حسن (کارشناسی ارشد شیمی تجزیه)	پژوهشگاه استاندارد
خانلرزاده، خاطره (دکتری شیمی فیزیک)	آزمایشگاه مرجع شیمی تجزیه راک
عندلیبی، مریم (کارشناسی شیمی)	آزمایشگاه مرجع شیمی تجزیه راک
فرهادی، ذکریا (کارشناسی ارشد شیمی فیزیک)	شرکت فراپل جم
نجفی، امیر (کارشناسی ارشد شیمی تجزیه)	دانشگاه جامع علمی کاربردی همدان
هاشمی، محمد (کارشناسی ارشد فیزیک)	اداره کل استاندارد استان همدان
هاشمی، مهدی (دکتری شیمی تجزیه)	دانشگاه بوعلی سینا همدان

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران	ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد	ج
پیش‌گفتار	ه
مقدمه	و
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ اصطلاحات و تعاریف	۲
۴ اصول کلی	۳
۵ الزامات اندازه‌گیری با طیف‌سنج	۴
۶ وسایل	۵
۷ وضعیت هندسی شار ورودی و شار خروجی	۷
۸ آزمونه‌های آزمون	۱۲
۹ استانداردسازی و مواد استاندارد	۱۳
۱۰ روش انجام آزمون	۱۶
۱۱ گزارش آزمون	۱۶
۱۲ دقت و اریبی	۱۷
پیوست الف (اطلاعاتی) کتاب‌نامه	۱۸

پیش‌گفتار

استاندارد «طیف‌سنجی - تعیین داده‌های طیف‌سنجی برای ارزیابی شیء رنگی- آیین‌کار» نخستین بار در سال ۱۳۸۷ تدوین شد. این استاندارد براساس پیشنهادهای رسیده و بررسی توسط شرکت رویان پژوهان سینا و تایید کمیسیون‌های مربوط برای اولین بار مورد تجدید نظر قرار گرفت و در دویست و سی و هشتمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌ها مورخ ۱۳۹۳/۱۰/۲۸ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان ملی استاندارد 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 زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدیدنظر 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 تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۷۱۷ سال ۱۳۸۷ است.

منبع و مأخذی که برای تهیهٔ این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ASTM E1164:2012, Standard Practice for Obtaining Spectrophotometric Data for Object-Color Evaluation

مقدمه

روش اساسی برای ارزیابی رنگ اشیاء با خصوصیات بازتابی یا انتقالی، به‌دست آوردن داده‌های طیف‌سنجی تحت شرایط مشاهده و تابش مشخص و استفاده از این داده‌ها به منظور محاسبه محرک‌های سه‌گانه بر اساس یکی از مشاهده کننده‌های در استاندارد CIE[1] و یکی از منابع نوری در استاندارد CIE می‌باشد.

1- International Commission on Illumination

طیف‌سنجی - تعیین داده‌های طیف‌سنجی برای ارزیابی شیء رنگی- آیین‌کار

هشدار- در این استاندارد تمام موارد ایمنی و بهداشتی نوشته نشده است. در صورت وجود چنین مواردی، مسئولیت برقراری اقدامات ایمنی و سلامتی مناسب و اجرای آن بر عهده کاربر این استاندارد است.

۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد تعیین الزامات در اندازه‌گیری دستگاهی، روش‌های کالیبراسیون و مواد استاندارد موردنیاز برای دستیابی به داده‌های دقیق طیفی به منظور محاسبه (تخمین) رنگ اشیاء می‌باشد.

۱-۲ این استاندارد فهرستی از پارامترهایی که در هنگام اندازه‌گیری‌های طیف‌سنجی[1] با روش‌ها و دستورالعمل‌های مشخص مورد نیاز می‌باشند، را ارائه می‌دهد.

۱-۳ اکثر بخش‌های این استاندارد هم برای طیف‌سنج‌هایی[2] که خروجی داده آن‌ها به‌صورت اطلاعات طیفی است و هم برای رنگ‌سنج‌های طیفی[3] که در اصول مشابه هستند، اما خروجی داده‌های آن‌ها فقط به - صورت اطلاعات رنگی است، کاربرد دارد. به موارد استثناء در کاربرد این دو نوع دستگاه اشاره شده است.

۱-۴ این استاندارد برای طیف‌سنج‌ها و رنگ‌سنج‌های طیفی که تنها از تک‌فام‌ساز تک‌شعاعی[4] استفاده می‌کنند، کاربرد دارد. این استاندارد برای موادی که خواص رنگی آن‌ها بررسی می‌گردد، کاربرد دارد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.
در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن موردنظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها موردنظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۰۶۳، توصیف و عملکرد اندازه‌گیری طیف‌سنج‌های نوری مرئی و ماوراء بنفش

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۹۰۸، طیف‌سنج‌های مرئی- فرابنفش-اندازه‌گیری پهنای باند طیفی قابل استفاده —روش آزمون

2-3 ASTM D1003, Test Method for Haze and Luminous Transmittance of Transparent

1- Spectrometric Measurements
2- Spectrometers
3- Spectrometric colorimeters
4- Single monochromator

Plastics

2-4 ASTM E179, Guide for Selection of Geometric Conditions for Measurement of Reflection and Transmission Properties of Materials
2-5 ASTM E259, Practice for Preparation of Pressed Powder White Reflectance Factor Transfer Standards for Hemispherical and Bi-Directional Geometries
2-6 ASTM E284, Terminology of Appearance
2-7 ASTM E308, Practice for Computing the Colors of Objects by Using the CIE System
2-8 ASTM E387, Test Method for Estimating Stray Radiant Power Ratio of Dispersive Spectrophotometers by the Opaque Filter Method
2-9 ASTM E805, Practice for Identification of Instrumental Methods of Color or Color-Difference Measurement of Materials
2-10 ASTM E925, Practice for Monitoring the Calibration of Ultraviolet-Visible Spectrophotometers whose Spectral Bandwidth does not Exceed 2 nm
2-11 ASTM E991, Practice for Color Measurement of Fluorescent Specimens Using the One-Monochromator Method
2-12 ASTM E1767, Practice for Specifying the Geometries of Observation and Measurement to Characterize the Appearance of Materials
2-13 ASTM E2153, Practice for Obtaining Bispectral Photometric Data for Evaluation of Fluorescent Color
2-14 ASTM E2194, Practice for Multiangle Color Measurement of Metal Flake Pigmented Materials
2-15 LC-1017 Standards for Checking the Calibration of Spectrophotometers
2-16 TN-594-12 Optical Radiation Measurements: The Translucent Blurring Effect—Method of Evaluation and Estimation
2-17 SP-260-66 Didymium Glass Filters for Calibrating the Wavelength Scale of Spectrophotometers—SRM 2009, 2010, 2013, and 2014
2-18 SP-692 Transmittance MAP Service
2-19 CIE No. 15.2 Colorimetry, 2nd edition
2-20 CIE No. 38 Radiometric and Photometric Characteristics of Materials and Their Measurement
2-21 CIE No. 46 Review of Publications on Properties and Reflection Values of Material Reflection Standards
2-22 CIE No. 51 Method for Assessing the Quality of Daylight Simulators for Colorimetry
2-23 CIE No. 130 Practical Applications of Reflectance and Transmittance Measurements
2-24 ISO 2469 Paper, Board and Pulps — Measurement of Diffuse Reflectance Factor
2-25 ISCC Technical Report 2003-1 Guide to Material Standards and Their Use in Color Measurement

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استاندارد ASTM E284، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به‌کار می‌رود:

۱-۳

شار ورودی[1]

عبارت است از مخروط پرتوهای نوری تابش یافته از منبع نوری طیف‌سنج که به آزمونه برخورد کرده‌اند (به استاندارد ASTM E1767 مراجعه شود).

۲-۳

شار خروجی[2]

عبارت است از مخروط پرتوهای نوری که از آزمونه بازتاب یا انتقال پیدا کرده‌اند و به وسیله گیرنده[3] طیف‌سنج دریافت شده‌اند (به استاندارد ASTM E1767 مراجعه شود).

۳-۳

فاکتور انتقال منظم[4]، T_r

عبارت است از نسبت پرتوهایی که از آزمونه انتقال یافته و به وسیله گیرنده طیف‌سنج دریافت شده‌اند، به کل پرتوهایی که در غیاب آزمونه از همان بخش اپتیکی طیف‌سنج عبور کرده و به وسیله گیرنده آن دریافت شده‌اند.

یادآوری- در برخی موارد این کمیت عملا با انتقال یکسان است، اما گاهی اوقات ممکن است تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. چنانچه ماهیت آزمونه به گونه‌ای باشد که با قرار دادن آن در طیف‌سنج در مقایسه با عدم حضور آن نور بیشتری به گیرنده برسد، این فاکتور از واحد یک بیشتر می‌شود.

۴ اصول کلی

در این استاندارد، روش‌هایی برای انتخاب نوع طیف‌سنج و پارامترهای عملیاتی کار با طیف‌سنج برای به‌دست آوردن داده‌های اندازه‌گیری جهت محاسبه مقادیر محرک‌های سه‌گانه[5] CIE و دیگر مختصات رنگی به منظور مستندسازی رنگ اشیاء ارائه شده است. مراحل مهم کالیبراسیون این قبیل طیف‌سنج‌ها و مواد استاندارد موردنیاز برای این مراحل شرح داده شده است. توصیه‌هایی در مورد انتخاب آزمونه به منظور به حداقل رساندن سهم آزمونه در ایجاد خطای اندازه‌گیری ارائه شده است. در این استاندارد پارامترهایی که در طیف‌سنجی با استفاده از روش‌های آزمون مشخص یا سایر روش‌ها لازم است به آنها توجه گردد، ذکر شده است.

1- Influx
2- Efflux
3- Reciver
4- Regular Transmittance Factor
5- Tristimulus values

۵ الزامات اندازه‌گیری با طیف‌سنج

هنگام اندازه‌گیری آزمونه‌ها با یک طیف‌سنج، موارد زیر باید مشخص گردند:

۵-۱ تعیین کمیت نسبی پرتوسنجی[۱] از قبیل فاکتور بازتاب، فاکتور تابش[۲] یا فاکتور انتقال.

۵-۲ تعیین وضعیت هندسی شار ورودی و شار خروجی از آزمونه، که در استاندارد ASTM E 1726 تعریف شده و شامل موارد زیر است:

۵-۲-۱ در هندسه نیم‌کروی[۳]، شرایط اندازه‌گیری کلی یا پخش (چه مولفه بازتاب آیینه‌ای لحاظ شده باشد چه حذف گردد) استفاده می‌شود.

۵-۲-۲ برای هندسه دوجهته[۴]، باید مشخص شود که نحوه تابش پرتوهای منبع نوری کدامیک از حالت‌های حلقوی، محیطی یا هم‌صفحه می‌باشد. تعداد، زاویه و توزیع زاویه‌ای[۵] این پرتوهای چندگانه مورد نظر است.

۵-۳ تعیین پارامترهای طیفی شامل گستره طول‌موج، گام اندازه‌گیری طول‌موج و پهنای باند طیف عبوری[۶] یا تابع باند عبوری، در مواردی‌که پهنای باند متغیر باشد، الزامی است.

۵-۴ تعیین استاندارد فاکتور بازتابی (به بند ۹-۲-۱ مراجعه شود).

۵-۵ در شروع اندازه‌گیری مقادیر متغیرهای محاسباتی شامل مشاهده کننده استاندارد و منبع نوری استاندارد طبق بند ۶ استاندارد ASTM E308 تنظیم شوند (خواه پهنای باند طیف عبوری تنظیم شده یا نشده باشد).

۵-۶ الزامات خاصی که به وسیله طبیعت آزمونه تعیین می‌گردند از قبیل نوع منبع نوری برای اندازه‌گیری آزمونه‌های فلورسنت (به استاندارد ASTM E991 مراجعه شود) یا شرایط هندسی خاص و حدود رواداری برای آزمونه‌های وابازتابشی[۷].

۵-۷ برخی از آزمونه‌ها (به‌ویژه منسوجات، کاغذ و خمیر کاغذ) به تغییرات دما (رنگ پذیری گرمایی)[۸]، رطوبت و نور محیط حساس می‌باشند. در این موارد، توصیه می‌شود این شرایط مشخص و ثبت شود. به عنوان مثال، آزمونه‌های ساخته شده از مواد سلولزی باید در دما و رطوبت و در صورت امکان طول زمان در معرض قرارگیری نور مشخص و مورد توافق، تثبیت شوند.

1- Radiometric
2- Radiance Factor
3- Hemispherical Geometry
4- Bi-directional
5- Angular Distribution
6- Spectral Bandpass
7- Retroreflective Specimens
8- Thermochromism

۶ وسایل

۶-۱ طیف‌سنج

الزامات اساسی دستگاه طیف‌سنج طراحی شده برای اندازه‌گیری فاکتور بازتاب و در صورت قابلیت دستگاه، فاکتور انتقال با یک یا چند هندسه استاندارد شار ورودی به آزمونه و شار خروجی از آزمونه (مطابق بند ۷) جهت ارزیابی رنگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. طیف‌سنج می‌تواند به صورت یک رنگ‌سنج‌های طیفی طراحی شده برای اندازه‌گیری رنگ شی باشد یا چند طیف‌سنج تجزیه‌ای معمول مجهز به لوازم جانبی برای خروجی مقادیر طیفی به کامپیوتر دیجیتال باشد.

۶-۲ تابشگر[1]

برای اندازه‌گیری آزمونه‌های غیرفلورسنتی (تا زمانی‌که منابع تابشگر با گذشت زمان توزیع و انرژی طیفی پایداری را در تمام طول‌موج‌ها در گستره موردنیاز برای اندازه‌گیری از خود ساطع نمایند)، خصوصیت‌های دقیق طیفی تابشگر که منبع نوری جزئی از آن است، چندان مهم نیست. لامپ‌های التهابی از نوع فیلتردار یا بدون فیلتر که با منابع نوری (مطابق با استاندارد CIE.No.51) مشابه‌سازی شده‌اند و لامپ‌های قوس زنون با تابش مداوم و لحظه‌ای از منابع نوری هستند که به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند. اخیرا در رنگ‌سنج‌های طیفی از منابع شبه تک‌فام گسسته[2] نظیر دیودهای ساطع‌کننده نور[3] به عنوان منبع نوری طیف‌سنج استفاده می‌گردد. استاندارد ASTM E991 شامل کلیه الزامات قابل توجه به هنگام اندازه‌گیری آزمونه‌های فلورسنتی می‌باشد. کمیته فرعی ASTM E12.10 استفاده از منابع نوری تک‌فام را برای اندازه‌گیری رنگ مواد وابازتابشی توصیه نمی‌کند.

۶-۳ وسایل پخش نور[4]

۶-۳-۱ وسایل پخش نور که انرژی نور سفید را که توسط یک منبع نوری تولید می‌شود به نوارهای باریکی از طول‌موج‌ها در ناحیه مرئی تفکیک می‌کنند، شامل منشور[5]، توری[6] یا یکی از شکل‌های مختلف فیلترهای تداخلی[7] یا گوه‌ها[8] هستند. برای عناصر پخش نور الزاماتی وجود دارد که در بندهای زیر به آن اشاره شده است:

۶-۳-۲ هرگاه بیشترین درستی آزمون موردنیاز است، گستره طول‌موج‌ها باید از ۳۶۰ nm تا ۸۳۰ nm در نظر گرفته شود، در غیر این صورت گستره طول‌موجی ۳۸۰ nm تا ۷۸۰ nm نیز برای اندازه‌گیری رنگ کافی است. استفاده از گستره طول موجی محدودتر باعث کاهش درستی اندازه‌گیری می‌گردد. هر کاربر باید

1- Illuminator
2- Discrete pseudo-monochromatic Source
3- LED (Light Emitting Diods)
4- Dispersive elements
5- Prism
6- Grating
7- Interference filter
8- Wedges

تشخیص دهد که این کاهش درستی اندازه‌گیری، هر چند بسیار کوچک، بر روی نتیجه نهایی آزمون تاثیرگذار است یا خیر (به استاندارد ASTM E 308 و CIE NO.15.2 مراجعه شود).

یادآوری- در اینجا درستی به معنای مطابقت نتایج آزمون با نتایج موردانتظار است، در صورتی‌که آزمون طبق شرایط، روش‌ها و فرآیندهای توصیه شده انجام گیرد.

۶-۳-۲-۱ گستره طول‌موج برای اندازه‌گیری آزمونه‌های فلورسنت که زیر منبع نور روز از خود خاصیت فلورسانس نشان می‌دهند، باید حتی‌الامکان از طول‌موج نزدیک به ۳۰۰ nm شروع شود (به استاندارد ASTM E691 مراجعه شود).

۶-۳-۳ هرگاه بیشترین درستی آزمون موردنیاز باشد، گام اندازه‌گیری طول‌موج‌ها باید ۱ nm باشد، در غیر این صورت، گام طول‌موج ۵ nm کافی است. استفاده از گام طول‌موج، ۱۰ nm یا ۲۰ nm باعث کاهش عمده درستی اندازه‌گیری می‌گردد و هر کاربری باید تشخیص دهد که این کاهش درستی اندازه‌گیری بر روی نتیجه نهایی آزمون تاثیر دارد یا خیر (به استاندارد ASTM E308 و CIE NO.15.2 مراجعه شود).

۶-۳-۴ برای بهینه شدن نتایج آزمون، پهنای باند طیف عبوری (عبارت است از پهنای نوار طیف به نانومتر که حداقل نیمی از انرژی طیف انتقال یافته توسط عناصر پخش نور را دارا باشد) باید برابر با گام طول‌موج اندازه‌گیری یا کمی کوچکتر از آن باشد، ولی نباید کمتر از ٪۸۰ گام طول‌موج اندازه‌گیری باشد [۲]. در صورتی‌که گام و پهنای نوار طیف بزرگتر از ۱ nm باشد، توصیه می‌شود قبل از محاسبه مقادیر محرک‌های سه‌گانه (به صورتی‌که در استاندارد ASTM E308 توضیح داده شده)، داده‌های طیفی در فواصل ۱ nm درون‌یابی[1] شوند.

۶-۳-۵ استفاده از جدول‌های فاکتور محرک‌های سه‌گانه وزن‌دهنده (به استاندارد ASTM E308 مراجعه شود) وسیله مناسب و راحتی برای به دست آوردن داده‌ها و محاسبه مقادیر محرک‌های سه‌گانه CIE در گستره طول‌موج محدودتر از بند ۶-۳-۲ و گام طول‌موجی بزرگ‌تر از بند ۶-۳-۳ می‌باشد. به هر حال بزرگ‌تر بودن گام طول‌موج‌ها باعث کاهش عمده درستی آزمون در اندازه‌گیری فاکتورهای بازتابی یا انتقالی می‌گردد و این فاکتورها را به صورت تابعی از طول‌موج تغییر می‌دهد. کاربر باید تاثیر کاهش درستی اندازه‌گیری، هر چند بسیار کوچک را بر روی نتیجه نهایی آزمون تشخیص دهد.

۶-۳-۶ برای اندازه‌گیری آزمونه‌های غیر فلورسنتی، عنصر پخش نور می‌تواند بین آزمونه و منبع نور قرار گیرد یا بین آزمونه و آشکارساز[2] قرار گیرد. ولی در اندازه‌گیری آزمونه‌های فلورسنتی عنصر پخش نور باید بین آزمونه و آشکارساز قرار گیرد، به نحوی که طیف کاملی از منبع به آزمونه تابیده شود. روش بهتر برای اندازه‌گیری آزمونه‌های فلورسنتی، استفاده از روش طیف‌سنجی دو جهته[3] می‌باشد که در استاندارد ASTM E2153 شرح داده شده است.

1- Interpolated
2- Detector
3- Bispectrometer

۴-۶ گیرنده نور، شامل یک آشکارساز و اجزای وابسته به آن می‌باشد. از انواع آشکارسازها می‌توان به دستگاه فتوالکتریک (فتوتیوپ یا فتومولتی‌پلیر)، فتودیودهای سیلیکونی یا دیگر آرایه‌های دیودی[1] و آشکارسازهای مناسب اشاره نمود. آشکارسازها باید نسبت به گذشت زمان ثابت بوده و در تمام طول‌موج‌های گستره طیف مشخص شده، پاسخ‌دهی طیفی مناسبی داشته باشند.

۷ شرایط شار ورودی و شار خروجی

۷-۱ انواع و رواداری‌ها

به جز برخی موارد خاص، طیف‌سنج‌ها باید برای انواع اندازه‌گیری فاکتور بازتاب انتقال، مطابق با الزامات هندسی زیر باشند که بر اساس آخرین بازنگری نشریه منتشر شده CIE No.15.2، نشریه CIE 130 و نکاتی که در زمینه استاندارد ASTM E1767 ذکر شده، به‌دست آمده‌اند. در این ویژگی تعیین شده است که هر محور پرتو در ۰٫۵° جهت اسمی و هر نیم زاویه مخروط در ۰٫۲۵° مقدار نامی باشد.

یادآوری- به استثنای آزمونه‌هایی با ساختار غیرمعمول یا آزمونه‌های فلورسنت بر اساس هندسه معکوس یعنی زمانی‌که در اندازه‌گیری شرایط هندسی شار ورودی و شار خروجی جابه‌جا می‌گردند، نتایج حاصل یکسان خواهد بود. به‌طور مثال مقادیر فاکتور بازتابی در حالتی که آزمونه به‌وسیله یک منبع نوری کروی (نظیر کره نور جمع‌کن) روشن می‌شود و تحت زاویه ۸° نسبت به خط عمود بر سطح آزمونه مشاهده می‌گردد با نتایج به‌دست آمده در حالتی‌که آزمونه تحت زاویه ۸° روشن می‌شود و به‌وسیله یک گیرنده کروی مشاهده می‌گردد یکسان خواهد بود. به منظور اجتناب از اعمال محدودیت‌های غیرضروری بر روی دستگاه‌های مورد استفاده، زمانی‌که مرجع، استاندارد کنونی باشد، جایز بودن اندازه‌گیری با شرایط هندسی معکوس باید صراحتا بیان شود (به جز در مورد آزمونه‌های فلورسنت که اثبات شده شرایط هندسی معکوس برای آن‌ها کاربرد ندارد). این شرایط در قسمت‌های زیر ذکر شده است.

۷-۱-۱ فاکتور بازتاب با (45°:0) Normal:45° و (0:45°) Normal:45°

در شرایط 45°:Normal، آزمونه با یک یا چند پرتو که زاویه ۴۵° با خط عمود بر سطح آزمونه می‌سازد، روشن می‌گردد. زاویه بین محور مشاهده و خط عمود بر سطح آزمونه نباید از ۰٫۵° بیشتر باشد. برای رسیدن به بیشترین تطابق بین دستگاهی[2]، بهتر است دستگاه‌ها دارای نیم‌زاویه مخروط تابش در ۲° از یکدیگر باشند. همین محدودیت در مورد پرتو مشاهده نیز به‌کار می‌رود. در دستگاه‌هایی که نیم‌زاویه مخروط تابش آن‌ها ۲° یا کمتر باشد، این شرایط به صورت خودکار به دست می‌آید. همین محدودیت در مورد پرتو مشاهده نیز به کار می‌رود. هنگامی که پرتو تابش در سراسر ۳۶۰° پیوسته و یکسان باشد، در این هندسه حالت حلقه‌ای با نماد (45a:0) نمایش داده می‌شود. هنگامی که چندین پرتو تابش در فواصل یکسان در ۳۶۰° وجود داشته باشند، در این هندسه حالت محیطی با نماد (45c:0) نمایش داده می‌شود. هنگامی که در پرتودهی فقط یک پرتو تابش استفاده شود یا هنگامی‌که دو پرتو تابش در ۱۸۰° وجود داشته باشند، در این هندسه حالت هم صفحه با نماد (45x:0) نمایش داده می‌شود. شرح جزئیات این هندسه‌ها در استاندارد ASTM E1767 ارائه

1- Diode Array
2- Inter Instrument Agreement

شده است. برای شرایط هندسه °Normal:45 با لحاظ موارد فوق موقعیت منبع نوری و مشاهده‌کننده جابه‌جا می‌گردد.

یادآوری- در کاربردهای خاص هندسه °45:0 یا °0:45 شامل تهیه نسخه‌های رنگ همانندی (بند ۷-۲-۱) جهت دستیابی به تطابق بین دستگاهی، در صورت نیاز می‌توان حدود رواداری زاویه تابش و مشاهده در طیف‌سنج را نسبت به آنچه در بند ۷-۱-۱ شرح داده شده به طور قابل ملاحظه‌ای محدودتر نمود.

۷-۱-۲ فاکتور بازتاب با (Total : Normal (di:8° یا Diffuse : Normal (de:8° or d:0) و Normal : Diffuse (8°:de or 0:d) یا Total (8°:di)

در هندسه Total : Normal یا Diffuse : Normal، آزمونه توسط یک منبع نوری مانند کره نور جمع‌کن[1] روشن می‌گردد که در این حالت زاویه بین خط عمود بر سطح آزمونه و پرتوهای مشاهده باید °۲±°۸ باشد. در برخی از کاربردهای خاص که به عنوان مثال در استاندارد ISO 2469 تعریف شده، زاویه مشاهده باید دقیقا صفر درجه باشد و حدود رواداری ذکر شده برای °۸ به‌طور مشابه اعمال گردد، مگر در جایی که با الزامات استاندارد ISO 2469 تناقض داشته باشد. معمولا فاکتور بازتاب طیفی به‌دست آمده با هندسه °de:8 با فاکتور به‌دست آمده با هندسه °d:0 کاملا مطابق نخواهد بود. هندسه مذکور در استاندارد ISO 2469 نماد اختصاری حرف کوچک e را که نشانگر حذف مولفه بازتاب آیینه‌ای است ندارد، زیرا در حالتی‌که مخروط پرتوهای خروجی در زاویه صفر درجه متمرکز شده‌اند، دستیابی به مولفه بازتاب آیینه‌ای غیرممکن است. بنابراین با هندسه °d:0 تنها امکان یک روش اندازه‌گیری وجود دارد. منبع نوری ممکن است با هر قطری ساخته شود ولی مجموع مساحت روزنه‌های تابش آن نباید بیش از ۵٪ سطح بازتاب داخلی کره نور جمع‌کن باشد. زاویه بین محور مشاهده و هر شعاع نوری از دسته پرتو مشاهده نباید از °۲ بیشتر باشد. در حالتی‌که اندازه‌گیری شامل پرتو بازتاب منظم[2] (مولفه بازتاب آیینه‌ای) باشد، هندسه °di:8 گفته می‌شود و در حالتی که پرتو بازتاب منظم در اندازه‌گیری حذف گردد، هندسه °de:8 یا °d:0 گفته می‌شود. برای شرایط هندسه Total : Normal یا Normal : Diffuse، با لحاظ موارد فوق، منبع نوری و مشاهده کننده جابه‌جا می‌گردد.

یادآوری- در اندازه‌گیری فاکتور بازتاب با کره نور جمع‌کن، تصحیح خطای حاصل از کاربرد این کره‌ها در [۳] توضیح داده شده است.

۷-۱-۳ انتقال منظم[3] برای آزمونه‌های کاملا شفاف (آزمونه‌هایی که نیمه شفاف[4]، کدر[5] یا با انتقال پراکنده[6] نباشند)

این آزمونه به وسیله پرتوی که به صورت عمودی به سطح آزمونه برخورد می‌کند، روشن می‌شود که میزان انحراف محور موثر پرتوهای تابش نسبت به خط عمود بر سطح آزمونه نباید از °۵ بیشتر باشد و علاوه بر این زاویه بین محور تابش و هر شعاع دسته پرتو تابش نیز نباید از °۵ بیشتر باشد. آرایش هندسی پرتو تابش و

1- Integrating Sphere
2- Regularly Reflecting Light
3- Regular Transmittance
4- Translucency
5- Haze
6- Diffusion Specimens

پرتو مشاهده ممکن است مشابه یا متفاوت باشند، نظیر حالتی‌که از گیرنده کروی مثل کره نور جمع‌کن استفاده می‌گردد. موقعیت منبع نوری می‌تواند با مشاهده‌کننده جابه‌جا گردد.

یادآوری- زمانی‌که از گیرنده کروی مانند یک کره نور جمع‌کن استفاده می‌گردد و آزمونه دقیقا پشت روزنه ورود پرتوهای انتقالی به کره (پشت روزنه نور جمع‌کن) چسبیده باشد، پرتوهایی که در تمام زوایا انتقال می‌یابند، اندازه‌گیری می‌شوند که در این حالت فاکتور انتقال کل به‌دست می‌آید. در حالتی‌که آزمونه تا حد امکان در فاصله دورتری نسبت به روزنه کره نور جمع‌کن قرار گیرد، تنها پرتوهایی که در یک راستا انتقال می‌یابند، اندازه‌گیری می‌شوند که در این حالت فاکتور انتقال منظم به‌دست می‌آید.

۷-۱-۴ فاکتور انتقال با Normal : Total (0:T_t) یا Normal : Diffuse (0:T_d) و Total : Normal (T_t: 0) یا Diffuse : Normal (T_d: 0)

اندازه‌گیری فاکتور انتقال آزمونه‌های نیمه شفاف، کدر، آزمونه‌هایی با انتقال پراکنده و آزمونه‌هایی از این قبیل، بسیار دشوار ولی امکان‌پذیر است. در صورتی‌که فاکتور انتقال، مستقل از دستگاه و ساختار بوده و مشخصه‌های هندسی آن قابل دستیابی باشد، ملاحظات خاصی که در این‌جا به آن‌ها اشاره شده برای به حداقل رساندن تاثیرات خاص این ویژگی‌ها باید در نظر گرفته شود. لذا به منظور حذف کامل این اثرگذاری‌ها ممکن است نیاز به تجهیزات ویژه‌ای باشد که فراتر از دامنه این استاندارد است.

۷-۱-۴-۱ پدیده‌های بصری نیمه شفافیت، کدورت و انتقال پراکنده که ناشی از انتشار پخش پرتوها در درون آزمونه هستند، اغلب در خارج از منطقه روشن شده همانند سطوح و لبه‌های نمونه پدیدار می‌گردند (مطابق استاندارد NBS TN-594-12). زمانی که تمامی پرتوهای نوری انتقال یافته اندازه‌گیری شوند نیز میزان فاکتور انتقال بسیار پایین خواهد بود.

۷-۱-۴-۲ شرایط عمومی شار ورودی و شار خروجی

در هندسه Normal : Total یا Normal : Diffuse، آزمونه توسط پرتوهای نوری که محور اصلی آن‌ها با خط عمود بر سطح آزمونه بیش از 2° نیست، روشن می‌شود و زاویه بین محور تابش با هر یک از شعاع‌های دسته پرتو تابش در این حالت نباید بیش از 5° باشد. شار انتقال یافته توسط یک گیرنده کروی مثل کره نور جمع‌کن که در استاندارد ASTM D1003 توضیح داده شده جمع‌آوری می‌شوند. در حالتی که آزمونه در وضعیتی کاملا چسبیده به کره قرار داده شود تا فاکتور انتقال، حاصل از مجموعه شار انتقال منظم و پخش به‌دست آید $0:T_t$ نامیده می‌شود و بدین ترتیب فاکتور انتقال کل (T_t) به‌دست آمده است. در حالتی‌که پرتو عبوری در راستای تابش در اندازه‌گیری، به طور مثال با استفاده از تله نور[1] حذف شود $0:T_d$ نامیده می‌شود و بدین ترتیب فاکتور انتقال کل (T_d) به‌دست می‌آید. جزئیات مربوط به اندازه، شکل و میزان بازتاب تله نور باید مشخص باشد. نتایج اندازه‌گیری انتقال پراکنده بر روی آزمونه‌هایی که فاکتور انتقال منظم آن‌ها دارای پیک‌های پهن می‌باشد، بستگی زیادی به میزان پرتوهای بازتاب یافته و اندازه تله نور دارد.

۷-۱-۴-۳ بخشی از پرتوهای نوری به صورت منظم در همان راستای تابش و بخشی به صورت پخش از آزمونه انتقال پیدا می‌کند و ضروری است هر دو بخش از پرتوهای نوری انتقال یافته که به دیواره کره

1- Light Trap

برخورد می‌کنند، دارای بازتاب یکسانی باشند. در صورتی‌که یک بازتاب‌کننده سفید استاندارد (سفید ایده‌آل) جلوی روزنه اندازه‌گیری بازتاب در طیف‌سنج قرار گیرد باید از برابر بودن میزان بازتاب دیواره‌های کره نور جمع‌کن با بازتاب‌کننده سفید استاندارد[1] اطمینان حاصل نمود. علاوه بر این باید توجه داشت عواملی چون تابش طولانی مدت یا گرد و غبار یا نیمه کدر بودن (به واسطه کافی نبودن ضخامت روکش) باعث تغییر رنگ سطوح سفید بازتابی، نشده باشد.

۷-۱-۴-۴ ضروری است همواره برای اندازه‌گیری آزمونه‌های نیمه شفاف و آزمونه‌هایی با انتقال پراکنده یا کدر، آزمونه دقیقا به روزنه ورودی به کره نور جمع‌کن چسبیده باشد.

۷-۱-۴-۵ برای حصول اطمینان از جمع‌آوری تمام پرتوهایی که از قسمت‌های مختلف آزمونه انتقال می‌یابند می‌توان هر یک از روش‌های زیر را مورد استفاده قرار داد:

الف- قسمت بسیار کوچکی از سطح مرکزی آزمونه توسط منبع نوری روشن و پرتوهای انتقال یافته از روزنه بزرگی مشاهده شوند.

ب- سطح بسیار بزرگی از آزمونه به‌طور یکنواخت توسط منبع نوری روشن شود و پرتوهای انتقال یافته از بخش کوچکی از مرکز سطح آزمونه اندازه‌گیری شوند (مطابق استاندارد NBS TN-594-12).

۷-۱-۴-۶ الزامات بند ۷-۱-۴-۵ ممکن است به طور تقریبی با استفاده از یک کره نور جمع‌کن معمولی قابل حصول باشد، اما باید قسمتی از سطح آزمونه که توسط منبع روشن می‌شود تا حد امکان بزرگ باشد و سطحی از آزمونه که مشاهده می‌شود تا حد امکان کوچک باشد یا بالعکس. در چنین مواقعی [۵] توصیه می‌گردد که بیشتر از روش اندازه‌گیری جایگزینی به‌جای اندازه‌گیری مقایسه‌ای [۳] استفاده شود. با این حال در روش جایگزینی به هنگام برداشتن آزمونه (زمانی‌که آزمونه برداشته می‌شود و هیچ آزمونه‌ای جای آن قرار نمی‌گیرد) تغییر بازدهی کره باعث ایجاد خطا می‌گردد. توجه داشته باشید که این خطا باید تصحیح گردد ([۳] و استاندارد ASTM D1003).

۷-۱-۴-۷ توصیه می‌شود از استانداردهای فاکتور انتقال استفاده شود که خصوصیات یکسانی از نظر پراکندگی نور با آزمونه‌های مورد اندازه‌گیری داشته باشند و با استفاده از هندسه مناسب کالیبره شوند ([۶] و استاندارد ASTM D1003).

۷-۱-۴-۸ اگر در اندازه‌گیری آزمونه‌های نیمه شفاف، کدر یا دارای انتقال پراکنده از طیف‌سنج دارای کره نورجمع‌کن متداول استفاده گردد، به احتمال زیاد میزان فاکتور انتقال اندازه‌گیری شده پایین خواهد بود (البته بستگی به شرایط و طیف‌سنج مورد استفاده نیز دارد).

۷-۱-۴-۹ برای شرایط هندسه Total : Normal یا Diffuse : Normal، با لحاظ موارد فوق موقعیت منبع نوری و مشاهده‌کننده جابه‌جا می‌گردد.

1- White Reflecting Standard

یادآوری- برای تمام موارد ذکر شده در بند ۷-۱، نحوه قرارگیری دریافت‌کننده باید به نحوی باشد که به‌طور قابل ملاحظه‌ای سطح و بازه زاویه‌ای قابل قبول برای مشاهده پرتوها در گیرنده نسبت به کل پرتوهای ساطع شده توسط منبع نوری، کمتر یا بیشتر باشد، به‌طوری که اندازه‌گیری‌ها به انحرافات کم ناشی از شکست پرتو درون آزمونه حساس نباشند.

۷-۲ شرایط انتخاب تابش و مشاهده

این بند راهنمایی [۷] برای انتخاب هندسه تابش و مشاهده برای آزمونه‌های مختلف و مقاصد گوناگون مفید می‌باشد. به استاندارد ASTM E179 و ASTM E805 مراجعه شود. در استاندارد ASTM E1769 نیز علائم اختصاری شرایط هندسی ارائه شده است.

۷-۲-۱ برای تهیه نسخه‌های رنگ همانندی که شامل محاسبات تئوری کیوبلکا مانک[1] یا دیگر تئوری‌های محمل‌های کدر باشند، می‌توان از هندسه دو جهته [۸] یا از هندسه کروی که با استفاده از یک کره نور جمع‌کن به‌دست می‌آید، استفاده نمود. ملاحظات خاص در رابطه با تاثیر متقابل هندسه دستگاه و سطح آزمونه در قسمت‌های بعدی ذکر شده و برای تهیه نسخه‌های رنگ نیز کاربرد خواهد داشت.

۷-۲-۲ برای ارزیابی رنگ آزمونه‌های بسیار براق یا کاملا مات، هندسه 45°:0 یا 0:45° باید استفاده شود. به صورت جایگزین این هندسه $d:0^{\circ}$ یا $0^{\circ}:d$ نیز ممکن است مورد استفاده قرار گیرد ولی امکان دارد نتیجه به‌دست آمده در این حالت در مقایسه با نتیجه به‌دست آمده با هندسه 45°:0 یا 0:45° یا هندسه $de:8^{\circ}$ یا $8^{\circ}:de$ اختلاف داشته باشد.

۷-۲-۳ برای ارزیابی رنگ آزمونه‌های مسطح با براقیت کم (نیمه مات) هندسه $de:8^{\circ}$ یا $8^{\circ}:de$ (در حالتی‌که مولفه بازتاب آیینه‌ای در اندازه‌گیری حذف شود) یا هندسه $di:8^{\circ}$ یا $8^{\circ}:di$ (در حالتی‌که اندازه‌گیری شامل مولفه بازتاب آیینه‌ای باشد) مورد استفاده قرار می‌گیرد. هندسه 45°:0 یا 0:45° یا هندسه $d:0^{\circ}$ یا $0^{\circ}:d$ نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، اما نتایج به‌دست آمده در این حالت متفاوت خواهد بود مگر برای آزمونه‌هایی که درست، پخش‌کن کامل لامبرتی[2] باشند.

۷-۲-۴ برای ارزیابی رنگ آزمونه‌های مسطح، بافت‌دار[3] با براقیت متوسط مانند آزمونه‌های منسوج که مولفه بازتاب سطحی[4] آن‌ها ممکن است در بازه زاویه‌ای وسیعی توزیع شده باشد، شرایط هندسی مناسب به صورت تجربی تعیین می‌گردد. استفاده از اغلب هندسه‌ها منجر به تفکیک کامل تاثیرات سطح از رنگ نمی‌شود. هندسه مناسب برای اندازه‌گیری این نوع آزمونه‌ها هندسه‌ای است که تاثیرات سطح را به حداقل برساند و به این وسیله تفکیک را بهینه کند. در این خصوص می‌توان از هندسه $di:8^{\circ}$ یا $8^{\circ}:di$ (در حالتی‌که اندازه‌گیری شامل مولفه بازتاب آیینه‌ای باشد) استفاده نمود، اما ممکن است تطبیق نتایج ارزیابی بصری رنگ با نتایج این نوع اندازه‌گیری‌ها دشوار باشد.

۷-۲-۵ زمانی‌که آزمونه رفتار نوری متفاوتی در جهت‌های مختلف از خود نشان دهد (در صورتی که اندازه‌گیری با هندسه کروی، حلقوی یا محیطی انجام شده باشد) نتایج به‌دست آمده میانگینی از تمامی

1- Kubelka-Munk
2- Perfectly Lambertion Diffusers
3- Textured Surface
4- Surface Reflection Component

رفتارهای نوری خواهد بود. زمانی‌که میزان تغییر رنگ آزمونه در جهت‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد باید از هندسه هم‌صفحه در اندازه‌گیری استفاده نمود. در این حالت آزمونه باید در دو یا چند زاویه به فواصل 45° نسبت به یکدیگر اندازه‌گیری شود تا اطلاعات مربوط به تغییر رنگ در جهت‌های مختلف به‌دست آید، (در اندازه‌گیری‌های متوالی، زوایای چرخش آزمونه باید تغییر داده شود تا مقادیر بیشینه و کمینه نتایج توسط طیف‌سنج به دست آید). به هنگام بیان جهت‌گیری زاویه‌ای آزمونه، زوایایی که این مقادیر بیشینه و کمینه در آن‌ها اتفاق می‌افتد باید ذکر گردند. در صورتی‌که رفتار نوری آزمونه در جهت‌های مختلف مدنظر نباشد، می‌توان برای حصول نتیجه بهتر، از میانگین چند اندازه‌گیری استفاده نمود. در مواردی که آزمونه، رفتار نوری متفاوتی در جهت‌های مختلف از خود نشان ندهد، می‌توان از هر یک از هندسه‌های دوجهته استفاده نمود.

۷-۲-۶ برای اندازه‌گیری رنگ آزمونه‌های فلورسنتی معمولا هندسه 45°:0 یا 0:45° مورد نیاز است (به استاندارد ASTM E991 مراجعه شود).

۷-۲-۷ برای اندازه‌گیری رنگ آزمونه‌های وابازتابشی در نور روز هندسه 45°:0 یا 0:45° به طور معمول مورد نیاز است. در برخی از صفحات وابازتابشی که جدیدا ساخته شده‌اند و دارای درخشش بالایی هستند، اگر زاویه مخروط را خیلی باریک بگیریم، رفتار هندسی غیر واقعی از خود نشان می‌دهند، در این حالت بهتر است که زاویه‌های مخروطی بزرگتر با حد رواداری مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

۷-۲-۸ برای اندازه‌گیری رنگ موادی‌که در آن‌ها از ذرات متالیک استفاده شده باشد، مشاهده در چند زاویه متفاوت مورد نیاز است (به استاندارد ASTM E2194 مراجعه شود).

۸ آزمونه‌های آزمون

۸-۱ نتایج حاصل از آزمون بستگی به آزمونه‌های مورد استفاده دارد. آزمونه‌ها باید نماینده‌ای از مواد مورد آزمون بوده، هم چنین باید مطابق با الزامات نوری و هندسی زیر که با توجه به ماهیت طیف‌سنج تعیین می‌گردند، باشند. در صورتی‌که آزمونه مطابق با خصوصیات موردنظر نباشد باید به کلیه این مغایرت‌ها توجه نمود.

۸-۱-۱ خواص نوری آزمونه باید در سرتاسر سطح مورد اندازه‌گیری یکنواخت باشد.

۸-۱-۲ برای اندازه‌گیری آزمونه‌های کدر، آزمونه‌ها باید حداقل دارای یک طرف صاف و هموار باشند و آزمونه‌های نیمه شفاف و شفاف باید دارای دو طرف صاف و هموار که به‌طور موازی نسبت به هم قرار گرفته-اند، باشند.

۸-۱-۳ در اندازه‌گیری بازتابی، اگر آزمونه‌ها کاملا کدر[1] نباشند باید به نکات مهم زیر توجه نمود:

1- Opaque

۸-۱-۳-۱ نتایج اندازه‌گیری به فاکتور بازتاب طیفی موادی که پشت آزمونه هستند بستگی دارد و باید برای پشت آزمونه از مواد مشخص و کالیبره شده استفاده نمود.

۸-۱-۳-۲ نتایج اندازه‌گیری بستگی به ضخامت آزمونه دارد.

۸-۱-۳-۳ مقدار نامعینی از تابش‌ها ممکن است از کناره‌های آزمونه خارج شود که تاثیر محسوسی بر روی نتایج اندازه‌گیری دارد (به [۸] و استاندارد NBS TN-594-12 مراجعه شود).

۸-۱-۴ در اندازه‌گیری آزمونه‌های شفاف، ضخامت آزمونه بر روی داده‌های اندازه‌گیری تاثیر دارد، اما می‌توان نتیجه را نسبت به ضخامت تصحیح نمود (به استاندارد CIE No.38 و CIE No.130 مراجعه شود).

۸-۱-۵ در اندازه‌گیری آزمونه‌های فلورسنت، وابازتابشی یا نیمه شفاف ملاحظات ویژه‌ای باید اعمال گردد که برخی از آن‌ها قبلا ذکر گردیده است.

۸-۱-۶ برای اجتناب از هرگونه آلودگی، آزمونه‌ها را باید با دقت جابه‌جا نمود تا سطح مورد اندازه‌گیری آن‌ها هیچ‌گاه لمس نگردد، مگر در مواردی که نیاز به تمیز کردن سطح آن‌ها با روش مناسبی باشد. وضعیت آزمونه قبل و بعد از اندازه‌گیری باید مورد توجه قرار گیرد و گزارش شود.

۹ استانداردسازی و مواد استاندارد

۹-۱ استانداردسازی و تصدیق آن،[1] مراحل اساسی برای حصول اطمینان از درستی نتایج اندازه‌گیری شده با طیف‌سنج می‌باشند (مطابق با [۹] و [۱۰] و استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۰۶۳). ممکن است برای استاندارد کردن طیف‌سنج نیاز به مواد استانداردی باشد که عموما توسط سازنده دستگاه تهیه نشده باشد که در این موارد مسئولیت تهیه مواد استاندارد ضروری به عهده کاربر دستگاه می باشد (مطابق با [۱۰] و استاندارد NBS LC-1017 و استاندارد ISCC Technical Report 2003-1).

۹-۲ فاکتور بازتاب یا انتقال

۹-۲-۱ استانداردسازی تمام مقیاس[2]

برای اندازه‌گیری فاکتور بازتاب ضروری است طیف‌سنج با استاندارد ایده‌ال (سفید) که مقدار فاکتور بازتاب آن در هر طول‌موج برابر با ٪۱۰۰ است استانداردسازی شود. CIE توصیه می‌کند که فاکتور بازتابی استاندارد ایده‌ال، فاکتور بازتابی یک پخش‌کن کامل بازتابی باشد و کالیبراسیون منعکس‌کننده استاندارد سفید بسیاری از دستگاه‌ها نیز بر این اساس انجام شده است. استانداردهای دیگری که نسبت به پخش‌کن کامل بازتابی کالیبره شده‌اند (مانند NBS SRM 2040 یا 2044) نیز قابل استفاده هستند. در سایر موارد می‌توان از مواد سفید رنگ دیگری که دارای فاکتور بازتاب ٪۱۰۰ در هر طول‌موج هستند استفاده نمود، که در این صورت احتمال عدم قطعیت در نتایج حاصله بیشتر خواهد گردید (مطابق با [۱۱] و استاندارد ASTM E259 و

1- Standardization and verification
2- Full-scale

استاندارد CIE No. 46). برای اندازه‌گیری در حالت انتقال، زمانی‌که هیچ آزمونه‌ای در داخل طیف‌سنج نباشد مقدار فاکتور انتقال اندازه‌گیری شده در هر طول موج برابر ٪۱۰۰ است. استانداردهای سفیدی را که به وسیله کاربر آزمایشگاه فراهم گردیده و فاکتور بازتاب و انتقال آن‌ها کالیبره شده، مورد قبول آزمایشگاه‌های ملی برخی از کشورها خواهند بود (نظیر آزمایشگاه NIST در خصوص استاندارد 38060S برای بازتاب و استاندارد 38061S برای انتقال).

۹-۲-۲ استانداردسازی یا تصدیق مقیاس صفر[1]

زمانی‌که نیاز به استانداردسازی طیف‌سنج در مقیاس صفر باشد این استانداردسازی باید با یکی از روش‌های زیر که انتخاب آن متناسب با نوع منبع نوری و هندسه مشاهده طیف‌سنج است انجام گردد. برای تصدیق مقیاس صفر طیف‌سنج‌هایی که نیازمند چنین مراحل کالیبراسیونی نیستند، باید از همین روش استفاده نمود.

۹-۲-۲-۱ برای طیف‌سنج‌هایی با هندسه 45°:0 یا 0:45° می‌توان از یک شیشه استاندارد سیاه بسیار صیقلی به عنوان فاکتور بازتاب صفر استفاده نمود. وجود آلودگی سطحی روی اعتبار این استاندارد فوق‌العاده تاثیرگذار است. گرد و غبار، لک و حتی اثر انگشت باعث افزایش بازتاب ظاهری[2] می‌گردد.

۹-۲-۲-۲ برای صفر کردن طیف‌سنج‌هایی مجهز به تاباننده و گیرنده‌های کروی از یک تله نور محفظه سیاه به عنوان فاکتور بازتابی صفر استفاده نموده و آن را دقیقا چسبیده به روزنه اندازه‌گیری قرار دهید. اگر محفظه سیاه حبس‌کننده نور دارای هندسه نامتقارن باشد، آنگاه باید محل قرارگیری آن نسبت به نور دقیقا روی کاواک علامتگذاری شود تا همواره در یک وضعیت مشخص قرار گیرد.

۹-۲-۲-۳ در اندازه‌گیری فاکتور انتقال، مقیاس صفر دستگاه را بدین ترتیب تصدیق نمایید که به جای آزمونه، یک شی کدر که اندازه و شکل آن مشابه آزمونه باشد را در محل قرارگیری آزمونه قرار داده و مانع رسیدن پرتوها به آشکارساز شوید. استفاده از صفحات کدر بزرگ یا شاترهای الکترونیکی[3] تنها در صورتی مناسب است که تجربه کاربر تعیین نماید هیچ‌گونه نور انحرافی در محفظه نگه‌دارنده آزمونه ایجاد نمی‌شود.

۹-۲-۲-۴ ممکن است که برخی طیف‌سنج‌ها مقادیر کمتر از یک مقدار کمینه معین مانند ٪۱ را به درستی اندازه‌گیری نکنند. در این صورت باید طیف‌سنج را با استانداردهایی که فاکتور بازتاب یا انتقال آن‌ها کمی بیشتر از کمینه تعیین شده است، کالیبره نمود. به طور مثال می‌توان از کاشی سیاه بازتاب NBS SRM 2052 برای اندازه‌گیری فاکتور بازتاب و از فیلتر yellow-carbon calibrated (NIST servise 38030C) یا از NBS transmittance MAP service برای اندازه‌گیری فاکتور انتقال استفاده نمود.

۹-۲-۲-۵ نشریه CIE130 روشی را برای استانداردسازی در هر دو مقیاس صفر و صد با استفاده از جفت استانداردها، یکی نزدیک سیاه و دیگری نزدیک سفید تبیین نموده است. این روش از نظر تئوری صحیح است ولی باید در نگه‌داری بازتاب استاندارد نزدیک سیاه دقت نمود. تمیز نگه‌داشتن سطح استاندارد ضروری

1- Zero Scale
2- Apparent reflectivity
3- Electronic shutters

است، زیرا خطاهای بازتاب ظاهری در زنجیره اندازه‌گیری به طور افزایشی عمل می‌کنند. اما خطاها در بازتاب ظاهری استاندارد نزدیک به سفید در هم ضرب می‌گردند و بنابراین تاثیر کمتری بر روی زنجیره اندازه‌گیری دارد.

۹-۲-۳ تصدیق خطی بودن، پس از استانداردسازی طیف‌سنج در مقیاس صفر و صد، خطی بودن مقیاس باید به وسیله اندازه‌گیری یک یا چند استاندارد کالیبره شده که دارای فاکتور بازتاب یا فاکتور انتقال میانی[1] بین صفر و صد هستند نظیر فیلتر خنثی NIST SRM 2030 یا یک یا چند سرامیک خاکستری استاندارد تصدیق گردد [۱۲]. جهت ارزیابی غیرخطی بودن نورسنج تک پرتویی با کره نورجمع کن، طیف‌سنج را با کاشی خاکستری کالیبره نمایید. برای تصدیق خطی بودن از مواد استاندارد متفاوتی استفاده نمایید.

۹-۳ مقیاس طول موج

۹-۳-۱ کالیبراسیون یا تصدیق مقیاس طول موج، مقیاس طول موج باید در صورت امکان کالیبره و تصدیق گردد، در غیر این صورت برای سنجش خطی بودن و نداشتن انحراف به شرح زیر عمل کنید:

۹-۳-۱-۱ در طیف‌سنج‌هایی که پهنای باند طیف عبوری آن‌ها در حدود ۱۰ nm یا کمتر است مطابق با بندهای [۱۳] و [۱۴] و دستورالعمل داده شده در استاندارد NIST SP-260-66 عمل کنید.

۹-۳-۱-۲ برای طیف‌سنج‌هایی که پهنای باند طیف عبوری آن‌ها بیشتر از ۱۰ nm باشد باید از روش فیلترهای خطی که در [۱۴] توضیح داده شده است، استفاده کنید.

۹-۳-۲ تصدیق پهنای باند طیفی عبوری، پهنای تقریبی باند طیف عبوری طیف‌سنج باید با استفاده از فیلتر دیدیمیوم (به طورمثال NIST SRM 2014) تصدیق گردد و مطابق دستورالعمل داده شده در استاندارد NTST SP-260-66، استاندارد ASTM E925، استاندارد ASTM E958 و [۱۰] عمل گردد.

۹-۴ انحراف نور، میزان انحراف نور در طیف‌سنج باید تصدیق گردد تا مقدار آن به اندازه کافی پایین باشد. این کار باید از طریق اندازه‌گیری یک آزمونه یا آزمونه‌های مناسب که دارای فاکتور بازتاب یا انتقال پایین هستند نظیر یک سرامیک رنگی استاندارد با فاکتور بازتابی پایین[2]، یک فیلتر خنثی با انتقال کم یا یک فیلتر قطع جریان[3] مشخص شود (به استاندارد ASTM E 387 مراجعه شود).

۹-۵ تصدیق سیستم، دقت و اریبی سیستم اندازه‌گیری توسط محاسبه مقادیر محرک‌های سه‌گانه CIE صورت می‌گیرد. این عمل از طریق اندازه‌گیری‌های دوره‌ای استانداردهایی که کالیبره بودن آن‌ها تصدیق شده تعیین می‌گردد. هریک از این استانداردها را می‌توان از سازندگان دستگاه یا از سایر منابع تهیه نمود. سرامیک‌های رنگی بازتابی استاندارد [۱۲] و سری فیلترهای انتقالی [۱۰] مثال‌هایی از استانداردهای تصدیق شده مناسب هستند.

1- Intermediate Reflectance Factor or Transmittance
2- Low-reflectance-factor ceramic colour standard
3- Cut-off

یادآوری- برای شناسایی اشکالات عملکرد طیف‌سنج که بر روی درستی نتایج آن تاثیرگذار است، می‌توان از سایر استانداردهای تصدیق شده، استفاده نمود.

۱۰ روش انجام آزمون

۱-۱۰ انتخاب متغیرهای اندازه‌گیری

پارامترهای اندازه‌گیری زیر را تا جایی که طیف‌سنج اجازه می‌دهد، انتخاب کنید:

۱-۱-۱۰ اگر آزمونه فلورسنت باشد، در این صورت منبع نوری مناسب را انتخاب کنید (به استاندارد ASTM E991 مراجعه کنید).

۲-۱-۱۰ وضعیت هندسی منبع نوری و مشاهده‌کننده را انتخاب کنید. در هندسه کروی مشخص کنید کدامیک از کمیت‌های کل یا پخش باید اندازه‌گیری شوند و در هندسه دو جهته مشخص کنید کدامیک از حالت‌های حلقوی، محیطی یا هم صفحه باید در اندازه‌گیری مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۱-۱۰ گستره طول‌موج و گام‌های اندازه‌گیری طول‌موج را انتخاب کنید. علاوه براین در صورتی که امکان انتخاب وجود داشته باشد، پهنای باند طیف عبوری را نیز مشخص کنید (مورد آخر برای رنگ‌سنج‌های طیفی[1] کاربرد ندارد).

۲-۱۰ انتخاب متغیرهای محاسباتی

زمانی‌که دستگاه طیف‌سنج به یک دستگاه رایانه وصل می‌شود و از طریق آن مقادیر محرک‌های سه گانه CIE و مختصات رنگی به صورت خودکار محاسبه می‌شود، متغیرهای تعریف شده این محاسبات را مطابق بخش ۵ استاندارد ASTM E 308 انتخاب کنید. توصیه می‌شود خوانش‌های دستگاهی برای پهنای باند محدود با یکی از روش‌های استاندارد [۲۱] تصحیح شود.

۳-۱۰ اندازه‌گیری آزمونه‌ها را مطابق با دستورالعمل‌هایی که توسط سازنده دستگاه ارائه شده است انجام دهید.

۱۱ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید حداقل دارای اطلاعات زیر باشد:

۱-۱۱ شرح آزمونه، شامل موارد زیر:

۱-۱-۱۱ نوع و مشخصات آزمونه؛

۲-۱-۱۱ تاریخ تهیه یا تولید آن در صورت لزوم؛

۳-۱-۱۱ روش تمیز کردن و زمان آن، در صورتی که نیاز به تمیز کردن داشته باشد؛

۴-۱-۱۱ جهت قرار دادن آزمونه در حین اندازه‌گیری؛

1- Spectrocolorimeters

۱۱-۱-۵ هر تغییری که در حین اندازه‌گیری در آزمونه رخ دهد؛

۱۱-۲ تاریخ اندازه‌گیری؛

۱۱-۳ پارامترهای دستگاهی، تمام پارامترهای اندازه‌گیری با طیف‌سنج و رعایت الزامات خاصی که در بند ۵ استاندارد شرح داده شده است.

۱۱-۴ اطلاعات طیفی، که باید در قالب یک جدول، که شامل طول‌موج‌ها و کمیت‌های اندازه‌گیری شده باشد (این مورد برای رنگ‌سنج‌های طیفی کاربرد ندارد).

۱۱-۵ اطلاعات رنگ‌سنجی، نظیر محرک‌های سه‌گانه و دیگر مولفه‌های مشتق شده در صورتی که طیف‌سنج به یک دستگاه رایانه وصل باشد و محاسبات را از آن طریق انجام دهد.

۱۲ دقت و اریبی

۱۲-۱ دقت و اریبی بستگی به مواد مشخص دارد. اطلاعات گزارش شده، حاصل نتایج گزارش‌های علمی است که عموما از سرامیک‌های رنگی استاندارد استفاده می‌کنند تا معرف بهترین وضعیت باشند، لذا برای کنترل صنعتی رنگ آزمونه‌های صنعتی الگوی مناسبی نیستند.

۱۲-۲ تکرارپذیری، نتایج گزارش شده در [۱۸] و [۱۹] نشان می‌دهد که تکرارپذیری نتایج حاصل از یک طیف‌سنج مدرن در حدود ۰٫۱ واحد اختلاف رنگ CIELAB است در حالی که محدوده اختلاف رنگ دستگاه‌های تجاری از حداقل ۰٫۳ تا حدود ۲ واحد می‌باشد.

۱۲-۳ تجدیدپذیری، تجدیدپذیری یک گروه از طیف‌سنج‌های مشابه که در [۲۲] گزارش شده است، باید کمتر از ۰٫۲ واحد اختلاف رنگ باشد. در صورتی که توافق نتایج بین طیف‌سنج‌ها درهنگام مقایسه طیف‌سنج‌های مختلف، خصوصا اگر این اختلاف مربوط به تفاوت در شرایط منبع نوری و مشاهده کننده طیف‌سنج باشد، به مراتب ضعیف‌تر می‌باشد [۲۳] و [۲۴].

۱۲-۴ در تخمین تکرارپذیری نتایج و تجدیدپذیری باید تاثیر غیریکنواختی آزمونه سنجش شده نیز لحاظ گردد.

۱۲-۵ هر کاربری باید به صورت دوره‌ای میزان دقت طیف‌سنج را با استفاده از اندازه‌گیری آزمونه‌های مشخص تعیین نماید و سپس در مورد چشم‌پوشی خطای طیف‌سنج در نتایج آزمون تصمیم‌گیری کند.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

کتاب‌نامه

[1] Billmeyer, F. W., Jr., and Fairman. H. S., "CIE Method of Calculating Tristimulus Values." Color Research and Application, Vol 12, 1987, pp. 27-36.

[2] Stearns, E I., "Influence of Spectrophotometer Slits on Tristimulus Calculations," Color Research and Application, Vol 6, 1981, pp. 78-84.

[3] Clarke, F. J. J., and Compton, J. A., "Correction Methods for Integrating.:-Sphere Measurement of Hemispherical Reflectance," Color Research and Application, Vol 11, 1986, pp. 253-262.

[4] Atkins, J. T., and Billmeyer, F. W.. Jr., "Edge-Loss Errors in Reflectance and Transmittance Measurement of Translucent Materials," Materials Research and Standards, Vol6, 1966, pp. 564-569.

[5] Krochmann, E., and Krochmann, J., "On the Measurement of Photometric Characteristics of Diffusing Materials," Paper D203, 4pp., Publication CIE No. 56, CIE 20th Session, Amsterdam, 31 August-8 September, 1983, Vol 1, Papers, Central Bureau of the CIE, Paris. 1953

[6] Billmeyer, F. W., Jr.. and Chen, Y., "On the Measurement of Haze," Color Research and Application, Vol 10, 1985, pp. 219-224.

[7] Hunter, R. S.. and Harold, R. W., The Measurement of Appearance, 2nd ed.. Wiley, New York, 1987, Table 16.1.

[8] Rich, D. C., "The Effect of Measurement Geometry on Computer Color Matching," Color Research and Application, Vol 13, 1988, pp. 113-118

[9] Billmeyer, F. W.. Jr., "A National Standardization Program for Spectrophotometry," Color Research and Application, Vol 8, 1983, pp. 182-186.

[10] Carter, E. C., and Billmeyer, F. W., Jr., "Material Standards and Their Use in Color Measurement," Color Research and Application, Vol 4, 1979, pp. 96-100.

[11] Erb, W.. and Budde. W.. "Properties of Standard Materials for Reflection," Color Research and Application, Vol 4, 1979, pp. 113-1 I 5.

[12] New Series of Ceramic Colour Standards," Color Research and Application, Vol 9, 1984, pp. 119-120.

[13] Weidner, V. R.. Mavrodineanu, R., Mielenz, K. D., Velapoldi, R. A.. Eckerle, K. L., and Adams, B., "Spectral Transmittance Characteristics of Holmium Oxide in Perchloric Acid Solution," Journal of Research of the National Bureau of Standards, Section A, Vol 90. 1985, pp. 115-125.

[14] Eckerle, K. L., Chang, S., and Hsia. J. J.. "Calibration in 1976 and 1983 of Didymium Glass Filters Issued as NBS Standard Reference Materials," Color Research and Application, Vol 10, 1985, pp. 32-37.

[15] Van den Akker, J. A., "Wave-length Calibration of Spectrophotometers," Journal, Optical Society of America, Vol 33, 1943, pp. 257-259.

[16] Keegan, H. J., Schleter, J. C., and Judd, D. B., "Glass Filters for Checking Performance of Spectrophotometer-Integrator Systems of Color Measurement," Journal of Research of the National Bureau of Standards, Section A, Vol 66, 1962, pp. 203-221.

[17] Berns, R. S., and Petersen, K. H., "Empirical Modeling of Systematic Spectrophotometric
Errors," Color Research and Application, Vol 13, 1988, pp. 243-256

[18] Rich, D. C., "Colorimetric Repeatability and Reproducibility of CHROMA-SENSOR◦ Spectrocolorimeters," Die Farbe, Vol 37, 1990. pp. 247-261.

[19] Rich, D. C., "The CHROMA-SENSOR CS-5: A Tradition of Improved Performance," Color Research and Application, Vol 16, 1991, pp. 322-337.
[20] Oana, H., Jahreiss, L, Rich, D. C., and Trost, S., "Development and Characterization of a Miniature Dual-Channel Spectrometer for Spectrocolorimetry," SHE Proceedings, Vol 1681, SPIE Bellingham, WA, (1992).
[21] Oleary, C., "Spectral-Reflectance-Factor Deconvolution and Colorimetric Calculations by Local-Power Expansion," Color Research and Application, 25, No. 3, 2000, pp 170-175.
[22] Rich, D. C., Battle, D. R., ingleson. A., Malkin, F., and Williamson, C., "Evaluation of the Long Term Repeatability of Reflectance Spectrophotometers," Spectrophotometry, Luminescence and Colour; Science and Compliance, C. Burgess and D. G. Jones, eds., Elsevier, New York, 1995, pp. 137-153.
[23] Verrill, J. F.. "Intercomparison of Colour Measurements Synthesis Report," Report EUR 14982 EN, European Commission, Brussels, (1993).
[24] Verrill, J. F, Clarke, P. *J.*, O'Halloran, J., and Knee, P. C., "NFL Spectrophotometry and Colorimetry Club, Intel-comparison of Colour Measurements," NPL Report QU 113, National Physical Laboratory, Teddington, United Kingdom, (1995).
[25] Baba, G., Suzuki, K., "Gonio-Spectrophotometric Analysis of White and Chromatic Reference Materials," Analytica Chemica Acta,, 380, pp. 173-182, (1999).
[26] Hanson, A. R., Verrill. J. F., "Study of the Dependency of Spectral Radiance Factor and Colorimetric Values on Geometric Tolerances," Analytica Chemica Acta, 380, pp. 363-367, (1999).