



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۲۰۷۴۷-۴

چاپ اول

۱۳۹۵

INSO

20747-4

1st.Edition

2017

Identical with
ISO 11664-4:
2007

رنگ‌سنجی - قسمت ۴:

فضای رنگ $L^*a^*b^*$ استاندارد CIE 1976

Colorimetry -- Part 4:
CIE 1976 $L^*a^*b^*$ Colour space

ICS: 17.180.20

استاندارد ملی ایران شماره ۴-۲۰۷۴۷ (چاپ اول): سال ۱۳۹۵

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج- ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.1294 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.org.ir

Website: <http://www.isiri.gov.ir>

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه 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.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، 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 for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«رنگ‌سنجی-قسمت ۴: فضای رنگ *L*a*b* استاندارد CIE 1976»

رئیس:

عموزاده، علی

(دکتری شیمی آلی)

سمت و/یا محل اشتغال:

عضو هیئت علمی دانشگاه سمنان

دبیر:

تیموری، مهدی

(کارشناسی ارشد فیزیک ذرات بنیادی)

مدیر عامل شرکت دقیق آزمای سمنان

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

امیرجان، سمیه

(کارشناسی ارشد ریاضی محض)

مربی دانشگاه سمنان

خدا عباسی، روح ا...

(کارشناسی فیزیک حالت جامد)

رئیس اندازه‌شناسی، 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

نظری، محمد

(کارشناسی برق و الکترونیک)

رییس اداره هماهنگی امور تدوین اداره کل
استاندارد استان سمنان

یغمایی، فرزاد

(کارشناسی ارشد عمران)

مدیر کنترل کیفیت شرکت متین گچ
سمنان

ویراستار:

خدا عباسی، روح ا...

(کارشناسی فیزیک حالت جامد)

رئیس اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌های اداره
کل استاندارد استان سمنان

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
و	پیش‌گفتار
ز	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها و اختصارات
۲	۴ روش محاسبه
۸	پیوست الف (آگاهی‌دهنده) تبدیل معکوس
۹	کتاب‌نامه

پیش‌گفتار

استاندارد «رنگ‌سنجی-قسمت ۴: فضای رنگ *L*a*b* استاندارد CIE 1976» که پیش‌نویس آن در کمیسیون-های مربوط به مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی به‌عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷ استاندارد ملی ایران شماره ۵ تهیه و تدوین شده است، در دویست و نودمین اجلاس کمیته ملی استاندارد اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌ها مورخ ۱۳۹۵/۱۱/۰۴ تصویب شد. اینک این استاندارد 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.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است:

ISO11664-4: 2007(E), Colorimetry -- Part 4: CIE 1976 L*a*b* Colour space

مقدمه

فضای رنگ سه بعدی تولیدشده با ترسیم مقادیر محرک رنگ سه گانه (X, Y, Z) استاندارد CIE در مختصات قائم از لحاظ درک بصری، نه در فضای (x, y, Y) و نه در نمودار رنگ^۱ دو بعدی (x, y) استاندارد CIE یکنواخت نیست. فواصل مساوی در این فضاها اختلاف های قابل درکی را بین محرک های رنگ نشان نمی دهند. به این دلیل، در سال ۱۹۷۶، استاندارد CIE دو فضای جدید (که به CIELAB و CIELUV معروفند) را معرفی و پیشنهاد کرد که مختصات آنها توابع غیرخطی X, Y, Z بود. این پیشنهاد در تلاشی برای یکی کردن اقدامات بسیار متنوع در فضا رنگ های یکنواخت و فرمول های اختلاف رنگ مرتبط (Robertson, 1990; CIE, 2004)، مطرح شد. هر دوی این فضا رنگ های تقریباً یکنواخت تر به خوبی مورد پذیرش واقع شده و به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر عددی که تقریباً بزرگی اختلاف های رنگ را نشان می دهند، می تواند با فواصل اقلیدسی ساده در این فضاها یا با فرمول های پیچیده تری که همبستگی با اندازه درک نسبی اختلاف ها را بهبود می دهند، توصیف شود.

هدف این قسمت از استاندارد CIE تعریف روش های اجرایی برای محاسبه مختصات فضا رنگ $L^*a^*b^*$ (CIELAB) استاندارد CIE1976 و مقادیر اختلاف رنگ اقلیدسی بر مبنای این مختصات می باشد. این استاندارد نه فرمول های پیچیده تر اختلاف رنگ بر مبنای CIELAB مانند فرمول CMC (کلارک و همکاران^۲ سال ۱۹۸۴)، فرمول CIE94 (CIE, 1995)، فرمول DIN99 (DIN, 2001) و فرمول CIEDE2000 (CIE, 2001) و نه فضا رنگ یکنواخت جایگزین CIELUV را پوشش نمی دهد.

سری استانداردهای ملی ایران ۲۰۷۴۷ (که این استاندارد قسمت چهارم آن است)، در مورد رنگ سنجی و توابع رنگ همانندی^۳ برای ناظران^۴ مختلف مطابق با استانداردهای بین المللی CIE صحبت می کند. این سری از استاندارد شامل قسمت های زیر می باشد:

- رنگ سنجی - قسمت ۱: ناظران رنگ سنجی استاندارد CIE
- رنگ سنجی - قسمت ۲: منابع نوری استاندارد CIE
- رنگ سنجی - قسمت ۳: مقادیر محرک رنگ سه گانه استاندارد CIE
- رنگ سنجی - قسمت ۶: فرمول اختلاف رنگ CIEDE2000

1-Chromaticity
 2- Clarke et al.
 3- Colour-matching functions
 4- Observers

رنگ‌سنجی-قسمت ۴: فضای رنگ $L^*a^*b^*$ استاندارد CIE 1976

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش محاسبه مختصات فضای رنگ $L^*a^*b^*$ استاندارد CIE 1976 شامل ارتباط‌های بین روشنایی ظاهری^۱، خلوص رنگ^۲ و فام^۳ است. این استاندارد شامل دو روش برای محاسبه فواصل اقلیدسی در این فضا، برای نشان دادن دامنه درک شده از اختلافات رنگ می‌باشد.

این استاندارد برای مقادیر محرک رنگ سه‌گانه محاسبه شده با استفاده از توابع رنگ همانندی سیستم رنگ-سنجی استاندارد CIE 1931 یا سیستم رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1964، کاربرد دارد. در جایی که یک فضای سه بعدی یکنواخت‌تر از فضای محرک رنگ سه‌گانه لازم است، این استاندارد ممکن است برای ویژگی محرک-های رنگ درک‌شده، به عنوان شیء منعکس‌کننده یا عبوردهنده، استفاده شود. این استاندارد برای محرک‌های رنگ درک شده متعلق به یک ناحیه‌ای که به نظر می‌رسد به عنوان منبع نور فیزیکی اولیه، تشعشع کند یا چنین نوری که به صورت بازتاب در اسپکیولاری^۴ ایجادشده، کاربرد ندارد. این استاندارد برای نمایشگرهای خود افروز، مثل لامپ‌های پرتوکاتی، اگر برای شبیه‌سازی اشیاء بازتابنده یا عبوردهنده استفاده شده و محرک‌های رنگ تقریباً به‌هم‌نجار باشد، کاربرد دارد.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب 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 مرجعی 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:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۰۷۴۷: سال ۱۳۹۵، رنگ‌سنجی-قسمت ۱: مشاهده‌گران رنگ‌سنجی استاندارد CIE

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲۰۷۴۷: سال ۱۳۹۵، رنگ‌سنجی-قسمت ۲: منابع نوری استاندارد CIE

2-3 CIE 17.4-1987. International Lighting Vocabulary (Joint publication IEC/CIE)

1- lightness
2-Chroma
3-Hue
4- Specularly

۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها و اختصارات

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف داده شده در استاندارد بند ۲-۱ (واژگان روشنایی بین‌المللی)، موارد زیر نیز کاربرد دارد:

مقادیر محرک رنگ سه‌گانه محرک آزمون که با استفاده از توابع رنگ همانندی سیستم رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1931 (که به عنوان سیستم رنگ‌سنجی استاندارد CIE 2° نیز شناخته شده) محاسبه می‌شود.	Z, Y, X
مقادیر محرک رنگ سه‌گانه یک محرک برای رنگ سفید مشخص که با استفاده از توابع رنگ همانندی سیستم رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1931 محاسبه می‌شود.	Z_n, Y_n, X_n
روشنایی ظاهری CIELAB	L^*
مختصات CIELAB a^*, b^*	a^*, b^*
خلوص رنگ CIELAB	C_{ab}^*
زاویه فام CIELAB	h_{ab}
اختلاف روشنایی ظاهری CIELAB	ΔL^*
اختلاف CIELAB a^*, b^*	$\Delta a^*, \Delta b^*$
اختلاف خلوص رنگ CIELAB	ΔC_{ab}^*
اختلاف زاویه فام CIELAB	Δh_{ab}
اختلاف فام CIELAB	ΔH_{ab}^*
اختلاف رنگ CIELAB	ΔE_{ab}^*

اگر علامت « Δ » در دسترس نباشد، می‌توان علامت «D» را جایگزین آن کرد.
اصطلاح « $CIE L^*a^*b^*$ » و عبارت «CIELAB» می‌توانند جایگزین یکدیگر شوند.

اگر مقادیر محرک رنگ سه‌گانه با استفاده از توابع رنگ همانندی سیستم رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1964 (که به عنوان سیستم رنگ‌سنجی استاندارد CIE 10° نیز شناخته شده) محاسبه می‌شوند، باید نمایه پایین 10 به نمادهای فوق اضافه شود.

۴ روش محاسبه

۱-۴ مختصات پایه

فضای رنگ $L^*a^*b^*$ استاندارد CIE 1976، یک فضای سه بعدی تقریباً یکنواخت فضای رنگ است که با استفاده از رسم مقادیر تعریف شده به وسیله روابط زیر در مختصات قائم، ایجاد می‌شود:

$$L^* = 116 f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \quad (1)$$

$$a^* = 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \quad (2)$$

$$b^* = 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \quad (۳)$$

که در آن، اگر $\left(\frac{X}{X_n}\right) > \left(\frac{6}{29}\right)^3$ باشد، آنگاه:

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \left(\frac{X}{X_n}\right)^{1/3} \quad (۴)$$

اگر $\left(\frac{X}{X_n}\right) \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3$ باشد، آنگاه:

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \left(\frac{841}{108}\right)\left(\frac{X}{X_n}\right) + \frac{4}{29} \quad (۵)$$

و اگر $\left(\frac{Y}{Y_n}\right) > \left(\frac{6}{29}\right)^3$ باشد آنگاه:

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3} \quad (۶)$$

اگر $\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3$ باشد، آنگاه:

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \left(\frac{841}{108}\right)\left(\frac{Y}{Y_n}\right) + \frac{4}{29} \quad (۷)$$

و اگر $\left(\frac{Z}{Z_n}\right) > \left(\frac{6}{29}\right)^3$ باشد، آنگاه:

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{1/3} \quad (۸)$$

اگر $\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3$ باشد، آنگاه:

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \left(\frac{841}{108}\right)\left(\frac{Z}{Z_n}\right) + \frac{4}{29} \quad (۹)$$

که در آن، X و Y و Z مقادیر محرک رنگ سه‌گانه محرک مربوط به رنگ آزمون، بر اساس سیستم رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1931 تعریف شده در CIE S 0141 بوده و X_n ، Y_n و Z_n مقادیر محرک رنگ سه‌گانه متناظر با یک محرک سفید مشخص، می‌باشند.

در مورد اجسام شبیه‌سازی شده منعکس‌کننده یا عبوردهنده که بر روی نمایشگر خود افروز^۱ ایجاد می‌شوند، همه این مقادیر محرک رنگ باید ابتدا به وسیله همان عامل به‌هنجار شوند به طوری که برای یک جسم با قابلیت انعکاس یا قابلیت عبور ۱۰۰٪، Y مساوی با ۱۰۰ باشد.

اگر زاویه میدان دید چشم برای مشاهده محرک آزمون تقریباً بین یک درجه تا چهار درجه باشد، توصیه می‌شود مقادیر محرک رنگ سه‌گانه X ، Y و Z که با استفاده از توابع رنگ همانندی سیستم رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1931 محاسبه می‌شوند، استفاده شود. اگر این زاویه بزرگتر از چهار درجه باشد توصیه می‌شود مقادیر محرک رنگ سه‌گانه X_{10} ، Y_{10} و Z_{10} که با استفاده از توابع رنگ همانندی سیستم رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1964 محاسبه می‌شوند استفاده شود. همان توابع رنگ همانندی و همان محرک سفید مشخص شده باید برای تمام محرک‌های رنگی که قرار است با یکدیگر مقایسه شوند، استفاده شود.

وقتی مقادیر محرک رنگ سه‌گانه که بر مبنای سیستم رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1964 تعریف شده در CIE S 14-1 استفاده می‌شود، یک نمایه پایین 10 باید به تمامی نمادها در روابط (۱) تا (۹) اضافه شود.

اگر مقادیر محرک رنگ سه‌گانه X ، Y و Z به‌وسیله طیف نورسنجی به‌دست آمده باشد، باید مقادیر محرک رنگ سه‌گانه X_n ، Y_n و Z_n محرک سفید مشخص شده، با استفاده از همان روشی که برای محرک آزمون استفاده شده است (توابع رنگ همانندی یکسان، گستره و فاصله طول موج یکسان و پهنای باند یکسان)، محاسبه شود. اگر مقادیر محرک رنگ سه‌گانه X ، Y و Z به‌وسیله اندازه‌گیری مستقیم و با استفاده از یک رنگ‌سنج محرک رنگ سه‌گانه به‌دست آید، باید X_n ، Y_n و Z_n با استفاده از همان رنگ‌سنج محرک رنگ سه‌گانه و یک معیار، با قابلیت انعکاس رنگ سفیدی که نسبت به پخش‌کننده انعکاس کامل، کالیبره شده باشد، اندازه‌گیری شود.

یادآوری ۱- برای رنگ‌های شیء^۲ حقیقی، محرک سفید مشخص شده، که معمولاً برای X_n ، Y_n و Z_n انتخاب شده است، نور بازتابیده از یک پخش‌کننده بازتاب کاملی است که به‌وسیله همان منبع نور فیزیکی شیء آزمون، روشن می‌شود. در این مورد X_n ، Y_n و Z_n مقادیر محرک رنگ سه‌گانه منبع نور فیزیکی هستند که به‌وسیله یک عامل مشترک، که به واسطه آن Y_n مساوی ۱۰۰ می‌شود، به‌هنجار شده‌اند. برای رنگ‌های شیء شبیه‌سازی شده، محرک سفید مشخص شده‌ای که معمولاً انتخاب می‌شود محرک رنگ است که ظاهر یک پخش‌کننده بازتاب کامل را دارد و مجدداً به‌وسیله یک عامل مشترک، که به واسطه آن Y_n مساوی ۱۰۰ می‌شود، به‌هنجار شده‌است.

یادآوری ۲- مثال‌های مقادیر X_n ، Y_n و Z_n برای منابع نور ویژه و روش‌های محاسبه ویژه، قبلاً منتشر شده‌است (CIE,2004).

یادآوری ۳- روابط (۵) و (۷) و (۹) بر اساس نظریه پائولی (۱۹۷۶) بنا شده است.

یادآوری ۴- مقدار ۷/۷۸۷ تقریباً مساوی عبارت $\left(\frac{841}{108}\right)$ در روابط (۵) و (۷) و (۹) است. در عمل ممکن است مقدار تقریبی استفاده شود.

یادآوری ۵- مقدار ۰٫۱۰۰۸۸۵۶ تقریباً مساوی عبارت $\left(\frac{6}{29}\right)^3$ در روابط (۴)، (۵)، (۶)، (۷)، (۸) و (۹) است. در عمل ممکن است این مقدار تقریبی استفاده شود.

یادآوری ۶- کسرهای $\left(\frac{6}{29}\right)$ و $\left(\frac{4}{29}\right)$ در روابط (۴) تا (۹) دقیقاً مساوی با کسرهای $\frac{24}{116}$ و $\frac{16}{116}$ ظاهر شده در استاندارد CIE:2004 هستند.

یادآوری ۷- عبارت $\left(\frac{841}{108}\right)$ در روابط (۵) و (۷) و (۹) از $\left(\frac{1}{3}\right)\left(\frac{29}{6}\right)^2$ نتیجه شده و دقیقاً برابر با آن است.

یادآوری ۸- وقتی $\left(\frac{6}{29}\right)^3 \leq \left(\frac{Y}{Y_n}\right) \leq 1$ باشد، رابطه (۱) به $\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \approx 903 \cdot 3 \cdot L^*$ تبدیل می‌شود.

وقتی مقادیر CIELAB گزارش می‌شوند، بهتر است همراه تمامی اطلاعات مناسب در مورد شرایط اندازه‌گیری و روش‌های استفاده‌شده برای محاسبه مقادیر محرک رنگ ورودی باشد.

۲-۴ همبستگی‌های روشنایی ظاهری، خلوص رنگ و فام

همبستگی‌های تقریبی درک خواص روشنایی ظاهری، خلوص رنگ و فام باید به صورت زیر محاسبه شود:

روشنایی ظاهری CIE 1976: L^* همان طور که در بند (۴-۱) تعریف شده است

خلوص رنگ CIE 1976 a,b (خلوص رنگ CIELAB):

$$C^*_{ab} = \left[(a^*)^2 + (b^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

زاویه فام a,b استاندارد CIE 1976 (زاویه فام CIELAB):

$$h_{ab} = \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (11)$$

زاویه فام CIELAB، اگر هم a^* و هم b^* مثبت باشد h_{ab} باید بین صفر درجه تا ۹۰ درجه، اگر b^* مثبت و a^* منفی باشد، زاویه فام بین ۹۰ درجه تا ۱۸۰ درجه، اگر a^* و b^* هر دو منفی باشد، زاویه فام بین ۱۸۰ درجه تا ۲۷۰ درجه و اگر b^* منفی و a^* مثبت باشد، زاویه فام بین ۲۷۰ درجه تا ۳۶۰ درجه قرار گیرد.

یادآوری- زمانی که روابط خطی (۵)، (۷) یا (۹) برای $\frac{X}{X_n}$ و $\frac{Y}{Y_n}$ یا $\frac{Z}{Z_n}$ استفاده می‌شود، ممکن است مقادیر h_{ab} متناقض به دست

آید (McLaren 1980). بعید است مقادیر متناقض برای رنگ‌های شیء منعکس‌کننده رخ دهد، اما ممکن است برای رنگ‌های شیء شفاف با ضریب روشنایی کم، نزدیک به مکان هندسی طیف یا خط ارغوانی، رخ دهد.

۳-۴ اختلاف‌های رنگ

فاصله‌های اقلیدسی در فضای رنگ CIELAB را تقریباً می‌توان برای نشان دادن دامنه درک اختلاف‌های رنگ، بین محرک‌های رنگ شیء، با تقریباً همان اندازه که در نور محیطی سفید تا خاکستری ملایم یکسان مشاهده می‌شود، به وسیله یک مشاهده‌گر که به صورت فوتوپیک با یک میدان با رنگ منبع نوری استاندارد D65

استاندارد CIE تعریف شده در CIE S 014-2 تطبیق داده شده است، به کار برد. مقادیر داده شده به وسیله این استاندارد ممکن است به طور کامل با اختلاف‌های رنگ مشاهده شده در سایر شرایط مشاهده، همبسته نباشد. اختلاف‌های بین دو محرک‌های رنگ که توسط نمایه پایین 0 (معمولا به عنوان مرجع) و 1 (معمولا به عنوان آزمون) مشخص شد، باید به صورت زیر محاسبه شود:

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_0 \quad (12)$$

$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_0 \quad (13)$$

$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_0 \quad (14)$$

$$\Delta C^*_{ab} = C^*_{ab,1} - C^*_{ab,0} \quad (15)$$

$$\Delta h_{ab} = h_{ab,1} - h_{ab,0} \quad (16)$$

$$\Delta H^*_{ab} = 2(C^*_{ab,1} \cdot C^*_{ab,0})^{\frac{1}{2}} \sin\left(\frac{\Delta h_{ab}}{2}\right) \quad (17)$$

برای اختلاف‌های رنگ کوچک، دور از محور رنگ‌پذیری $C^*_{ab} = 0$ ، رابطه (۱۷) به رابطه زیر تبدیل می‌شود:

$$\Delta H^*_{ab} \approx (C^*_{ab,1} \cdot C^*_{ab,0})^{\frac{1}{2}} \Delta h_{ab} \quad (18)$$

که در آن، مقدار Δh_{ab} بر حسب رادیان است.

اگر خط وصل‌کننده دو رنگ، محور a^* مثبت را قطع کند، رابطه (۱۶) یک مقدار خارج از گستره $\pm 180^\circ$ می‌دهد. در این مورد، برای آوردن آن به این گستره، مقدار Δh_{ab} باید به وسیله اضافه یا کم کردن 360° ، تصحیح شود.

یادآوری ۱ - کمیت ΔH^*_{ab} برای ایجاد هماهنگی با فهم این موضوع که یک اختلاف رنگ می‌تواند به جمع برداری اختلاف روشنایی ظاهری، اختلاف خلوص رنگ و اختلاف فام تقسیم شود، معرفی می‌شود.

یادآوری ۲ - تقسیم اختلاف‌های رنگ CIELAB به اختلاف‌های خلوص رنگ و فام، وقتی که قدر مطلق Δh_{ab} به 180° درجه می‌رسد، به طور تصاعدی کمتر مفید است.

یادآوری ۳ - گاهی اوقات در فن‌آوری اطلاعات و دیگر زمینه‌ها نمایه پایین r (برای مرجع) و t (برای آزمون) به ترتیب به جای 0 و 1 استفاده می‌شود. به طور مشابه گاهی اوقات در ارزیابی صنعتی اختلاف‌های رنگ کوچک s (برای استاندارد) و b (برای بهره) استفاده می‌شود. در کاربردهای دیگر، گاهی اوقات std (برای استاندارد) و spl (برای نمونه) استفاده می‌شود.

اختلاف رنگ a, b استاندارد CIE 1976، ΔE^*_{ab} بین دو محرک‌های رنگی، همانند فاصله اقلیدسی بین نقاطی که آن‌ها را در فضا نمایش می‌دهد، محاسبه می‌شود:

$$\Delta E^*_{ab} = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

یا

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*_{ab})^2 + (\Delta H^*_{ab})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

این دو تعریف ΔE^*_{ab} با هم برابر هستند.

سایر راه‌های محاسبه ΔH^*_{ab} به صورت زیر است:

$$\Delta H^*_{ab} = [(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*_{ab})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

که در آن:

ΔE^*_{ab} از رابطه (۱۹) محاسبه می‌شود و ΔH^*_{ab} همان علامت Δh_{ab} را دارد؛

$$\Delta H^*_{ab} = k [2(C^*_{ab,1} \cdot C^*_{ab,0} - a^*_1 \cdot a^*_0 - b^*_1 \cdot b^*_0)]^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

که در آن اگر $a^*_1 \cdot b^*_0 \geq a^*_0 \cdot b^*_1$ باشد آنگاه $k = -1$ بوده و در غیر این صورت $k = 1$ خواهد بود و

$$\Delta H^*_{ab} = \frac{(a^*_0 \cdot b^*_1 - a^*_1 \cdot b^*_0)}{[0,5(C^*_{ab,1} \cdot C^*_{ab,0} + a^*_1 \cdot a^*_0 + b^*_1 \cdot b^*_0)]^{\frac{1}{2}}} \quad (23)$$

یادآوری ۴- رابطه (۲۳) هم وقتی که خلوص رنگ مقایسه شده صفر هستند قابل استفاده نبوده و هم وقتی سایر خلوص‌های رنگ نزدیک صفر هستند، غیر دقیق است.

یادآوری ۵- جزئیات بیشتر درباره روش‌های مختلف محاسبه ΔH^*_{ab} توسط سیو^۱ (۱۹۹۶) برای رابطه (۱۷)، توسط استوکس^۲ و بریل^۳ (۱۹۹۲) برای رابطه (۲۲) و توسط سیو (۱۹۹۶) برای رابطه (۲۳)، ارائه شده است.

یادآوری ۶- در کاربردهای عملی متفاوت، ممکن است، لازم باشد با استفاده از موازنه‌های متفاوت برای ΔL^* ، ΔC^*_{ab} و ΔH^*_{ab} به‌منظور به‌دست آوردن همبستگی بهتر با درک اختلاف رنگ، رابطه (۲۰) اصلاح شود. در سال ۲۰۰۱ استاندارد CIE چنین موازنه‌هایی را در یک فرمول جدید برای ارزیابی صنعتی اختلاف‌های رنگ کوچک (CIE, 2001) پیشنهاد کرد، اما این موضوع خارج از دامنه این استاندارد است. یک اختلاف رنگ به‌دست آمده در این روش، یک اختلاف رنگ CIELAB نبوده و بهتر است از نماد ΔE^*_{ab} استفاده نشود.

پیوست الف
(آگاهی دهنده)
تبدیل معکوس

روابط زیر نشان دهنده تبدیل معکوس، یعنی محاسبه X ، Y و Z وقتی L^* ، a^* ، b^* داده شود، می باشند.

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \frac{(L^* + 16)}{116} \quad \text{(الف ۱)}$$

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \frac{a^*}{500} + f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \quad \text{(الف ۲)}$$

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - \frac{b^*}{200} \quad \text{(الف ۳)}$$

$$X = X_n \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) \right]^3 \quad \text{آنگاه:} \quad f\left(\frac{X}{X_n}\right) \square \frac{6}{29} \quad \text{اگر} \quad \text{(الف ۴)}$$

$$X = \left(\frac{108}{841}\right) X_n \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - \frac{4}{29} \right] \quad \text{آنگاه:} \quad f\left(\frac{X}{X_n}\right) \leq \frac{6}{29} \quad \text{اگر} \quad \text{(الف ۵)}$$

$$Y = Y_n \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right]^3 \quad \text{آنگاه:} \quad f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \square \frac{6}{29} \quad \text{اگر} \quad \text{(الف ۶)}$$

$$Y = \left(\frac{108}{841}\right) Y_n \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - \frac{4}{29} \right] \quad \text{آنگاه:} \quad f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \leq \frac{6}{29} \quad \text{اگر} \quad \text{(الف ۷)}$$

$$Z = Z_n \left[f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right]^3 \quad \text{آنگاه:} \quad f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \square \frac{6}{29} \quad \text{اگر} \quad \text{(الف ۸)}$$

$$Z = \left(\frac{108}{841}\right) Z_n \left[f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) - \frac{4}{29} \right] \quad \text{آنگاه:} \quad f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \leq \frac{6}{29} \quad \text{اگر} \quad \text{(الف ۹)}$$

یادآوری ۱- شرایط رابطه (الف ۶) معادل با $L^* \square 8$ است.

یادآوری ۲- شرایط رابطه (الف ۷) معادل با $L^* \leq 8$ است.

کتابنامه

- [1] CIE, 1995. CIE 116-1995. Industrial colour difference evaluation, 1995
- [2] CIE, 2001. CIE 142-2001. Improvement to industrial colour-difference evaluation, 2001
- [3] CIE, 2004. CIE 15:2004. Colorimetry, 3rd edition, 2004
- [4] CLARKE, F.J.J., MCDONALD, R., RIGG, B., 1984. Modification to the JPC79 colour difference formula. J. Soc. Dyers Col., 100, 128-131, 1984
- [5] DIN, 2001. DIN6176. Farbmétrische Bestimmung von Farbabständen bei Körperfarben nach der DIN99-Formel. Deutsches Institut für Normung, 2001
- [6] MCLAREN, K., 1980. CIELAB hue-angle anomalies at low tristimulus ratios. Color Res. Appl., **5**, 139-143, 1980
- [7] PAULI, H., 1976. Proposed extension of the CIE recommendation on "Uniform color spaces, color difference equations, and metric color terms". J. Opt. Soc. Am., 66, 866-867, 1976
- [8] ROBERTSON, A.R., 1990. Historical development of CIE recommended color difference equations. Color Res. Appl., **15**, 167-170, 1990
- [9] SÈVE, R., 1991. New formula for the computation of CIE 1976 hue difference. Color Res. Appl., **16**, 217-218, 1991
- [10] SÈVE, R., 1996. Practical formula for the computation of CIE 1976 hue difference. Color Res. Appl., **21**, 314, 1996
- [11] STOKES, M., BRILL, M.H., 1992. Efficient computation of ΔH^*_{ab} . Color Res. Appl., 17, 410-411, 1992