



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۶-۲۰۷۴۷

چاپ اول

۱۳۹۵

INSO

20747-6

1st.Edition

2017

Identical with
ISO11664-6:
2014

رنگ‌سنجی - قسمت ۶:

رابطه اختلاف رنگ CIEDE2000

Colorimetry - Part 6:
CIEDE2000 Colour-difference formula

ICS: 17.180.20

استاندارد ملی ایران شماره ۶-۲۰۷۴۷ (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 ۶: رابطه اختلاف رنگ CIEDE2000»

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

خداام 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:

خداام 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
۱	۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها و اختصارات
۲	۴ شرایط مرجع
۳	۵ روش محاسبه
۷	۶ فاکتورهای پارامتری
۸	پیوست الف (آگاهی‌دهنده) میکرو فضاهاى سه مولفه‌ای
۱۰	کتاب‌نامه

پیش‌گفتار

استاندارد «رنگ‌سنجی - قسمت ۶: رابطه اختلاف رنگ CIEDE2000» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های 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:

ISO/CIE 11664-6: 2014, Colorimetry - Part 6: CIEDE2000 Colour-difference formula

مقدمه

فضای رنگ سه بعدی تولید شده با ترسیم مقادیر محرک 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 دو بعدی (x,y) استاندارد CIE یکنواخت نیست. فواصل مساوی در این فضاها و نمودارها اختلاف های قابل درکی را بین محرک های رنگ نشان نمی دهند. به همین دلیل استاندارد CIE دو فضا رنگ یکنواخت (به CIELAB و CIELUV معروفند) که مختصات آنها توابع غیرخطی از X و Y و Z هستند را استاندارد نموده است. مقادیر عددی که تقریباً بزرگی نسبی اختلاف های رنگ را نشان می دهند، می تواند با فواصل اقلیدسی ساده در این فضاها یا با رابطه های اختلاف رنگ پیچیده تری که همبستگی با اندازه درک نسبی اختلاف ها را بهبود می دهند، توصیف شود. هدف این قسمت از سری استانداردهای ملی ایران- ایزو ----- تعریف رابطه ای مانند رابطه CIEDE2000 است. این استاندارد بر مبنای گزارش فنی ۲۰۰۱-۱۴۲ استاندارد CIE است.

این رابطه، بسط رابطه ای اختلاف رنگ $L^*a^*b^*$ استاندارد CIE1976 (استاندارد ISO 11664-4:2008(E) یا استاندارد CIE S 014-4/E:2007) با تصحیح برای تغییر در درک اختلاف رنگ وابسته به روشنایی ظاهری، خلوص رنگ، فام و برهم کنش خلوص رنگ- فام است. شرایط مرجع، مواد و ویژگی های محیط دیدی را که رابطه برای آن اعمال می شود، تعریف می کند.

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

- رنگ سنجی - قسمت ۱: مشاهده گران رنگ سنجی استاندارد CIE
- رنگ سنجی - قسمت ۲: منابع نوری استاندارد CIE
- رنگ سنجی - قسمت ۳: مقادیر محرک سه گانه استاندارد CIE
- رنگ سنجی - قسمت ۴: فضای رنگ $L^*a^*b^*$ استاندارد CIE 1976

رنگ‌سنجی - قسمت ۶: رابطه اختلاف رنگ CIEDE2000

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش محاسبه اختلاف های رنگ، مطابق رابطه CIEDE2000 است. این استاندارد برای مقادیر ورودی مختصات L^* , a^* , b^* CIELAB که مطابق بند ۲-۱ محاسبه شده است، کاربرد دارد. این استاندارد ممکن است برای ویژگی اختلاف رنگ بین دو محرک های رنگی که مانند اشیاء انعکاسی یا عبوری درک می شوند، مورد استفاده قرار گیرد. اگر محرک های رنگ برای شبیه سازی اشیاء انعکاسی یا عبوری استفاده شوند و اگر مقادیر محرک رنگ سه گانه نمایش دهنده این محرک های رنگ به خوبی به هنجار شده باشند، این ویژگی شامل جنبه های نمایشی مختلفی می باشد. این استاندارد برای محرک های رنگ که مانند محرک های رنگ متعلق به ناحیه هایی که به نظر می رسد باید نور را مانند منابع فیزیکی نور اولیه ساطع نماید، یا نوری که از وسایل اسپکیولاری^۱ منعکس شده باشد، کاربرد ندارد.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می شوند. در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه های بعدی برای این استاندارد الزام آور است. استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

- ۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۴-۲۰۷۴۷: سال ۱۳۹۵، رنگ سنجی-قسمت ۴: فضای رنگ $L^*a^*b^*$ استاندارد CIE 1976
2-2 CIE 142-2001. Improvement to industrial colour-difference evaluation, 2001
2-3 CIE S 017/E: 2011. ILV: International Lighting Vocabulary, 2011

۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها و اختصارات^۲

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

L*	روشنایی ظاهری CIELAB
b^* , a^*	مختصات b^* , a^* CIELAB
C_{ab}^*	خلوص رنگ CIELAB

1-specularly
2- Definitions, Symbols and Abbreviations

زاویه فام CIELAB	h_{ab}
روشنایی ظاهری CIEDE2000	L'
میانگین حسابی روشنایی‌های ظاهری CIEDE2000 دو محرک‌های رنگ	$\overline{L'}$
مختصات a' , b' CIEDE2000	b', a'
خلوص رنگ CIEDE2000	C'
میانگین حسابی خلوص‌های رنگ CIEDE2000 دو محرک‌های رنگ	$\overline{C'}$
زاویه فام CIEDE2000	h'
میانگین حسابی زاویه‌های فام CIEDE2000 دو محرک‌های رنگ	$\overline{h'}$
تابع سوئیچ‌کننده مورد استفاده در اصلاح a^*	G
اختلاف روشنایی ظاهری CIEDE2000	$\Delta L'$
اختلاف خلوص رنگ CIEDE2000	$\Delta C'$
اختلاف فام-زاویه CIEDE2000	$\Delta h'$
اختلاف فام CIEDE2000	$\Delta H'$
اختلاف رنگ CIEDE2000	ΔE_{00}
تابع وزن روشنایی ظاهری	S_L
تابع وزن خلوص رنگ	S_C
تابع وزن فام	S_H
تابع T برای وزن فام	T
تابع چرخش	R_T
وابستگی فام تابع چرخش	$\Delta \theta$
وابستگی خلوص رنگ تابع چرخش	R_C
فاکتور پارامتری روشنایی ظاهری	k_L
فاکتور پارامتری خلوص رنگ	k_C
فاکتور پارامتری فام	k_H

۴ شرایط مرجع^۱

رابطه CIEDE2000 برای اشیایی که تحت شرایط مرجع زیر دیده می‌شوند قابل استفاده در نظر گرفته می‌شود:

- روشنایی: منبع فیزیکی که تابش طیفی مربوط به منبع نوری استاندارد D65 استاندارد CIE را شبیه‌سازی می‌کند.

- شدت روشنایی: ۱۰۰۰ برحسب لوکس^۲.

- ناظر: با بینایی رنگی طبیعی.

- میدان پس‌زمینه: خاکستری بی‌رنگ و یکنواخت با $L^* = 50$.

1- Reference Conditions

^۲-lx= لومن تقسیم بر متر مربع (برای نور تابیده شده بر روی سطح استفاده می‌شود)

- حالت دیدن^۱: شیء.
 - اندازه نمونه: جفت نمونه شامل یک زاویه دیداری بزرگتر از چهار درجه.
 - جداسازی نمونه: حداقل جدایی نمونه، با قرار دادن جفت نمونه در تماس لبه‌ای مستقیم^۲، به دست می‌آید.
 - مقدار اختلاف رنگ نمونه: از صفر تا پنج واحد CIELAB.
 - ساختار نمونه: رنگ همگن بدون الگوی ظاهری یا غیریکنواختی قابل دیدن.
 - هنگامی که شرایط استفاده، از شرایط مرجع انحراف زیادی داشته باشد، ممکن است فاکتورهای پارامتری برای تصحیح اثرات ماده یا متغیرهای تجربی، همان طوری که در بند ۶ توصیف می‌شود، استفاده شود.
- یادآوری ۱- گزارش فنی پیشنهادی CIE T C 1-63 در مورد «اعتبار گستره^۳ CIE DE2000» بحث خواهد کرد و ممکن است بعضی محدودیت‌های کاربردی CIEDE2000 برای اختلاف های رنگ CIELAB کوچکتر از یک واحد یا بزرگتر از پنج واحد و برای ناظر رنگ‌سنجی استاندارد CIE 1931 (ناظر درجه ۲ استاندارد CIE) را نشان دهد.
- یادآوری ۲- گزارش فنی پیشنهادی CIE T C 1-63 در مورد «صحت اعتبار فرمول برای پیش‌بینی اختلاف های کوچک رنگ» بحث خواهد کرد و ممکن است برخی از محدودیت‌های کاربردی CIEDE2000 برای اختلاف رنگ کمتر از ۲ واحد را نشان دهد.

۵ روش محاسبه

در این استاندارد، باید تمام کمیت‌های زاویه‌ای برحسب درجه سنجیده شوند.

مختصات L^* , a^* , b^* و C_{ab}^* دو نمونه، باید مطابق بند ۳-۲ محاسبه شود.

مختصات CIELAB اصلاح شده باید مطابق معادلات (۱) تا (۷) محاسبه شود.

1- Viewing mode: حوزه مشاهده و درک رنگ‌ها به دو قسمت تقسیم می‌شود. اول حوزه مشاهده شیء رنگی (the object mode of viewing) و دوم حوزه مشاهده منبع نوری (illuminant the mode of viewing)

2- Direct edge contact
3- Validity of the Range

$$L' = L^* \quad (۱)$$

$$a' = (1+G) a^* \quad (۲)$$

$$b' = b^* \quad (۳)$$

$$C' = (a'^2 + b'^2)^{1/2} \quad (۴)$$

$$h' = \begin{cases} \arctan\left(\frac{b'}{a'}\right) & \text{اگر } a' > 0 \text{ و } b' \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{b'}{a'}\right) + 360^\circ & \text{اگر } a' > 0 \text{ و } b' < 0 \\ \arctan\left(\frac{b'}{a'}\right) + 180^\circ & \text{اگر } a' < 0 \\ 90^\circ & \text{اگر } a' = 0 \text{ و } b' > 0 \\ 270^\circ & \text{اگر } a' = 0 \text{ و } b' < 0 \end{cases} \quad (۵)$$

$$h' = 0^\circ \quad \text{اگر } a' = 0 \text{ و } b' = 0 \quad (۶)$$

که در آن:

$$G = 0,5 \left(1 - \sqrt{\frac{(\bar{C}_{ab}^*)^7}{(\bar{C}_{ab}^*)^7 + 25^7}} \right) \quad (۷)$$

و \bar{C}_{ab}^* میانگین حسابی مقادیر C_{ab}^* برای دو نمونه از اختلاف رنگ دوتایی است. معادله (۵) تضمین می‌کند که h' موقعیت زاویه‌ای نقطه a', b' در گستره 0° تا 360° بوده که نسبت به محور مثبت a' در صفحه a', b' اندازه‌گیری شده است. در این مورد، جایی که $a' = b' = 0$ است، h' نامعین بوده و باید مقدار صفر، همان طوری در معادله (۶) نشان داده شده است، به آن اختصاص داده شود. یادآوری ۱- توصیه می‌شود مقادیر L', a', b', C' و h' فقط برای محاسبه اختلاف رنگ استفاده شده و به عنوان یک فضای رنگ یکنواخت جایگزین، مورد استفاده قرار نگیرد. هنگام گزارش مختصات فضای رنگ CIELAB، بهتر است مقادیر L^*, a^*, b^*, c_{ab}^* و h_{ab} مورد استفاده قرار گیرد.

اختلاف بین دو نمونه با نمایه پایین 0 (معمولا مرجع) و 1 (معمولا نمونه آزمونه) باید به صورت زیر محاسبه شود:

$$\Delta L' = L'_1 - L'_0 \quad (۸)$$

$$\Delta C' = C'_1 - C'_0 \quad (۹)$$

$$\Delta H' = 2(C'_0 C'_1)^{\frac{1}{2}} \sin\left(\frac{\Delta h'}{2}\right) \quad (۱۰)$$

که در آن اگر $C'_0 C'_1 = 0$ آنگاه:

$$\Delta h' = 0^\circ \quad (۱۱)$$

اگر $C'_0 C'_1 \neq 0$ و $|h'_1 - h'_0| \leq 180^\circ$ آنگاه:

$$\Delta h' = h'_1 - h'_0 \quad (۱۲)$$

اگر $C'_0 C'_1 \neq 0$ و $|h'_1 - h'_0| > 180^\circ$ آنگاه:

$$\Delta h' = h'_1 - h'_0 - 360^\circ \quad (۱۳)$$

اگر $C'_0 C'_1 \neq 0$ و $|h'_1 - h'_0| < -180^\circ$ آنگاه:

$$\Delta h' = h'_1 - h'_0 + 360^\circ \quad (۱۴)$$

یادآوری ۲- معادلات (۱۱) تا (۱۴) وقتی h'_0 و h'_1 در ربع‌های مختلف دایره مثلثاتی هستند یا وقتی یکی از خلوص‌های رنگ صفر باشد، از مشکلات محاسبه‌ای جلوگیری می‌کند. این معادلات از نتایج شارما^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۵ به دست آمده است.

یادآوری ۳- گاهی اوقات در فن‌آوری اطلاعات و سایر زمینه‌ها، نمایه پایین Γ (برای مرجع) و t (برای آزمون) به ترتیب به جای 0 و 1 استفاده می‌شود. به‌طور مشابه گاهی اوقات در ارزیابی صنعتی برای اختلاف‌های رنگ کوچک، s (برای استاندارد) و b (برای یک دسته) استفاده می‌شود.

ΔE_{00} اختلاف رنگ CIEDE2000، بین دو نمونه باید به صورت زیر محاسبه شود:

$$\Delta E_{00} = \left[\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H} \right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C} \right) \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

که در آن:

$$S_L = 1 + \frac{0,015 (\overline{L'} - 50)^2}{\sqrt{20 + (\overline{L'} - 50)^2}} \quad (16)$$

$$S_C = 1 + 0,045 \overline{C'} \quad (17)$$

$$S_H = 1 + 0,015 \overline{C'} T \quad (18)$$

$$T = 1 - 0,17 \cos(\overline{h'} - 30^\circ) + 0,24 \cos(2\overline{h'}) + 0,32 \cos(3\overline{h'} + 6^\circ) - 0,20 \cos(4\overline{h'} - 63^\circ) \quad (19)$$

$$R_T = -\sin(2\Delta\theta) R_C \quad (20)$$

$$\Delta\theta = 30^\circ \exp \left\{ - \left[\frac{(\overline{h'} - 275^\circ)}{25^\circ} \right]^2 \right\} \quad (21)$$

$$R_C = 2 \sqrt{\frac{(\overline{C'})^7}{(\overline{C'})^7 + 25^7}} \quad (22)$$

k_H و k_L, k_C فاکتورهای پارامتری هستند که در بند ۶ توضیح داده می‌شود.

یادآوری ۴- مقادیر $\overline{L'}, \overline{C'}$ و $\overline{h'}$ مورد استفاده در معادلات (۱۶) تا (۲۲) میانگین حسابی مقادیر متناظر با اختلاف رنگ جفت هستند. نتیجه این میانگین‌گیری، برگشت‌پذیر بودن اختلاف رنگ کل می‌باشد یعنی اختلاف رنگ کل بین یک جفت یکسان است، خواه نمونه اول یا نمونه دوم برای محاسبه اجزای اختلاف رنگ به عنوان استاندارد استفاده شود.

یادآوری ۵- مکان هندسی نقاطی با اختلاف رنگ کل برابر، نسبت به یک معیار دقیقاً یک بیضی نبوده و دقیقاً به مرکزیت آن معیار نمی‌باشد.

اگر اختلاف رنگ جفت، نمونه‌هایی در ربع‌های مختلف دایره مثلثاتی داشته باشد، بهتر است کاربران در محاسبه میانگین زاویه فام دقت کنند. برای مثال، اگر یک اختلاف رنگ جفت، زاویه‌های فام ۳۰ درجه و ۳۰۰ درجه داشته باشد، میانگین ساده ۱۶۵ درجه نادرست بوده و مقدار صحیح، ۳۴۵ درجه می‌شود. برای تعیین کردن صحیح میانگین، معادلات زیر (شارما و همکاران، ۲۰۰۵) باید استفاده شود.

اگر $C'_0 C'_1 \neq 0$ و $|h'_0 - h'_1| \leq 180^\circ$ باشد، آنگاه:

$$\bar{h}' = \frac{(h'_0 + h'_1)}{2} \quad (23)$$

اگر $C'_0 C'_1 \neq 0$ و $(h'_0 + h'_1) < 360^\circ$ و $|h'_0 - h'_1| > 180^\circ$ باشد، آنگاه:

$$\bar{h}' = \frac{(h'_0 + h'_1 + 360^\circ)}{2} \quad (24)$$

اگر $C'_0 C'_1 \neq 0$ و $(h'_0 + h'_1) \geq 360^\circ$ و $|h'_0 - h'_1| > 180^\circ$ باشد، آنگاه:

$$\bar{h}' = \frac{(h'_0 + h'_1 - 360^\circ)}{2} \quad (25)$$

و اگر $C'_0 C'_1 = 0$ باشد، آنگاه:

$$\bar{h}' = h'_0 + h'_1 \quad (26)$$

یادآوری ۶- برخی از نمونه محاسبات انجام شده در CIE142-2001، توسط لو^۱ و همکاران، ۲۰۰۱ و شارما و همکاران، ۲۰۰۵ داده شده است. همچنین شارما^۲ و همکاران برخی از یادداشتهای اجرایی مفید و مشاهدات ریاضی را ارائه می دهند.

۶ فاکتورهای پارامتری

مشاهده تجربی و متغیرهای مهم می توانند اثرات پارامتری داشته باشند که بر نتایج اختلاف رنگ دیداری (استاندارد CIE1993) موثر می باشد. فاکتورهای پارامتری k_L, k_C و k_H را می توان برای تصحیح این اثرات به کار برد.

تحت شرایط مرجع، فاکتورهای پارامتری، مقادیر خاص منحصر به فردی داشته و بر اختلاف رنگ کل تاثیر نمی گذارند.

این فاکتورهای پارامتری روشی برای تصحیح انحراف در شرایط تجربی نسبت به شرایط مرجع تعریف شده، ارائه می دهند. به کاربران در مورد استفاده بی رویه از این فاکتورهای پارامتری، بدون اعتبارسنجی تجربی، هشدار داده می شود. ممکن است هر گروه از صنایع، فاکتورهای پارامتری متناظر با شرایط تجربی نوعی خود را تعریف کنند.

یادآوری - در صنعت نساجی، روش معمول، تنظیم کردن فاکتور پارامتری روشنایی ظاهری با عدد ۲ است. هر چند شرایط تجربی که منتهی به این اصلاحیه پارامتری برای حساسیت اختلاف روشنایی ظاهری شود، هنوز کاملاً به دست نیامده است.

1- Luo et al., 2001
2- Sharma et al., 2005

پیوست الف
(آگاهی دهنده)
میکرو فضاهای سه مولفه‌ای

برای کاربردهای معین، مانند تقسیم یک اختلاف رنگ به مولفه‌های روشنایی ظاهری، خلوص رنگ و فام برای طبقه‌بندی سایه و نسبت دادن اندازه و جهت به یک اختلاف خاص در دستورالعمل محاسبه، داشتن یک نسخه سه جمله‌ای معادله (۱۵) که در یک فاصله کوچک اطراف منبع صحیح باشد، مفید خواهد بود. معادلات زیر (نابز^۱ ۲۰۰۲) این کار را انجام می‌دهند:

$$\tan(2\varphi) = R_T \frac{(k_c S_c)(k_H S_H)}{(k_H S_H)^2 - (k_c S_c)^2} \quad \text{(الف-۱)}$$

که باید φ بین ۹۰ - درجه تا ۹۰ درجه در نظر گرفته شود.

یادآوری ۱ - اگر $k_c S_c = k_H S_H$ باشد آنگاه 2φ مساوی ۹۰ درجه است، پس φ مساوی ۴۵ درجه خواهد بود.

$$\Delta C'' = \Delta C' \cos(\varphi) + \Delta H' \sin(\varphi) \quad \text{(الف-۲)}$$

$$\Delta H'' = \Delta H' \cos(\varphi) - \Delta C' \sin(\varphi) \quad \text{(الف-۳)}$$

$$S_c'' = (k_c S_c) \sqrt{\frac{2(k_H S_H)}{2(k_H S_H) + R_T (k_H S_H) \tan(\varphi)}} \quad \text{(الف-۴)}$$

$$S_H'' = (k_H S_H) \sqrt{\frac{2(k_c S_c)}{2(k_c S_c) - R_T (k_H S_H) \tan(\varphi)}} \quad \text{(الف-۵)}$$

$$\Delta L_{00} = \frac{\Delta L'}{k_L S_L} \quad \text{(الف-۶)}$$

$$\Delta C_{00} = \frac{\Delta C''}{S_c''} \quad \text{(الف-۷)}$$

$$\Delta H_{00} = \frac{\Delta H''}{S_H''} \quad \text{(الف-۸)}$$

$$\Delta E_{00} = [(\Delta L_{00})^2 + (\Delta C_{00})^2 + (\Delta H_{00})^2]^{1/2} \quad \text{(الف-۹)}$$

یادآوری ۲ - معادله (الف-۹) یک مقدار اختلاف رنگ ΔE_{00} برابر با مقدار محاسبه شده با استفاده از معادله (۱۵) می‌دهد. هرچند، تعریف سه بعدی فاصله کوچک برای هر مرکز رنگی مختلف است.

کتابنامه

- [1] CIE 101-1993. Parametric Effects in Colour-Difference Evaluation, 1993
- [2] LUO, M.R., CUI, G., RIGG, B. The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000, Color Res. Appl., **26**, 340-350, 2001
- [3] NOBBS, J.H., A Lightness, Chroma and Hue Splitting Approach to CIEDE2000 Colour Differences, Advances in Colour Science and Technology, **5**, 46-53, 2002
- [4] SHARMA, G., WU, W., DALAL, E.N. The CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations, Color Res. Appl., **30**, 21-30, 2005