

BEYAZ LED İLE AYDINLATMADA RENKLİ GÖRME PERFORMANSI

A. Kamuran TÜRKOĞLU

Elektrik-Elektronik Müh. Böl.
Girne Amerikan Üniversitesi
TO-301 Girne, KKTC

kamuran.turkoglu@gmail.com

ÖZET

6500 K renk sıcaklığı değerindeki günışığı aydınlatmasında bir cismin gerçek renklerini görebilmekteyiz. Aynı cisim, farklı tayflı aydınlatmalar altında gözlerimiz tarafından farklı renkte algılanabilir. Artık sıklıkla kullanmaya başladığımız beyaz LED aydınlatması altında renkleri ayırt etme performansımız, kullanılan LED ışık kaynağı tayfsal özelliklerine göre çok değişebilmektedir.

Bu çalışmada iç aydınlatmada kullanılan değişik renk sıcaklığındaki beyaz LED'ler baz alınarak, geriverim indisi değerleri bakımından renkli görme performansının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca CIE geri verim indisi hesaplama prosedürü incelenmekte ve beyaz LED'ler için tartışılan yeni hesaplama önerileri aktarılmaktadır.

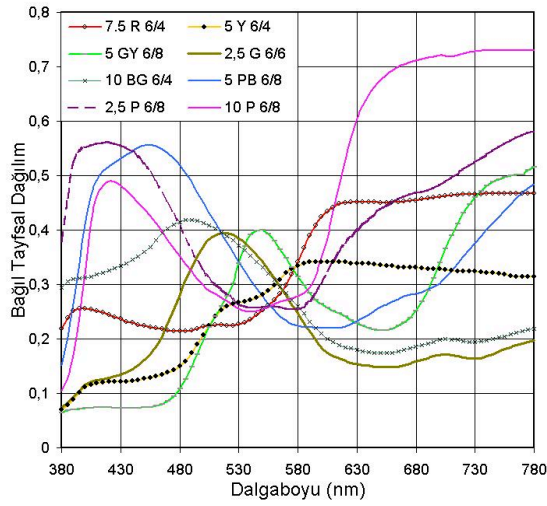
Anahtar Kelimeler- LED, Renk GeriVerim İndisi, Renk Sıcaklığı, Renkli Görme.

1. IŞIK YAYICI DİYOTLAR

LED'ler, yani Işık Yayıcı Diyotlar, aydınlatma sektörüne çok hızlı bir giriş yaptılar. Artık LED tabanlı ve E27 duylu LED lambaları her markette bulabiliyor ve evlerimiz içerisinde sıklıkla kullanıyoruz. Lamba satın alırken, kullanıcıların, beyaz veya sarı ışık ayırımı yaparak tercih edebildiklerini görüyoruz. Hatta, lamba kutuları üzerlerinde üretici tarafından belirtilmişse, lümen cinsinden ışık akısı verilerini de karşılaştırıp, kullanım yerine göre de seçim yapabiliyoruz. Belirtilen uzun kullanım sürelerinin, o kadar da uzun olamadığını satın aldıktan sonra, pratikte görsek te, LED lambaların akkor lambalara göre daha az enerji harcadıkları artık kanıtlanmış bir gerçek. Ayrıca, enerji verimliliği alanında, LED lamba üretimine yönelik yeni yasal düzenlemeler sonucu, LED kullanımının yaygınlaşmasının teşvik edildiğini söyleyebiliriz.

2. RENKSEL GERİVERİM İNDİSİ

Yapay bir ışık kaynağından beklenen başlıca özellikler arasında, yaydığı aydınlatma miktarı ya da lümen/watt cinsinden verimliliği gelir. Ama kullanımda, o aydınlatma altında renkli cisimlerin ne derece iyi görülebildiği unsuru da önem taşır. Buradaki ışık verimliliği ve renksel geriverim indisi ifadeleri, aydınlatma kaynağının tayfına bağlı olarak hesaplanan büyüklüklerdir [1]. Bu bağlamda, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu; CIE tarafından, Renksel GeriVerim İndisi (CRI), yapay bir ışık kaynağının, ideal bir referans aydınlatıcıya göre farklı renkteki nesnelere ne derece yakın gösterdiğinin standart bir ölçütü olarak tanımlanmıştır [2].



Şekil 1. CRI Hesaplamaları Standart Test Paleti

Farklı ışık kaynaklarına sahip değişik aydınlatmalar altında, günışığında gördüğümüz birçok nesne çok farklı renkte gözükabilmektedir [3]. Işık kaynaklarının bu özellikleri, CIE tarafından uygun referans aydınlatıcılara göre hesaplanan Renksel Geriverim İndisi (Color Rendering Index, CRI) olarak tanımlanmış, değerleri 1 ile 100 arasında değişen rakamlarla ifade edilerek standartlaştırılmıştır. Genelde, sayısal olarak yüksek CRI değerine sahip lambalar standart günışığı aydınlatması altındaki doğal aydınlatma altındaki gündüz görüşüne, en yakın doğal görünüş performansını verebilen aydınlatıcıyı işaret eder [4].

Bu çalışmada, çeşitli tayflara sahip beyaz LED kaynakların renksel geriverim indisi değerlerini hesaplamak için, CIE tanımlarına uygun bir hesaplama programı oluşturulmuştur [5]. Mevcut durumda CIE, ışık kaynaklarının renksel geriverim özelliklerinin belirlenmesi için, on dört adet test renk örneği kullanarak, karşılaştırma yöntemi ile hesaplanmasını önermektedir [6]. Bu yöntem temel olarak, CIE tarafından kabul edilmiş, tayfları Şekil.1’de verilen sekiz asıl ve altı adet ek Munsell renk örneğinin referans

ve test aydınlanmaları altındaki renk değerleri kaymalarının hesaplanmasına dayanır [7]. Buradaki ilk sekiz renk, orta seviyede doymuş renklerdir. Diğer altı renk ise oldukça doymuş kırmızı, sarı, yeşil, mavi, açık yeşil gibi ek renkleri içermektedir.

Standart yöntemde öncelikle, CIE 1931 (X, Y, Z, x, y) uzayına göre alınan renksel veriler, hesaplamaların yapılacağı 1960 (u, v) koordinatlarına çevrilir;

$$u = 4X / (X + 15Y + 3Z) \quad (1)$$

$$v = 6Y / (X + 15Y + 3Z)$$

Hesaplamaların tek renk uyumunun doğru olması için test lambasına yakın renk özelliğine sahip bir r referans aydınlatıcısı seçilir. Test edilen lamba (k) aydınlatması altında, referans aydınlatıcıya (r) göre oluşan renk kayması (2) eşitliği ile hesaplanır;

$$u'_{k,i} = \frac{10.872 + 0.404 \frac{c_r}{c_k} c_{k,i} - 4 \frac{d_r}{d_k} d_{k,i}}{16.518 + 1.481 \frac{c_r}{c_k} c_{k,i} - \frac{d_r}{d_k} d_{k,i}} \quad (2)$$

$$v'_{k,i} = \frac{5.520 \frac{c_r}{c_k} c_{k,i} - \frac{d_r}{d_k} d_{k,i}}{16.518 + 1.481 \frac{c_r}{c_k} c_{k,i} - \frac{d_r}{d_k} d_{k,i}}$$

Burada $u'_{k,i}$ ve $v'_{k,i}$ değerleri, i numaralı standart renk örneğinin test edilen lambadan referans aydınlatıcıya hesaplanılan türsel koordinat değerleridir. Eşitlikte kullanılan c ve d değerleri ayrı ayrı hesaplanır;

$$c = (4 - u - 10v) / v \quad (3)$$

$$d = (1.708v + 0.404 - 1.481u) / v$$

$u'_k = u_r$ ve $v'_k = v_r$ olacak şekilde renk kayması kabul edilerek, $Y_r = Y_k = 100$ alınıp $Y_{r,i}$ ve $Y_{k,i}$ değerleri normalize

edilerek, renksel veriler 1964 Uzay Koordinatlarına çevrilir;

$$\begin{aligned}
 W_{r,i}^* &= 25(Y_{r,i})^{1/3} - 17 \\
 W_{k,i}^* &= 25(Y_{k,i})^{1/3} - 17 \\
 U_{r,i}^* &= 13W_{r,i}^*(u_{r,i} - u_r) \\
 U_{k,i}^* &= 13W_{k,i}^*(u'_{k,i} - u'_k) \\
 V_{r,i}^* &= 13W_{r,i}^*(v_{r,i} - v_r) \\
 V_{k,i}^* &= 13W_{k,i}^*(v'_{k,i} - v'_k)
 \end{aligned} \quad (4)$$

Her bir standart örnek için, test lambası k ve referans aydınlatıcı r için 1964 Renk Farkı şu şekilde hesaplanır;

$$\Delta E_i = \sqrt{(\Delta U_i^*)^2 + (\Delta V_i^*)^2 + (\Delta W_i^*)^2} \quad (5)$$

R_i , her bir örnek için elde edilen özel Renk Geriverim indisidir;

$$R_i = 100 - 4.6\Delta E_i \quad (6)$$

Genel Renk Geriverim indisi değeri; CRI- R_A , ise, standartta tanımlı ilk sekiz farklı rengin herbiri için hesaplanan R_i değerlerinin aritmetik ortalaması olur;

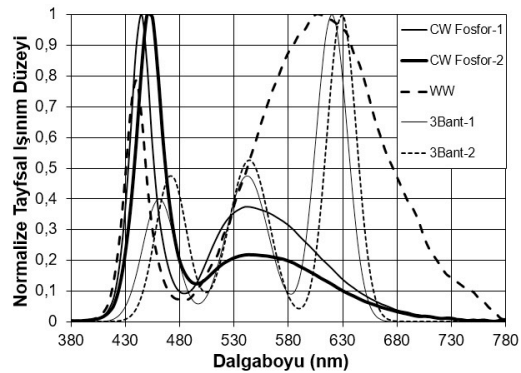
$$CRI = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i \quad (7)$$

3. LED CRI- R_A DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışmada genel renksel geriverim indisi değerleri hesaplanan beyaz LED'lerin normalize ışınım düzeyi tayfları Şekil:2'de verilmektedir. Şekildeki bazı LED tayfları beklenildiği üzere üç ana renk bantları içermektedir. Mavi, yeşil ve kırmızı bu bantların birleşimi gözlerimiz tarafından beyaz renk olarak algılanmaktadır. Hesaplamalarda kullanılan üç bantlı '3Bant-1' kodlu beyaz LED sırasıyla 461-542-620 nm dalgaboylarında, '3Bant-2' kodlu ikinci beyaz LED ise 472-544-629 nm dalgaboylarında mavi-yeşil-kırmızı tepe noktalarına sahiptir.

Seçilen LED'ler arasında, geniş bantlı sarı renkli fosfor dağılımı ile mavi renkli InGaN çip ışınmalarının birleşiminden oluşan fosfor tipi LED'ler de bulunmaktadır. Fosfor tipi LED'lerin mavi ve sarı ışıklarının karışımı da gözlerimiz tarafından beyaz renk olarak algılanmaktadır.

Şekil:2'de fosfor kaplı LED'lerden, soğuk beyaz tipli olanlar CW (Cool White), sıcak beyaz olanlar WW (Warm White) kısaltmasıyla gösterilmiştir. 'CW Fosfor-1' kodlu LED 444 nm, 'CW Fosfor-2' kodlu LED 451 nm, 'WW' kodlu sıcak-beyaz LED ise 439 nm dalgaboyunda mavi tepe dalgaboyuna sahiptir. Sıcak-beyaz WW LED'de, fosfor kaplama etkisi 606 nm dalgaboyu etrafında kırmızı renkte geniş dağılımlı olarak göze çarpmaktadır. Tayftaki bu geniş kırmızı hat, lamba ışınma renginin daha çok sarımsı renkte olmasına neden olmaktadır. Bu tür geniş dalgaboylu ışınmalar kullanılan armatürün renk sıcaklığı değerini artırırken, kullanımda enerji ve ışık kayıpları olarak yansımaktadır.



Şekil 2. Hesaplamalarda kullanılan beyaz renkli LED'lerin ışınım tayfları

Tablo 1. Test LED kaynakları için CRI- R_A ve CCT Hesaplama Sonuçları

| Test LED Kaynağı | CCT (K) | CRI, R_A |
|------------------|---------|------------|
| CW Fosfor-1 | 5198 | 84 |
| CW Fosfor-2 | 5100 | 80 |
| WW | 2984 | 64 |
| 3Bant-1 | 3301 | 85 |
| 3Bant-2 | 3309 | 81 |

Işık kaynaklarının renksel geriverim indisi değerlerinin belirlenmesi için, CIE standart CRI hesaplama yöntemi temel alınarak bir program oluşturulmuştur. Bu yazılım ile belirlenen beyaz LED ışık kaynaklarının ışımaya eğrisi ile üçtersel tayflar geleneksel CIE yönteminde belirtildiği şekilde ağırlıklı olarak toplanarak CRI- R_A değerlerine erişilmiştir. Farklı tayftaki LED kaynaklar için hesaplanan CRI- R_A değerleri Tablo:1'de gösterilmektedir. Tabloda LED'lerin CRI- R_A değerleri yanında, hesaplanan renk sıcaklığı değerleri de gösterilmektedir.

4. GELİŞTİRİLMEMEYE AÇIK YÖNLER

Günümüzde, yapay ışık kaynaklarının renkli gösterme kalitesi denince, sayısal olarak ölçülebilen ve uluslararası kabul gören CIE- R_A renksel geriverim indisi ölçeği değeri ön plana çıkmaktadır [8].

Ancak CRI- R_A hesaplamaları, prosedür olarak kısıtlı bir renk paletine dayandığı, ve temelde geniş bantlı ışık kaynaklarını referans aldığından bazı ölçümsel limitleri mevcuttur. Ölçüm sisteminin dayandığı 1964 U*V*W* uzayı, CIELAB uzayı kadar homojen olmadığından yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, bazı dar bantlı LED ışık kaynakları için hesaplanan renksel geriverim indisi değerleri, dalgaboyuna bağlı olarak birbirinden farklı ölçüm doğruluklarında belirlenebilmektedir. Çünkü hesaplamada temel alınan Munsell

renk paleti, tüm renklerin sadece kısıtlı bir kısmına karşılık gelmektedir. Genel CRI- R_A değeri, palette yeralan 8 renge ait değerlerin ortalaması olduğundan, bazı renkleri aynı ışık altında farklı gösterebilen iki farklı kaynak, aynı CRI- R_A değerine sahip olabilmektedir.

Alçak basınçlı sodyum lambalar gibi bazı ışık kaynaklarının CRI- R_A değerleri ise mevcut hesaplama sisteminde negatif değerli çıktığından yorumlanamamaktadır.

Bu gibi nedenlerle, beyaz LED'ler için hesaplanan CRI- R_A değerinin, renkleri gösterme performansının belirlenmesinde tek başına yeterli bir faktör olmadığı değerlendirilebilir [9]. Zaten 2007 yılında CIE, standart CRI- R_A hesaplama modelinin LED kaynakların renksel geriverim indisinin belirlenmesinde yetersiz kalabildiğine dikkat çekmiştir. Mevcut hesaplama yönteminin revize edilmesi gerekliliği üzerine, CIE'nin 2002 yılında 1-62 ve 2006 yılında 1-69 numaralı teknik çalışma grupları kurulmuştur.

Yüksek CRI- R_A değeri ile renk ayırt etme kabiliyeti ilişkilendirilebilse de, düşük CRI- R_A değerine sahip, ancak yüksek kontrastlı aydınlatmaların kullanıcılar tarafından tercih sebebi olabildiği görülmüştür [10]. Bu durum, yeni doyum faktörü ile bir Renk Kalite Ölçeğinin oluşturulmasını sağlamıştır. CIE'nin 1-62 numaralı teknik grubu, 2007 yılında 177 no'lu yayını ilk önerisini yayınlamıştır [11]. 2012 yılında ise 1-90 ve 1-91 numaralı gruplar yeni hesaplama yöntemi üzerinde çalışmaya başlamışlardır.

2013 yılında Amerikan Aydınlatma Mühendisleri Topluluğu (IES)'nin, TM-30-15 'IES Işık Kaynağı Renk Geriverim Indisi Belirlenmesi Yöntemi' teknik grubu geliştirmiş bir CRI belirleme yöntemi önermiştir [12]. 8 yerine 99 renk örneği,

yeni faktör ve gösterimler içeren bu gelişmiş yöntem, bir teknik standart olma aşamasındadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, CIE tarafından tanımlanmış standart hesaplama yöntemlerine göre seçilen beyaz LED kaynakların Renk Geriverim İndisi değerleri hesaplanarak, karşılaştırma yapılmıştır.

Her ışık kaynağı için, tayfsal dağılım verileri kullanılarak standart geriverim indisi değeri hesaplanabilir. Beyaz LED'lerin ölçülen CRI değerleri, üretim sırasında biraz kırmızı renkli fosfor eklenerek artırılabilir. Ancak öte yandan tayfa kırmızı bir hat eklendiğinde CRI değeri artarken, LED lambanın ışıksal verimlilik değerlerinin düşmesi sözkonusudur.

Renkli görme kalitesinin belirlenmesinde, renksel geriverim indisi değerinin mevcut CIE yöntemleriyle belirlenmesinin, önemli bir ölçülebilir değerlendirme yöntemi olduğu görülmekle birlikte, özellikle beyaz renkli LED aydınlatmalarında renkleri ayırtma, renk tercihi ve renk uyumu gibi birçok fizyolojik faktörün de ayrıca gözönünde bulundurulması gerektiği değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, aritmetik ortalamanın yanında hesaplanacak standart sapma değerinin de gözönüne alınması karşılaştırma açısından faydalı olabilir. Beyaz LED'lerin kullanımında renkli görme konforu açısından özel bir kalite değerlendirilmesinin yapılması gerektiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Houser, K. et.al, Tutorial: Color Rendering and Its Applications in Lighting, LEUKOS, 12:7–26, 2016.
- [2] CIE 17.4, International Lighting Vocabulary.
- [3] CIE 109, A method of predicting corresponding colours under different chromatic and illuminance adaptations, 1994.
- [4] Wyszecki, G., Styles, W. S., Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, NewYork: John Wiley & Sons, 1982.
- [5] A. K. Türkoğlu, “Flüoresan Lambaların Tayfsal Özelliklerinin CIE Normlarına Göre Belirlenmesi“, V.Ulusal Aydınlatma Kongresi, 209-216, İstanbul, 8.10.2004
- [6] CIE 13.3, Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources, 1995.
- [7] CIE 135/2, Colour Rendering, TC 1-33 closing remarks, 1999.
- [8] Rea, M.S., Freyssinier, J.P. Recommendations for specifying color properties of light sources for retail merchandising, Solid-State Illumination Systems and Tech., Cilt: 8, No:2, 2010.
- [9] Ohno, Y., Color Rendering and Luminous Efficacy of White LED Spectra, 4th Int. Conf. on Solid State Lighting, 2004
- [10] Narendran, N., Deng, L., Colour Rendering Properties of LED light sources, 2002.
- [11] CIE 177 Colour Rendering of White LED Light Sources, 2007.
- [12] David A. et al, IES TM-30-15, IES method for evaluating light source colour rendition, Illuminating Engineering Society, 2015.