

SİYAHCİSİM RENK SICAKLIĞI

A.Kamuran TÜRKOĞLU¹
akt@ume.tubitak.gov.tr

Yusuf ÇALKIN¹

¹TÜBİTAK UME, Optik Grubu Laboratuvarı, PK.54, Gebze 41470, Kocaeli

ÖZET

Bu çalışmada ideal siyahcisim ışımasından yola çıkılarak teorik ve deneysel olarak renk sıcaklığı kavramı incelenmektedir. Siyahcisim ışıması ve renk sıcaklığı kavramları tanıtılmakta, CIE tanım ve önerilerine göre renk sıcaklığının belirlenmesi işlemi aktarılmaktadır. Pratik bir uygulama olarak, mevcut spektrofotometre ile ölçülen değişken sıcaklıklı siyahcisim ışıma tayfları 380 ile 780 nm dalgaboyları arasında sınıflandırılmaktadır. Ölçülen ışıma tayfları ile algoritma ile hesaplanan renk sıcaklığı değerleri sonucu hesaplanılan teorik tayflar renk sıcaklığı belirleme doğruluğu açısından karşılaştırılmaktadır.

Anahtar sözcükler: Renk Sıcaklığı, Siyah Cisim, Dağılım Sıcaklığı, Tayf

1. GİRİŞ

0 K (Sıfır Kelvin) mutlak sıcaklığının üzerinde sıcaklığa sahip her cisim etrafına bir ışıma yayar. Ancak etrafımızdaki cisimler ideal olmadıklarından, yani emissivite $\epsilon=1$ olmadığından, ürettikleri ışımanın belli kısımları malzeme içerisinde ve yüzeylerinde çeşitli fiziksel mekanizmalarla kayba uğrar, ancak belli bir kısmı etrafa yayılır. Teorik ideal birim emissiviteye çok yakın ışıma kaynakları mevcuttur ve bunlar ‘siyahcisim’ olarak adlandırılır. Sıcaklıkla değişen siyahcisim ışıma tayfı dalga boyuna bağlı olarak ‘Planck’ eşitliği ile tanımlıdır ($c_1=3.7418 \times 10^{-16} \text{ W}\cdot\text{m}^2$, $c_2=1.4388 \times 10^{-2} \text{ W}\cdot\text{K}$) [1];

$$M_e(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/T\lambda} - 1)} \dots [W/m^2nm] \quad (1)$$

Bu eşitlikle belli bir sıcaklık için ideal ışıma tayfı dalga boyuna göre belirlenebilmektedir. Ayrıca bu işlemin tersi olarak ışıma tayfı ölçülebilen bir siyahcisim ışımasının ‘dağılım sıcaklığı’ da hesaplanabilir. Işıma kaynaklarının ilgili aralıktaki dalga boylarındaki optik güç dağılımı, belli bir sıcaklıktaki siyahcisim ışımasına benzer ise o kaynak için ‘Dağılım Sıcaklığı’ ifadesi kullanılmaktadır. Fotometride, 380 nm ile 780 nm dalga boyu aralığında sürekli tayfa sahip genellikle tungsten filamanlı akkor

lambalar için dağılım sıcaklığı hesaplanmaktadır [2].

2. IŞIMA SICAKLIKLARI

Yayımlanan ışıma tayfı 380 nm ile 780 nm arasındaki görülür dalga boylarını içeriyorsa ışıma renkli olarak görülebilir. Örnek olarak normal günışığı 6500 K, 40 W’lık akkor bir lamba 2500 K ve 100 W’lık akkor bir lamba 2850 K seviyesinde renk sıcaklığına sahiptir. Tanımsal olarak, belli bir sıcaklıktaki siyahcismin ışıma rengi ile aynı renk koordinatlarına sahip bir ışık kaynağının sıcaklığı, ‘Renk Sıcaklığı’ olarak adlandırılmaktadır [3]. Yani renk sıcaklığı kavramında, test ışık kaynağı ile siyahcismin insan gözü tarafından aynı renkte algılanması söz konusudur. Ancak tanım, aynı renk ifadesinin yakınlığı konusunda açık değildir. Ayrıca tungsten filamanlı akkor lambalar haricindeki birçok yapay ışık kaynağı görülür ışık yayabilmelerine rağmen, Planck eğrilerinden çok farklı tayfsal ışımalara sahiptirler. Örneğin flüoresan lambalar gibi karmaşık tayf yapısındaki bu ışımların doğal olarak sıcaklıklarını belirlemek zordur.

Fotometri biliminde ölçüm sonuçları yaygın olarak dağılım sıcaklığı veya ilişkili renk sıcaklığı olarak verilmektedir. CIE tarafından, kesik ve karmaşık tayfsal verilere sahip tayflar için de, sıcaklıkların

ideal dağılımlara yakınlığının K (Kelvin) cinsinden ifade edilmesi önerilmektedir. Bu noktada, görsel yapay ışık kaynaklarının hangi teorik sıcaklıktaki siyahcisim ideal ışınım kaynağına yakın renkte ışınım yaydıklarının bir ölçütü olarak İlişkili Renk Sıcaklığı (Correlated Color Temperature, CCT) büyüklüğü tanımlanır. Fakat çok yaygın olarak uygulamada İlişkili Renk Sıcaklığı yerine sadece 'Renk Sıcaklığı' ifadesi kullanıldığı görülmektedir.

2.1. Dağılım Sıcaklığı

Işınım sıcaklıkları kapsamında bahsedilen 'dağılım sıcaklığı' tanımı spektrometrik bir niceliktir. Dağılım sıcaklığı, renk sıcaklığından biraz farklı olarak, kaynağın ilgili dalga boyu aralığındaki ışınımının tayfsal olarak en yakın olduğu Planck tipi ışınım kaynağının sıcaklığı şeklinde tanımlanır [4]. Dağılım sıcaklığı hesaplamaları için Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE), a katsayısı ve T sıcaklığının ayarlanarak aşağıdaki fark ifadesinin minimize edildiği sıcaklığı önermektedir [2];

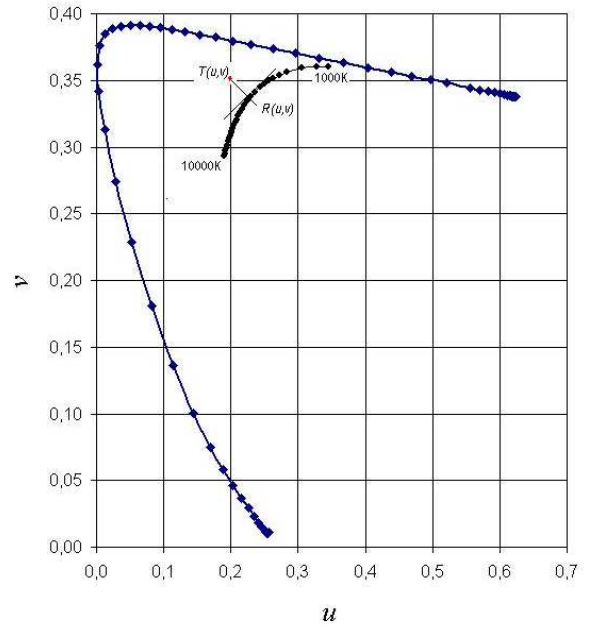
$$\int_{\lambda_2}^{\lambda_1} \left[1 - \frac{M_T(\lambda)}{a \cdot M_{SC}(\lambda, T)} \right]^2 d\lambda = \min \quad (2)$$

Burada M_T test kaynağın ışınım tayfı, M_{SC} ise (1) eşitliği ile tanımlı teorik ışınımın bağlı değerleridir. Doğal olarak siyahcisimlerin dağılım ve renk sıcaklıkları aynıdır. Dağılım sıcaklığı değerleri ile akkor lambalar gibi Planck tarzı ışınım yapabilen kaynakların tayfsal ışınmaları tek bir sıcaklık değeri ile bağlı olarak ifade edilir.

2.2. İlişkili Renk Sıcaklığı

Işınım tayfı Planck eğrisinden çok farklı olan kaynaklar için 'İlişkili Renk Sıcaklığı' (CCT) ifadesi kullanılır. Bir ışık kaynağının ilişkili renk sıcaklığı değeri, aynı parlaklık ve gözlem şartlarında, kendisinininkine en yakın rengi veren

siyahcisim ışınımının sıcaklığı olarak kabul edilir. Bir ışık kaynağının ilişkili renk sıcaklığı değeri uygulamada, MacAdam transformasyonu yapılarak elde edilen 1960 CIE renk diyagramında, test ışık kaynağı rengine en az uzaklıktaki ideal eğri sıcaklığı olarak alınır [5, 6, 7]. Şekil.1'de test ışınım kaynağı renk değeri $T(u,v)$ 'den yola çıkılarak, siyahcisim renk eğrisindeki en yakın nokta $R(u,v)$ 'yi sağlayan T sıcaklığının bulunması grafiksel olarak gösterilmektedir [8].



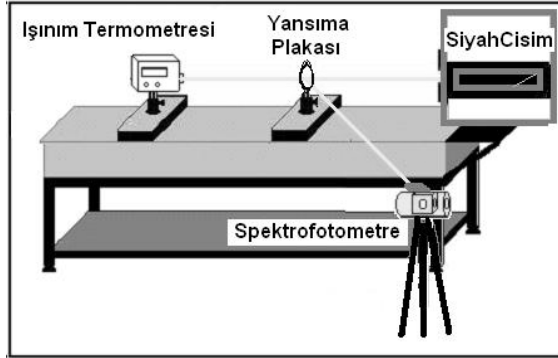
Şekil:1 1960 CIE renk diyagramında CCT değerinin belirlenmesi

Akkor lambaların dağılım ve ilişkili renk sıcaklıkları birbirlerinden 2-3 K farklı olabilir.

3. ÖLÇÜM DÜZENEGİ

Bu çalışmanın deneysel kısmında MIKRON M390 model değişken sıcaklık siyahcisim kaynağı kullanılarak görsel bölgede 5 farklı sıcaklıkta çalıştırılmıştır. Bu siyahcisim kaynağı 873 ile 2873 K sıcaklıkları arasında ayarlanabilen ışınım sağlayabilmektedir. Elde edilen ışınım PhotoResearch PR650 model spektrofotometre ile 0/45° geometrisinde ölçülmüştür. Spektrofotometre, 380 ile 780

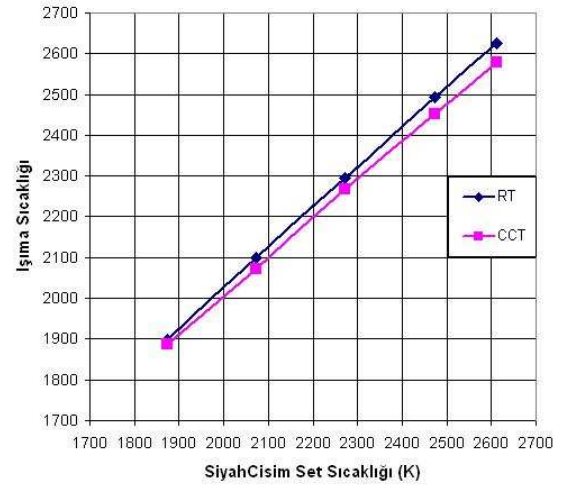
nm dalga boyları arasındaki görsel bölgede renk sıcaklığı ve koordinatları ve 4 nm aralıklarla tayfsal ışıyım düzeyi ölçümleri alabilmektedir. Kontrol amaçlı olarak, düzeneğe MIKRON M190V model Radyasyon Termometresi eklenerek ışıyım sıcaklığı ölçümleri alınmıştır. Ölçüm düzeneği şematik resmi Şekil.2’de verilmektedir.



Şekil.2 Işıyım Sıcaklığı Ölçüm Düzeneği

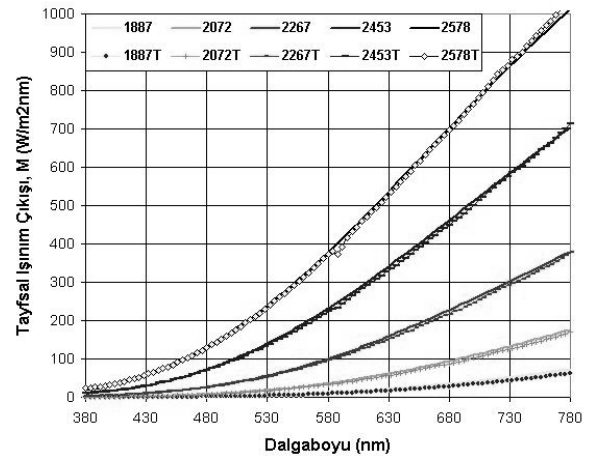
Tablo.1’de, belirlenen sıcaklık değerleri için 2000 K civarında renk sıcaklığı ölçüm ve ışıyım sıcaklığı set değerlerinin mevcut enstrümentasyon düzeneğinde optimum şekilde birbirlerine yaklaştığı görülmektedir.

Şekil.3’te Tablo.1’de listelenen deneysel ölçüm sonuçları radyasyon sıcaklığı (RT) ve renk sıcaklığı (CCT) değerleri için aynı grafikte toplanmıştır.



Şekil.3 Işıyım Termometresi ve Spektrofotometre Sıcaklık Ölçümleri

Karşılaştırma için, spektrofotometre ile tayfsal olarak görülür bölgede alınan ışıyım eğrileri, ölçülen renk sıcaklığı değerlerine karşılık gelen ve (1) eşitliği ile hesaplanan teorik siyahcisim ışıyım değerleri ile birlikte Şekil.4’te verilmektedir. Kesikli çizgi ile gösterilen teorik hesaplama eğrilerinin spektrofotometrik ölçüm verileri düz çizgileri ile birebir örtüştüğü görülmektedir.



Şekil.4 Siyahcisim Tayfsal Ölçümleri ve Teorik Normalize Tayf Değerleri

Yazarlar, siyahcisim ışıyım sıcaklığı ölçümleri için UME Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarından Sn.Özlem Pehlivan ve Sn.Ahmet Diril’e teşekkür eder.

Tablo.1 Renk Sıcaklığı Karşılaştırma Değerleri

Ölçüm No	Radyasyon Sıcaklığı Ölçümü (K)	Siyahcisim Ayar Sıcaklığı (K)	Renk Sıcaklığı Ölçümü (K)	Mutlak Fark (ΔK)
1	1899	1873	1887	14
2	2100	2073	2072	1
3	2296	2273	2267	7
4	2493	2473	2453	20
5	2625	2613	2578	35

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada,

- CIE standartlarına bağlı olarak farklı ışıma sıcaklık tanımları ve önerilen hesaplama yöntemleri tanıtılmıştır. Dağılım sıcaklığının tayfsal ve renk sıcaklığının renksel verilerden yola çıkarak yaklaşımla hesaplandığı belirtilmiştir. Renk sıcaklığı ile ilişkili renk sıcaklığı farklılığı vurgulanmıştır.
- Değişken sıcaklıklı siyah cisim kaynak kullanılıp ışıma sıcaklığı ve renk sıcaklığı ölçümleri yapılarak, sıcaklık farkları gösterilmiştir. Ölçülen renk sıcaklığı değerlerine göre hesaplanan tayf verilerinin ölçümsel verilerle uzlaştığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] G.Wyszecki, W.S.Stiles, Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, Wiley, 1982

[2] CIE 114/4, Distribution Temperature and Ratio Temperature, 1994

[3] CIE 17.4, International Lighting Vocabulary, 1987.

[4] C.DeCusatis, Handbook of Applied Photometry, AIP, Springer, NewYork, 1997

[5] MacAdam D L, J Opt Soc Am 27, 294-299,1937.

[6] A.R.Robertson, Computation of Correlated Color Temperature and Distribution Temperature, J Opt Soc Am 58, No:11, 1528-1535, 1968.

[7] CIE 18.2, Basis of Physical Photometry, 1983.

[8] A.K.Türkoğlu, Flüoresan Lambaların Tayfsal Özelliklerinin CIE Normlarına Göre Belirlenmesi, V.Ulusal Aydınlatma Kongresi, İstanbul, 8 Ekim 2004