

TM 30-15 IŞIK KAYNAĞI RENKSEL GERİVERİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN IES YÖNTEMİNE BİR BAKIŞ

Lale ERDEM ATILGAN

Elektrik Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul
e-posta: erdeml@itu.edu.tr

ÖZET

IES TM-30-15, Illuminating Engineering Society (IES – Aydınlatma Mühendisleri Derneği) tarafından onaylanan ve ışık kaynaklarının renksel geriverimini değerlendiren yeni bir yöntem tanımlamaktadır. Yöntem birbirini tamamlayan bir takım ölçütler ve grafiklerle ışığın, nesnelere renk görünümünü nasıl etkileyeceğinin kapsayıcı bir nitelendirmesini sunmaktadır. Sistemin en üst seviyedeki üç bileşeni Doğruluk Endeksi (Fidelity Index – Rf), Gamut Endeksi (Gamut Index – Rg) ve Renk Vektör Grafiğidir. Bu çalışmada TM-30-15 yöntemi ele alınarak getirdiği yeniliklerden bahsedilecek ve Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun renksel geriverim endeksi CRI ile olan temel farkları vurgulanacaktır.

1. GİRİŞ

Renksel geriverim, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Commission Internationale de l'Eclairage – CIE) tarafından hazırlanan Uluslararası Aydınlatma Kelime Dağarcığı'nda, “bir ışık kaynağının nesnelere renk görünümü üzerindeki etkisinin, referans bir ışık kaynağının altında aynı nesnelere renk görünümleriyle bilinçli veya bilinçaltı olarak karşılaştırılması” olarak tanımlanmaktadır [1]. Renk görünümünün modellenmesi, insan görsel sisteminin spektral girdileri karmaşık bir şekilde değerlendirmesi sonucunda oluşturduğu renk algısının matematiksel olarak tahmin edilmeye çalışılmasıdır. Burada, görsel çevredeki spektral güç dağılımlarına cevap olarak insan görsel sisteminde açığa çıkan ve renk algısını oluşturan bağıl türsellik (chroma), renk türü (hue), parlaklık gibi niteliklerin sayısal hale getirilebilmesi esas hedeftir [2]. 20. yüzyılın ortalarında ışık kaynaklarının

sayısının ve çeşitliliğinin artması sonucunda CIE renk doğruluğunu (color fidelity) değerlendirmek için Renksel Geriverim Endeksi (Color Rendering Index – CRI) adı altında bir metrik geliştirmiştir. Bu yöntemle 1965'ten itibaren bir ışık kaynağının renk doğruluğu, 14 seçilmiş yüzeyden oluşan bir örneklemden yola çıkarak ve 8 örnekle bir alt seti de ortalama bir hassasiyet göstergesi (Ra) olarak kullanarak değerlendirilebilir hale getirilmiştir [3].

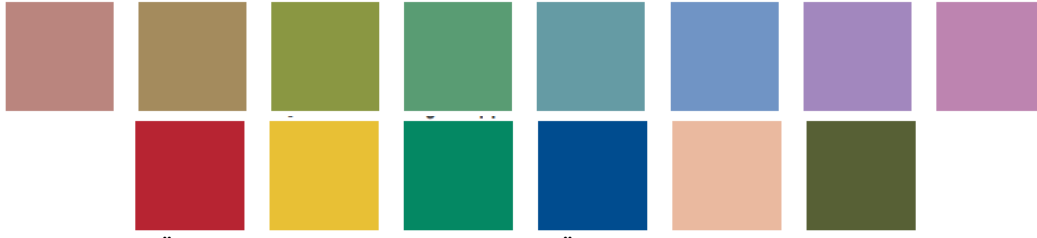
CRI ışık kaynaklarının renk seçiminde iyi bir yardım sağlamakla birlikte renk doğruluğu, renksel geriverimin sadece bir kısmıdır; uygulamaya yönelik yaklaşımlarda renk tercihi (color preference) veya renk ayrımı (color discrimination) ile her zaman korelasyon içinde değildir ve renk görüntüsünü etkileyen her büyüklüğü dikkate almamaktadır [4]. Aydınlatma tasarımı karmaşık bir bilim olmasının yanı sıra aynı

zamanda da bir sanattır ve bu işin en önemli kısmı doğru ışık kaynaklarını seçebilmektir. Literatürdeki çeşitli çalışmalar, özellikle spektral özellikleri dar bir dalga boyu aralığına düşen kaynaklarda CRI'nın iyi sonuçlar vermediğini göstermektedir. Bu dar aralıklarda ışınım yapan LED'li (Light Emitting Diode – Işık Yayan Diyot) kaynakların aktif kullanımı, renksel geriverim konusunda ciddi problemler oluşturmaya başlamıştır. Sonuç olarak renk doğruluğunu daha iyi bir endekse tanımlamak ve bu endekse daha çok bilgiyi dahil edebilmek ihtiyacı ortaya çıkmıştır [5].

IES TM-30-15, Illuminating Engineering Society (IES – Aydınlatma Mühendisleri Derneği) tarafından onaylanan ve ışık kaynaklarının renksel geriverimini değerlendiren yeni bir yöntem tanımlamaktadır. Yöntem birbirini tamamlayan bir takım ölçütler ve grafiklerle ışığın, nesnelere renk görünümünü nasıl etkileyeceğinin kapsayıcı bir nitelendirilmesini sunmaktadır. Sistemin en üst seviyedeki üç bileşeni Doğruluk Endeksi (Fidelity Index – Rf), Gamut Endeksi (Gamut Index – Rg) ve Renk Vektör Grafiğidir [6]. Bunlara ek olarak, TM-30-15 yöntemiyle, çeşitli alt endekslerle, örneğin kırmızılarının renk doğruluğu, doymuşluk kaymaları veya cilt rengi türlerinin doğruluğu gibi daha detaylı bilgiler elde etmek mümkündür. Bu çalışmada IES TM-30-15 yöntemi ele alınarak getirdiği yenilikler ve mevcut renksel geriverim değerlendirme yöntemlerinden en çok kullanılan CIE CRI yönteminden farklılıkları incelenecektir.

2. RENKSEL GERİVERİM DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Günümüzde en yaygın kullanılan renksel geriverim değerlendirme yöntemi CIE tarafından öne sürülmüş olan CRI yöntemidir. Bu yöntemde CIE tarafından tanımlanmış spektral yansıtma fonksiyonlarına sahip 14 renk örneği, test altındaki bir ışık kaynağı ile aydınlatıldığında, referans bir kaynak ile aydınlatıldığı durumdaki renkleri ne kadar yakınlıkla sağlayıp sağlamadığı incelenir. Burada test örnekleme sayısına dair önemli bir ayrımı belirtmek gerekmektedir. Renksel geriverim endeksi, test örnekleme göre Özel ve Genel olarak iki ayrı şekilde ele alınmaktadır. Bunlardan Özel Renksel Geriverim Endeksi, $i=1, 2, \dots, 14$ olmak üzere R_i olarak sınıflandırılan ve belirli bir teorik yüzeyin belirli bir spektral yansıtma fonksiyonuna sahip 14 farklı yüzey üzerinden değerlendirme yapılan bir sistem oluşturmaktadır. Genel Renksel Geriverim endeksi ise R_a ile gösterilip seçilmiş 8 örnek için R_i değerlerinin ortalamasını vermektedir. R_i değerleri bir ışık kaynağının belirli renklerin görünümünü ne şekilde etkilediğine dair detaylı bilgi edinmek isteyen uzmanlar için kullanışlıyken, rutin aydınlatma tasarımı yaklaşımlarında daha çok ortalama değer sunan R_a değeri kullanılmaktadır. Dolayısıyla CRI'dan bahsedildiğinde R_i değerlerine dair herhangi bir bilgi verilmediği takdirde, bahsedilen değerlerin ortalama R_a değerleri olduğu kabulü yapılmaktadır [2]. Şekil 1'de CRI yöntemi için kullanılan 8 R_a renk örneği ve R_9-R_{14} renk örneklerinin 3000 K siyah cisim ışması altındaki görünümünün bir yaklaşımı verilmektedir.



Şekil 1. Ra Renk Örneklemi (üst satır) ve R₉-R₁₄ Renk Örneklemi (alt satır) 3000 K Siyah Cisim Işınımı Altında Görünümleri [7]

Son 50 yılda, aydınlatma endüstrisinin büyük bir kısmı yüksek renk doğruluğunun renk kalitesi için en önemli büyüklük olduğu düşüncesiyle hareket etmiştir. Bu renk kalitesi hedefi CIE renksel geriverim endeksi Ra'nın en yüksek seviyede tutulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Royer tarafından yapılan çalışmada, CRI gibi renk doğruluğunu karakterize eden tek bir rakamın üreticilere çok basit bir karşılaştırma yöntemi sağlamakla birlikte, önemli yanlış anlamalara yol açtığı ve belki de kullanıcıların renksel geriverim anlamında tercih edebilecekleri bir takım ışık kaynaklarının gelişiminin önünde engel teşkil ettiği belirtilmektedir [8].

Literatürde CRI'ya ek olarak pek çok farklı renksel geriverim inceleme yöntemi yer almaktadır. Bu yöntemlerden Gamut Alan Endeksi, Renk Kalite Skalası, CRI2012 gibi yöntemler CRI'nın renk doğruluğu yaklaşımından farklı yaklaşımlar da sunmakla birlikte, renksel geriverimi her yönden değerlendirebilecek bir metrik oluşturamamışlardır. Houser ve diğ. tarafından yapılan çalışmada 22 farklı renksel geriverim yöntemi ele alınarak bunların birbirleriyle matematiksel bir karşılaştırılması yapılmış ve sonuç olarak CRI gibi renksel geriverimi tek bir sayıyla tanımlayan metriklerin renksel geriverimin altında yatan pek çok farklı bilgiyi barındırmasının mümkün olmadığı

belirtilmiştir [9]. Çalışma aynı zamanda renksel geriverimin sadece iki ölçütle değerlendirilmesi durumunda en çok bilginin ölçütlerden birinin referans temelli renk doğruluğu veya renk kalitesi olması ve diğerinin de bağlı gamut olması durumunda elde edilebileceğini göstermektedir. Houser ve diğ. tarafından ele alınan renksel geriverim değerlendirme endeksleri 3 ana başlık altında toplanmaktadır; bunlar renklerin alışlageldik referans ışık kaynaklarının altında gördükleri gibi görünmelerini sağlayan hassas renksel geriverim; nesnelere çekici, canlı veya memnun edici görünmelerini sağlayan renksel geriverim; ve bir ışık kaynağının kullanıcının renkleri aynı anda gördüğünde iki renk arasındaki ayrımı varmasını sağlama kapasitesinin mevcut olduğu renksel geriverimdir. Renksel geriverimin bu boyutları sırasıyla renk doğruluğu, renk tercihi ve renk ayrımı olarak adlandırılmaktadır.

3. IES TM-30-15 IŞIK KAYNAĞI RENKSEL GERİVERİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN IES YÖNTEMİ

IES TM-30-15 teknik raporu ışık kaynağı renksel geriverimini tanımlamak için nesnel ve istatistiki bir yaklaşım getiren bir yöntem sunmaktadır. Bu yöntem ile bir ışık kaynağının renk doğruluğu (bir referansa yakınlık) ve gamutu (bağlı türsellikteki artış

veya azalış) rakamsal olarak tanımlanabilmektedir. Yöntemin önemli bir özelliği insan renk tercihini değerlendirmeye çalışmaması ve birleşmiş renksel geriverim özelliklerini tek bir rakam olarak vermeye çalışmamasıdır. Bunun yerine yöntem Rf ve Rg değerleriyle iki boyutlu bir nitelendirme yapmaktadır. Yöntem aynı zamanda bir renk vektör grafiği sunarak bu grafik yardımıyla ortalama renk türü ve bağıl türsellik kaymalarını belirtmekte ve Rf ve Rg değerlerini görsel anlamda anlaşılabilir kılmaktadır [10].

IES TM-30-15 yöntemi aynı bağıl renk sıcaklığı değerine sahip bir test ışık kaynağı ile referans ışık kaynağının altında gözlemlenen renklerin karşılaştırılması üzerine kurulu bir yöntemdir. Burada referans kaynak 4500 K'e kadar siyah cisim ışınımına uygun, 4501 K – 5499 K arasında siyah cisim ışınımı ile CIE D serisi bir ışık kaynağının orantılı bir karışımı ve 5500 K ve üzerinde CIE D serisi bir ışık kaynağı olacak şekilde seçilmiştir [10]. CIE D serisi kaynaklar farklı renk sıcaklıklarındaki gün ışığını temsil etmektedirler [6].

Yöntemde her biri farklı bir spektral yansıtma faktörü fonksiyonuna sahip 99 renk değerlendirme örneği kullanılarak test kaynağı ile referans kaynak arasındaki renksel geriverim farkı tespit edilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemde ele alınan ve gerçek dünyadaki renkleri temsil eden 99 renk değerlendirme örneği içeren örneklem ve kullanılan renk uzayının günümüzdeki en düzgün dağılımlı renk uzayı olan CAM02-UCS olması TM-30-15 yöntemini diğer

yöntemlerden ayırmaktadır [6]. Bu örnekler 105.000 gerçek nesne arasından seçilmiştir ve hem renk uzayı hem dalga boyu uzayında düzgün dağılmaktadır. Renk uzayında düzgün dağılım örneklerin mimari hacimlerde karşılaşılabilecek nesne renklerini iyi bir şekilde temsil ettiğini göstermektedir [5]. Bu örneğin içinde boyalar, tekstil ürünleri, doğal nesnelere, cilt renkleri, mürekkepler ve benzeri renkli nesnelere yer almaktadır [11]. CIE'nin genel renksel geriverim endeksi Ra'nın hesaplanması için kullanılan 8 renk örneğine kıyaslandığında yeni yöntemdeki 99 renk örneği seçici optimizasyonun önüne geçerek çıktılarının gerçek uygulamalarda daha doğru sonuçlar oluşturmasını sağlamaktadır. Hesap yönteminde, örnekler her dalga boyunda yansıtıkları ışınım akısı yüzdesini gösteren yansıtma fonksiyonlarıyla tanımlanırlar. Şekil 2 (a)'da TM-30-15 yönteminin renk örneklerinin 5000 K'lik referans ışık kaynağı altındaki yaklaşık görünüşleri, 2 (b)'de ise her örneğin spektral yansıtma fonksiyonları verilmektedir [12].

TM 30-15 yöntemi renksel geriverimi nitelendirmek için pek çok bileşeni dikkate alarak birden fazla tanım yapmaktadır. Sayısal endekslerin en önemlileri daha önce de belirtilen doğruluk endeksi ve gamut endeksi olup bu iki değer renk vektör grafiği ile desteklenmektedir. Bunlara ek olarak yeni yöntem kullanıcıya renk doymuşluk grafiği, renk türü doğruluk endeksleri, renk türü endekslerine göre bağıl türsellik değişimi, cilt rengi doğruluğu endeksi ve örnek doğruluk endeksi başlıkları altında bilgiler sunmaktadır.



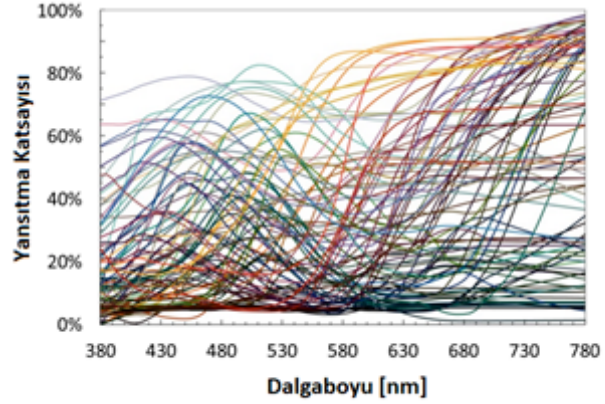
Şekil 2 (a). B TM-30-15 renk örnekleme (5000 K altında)

3.1 Doğruluk endeksi, Rf

Doğruluk endeksi Rf, IES yönteminde CIE Ra değerinin karşılığıdır. Renk örnekleminde yer alan 99 örnekten ortalama renk kaymasını niteleyerek test edilen ışık kaynağı ile referans kaynak arasındaki genel benzerlik seviyesini belirlemek için kullanılır. Her renk örneğinin test kaynağı ve referans kaynak altındaki üçtürsellik koordinatlarının arasındaki farkın belirlenerek, renk farkının ortalama değerinin alınması ile hesaplanır. Rf değerleri 0 ila 100 arasında değişmektedir. Sonuç olarak Rf renk doğruluğunu tanımlayan, test kaynağı ile referans kaynak tarafından sağlanan renk benzerliğini ifade eden sayısal bir değer sunar. Rf, ortalama algılanan renk doğruluğu veya renk hafızasına dair herhangi bir bilgiyi içermediği gibi, kullanıcıların renk tercihlerine dair de bir bilgi sunmaz [10, 12].

3.2 Gamut endeksi Rg

Gamut endeksi test edilen ışık kaynağının referans kaynağa kıyasla ortalama

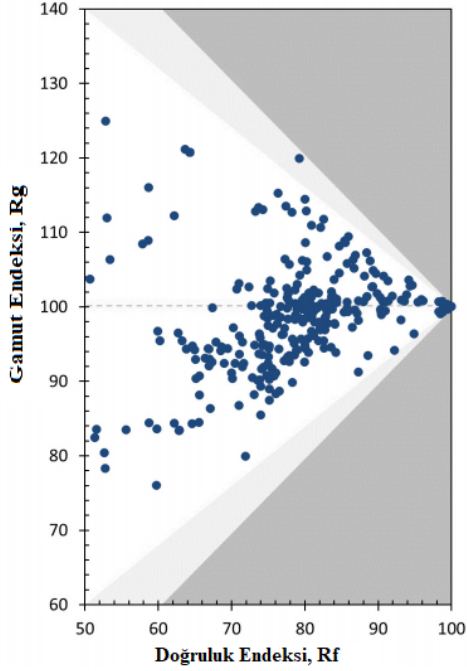


Şekil 2 (b). TM-30-15 renk örnekleri için yansıtma fonksiyonları

doymuşluk seviyesini karakterize edebilmek için renk uzayında oluşturulan 16 renk türü grubu (bini) için ortalama üçtürsellik koordinatları tarafından çevrelenen alanları karşılaştırır. Nötr bir değer 100 iken, 100'den büyük değerler doymuşlukta artışa, 100'den küçük değerler ise doymuşlukta azalmaya işaret etmektedir. Renk doğruluğu azaldıkça, gamut endeksi değerlerinin aralığı da büyümektedir [10].

Rf ve Rg kartezyen koordinat sisteminde, Rf yatay eksen, Rg dikey eksen çizilerek bu iki ölçütün birleşiminin yaklaşık sınırları gösterilebilir. Bu grafik farklı kaynaklar arasında bir karşılaştırma yapılırken görsel bir referans sağlayarak karşılaştırma işlemini kolaylaştırmaktadır. Grafikten doğruluk ve gamut değişimleri arasındaki denge ayırt edilebilmekte ve bu sayede yapılacak tasarım için hangi kaynağın daha doğru olacağı konusunda daha net bir bilgi edinilebilmektedir [10]. Şekil 3'te gamut endeksinin doğruluk endeksinin göre değişiminin grafiği verilmektedir. Burada mavi noktalar gerçek kaynakları sembolize ederken açık gri taramalı bölge siyah cisim geometrik

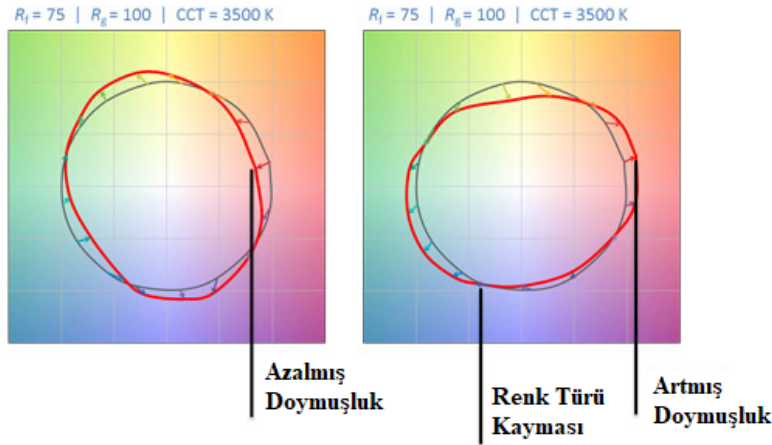
yerinde bulunması mümkün olmayan kaynaklar ve koyu gri bölge de beyaz ışık vermeyen kaynaklar için sınırlandırılmıştır.



Şekil 3. Doğruluk Endeksine Göre Gamut Endeksi Grafiği [12]

3.3 Renk Vektör Grafiği

Renk Vektör Grafiği referans kaynağa bağlı olarak her renk türü grubundaki



Şekil 4. Renk Vektör Grafiği Örnekleri [6]

ortalama geriverime göre renk türü ve doymuşluk değişimlerinin görsel ifadesidir. Bu grafik, her 16 renk grubunda yer alan renk değerlendirme örnekleri için hesaplanan ortalama üçtürsellik koordinatlarından yola çıkılarak hazırlanır. Renk vektör grafiği, referans ışık kaynağı ile karşılaştırıldığında test kaynağı altında hangi tür renklerin daha çok veya daha az doymuşluk gösterdiğini ve renk türü kaymalarının nerelerde gerçekleştiğini hızlı bir şekilde gösterdiği için önemlidir [12]. Şekil 4'te iki farklı kaynağın renk vektör grafikleri verilmektedir. Burada referans kaynak siyah daire ile gösterilirken, kırmızı şekil test kaynağını göstermektedir. Referans kaynağa göre test kaynağı tarafından oluşturulan ortalama kayma grafikteki oklarla temsil edilmektedir. Bu alanların uçları birleştirilerek test kaynağının gamutunu gösteren bir şekil çizilmektedir. Bununla birlikte Rg gamut endeksi bu şekilden ziyade örneklerin saf üçtürsellik koordinatları kullanılarak hesaplanmaktadır.

Test kaynağının çizgisi referans kaynağın dairesinin dışına çıktığında, test kaynağının bu renk türü aralığındaki renklerin doymuşluğunu arttırdığı anlaşılmaktadır. Çizgi referans kaynağın dairesinin iç kısmında kaldığında da bu bölgedeki renk türlerinin doymuşluğu azalmaktadır. Daireye dik olmayan oklar bir renk türü kaymasının da gerçekleştiğini göstermektedir (örneğin kırmızılardan turuncu-kırmızılara kayması gibi). Kullanıcıların renk vektörü grafiğinde kullanılan bilgileri öğrenmesiyle ışık kaynağının pek çok rengi ne şekilde göstereceğini tahmin etmek hızlı ve kolay hale gelmektedir.

3.4 Renk Doymuşluk Grafiği

Renk doymuşluk grafiği her renk türü grubundaki ortalama performansa bağlı olarak sadece doymuşluk değişikliklerinin görsel bir temsilidir.

3.5 Renk Türü Doğruluk Endeksleri

Renk türü doğruluk endeksleri (Rf_{hj} , $j = 1$ 'den 16 'ya kadar) her 16 renk türü grubunda (j) renk doğruluğunun bir sayısal nitelendirmesini yapar; bu değer test kaynağının kırmızıları, sarıları, yeşilleri, mavileri veya arada kalan renk türlerini referans kaynağa göre ne kadar benzer şekilde gösterdiğini değerlendirmek için kullanılır. Değerler 0 ile 100 arasındadır.

3.6 Renk Türü Endekslerine Göre Bağlı Türsellik Değişimi

Renk türü endekslerine göre bağlı türsellik değişimi (Rg_{hj} , $j=1$ 'den 16 'ya kadar), her 16 renk türü grubunda bağlı kroma değişikliği için sayısal değerler sağlayarak kırmızılardan, sarılardan, yeşillerden, mavilerin

veya arada kalan renk türlerinin referans kaynağa göre doymuşluk (pozitif değerler) veya doymamışlık (negatif değerler) durumlarını değerlendirmek için kullanılır.

3.7 Cilt Rengi Doğruluğu Endeksi (Rf_{skin})

Cilt rengi doğruluğu endeksi referans kaynağa göre cilt renk türlerinin (renk örneği 15 ve renk örneği 18) test kaynağı tarafından ne kadar benzer gösterildiğini karakterize eder. Değerler 0 ile 100 arasında değişir. Rf_{skin} cilt renginin önemli olduğu durumlar için diğer değerleri desteklemek için kullanılabilir.

3.8 Örnek Doğruluk Endeksleri

Örnek doğruluk endeksleri (Rf_{CESi} , $i=1$ 'den 99 'a kadar), her renk örneğinin (CES – Color Evaluation Sample - Renk Değerlendirme Örneği) referans kaynağa kıyasla test kaynağı tarafından ne şekilde gösterildiğini değerlendirir. Değerler 0 ile 100 arasında değişmektedir.

4. CIE CRI İLE IES TM-30-15 ARASINDAKİ TEMEL FARKLAR

CIE CRI ve TM-30-15 yöntemlerinin ikisi de test edilen ışık kaynağının aynı bağlı renk sıcaklığında referans bir kaynakla karşılaştırıldığı referans temelli yöntemlerdir. Kullanılan referans ışık kaynakları CIE sistemindeki gibi siyah cisim ışınımı ve CIE D serisi günışığı modelidir; fakat CRI ile TM-30-15 arasındaki farklılık CIE sisteminde siyah cisimden gün ışığına geçiş tam olarak 5000 K değerinde kabul edilirken TM-30-15 yönteminde geçiş 4500 ile 5500 K arasında orantısal olarak ele alınması ve renk sıcaklığındaki ani bir değişikliğin

önüne geçilmesidir. Bu CIE yöntemine göre çok ufak farklar doğurmakla birlikte rengi değiştirebilen ışık kaynakları için daha uygun bir değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır. İki yöntemde de bir referans kaynak kullandığı halde, yöntemlerin

altında pek çok teknik farklılıkların yanı sıra sayısal ve grafik çıktılar açısından da önemli değişiklikler bulunmaktadır. Çizelge 1, iki yöntem arasındaki temel farklılıkları göstermektedir [12].

Çizelge 1. CIE Renksel Geriverim Endeksi CRI ile IES TM-30-15'in karşılaştırılması [12]

Karşılaştırma temeli	CIE 13.3 – 1995 (CRI)	IES TM-30-15
Çıkış tarihi	1965, 1974 (Revizyon), 1995	2015
Renk uzayı	CIE 1964 U*V*W*	CAM02-UCS (CIECAM02)
Renk örnekleme sayısı	8 genel (Ra) + 6 özel (R _{i,s})	99
Renk hacmi kapsamı	Sınırlı	Tam ve eşit
Doymuş örnekler	Hayır	Evet
Örnek tipleri	Munsell örnekleri (sınırlı pigmentler)	Çeşitli gerçek nesnelere
Örnek spektral düzgünlüğü	Hayır	Evet
Referans ışık kaynakları	Siyah cisim ışınımı, CIE D serisi	Siyah cisim ışınımı, CIE D serisi
Referans geçişleri	5000 K'de kesin	4500 K – 5500 K arası
Çıktı ölçütleri	Genel endeks Ra (doğruluk) 6 özel endeks, Ri (doğruluk)	Doğruluk endeksi R _f Gamut endeksi R _g Renk vektörü / Doymuşluk grafikleri 16 renk türü bazlı doğruluk endeksi 16 renk türü bazlı türsellik (kroma) endeksi 1 ten rengine özel doğruluk endeksi 99 bireysel doğruluk değeri
Değer aralıkları	Alt limit olmadan en yüksek 100, değişken skala	0'dan 100'e tutarlı skala

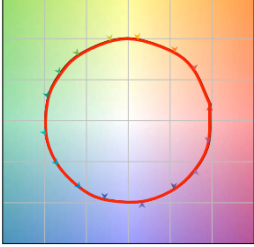

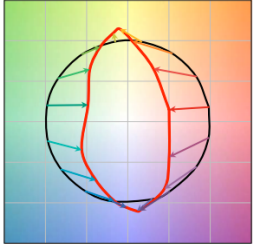
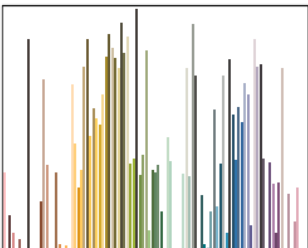
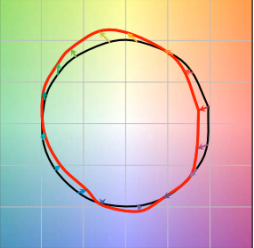
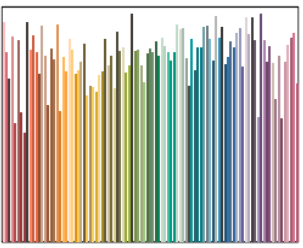
Çizelge 2'de çeşitli ışık kaynakları için IES TM-30-15 değerlendirmeleri verilmektedir. Bunlardan ilk kaynak 3000 K renk sıcaklığı değerindeki Halojen MR16 ışık kaynağıdır. Renk vektörü grafiğinden de görülebileceği üzere kaynak 3000 K'deki referans kaynağa çok yakın bir renksel geriverime sahiptir; doğruluk endeksi grafiğinde de her rengin neredeyse eşit ve en yüksek seviyeye yakın gösterimi bu bulguyu desteklemektedir. Sonuç olarak bu ışık

kaynağı için R_f ve R_g değerleri, cilt rengi doğruluğunu gösteren R_{f,skin} değeri ve CIE yöntemine göre Ra değeri 99 olarak belirlenmektedir. Çizelgedeki ikinci kaynak olan yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba için renksel geriverim yeteneği, halojen lambaya göre oldukça düşüktür. Renk vektörü grafiğindeki kırmızı çizgiler referans kaynağın içinde kalarak bu bölgelerdeki renk türlerinin doymuşluğunun azaldığını göstermektedir. Yine doğruluk endeksi grafiğinde

kaynağın renksel geriveriminin belirli renkler için oldukça düşük olduğu açıkça görülmektedir. Burada Rf değeri 32, Rg değeri 61, Rf,skin değeri 34 ve Ra değeri 16 olarak hesaplanmaktadır. Rf ve Rg değerleri ile Ra değeri arasındaki sayısal farklılıklar bu ışık kaynağı için dikkat çekicidir. Çizelgedeki son kaynak olan seramik metal halide lamba, renk vektörü grafiğinden görülebileceği gibi referans kaynağa yakın sayılabilecek özellikler göstermektedir. Grafikteki ok yönleri dikkate alındığında kaynağın belli renk

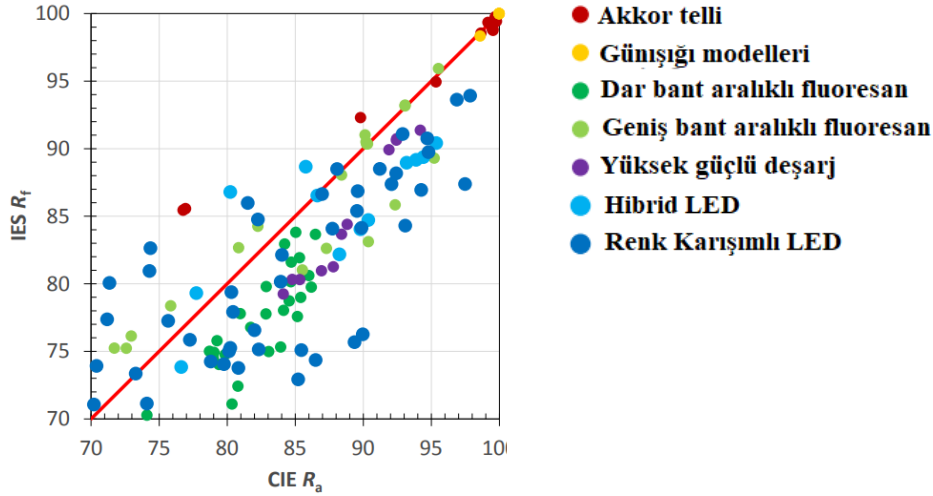
türlerinde artmış, belli renk türlerinde ise azalmış doymuşluk oluşturduğu görülmektedir. Renk örnekleri grafiğinde de bu farklılıkları tespit etmek mümkündür. Buna göre ele alınan metal halide kaynak için Rf değeri 79, Rg değeri 100, Rf, skin değeri 78, Ra değeri ise 84 olarak verilmektedir. Bu değerlendirmelerden çıkarılabilecek en önemli sonuç renk doğruluğunu gösteren IES Rf ve CIE Ra değerlerinin sayısal olarak birbirlerinden farklı olabilmeleridir.

Çizelge 2. Çeşitli ışık kaynakları için IES TM-30-15 Değerlendirmeleri [13]

Işık Kaynağı	Renk Vektörü Grafiği	Renk Örnekleri Doğruluk Endeksi Grafiği	Renksel Geriverim Değerleri
Halojen MR16, 3000 K			Rf =99 Rg=99 Rf,skin=99 Ra=99
Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba, 2000 K			Rf =32 Rg=61 Rf,skin=34 Ra=16
Seramik Metal Halide Lamba, 3000 K			Rf =79 Rg=100 Rf,skin=78 Ra=84

Şekil 5'te çeşitli ışık kaynakları için IES R_f ve CIE R_a değerlerinin bir karşılaştırılması verilmektedir. Grafikte R_a ve R_f arasındaki benzerliği gösteren kırmızı çizgiden uzaklaştıkça değerler arasındaki fark açılmaktadır. Buna göre, akkor telli lamba, gün ışığı modelleri, geniş bant aralıklı floresan lambalar gibi

spektral dağılımları daha geniş bir aralığa düşen kaynaklar için R_a ve R_f değerleri birbirine benzemekle birlikte, dar bant aralıklı floresan lambalar, yüksek güçlü deşarj lambalar ve LEDler gibi spektral dağılımı dar aralıklara rastlayan kaynaklarda R_a ve R_f arasında önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5. Çeşitli Işık Kaynakları için IES R_f ve CIE R_a'nın karşılaştırılması [13]

5. SONUÇLAR

Daha iyi bir renksel geriverim ve aydınlatma kalitesi için yüksek renk doğruluğu her zaman mecburi değildir. Siyah cisim ışınımının (özellikle akkor telli lambanın) veya gün ışığının matematiksel bir modelinin renksel geriverim becerilerini taklit etmeye çalışmak, her aydınlatma uygulaması için ulaşılması gereken hedef olmayabilir. IES TM-30-15, doğruluk endeksini (R_f), gamut endeksi (R_g) ile eşleştirerek kullanıcılara sadece bir referans kaynağa benzerliği değil ama aynı zamanda doymuşluktaki ortalama değişime göre referans kaynaktan uzaklaşmayı da göstermektedir. Buna ek olarak, renk vektör grafiği renk türü ve doymuşluk değişimlerini grafiksel olarak göstermekte

ve ortalama değerleri kullanmanın ortaya çıkardığı sınırlandırmaları engellemektedir. Ayrıca, yöntemde sunulan alt endeksler, günümüzde bir ışık kaynağının renksel geriverim özelliklerinin tanımı için en detaylı değerlendirmeleri mümkün kılmaktadır [8]. TM-30-15'in ardından CIE de 2017 Ocak ayında CIE 224:2017 - 2017 Hassas Bilimsel Kullanım için Renk Doğruluğu Endeksi (Colour Fidelity Index for accurate scientific use) teknik raporunu kullanıcılara sunmuştur [14]. Rapor tamamıyla doğruluk endeksi üzerine yoğunlaşmakta ve bunun için TM-30-15'te verilen doğruluk yöntemini takip etmektedir. Raporda CRI'nın yerine geçecek bir yaklaşımın gelecek çalışma ve tartışmaların sonucunda ortaya çıkacağı ve genel renk doğruluğu endeksine ek olarak

algısal etkileri ve kullanıcılar ve üreticiler için renk algısına bağlı yeni renk kalitesi ölçütleri belirleneceği dile getirilmektedir. Hem TM-30-15'te tanımlanan yöntemler, hem de CIE 224:2017, renksel geriverime dair çalışmaların devam edeceğini açıkça ortaya koymaktadır. Kullanıcı ve üretici açısından bundan sonraki adım aydınlatma üreticilerinin ürünleri için TM-30-15 verilerini sunar hale gelmeleridir. Çalışmada ele alındığı üzere CIE renksel geriverim endeksi CRI ile TM-30-15 yönteminin ortaya koyduğu rakamlar belli ışık kaynakları için büyük farklılıklar doğuracaktır. Dolayısıyla bu konuda hem üreticilerin hem kullanıcıların bilinçlendirilmesi önem teşkil etmektedir.

6. KAYNAKLAR

[1] CIE International Lighting Vocabulary. 2014, 09.2017 tarihinde <http://eilv.cie.co.at> adresinden alınmıştır.

[2] Houser, K., Mossman, M., Smet, K., Whitehead, L., Tutorial: Color Rendering and Its Applications in Lighting. LEUKOS, 2016. 12(1-2): p. 7-26.

[3] CIE 13:1965, Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources. 1965: Paris.

[4] Papamichael, K., Siminovitch, M., Veitch, J. A., Whitehead, L., High Color Rendering Can Enable Better Vision without Requiring More Power. LEUKOS, 2016. 12(1-2): p. 27-38.

[5] Correspondence: In support of the IES method of evaluating light source colour rendition. Lighting Research & Technology, 2015. 47(8): p. 1029-1034.

[6] United States Department of Energy, TM-30 Frequently Asked Questions. 10.09.2017 tarihinde <https://energy.gov/eere/ssl/tm-30->

frequently-asked-questions adresinden alınmıştır.

[7] Royer, M. Color Rendition Metrics An Overview of Ongoing Work. Lightfair 2014. 10.09.2017 tarihinde https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/royer_rendering_lightfair_2014.pdf adresinden alınmıştır.

[8] Royer, M.P., IES TM-30-15 Is Approved—Now What? LEUKOS, 2016. 12(1-2): p. 3-5.

[9] Houser, K. W., Wei, M., David, A., Krames, M. R., Shen, X. S., Review of measures for light-source color rendition and considerations for a two-measure system for characterizing color rendition. Optics Express, 2013. 21(8): p. 10393-10411.

[10] Illuminating Engineering Society, IES Method for Evaluating Light Source Color Rendition. 2015: USA.

[11] David, A., Fini, P. T., Houser, K. W., Ohno, Y., Royer, M. P., Smet, K. A. G., Wei, S. M., Whitehead, L., Development of the IES method for evaluating the color rendition of light sources. Optics Express, 2015. 23(12): p. 15888-15906.

[12] United States Department of Energy, Evaluating Color Rendition Using IES TM-30-15.09.2015 tarihinde https://energy.gov/sites/prod/files/2015/12/f27/tm-30_fact-sheet.pdf adresinden alınmıştır.

[13] United States Department of Energy, Understanding and Applying TM-30-15. 09.2015 tarihinde https://energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/tm30-intro-webinar_9-15-15.pdf adresinden alınmıştır.

[14] CIE 224:2017, CIE 2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use, 2017: Avusturya.