

LED'Lİ IŞIK KAYNAKLARININ KARAKTERİSTİKLERİNİ BELİRLEMeye YÖNELİK ÖLÇMELER

Mükail AKBULUT
mikailakbulut@hotmail.com,

Ömer GÜL
gulomer@itu.edu.tr

Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469 Maslak, İstanbul

ÖZET

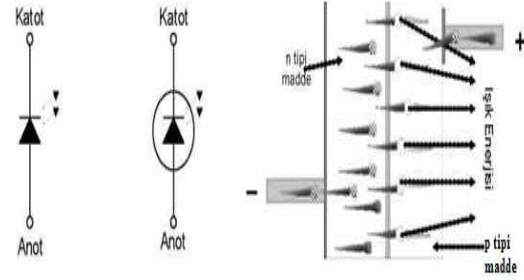
Enerji verimliliği konusu her geçen gün daha da önem kazanırken, aydınlatmada LED ışık kaynakları kullanımı aydınlatmada enerji verimliliğini iyileştirme imkanı vermektedir. LED'lerin teknolojisinde gelişme ile birlikte var olan üstün özelliklerinin yanında ömür ve etkinlik faktörlerinin artışına bağlı olarak kullanım alanı genişlemektedir. LED'ler hem tekil ışık kaynağı hem de armatür şeklinde kullanılmalarının yanı sıra, LED'lerin ışığının belirli bir açıda olması nedeniyle aydınlatmada geleneksel ışık kaynaklarından daha farklı şekilde değerlendirilmektedir. LED'lerin geleneksel ışık kaynaklarından farklıları nedeniyle LED'li ışık kaynaklarının karakteristiklerini belirlemede yeni yöntemlerin geliştirilmesine ve LED'li ışık kaynaklarına özel ölçüm standartlarının oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada da LED'li ışık kaynaklarının özellikleri, üstünlükleri hakkında genel bir bilgi verilmekte ve LED'li ışık kaynaklarının karakteristiklerinin belirlenmesi için gereken yöntemler ele alınmaktadır.

1. GİRİŞ

LED ler (Işık Yayan Diyot) yeteri kadar doğru gerilim uygulandığında elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştüren özel katkılı PN diyotlardır. Gerilim tatbik edilerek, elektronları harekete geçirilen LED, ışık yaymaya başlar. Işığın rengi tabakaların kimyasal bileşimlerine bağlıdır. İlk LED, 1968 yılında General Elektrik firması tarafından icat edilmiştir [3]. LED, doğru polarma altında iletme geçer ve üzerinden akım akmasına izin verir. Doğru polarma altında üzerinde 1.5 V ile 3.2 V arasında bir gerilim düşümüne sebep olur.

LED'lerin üzerlerinden akmalarına izin verilen akım miktarı 10-30 mA civarındadır. Bu değer; kullanılan LED'in boyutuna ve rengine göre farklılık gösterebilir.

LED ler ayrıca katı hal lambaları olarak da (SSL) adlandırılmaktadır.

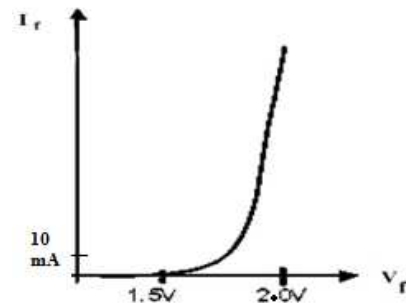


Şekil-1 Led sembolleri ve ışık enerjisinin oluşması [4]

2. ELEKTRİKSEL VE OPTİK ÖZELLİKLER

2.1 Akım – Gerilim Karakteristiği

Farklı maddelerden elde edilen yarı iletken elemanların çeşitli akım- gerilim karakteristikleri mevcuttur. LED'ler ortalama olarak 10 mA ve 1.5 V değerlerinden itibaren iletme geçerek ışık yaymaya başlarlar.

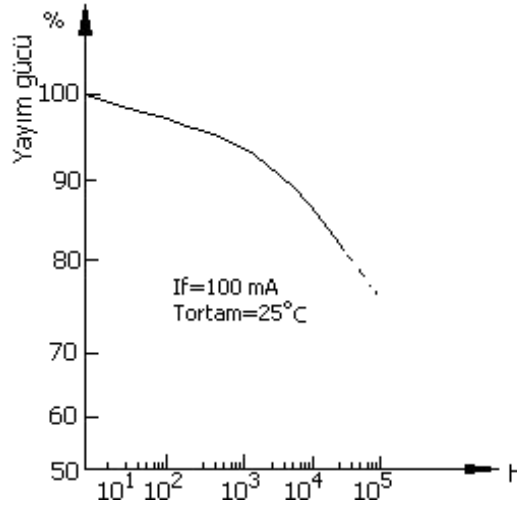


Şekil-2 Akım-gerilim karakteristiği [4]

2.2 Güç - Zaman Karakteristiği

Işık yayan diyotların gücü zamanla orantılı olarak düşer. Bu güç normal gücünün yarısına düştüğünde diyot artık ömrünü tamamlamıştır.

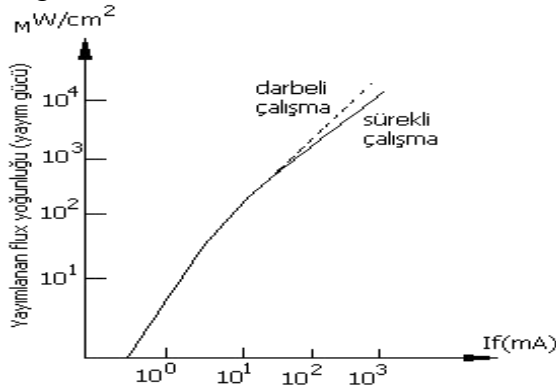
Bir LED'in ortalama ömrü 100.000 saattir. Şekil-3'te LED'in yayım gücünün, normal şartlarda ($I_F=100$ mA, $T_{ortam}=25^\circ\text{C}$ iken) zamana göre değişim eğrisi verilmiştir. Bu tip değerlendirmede, gücün düşme miktarı direk güç değeri olarak değil de, normal güce oranı olarak alınmaktadır.



Şekil-3 Güç-zaman karakteristiği [5]

2.3 Akım – Işık Şiddeti Karakteristiği

LED'in yaydığı ışık şiddeti, içinden geçen akım ile doğru orantılı olarak artar. Ancak bu artış; akımın belirli bir değerine kadar doğrusaldır.



Şekil-4 Akım-ışık şiddeti karakteristiği [5]

Daha sonra bükülür. Eğer diyota verilen akım, eşik değeri adı verilen doğrusallığın

bozulduğu noktayı aşarsa, diyot aşırı ısınarak bozulur.

2.4 Sıcaklık – Işık Şiddeti Karakteristiği

LED lerin üzerlerinden akan akım sabit olmasına rağmen, diyotların karakteristik özelliklerinden dolayı artan ortam sıcaklığı ile etkinlik faktörleri düşmektedir. Bu düşüş LED lerin yapıldığı malzeme türüne göre her bir derece için %0.3 ila %0.7 arasında değişkenlik gösterebilmektedir [5].

3. ÜSTÜNLÜKLERİ

3.1Yönlü Işık Yayabilme

Geleneksel ışık kaynakları tüm yönlerde ışık yayarak çoğu uygulamada ışık kaynağında üretilen ışığın bir kısmının zayıf olmasına neden olmaktadır. Bazı özel optikler ve yansıtıcılar kullanılarak bunun önüne geçilmeye çalışılır; fakat bu durumda ışık kayıpları oluşur. LED'ler ise yassı bir yüzeye monte edilerek, küresel olarak değil de yarı-küresel olarak da ışık yayarlar. Böylece zayıf olan ışık miktarı azaltılır [6].

3.2 Kırılmaya Dayanım

LED ler filaman ve cam kaplamalara sahip olmadığından titreşimlere büyük ölçüde dayanıklıdır. Akkor telli lambalar ve deşarj lambaları taşıtlardan kaynaklanan ve sanayi uygulamalarındaki titreşimlerden etkilenebilir, bu yüzden bu tür uygulamalarda titreşime dayanıklı lambalar gerekmektedir. LED'lerin öz titreşim direnci endüstriyel teçhizat, asansör, yürüyen merdiven aydınlatması uygulamaları için kullanışlıdır.

Geleneksel ışık kaynaklarının tümü cam veya kuvars kaplama kaidelidir. Üründeki hasarlar lambanın taşınması, depolanması, ambalajlanması ve montajı esnasında oluşmaktadır. LED aletleri genelde cam kullanmazlar. LED aletleri doğrudan etkilere hassas olabilen lehimli bağlama tellerle devre kartına monte edilirler.

LED kaideli ışık kaynakları, bu özelliklerinden dolayı lamba kırılma ihtimalinin yüksek olduğu, spor faaliyetleri gibi uygulama alanlarında kullanılabilir [6].

3.3 Boyut Avantajı

LED'ler küçük boyutlu olmaları ve yönlü ışık yaymaları, yenilikçi, düşük profilli, kompakt aydınlatma tasarımı imkanı sağlamaktadır. Bununla beraber, düşük profil elde etmek için dikkatli bir tasarıma ihtiyaç vardır. Yüksek çıkışlı geleneksel armatürler ile eşit aydınlık düzeyi elde etmek için çoklu LED gruplamasına ihtiyaç vardır. Yüzlerce lümen üretebilen LED'li ışık kaynakları aynı miktarda ışık üreten HID lambalara göre daha düşük profildedir [6].

3.4 Düşük Sıcaklıklarda Çalışabilme

LED lerin performansı, düşük sıcaklıklarda artmaktadır. Bu durum LED'lerin marketlerde soğuk tutulması gereken malzemelerin aydınlatmasında (buzdolabı, derin dondurucu vb.) kullanılmasına olanak sağlamaktadır. DOE araştırmasına göre LED'li bir buzdolabının -5°C'deki ışık çıkışı, 25°C'dekine göre %5 daha verimlidir [6].

3.5 Kontrol Edilebilme

Akkor telli lambalar ucuz kontrolle dim edilebilirken, sadece dimerleme balastlı bir kompakt flüoresan lamba bir dim etme devresi üzerinde çalıştırılabilir. Kompakt flüoresanların akkor tellilerde olduğu gibi sürekli bir dimerlenebilme aralığı (ışık çıkışı %1'den %100'e) yoktur. Kompakt flüoresanlar genelde tam ışık çıkışının %30'una kadar düşürülerek dim edilirler. LED lerin kontrol edilen ışık düzeyi ve renk görünümü bakımından potansiyel yararları mevcuttur. LED sürücü ve kontrol teknolojisinin gelişiminin sürmesiyle aydınlatmada çok büyük bir yenilik alanı oluşacağı umulmaktadır. Dim etme, renk kontrolü ve kullanım süresi ile fotoelektrik kontrollerinin birleşmesi, enerji verimlili-

ğini ve kullanıcı memnuniyetini artırmasına imkan verecektir [6].

3.6 Isıtma Süresine İhtiyaç Olmaması

LED'ler hemen hemen anında tam parlaklıklarını verirler ve tekrar ateşleme sürelerine de ihtiyaçları yoktur. LED'lerin standart enkandesan lambalara göre 170 ila 200 milisaniye daha hızlı cevap verebilmesi, özellikle araç fren lambalarında kullanım için daha uygun olmasına olanak sağlamaktadır. Genel aydınlatma uygulamalarında ön ısıtma süresinin olmaması, güvenlik ve konfor açısından önem teşkil etmektedir [6].

3.7 Hızlı Açıp-Kapama Yapabilme

LED ömrü ve bakımı hızlı açıp- kapama (anahtarlama)dan etkilenmemektedir. LED'lerin hızlı anahtarlama yeteneğine sahip olması yanıp sönen görüntülerde kullanımının yanı sıra, meşgul sensörü ve günışığı sensörü kullanımı için de uygun olmasını sağlamaktadır [6].

3.8 Kızılötesi ve Morötesi Işık Yayıma

Enkandesan lambalar, gücünün büyük çoğunluğunu kızılötesi veya ışın biçiminde ısıya dönüştürürken; %10'unu görünür ışığa dönüştürmektedir. Flüoresan lambalar güçlerinin daha büyük çoğunluğunu (%20 civarında) görünür ışığa çevirirler. HID lambalar ise önemli miktarda morötesi ışık yayarlar. LED'ler ise kızılötesi ve morötesi ışıkları hemen hemen hiç yaymazlar [6].

4. LED KARAKTERİSTİKLERİNİ BELİRLEMeye YÖNELİK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

LED ler ve kaideli ışık kaynakları yapı olarak diğer ışık kaynaklarından farklı olduklarından diğer ışık kaynakları için kullanılan ölçüm standartlarından farklı standartlar geliştirilmektedir. Bir LED'in karakteristiğini belirlemek için bir LED test cihazı geliştirilerek farklı renkler için akım- gerilim karakteristiği çıkartılabilir. Bu bölümde LED'li ışık kaynakları için gerçekleştirilebilen ölçümler ve ölçümlerde

kullanılan aygıtlar hakkında bilgi verilmektedir.

4.1 Toplam Işık Akısını Ölçme

LED kaideli bir ışık kaynağının toplam ışık akısını ölçmek için üç farklı aygıt kullanılabilmektedir.

4.1.1 Fotometre Başlıklı Bütünleştirme Küresi Kullanımı

Bu yöntemde fotometre başlığı, bütünleştirme küresinde detektör olarak kullanılmaktadır.

Küre iç yüzeyi, dağıtıcı, yansıtma faktörü bire yakın ve tamamen mat bir boya ile boyanmaktadır. Ayrıca küre içinde ışık kaynağından çıkan ışınların doğrudan doğruya fotometre başlığına gelmesini önleyen, aynı mat boya ile boyalı bir de ekran bulunmaktadır [7].

Bu yöntem kullanılırken toplam ışık akısı ölçülmesi istenen LED’li ışık kaynağı, toplam ışık akısı bilinen başka bir ışık kaynağı ile mukayese edilmektedir. Bu ışık kaynağına yardımcı lamba da denilmektedir.

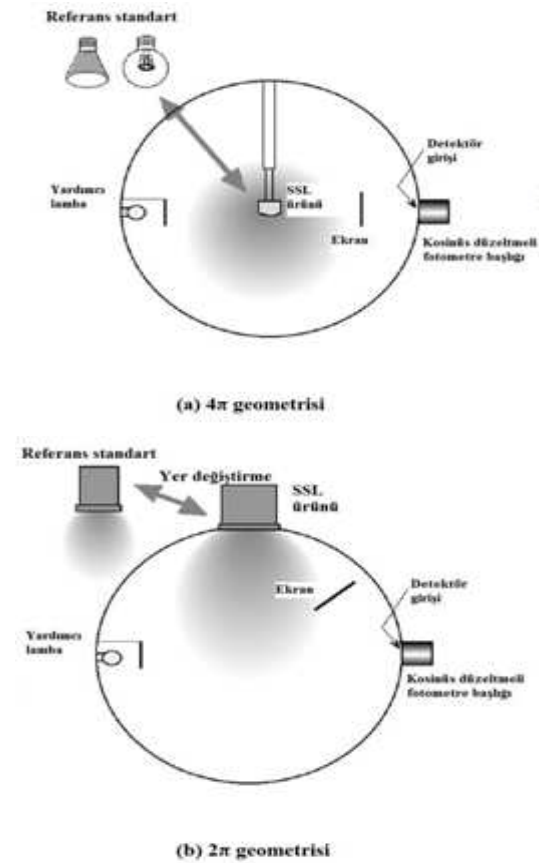
Ölçüm esnasında kullanılacak küre geometrisi de önemlidir. 4π geometrisi, her yönde ışık yayabilen ışık kaynakları için kullanılabilirken; 2π geometrisi, sadece ileri yönde ışık yayabilen ışık kaynaklarını ölçmek için kullanılmalıdır. 2π geometrisi büyük yer kaplayan ve büyük bağlantıya sahip ışık kaynakları için de kullanılması gereken yöntemdir. Burada, küre boyutu önemli bir faktördür. Küre kapağı da ışık kaynağı küre içine monte edildikten sonra ısıtılmalara sebebiyet vermemesi için yavaşça kapatılmalıdır [1].

Lambanın küre içinde ışığı kendi kendine soğurmasından dolayı küre sisteminin duyarlılığı değişebilmektedir ve bu etkiye de öz-soğurma denilmektedir. Yardımcı lamba genelde akkor telli lamba olmakla beraber, toplam ışık akısı ölçülmesi istenen LED’li ışık kaynağının kullanım amacı ve

boyutuna benzer bir ışık kaynağı ile mukayesesi, daha yararlı olabilmektedir. Buradaki amaç öz-soğurma etkisinin toplam ışık akısı ölçülecek LED’li ışık kaynağı için en aza indirgenmesidir. Öz-soğurma faktörünün (α) bulunabilmesi için iki adet yardımcı lamba kullanılır.

Öz-soğurma faktörü aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$\alpha(\lambda) = \frac{Y_{\text{yard,TEST}}}{Y_{\text{yard,REF}}} \quad (1)$$



Şekil-5 Fotometre başlıklı bütünleştirme küresi kullanımı [1]

Burada $Y_{\text{yard,TEST}}$ ve $Y_{\text{yard,REF}}$ küre içine veya üstüne monte edilen yardımcı lamba için test altındaki SSL ürünü veya referans standart toplam ışık akısı fotometre işaretleridir (4π veya 2π geometrisi). Fotometre başlığının duyarlılığı da ölçümde hata payını azaltmada önemli bir etkiye sahiptir.

Bu yöntemde spektral uyumsuzluk hataları da oluşabilmektedir. Spektral uyumsuzluk hatalarını düzeltme faktörü

$$F = \frac{\int_{\lambda} S_{REF}(\lambda) s_{rel}(\lambda) d\lambda \int_{\lambda} S_{TEST}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} S_{REF}(\lambda) V(\lambda) d\lambda \int_{\lambda} S_{TEST}(\lambda) s_{rel}(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

ile bulunmaktadır. Burada $S_{REF}(\lambda)$ referans standart kaynağın spektral dağılımı ve $S_{TEST}(\lambda)$ SSL ürününün bağıl spektral güç dağılımıdır. Toplam küre sisteminin bağıl spektral duyarlılığı $s_{rel}(\lambda)$ ise, fotometre başlığının bağıl spektral duyarlılığı $s_{fot,rel}(\lambda)$ ile kürenin bağıl spektral akısının çarpımıyla elde edilir.

$$s_{rel}(\lambda) = s_{fot,rel}(\lambda) T_{rel}(\lambda) \quad (3)$$

Spektral uyumsuzluk hataları belirtilmez ise $F=1$ olarak alınmalıdır.

Bu durumda toplam ışık akısı

$$\Phi_{TEST} = \Phi_{REF} \times \frac{Y_{TEST}}{Y_{REF}} \times \frac{F}{\alpha} \quad (4)$$

biçiminde hesaplanır. Burada Φ_{REF} , toplam ışık akısı bilinen referans bir ışık kaynağının toplam ışık akısı; F , spektral uyumsuzluk düzeltme faktörü; α , öz-soğurma faktörü ve Φ_{TEST} , LED'li ışık kaynağının hesaplanan toplam ışık akısıdır [1].

4.1.2 Spektrometrelili

Bütünleştirme Küresi Kullanımı

Bu yöntemde fotometre başlıklı bütünleştirme küresinin sahip olduğu spektral uyumsuzluk hataları gözlemlenmez. Bu nedenle yöntem daha avantajlıdır. Bu yöntem kullanılarak ışık kaynağının toplam spektral ışık akısı ölçülür ve eşitlikler yardımı ile ışık kaynağının toplam ışık akısı bulunur.

Kullanılacak küre geometrisi ilk yöntemde ifade edilene benzer şekilde seçilmelidir.

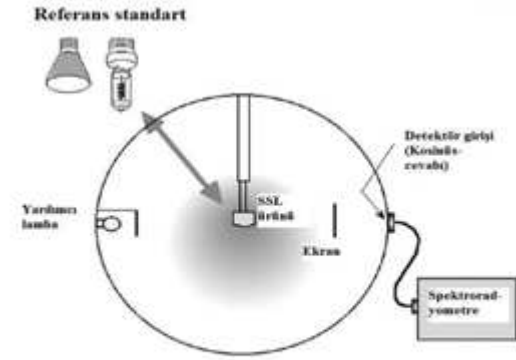
Ölçümde oluşabilecek en büyük hata, ölçümü yapılması istenen LED'li ışık kaynağının spektral dağılımı ile mukayese edilecek ışık kaynağının spektral dağılımının farklı olmasıyla oluşabilmektedir. Bu durumu düzeltmek için de spektrometrenin bant genişliği ve tarama aralığını düzgün seçmek gerekmektedir. 5nm veya daha küçük bant genişliği ve tarama aralıklarına sahip spektrometreler kullanılmalıdır.

Öz-soğurma faktörü birinci yöntemde ifade edildiği gibi ölçülmektedir.

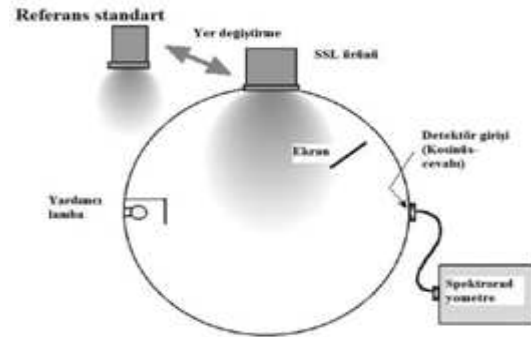
Bu durumda LED'li ışık kaynağının toplam spektral ışık akısı

$$\Phi_{TEST}(\lambda) = \Phi_{REF}(\lambda) \times \frac{Y_{TEST}(\lambda)}{Y_{REF}(\lambda)} \times \alpha(\lambda) \quad (5)$$

eşitliği ile bulunur. Burada $\Phi_{REF}(\lambda)$, referans ışık kaynağının toplam spektral ışık akısı, $Y_{TEST}(\lambda)$ ve $Y_{REF}(\lambda)$ test sırasında SSL ürünü ve referans standart için spektrometre okumalarına karşılık gelirken, $\alpha(\lambda)$ öz-soğurma faktörüdür.



(a) 4π geometrisi



(b) 2π geometrisi

Şekil-6. Spektrometrelili bütünleştirme küresi kullanımı [1]

Ölçülen toplam spektral ışık akısı $\Phi_{TEST}(\lambda)$ ndan [W/nm]

$$\Phi_{TEST} = K_m \int_{\lambda} \Phi_{TEST}(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (6)$$

$$(K_m = 683 \text{ lm/W})$$

toplam ışık akısı [lm] elde edilir [1].

4.1.3 Goniofotometre Kullanımı

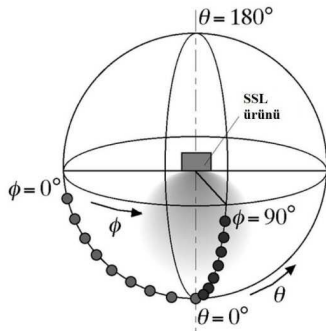
Goniofotometreler genelde bir ışık kaynağının ışık şiddeti dağılımını ölçerler

ve bu ölçüm yardımıyla toplam ışık akısı da bulunabilmektedir.

Kullanılacak goniofotometrelerin yerçekimi değişimiyle ışık kaynağının yanma pozisyonu değiştirmeme özelliği olmalıdır. Kullanılacak olan goniofotometreler ölçülmesi istenen ışık kaynağını kesin olarak tanımlamaya yetecek kadar iyi bir tarama çözünürlüğüne sahip olmalıdır. Ayrıca açısız tarama dizisi ışık kaynağının yaydığı ışıkların tüm katı açılarını da kapsamak zorundadır.

Eğer goniofotometre ışık kaynağının toplam ışık şiddetini ölçmeye $I(\theta, \phi)$ ayarlanmışsa, bu durumda toplam ışık akısı aşağıdaki denklemle bulunabilir:

$$\Phi = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} I(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi \quad (7)$$



Şekil-7 Goniofotometre kullanımı [1]
Goniofotometrelerin aydınlık düzeyini $E(\theta, \phi)$ ölçmeye ayarlandığı durumda ise, toplam ışık akısı

$$\Phi = r^2 \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} E(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi \quad (8)$$

şeklinde elde edilir. Burada r , fotometre başlığının referans düzleminin dönme yarıçapıdır [1].

4.2 Işık Şiddeti Dağılımını Ölçme

Bir ışık kaynağının ışık şiddeti dağılımı eğrisi, bu kaynağın ışık dağılımı hakkında tam bir fikir vermektedir [7]. Bu şekilde ışık kaynağının nasıl bir ışık yayma dağılımına sahip olduğu, yaydığı ışığın ne kadarının gereksiz aydınlatma, dolayısıyla ışık kirliliğine neden olduğu da belirlenebilmektedir.

LED'li ışık kaynaklarının ışık şiddeti dağılımını ölçmek için goniofotometreler kullanılmaktadır. Burada fotometrik uzaklığın büyüklüğü önemli bir yer teşkil etmektedir. Geniş açılı dağılıma sahip olan LED'li ışık kaynakları için fotometrik uzaklık (r), LED'li ışık kaynağının uzunluğunun beş katından daha büyük olmalıdır. Dar ışın kaynakları için daha büyük mesafeler de gerekebilmektedir [1].

4.3 Renk Karakteristiklerini Ölçme

LED'li ışık kaynakları için renk karakteristikleri üçtörsel koordinatlar, benzer renk sıcaklığı (CCT) ve renksel geriverim indisidir (R_a).

4.3.1 Renkserliğin (Üçtörsel Koordinatların) Ölçülmesi

Üçtörsel koordinatlar ile ışığın renkserliği belirlenmektedir. LED kaideli ışık kaynaklarının renkserlik ölçümünü yapmak için spektrometreli küre, gonio-spektrometre veya gonio-kolorimetre kullanılabilir.

LED'li ışık kaynaklarının renkserlik diyagramı üzerindeki durumları gösterirken Planck'ın geometrik yeri ve Uluslar arası Aydınlatma Komisyonu'nun (CIE) 1931 ve 1976 yıllarındaki (x,y) ve (u',v') koordinatlarından yararlanılır. Farklı nominal benzer renk sıcaklıklarındaki LED'li ışık kaynakları için değişik toleranslar belirlenerek, her bir sıcaklık değeri için dörtgenler oluşturulur ve bu şekilde renkserlik diyagramı üzerindeki konumları belirlenir [2].

4.3.2 Benzer Renk Sıcaklığının Ölçülmesi

Benzer renk sıcaklığı, ışık kaynağının yaydığı ışığın renk sıcaklığı bilinen renklere olan yakınlığının ifadesidir. Sıcak beyaz (3000 K), soğuk beyaz (4100 K) ve gün ışığı (6500 K) olmak üzere temelde üç tane benzer renk sıcaklığı bulunmaktadır. Bununla beraber altı adet benzer renk sıcaklığı bilinmektedir.

LED’li ışık kaynaklarının benzer renk sıcaklıklarını belirlemek için ilaveten 2700 K ve 5000 K değerleri kullanılmaktadır. Bu ölçüm yapılırken nominal benzer renk sıcaklıkları kullanılır. Nominal CCT, bir ürünün beyaz ışık renkserlik bilgisini belirlemek ve iletmek için kullanılır ve 100 K adımlarla ürünün hedeflenen benzer renk sıcaklığına en yakın bir CCT değeridir [2].

4.3.3 Renksel Geri Verim İndisinin Ölçülmesi

Renksel geri verim ise, ışık kaynağının kullanım yerine ve görüş amacına bağlı olarak renk algılamasının olabildiğince hassas gerçekleşmesini belirleyen bir ölçüttür. $R_a = 100$ değerine sahip bir ışık kaynağı tüm renkleri, referans ışık kaynağı altındaki gibi en uygun gösterir. R_a değeri azaldıkça renklerin doğru olarak yansması da giderek azalacaktır.

LED’li ışık kaynaklarının renksel geriverim indisi, CIE 13.3-1995 standardınca hesaplanmalıdır. LED’li ışık kaynaklarının ortalama renksel geriverim indisi, belirlenen minimum renksel geriverim indisine eşit veya ondan büyük olmalıdır [2].

5. SONUÇLAR

Son yıllarda, LED teknolojinde görülen hızlı gelişme ile ömür ve etkinlik faktörlerindeki artışın yanında yönlü ışık yayabilme, kırılmaya karşı dayanıklılık ve hızlı açılıp kapanabilmesi vb üstün özellikleri nedeniyle LED’lerin kullanım alanı genişlemektedir.

Aydınlatmada enerji verimliliğini iyileştirme imkanı veren LED’ler hem tekil ışık kaynağı hem de armatür şeklinde kullanılmaları ve LED’lerin ışığının belirli bir açıda olması nedeniyle aydınlatmada geleneksel ışık kaynaklarından daha farklı şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. LED lerin geleneksel ışık kaynaklarından farklıları nedeniyle LED’li ışık kaynak-

larının karakteristiklerini belirlemede yeni yöntemlerin geliştirilmesine ve LED’li ışık kaynaklarına özel birtakım ölçüm standartlarının oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada da LED’li ışık kaynaklarının özellikleri, üstünlükleri hakkında genel bir bilgi verilmekte ve LED’li ışık kaynaklarının karakteristiklerinin belirlenmesi için literatürde verilen mevcut yöntemler ele alınmaktadır.

LED’lerin önümüzdeki yüz yılın ışık kaynağı olmaya doğru giden bir süreç içersine girmiş olduğu değerlendirilmektedir. Bu süreçte, ülkemizde de LED lerle ilgili ihtiyaç duyulan standartların en kısa zamanda hazırlanarak yürürlüğe girmesi LED sektöründe haksız rekabetin önlenmesi açısından önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] IES LM-79-08, IESNA Approved Method for the Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products.
- [2] ANSI C78-377, Specifications for the Chromaticity of Solid State Lighting Products.
- [3] U.S. Department of Energy, Energy Savings Estimates of Light Emitting Diodes in Niche Lighting Applications, Washington DC, 2003.
- [4] Demirtürk T., “Elektronik Ders Notları 4”
- [5]Erol, O. K., “Gömülü Sistem Tasarımı”
- [6] U.S. Department of Energy, LED Application Series: Using LEDs to Their Best Advantage
- [7] Aydınlatma ve İç Tesisat Laboratuvarı Deneyleri, İ.T.Ü. Elektrik- Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü Aydınlatma ve İç Tesisat Laboratuvarı