

LED'Lİ AYDINLATMA ARMATÜRLERİ VE LAMBALARININ FOTOMETRİK TESTLERİ: BÜTÜNLEŞTİRME KÜRESİ ve GONYOFOTOMETRE

Burcu Suzan ALSAÇ

VESTEL Elektronik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
burcu.alsac@vestel.com.tr

ÖZET

Aydınlatmanın ve enerji verimliliğinin her geçen gün önem kazandığı günümüzde, teknolojinin de gelişmesiyle aydınlatma ürünlerinin nasıl ve hangi yöntemlerle test edildiği, hangi standartlara uygun cihazlar kullanıldığı bilgilerine olan gereksinim gün geçtikçe artmaktadır. LED'lerin teknoloji ile birlikte gelişmekte olan üstün özelliklerinin dışında farklı kullanım alanları için farklı özelliklerde olması LED'li armatürlerin fotometrik özelliklerini belirlemede optik testler önem kazanmaktadır. Bu bildiriye, LED'li armatürlerin fotometrik özelliklerini belirlemede kullanılan yöntemler ve bu yöntemler sonucunda elde edilen veriler ele alınmaktadır.

1. GİRİŞ

LED, doğru yönde gerilim uygulandığı zaman elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştüren özel katkı maddeli PN diotlardır. Adını, “Lighting Emitting Diode” İngilizce kelimelerinin baş harflerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Farklı kaynaklarda genel ismiyle SSL (Solid State Lighting) olarak kullanılmaktadır.

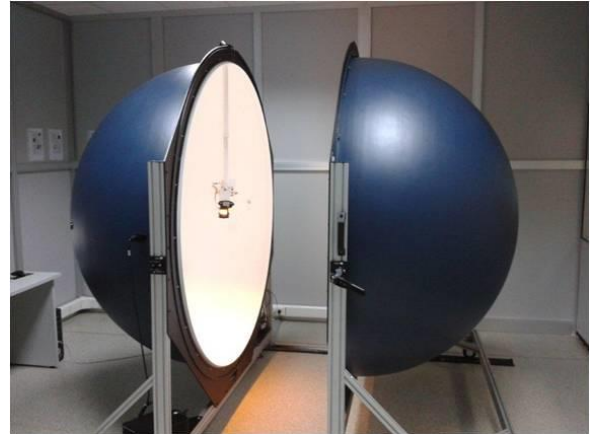
Laboratuvar ortamında yapılan, ışık kaynaklarının karakteristik özelliklerini belirlemede kullanılan ölçümlere fotometrik ölçümler denir. Bir LED'in yada LED'li armatür/lambaların optik özelliklerini belirlemek için iki farklı cihaz kullanılır. Bu cihazlardan bir tanesi “Bütünleştirme Küresi (Integrating Sphere)” ve diğeri ise “Gonyofotometre (Goniophotometer)”dir. Bu cihazlarla LED'li armatürlerin toplam ışık akısı, renk karakteristikleri, renk koordinatları, ışık şiddeti dağılımları ve daha bir çok parametre ölçülebilir [1].

LED'li armatürler için, bütünleştirme küresi ve gonyofotometre ile alınan ölçümlerin her ikisinde ayrı ayrı bir yeri vardır. Bütünleştirme küresi ile ışığın, toplam ışık akısı değerini, renk özellikleri, renk uzayındaki yerini vb. gibi daha çok ışığın teknik özellikleri belirlenirken,

gonyofotometre ile ışığın dağılımı, dağılım ile ilgili özel açılarının ölçülmesi ve bilgisayarda hesap ve tasarım yapılmasını sağlayacak teknik verilerin elde edilmesi için kullanılır.

2. BÜTÜNLEŞTİRME KÜRESİ

Bütünleştirme küresi ölçümlerinde detektör olarak spektrometre başlığı kullanılmaktadır.



Resim 1: 2m çapında Bütünleştirme Küresi.

Küre iç yüzeyi, yansıtma özelliği yaklaşık 1 olan ve tamamen mat bir boya ile boyanmakta ve küre içindeki detektörü, direk ışıklardan koruyan aynı boya ile boyalı ışığın diğer tarafa geçmesine engel olan farklı boyutlardaki levhalar (engeller) mevcuttur.



Resim 2: Detektör ve detektöre direkt ışığın gelmesini engelleyen levhalar.

Bu yöntemde, ölçümü yapılması istenen LED’li armatürün, toplam ışık akısı ve renk özellikleri bilinen halojen bir lamba ile karşılaştırılır. Bu lambaya “yardımcı lamba” denir. Yardımcı lamba olarak kullanılan ışık kaynağı genellikle halojen lamba olarak seçilir, bunun nedeni ise gün ışığına en yakın olmasından dolayıdır (CRI = 99,9).

Bütünleştirme küresi ile yapılan ölçümlerde iki farklı geometri kullanılır. Bu geometrilerden birtanesi, her yönde ışık yayabilen LED’li ışık kaynakları için kullanılırken (4π geometrisi), diğer yöntem ise sadece ileri yönde ışık yayabilen ışık kaynaklarını ölçmek için kullanılır (2π geometrisi).

2.1. BÜTÜNLEŞTİRME KÜRESİ İLE ÖLÇÜLEN ÖNEMLİ PARAMETRELER

Işık Akısı: Bir kaynaktan birim zamanda çıkan ışık miktarına ışık akısı denir. Işık şiddeti 1 cd olan noktasal bir kaynaktan 1m uzaklıktaki ve ışıklara dik $1m^2$ ’lik yüzeye gelen ışık akısı “lumen” olarak tanımlanmaktadır ve kısaca “lm” olarak gösterilmektedir.

Renk Sıcaklığı: Belli bir sıcaklıktaki siyah cismin ışınma rengi ile aynı renk koordinatlarına sahip ışık kaynağının sıcaklığına “Renk Sıcaklığı” denir. Renk

sıcaklığı, LED’li ışık kaynağı ile siyah cismin aynı renkteymiş gibi algılanmasıdır.

Fotometrik ölçümlerde ölçülen ilişkili renk sıcaklığı (CCT), CIE (International Commission On Illumination) tarafından, sıcaklıkların ideal dağılımlara yakınlığını Kelvin cinsinden ifade edilmesini önermektedir.

6500 K
6000 K
5500 K
5000 K
4500 K
4000 K
3700 K
3500 K
3000 K
2700 K

Tablo 1: Renk sıcaklığı skalası.

Renk Geri Verim Endeksi (CRI): Doğal nesnelerin belli bir ışık kaynağı tarafından aydınlatıldığında nasıl görüleceğini ifade eden genel bir göstergedir. Işık kaynağı, renklerin mümkün olduğu kadar doğru algılanmasını sağlamalıdır. Burada gün ışığı %100 kabul edilir, diğer yapay ışık kaynakları farklı değerler içerebilir. Ölçme ve değerlendirme 14 renk üzerinden tek tek yapılır ve ortalaması alınır.



Resim 3: Renk geri verim endeksi değerleri.

Renksel geriverim endeksinin ölçü birimi R_a ’dır ve “gün ışığı” için bu değer 100’dür. Yapay ışık kaynaklarında bu endeks düşük olabilir. Endeks ne kadar düşerse, renksel geriverim de o kadar kötü demektir. Işık

kaynağının renk spektrumu renksel geriverim için önemlidir.



Resim 4: Yüksek renk geri verim endeksinin nesnelere üzerindeki etkisi.

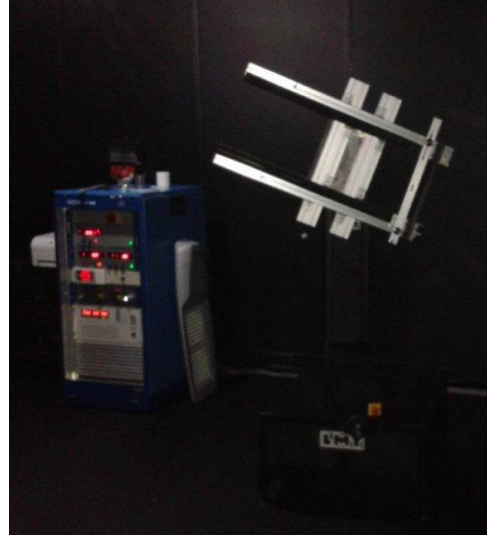
Aydınlatmada ışık kaynaklarının CRI değeri kullanım yerlerine göre seçilir. LED'lerde sorun genellikle "R9" ile tanımlanan kırmızı ve "R13" ile tanımlanan ten renkleridir. Yüksek CRI değerinde LED seçilirken özellikle "R9" (kırmızı) değerinin yüksek olması tercih edilir.

3. GONYOFOTOMETRE

Gonyofotometre cihazı, bir ışık kaynağının ışık şiddeti dağılımını ve bu dağılımdan toplam ışık akısını hesaplamak için kullanılmaktadır.

Gonyofotometre ölçümü, aydınlatma armatür yada lambaların bir, iki ve üç boyuttaki dağılımını, hangi yöne hangi açılarda ne kadar ışık akısı gönderdiğini ve bu ölçümlerden de parıltı diyagramlarını, UGR (Unified Glare Ratio) olarak tanımlanan kamaşma tablolarını ve özel aydınlatmadaki özel açılarının hesaplanmasını sağlar [2].

Gonyofotometre ölçümleri sonucunda IES ve LDT uzantılı ölçüm dosyaları elde edilir. Aydınlatma tasarımcıları bu dosyaları, optik simülasyon programlarının yardımı ile armatürlerin uygulanması planlanan alanlardaki istenen aydınlık düzeyi seviyelerini değerlendirmek için kullanılmaktadırlar.



Resim 5: B tipi Gonyofotometre.

3.1. GONYOFOTOMETRE İLE ÖLÇÜLEN ÖNEMLİ PARAMETRELER

Işık Şiddeti: Bir kaynağın, birim zamanda yaydığı ışığa denir. Birimi candela'dır (cd).

Aydınlık Düzeyi: Birim alanda birim yüzeye düşen ışık akısı miktarıdır. Birimi Lux'tur (lx).

Parıltı: Birim alandan belli bir doğrultuda geçen ışık şiddetidir. Birimi cd/m^2 'dir.

Işık Düzeyi, Aydınlık düzeyi ve Parıltı arasında fotometrik bağlantılarla geçişler mevcuttur. Aşağıdaki tabloda tüm bu parametrelere ait diğer birimler bulunmaktadır [3].

Birim	Açıklama	Dönüşüm çarpanı
Işık Akısı		
Light - watt	555 nm dalga boyulu radyasyon enerjisinin 1 watt'ı	683 lm / W
Işık Şiddeti		
Candle (uluslararası) Hefner candle	Standart akkor telli lamba standart mum	1 cd 0.9 cd
Aydınlık Düzeyi		
Meter candle	1 lm / m ²	1 lx
footcandle	1 lm / ft ²	10.764 lx
Phot	1 lm/cm ²	10.000 lx
nox	0.001 lm / m ²	0.001 lx
Parıltı		
lambert	1 / π cd / cm ²	3183 cd / m ²
footlambert	1 / π cd / ft ²	3.426 cd / m ²
nit	1 cd / m ²	1 cd / m ²
stilb	1 cd / cm ²	10000 cd / m ²
apostilb	1 / 10 000 π cd / cm ²	0.3183 cd / m ²
blondel	=apostilb	0.3183 cd / m ²
skot	=0.001 apostilb	0.00032 cd / m ²

Tablo 2: Gonyofotometre ölçüm birimleri.

4. ÖRNEK ARMATÜR TESTİ

VESTEL LED Aydınlatma Optik Laboratuvarı'nda tüm LED'li ve LED'li olmayan aydınlatma armatürleri ölçülebilmektedir. Optik, elektronik ve mekanik olarak tamamen VESTEL'de tasarlanan LED'li armatürlerin tasarım, pilot ve üretim aşamalarındaki tüm fotometrik ölçümleri bu laboratuvarında alınmaktadır.

Test edilecek ürünler, uluslar arası standartlara uygun şekilde stabil olana kadar çalıştırdıktan sonra bütünleştirme küresi ve gonyofotometrede test edilmektedir [4, 5].



Resim 6: VESTEL M4 Street Light ürününün Bütünleştirme Küresi'ndeki konumu.

Bütünleştirme küresine, dedektöre direk ışık gelmeyecek şekilde monte edilen stabil ürün, bütünleştirme küresinin kendi yazılımı ile test edilir ve sonuçlar raporlanır. Elde edilen ölçüm değerleri aşağıdaki gibidir.

Parameter	M4 Street Light
Radiant Flux (Watts)	22,6
Luminous Flux (lumens)	7706
Scotopic Luminous Flux (lm')	11450
Chromaticity x coord	0,3906
Chromaticity y coord	0,3946
Chromaticity u coord	0,2247
Chromaticity v coord	0,3405
Delta uv	0,0051
Chromaticity u' coord	0,2247
Chromaticity v' coord	0,5107
Peak Wavelength (nm)	588,8
Center Wavelength (nm)	579,1
Centroid Wavelength (nm)	569
Dominant Wavelength (nm)	577,2
Full Width Half Max Bandwidth (nm)	137,7
Excitation Purity (%)	35,7
Correlated Color Temperature (deg. K)	3866
Luminous Efficacy (lm/W)	146,2794229
SDCM	55,6 F 6500
Correlation	0,0054
Correlation Coefficient	0,005295721
Color Rendering Index Average (RA)	74,43457181
Color Rendering Index (R1)	72
Color Rendering Index (R2)	79,3
Color Rendering Index (R3)	85,5
Color Rendering Index (R4)	75,2
Color Rendering Index (R5)	71,2
Color Rendering Index (R6)	71,2
Color Rendering Index (R7)	83,5
Color Rendering Index (R8)	57,5
Color Rendering Index (R9)	-16,7
Color Rendering Index (R10)	50,9
Color Rendering Index (R11)	71,8
Color Rendering Index (R12)	44,5
Color Rendering Index (R13)	72,8
Color Rendering Index (R14)	91,6
Measured Power(W)	52,68

Tablo 3: Bütünleştirme küresi ölçüm tablosu.

Aynı ürün gonyofotometreye monte edilerek yine cihazın kendi yazılımı ile ölçüm yapılır. Laboratuvarımızda yapılan testler "TS EN 13032-1" standardına uygun olarak yapılmaktadır.

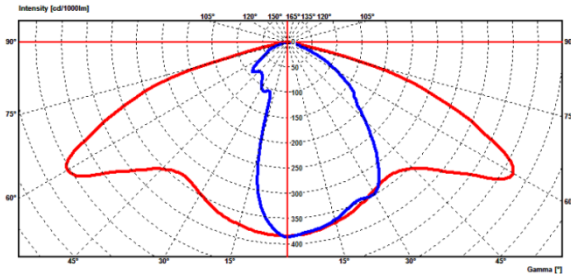
Gonyofotometre kullanılarak elde edilen ayrıntılı fotometrik bilgiler raporlanmaktadır. Bu raporda,

- Toplam Işık akısı,
- Kamaşma tablosu (UGR),
- Parıltı tablosu ve diyagramları,
- Özel aydınlanma açıları,
- Işık şiddeti tablosu, [6]
- Ürünün her açıdaki gerilim, akım, güç ve güç faktörü değerleri,
- Bir, iki ve üç boyuttaki dağılım grafikleri, [7]

gibi ürüne özel karakteristik fotometrik bilgiler elde edilir.

G/C [cd]	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00
0.00	2488.0	2488.0	2487.0	2488.0	2488.0	2488.0	2488.0	2488.0	2488.0
1.00	2486.0	2489.0	2491.0	2493.0	2495.0	2498.0	2501.0	2503.0	2506.0
2.00	2482.0	2488.0	2492.0	2497.0	2502.0	2507.0	2512.0	2515.0	2519.0
3.00	2479.0	2487.0	2493.0	2501.0	2507.0	2514.0	2521.0	2526.0	2532.0
4.00	2474.0	2484.0	2493.0	2503.0	2512.0	2521.0	2529.0	2536.0	2543.0
5.00	2469.0	2481.0	2493.0	2505.0	2515.0	2526.0	2535.0	2544.0	2552.0
6.00	2463.0	2478.0	2492.0	2506.0	2519.0	2530.0	2541.0	2550.0	2559.0
7.00	2458.0	2475.0	2491.0	2506.0	2521.0	2534.0	2545.0	2555.0	2565.0
8.00	2452.0	2471.0	2490.0	2507.0	2523.0	2537.0	2550.0	2559.0	2569.0
9.00	2445.0	2467.0	2488.0	2506.0	2523.0	2539.0	2552.0	2561.0	2570.0
10.00	2438.0	2463.0	2485.0	2506.0	2524.0	2539.0	2552.0	2561.0	2570.0
11.00	2430.0	2458.0	2482.0	2504.0	2523.0	2538.0	2551.0	2560.0	2569.0
12.00	2423.0	2452.0	2478.0	2501.0	2521.0	2537.0	2548.0	2557.0	2566.0
13.00	2414.0	2445.0	2474.0	2497.0	2517.0	2533.0	2544.0	2553.0	2562.0
14.00	2405.0	2438.0	2468.0	2493.0	2513.0	2528.0	2539.0	2549.0	2557.0
15.00	2395.0	2431.0	2462.0	2487.0	2508.0	2523.0	2533.0	2542.0	2551.0
16.00	2385.0	2423.0	2455.0	2482.0	2502.0	2516.0	2527.0	2536.0	2546.0
17.00	2375.0	2415.0	2449.0	2477.0	2496.0	2510.0	2520.0	2529.0	2539.0
18.00	2365.0	2407.0	2442.0	2470.0	2489.0	2503.0	2513.0	2522.0	2534.0
19.00	2354.0	2399.0	2435.0	2463.0	2482.0	2495.0	2505.0	2515.0	2527.0
20.00	2345.0	2391.0	2429.0	2457.0	2475.0	2488.0	2498.0	2509.0	2521.0
21.00	2335.0	2384.0	2423.0	2451.0	2468.0	2480.0	2491.0	2502.0	2516.0
22.00	2327.0	2377.0	2417.0	2444.0	2462.0	2473.0	2483.0	2497.0	2512.0
23.00	2317.0	2370.0	2411.0	2438.0	2455.0	2467.0	2478.0	2491.0	2508.0
24.00	2309.0	2363.0	2405.0	2433.0	2450.0	2462.0	2474.0	2487.0	2504.0
25.00	2300.0	2357.0	2401.0	2428.0	2445.0	2458.0	2470.0	2484.0	2502.0
26.00	2293.0	2352.0	2397.0	2424.0	2440.0	2453.0	2466.0	2481.0	2499.0
27.00	2287.0	2348.0	2393.0	2420.0	2437.0	2450.0	2463.0	2479.0	2499.0
28.00	2282.0	2345.0	2392.0	2418.0	2436.0	2450.0	2463.0	2478.0	2500.0
29.00	2279.0	2345.0	2392.0	2419.0	2436.0	2450.0	2463.0	2479.0	2501.0
30.00	2276.0	2344.0	2393.0	2420.0	2437.0	2451.0	2463.0	2479.0	2504.0
31.00	2272.0	2343.0	2394.0	2422.0	2440.0	2453.0	2465.0	2481.0	2506.0

Tablo 4: Açıya bağlı ışık şiddeti tablosu.

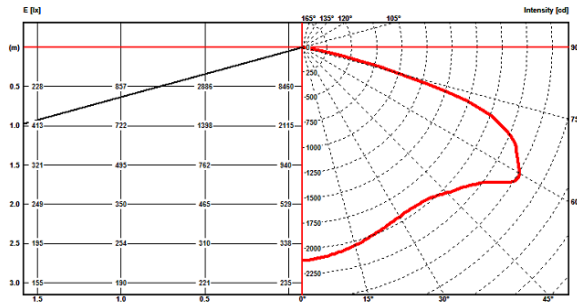


Resim 7: Işık dağılım grafiği (Polar diyagram).

UGR Unified Glare Ratios

Ceiling reflectance	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3
Wall reflectance	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3
Floor cavity reflectance	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Room dimension	Viewed crosswise					Viewed endwise				
2H	22.9	24.6	23.3	25.0	25.3	16.7	18.4	17.0	18.7	19.0
2H	26.3	27.9	26.7	28.2	28.6	17.4	19.0	17.8	19.3	19.7
2H	27.2	28.7	27.6	29.1	29.4	17.5	19.0	17.9	19.4	19.7
2H	27.4	28.8	27.8	29.1	29.5	17.6	18.9	18.0	19.3	19.7
2H	27.4	28.7	27.8	29.1	29.5	17.5	18.8	17.9	19.2	19.6
2H	27.3	28.6	27.7	29.0	29.4	17.5	18.7	17.9	19.1	19.5
4H	23.0	24.5	23.4	24.8	25.2	18.1	19.5	18.5	19.9	20.2
4H	26.5	27.8	27.0	28.2	28.6	18.9	20.2	19.3	20.6	21.0
4H	27.7	28.8	28.1	29.2	29.6	19.2	20.3	19.6	20.7	21.1
4H	27.9	28.9	28.4	29.3	29.8	19.2	20.1	19.6	20.6	21.0
4H	27.9	28.8	28.4	29.2	29.7	19.1	20.1	19.6	20.5	21.0
4H	27.9	28.7	28.4	29.2	29.7	19.1	20.0	19.6	20.4	20.9
8H	27.6	28.5	28.0	28.9	29.4	19.7	20.6	20.2	21.1	21.5
8H	27.8	28.6	28.3	29.1	29.6	19.7	20.5	20.2	20.9	21.4
8H	27.9	28.6	28.4	29.1	29.6	19.8	20.4	20.3	20.9	21.4
8H	27.9	28.4	28.4	29.0	29.5	19.7	20.3	20.2	20.8	21.3
12H	27.6	28.4	28.0	28.8	29.3	19.8	20.6	20.3	21.1	21.6
12H	27.9	28.5	28.4	29.0	29.5	19.8	20.5	20.3	21.0	21.5
12H	27.9	28.4	28.4	28.9	29.4	19.8	20.4	20.3	20.9	21.4

Tablo 5: Kamaşma (UGR) tablosu.



Resim 8: Aydınlık düzeyi diyagramı.

Bütünleştirme küresi ve gonyofotometre ile yapılan ürün testleri sonucunda elde edilen özel karakteristik fotometrik bilgiler ile, ürünün hedeflenen değerlere ulaşım ulaşıldığı, hangi komponentlerin armatürün verimliliğini nasıl değiştirdiği özel hesaplamalar ve simülasyon programları ile incelenerek LED paketleri ve diğer optik komponentlerin seçilmesi sağlanır.

Ürünlerde kullanılan led, lens, reflektör, çerçeve, yayıcı levha, cam vb. komponentlerle yapılan farklı test sonuçları değerlendirilerek ve titizlikle incelenerek o ürün için kullanılacak komponentlere karar verilir.

5. SONUÇ

LED'li aydınlatma armatürlerinin kullanım alanlarının ve teknik özelliklerinin teknoloji ile her geçen gün geliştiği günümüzde, LED yada LED'li armatürlere ait teknik verilerin ve ürünlerin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için test metodları, kullanılan cihazlar ve programlar oldukça önemlidir.

Özellikle, LED'li armatür tasarım aşamasında kullanılan LED paketlerin ve diğer optik komponentlerin özelliklerinin belirlenmesi, ürünün uygulanacak olan alandaki gerekli aydınlık seviyelerini elde etmede ve verimli şekilde kullanılmasına yardımcı olmaktadır. Söz konusu fotometrik cihazlar sayesinde hem enerji verimliliği sağlanmakta hem de aydınlatılacak alana en uygun optik çözümler belirlenmektedir.

VESTEL LED Aydınlatma Test Laboratuvarımız, TÜRKAK tarafından 29.06.2015 tarihinde TS EN ISO/IEC 17025:2012 standardına göre TS EN 13032-1 standardı kapsamında akredite edilmiştir. TS EN 13032-1 standardı ölçüm ve optik verilerin sunumu ile ilgili bize yol gösterici olmakla birlikte LED Armatürleri

için Őu anda farklı bir standard olmadığı için bu kapsam değerlendirilmektedir.

Akreditasyon sonucunda laboratuvarımızın optik test sonuçlarının ulusal ve uluslar arası geçerliliği mevcuttur.

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] Prof. Dr. Sermin Onaygil “Fotometrik Büyüklükler ve Aralarındaki Bağıntılar”
- [4] A.K.Türkoęlu, Flüoresan Lambaların Tayfsal Özelliklerinin CIE Normlarına Göre Belirlenmesi, V.Ulusal Aydınlatma Kongresi, İstanbul, 8 Ekim 2004
- [5] CIE 18.2, Basis of Physical Photometry, 1983.
- [6] Introduction to Light Emitting Diode Technology and Application, Gilbert Held, 2009
- [7] Lighting Emitting Diodes, Second Edition, E. Fred Schubert, Cambridge Univ. Press
- [8] Katı Hal Aydınlatma ve LED Standartlarındaki Gelişmeler, M. Berker Yurtseven, Sermin Onaygil,