

AYDINLIK DÜZEYİ VE PARILTI

Ferhad Samadov, Murat Durak, A.Kamuran Türkoğlu

TUBİTAK-Ulusal Metroloji Enstitüsü, Gebze-Kocaeli / TÜRKİYE
Tel: 262 646 63 55 E-Mail: farhads@ume.tubitak.gov.tr

ÖZET

TUBİTAK-Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Optik laboratuvarında kurulan ışık şiddeti birimi Kandela (Cd) ölçüm düzeneği üzerinden, Aydınlik Düzeyi (lux) ve Pariltı (cd/m^2) fotometrik parametreleri ölçümlerinin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Bu ölçümlerde CCPR (the Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie) tarafından uygun görülen kalibreli sıcaklık kontrollü hassas standart $V(\lambda)$ / Si fotometre başlıkları ve Uluslararası CCPR Işık şiddeti anahtar karşılaştırmasına izlenebilir olan 2856 K renk sıcaklığında çalışan standart lambalar kullanılmaktadır. Bu bildiriyle fotometri kapsamında gerçekleştirilen aydınlık düzeyi ve pariltı ölçümlerinin düzenek ve yöntem bilgisinin verilmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar sözcükler: Aydınlik düzeyi, Lüks, Pariltı, Fotometri, Kalibrasyon.

1.GİRİŞ

1954 yılında gerçekleşen 10.CGPM (Conference Generale des Poids et Mesures) konferansında, Uluslararası birimler sistemi içinde fotometrinin temel ölçüm birimi olarak "kandela" kabul edilmiştir [1]. 1967'deki 13.CGPM konferansında ise kandela, platinyum'un donma noktasındaki (1768 °C) siyah cisim'e dayalı olarak tanımlanmıştı. Mutlak radyometrik ölçümler konusunda elde edilen ilerlemeler sonucunda, kandela, son olarak 1979 yılında 16.CGPM konferansında aşağıdaki gibi yeniden tanımlanmıştır [2];

"Belli bir yönde ışınım şiddeti $1/683$ Watt/steradyan'a eşit olan bir kaynağın, 540×10^{12} Hz frekansında aynı yöndeki ışık şiddeti "kandela" olarak tanımlanmaktadır".

Optik radyometri alanında temel nicelik olarak "watt" birimi ile ölçülen ışın akısı (gücü) kabul edilmektedir. Bu birime fotometri'de karşılık gelen nicelik, ışık akısı, birimi ise "lümen" dir. Optik radyometri ve fotometride yaygın olarak kullanılan önemli nicelikler ve birimleri aşağıda Tablo-1'de gösterilmektedir [3]. Optik radyometrideki birimler optik radyometrenin temel birimi watt'tan, fotometrik birimler ise ışık şiddeti birimi kandela'dan türetilerek elde edilir.

Tablo 1. Optik radyometri ve fotometride kullanılan önemli nicelikler ve birimleri.

Fotometri nicelik	Birim	Lümenle ilişkili	Radyometri nicelik	Birim
Işık Akısı (Luminous Flux)	lm (lumen)		Işınım Akısı (Radiant Flux)	W (watt)
Işık Şiddeti (Luminous Intensity)	cd (candela)	lm sr ⁻¹	Işınım Şiddeti (Radiant Intensity)	W sr ⁻¹
Aydınlık Düzeyi (Illuminance)	lx (lux)	lm m ⁻²	Işınım Düzeyi (Irradiance)	W m ⁻²
Parıltı (Luminance)	Cd·m ⁻²	lm sr ⁻¹ m ⁻²	Işıma (Radiance)	W sr ⁻¹ m ⁻²

Kandela'nın yukarıda ifade edilen son tanımı ile fotometri ve optik radyometri birimleri arasında bir bağlantı kurulmuştur. Fotopik aydınlık durumunda ($\lambda=555$ nm) kaynağın ışık şiddeti ile (I_v), kaynağın spektral ışın şiddeti ($I_{e,\lambda}$), aşağıdaki eşitlik ile birbirlerine bağlantılıdır [4];

$$I_v = K_m \int_{\lambda} V(\lambda) I_{e,\lambda} d\lambda \quad (1)$$

Burada K_m bir sabit olup, $V(\lambda)$ fonksiyonunun maksimum değer aldığı (555 nm) ışınım gücünün 1 Watt'ına karşılık olan Lümenlerin sayısına eşittir; $V(\lambda)$: CIE'nin ışık etkisi fotopik spektral fonksiyonu

Aynı eşitlikte, K_m 'in değeri kandela'nın tanımından gelmektedir; $K_m = 683 \times V(555.000 \text{ nm}) / V(555.016 \text{ nm}) = 683.002$ lümen / W. K_m normal olarak 683 lm / W değerine yuvarlanır.

Fotometre, genel olarak elektromanyetik spektrumunun 380-780 nm bölgede ölçümü ile uğraşan bilim dalıdır. Fotometride ışık akısı (Φ_v), $V(\lambda)$ üzerindeki ışığın zamana bağlı olarak akış oranıdır;

$$\Phi_v = K_m \int_{\lambda} \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

$\Phi_{e,\lambda}$: dalgaboyu fonksiyonu λ (nm) olan ışınım değişiminin (W/nm) spektral toplamıdır.

Bir ışık kaynağı ile aydınlatılan bir bölgede aydınlatma, bölgenin her yerinde aynı olmamaktadır. Eğer ışık akısı kaynağı nokta biçiminde ise, aydınlatma, aynı uzaklıkta her yönde aynıdır. Nokta biçiminde olmayan bir ışık kaynağının aynı uzaklıktaki değişik yönlerdeki ışık dağılımı, lüksmetre ile ölçülür. Fotometrik parametre olan aydınlatma (E_v), yüzeyin aldığı ışık akısının, bu yüzey alanında değişimidir ve aşağıdaki türev ifadesiyle verilir;

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA} \quad (3)$$

$d\Phi_v$: yüzeye düşürülen ışık akısı değişimi; dA : yüzey alanı

Fotometride kullanılan önemli birimlerden birisi de parıltı (ya da Aydınlık Şiddeti) birimidir. Aydınlatma tekniğinde en önemli öğelerden biri olan parıltı (L_v), söz konusu yüzeyin, verilmiş

doğrultudaki ışık akısı değişiminin, bu yüzeyin doğrultuya dik bir düzlem üzerindeki izdüşümünün alanına bölümüdür.

$$L_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega dA \cos\theta} = \frac{dI_v}{dA \cos\theta} \quad (4)$$

Türetilmiş SI birimleriyle bağlantılı olarak kullanılan bazı Uluslararası birimler ve ilişkileri Tablo-2 'de verilmektedir [5];

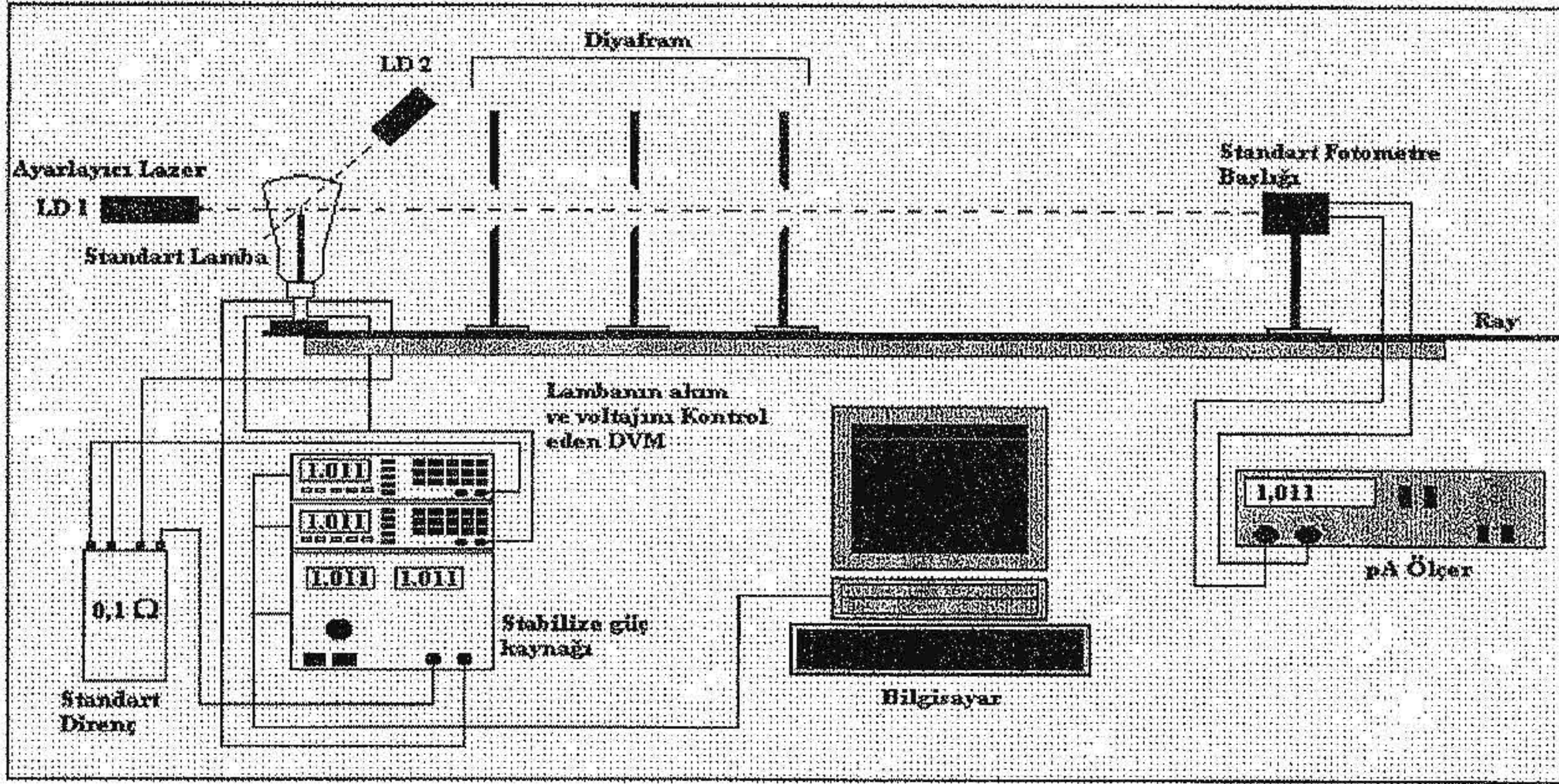
Tablo 2. Uluslararası birimler ve ilişkileri .

Birim	Nicelik	Tanım	İlişki
Foot-candle (fc)	Aydınlık Düzeyi (Illuminance)	Lm ft ⁻²	1 fc=0,09290 lux
Foot-Lambert (fL)	Parıltı (Luminance)	π^{-1} cd ft ⁻²	1 fL=0,29186 cd/m ²
Feet	Uzunluk	M	1 feet=0,30480 m
Inch	Uzunluk	Mm	1 inch=25,400 mm

2. AYDINLIK DÜZEYİ

Endüstriyel gelişmelere paralel olarak yüksek kaliteli Silikon fotodiyotların yaygınlaşması ile fotometri ölçümlerinin gerçekleştirilmesi kolaylaşmıştır. Bunun sonucunda fotometre başlıkları geleneksel standart ışık şiddeti lamba ölçümlerinde fotometrik ölçüm standartları olarak kullanılmaya başlanmıştır. Standart lambalar, stabilizasyon periyodunda uygulanan akıma, mekanik sarsıntılara ve çalışma süresi değişmesine oldukça hassastır.

Şekil-1'de UME Optik laboratuvarında kullanılan fotometrik ölçüm düzeneği gösterilmektedir. Buradaki fotometrik ray, ışık şiddeti (cd) ve Aydınlik Düzeyi (lux) kalibrasyon/ölçüm düzeneğinde kullanılmaktadır. 6 m uzunluğundaki ray sistemine, UME optik laboratuvarında beş boyutta harekete olanak sağlayan mekanik dedektör tutucu yerleştirilmiştir. Ölçüm öncesi 2 adet lazer diyot (dalgaboyu 670 nm ve gücü 5 mW) yardımıyla lamba filamanının merkeziyle fotometre başlığının giriş deliğinin merkezinin optik masaya paralel bir eksenin üzerinde olması ve flamanın bulunduğu yüzeyin bu eksene dikey durması sağlanmaktadır. Lambadan gelen ışığın homojen olarak dedektör üzerine düşürülmesi için ışık yoluna diyaframlar yerleştirilir.



Şekil 1. Aydınlatma ölçümlerinde kullanılan düzenek.

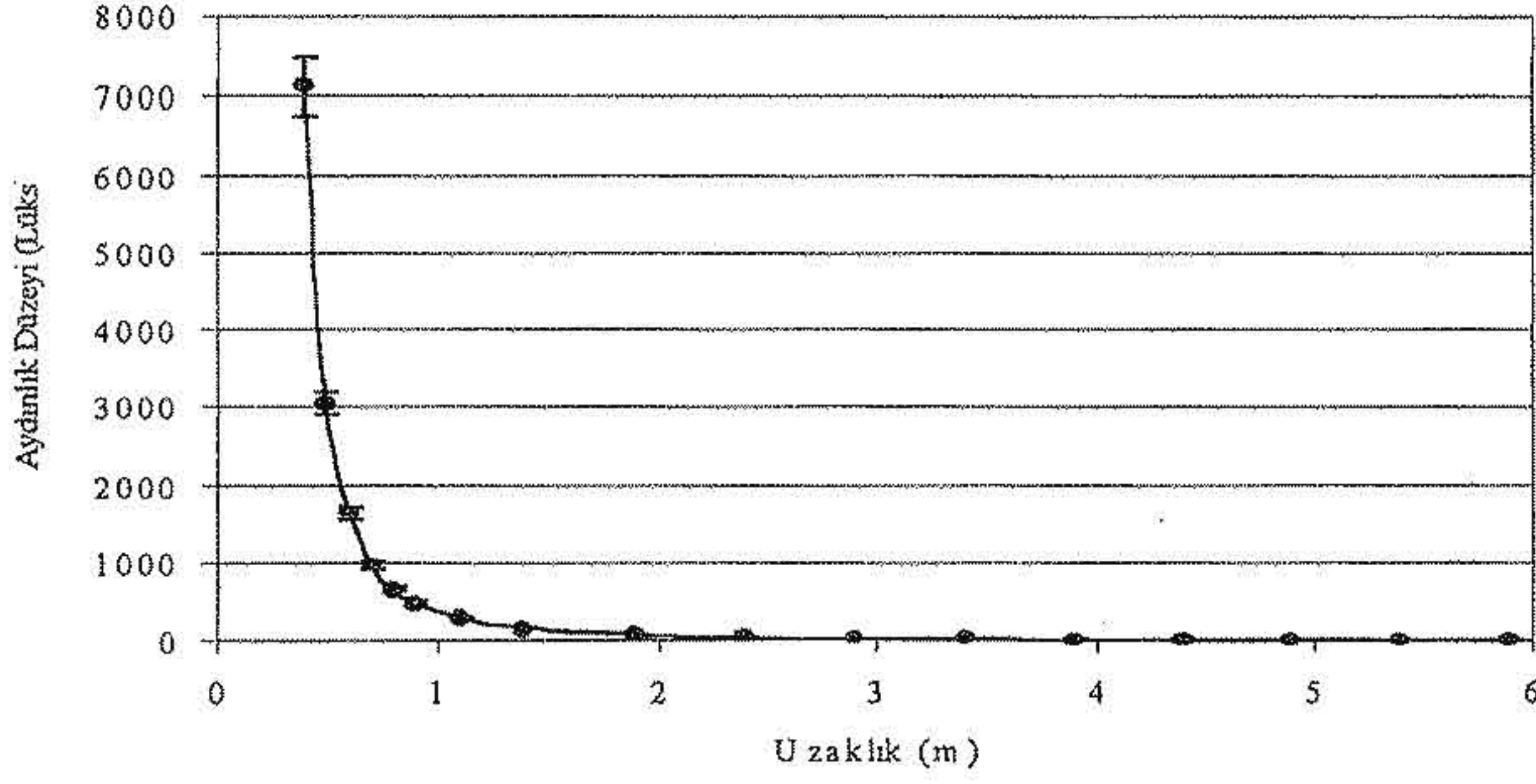
Ölçümlerde kullanılan standart lambayı çalıştırmak için sabit DC güç kaynağı kullanılır. Genel akım referansa standart dirençle bağlanan ($0,1\Omega$) $0,01\%$ belirsizlikli sayısal voltmetre (DVM) ile ölçülür. Lambanın akımı, otomatik olarak bilgisayar sistemi ile $\pm \% 0,002$ hassaslıkta kontrol edilir. Sabit akımda, 2856 K renk sıcaklığında çalışan 200 W'lık standart Osram Wi 41G model tungsten filamanlı lamba (Aydınlatıcı-A) 10-15 dakika içinde stabilize edilir. Aydınlik Düzeyi test ölçümleri lambadan 0 - 6 m uzaklıklarda kalibreli standart fotometre başlığı kullanılarak alınır.

2.1. Kalibrasyonda kullanılan fotometreler.

Fotometrik parametrelerin ölçümünde kullanılan standart fotometre başlıklarının, kesin olarak sınırlayıcı deliğinin (alanı fotodiyotun alanından çok küçük) ve dağıtıcısının olması gereklidir. Işık akısını elektriksel sinyale çeviren fiziksel alıcılı fotometreler yansıma ve yutma katsayıları ölçümlerinde kullanılır. Fotometre ve spektrometri'de kullanılan ısıl ve foton dedektör olmak üzere iki tür dedektör vardır. Dedektörle algılanan ışınım miktarı, üzerine düşen foton sayısı ile orantılıdır. Fotometrik ve spektrometrik ölçümlerde kullanılan silikon fotodiyot önüne ışığın sadece görünür bölgesini seçmek için bir kaç milimetre kalınlığında $V(\lambda)$ -filtresi yerleştirilir. Eğer fotometre başlığının sınırlayıcı deliği ve dağıtıcısı yoksa, o zaman fotodiyodun yüzeyi referans olarak kullanılır. Eğer referansın alanı düzgün olarak tanımlanmamışsa, $E=I/r^2$ eşitliğine göre fotometrenin hassaslığı değişir. Bu değişim lambaya yakın mesafelerde büyük hatalara yol açmaktadır. Bu nedenle standart fotometrelerin dışında sınırlayıcı deliğin veya dağıtıcısının olması gerekmektedir.

2.2. Kalibrasyon prosedürü.

Aydınlatma ölçümlerinde fotometre başlıkları kullanılarak lüks cinsinden Aydınlik Düzeyi ölçülür. UME' de gerçekleştirilen fotometrik ölçümlerde, 2856 K renk sıcaklığında çalışan tungsten filamanlı lamba kullanılmaktadır. Lamba akımının stabilize olmasından sonra kaynaktan 0,7 m; 1,0 m ve 3,5 m mesafelerde standart fotometre başlığı ile ölçümler alınır. Bu işlemin ardından yine bu mesafelerde test cihazı ile okunan değerler standart fotometre başlığı ile okunan değerlere ayarlanır. UME standart fotometre başlığı ile alınan Aydınlik Düzeyi değerleri grafik 1- de verilmektedir.

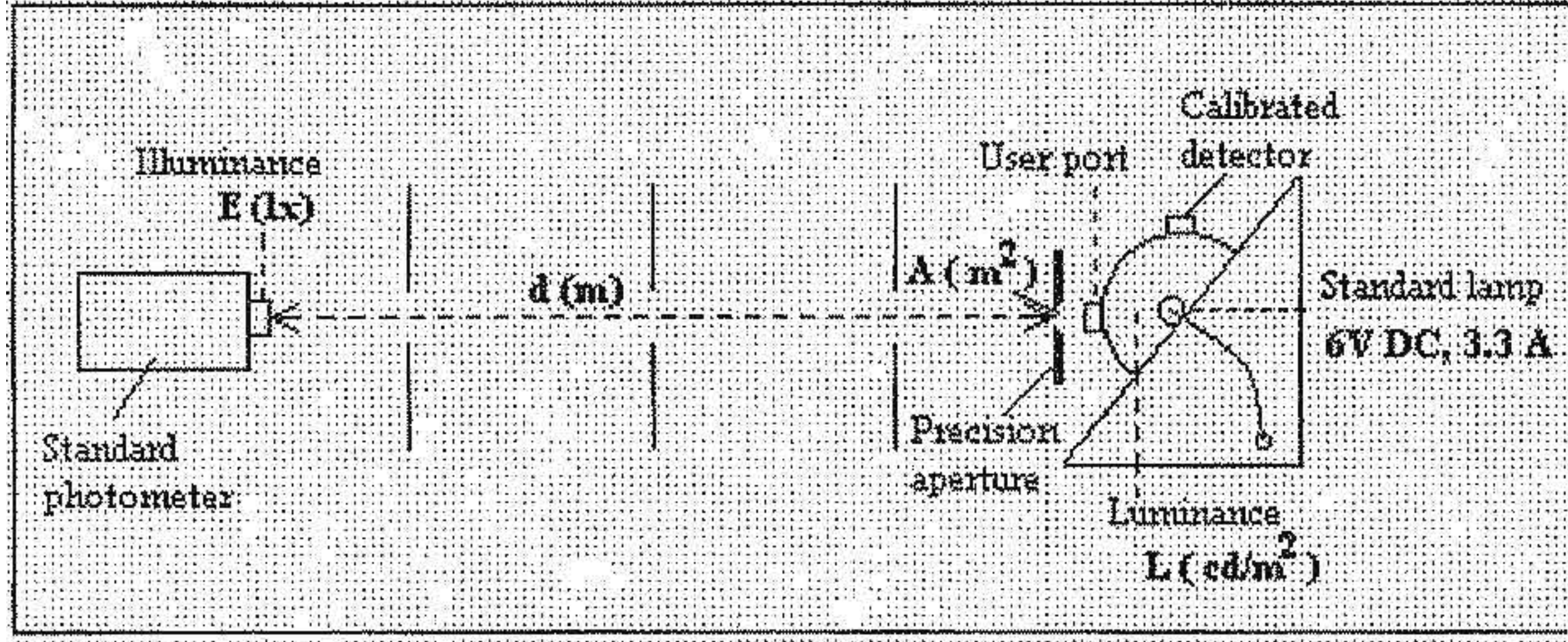


Grafik 1. Aydınlatma değerinin uzaklığa bağlı değişim eğrisi

Test ölçüm cihazı ve UME standart fotometre başlığı ile alınan tekrarlı ölçüm sonuçları karşılaştırılır. Ölçüm işlemlerinin sonucunda lambaya ait akım ve çalışma süresi raporu tutulmaktadır. Bu ölçümlerde fotometre başlığının ve test cihazının alanları referans olarak alınır. Kalibrasyon süresince ortam şartları, sıcaklık ($23,0 \pm 0,2^\circ\text{C}$) ve bağıl nemlik ($\% 45,0 \pm 5,0$) sabit tutulur.

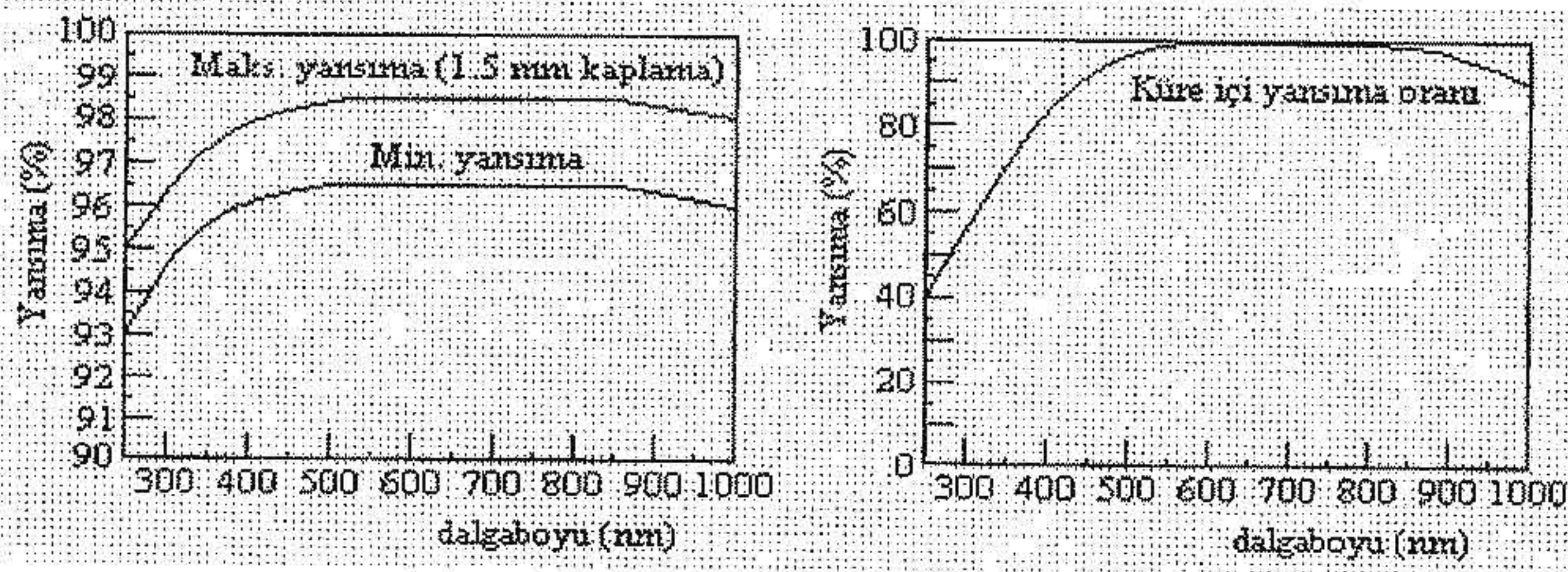
3. PARILTI ÖLÇÜMLERİ

Parıltı ölçümleri, genel olarak dedektör-tabanlı standart fotometre başlığı ve toplama küresi kullanılarak gerçekleştirilir [6]. Bu ölçümler gerçekleştirmek için kurulmuş olan düzenek Şekil 2- de görülmektedir.



Şekil 2. Parlaklık ölçümlerinde kullanılan düzenek.

Parıltı ölçümlerinde, içerisinde ışığın 100% yansımamasını sağlamak için Baryum Sülfat (BaSO_4) kaplı ve 25.4 cm çaplı toplama küresi kullanılmaktadır. Bu küre görünür bölgede en yüksek yansıtıma sahiptir (98%). Grafik 2-de kürenin yansıtma değerleri verilmektedir;



Grafik 2. Kürenin 250 - 1000 nm dalgaboyu aralığında yansıtması

Küre lambasının $V(\lambda)$ karakteristiğini çıkarmak için küreye silikon dedektör yerleştirilmiştir. Silikon dedektör, küre kaynağı ile birlikte kullanılmaktadır. Eğer silikon dedektör kullanılmazsa, lambanın toplam çalışma süresi 50 saat olduğunda yeniden kalibre edilmesi gerekir. Kürede kullanılan kaynağın tipik parlaklığı $\pm 1\%$ - $\pm 2\%$ ve renk sıcaklığı ± 10 K - ± 20 K aralığında değişmektedir.

Toplayıcı kürede kullanılan kaynak 6 V sabit gerilimle çalıştırılır. Toplama küresi ve standart fotometre başlığı optik tezgah üzerine yerleştirilir. Parıltı birimi, küre kaynağından 1 m mesafede standart fotometre başlığı kullanılarak ölçülür. Uzaklık, fotometre başlığı ile sınırlayıcı deliğin ön düzlemi arasında ölçülür. Sınırlayıcı delikler 3.6 mm ve 8 mm çapındadır ve bu sınırlayıcı delikler kürenin çıkış portuna takılır. Difraksiyon etkisinden kaçınmak amacıyla, sınırlayıcı delikler kürenin içerisine yakın yerleştirilmiştir. Eğer sınırlayıcı delik çıkartılır ya da değiştirilirse, küredeki parlaklık değişecektir. Bunun için her değişiklik sonunda tekrar düzenleme gerekir. Parıltı L (cd/m^2), genel olarak, standart fotometre ile sınırlayıcı delikten kararlı mesafede olan aydınlatma düzeyi E (lx), k bir geometrik katsayı olmak üzere, mesafe d (m) değerleri ve sınırlayıcı deliğin alanı A (m^2) ile belirlenir,

$$L = \frac{kEd^2}{A} \quad (5)$$

Geometrik düzeltme katsayısı k , sınırlayıcı deliğin yarı çapı r_a , fotometrin hassas yüzeyinin yarı çapı r_d ve mesafe d ile belirlenir

$$k = 1 + \left(\frac{r_a}{d}\right)^2 + \left(\frac{r_d}{d}\right)^2 \quad ; r_a, r_d < \frac{d}{10} \quad (6)$$

Denklem (6) 'dan anlaşılacağı gibi kalibrasyon hatası 1 m mesafede önemsizdir. Örneğin $r_a/d < 0,01$ ve $r_d/d < 0,01$ olursa, $k \approx 1$ olacağı için hesaba katılmaz. Bunun için de düzenlenen bu yöntemle difraksiyon etkisi ortadan kalkmış olur [7].

3.1. Toplayıcı küre kalibrasyonu.

Küre kaynağını kalibre etmeden önce toplayıcı kürede kullanılan kaynağın $V(\lambda)$ karakteristiğini çıkarmak için silikon detektör kullanılır. Bunun için, UME standart PR-650 SpectraColorimetre cihazının optik eksenini küreden 0.5 - 2 m mesafelerde yerleştirilerek ayarlanır. PR-650 SpectraColorimetre ile toplayıcı küre içerisine odaklama işlemi yapılır. Bu işlemden sonra $\sim 24^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında kalibre edilen küre kaynağı çalıştırılır ve ölçümler alınır. Ölçümlerden sonra değerler INS250 toplama küresinin değerleri ile karşılaştırılır. Bu ölçümlerde kalibrasyon belirsizliği kullanılan sınırlayıcı delik ve ölçme metoduna göre belirlenir.

3.2. Parlaklık ölçer kalibrasyonu.

Parlaklık ölçen cihazlar, 10^3-10^5 Cd/m^2 aralığında parlaklık ölçümlerini ölçen hassas cihazlardır. UME ölçümlerinde PhotoResearch PR-650 SpectraColorimeter kullanılmaktadır. UME çalışma standardı olan PR-650 -nin ölçüm aralığı $0,001 \text{ cd/m}^2 - 5500 \text{ cd/m}^2$ -dir.

Parlaklık ölçen cihazlar şu prosedür izlenerek kalibre edilir: Toplayıcı küre kaynağının çıkış deliğinin optik ekseninin parlaklık ölçen cihazın merceği ile aynı eksende olması gerekmektedir. Kalibre edilecek parlaklık ölçen cihazlar optik ray üzerine yerleştirilir ve ayarı lazer ile yapılır. Kalibrasyonda elde edilen sonuçlar, UME standardı olan PR-650 'nin değerleri ile karşılaştırılır.

3.3. Parlaklık katsayısı ölçümleri.

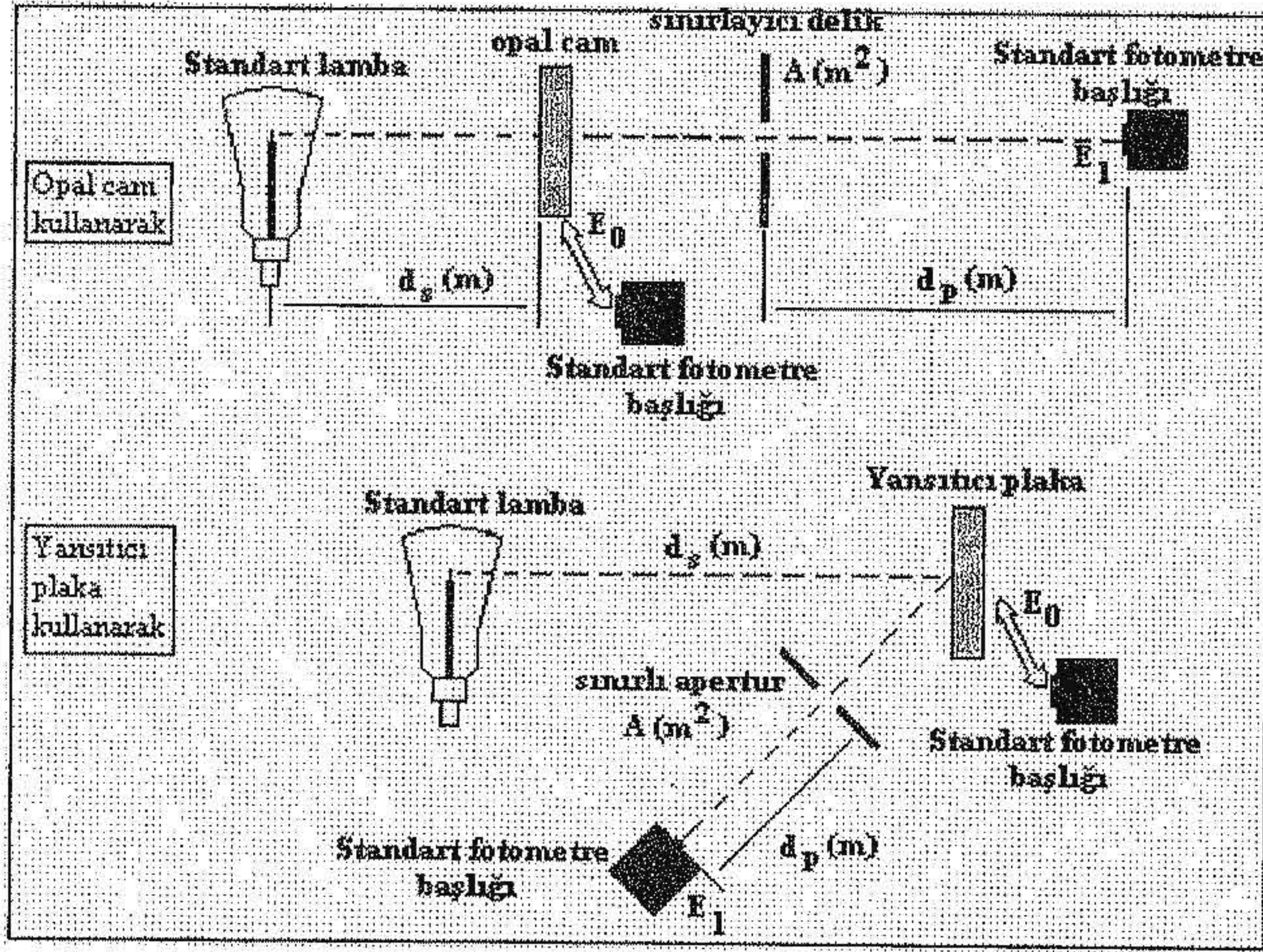
Parlaklık katsayısını k (E ve L arasındaki) ölçmek için opal cam kullanılır. Mevcut standart opal cam $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 3\text{mm}$ ölçülerindedir. Opal camın kullanıldığı sistemlerde parlaklık şiddetli yüksek olan standart lambalar gereklidir.

Opal camların parlaklık katsayısı ölçümleri standart fotometre başlığı kullanılarak, opal cam yüzeyindeki parlaklığın L (cd/m^2) ve aydınlatmanın E (lx) ölçülmesi ile hesaplanır

$$q = \frac{L}{E_0} = \frac{kE_1 d_p^2}{AE_0 \Omega_0} \quad (7)$$

q : opal camın parlaklık katsayısı; d_p : fotometre başlığı ile sınırlayıcı delik arasındaki mesafe; Ω_0 : katı açı olup, $\Omega_0 = A/r^2$ 'ye göre bulunur

E_0 ve E_1 aydınlatmaları aynı fotometre başlığı ile ölçülür. Şekil-3' te opal camın kalibre edilme düzeneği gösterilmektedir. Şekildeki tüm cihazlar optik ray üzerine yerleştirilmiştir. Parlaklık katsayısı ölçümündeki opal cam, lambadan 2 m mesafede aydınlatılır ve ölçümler alınır.



Şekil 3. Fotometrik metotla opal camın parlaklık katsayısının belirlenmesi.

4.SONUÇ

UME Optik laboratuvarında, Aydınlık düzeyi (lüks) ve Parlaklık (Cd/m^2) ölçümleri set düzenekleri uluslararası izlenbilirliğe sahip olarak kurulmuştur. Parlaklık birimi Cd/m^2 'yi ölçmek için 'toplayıcı küre' metodunun kullanılması, ölçüm ve kalibrasyon belirsizliğinin düşürülmesini sağlamıştır. Mevcut durumda Aydınlık düzeyi $10^{-3} \text{ lx} - 10^6 \text{ lx}$ ve Parlaklık ölçümleri ise $1 \text{ cd/m}^2 - 30,000 \text{ cd/m}^2$ aralıklarında yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] CCPR raporu özeti. Principles governing photometry. Metrologia 19, 1983, s. 97-101
- [2] CIPM, Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie 10e Session-1982, Bureau International Des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, F-92310, Sèvres, France (1982).
- [3] CIE Publication No. 17.4, CIE International Lighting Vocabulary (1987).
- [4] R.A. Nelson, L.Ruby. Physiological units in the SI. Metrologia 30, 1993, s.55-60.
- [5] Lighting Handbook 8th Edition, Illuminating Engineering Society of North America, Appendix. 1993. pp. 946-949.
- [6] CIE Publication No. 69. Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters. 1987.
- [7] W.R.Blevin. Diffraction Losses in Radiometry and Photometry. Metrologia 7, 1970, s.39-44