

İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FOTOMETRİK ÖLÇMELER VE YENİ MODERN YAKLAŞIMLAR

SEMİNER TEZİ

Temel SÖNMEZOCAK

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

Seminer Tezi Danışmanı: Prof. Dr. Hasan Hüseyin BALIK

HAZİRAN 2014

İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FOTOMETRİK ÖLÇMELER VE YENİ MODERN YAKLAŞIMLAR

SEMİNER TEZİ

**Temel SÖNMEZOCAK
(Y1313.100005)**

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

Seminer Tezi Danışmanı: Prof. Dr. Hasan Hüseyin BALIK

HAZİRAN 2014

TEŐEKKÖRLER

Bu tezi hazırlamamda emeği geçen ,bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen baŐta Prof. Dr. Hasan Hüseyn BALIK hocamıza ve bu tezi destekleyen Doç. Dr. Zafer UTLU hocamıza ve de BKS Aydınlatma Őirketi Arge Yöneticisi Tunç TURALP beye ve İstanbul Aydın Üniversitesi LED AYDINLATMA LABORATUARI alışanlarından Engin HUYSAL ve Sercan ÖZKAN arkadaşımıza ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2014

Temel SÖNMEZOCAK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜRLER.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. IŞIK TERMİNOLOJİSİ VE TEMEL KAVRAMLARI	3
2.1 Işık Akısı.....	3
2.2 Işık Şiddeti.....	4
2.2.1 Işık Şiddeti Dağılımları.....	5
2.3 Fotometri.....	8
3. FOTOMETRİK ÖLÇME SİSTEMLERİ	13
3.1 Uzak Alan(Far Field) Ölçme Sistemleri	13
3.1.1 Gonyofotometre Kullanarak LID Ölçmeler.....	15
3.1.2 Işık Bütünleştirme Küresi (Integrating Sphere)	20
3.2 Yakın Alan(Near Field) Ölçme Sistemleri.....	21
3.2.1 Yakın Alan(Near Field) Gonyofotometresi.....	21
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	25
KAYNAKLAR.....	27
ÖZGEÇMİŞ	29

KISALTMALAR

Φ_v	: Işık akısı
Cd	: Kandela
LID	: Işık Şiddeti Dağılımları (Luminous Intensity Distributions)
Nt	: Nit (parıltı Cd/m ²)
LED	: Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode)
CCD	: Dijital Kamera Sensörü (Charge Couple Device)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : RIGO801 serisi gonyo fotometre modelleri.....	22
---	----

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Gonyofotometre ile taranmış küresel yüzeyler.....	3
Şekil 2.2 : Gonyofotometre ile taranmış küresel yüzeyler.....	5
Şekil 2.3 : ($\theta - \phi$) düzleminde halojen lambanın LID dağılım grafiği.....	5
Şekil 2.4 : Halojen lambanın LID dağılım grafiğinin 3D uzaysal olarak Gösterilmesi.....	6
Şekil 2.5 : A düzlemi - B düzlemi – C düzlemi örnekleri.....	7
Şekil 2.6 : C düzlemi bir sistemde ölçülmüş Halojen lamba LID dağılım grafiği.....	8
Şekil 2.7 : Fotopik Görsellikte spektral aydınlatma etkinliği.....	9
Şekil 2.8 : CIE 1931 standardı kolorimetrik sistemi.....	10
Şekil 2.9 : LMT marka manuel el tipi lüksmetre.....	11
Şekil 2.10 : $V(\lambda)$ filtreli parlıltı (luminance) ölçme kamerası.....	11
Şekil 2.11 : Kolorimetrik ölçümler için 4 tam filtreli Renksel CCD kamerası.....	12
Şekil 3.1 : Doğrudan Ölçüm yapabilen uzak alan gonyofotometre sistemi.....	14
Şekil 3.2 : Dolaylı uzak alan fotometrik Ölçme sistemi.....	14
Şekil 3.3 : C tipi (Type C) bir gonyofotometre düzeneği.....	16
Şekil 3.4 : Dönen aynalı tip gonyofotometre.....	17
Şekil 3.5 : Farklı iki markalı Aynalı tip gonyofotometreler.....	18
Şekil 3.6 : Işık kaynağı sadece bir düzlemde hareket edebilen compact tip Gonyofotometre.....	19
Şekil 3.7 : Kardan Gonyofotometresi.....	19
Şekil 3.8 : Cardiff Ölçme Sistemi.....	20
Şekil 3.9 : Ulbricht Küresi (Integrating Sphere)	21
Şekil 3.10 : CCD kamera tekniği	22
Şekil 3.11 : CCD kamera kalibrasyonu(Parlıltı – Sinyal) ilişkisi.....	24

FOTOMETRİK ÖLÇMELER VE YENİ MODERN YAKLAŞIMLAR

ÖZET

Bu çalışmada fotometrik ölçmelerde sistem yaklaşımları ve gelişen teknolojiye bağlı olarak ortaya çıkan yaklaşım tekniklerinden bahsedilmiştir. İlk bölümde fotometrik temel kavramları ve tanımlamaları üzerinde durulmuş, bu kavramlar arasındaki ilişkiler açıklanmıştır ve formülize edilmiştir. Bu çalışmada devamlı fotometrik büyüklükleri ölçmede kullanılan geleneksel teknikler ve yeni modern teknikler ele alınmıştır.

Bu çalışma, iki genel ölçme tekniğinden bahsetmektedir. Bu tekniklerden biri Uzak Alan (Far Field), diğeri Yakın Alan (Near Field) ölçüm tekniğidir. Yakın Alan ölçüm tekniği son yıllarda ortaya çıkan dijital video kamera tekniğine dayalı yeni bir tekniktir. Özellikle de ölçülecek ışık kaynağı ile fotometrik ölçme sistemi arasındaki mesafenin kısılmasından dolayı Uzak Alan ölçme tekniğine kıyasla avantajlıdır. Ayrıca LED ışık kaynaklarının ya da çok sayıda LED lerin birleşimi ile oluşan modüller, yakın mesafeden video kamera sistemiyle odaklanarak ayrı ayrı her bir parametreleri de kolaylıkla Yakın Alan Teknikleriyle ölçülebilmektedir. Bu nedenle Uzak Alan ölçme tekniğine göre avantajlıdır. Yakın Alan tekniğinin başka bir avantajı ise ölçmede kullanılan video kamera sensörünün teknik özelliklerine bağlı olarak farklı renk filtreleri içermesidir. Bu nedenle ışık kaynaklarının veya aydınlatma armatürlerinin fotometrik özelliklerinin yanısıra radyometrik özellikleri ve ışığın renksel özellikleri de kolaylıkla ölçülebilmektedir. Fakat ölçüm öncesinde video kameranın kalibrasyonunun yapılması gereklidir. Eğer yapılan kalibrasyon hassas olmaz ise bu durumda ölçme hatası kaçınılmazdır.

Sonuç olarak ışık kaynaklarının tipine ve boyut farklılıklarına göre uygun bir fotometrik ölçme sistemi seçmek gerekir. Bu nedenle bu çalışmada, bu farklılıklar göz önüne alınarak geleneksel fotometrik ölçüm sistemleri ve yeni modern sistemler araştırmacılara ışık tutması amacı ile ele alınmıştır.

PHOTOMETRIC MEASUREMENT AND NEW MODERN APPROACHES

SUMMARY

In this study, depending on the emerging technologies, new system approaches and photometric measurement system techniques are discussed. In the first chapter the basic photometric concepts and definitions are focused and formulated. In the next section of this study, conventional techniques in the measurement of photometry are discussed by new modern techniques. This study mentions two general measurement techniques. One of these techniques is the Far Field measurement technique, the other technique is the Near Field measurement technique. Near Field Measurement technique emerged in recent years is a new technique based on a digital video camera techniques. Especially, due to reduction of distance between the light source and photometric system, the Near Field measurement technique has advantage compared to Far Field Technique. Furthermore, the LED light sources or the modules that consist of multiple LED 's, formed by the combination measured close of the video camera system by focusing individually has also advantage compared to Far Field Measurement technique.

Another advantage of Near Field technique through video cameras used by using different color filters is that measures radiometric properties of light sources as well as photometric properties. But before the measurement, calibration of the video camera is important. If the calibration is not precise, in this case the measurement results consist of errors.

Essentially, according to the type and size of the light source then it is necessary to select a suitable photometric measurement system. For example, The Near Field measurement system would be an appropriate choice in a small size LED light sources or lamps and lighting fixtures but nevertheless it is not an appropriate system in a very large lighting fixtures. Because of large light source in near Field distance breaks the camera's viewing angle out.

Photometric measuring system for determining, the lamp dimension is important, lamp type is also important. For example, for measuring the fluorescent or discharge lamps containing gas, returning photometric detector with a system to measure, is a suitable choice instead of photometric systems used to measure the movement of the light assembly by rotating. Because of the movement of lamp, resulting emitting light increase alternately, depending on the movement of gases in lamp will result in measurement errors. Therefore, in measuring these type of discharge lamp, it is not used with the lamp rotating measuring system. If the measurement in lamp

rotating system in each angle must be held over a period of time, the lamp should be measured after stable to light. However, measurement time is prolonged in this case.

LID measurements systems are used as a two-motor system when photometric measurements in systems of movement. These such systems return the light source or photometric detector or both system based on rotation. If Non-motorised system such as integrating sphere was used, only the luminous flux value may be measured, also LID measurements become insufficient. However using a suitable spectroradiometer, it is also possible to measure the color properties.

In conclusion, light sources differ according to the type and size is needed to choose a suitable photometric measurement system. Therefore, in this study, the variety of measuring systems based on these differences are discussed.

1. GİRİŞ

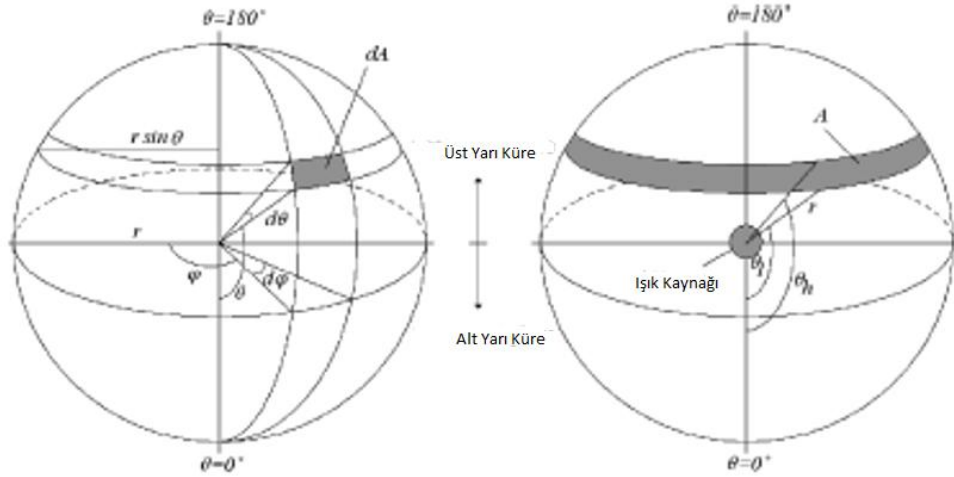
Gelişen teknolojiye bağlı olarak insanoğlunun enerjiye olan talebi de her geçen gün artmaktadır. Buna paralel olarak aydınlatma alanında özellikle de verimli aydınlatma armatr ve ışık kaynaklarının gelişen teknolojiye bağlı olarak ortaya çıkışı, bu kaynakların ışıksal performanslarının ölçülmesini zorunlu hale getirmiştir. Ayrıca ışık kaynaklarının ve aydınlatma armatrlerinin projelendirme safhasında fotometrik büyüklüklerin ölçülmesi de her geçen gün önem kazanmaktadır. Bu lm ihtiyaçlarından dolayı fotometrik ölçümlerde farklı lme teknikleri, farklı yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada bu teknikler ve yeni modern yaklaşımlar ele alınıp, aralarındaki ilişkiler açıklanacaktır. Ayrıca, gelişen teknolojiye bağlı olarak ışık kaynakları ve aydınlatma armatrlerindeki eřitliliklerinden dolayı ve enerji verimliliğin her geçen gün önem kazandığı günümüzde fotometrik ölçmelerin önem kazanması nedeniyle bu seminer çalışması dört bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde ışık terminolojisi için temel kavramlar verilecek, devamında üçüncü bölümde ise fotometrik lme sistemlerinden bahsedilecektir. Dördüncü ve son bölümde ise sonuç ve araştırmacılara öneriler yer almaktadır.

2. IŞIK TERMİNOLOJİSİ VE TEMEL KAVRAMLARI

Bu kısımda, fotometrik ölçüm sistemlerinden bahsetmeden önce doğrudan bu konuyla ilişkili ışık kaynakların fotometrik birimleri, tanımlamaları ve denklemlerinden bahsedilmiştir.

2.1 Işık Akısı

Işık akısı fotometrik bir büyüklük olmasıyla, ışık akısını ele aldığımızda ışık kaynağının insan gözüyle görülebilir toplam akıyı ele almış oluruz. Işık akısının birimi lumen cinsinden ifade edilir. Işık akısı(Φ_v), 1 candela biriminde bir ışık şiddetine sahip izotropik ışık kaynağının yaydığı ışığın 1 uzay açıda(steradyan) yayılan ışık yoğunluğudur. Bir başka deyişle bir küresel yüzeylerin toplamı steradyan cinsinden ($\Omega = \int d\omega$) hesaplanır. Küresel yüzeylerin tamamı 4π steradyan olarak ifade edilir ve bunun sonucunda toplam ışık akısı $\Phi_v = \int I(\omega)d\omega$ olarak hesaplanabilir [1].



Şekil 2.1 : Gonyofotometre ile taranmış küresel yüzeyler[1].

Işık akısı (lumen) ve Işık Şiddeti(candela) arasındaki ilişki $1 \text{ lumen} = 1 \text{ candela} \times 1 \text{ steradyan}$ formülüyle ifade edilmektedir. Bu durumda küre merkezinde 1 candela ışık şiddetine sahip kaynağın oluşturduğu ışık akısı toplam $\text{lumen} = 1 \times 4\pi = 12,56 \text{ lumen}$ olacaktır [2]. Şekil 2.1 'de bu hesaplama gösterilmiştir.

Esas olarak ışık kaynaklarını etrafını çevreleyen küresel yüzey bölgelerinin ışık şiddeti $I_{m,n}(\theta, \varphi)$ veya aydınlık düzeyin $E_{m,n}(\theta, \varphi)$ toplamsal uzaysal integrali hesabına dayanarak ölçülmesidir. Bu küresel bölgesel yüzey koordinatlarını ifade ederken (m,n) şeklinde ifade edilir. Küresel yüzeyler n meridyenlerine ve m paralellere bölünmüştür. Bu durumda (2.1) denkleminde ışık şiddeti cinsinden formülasyon ifade edilmiştir [1].

$$\Phi_v = \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} I_{m,n}(\theta, \varphi) \sin \varphi d\varphi d\theta \quad (2.1)$$

Ayrıca ışık akısının ölçülmesinde aydınlık düzeyinin uzaysal integrali kullanılacak olursa bu durum $\Phi_v = \int E(A) dA$ olarak ifade edilir. Bu durumda dA ifadesi belli bir r mesafesinden aydınlanılan alan anlamına gelir. Bundan dolayı $dA = d\omega \times r^2 = 2\pi r^2 \sin \theta d\varphi d\theta$ eşitliği elde edilir. Pek çok laboratuvar fotometrik ölçmelerde ışığın toplam akısının belirlenmesinde bu yöntemi kullanmaktadır [1].

$$\Phi_v = r^2 \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} E_{m,n}(\theta, \varphi) \sin \varphi d\varphi d\theta \quad (2.2)$$

(2.2) denkleminin integral dönüşümü yapıldığında (2.3) denklemi ifade edilir [1].

$$\Phi_v = 2\pi r^2 \sum_{\theta=0}^{\pi} \left[\sum_{\varphi=0}^{2\pi} E_{m,n}(\theta, \varphi) [\cos \theta_1 - \cos \theta_h] \right] \quad (2.3)$$

2.2 Işık Şiddeti

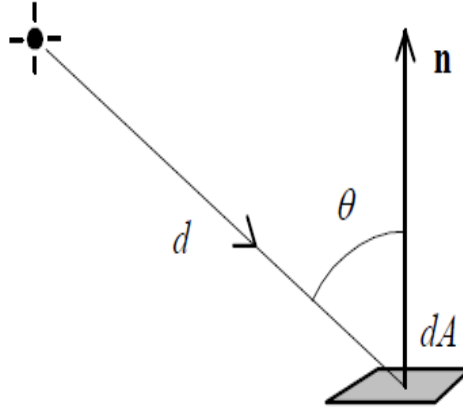
Işık şiddeti I (cd), bir noktadan belirli bir doğrultuda 1 uzay açıda(steradyan) yayılan ışık akısı demektir [2]. 1 lümen = 1 candela x 1 steradyan olarak ele aldığımızda bir steradyan açıda ışık akısı bize ayrıca ışık şiddetini de vermektedir. Ayrıca (2.1) bölümde Işık Akısı hesaplama denklemlerini açıklarken, $dA = d\omega \times r^2$ şeklinde ifade etmiştik. Bu denklemde d ω diferansiyel bir katı açıdır(Solid Angle). Bu durumda aşağıdaki denklemi yazdığımızda [3];

$$E = d\Phi/dA = d\Phi/r^2 d\omega = I/r^2 \quad (2.4)$$

İfadesi elde edilir. Bu denklemde I; kandela (cd) cinsinden ışık şiddeti demektir. Eğer ışık kaynağı belli bir açıda yüzeyi aydınlatıyorsa ki pek çok gonyofotometre ile ölçümlerde (2.5) denklemi dikkate alınara bölgesel ışık şiddetleri hesaplanmaktadır. Bu durumda (2.4) denkleminde farklı olarak;

$$E = I \cos \theta / d^2 \quad (2.5)$$

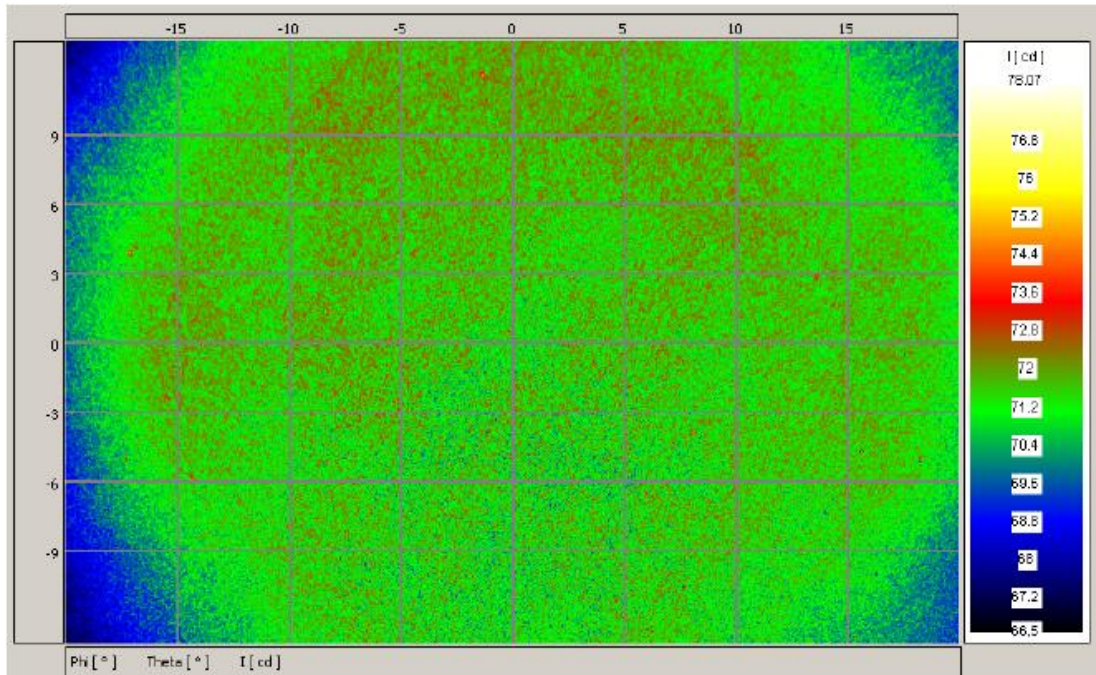
denklemleri elde edilmektedir [3]. Ayrıca bu denklem Şekil 2.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Gonyofotometre ile taranmış küresel yüzeyler[1].

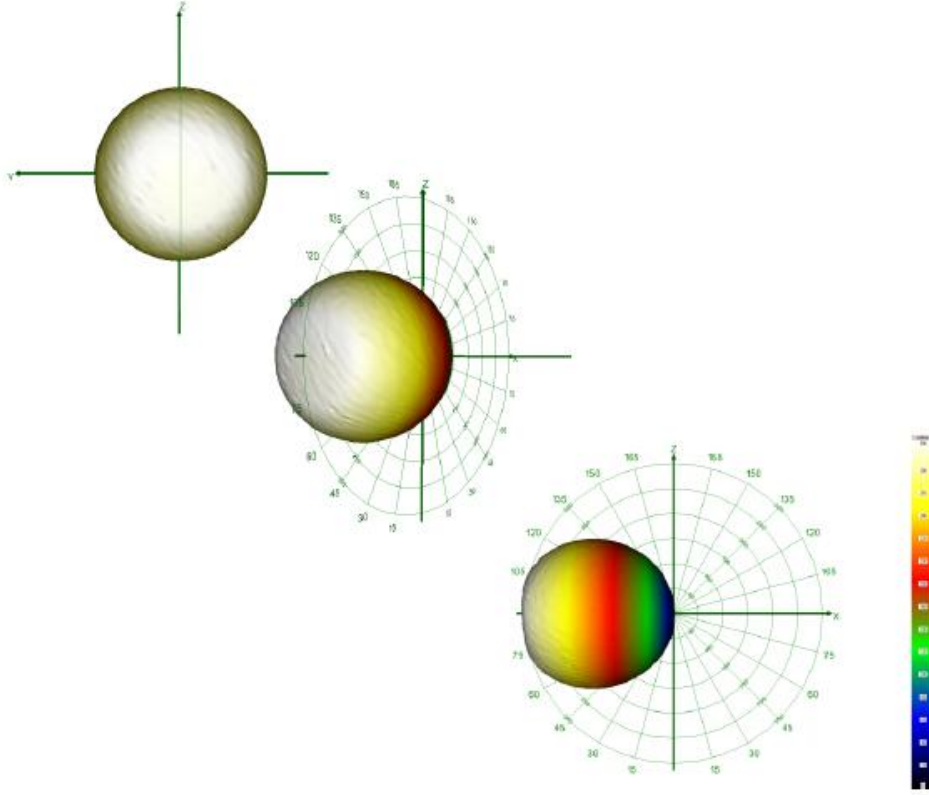
2.2.1 Işık Şiddeti Dağılımları

Işık Şiddeti Dağılımları (LID); bir düzlemsel ya da uzaysal (3D) şeklinde grafiksel olarak ifade edilen dağılım grafikleridir. Eğer uzaysal kesit alınarak ifade edilirse grafik olarak ($\theta - \phi$) düzleminde ifade edilir. Şekil 2.3 'de Kartezyen ($\theta - \phi$) koordinatlarda bir LID grafiği örneği verilmiştir. Bu türden grafiklerde ışık şiddeti dağılımları gri tonlarda veya yapay renklendirmeler ile ifade edilmektedir. Bu tür grafikler ışık kaynaklarının yansıtma açılarının anlaşılmasında da etkilidir [4].



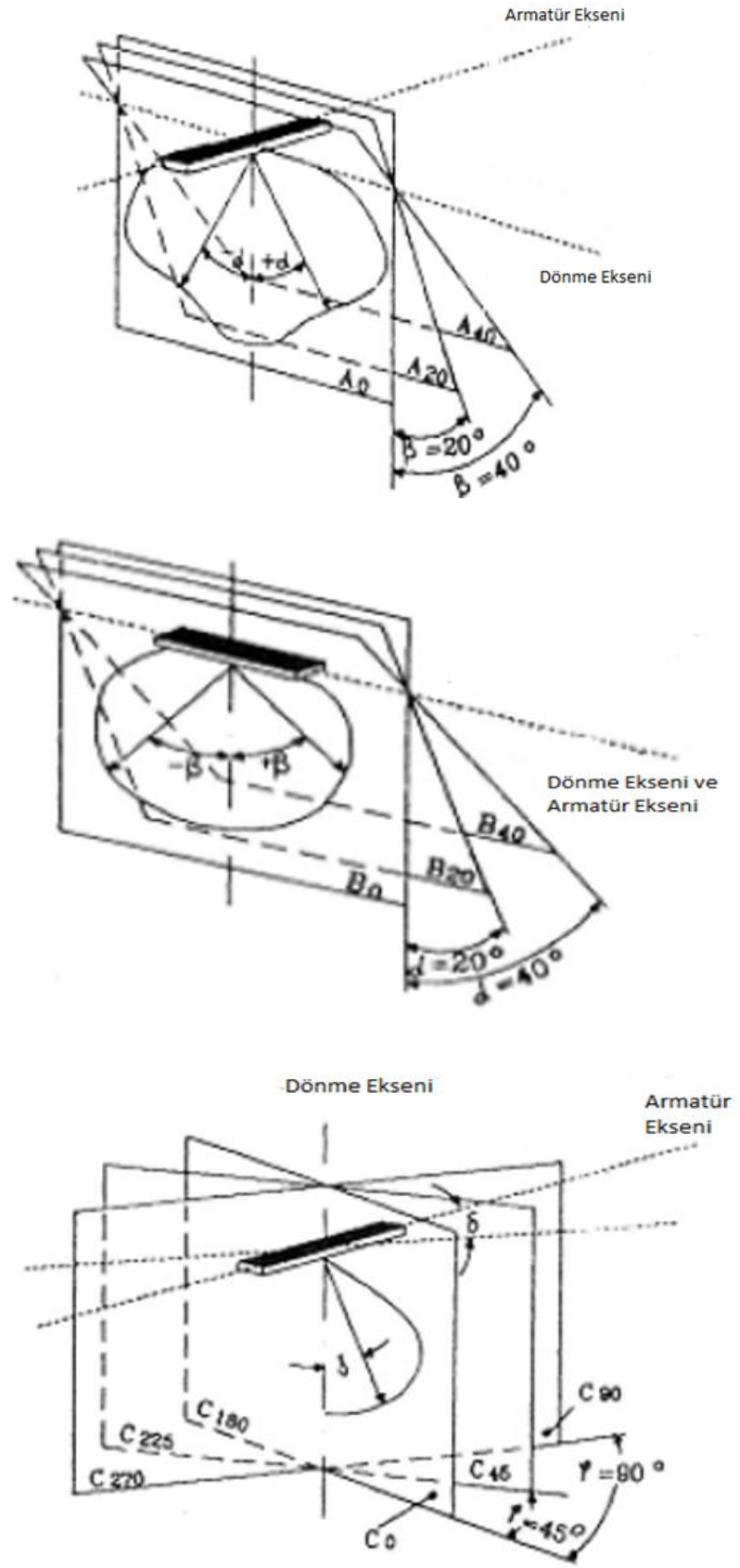
Şekil 2.3 : ($\theta - \phi$) düzleminde halojen lambanın LID dağılım grafiği [4].

Eğer aynı grafik bu kez 3D uzaysal koordinatlarda ifade edilir ise LID dağılımları Şekil 2.4 'de verildiği gibi olur.



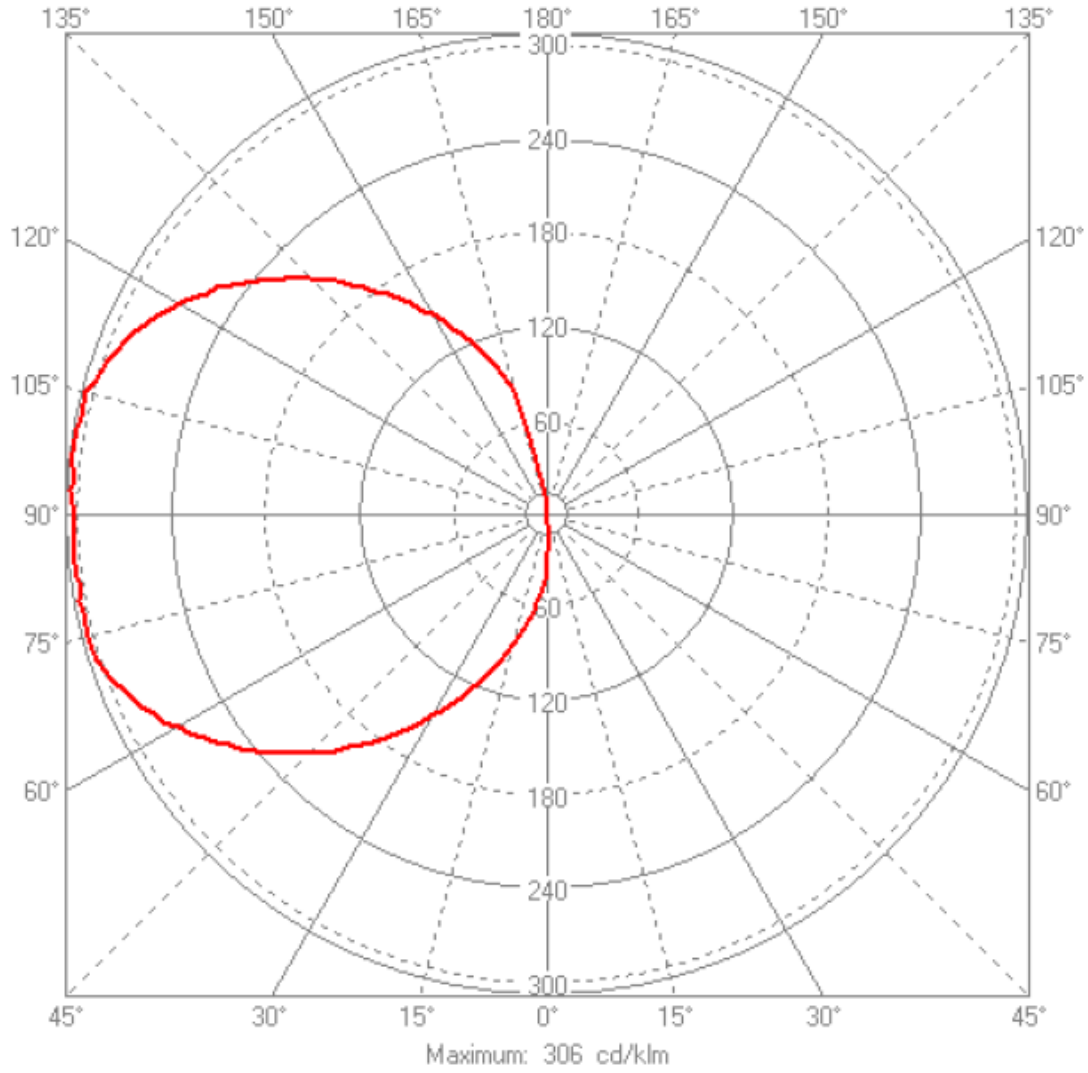
Şekil 2.4 : Halojen lambanın LID dağılım grafiğinin 3D uzaysal olarak gösterilmesi [4].

Ayrıca fotometrik ölçümlerde LID dağılımları için yaygın olarak kullanılan farklı düzlemler mevcuttur. Bunlar A, B ve C düzlem (plane) olarak ifade edilir. Bu düzlemlerde Işık akısı dağılımları genellikle ışık akısının lambanın (klm) cinsinde ışık akısına oranlanmasıyla ifade edilmektedir. Işık kaynağı her bir düzlemde dairesel olarak belli açılarda döndürülür. Eğer dönme eksenini ışık kaynağının eksenine yatay ve düşey şeklinde ise bu durumda fotometrik ölçme sistemlerinde A düzleminden söz etmiş oluruz. Eğer dönme eksenini ışık kaynağının eksenine aynı ise bu durumda fotometrik ölçme sistemi B düzlemi olmaktadır. Eğer dönme açısı ışık kaynağı ekseninden dik ise bu durumda fotometrik sistemimiz C düzlemi olmaktadır [4]. Şekil 2.5 'de bu düzlemler gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : A düzlemi (En Üstte) - B düzlemi (ortada) - C düzlemi(En Altta) örnekleri [4].

Fotometrik ölçme sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan C düzlemi olmaktadır. (Şekil 2.6)' da C düzlemi bir sistemde ölçülmüş bir halojen lambanın LID dağılım grafiği görülmektedir.



Şekil 2.6 : C düzlemi bir sistemde ölçülmüş Halojen lamba LID dağılım grafiği [4].

2.3 Fotometri

Fotometri kavramı yabancı dilden alınmış olup, Türkçe karşılığı “ışık ölçme” anlamına gelmektedir. Fotometrik ölçmeler genellikle ışık ile ilgili olmakla beraber laboratuvar ortamında yapılan ölçmelerdir. Bu ölçmeler için genellikle iki temel ölçme aygıtı kullanılmaktadır. Bunlar lüksmetre ve ışıklık ölçerdir(luminansmetre) [5].

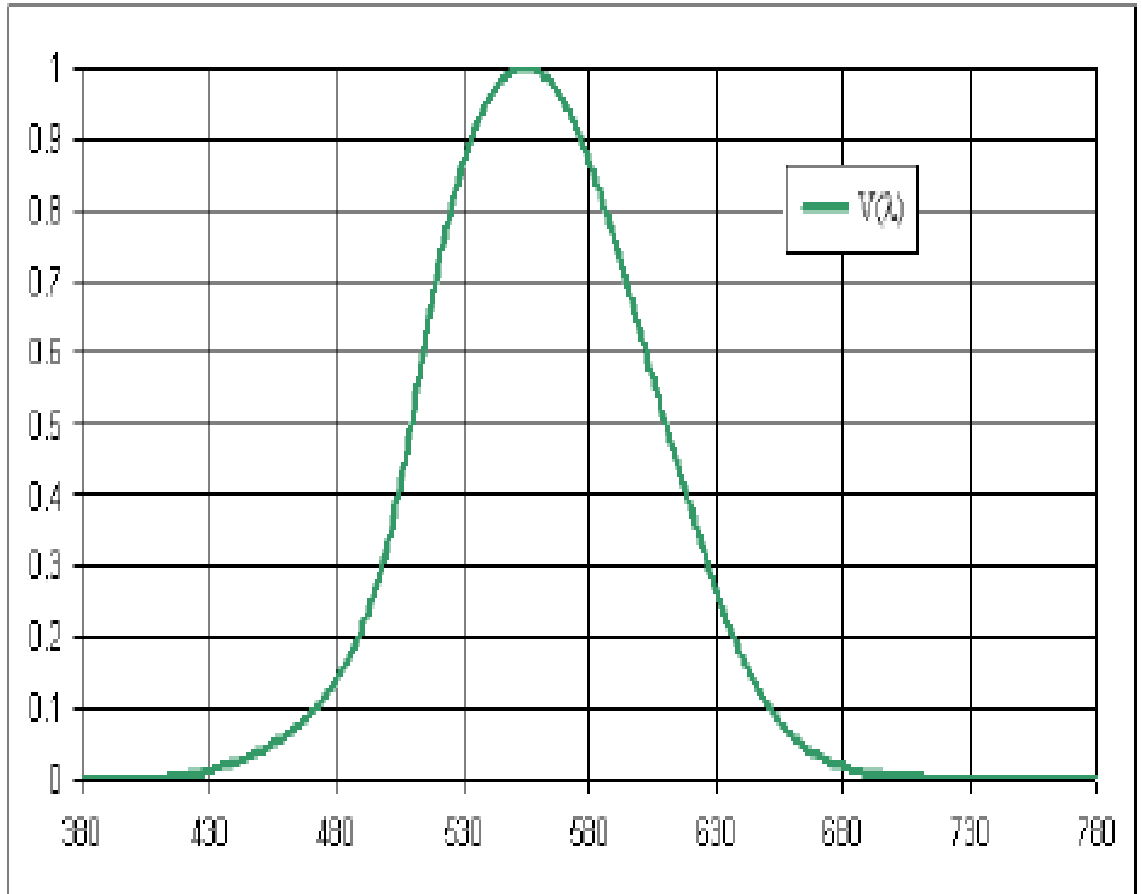
Ölçme konularını kısaca maddeleyecek olursak;

- Işık Şiddeti (Luminous Intensity) Ölçümleri,
- Işık Akısı (Luminous Flux) Ölçümleri,
- Aydınlanma Enerjisi (Luminous Energy) Ölçümleri,
- Işık Akısı Yoğunluğu (Illuminance and Luminous Exstace) Ölçümleri,
- Parıltı (Luminace) Ölçümleri,

şeklinde özetlenmektedir [3].

Günümüzde fotometrik ölçüm denilince gonyofotometrik ölçüm anlaşılmaktadır. Bu ölçme, bir ışık kaynağın hangi yöne hangi açıda ne kadar bir ışık akısı gönderdiğinin saptanması için çok sayıda yapılan bölgesel ölçümlerden oluşmaktadır [5].

Gonyofotometrik ölçmelerin fotometrik büyüklüklerinde kullanılan ölçme dedektörüne fotometrik dedektör denir. Bu dedektörler ya Şekil 2.7 'de görüldüğü gibi insan gözünün duyarlı olduğu aralığı analiz edebilmektedir ya da görülebilir aralıktaki tüm spektrumu kayıt edebilmektedir [4].

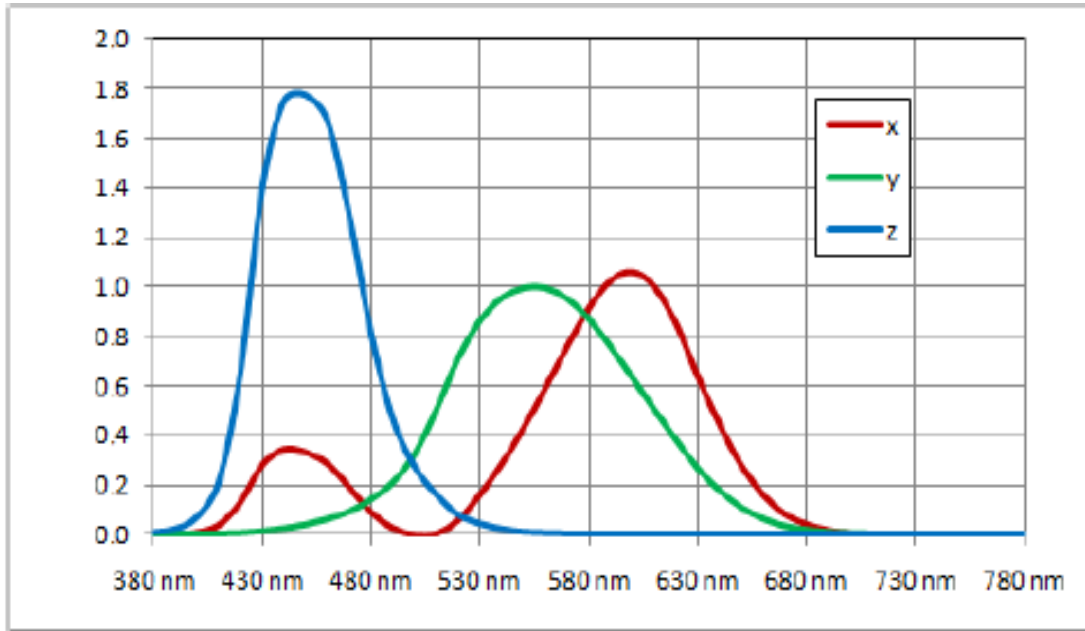


Şekil 2.7 : Fotopik Görsellikte spektral aydınlatma etkinliği[4].

Şekil 2.7 'deki spektrum spektrometre kullanılarak da elde edilebilir. Bu durumda sistem ışığı analiz ederken içindeki bir prizmadan ışınların dalgaboylarını ayırıştırır. Bununla birlikte spektrum LID ölçmelerinde önemli bir rol oynamaz. Sadece farklı renk içerikleriyle elde edilmiş optik ışık kaynakların ışımalarını spektruma ayırmada kullanılmaktadır [4].

İnsan gözü spektral aydınlık etkinlik faktörünü (luminous efficiency) ölçebilen dedektörler doğrudan yoktur. Normalde kullanılan dedektörler çok geniş aralıklarda radyasyona duyarlıdır ve ek filtre sistemleri kullanılarak gelen radyasyonu azaltılarak kullanılır [4].

Bununla birlikte herhangi uzaysal çözünürlük olmadan tek bir değerin sağlanması için parçalı filtreler fotometrik başlıklarda kullanılır. Kolormatik amaçlar için sensör başlıklarında 3 parçalı filtreler(X,Y,Z) kullanılmaktadır [4]. Şekil 2.8 'de gösterilmiştir.



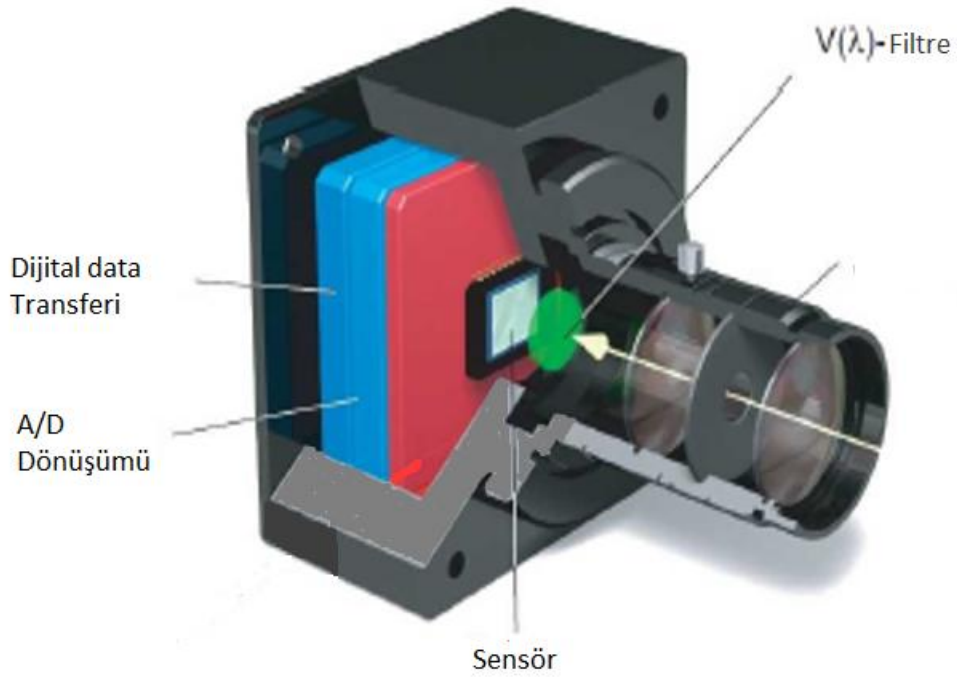
Şekil 2.8 : CIE 1931 standardı kolorimetrik sistem[4].

Parçalı filtreler birkaç mercekten yapılmış tam filtrelerdir. Bu filtreler tek dedektörlü sistemlerde örneğin Şekil 2.9 'da görülen lüksmetrelerde kullanılmazlar. Yinede matris CCD veya CMOS dedektörlerde kullanılırlar [4].



Şekil 2.9 : LMT marka manuel el tipi lüksmetre[4].

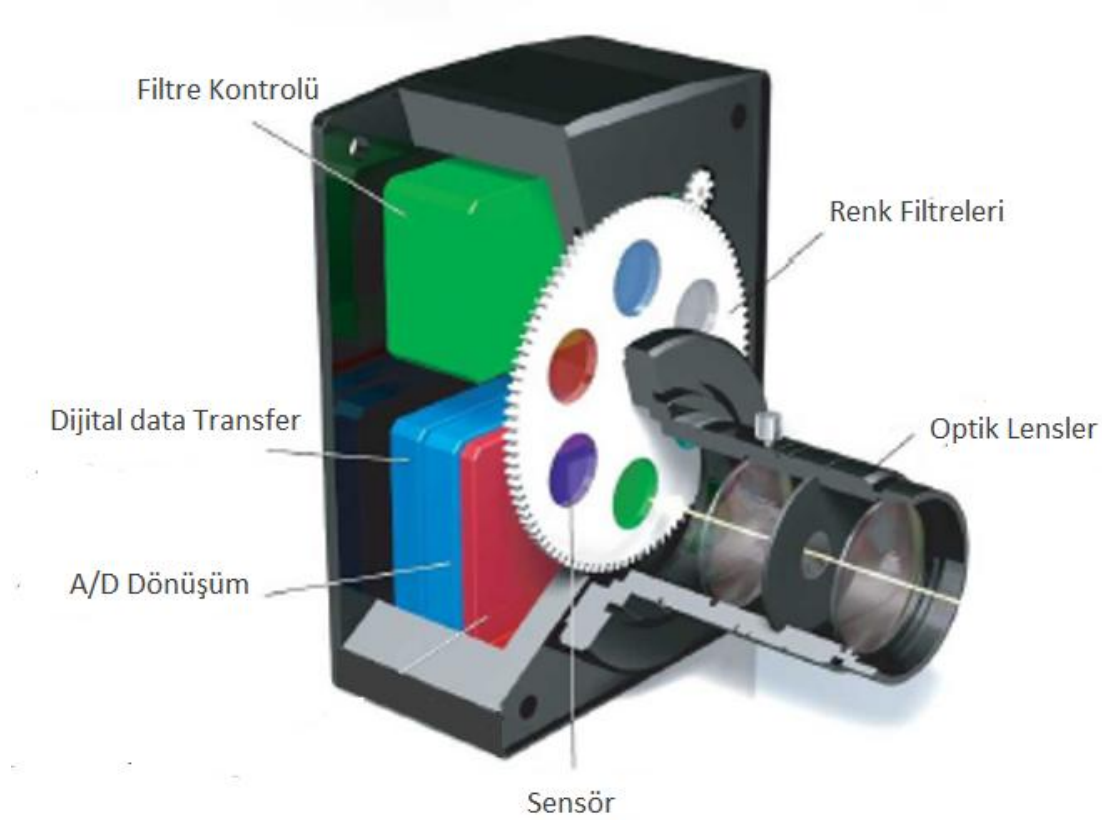
Fotometre cihazında spektral duyarlılık $V(\lambda)$ olması gerekir ise bu amaçla CCD matris kamera sistemleri tam bir şekilde ayrıntılı filtre ile donanımlıdır [4]. Şekil 2.10 'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 : $V(\lambda)$ filtreli parlaklık(luminance) ölçme kamerası [4].

Eğer renksel ölçümler önemliyse bu durumda parçalı filtre olarak birkaç renk filtresi kullanılır. Farklı renk filtresine sahip renk ölçer kamera için birkaç dedektör kullanmak yada bir dedektör kullanarak önüne farklı filtreyi pozisyonlamak

mümkündür. Şekil 2.11 'de 4 farklı renk filtrenin tek bir CCD kamera dedektörüne pozisyonlanabilme özelliği görülmektedir. Bu filtreler ışığa karşı duyarlıdır. Bu nedenle bu tip sistemler kalibreli ışık kaynakları gerektirir. CCD kameralar ayrıca görülebilir ışık spektrumunun dışındaki ışımalara karşı da duyarlıdır. Bu nedenle görülebilir ışığın dışındaki aralıkları da ölçebilir. Örneğin IR (infrared) filtresi de bu sistemlerde kullanılabilir [4].



Şekil 2.11 : Kolorimetrik ölçümler için 4 tam filtreli Renksel CCD kamerası [4].

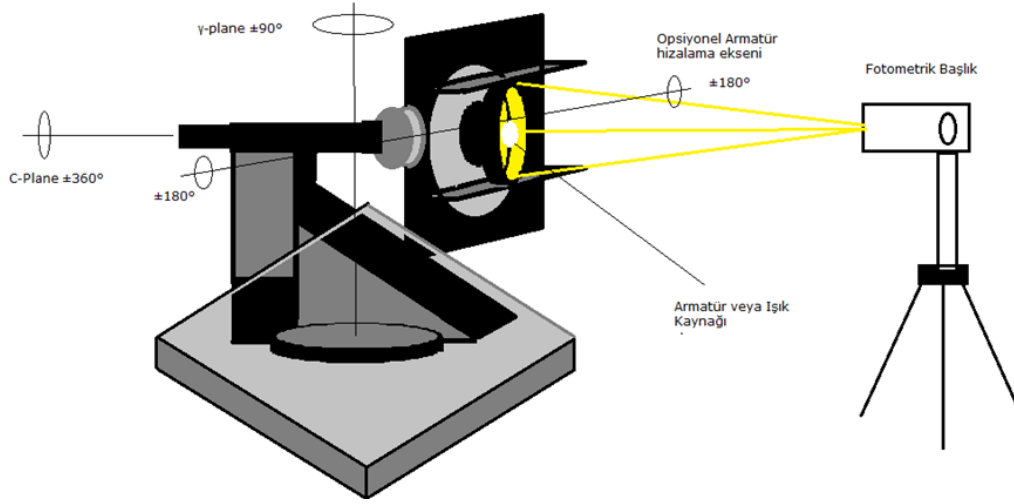
3. FOTOMETRİK ÖLÇME SİSTEMLERİ

Uzak (Far field) alanda ve yakın (Near Field) alanda LID elde etmek mümkündür. Fakat dikkat edilmesi gereken esas nokta ölçüm mesafesidir. Eğer ölçümlerde fotometrik mesafe önem taşırsa, uzak alan ölçümü tercih edilir. Mesafenin önem arzetmediği durumlarda ise yakın alan ölçülmesi tercih edilebilir [4]. Bu bölümde uzak alan ve yakın alan ölçüm yapabilen fotometrik sistemler ele alınacaktır.

3.1 Uzak Alan(Far Field) Ölçme Sistemleri

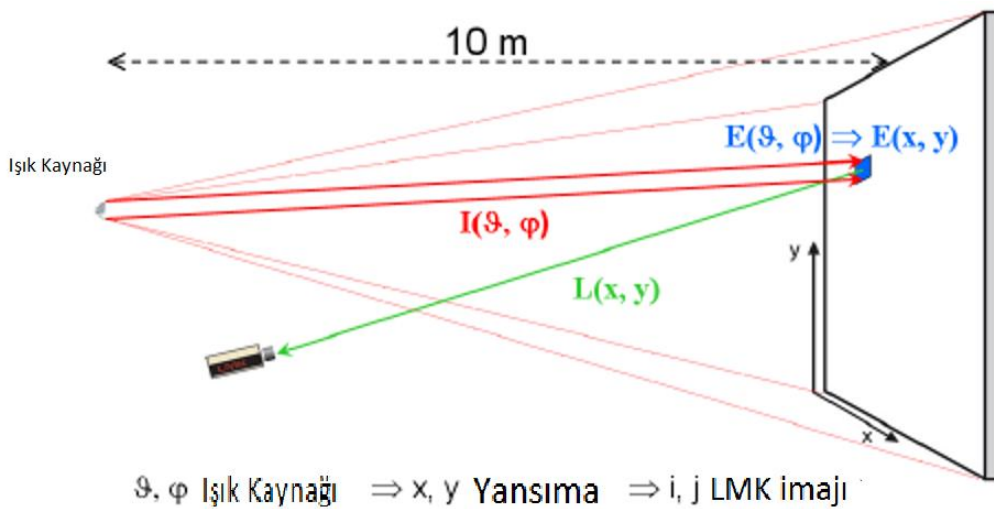
LID ölçmede çok sayıda Uzak alan Ölçüm tekniği olmasına rağmen esasen Doğrudan ve dolaylı ölçüm tekniği olarak iki gruba ayrılır [4].

Şekil 3.1 'de görüldüğü gibi LID ölçümleri doğrudan yapılıyorsa, en azından ışığa duyarlı bir dedektör veya fotometrik başlık belli bir mesafede olmalı ve bu sensor doğrudan ölçülecek ışık kaynağını görebilecek pozisyonda konumlandırılmalıdır. Bu durumda ışık kaynağından çıkan ışık ışınları doğrudan fotometrik dedektörü görebilmekte ve bu sayede ölçüm yapabilmektedir. Bu tür sistemlerde fotometrik sensör bulunduğu mesafedeki aydınlık düzeyini ölçerek bunun sonucunda da denklem (2.4) kullanılarak ışık şiddeti değeri hesaplanabilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli nokta fotometrik dedektöre gelen ışığın açısıdır. Parıltı değerleri (cd/m^2 birimi nit [nt]) ölçülecek olan numune herbir açıda döndürülerek ya da ölçülecek numune etrafında fotometrik dedektör döndürülerek ölçülür [5]. Her bir açıda bölgesel ışık şiddeti değerleri denklem (2.4) kullanılarak elde edilir. Dolayısıyla her bir açıdaki parıltı değerleri ölçülerek, aradaki ölçüm mesafesinin karesiyle çarpılmasıyla zonal ışık şiddetleri (cd) elde edilir. Bu türden bir sistem ölçme sisteminin mekanik alt yapısını oluşturmaktadır. Bu yapıya gonyometre denmektedir. Gonyometre ve fotometre tümleşik bir sistem olup bu sistemi oluşturan yapıda gonyofotometre sistemi olmaktadır [4].



Şekil 3.1 : Doğrudan Ölçüm yapabilen uzak alan gonyofotometre sistemi.

Eğer LID ölçümleri dolaylı olarak yapılıyorsa bu durumda aydınlık düzeyi veya parıltılar (N_t) doğrudan ölçülemez. Bu tip sistemlerde ölçülecek ışık fotometrik dedektöre doğrudan ulaşmaz. Belli bir mesafeye konumlandırılmış bir reflektör üzerinden dolaylı olarak ulaşmaktadır. Reflektör üzerinde oluşan aydınlık düzeyleri veya parıltısı reflektör ve fotometrik başlık arasındaki mesafeye bağlı olarak ölçülmektedir. Bu türden ölçümler otomotiv sektöründe otomotiv farları veya reflektörlerinin yansıtıcılığını ölçmede büyük önem taşımaktadırlar. Böyle bir sistemin ölçüm tekniği Şekil 3.2 'de görülmektedir.



Şekil 3.2 : Dolaylı uzak alan fotometrik Ölçme sistemi[4].

3.1.1 Gonyofotometre Kullanarak LID Ölçmeler

Gonyofotometreler optik alanda fotometrik LID ölçümlerin yapılmasında büyük önem arz etmektedir. Gonyofotometreler kullanılarak LID ölçülecek ışık kaynağının stabil olması çok önemlidir. Ayrıca mekanik sistemi bakımından; gonyofotometrenin hareket döndürme sistemine bağlı olarak değişik tipte gonyo fotometreler mevcuttur. Örneğin deşarj tipi lambaların içinde gaz olması neticesinde ölçüm yaparken bu lambanın hareketsiz olması büyük önem taşır. Dolayısıyla bu türden lambaları ölçerken ölçüm hassasiyeti için fotometrik başlığın döndürülmesiyle tasarlanmış gonyofotometreler tercih edilir. Başka bir örneği ele alırsak LED (Light Emitting Diode) ışık kaynakları, yapıları gereği sıcaklığa duyarlı ışık kaynaklarıdır. Bu durumda bu tip ışık kaynaklarında LID ölçümü yaparken aynalı (mirrored) gonyofotometreler kullanılması uygun olmaz. Çünkü geniş alanda LED ışık kaynağını döndürmek önemli ölçüde sıcaklık değişimi yapacaktır [6][7].

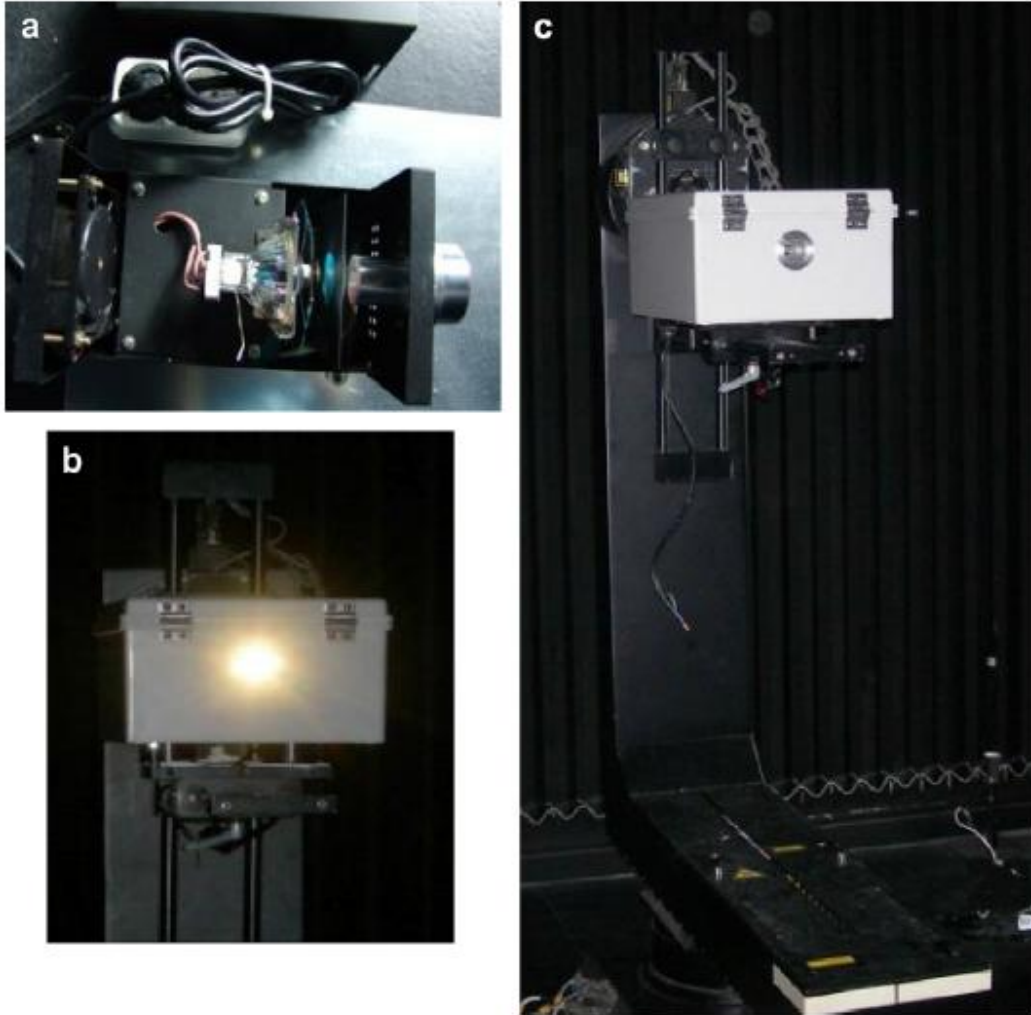
Gonyofotometrelerde LID ölçümü yaparken ölçümün hassasiyeti bakımından ölçülecek ışık kaynağından çıkan ışınların ölçme alanında bulunan objelerden veya duvarlardan yansımaması çok önemlidir. Bu sebeple gonyofotometrenin bulunduğu alanda kaçak ışıkların engellenmesi için ölçme odasının özellikle de duvarlarının karanlık olması önemlidir. Bir diğer önem taşıyan durum ise gonyofotometrenin hareket sistemindeki açısız dönme hassasiyeti ve ölçülecek ışık kaynaklarını besleyen sistemin hassas ve her türlü ışık kaynaklarını besleyebilen bir güç kaynağına sahip olmasıdır. Tüm bu parametreler LID ölçümü hassasiyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca ölçülecek ışık kaynağının muhakkak 100saat yaşlandırıldıktan sonra ölçülmesi gerektiği de unutulmamalıdır [5][6].

A. Işık Kaynağı Döndürme Sistemleri

Ölçülecek ışık kaynağı döndürülmesine dayalı sistemlerde, ışık kaynağı bir birine dik olan her iki düzlemde döndürülür. Bu işlemde ölçme düzemin (axis) biri sabitlendiğinde diğeri döndürülerek, ardışıl ölçmeler gerçekleştirilmiş olur. Işık kaynağının döndürülmesine dayalı bu tip gonyo fotometrelerde belli bir mesafede fotometrik dedektör sabit hareketsiz olarak konumlandırılmıştır. Hareketli dönebilen ışık kaynağının sabitlendiği düzlemlerde (Horizontal axis-Vertical axis) sırasıyla yatay düzlemin sabitlenmesiyle düşey düzlemin hareketi, düşey düzlemin

sabitlenmesiyle yatay düzlemin hareketi şeklinde belli bir algoritma sırasıyla küresel (spherical) kordinatlar elde edilmiş olunur. Elde edilmiş kordinatlar birbirinden bağımsız ayrı kordinatlardır. Bu tür ölçme sistemleri farklı ölçme mesafeleri ve Uzay alanındaki dönüş pozisyonlarına bağlı olarak bir farklı armatür döndürme tiplerini ortaya çıkarmaktadır [4].

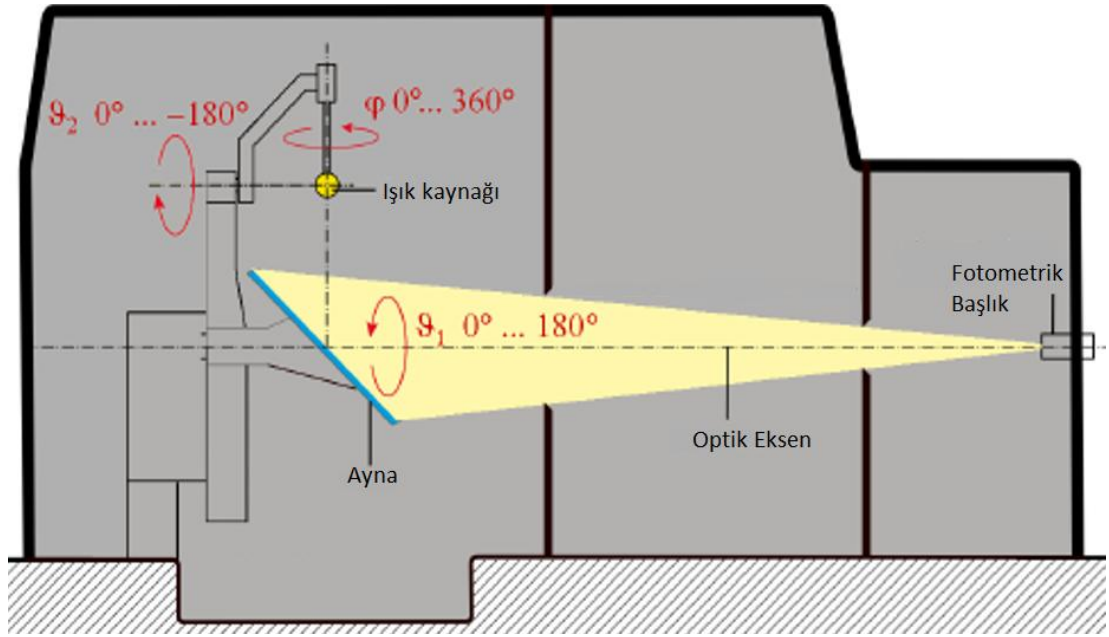
Gonyofotometrede farklı üç tip mevcuttur. Bunlar A, B ve C tipidir(type A, type B ve type C). Bu tipler mekaniksel fonksiyon açısından birbirinden farklıdır. Mesela A tipi (type A) sistemi asma-sıva üstü (maritime) tipi armatürlerde, B tipi (Type B) sistemi ise projektör (floodlight) tipi armatürlerde tercih edilir [8]. Örnek olarak Şekil 3.3 'de C tipi bir gonyofotometre örneği görülmektedir.



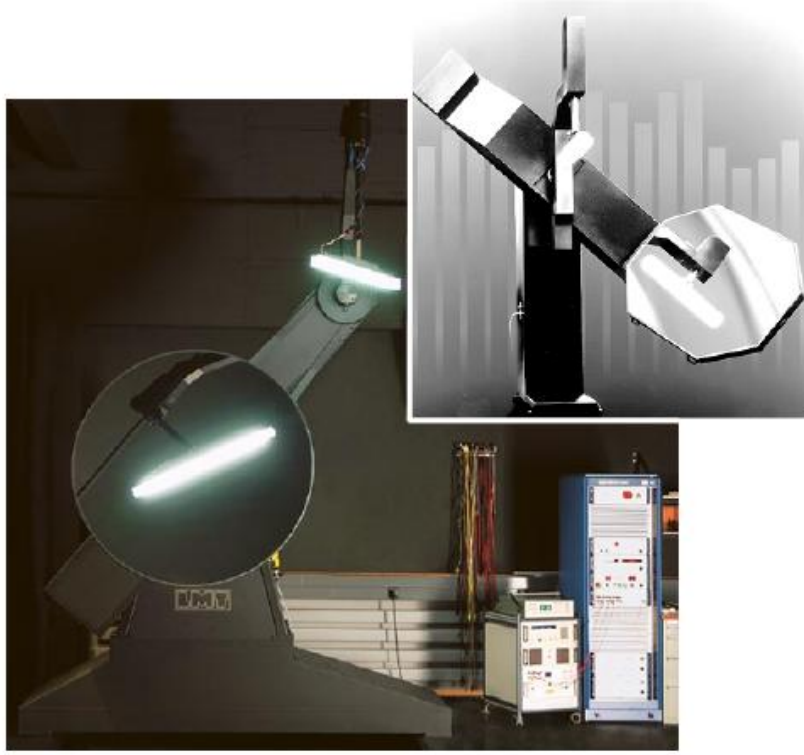
Şekil 3.3 : C tipi (Type C) Gonyofotometre düzeneği [8].

B. Aynalı Tip Gonyofotometreler

Bu tip gonyofotometrelerde ayna düzeni içermekte olup esasen dönebilen armatür tablası veya dönebilen ayna ve bir de sabit bir fotometrik dedektör düzeneği içermektedir. Hareket prosedürü; dairesel bir hareket ile ışık kaynağı veya armatürün döndürülmesi veya aynanın döndürülmesi ve böylelikle ölçülecek olan ışığın doğrudan fotometrik dedektöre gönderilmesi esasına dayanmaktadır. Bu sistemin de 2 tipi mevcuttur. Bu tipler Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 'de gösterilmiştir. Her iki tipte fotometrik başlık sabit ve hareketsizdir. Fakat ölçülecek ışık kaynağı her iki tipte döndürülmektedir. Şekil 3.4 'de duvardan veya etraftan yansıtılarak fotometreye sızan ışınlar harici bir aparat kullanılmasıyla engellenmiştir [4]. Bu tip sistemler yapıları gereği diğer gonyofotometrelere kıyasla çok büyük hacim gerektirir [5].



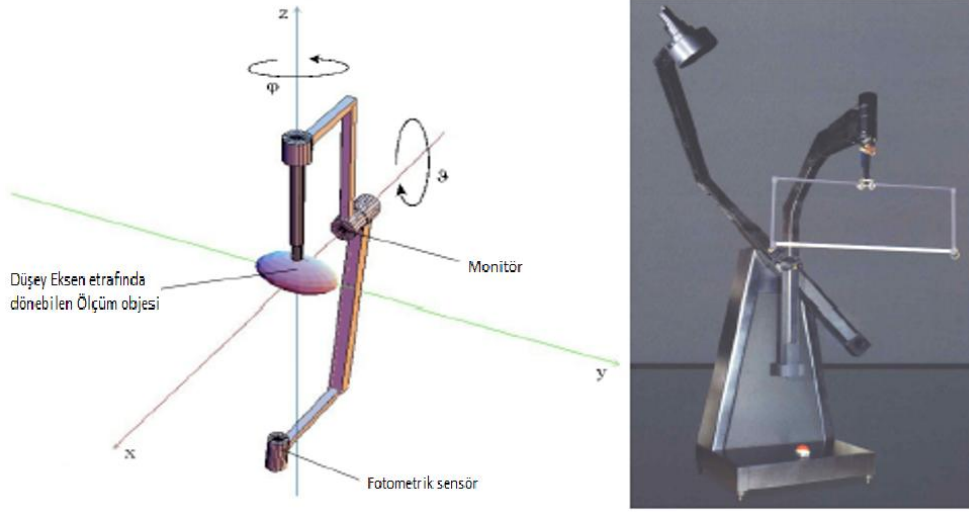
Şekil 3.4 : Dönen aynalı tip gonyofotometre [4].



Şekil 3.5 : Farklı iki markalı Aynalı tip gonyofotometreler [4].

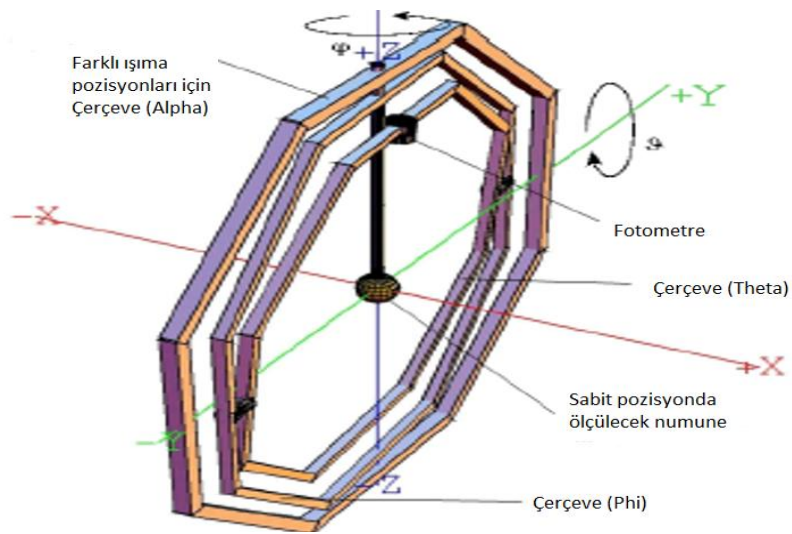
C. Kompact Gonyofotometreler

Bu tip sistemlerde ölçülecek ışık kaynağı ya tüm düzlemlerde hareketsiz bu durumda fotometrik dedektör tüm düzlemler için ölçülecek ışık kaynağı çevresinde dönebilen bir sisteme sahiptir Şekil 3.7, ya da ışık kaynağı sadece yerçekimi düzleminde hareket ettirilir Şekil 3.6. Bu durumda ise fotometrik başlık ölçülecek ışık kaynağının çevresinde sadece bir düzlemde hareket edebilen bir sisteme sahiptir. Bu tip gonyofotometreler küçük boyutlu ışık kaynaklarının (LID) ölçümlerinde kullanılabilen kısa, sınırlı bir ölçüm mesafesine sahip sistemlerdir [4] ve de ışık kaynağının hareket etmemesi veya sadece bir düzlemde hareketinin kısıtlanması ile harekete duyarlı lambaları ölçmede avantajlı bir özelliğidir. Sadece küçük ışık kaynaklarını ölçebilmesi veya büyük ışık kaynaklarında ışık ölçüm hassasiyeti bakımından tercih edilmemesi ve bu durumda büyük ışık kaynakları ölçülecek ise de büyük hacim ve alan gerektirmesi bu sistemlerin başlıca dezavantajları arasındadır.



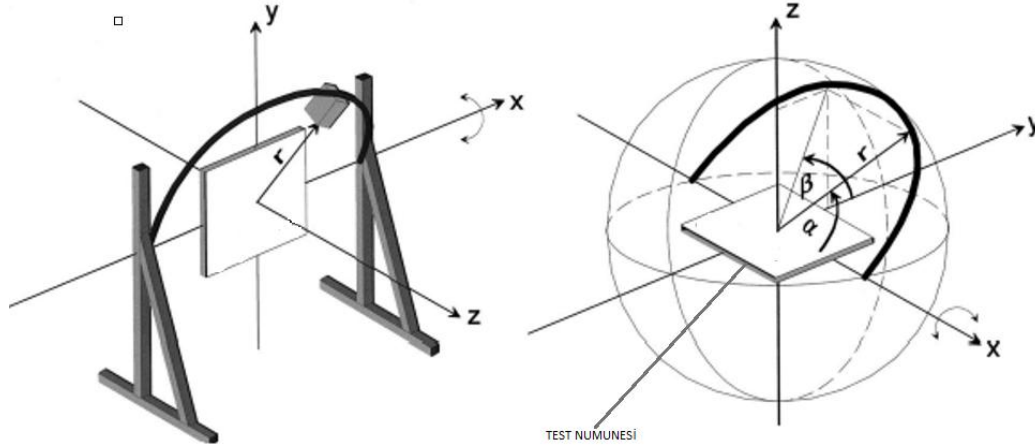
Şekil 3.6 : Işık kaynağı sadece bir düzlemde hareket edebilen kompakt tip gonyofotometre [4].

Şekil 3.7 'de Kardan gonyofotometresi görülmektedir. Bu sistemin harici bir çerçevesi (alpha frame) mevcuttur. Bu çerçevede farklı ışık verme pozisyonunda ışık kaynağın yerleşmesine olanak sağlar. Ayrıca iki ayrı dahili çerçeveler (theta frame ve phi frame) ölçümlerin yapılması için ışık kaynağının etrafında hareket edebilmektedir. Bu sistemde çerçeveler bir Kardan şaftında asılıdır ve 2,5 metre yarıçapa sahiptir. Ölçme yönteminde bir ray boyunca fotometrik dedektör stop-start metoduyla ölçüm yapar. Bu nedenle ölçme süresi çok uzun ve yavaştır [4].



Şekil 3.7 : Kardan Gonyofotometresi [4].

Bir başka ölçme yaklaşımı ise Cardiff sistemidir. Bu sistemde ölçülecek sistem Şekil 3.8 'de görüldüğü gibi yarım dairenin merkezinde sabitlenmiş olup yarım dairenin hareketi üzerindeki fotometrik dedektör sayesinde ölçüm yapılabilmektedir [9][10].



Şekil 3.8 : Cardiff Ölçme Sistemi [9].

3.1.2 Işık Bütünleştirme Küresi (Integrating Sphere)

Işık bütünleştirme küresi, bir ışık kaynağının toplam ışık akısını (luminous Flux) ölçmede yaygın olarak kullanılan bir sistemdir. Teorik olarak iç yapı itibariyle iç yüzeylerinde beyaz yansıtma oranı çok iyi olan bir boyayla kaplı içi boş bir sistemdir. Küre içinde oluşan aydınlık düzeyleri her noktada eşittir. Işık akısı doğrudan kaynaktan çıkıp, kürenin iç yüzey duvarındaki her noktadan yansımaktadır. Örneğin r yarıçaplı bir küre düşündüğümüzde, Şekil 3.9 'daki P noktasındaki aydınlık düzeyi küre içerisinde d uzaklığında bulunan bir yüzeyden yansıyan ışımdan hesaplanırsa aşağıdaki (3.1) numaralı aydınlık düzeyi denklemi elde edilir. Burada P noktasındaki aydınlık düzeyi (δE) hesaplanırken ışık kaynağından çıkan ışınların doğrudan P noktasına ulaşmaması gerekir. Bu nedenle bu tip sistemlerde kürenin iç duvarında bulunan fotometrik dedektör mutlaka bir kalkan veya buffer kullanılarak, kürenin içindeki ışık kaynağından çıkan ışınların doğrudan dedektöre ulaşması engellenir [11][12][13].

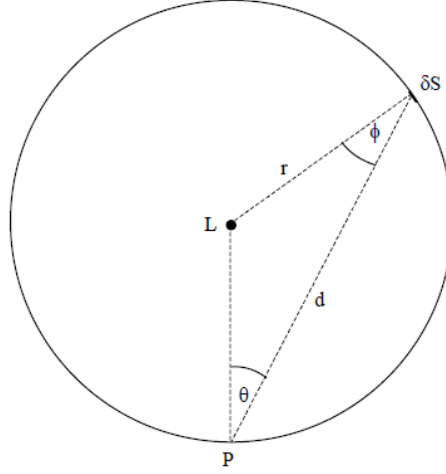
$$\delta E = \frac{L \delta S \cos \theta \cos \varphi}{d^2} \quad (3.1)$$

Kürenin geometrisinden Şekil 3.9 'da görüldüğü gibi karşılıklı açılar " $\theta = \varphi$ " ve ikizkenar üçgenin tabanı " $d = 2r \cos \theta$ " ifade edilmiştir. Bu nedenle,

$$E = \frac{L\delta S}{4r^2} \quad (3.2)$$

$$E = \frac{1}{4r^2} \int LdS \quad (3.3)$$

denklemleri elde edilir [14].



Şekil 3.9 : Ulbricht Küresi(Integrating Sphere) [14].

3.2 Yakın Alan(Near Field) Ölçme Sistemleri

Son zamanlarda ortaya çıkan yeni bir sistemdir. Bu sistemde fotometrik dedektör yerine CCD kamera sayesinde ölçüm mesafelerinde uzaklık, diğer bir deyişle fotometrik kamera ve ölçülecek ışık kaynağı arasındaki mesafe büyük ölçüde azalmaktadır. Bu sistem küçük yada büyük ışık kaynaklarının ölçülmesini mümkün olmaktadır [5].

3.2.1 Yakın Alan (Near Field) Gonyofotometresi

Bu tip gonyofotometrelerde ışık kaynaklarının büyüklüğüne göre farklı lens seçimleri, farklı gonyofotometre modelleri veya farklı ölçüm alanları tanımlanmaktadır. Çünkü burada önemli olan nokta ölçülecek numunenin boyutlarını tam olarak CCD kamera algılayabilmelidir. Örnek olarak Çizelge3.1 'de TechnoTeam RIGO801 serisi gonyo fotometre modellerinin ölçülecek numune boyutlarına göre farklı model ve ölçüm alanları tanımlanmaktadır [4].

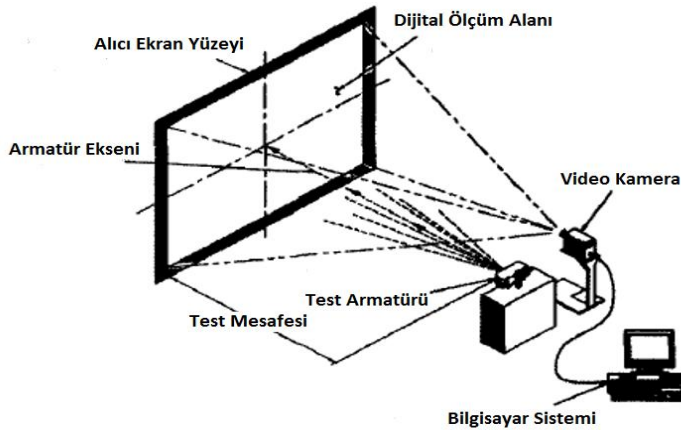
Çizelge 3.1 : RIGO801 serisi gonyo fotometre modelleri [4].

Uygulama	Maksimum Numune Boyutu	Alan Gereksinimleri LxWxH
LED , Küçük Ampuller	Çap D=6mm, 50mm(bis)	0,6x0,6x0,8 m ³
Lambalar, Küçük Armatürler	Çap D=20mm, 300mm(bis)	1,3x1,3x1,9 m ³
Armatürler	Çap D<2000mm	< 4x4x4,9 m ³

A. Video kamera (CCD) tekniği

Geleneksel gonyofotometrelerde ölçülecek ışık kaynağı tek bir fotometrik dedektör kullanılarak ölçülmektedir. Ancak son zamanlardaki geliştirilen ölçme teknikleriyle ölçülecek armatür ışık kaynağından çıkan ışıklar eş zamanlı yakalanarak ölçülür. Bu tip sistemlerin temelini CCD (Charge Couple Device) kamera dijital sistemini oluşturmaktadır [15].

CCD tekniğin temelini matris (sıra,sütun) şeklinde sıralı dizili fotodiyotlar oluşturmaktadır. Gelen ışık bu matris sıralı fotodiyotlar üzerine geldiğinde her bir fotodiyot pikselinde, ışığın şiddeti ve seviyesine bağlı olarak algılanır. Sonrasında dijital devreler sayesinde oluşan imajlar dijital olarak işlenip bilgisayara aktarılır. CCD kamera çipleri mikroelektronik devrelerdir. Tipik olarak ölçüsü 2,5mm 'den 25mm' ye kadar çeşitli CCD çipleri vardır. Bu sistem ayrıca modern TV ve dijital kameranın temelini oluşturmaktadır. Bu ölçüm tekniğinde ise Şekil 3.10 'da görüldüğü gibi, ölçülecek ışık kaynağından çıkan ışık dağılımları CCD ekranından pikseller üzerinde algılanarak böylelikle ölçülecek ışık kaynağının fotometrik dataları elde edilmektedir [15].



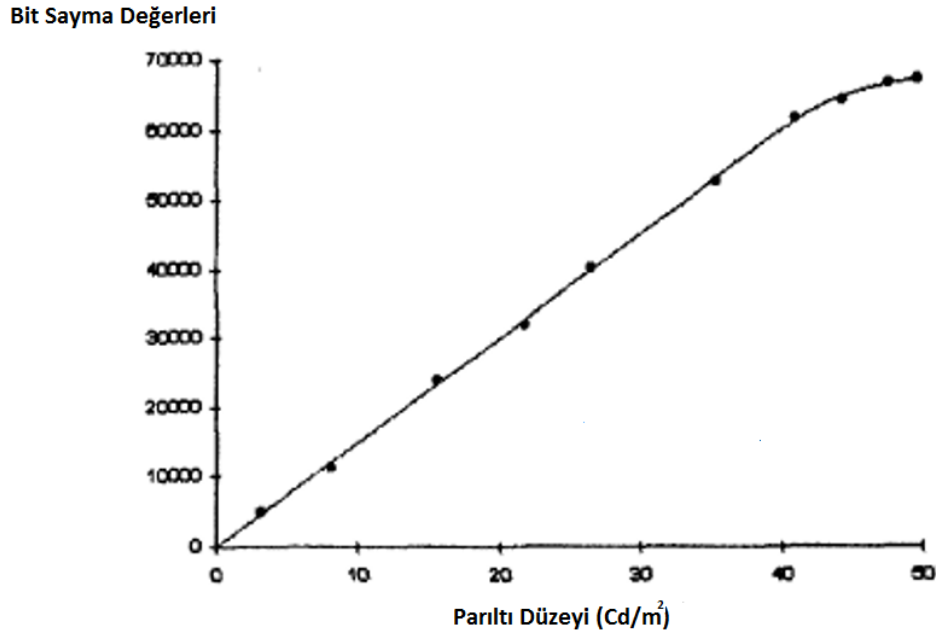
Şekil 3.10 : CCD kamera tekniği [15].

B. Video kamera (CCD) kalibrasyonu

CCD kamera sistemiyle fotometrik ölçüm yapabilmesi için kalibrasyon yapılması gerekmektedir. CCD kamerada her bir piksel için fotodiyotlar gelen ışığa karşı duyarlıdır. Ve de ölçülecek ışık kaynağından çıkan ışınların ekran üzerindeki seviyeleri farklıdır. Kamera ekran üzerine düşen parıltı değerlerini ölçüm süresince okumaktadır. Bu nedenle ölçümün doğruluğu açısından kalibrasyon gerekmektedir. Ölçülecek her noktada ekran üzerinde, her fotometrik açılarda ve kalibrasyon kaynağının yoğunluğu bilindiğinden ya doğrudan ya da interpolasyon yapılarak piksel kalibrasyon faktörü (bits per cd) hesaplanır [15][16].

$$\text{Piksel Kalibrasyon Faktörü} = \frac{\text{Kalibrasyondaki bit sayısı}}{\text{Gonyofotometrede ölçülen ışıksal güç}} \quad (3.4)$$

(3.4) nolu denklem ile Kalibrasyon faktörü hesaplandıktan sonra herbir piksel için bit değerleri okunur. Kalibrasyon faktörü sayesinde ölçülecek ışık kaynağının fotometrik değerleri lineer olarak elde edilmektedir. Ancak Şekil 3.11 'de görüldüğü gibi lineerlik, satürasyon etkisinden dolayı yaklaşık 60000 sayıya değerinden sonra bozulmaktadır [15]. Kısacası bu tip sistemler belirli bir aralıkta ölçüm yapabilmektedir. Ölçülecek ışık kaynağının aşırı parıltı verdiği durumlarda sistem satürasyonda olacaktır.



Şekil 3.11 : CCD kamera kalibrasyonu (Parıltı – Sinyal) ilişkisi [15].

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada fotometrik ölçmelerde sistem yaklaşımları ve gelişen teknolojiye bağlı olarak ortaya çıkan yaklaşım tekniklerinden bahsedilmiştir. İlk bölümde fotometrik temel kavramları ve tanımlamaları üzerinde durulmuş, bu kavramlar arasındaki ilişkiler açıklanmıştır ve de formülize edilmiştir. Bu çalışmanın sonraki bölümlerinde fotometrik büyüklükleri, ölçmedeki geleneksel teknikler ve yeni modern teknikler ele alınmıştır. Bu tekniklerden biri Uzak Alan (Far Field), diğeri Yakın Alan (Near Field) ölçüm tekniğidir. Yakın Alan ölçüm tekniği son yıllarda ortaya çıkan dijital video kamera tekniğine dayalı yeni bir tekniktir. Özellikle de ölçülecek ışık kaynağı ile fotometrik ölçme sistemi arasındaki mesafenin kısılmasından dolayı Uzak Alan ölçme tekniğine kıyasla avantajlıdır. Ayrıca LED ışık kaynaklarının ya da çok sayıda LED 'lerin birleşimi ile oluşan modüllerin yakın mesafelerden video kamera sistemiyle odaklanarak ayrı ayrı her bir led ışık kaynağının parametrelerini de ölçebilmesi de Uzak Alan ölçme tekniğine göre avantajlı bir özelliğidir. Yakın Alan tekniğinin başka bir avantajı ise kullanılan video kamera sayesinde farklı renk filtreleri kullanılarak ışık kaynaklarının veya aydınlatma armatürlerinin fotometrik özelliklerinin yanı sıra radyometrik özelliklerinin, ışığın renksel özelliklerini de ölçebilmesidir. Fakat ölçüm öncesinde video kameranın kalibrasyonun yapılması önemlidir. Eğer yapılan kalibrasyon hassas olmaz ise bu durumda ölçme hatası kaçınılmazdır.

Esasen ışık kaynaklarının tipine ve boyut farklılıklarına göre uygun bir fotometrik ölçme sistemi seçmek gerekir. Örneğin LED tipi ışık kaynakları veya küçük boyutta lamba ve aydınlatma armatürleri için yakın alan sistemi ile ölçüm yapmak uygun bir seçim olur iken, çok büyük boyutlu aydınlatma armatürlerini ölçmede ise yakın alan ölçüm tekniği uygun bir yaklaşım olmaktan çıkmaktadır. Çünkü Yakın Alandan büyük boyutlu ışık kaynaklarını ölçmede kameranın görüş açısının dışına çıkmaktadır.

Fotometrik ölçme sistemini belirlemede armatür boyutları kadar lamba tipi de önemlidir. Mesela içinde gaz içeren floresan veya deşarj tipi lambalar ölçmek için

kullanılan fotometrik sistemin hareket düzeneğinin lambayı döndürmek yerine fotometrik dedektörün döndürülmesiyle tasarlanmış bir sistem ile ölçmek, uygun bir tercihtir. Çünkü lambanın hareket etmesi, içindeki gazın hareketlenmesi anlamına gelecek ve de sonuçta lambadan çıkan ışık, gazın hareketine bağlı olarak değişerek ölçme hatalarına neden olacaktır. Bu nedenle bu tip lambalarda ölçüm yaparken lambanın döndürülmesine bağlı sistemlerden kaçınılmalıdır. Eğer böyle bir sistemde ölçüm yapılacaksa da lambanın her bir açıda döndürülmesinden sonra sistem belli bir süre zarfında bekletilmeli, lamba stabil ışık verdikten sonra ölçülmelidir. Ancak bu durumda ölçüm süresi uzamaktadır.

Fotometrik sistemlerde LID ölçümleri yaparken hareket sistemi olarak iki motorlu sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler ya ölçülecek ışık kaynağını döndürmekte ya da fotometrik dedektörü veya her ikisini döndürme esasına dayanmaktadır. Esasen bu tip sistemlerde her iki düzlemde ölçüm için tek motorlu bir sistem de düşünülebilir. Bu durumda diğer eksende ölçüm, belli aralıklar ile fotometrik dedektörlerin ardışıl olarak yerleştirilmesi ile sağlanabilir. Bu tip bir sistem ile hızlı ve güvenilir bir LID ölçümü sağlanabilir ve de üretim maliyetleri de ucuz maliyetli olabilir. Tamamen Motorsuz olarak ölçüm sistemi olarak ulbricht küresi (integrating sphere) kullanıldığında ise sadece ışık akısını (luminous Flux) değeri ölçülebilmekte, LID dağılımlarını ölçmede yetersiz kalmaktadır. Ancak uygun bir spektrometre kullanılarak, ışık kaynağının renksel özelliklerinin ölçülmesi de mümkündür.

Sonuç olarak ışık kaynaklarının tipine ve boyut farklılıklarına göre uygun bir fotometrik ölçme sistemi seçimi önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] F. Sametoglu, «Construction of Two-Axis Goniophotometer for Measurement of Spatial Distribution of a Light Source and Calculation of Luminous Flux,» August 2010.
- [2] S. ERDEM, AYDINLATMA MÜHENDİSLİĞİNDE İLERİ YÖNTEMLERLE ÇÖZÜM TEKNİKLERİ, ANKARA, 2007.
- [3] I. Ashdown, P. Eng. ve L. FIES, «Photometry and Radiometry,» 1994.
- [4] C. Schwanengel, «Comparison of techniques for measuring luminous intensity distribution overall and across segments,» [Çevrimiçi]. Available: http://www2.technoteam.de/rigo801/documents/LID_Measurements.pdf. [%1 tarihinde erişilmiştir04 04 2014].
- [5] O. SİREL, 16 09 2004. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.yfu.com/booklets/Fotometrik-Olcmeler.pdf>. [%1 tarihinde erişilmiştir30 03 2014].
- [6] J. Pan, Q. Li ve P. Marx, «THE TRI-FIELD GONIOPHOTOMETER,» %1 içinde *Light and Lighting Conference with Special Emphasis on LEDs and Solid State Lighting*, 2009.
- [7] CIE70-1987, «Measurement of absolute luminous intensity distributions,» 1987.
- [8] H. Hann ve J. Tai Kim, «Application of high-density daylight for indoor illumination,» July 2009.
- [9] J. Breitenbach ve J. Rosenfeld, «Goniospectrometer measurements of the optical performance of a holographic optical element,» 2000.
- [10] j. Breitenbach, «Measurement of angular and wavelength dependent optical properties using a photogoniometer design. Phd thesis, Cardiff University ,UK,» 1999.
- [11] S. Henderson ve A. Marsden, *Lamps and Lighting*, Edward Arnold, 1997.
- [12] R. Boyd., *Radiometry and the detection of optical radiation*, Newyok, 1983.
- [13] J. E. Kaufman ve J. F. Christensen, *Illumination Engineering Society of North America " IES lighting handbook"*, 1984.
- [14] S. Marais, C. Durrheim, M. Alport ve T. Doyle, «The design of a compact photometer for tubular fluorescent lamps,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.cosine.co.za/Photometer%20development.pdf>. [%1 tarihinde erişilmiştir04 04 2014].
- [15] I. Lewin ve J. O'Farrell, «Luminaire Photometry Using Video Camera,» September 2013.
- [16] M. Rea ve I. Jeffrey, «A new luminance and image analysis system for lighting and vision.1. equipment and calibration,» pp. vol.19(no;1):64-72, 1990.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Temel SÖNMEZOCAK

Doğum Yeri ve Tarihi: EDİRNE 02.12.1978

Adres: Merkez Mah. Sarı Kanarya Sok. No:8 Kağıthane /İSTANBUL

E-Posta: temelsonmezocak@aydin.edu.tr

Lisans: Marmara Üniv. Teknik Eğitim Fak. Elektrik Öğretmenliği

Mesleki Deneyim :

Nisan2003-	İstanbul Aydın Üniversitesi (Aydınlatma Lab.Ar-Ge Müh.)
Aralık2011-Nisan2013	Ale Teknoloji A.Ş (Ar-GE Müh.)
Mayıs 2007-Kasım2011	Lamp83 Aydınlatma A.Ş (Lab. Müd. / Ar-Ge Müh.)
Şubat 2005-Mayıs2007	Entes Elektronik A.Ş (Ar-Ge Test Müh.)
Şubat 2004-Ocak2005	Net Mühendislik ve Otomasyon A.Ş (Satış Mühendisi)