

## Aydınlatma Sistemlerinde Fotometrik Ölçmeler ve Aydınlatma Hesaplamaları

Süreyya Kocabey<sup>1</sup>

### Özet

Aydınlatma sistemlerinin tasarımı ve değerlendirilmesi insanoglunun hayatının devamlılığı için büyük öneme sahiptir. Bir aydınlatma sistemi tasarımı için öncelikle kullanım amacının doğru tespit edilmiş olması gerekir. Bu tasarım sürecinde, aydınlatma hesaplamaları yapılırken aydınlatma aygıtlarının özellikleri, çalışma ortamının fiziksel boyutları ve çevresel koşullar birlikte değerlendirilir. Aydınlatma sistemlerinin doğru tasarımı kadar mevcut aydınlatma sistemlerinin performanslarının değerlendirilmesi de önemlidir. Aydınlatma sistemlerinin değerlendirilmesi için sistemin bulunduğu ortamda bazı fotometrik ölçümler yapılmasına ihtiyaç duyulur. Fotometrik ölçmeler için ışık ölçümü yapan bazı ölçü aletlerinden faydalanılır. Fotometrik ölçmeler yapılırken ölçüm yapacak kişilerin ölçülecek büyüklük ve ölçüm teknikleri hakkında bilgiye sahip olması, doğru cihaz seçimi çok önemlidir. Bu çalışmada ilk önce fotometrik ölçmeler hakkında bilgiler verilecek daha sonra aydınlatma hesaplamalarına geçilecektir.

### 1. Fotometrik Ölçmeler

Işıksal ölçümler, radyometrik ölçümlerin bir türevidir. Radyometri, elektromanyetik spektrumun tamamıyla ilgilenen bir kavram iken, fotometri insan gözünün algılayabildiği bölgeyle ilgilenir. Dolayısıyla fotometrik ölçmeler ışığın üretimi, dağılımı ve ölçümü ile ilgilenir. Işık, fizyolojik olarak insan gözü tarafından değerlendirilebilen optik bir büyüklüktür. Gözün çalışma sistemi ölçme üzerine değil karşılaştırma tabanlı olduğundan, eski ölçüm yöntemleri karşılaştırmaya dayanıyordu. Fotometrik ölçümler temel olarak aydınlık düzeyi ve parıltı ölçümleri olmak üzere iki bölüme ayrılır (Sirel, 2004).

1 Dr.Öğr.Üyesi, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, sureyya.kocabey@sbu.edu.tr, 0000-0002-2300-0789

Günümüzde armatürlerle ilgili fotometrik ölçümlerden bahsedildiğinde, genellikle gonyofotometre cihazıyla yapılan ölçümler kastedilir. Gonyofotometre ile yapılan fotometrik ölçümler, bir armatürden yayılan ışığın dağılım eğrisini ve miktarını elde etmek için yapılır. Parıltı ölçümleri; armatürlerin içinde kullanılan yansıtıcıların kalite ve teknik karakteristiklerinin belirlenmesi ve özellikle yol aydınlatmalarında aydınlatma sisteminin uygunluğunun değerlendirilmesi için yapılır.

### **1.1. Aydınlik Düzeyi Ölçümleri**

Aydınlik düzeyi, aydınlatma sistemlerinin değerlendirilmesi ve tasarımında kullanılan temel büyüklüklerden birisidir (IESNA, 2000). Aydınlik düzeyi ölçümleri, bir çalışma alan üzerindeki ışık akısı miktarını değerlendirmek amacıyla yapılan ölçümlerdir. Aydınlik düzeyi ölçümleri farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilir. En yaygın kullanılan yöntem, bir çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyinin lüksmetre adı verilen cihaz ile ölçülmesidir. Çalışma ortamlarında bu ölçümler sadece belirli tek bir noktada veya ortamdaki pek çok farklı noktada alınan ölçümlerin ortalaması alınarak uygulanır. Bir çalışma ortamında istenilen aydınlık düzeyi seviyesi veya yapılan ölçümlerden bahsedildiğinde genellikle yatay düzlem üzerindeki değerler anlaşılır. Ancak görsel algılama yapılan her bir yüzey için (duvar, pano, düşey iş yüzeyleri) aydınlık düzeyi ölçümleri önemlidir (Mahlab, Yamaguchi, Shimosima, Yoshizawa ve Cai 2023). Lüksmetre (ışık ölçer) kullanılarak yapılan aydınlık düzeyi ölçümleri çalışma düzlemi üzerindeki ölçümlerin dışında gonyofotometre ile yapılan ölçümlerde de kullanılmaktadır (Sirel, 2004; Bean ve Simons, 2001). Şekil 2'de görülen Gonyofotometre ile bir armatürün ışık şiddeti dağılımı ölçülerek ışık dağılım eğrisi çıkartılır. Gonyofotometre ile elde olunan ölçüm sonuçları, armatürlerin kullanılacağı ortam için yapılan aydınlık düzeyi hesaplamalarında büyük öneme sahiptir.



Şekil 1 Lüksmetre



Şekil 2 Gonyofotometre

Gonyofotometre ile yapılan ölçümlerde bir armatürün aşağıdaki fotometrik özellikleri elde edilir. (Sirel, 2004).

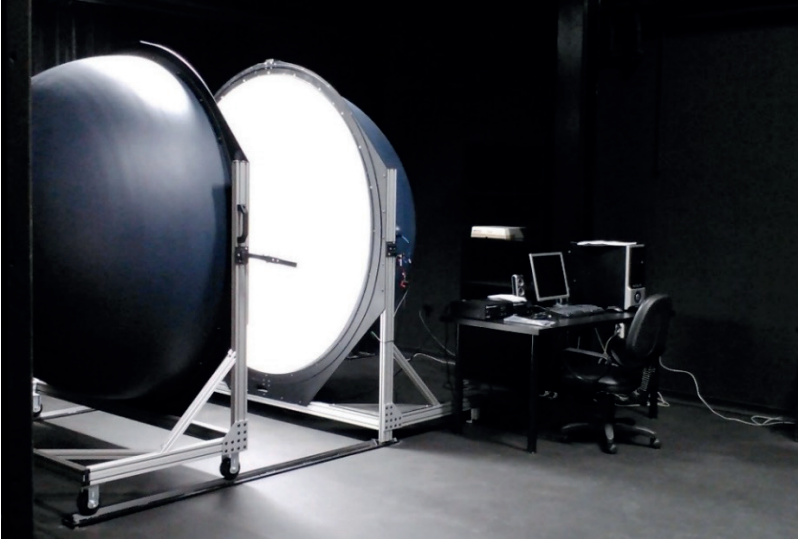
- armatür dışına gönderilen toplam ışık akısı miktarı,
- aydınlık düzeyi dağılım eğrileri,
- armatüre ait geri verim endeksi,
- izolüks eğrileri,
- faydalanma faktörü,
- tepe açısı,

Gonyofotometre ile ölçümlerden doğru ve güvenilir sonuçlar alabilmek için, cihazın mekanik bileşenlerinin kalitesine, kullanılan lüksmetrenin kalitesine, cihazın bulunduğu ortamın çevresel ışıklardan izolasyonuna ve armatür ile fotosel optik eksenlerinin aynı eksende olmasına dikkat edilmelidir. Gonyofotometrelerde ölçümler lüksmetre ile gerçekleştirilir. Bir ışık kaynağından 1 metre uzaklıkta dik bir doğrultuda yapılan ölçüme elde olunan aydınlık düzeyi değeri, aynı doğrultuda armatürden yayılan ışık şiddetine eşittir.

Dolayısıyla gonyofotometre ile yapılan ölçümlerde, armatürden belirli bir uzaklıkta lüksmetreden aydınlık düzeyleri ölçülür. Alınan veriler, hesaplama yoluyla bir metre uzaklıktaki değerine indirgenerek, kandela cinsinden ışık şiddeti değerleri elde edilir. Bir armatüre ait bu değerler farklı ışık

kaynaklarıyla kullanımına imkan vermesi açısından normalize edilerek 1000 lümen başına kandela (cd/klm) olarak grafiklerle verilir.

Bir armatürün gonyofotometreyle ölçümü esnasında armatür üzerinde kullanılan lambanın ışık akısının bilinmesi, ölçüm sonucunda elde edilen verilerin kullanımı sürecinde önemlidir. Bunun için ölçümlerde kullanılacak lambanın 100 saat kullanılmış olması, daha sonra armatürden çıkan ışık akısı miktarının şekil 3'de görülen Ulbricht küresi ile saptanması gerekir.



*Şekil 3 Ulbricht Küresi*

Lambaların ışık akılarını ölçmek için fotometrik ölçümler yaparken, aydınlık düzeyini de dikkate almak önemlidir. Ulbricht küresi, beyaz iç yüzeye sahip ve içindeki ışık kaynağından yayılan tüm ışık akılarını toplayan bir küredir. Işık kaynaklarının kürenin iç yüzeyinde oluşturduğu aydınlık düzeyi, bu ışık kaynaklarından çıkan ışık akısıyla doğru orantılıdır. Ulbricht küresi ile, fotometrik ışık dağılımına ihtiyaç duymadan sadece ışık kaynaklarının ışık akısı çıktılarını ölçmek mümkündür. Ulbricht küresi için bir gonyofotometreye göre fiziksel olarak daha küçük bir hacim yeterlidir. Kürenin iç yüzeyi, yüksek yansıtma özelliğine sahip bir boya ile kaplıdır. Yüzeyin düzgün bir yayıma sahip olduğu kabul edilir. Genellikle ölçülen direkt aydınlık düzeyi, küre yüzeyinin yansıtma özelliklerine bağlıdır. Kürenin yüzey alanı (A) ise kaynaktan çıkan toplam ışık akısı denklem 1.1'deki gibi (Bean ve Simons, 2001) elde edilecektir.

$$\Phi = \frac{\pi}{\rho} \int L \cdot dA \quad (1.1)$$

Denklem 1.1'de  $L$ , küre iç yüzey duvarının birim yüzey parçasına ait başlangıç parlıtıdır. İlk yansımadan sonra, küre iç yüzeyinde yansıyan ışık hüzmeleri fotoselle birlikte küre iç yüzeyini eşit şekilde aydınlatır. Bu nedenle, kürenin iç yüzey duvarının ( $dA$ ) birim yüzey parçalarından yansıyan ışık dikkate alındığında, aydınlık düzeyi formülü denklem 1.2'deki gibi olacaktır.

$$E = \frac{\delta}{A} \cdot L \cdot dA \quad (1.2)$$

Kürenin iç yüzey duvarından yansıyan toplam ışığa bağlı olarak aydınlık düzeyi ifadesi aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$E = \frac{\delta}{A} \cdot \int L \cdot dA \quad (1.3)$$

Denklem 1.3, denklem 1.1'e göre düzenlenirse;

$$E = \frac{\rho}{A} \cdot \Phi \quad (1.4)$$

olacaktır. Yukarıdaki ifadedeki aydınlık düzeyi ikinci yansımaya bağlı olarak;

$$E = \frac{\rho^2}{A} \cdot \Phi \quad (1.5)$$

olur. Küre içindeki sonsuz sayıdaki yansımadan sonraki aydınlık düzeyi denklem 1.6'daki gibi yazılır.

$$E = \frac{\rho}{A} \Phi + \frac{\rho^2}{A} \Phi + \frac{\rho^3}{A} \Phi + \dots \quad (1.6)$$

$$E = \frac{\rho}{A} \cdot \Phi \cdot \left( \frac{1}{1-\rho} \right) \quad (1.7)$$

Denklem 1.6 düzenlenerek Ulbricht küresi ile aydınlık düzeyi hesabını veren denklem 1.7 elde olunur. Buradan hareketle aydınlık düzeyi  $E$ 'nin ışık kaynağının ışık dağılımından bağımsız olduğu anlaşılır. Aydınlık düzeyi

ve ışık akısı arasındaki bu ilişki, fotometrik ölçümler için Ohm kanunu olarak kabul edilir (Bean ve Simons, 2001). Eğer kürenin iç yüzeylerinin yansıtma özellikleri biliniyorsa, aydınlık düzeyi  $E'$ 'yi ölçerek ışık akısı  $\Phi'$ 'nin hesaplanması mümkündür. Bu nedenle, Ulbricht küresi genellikle ışık kaynaklarını karşılaştırmak için kullanılır.

Gonyofotometre ile elde olunan ölçüm sonuçları, ölçümde kullanılan armatürden etrafına yayılan ışık akısının grafiksel olarak verir (Sirel, 2004). Bu grafikler, aydınlatma projelerinde kullanılacak armatürlerin seçimini kolaylaştırır. Seçilen armatürün kullanılması durumunda, belirli bir konumda nereye ne kadar ışık akısı yaydığı grafikten bakılarak ortama ait aydınlık düzeyi hesaplamaları yapılabilir. Aydınlık düzeyi hesaplamaları, grafikler, tablolar ve geri verim değerleri gibi elde edilen ölçüm verileri kullanılarak manuel olarak yapılabilir, ayrıca aydınlık düzeyi hesaplaması yapan bilgisayar programları aracılığıyla da gerçekleştirilebilir.

## 1.2. Parıltı Ölçümleri

Parıltı ölçümleri, bir nesneden yansyarak belirli bir doğrultuda yayılan ışık akısı miktarının bulunması amacıyla yapılır. İnsan gözü tarafından algılanabilir tek fotometrik büyüklük olan parıltı, görsel işlerin performansının değerlendirilmesi için en önemli parametredir (IESNA, 2000; Bishop ve Chase, 2023). Parıltı ölçümleri; elektrik enerjisini ışığa dönüştüren birincil ışık kaynağı bir lamba için yapılabileceği gibi, ikincil ışık kaynağı olarak adlandırılan üzerine düşen ışığı yansıtarak veya geçirerek çevreye ışık yayan nesne veya yüzeyler için de yapılabilir.

İkincil ışık kaynaklarının parıltısı; söz konusu nesne üzerinde oluşan aydınlık düzeyiyle yüzeyin yansıtma katsayısı veya geçirme katsayısının çarpımıyla bulunur. Parıltı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, genellikle görüş alanı içerisindeki parıltıların dengelenmesi veya belirli sınırlar içinde tutulması amacıyla kullanılır. Parıltı ölçümleri aşağıdaki bilgilerin elde edilmesi için yapılır (Sirel, 2004).

- Birincil kaynaktan yayılan belirli bir doğrultudaki parıltıyı,
- İkincil kaynaktan yayılan belirli bir doğrultudaki parıltıyı,
- İkincil yüzeyin düzgün yansıtma katsayısı,
- İkincil yüzeyin dağınık yansıtma katsayısı ,
- İkincil yüzeyin düzgün geçirme katsayısı,
- İkincil yüzeyin dağınık geçirme katsayısı ,
- İkincil yüzeyin yayınma katsayısı,

- İkincil yüzeyin yutma katsayısı,

Parıltı, bir yüzeyin herhangi bir noktasından yansıyan ve belirli bir doğrultuda algılanan fotometrik bir büyüklüktür. Birincil bir ışık kaynağının herhangi bir noktadaki parıltısı; bu noktayı çevreleyen küçük bir yüzey alanından belirli bir yönde yayılan ışık şiddetinin (cd), bu yüzey parçasının alanına (m<sup>2</sup>) oranıdır. İkincil ışık kaynaklarının parıltısı ise nesnenin üzerindeki aydınlık düzeyi ile yansıtma veya geçirme katsayılarının çarpımıyla belirlenir (Bishop ve Chase, 2023; Czyżewski, 2023).

Parıltıyı doğrudan ölçmek için Şekil 4'te görülen parıltı ölçerler geliştirilmiştir. Bu ölçü aletleri, bir yüzeyden tek bir doğrultuda gelen ışık akısını ölçerler. Nesnenin belirli bir doğrultuda yansıyan ışık akısı, nesneye aynı doğrultudan bakıldığında görülen yüzey alanı ile parıltısının çarpımı ile bulunur.



*Şekil 4 Parıltı ölçer*

Parıltı ölçerler, ayarlanan ölçme açısına bağlı olarak belirli bir alana odaklandıkları için çevredeki diğer ışık kaynaklarından etkilenmezler. Bununla birlikte incelenen yüzey üzerinde istenmeyen parlamalar önlenmelidir. Parıltı ölçümleri esnasında, ölçme açısı ile belirlenen yüzey üzerindeki noktanın küçük olmasına veya parıltının yüzeyde mümkün olduğunca homojen dağılmasına dikkat edilir.

Parıltı ölçümlerinde ışık akısı ölçümü yapıldığında, teorik olarak parıltı ölçerin ölçüm yapılan yüzeyden uzaklığı önemsizdir. Ancak uygulamada ölçülen yüzeyin, parıltı ölçerin ölçüm alanıyla çakışması gerektiğinden ölçüm

mesafesi rastgele seçilemez. Ölçüm amacına bağlı olarak, tek bir ölçüm yerine farklı noktalarda birden çok ölçüm yapılması ve bunlardan elde edilen sonuçların aritmetik ortalamasının kullanılması daha güvenilir sonuçlar elde edilmesine yardımcı eder.

İç hacimlerin aydınlatılmasında, aydınlık düzeyi hesaplanırken çalışma yüzeyine armatürden direkt gelen ışığın yanı sıra duvarlar, tavan, büyük eşyalar gibi çevre yüzeylerden yansıyan ışık da önemlidir. Bu yüzeylerin de çalışma yüzeyi üzerindeki aydınlatmaya katkısının hesaplanabilmesi için yansıtma katsayılarının bilinmesi gerekir. Bu yüzeylerin yansıtma katsayıları ise parıltı ölçümleri veya özel karşılaştırma şablonlarıyla bulunur. Dış ortam aydınlatmasında, aydınlatılan yüzeylerin birbirleriyle uyumlu bir görünüm oluşturması önemlidir. Örneğin, yan yana bulunan binaların dış cephesi aydınlatılıyorsa, bir binanın diğerlerine göre fazla veya az aydınlatılmış görünmesi istenmez. Bu tutarlılığı sağlamak için, dış ortam aydınlatma projelerinde aydınlık düzeyi yerine parıltı hesaplamaları kullanılır. Uygulama esnasında parıltı ölçümleri yapılır (Czyzewski, 2023; Sirel, 2004). Trafik akışının olduğu yollarda, yol kenarlarında bulunan ilan panosu benzeri nesnelerin sürücülerin kamaşma vb sebeplerle dikkatlerinin dağılmasına yol açmaması için parıltıları yasal olarak sınırlandırılmıştır.

## 2. Aydınlatma Hesaplamaları

Işık bir enerji çeşididir ve enerjinin korunumu yasasına uygun davranır. Yani, birden fazla ışık kaynağı tarafından aydınlatılan bir çalışma düzleminde herhangi bir noktadaki aydınlık düzeyi, ışık kaynaklarının o noktada tek başına oluşturdukları aydınlık düzeylerinin toplamına eşittir (IESNA, 2000; Özkaya, 2011).

Bir ortamın aydınlık düzeyi, aydınlatma problemlerinin çözümü için büyük öneme sahip olmasına rağmen, insan gözü tarafından doğrudan algılanamaz. Ancak yeterli aydınlık düzeyine sahip ortamlar, yüzeylerin yansıtma özelliklerine bağlı olarak daha az veya daha çok aydınlık olarak görünür. Kısaca insanlar tarafından gözle algılanabilen fotometrik büyüklük aydınlık düzeyi değil parıltıdır (Smith, 2000). Özetlemek gerekirse, insanlar tarafından gözle görülen şey parıltı değil, aydınlık düzeyidir (Smith, 2000). Sonuç olarak, görme işlevinin gerçekleşebilmesi için nesnelerin parıltısı önemli olsa da, aydınlatma hesaplamalarında aydınlık düzeyi daha çok kullanılır.

### 2.1. Işık Akısı Yöntemi ile Aydınlık Düzeyi Hesabı

Aydınlatma hesaplamalarında aydınlatılacak yüzeyin sadece ortalama aydınlık düzeyi yeterliyse, ışık akısı yöntemi en etkili yöntemdir. Bu yöntem



ortamın aydınlatması için gereken ışık kaynağı sayısının bulunmasında kullanılır. Denklem 2.1'de görüldüğü üzere ortalama aydınlık düzeyi, ortamdaki ışık kaynaklarının toplam ışık akısının çalışma düzleminin yüzey alanına bölünmesi ile bulunur (Bean ve Simons, 2001; Özkaya, 2011; IESNA, 2000).

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2.1)$$

E: Aydınlık düzeyi (lüks).

$\Phi$ : Işık akısı (lümen).

A: Hacim içindeki çalışma düzleminin yüzey alanı ( $m^2$ ).

İç ortamların aydınlatılmasında, ışık kaynaklarından yayılan ışık akısının bir kısmı duvarlar ve mobilyalar tarafından yutulmaktadır. Aydınlatma türü, ortamın fiziksel boyutları, armatürlerin zemine olan mesafesi, çalışma düzleminin zeminden yüksekliği ve ortam duvarlarının boya renkleri ortam içindeki ışık dağılımını etkiler. Ayrıca, zamanla ışık kaynaklarının ışık akısı çıktılarında azalma, iç mekan yüzeylerindeki kirlilik, armatürlerde biriken toz çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyini olumsuz etkiler. Ortamdaki çalışanların performanslarında aydınlatma kaynaklı düşme olmaması için bütün bu çevresel ve zamansal etkiler denklem 2.1'e birer katsayı ile eklenir (IESNA, 2000).

$$E = \frac{\Phi \cdot m \cdot \eta}{A} \quad (2.2)$$

m: Bakım katsayısı

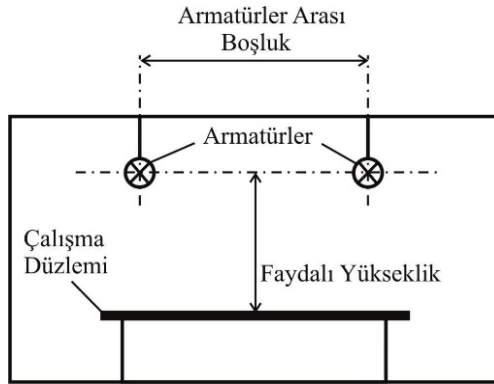
$\eta$ : Oda verimi

Denklem 2.2'de (m) bakım katsayısı değeri 0-1 arasındadır ve armatürlerin bakım ve temizlik sıklığına göre seçilir. Temizlik sıklığı arttıkça (m) 1'e yaklaşır. Bunun anlamı ortamdaki kirlenmenin aydınlık düzeyinin düşmesine sebep olmadan temizlik yapıldığı anlamına gelir. Temizlik sıklığı azaldıkça bu değer 1'den daha küçük değerler olur. Bir armatürden yayılan ışık akısının çalışma düzlemine ulaşan miktarı yüzde olarak ( $\eta$ ) oda verimi ile tanımlanır. Armatür ışık dağıtım türüne ve ortam yüzeylerinin yansıtma özelliklerine göre önceden hesaplanan oda endeksi değerine göre her bir armatüre ait tablolardan seçilir. Aydınlatma hesaplama programlarında bu

değer, seçilen armatür tipine göre armatür bilgi verilerinden otomatik olarak bulunur. Oda endeksi (k) ise, denklem 2.3'ten ortamın fiziksel boyutları (yükseklik-uzunluk-genişlik) ve çalışma düzlemiyle ışık kaynağı arasındaki faydalı yükseklik ile hesaplanır. Faydalı yükseklik, armatür askı yüksekliği ve çalışma düzlemi yüksekliğine bağlı olarak bulunur (IESNA, 2000; Özkaya, 2011; CIE, 1986; TSE, 1990).

$$k = \frac{u \cdot g}{h \cdot (u + g)} \quad (2.3)$$

Işık akısı yardımıyla aydınlatma hesabında, öncelikle uluslararası standartlardaki aydınlık düzeyi tablolarından ortamın kullanım amacına bağlı olarak gereken aydınlık düzeyi belirlenir. Sonra ortamdaki aydınlatma sistemine uygulanacak bakım sıklığı dikkate alınarak bakım katsayısı ve ilgili tablolardan oda verimi bulunur. Sonrasında denklem 2.2 yardımıyla aydınlatılması istenilen ortamda önceden belirlenen model ve güçte kaç adet aydınlatma armatürüne ihtiyaç duyulduğu hesaplanabilir.



*Şekil 5 Çalışma Ortamı Aydınlatma Gösterimi*

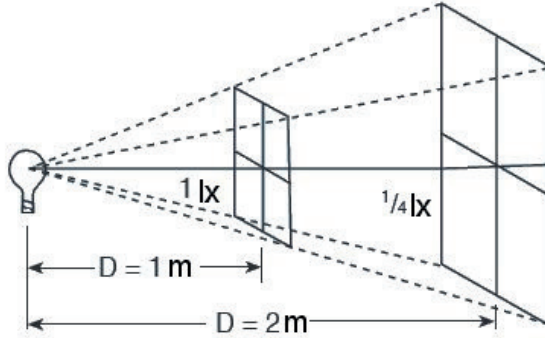
## 2.2. Işık Şiddeti Yöntemi ile Aydınlık Düzeyi Hesabı

Eğer ortamdaki ortalama aydınlık düzeyinin yanı sıra çalışma düzlemindeki farklı noktadaki aydınlık düzeyleri de bulunmak isteniyorsa veya çalışma düzlemine ait izolüks eğrileri çıkartılmak isteniyorsa ışık şiddeti yöntemi daha etkin bir yöntemdir (IESNA, 2000; Özkaya, 2011).

### 2.2.1. Noktasal Işık Kaynağına Göre Aydınlık Düzeyi Hesabı

Noktasal ışık kaynaklarından belli bir mesafedeki aydınlık düzeyi, kaynaktan yayılan ışık şiddeti bilirse ters kare kanunu ile hesaplanabilir. Büyük boyutlu ışık kaynakları da çok sayıda noktasal kaynağın birleşimi gibi düşünülerek ters kare kanunu bütün ışık kaynaklarında kullanılabilir (Bean ve Simons, 2001; Özkaya, 2011; Mangkuto, Jamila, ve Paramita, 2023). Şekil 6'da noktasal bir ışık kaynağından farklı uzaklıkta ışık kaynağına paralel 2 düzlemsel yüzey görülmektedir. Bu yüzeyler, ışık kaynağından bakıldığında aynı uzay açısından görülebilen farklı uzaklıklardaki düzlemlerdir.

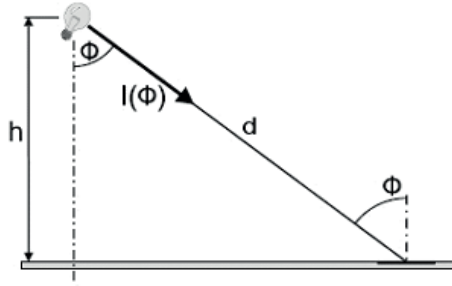
Işık düz bir doğrultuda hareket ettiğinden bu düzlemler üzerine aynı ışık akısı etki eder. Fakat bu düzlemlerin alanları farklı olduğundan, aynı ışık akısının düzlemler üzerinde oluşturacağı aydınlık düzeyi de farklı olacaktır. Düzlemler üzerinde oluşan aydınlık düzeyi, düzlemin ışık kaynağından uzaklığının karesiyle ters orantılıdır. Şekil 6'da modellenen kaynağından en bu ilişki Ters Kare Kanunu diye adlandırılıp, denklem 2.4 ile verilmiştir (Bean ve Simons, 2001; Özkaya, 2011; IESNA, 2000).



Şekil 6 Ters Kare Kanunu

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (2.4)$$

Armatürden çıkan ışık akısı, şekil 7'de görüldüğü gibi armatürün altındaki yüzeye dik olarak düşmüyor ise aydınlatılan alan daha büyük olacaktır. Bununla birlikte, yüzey üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi de aynı oranda azalacaktır. Çalışma düzleminde ışığın geliş açısına dik olmayan noktadaki aydınlık düzeyi Kosinüs Kanunu ile hesaplanır.



Şekil 7 Kosinüs Kanunu

Kosinüs Kanunu; armatürden düzlem üzerindeki bir noktaya gelen ışık şiddetinin, yüzeyin normaliyle yaptığı açının kosinüsü ile çarpımının armatürün bu noktaya olan uzaklığının karesine bölümü olarak tanımlanır. Bu ilişki denklem 2.5'te verilmiştir (IESNA, 2000).

$$E = \frac{I_{\phi}}{d^2} \cdot \cos\phi . \quad (2.5)$$

Bu yöntemle çalışma düzlemi üzerindeki herhangi bir noktadaki aydınlık düzeyi değerine, ışık kaynaklarının tek tek katkıları hesaplanabilir. Bir yüzey üzerindeki tüm noktalar için aydınlık düzeyleri, kullanılan ışık kaynakları için ayrı ayrı hesaplanır. Daha sonra düzlem üzerindeki noktalara ait aydınlık düzeyi değerleri toplanıp, çalışma üzerindeki istenilen noktalardaki aydınlık düzeyi dağılımları bulunur (Bean ve Simons, 2001; Özkaya, 2011). Çoğu iç hacimlerde, çalışma düzlemi yere paralel bir şekilde bulunur. Bu tür ortamlarda yatay aydınlık düzeyi hesaplaması için kullanılan denklem 2.5, yüksekliğin (h) bir fonksiyonu olarak denklemi 2.6'da olduğu gibi yazılabilir.

$$E = \frac{I_{\phi}}{h^2} \cdot \cos^3\phi \quad (2.6)$$

Çalışma düzlemi üzerindeki en büyük aydınlık düzeyi, ışık kaynağının tam altında yüzeyin normaliyle aynı açıda ışık akısının düştüğü noktada elde edilir. Günlük hayatta yazı tahtaları ve reklam panoları, iş makineleri üzerindeki düşey kontrol panelleri gibi düşey yüzeylerle de yaygın olarak çalışılır. Bu tip yüzeylerdeki aydınlık düzeyleri, denklem 2.7'deki düşey aydınlık düzeyi formülü kullanılarak hesaplanır.

$$E_D = \frac{I \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{h^2} \quad (2.7)$$

### 2.2.2. Doğrusal Işık Kaynağına Göre Aydınlık Düzeyi Hesabı

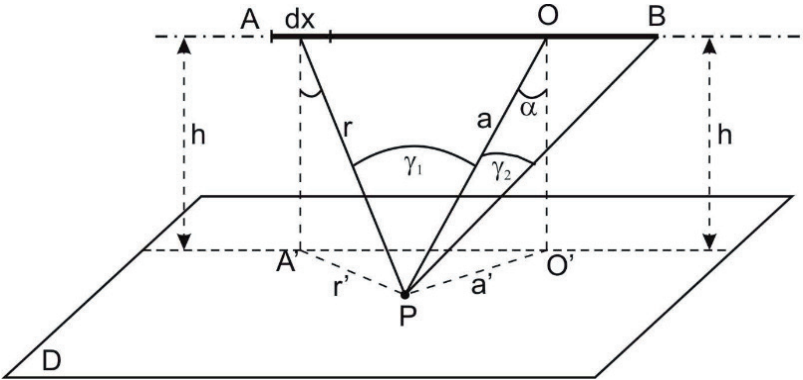
Doğrusal ışık kaynakları, boylarına göre enleri çok daha küçük olan silindirik tüplü ışık kaynaklardır. Dolayısıyla, birden çok noktasal ışık kaynağın birleşimi olarak düşünülebilirler. Bu ışık kaynakları genellikle çalışma düzlemine paralel yerleştirilir ve birim uzunluktan yayılan ışık şiddetinin sabit olduğu kabul edilebilir (Bean ve Simons, 2001; Özkaya, 2011).

Şekil 8'de görüldüğü gibi çalışma düzleminden belirli bir (h) yüksekliğinde bulunan bir doğrusal ışık kaynağının birim uzunluğa sahip parçalarının her birinin çalışma düzlemi üzerindeki bir P noktasına olan mesafeleri farklıdır. Dolayısıyla bu ışık kaynağının P noktasında oluşturduğu aydınlık düzeyi denklem 2.8 kullanılarak hesaplanabilir (Mangkuto, Jamila, ve Paramita, 2023).

$$E = \frac{h}{a^2} \cdot I_1 \cdot \left[ \frac{2\gamma + \sin 2\gamma}{4} \right]_{\gamma_1}^{\gamma_2} \quad (2.8)$$

Eğer doğrusal ışık kaynağı çok çok uzun ise ve için P noktasındaki aydınlık düzeyi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$E = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{h}{a^2} \cdot I_1 \quad (2.9)$$



Şekil 8 Doğrusal Bir Işık Kaynağının Altındaki Bir P Noktasındaki Aydınlik Düzeyi Hesabı

### 3. Sonuç

Aydınlatma hesaplamaları, aydınlatma sistemlerinin tasarım süreçlerinde büyük öneme sahiptir. Aydınlatma sistemlerinin tasarımı karmaşık fiziksel sistemlerin matematiksel bir modellemesi gerektirmesine rağmen, genellikle hassas doğruluk aydınlatma hesaplamalarında gereken bir zorunluluk değildir. Basit hesaplama yöntemleriyle kabul edilebilir doğrulukta hesaplamalar yapılabilir. Aydınlatma hesaplamaları denildiğinde ilk akla gelen aydınlık düzeyi ve parlıtlı hesaplamalarıdır. Kamaşma, görsel konfor, görme performansı gibi görsel algılamaya dayalı değerlendirilme kriterlerinde de aydınlık düzeyi ve parlıtlı değerleri kullanılır. Aydınlık düzeyi veya parlıtlı hesaplamalarında; hesaplamalar ışık kaynağı ve yakın çevresinin karşılıklı etkileşimi modellenerek yapılır. Aydınlatma hesaplamaları yapan tasarımcıların kullanacağı aydınlatma aygıtları hakkında gerekli fotometrik bilgilere sahip olması ve tasarım yapacağı ortamın çevresel özelliklerini iyi bilmesi gereklidir.

## KAYNAKLAR

- Bean, A. R. & Simons, R. H. (2001). *Lighting Engineering-Applied Calculations*. Architectural Press.
- Bishop, D. & Chase, J.G. (2023). A Luminance-Based Lighting Design Method: A Framework for Lighting Design and Review of Luminance Measures. *Sustainability*, 15(5), 4369. <http://dx.doi.org/10.3390/su15054369>.
- Czyżewski D. (2023). The Influence of a Photometric Distance on Luminance Measurements. *Energies*, 16(10), 4166. <https://doi.org/10.3390/en16104166>.
- Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), (2000). *The IESNA Lighting Handbook 9th Edition*.
- Mahlab, F., Yamaguchi, H., Shimosima, Y., Yoshizawa, N. & Cai. H. (2023). A joint validation study on camera-aided illuminance measurement. *Lighting Research & Technology*, 0, 1-5.
- Mangkuto, R.A., Jamila, N. & Paramita, B. (2023). On the average horizontal illuminance in rooms with one or two point light sources. *Architectural Science Review*, <https://doi.org/10.1080/00038628.2023.2223153>.
- Özkaya, M. (2011). *Aydınlatma Tekniği*. Birsen Yayınevi.
- Sirel, O. (2004). *Fotometrik Ölçmeler*. YFU.
- Smith, N. A. (2000). *Lighting For Health and Safety*, Butterworth-Heinemann.
- The International Commission on Illumination (CIE), (1986). *Guide For Interior Lighting*, CIE 029.2-1986.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), (1990). *Elektroteknikte Kullanılan Terimler ve Tarifleri-Aydınlatma*. TS12133, ICS29.020;01.040.29.

