

# AYDINLATMADA ENERJİ VERİMLİLİĞİ: LED TEKNOLOJİSİ

Prof. Dr. Sermin Onaygil  
İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü  
Enerji Planlaması ve Yönetimi Anabilim Dalı Başkanı  
onaygil@itu.edu.tr



**B**irincil enerji tüketimindeki artış oranı yıllık yüzde 4,3 olarak açıklanan Türkiye, enerji ihtiyacının yaklaşık yüzde 75'lik bölümünü dış kaynaklardan sağlayabilen ithalatçı konumunda bir ülkedir [1]. Yüzde 97'si ithal edilen doğalgazın yaklaşık yüzde 50'lik bölümü elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki eğilimlere paralel olarak, Türkiye'de de genel enerji tüketimi içinde elektrik enerjisinin payı sürekli artmaktadır [2]. 1970 ile 2008 yılları arasındaki artış oranı ortalama yıllık yüzde 8,7 olarak açıklanmaktadır [1, 3]. Artan elektrik enerjisi talebinin karşılanabilmesi için, mevcut kurulu gücün 2020 yılına kadar en az iki katına çıkartılması gerektiği de ifade edilmektedir. Aydınlatma sistemleri elektrik enerjisi tüketen tesisatlardır. Net bir ölçüm sonucu olmamasına rağmen, ülkemizde tüketilen elektrik enerjisinin yüzde 20'sinin aydınlatma amaçlı kullanıldığı tahmin edilmektedir. Bu oran kullanım alanlarına göre değişmekte ve konutlarda yüzde 20, sanayide yüzde 10, ofis gibi ticari yapılarda ise en az yüzde 30 olarak açıklanmaktadır. Enerji temininde, özellikle elektrik enerjisi üretiminde yaşanan sorunlar göz önüne alındığında, aydınlatmada gerçekleştirilebilecek enerji tasarrufunun önemi kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

Tüm enerji verimlilik çalışmalarında olduğu gibi aydınlatmada da tasarrufun, çalışma emniyeti ve konfor ko-

şullarından ödün verilmeden yapılması gerektiği akıldan çıkarılmamalıdır. Daha önceleri önemsenmediği için doğru eleman seçimi ve doğru tasarımların yapılmadığı aydınlatma tesisatları, şu anda hem enerji tasarruf potansiyel oranı yüksek, hem de geri ödeme süreleri kısa olan enerji verimlilik çalışmaları olarak öncelikli bir şekilde karşımıza çıkmaktadır. Aydınlatma sistemleri her şeyden önce ortamda yapılacak işe uygun görme koşullarının konforlu bir şekilde sağlanabilmesi amacı ile tesis edilmelidir. İşin hassasiyetine göre, sağlanması gereken aydınlık düzeyi değerleri değişmektedir. Uluslararası standart ve önerilerde, görüş koşulları ve tesisatın ekonomikliği esas alınarak belirlenen, değişik hacimlerde olması gereken optimum aydınlık düzeyi değerleri verilmektedir. Avrupa Birliği'nde iç çalışma hacimleri için Kasım 2002'de, dış çalışma hacimleri için de Temmuz 2007'de kabul edilmiş standartlar, ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü tarafından "Işık ve Aydınlatma iş yerlerinin aydınlatılması-Bölüm 1: kapalı alanlardaki iş mahalleri ve Bölüm 2: bina dışı iş yerleri" başlıkları altında sırasıyla Ocak 2004'de ve Nisan 2008'de yayınlanmıştır [4, 5]. Söz konusu standartlarda iyi bir aydınlatmada sadece yeterli ortalama aydınlık düzeylerinin yaratılması değil, bunun yanı sıra aydınlık düzeyi ve parlaltının hacim içinde düzgün dağılımı, ışık kaynaklarının renksel geriverimlerinin iyi ve ışık renklerinin uygun olması, kamaşma, fliker

ve stroboskopik etkilerin sınırlandırılması gibi ölçütlerin de önemli olduğu belirtilmektedir. Aydınlatmanın temel başlangıç noktası ışık kaynaklarının, lambaların seçimidir. Şüphesiz bu ışık kaynaklarının verimli yardımcı elemanlarla birlikte, fotometrik değerleri bilinen, ışığı istenilen şekilde yayan ve içindeki elemanları dış etkilerden koruyan kaliteli armatürler içinde olmaları; bu armatürlerin yapılan tasarım hesaplarına uygun olarak yerleştirilmeleri ve kullanım zamanlarını kısaltan otomasyon sistemlerinin tesisi de son derece önemli ve gereklidir. Ancak bu şekilde amaca uygun, kaliteli, görüş koşullarını sağlayan, fakat minimum düzeyli bir aydınlatma gerçekleştirilerek elektrik enerjisinin değeri azaltıldığında, gerçek bir tasarruftan söz edilebilir. Aksine çalışma konfor ve güvenliğini bozan bir aydınlatma yaratılarak kullanılan elektrik enerjisi miktarı azaltıldığında, ışık verimi ve kalitesinde oluşabilecek bozulmalar nedeni ile sağlanması amaçlanan maddi getirilere hiçbir zaman erişilemeyecektir.

### LED (Işık Yayan Diyot) Teknolojisi

Son yıllarda LED teknolojisinin kullanıldığı aydınlatma sistemleri, enerji verimliliği çalışmalarında tek çözüm olarak ortaya atılmaktadır. Aydınlatma gerçekleştirilecek ortamların koşulları ve LED dışında kullanılacak ışık kaynaklarının özellikleri dikkate alınmadan, genel bir ifade ile yüzde 80 enerji tasarrufu sağlanacağı ileri sürülmesi son derece yanıltıcı ve yanlış yönlendirici olmaktadır.

LED teknolojisi bilindiği gibi yeni bir buluş değildir. İlk olarak 1891 yılında silisyum karbid (SiC) sentezlenerek LED'lerin temelleri atılmış, 1907 yılında Henry Joseph Round yaptığı deneylerde silisyum karbid üzerinden akım geçirince sarı bir ışık elde etmiş ve böylece ilk LED ortaya çıkmıştır. İlk üretilen LED'ler, mavi ışık rengine ve yüzde 0.005 verime sahiptir. Pratik kullanıma uygun LED'ler ise Nick Holonyak tarafından 1962 yılında üretilmiştir. Ancak kırmızı renkte ışık yayan ve 0.001 lm ışık akılı bu LED'lerin üretimleri, yüksek maliyetleri nedeniyle pek fazla olamamıştır. 1985 yılına kadar üretilen LED'ler elektronik göstergelerde ve hesap makinelerinde kullanılmıştır [6]. 1999 yılından sonra ışık akıları, renk özellikleri, ömürleri ve etkinlik değerleri hızla gelişen LED'ler, günümüzde -laboratuvar koşullarında olsa dahi- birim güç başına 250 lümen ışık akısı verebilecek hale gelmiştir [7].

Genel olarak tek renk ışık yayan (monokromatik) LED'lerin verimi de yaydıkları ışığın dalga boyu ile ilgilidir. İlk ticari LED, sadece kırmızı ışık üretmiş olmasına karşın günümüzde LED'ler artık görülebilir spektrumundaki tüm dalgaboylarını üretebilmektedir. LED'lerin rengi, jonksiyon (ek yeri) sıcaklığıyla ilişkilidir. Sıcaklık arttığında, dalgaboyu spektrumu değişmekte, ışık akıları ve etkinlik faktörleri düşmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar, sıcaklık arttıkça renk spektrumunun daha uzun dalga boyu (kızılötesi) yönünde değiştiğini göstermektedir. LED'ler ile beyaz ışık elde etmek için günümüzde 3 ana yöntem kullanılmaktadır:

- 1- Görünür bölgenin (380-780 nm), kısa dalga boyu bölümünde ışık yayan bir diyodu fosfor ile kaplayarak daha uzun dalga boylarında ışık elde etmek,
- 2- Morötesi (UV) bölgede ışık yayan bir diyodun radyasyonlarını fosfor ile kaplayarak görünür bölgede ışık vermesini sağlamak,

- 3- (En az) 3 diyot kullanarak (genelde kırmızı, yeşil, mavi) beyaz ışık elde etmek.

LED'lerin genel aydınlatmada kullanılmaları ancak beyaz ışık üretiminin gerçekleşmesi ile mümkün olmuştur. Beyaz ışık üretiminde kullanılan yöntemlerde LED'in veriminin düşmesi, renk özelliklerinin değişmesi gibi riskler de mevcuttur.

LED'lerin aydınlatma alanına girmesi, özellikle farklı renk seçenekleriyle dekoratif aydınlatma amaçlı kullanılmaları ile başlar. Düşük ışık akıları sebebiyle ilk anlarda iç ve dış genel aydınlatma alanlarında yer almaları mümkün olmamıştır. Işık akılarının ve verimlerinin gittikçe artmasıyla iç ve dış aydınlatmada daha sık kullanılmaya başlanmış, etkinlik faktörü değerlerinin konvansiyonel lambaların üzerine çıkmasıyla da genel aydınlatmada bir çok ışık kaynağına alternatif haline gelmişlerdir. Ancak yaşanan bu gelişim döneminde, LED imalatçıların aydınlatmanın teknik gerekliliklerini bilmemeleri, aydınlatma uzmanlarının da LED teknolojisine yabancı olmalarından dolayı önemli teknik sorunlar ortaya çıkmıştır. Bugün bu problemlerin bir bölümünün çözümü gerçekleştirilmiş olmasına rağmen hala çözülmesi, açıklığa kavuşturulması gereken birçok konu mevcuttur.

### Sorunlar ve Yapılması Gerekenler

LED pazarı hızla büyürken, üretilen armatürlerin minimum aydınlatma gereksinimi yerine getiremeyebilme riskleri de vardır. Standart ve önerilerin ortaya koyduğu aydınlatma kriterlerinin sağlanabilmesi için; optik, ısı ve elektrikli yonden iyi tasarlanmış LED ışık kaynağı kullanan armatürler hedeflenmelidir. LED ışık kaynaklı armatürler, konvansiyonel ışık kaynaklarını kullanan armatürlerde olduğu gibi, konfor ve emniyet açısından gerekli olan minimum aydınlatma kriterlerini sağlamalıdır. Bu kriterlerin sağlanması amacıyla, armatürün kullanılacağı alanlar için geçerli mevcut aydınlatma standartları, teknik dokümanlar

ve öneriler incelenmelidir. Elektronik eleman olma özelliklerinden dolayı, şebekeye olası bozucu etkilerinin de daha detaylı ele alınması gerekmektedir. Bunun yanında, LED ışık kaynağı kullanan aydınlatma sistemlerinin performans ve güvenlik ölçümlerinin yapılabilmesi, kullanılan elemanların ayrı ayrı ve sistem halinde minimum gerekliliklerinin belirlenebilmesi için özel standartlara da ihtiyaç vardır.

Konvansiyonel kaynaklar lamba, armatür gövdesi, optik elemanlar ve genelde bir yardımcı eleman ile çalışırlar. LED'ler ise biraz daha farklı olarak, LED çip, baskı devre, optik elemanlar, sürücü devresi, güç devresi, soğutucu elemanlar ve armatür gövdesi gibi bir çok elemandan oluşur ve bu durum armatür tasarım sürecini zorlaştırır.

LED armatür tasarımına başlarken ilk olarak standart ve önerilerden, armatürün kullanılması amaçlanan aydınlatma tesisatlarında sağlanması gereken aydınlatma kriterleri belirlenmelidir. Daha sonra bu kriterlere uygun armatür tasarım hedefleri saptanmalıdır. Hedeflerin gerçekleştirilmesi aşamasındaki ilk adım, optik tasarımdır. LED'lerin boyut olarak konvansiyonel ışık kaynaklarına göre çok küçük olmaları, LED ışık kaynakları için farklı optik çözümler ve uygun armatür tasarımları gerektirmektedir. Çok küçük





bir yüzeyden yayılan yüksek ışık akısı, kamaşma ve konfor sorunlarına yol açabilmektedir. Gerçekleştirilen optik tasarım ile aydınlatma kriterlerinin sağlanması için gerekli ışık dağılım eğrileri oluşturulur. Gerçek çalışma koşullarında sıcaklığın artması ile LED'lerin, ışık akılarının ve ömürlerinin azaldığı birçok çalışmayla kanıtlanmıştır. Bu nedenle armatür tasarımındaki ikinci adım LED'lere optimum çalışma koşulları yaratılacak şekilde ısıl analizlerin gerçekleştirilmesidir. Optik tasarım armatürün fiziksel yapısını da etkileyeceği için ısıl tasarım, optik tasarımdan sonra gerçekleştirilmelidir. Isıl analizler yapılırken bir yandan maksimum verimin elde edilmesi, diğer yandan da maliyet etkin çözümler üretilmesi amaçlanmalıdır. Elektriksel verim ise LED'lerin birlikte çalışması gereken sürücüler ve güç devreleri ile ilgili bir kavramdır. Uygun sürücünün seçilmesi ve tam yüke yakın çalıştırılması, elektriksel verimi yükseltecek, armatür etkinlik faktörünü arttıracak ve elektriksel kayıpların ısıya dönüşmesini engelleyecektir.

LED modül ve LED'li aydınlatma armatürlerinin performanslarının ölçülmesi konusunda yalnızca ABD'de yayınlanan IES LM 79-08 "Katı Hal Aydınlatma Ürünlerinin Elektriksel ve Fotometrik Ölçümleri", IES LM 80-08 "LED Işık Kaynaklarının Işık Akısı Sürekliliği Ölçümü" adlı standartlar mevcuttur [8, 9]. Teknik bir rapor olan CIE 127:2007 "LED'lerin Ölçümü" ise, sadece "tekil" LED çiplerinin performans ölçümleri için düzenlenmiştir [10]. LED'lerin ölçümleri için kullanılan standartlar ve teknik dokümanlar, "laboratuvar koşulları" için gereklilikleri tanımlamaktadır. Konvansiyonel ışık kaynaklarından farklı olarak, LED'ler sıcaklığa duyarlıdır. LED çip, modül ve armatürün performansı, çalıştığı ortamın çevresel şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden laboratuvar koşullarından uzaklaştıkça, performansları ciddi ölçüde değişmektedir. Mevcut olan bu dokümanlar LED'lerin gerçek çalışma sıcaklıklarında geçerli olabilecek bir ölçüm yöntemi önermemektedir. Sıcaklığın artışı, LED'lerin ışık akılarını, renksel özelliklerini ve ömürlerini negatif yönde etkilemektedir. Aynı şekilde LED çip üreticileri de beyan ettikleri katalog verilerinde, 25°C ortam sıcaklığını temel aldıkları için, direkt olarak bu veriler ile yapılan armatür tasarımları, teorik olarak istenilen aydınlatma kriterlerini sağlasalar da, pratikte hedeflenen değerlere ulaşamamaktadır.

Birçok ışık noktasından oluşan LED aydınlatma armatürlerinin optik özellikleri, ölçümlerde belli kabullerle noktasal kabul edilebilen konvansiyonel ışık kaynaklı armatürlerden farklıdır. Aydınlatma kalite kriterlerinin sağlanmasında kesinlikle sahip olunması gereken "armatür fotometrik verileri"nin elde edilmesi amacıyla, şu an konvansiyonel kaynaklar için tanımlanmış ölçüm yöntemlerinin geçerliliği de, sorgulanması ve acilen çözümlenmesi gereken bir sorundur. Örneğin ışık dağılım eğrisi ölçümlerinde bağlı değerler yerine, mutlak değer ölçümleri önerilmektedir. LED çip performans ölçüm standartlarının yanı sıra, LED'li armatür performans standartlarının da hazırlanması gerekmektedir. Hala belirsiz olan LED ömür tanımında ilk andaki ışık akısının yüzde 30 değer kaybedinceye kadar geçen süre olan  $L_{70}$  tanımı esas alınmalı, bu değer belirlenebilmesi için gerekli, ama henüz mevcut olmayan yöntemler en kısa sürede açıklanmalıdır. Bu tanımlar esas alındığında, yüksek güçlü LED ışık kaynaklarının ömürleri 30 bin saati aşmamaktadır. LED ışık kaynaklı armatürlerde,

diğer kullanımdaki armatürlerdeki gibi lamba değişimi söz konusu olmadığı için ömür tanımının da "armatür ömrü" olarak yapılması daha doğru olacaktır.

## Sonuç

LED ışık kaynaklarının genel aydınlatmadaki kullanımlarının giderek artacağı öngörülmektedir. Günümüzde birçok firma LED çipler kullanarak armatürler geliştirmekte, bu armatürlerin kullanıldığı tesisatlar da gün geçtikçe artmaktadır. Bu süreçlerin iyi yönetilmesi ve düzgün Ar-Ge çalışmaları ile desteklenmesi, başarılı ürünlerin piyasaya çıkmasını ve LED'lere biçilmiş rolün en iyi şekilde yerine getirilmesini sağlayacaktır. LED modüllerin katalog değerlerine dayanılarak, armatür içindeki çalışma koşulları ve kayıpları dikkate alınmadan yapılan armatür tasarımlarının diğer konvansiyonel ışık kaynakları ile karşılaştırılmaları doğru bir yaklaşım değildir. LED ışık kaynaklı bir tesisatın konvansiyonel ışık kaynaklı bir tesisatın yerine kullanılmasına karar verilirken, en az 10 yıllık periyotlar için kapsamlı maliyet analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu analizlerde LED ışık kaynaklarının olumlu çevreci boyutları ve otomasyon sistemleri ile mükemmel uyumları da mutlaka dikkate alınmalıdır.

Herhangi bir konuda standart eksikliği, o alandaki gelişimi ve uygulanabilirliği yavaşlatmaktadır. LED aydınlatma teknolojisi gibi hızla gelişen bir alanda böyle bir durumun gözlemlenmesi, piyasadaki mevcut kalitesiz ürünler, başarısız uygulamalar gibi sorunların yanısıra orta ve uzun dönemde bu teknolojiye karşı güvensizlik ortamını da oluşturabilir. Bu gibi olumsuz durumları önlemek için, doğru ve güvenilir verilere, verileri elde etmek için ölçümlere, doğru ölçümler için de standartlara gereksinim vardır. Çok farklı disiplinlerde çalışmalar gerektiren LED ile aydınlatma standardizasyonunda çalışan organizasyonlar çeşitli olup, bunların standart geliştirme ve yayımlama süreçleri de farklıdır. Bu nedenle, hızla gelişen LED teknolojisi alanında herhangi bir organizasyon tarafından yapılan bir standardın şeffaf ve açık olarak zamanında sunulması, kararların engellenmesi ve araştırmaya açık yönlerin belirlenmesi açısından son derece önemlidir.

## Kaynaklar

- [1] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://www.enerji.gov.tr>
- [2] Elektrik Üretim Sektör Raporu, (EÜAŞ), 2008 [http://www.enerji.gov.tr/yayinlar\\_raporlar/Sektor\\_Raporu\\_EUAS.pdf](http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Sektor_Raporu_EUAS.pdf)
- [3] TEDAŞ, Türkiye Elektrik Dağıtım ve Tüketim İstatistikleri, <http://www.tedas.gov.tr>
- [4] TS EN 12464-1, Işık ve Aydınlatma - İş yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı alandaki iş mahalleri, Ocak 2004
- [5] TS EN 12464-2, Işık ve Aydınlatma - İş yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 2: Bina dışı iş yerleri, Nisan 2008
- [6] LED for Lighting Applications, Mottier P., Wiley, 2009, USA.
- [7] Osram LED, <http://www.osram.com>
- [8] IESNA 2008. LM-79-08 Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products. New York: IESNA
- [9] IESNA 2008. LM-80-08 Approved Method: Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources. New York: IESNA
- [10] CIE 2007. CIE 127:2007 Measurement of LEDs (2nd ed). Vienna: CIE ■