

# ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE VERİMLİ AYDINLATMA TEKNİĞİ DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

Nezih YAPAR / Asuman ÇALIŞKAN  
Trilux Aydınlatma - Sisel Müh. Elektronik San.ve Tic. A.Ş. Yukarı Dudullu Barbaros Cad.  
Kutup Sok. No:18 34775 Ümraniye, İstanbul  
Tel: 0216 499 46 64 E-Mail: nyapar@enda.com.tr

## 1. GİRİŞ

Toplam enerji talebinin büyümesi ile birlikte elektrik enerjisi tüketimi de gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemize ait verilerde 2013 yılı elektrik tüketim miktarının ortalama 245,4 GWh olduğu belirtilmektedir. [1] Bu kapsamda, aydınlatma sistemlerinin toplam elektrik enerjisi tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturduğu görülmekte ve aydınlatmanın payının yaklaşık %20 civarında olduğu ifade edilmektedir.

Elektrik enerjisi tüketim miktarı, kullanım alanlarına göre değerlendirildiğinde özellikle endüstriyel tesislerdeki yüksek tüketim değerleri ve enerji tasarrufu potansiyeli ön plana çıkmaktadır. Bu değerler sadece bir tüketim değeri olarak ele alınmamalıdır; endüstriyel alanlarda toplam sarf edilen enerjide aydınlatmanın payı düşük bir oran olarak görünse bile aydınlatma sistemleri, üretim ve çalışma verimliliğinden iş güvenliğine, görsel konfordan tesis bakım işletme kolaylığına kadar birçok konuyu önemli derecede etkilemektedir.

Bu konular dışında, unutulmamalıdır ki enerji verimliliği ile sadece maddi kazanım değil; karbondioksit salınımının azalması ve sınırlı enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması ile çevre de korunmaktadır.

Endüstriyel tesislerin enerji verimliliği değerlendirilmeleri bu nedenle bir bütün olarak ele alınmalı; sadece elektrik tüketim değerleri dikkate alınarak analizler yapılmamalıdır. Bu kapsamda öncelikle tesisin kullanım amacı ve üretim süreci çok iyi irdelenmelidir.

## 2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Enerji verimliliği harcanan her bir birim enerjinin daha çok hizmet ve ürüne dönüşmesidir.

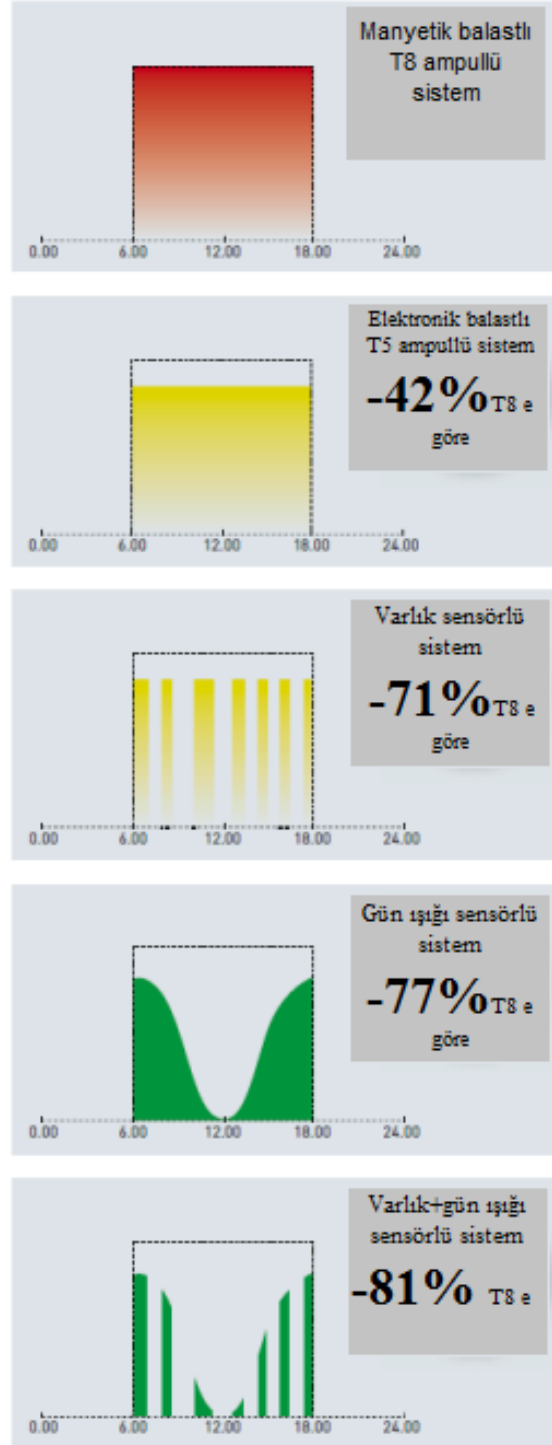
Endüstriyel tesislerde aydınlatmada kullanılan enerji tüketimini azaltma konusunda verimlik ve tasarruf kavramlarını birbirinden ayırmak gereklidir. Enerji tasarrufu, harcanan enerji miktarında azalma ile sağlanırken;

enerji verimliliği yeni teknoloji kullanma yoluyla üretimi, kaliteyi ve performansı düşürmeden, sosyal refahı engellemeden enerji tasarrufu sağlanmasıdır. [2]

Daha verimli ürünlerle oluşturulan bir aydınlatma sistemi aynı zamanda tasarrufu getirebilirken, tasarruf etmek amacıyla yapılan her aksiyon enerji verimliliği anlamına gelmemektedir. Örnek olarak bir üretim alanında yanan 100 adet armatürden 10 tanesini söndürmek ile tasarruf sağlanabilir; ancak bu tasarruf görsel konforu bozuyor ise enerji verimliliği olarak adlandırılmaz.

Endüstriyel tesislerde aydınlatmada verimliliği sağlamak için daha verimli armatür ile reflektör kombinasyonlarının kullanımı ile düşük kayıplı balastların ve yüksek etkinlik faktörüne sahip ampullerin kullanımının önemi büyüktür. Ayrıca bakım, gün ışığından daha fazla yararlanma ve aydınlatma otomasyonu da enerji verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir.

Şekil 2.1’de görüleceği üzere, kullanım alanının özelliklerini de bağlı olarak, manyetik balastlı ürün yerine elektronik balastlı yüksek verimlilikte bir ürünün kullanımı ile %42’ye varan bir tasarruf sağlanabilir; bu oran aydınlatma otomasyonunun katkısıyla %81’e kadar çıkarılabilir.



Şekil 2.1: Armatür, E. balast ve Aydınlatma Otomasyonunun Enerji Verimliliğine Etkisi [3]

### 3. VERİMLİ AYDINLATMA GENEL PROJELENDİRME KRİTERLERİ

Enerji verimliliği değerlendirmelerinde bütünsel bir süreçte analiz edilmesi

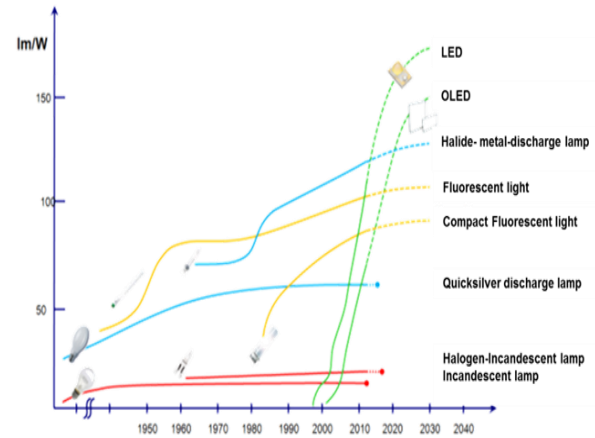
gereken aydınlatma sistemleri için daha önce de belirtildiği üzere öncelikle endüstriyel tesisin kullanım amacı ve üretim süreci çok iyi irdelenmelidir.

Bu kapsamda tesisin toplam aydınlatma ihtiyacı dört ana başlıkta aşağıda ki gibi değerlendirilebilir. Belirtilen aydınlık seviyeleri yaklaşık olarak ifade edilmiştir. Teknik yayınlardan uygulama alanlarına göre sınıflandırılmış en az aydınlık düzeyleri tablolarına bakılarak net değerlere ulaşılabilir.

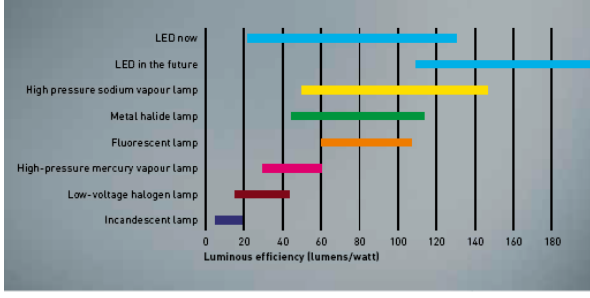
- Üretim alanı genel aydınlatma (üretim alanlarının genel aydınlatması tesisin üretim niteliğine göre ortalama 300lx ve üzerindedir.)
- Üretim alanı lokal aydınlatma (aydınlık seviyesi üretim prosesin özelliğine bağlı olarak farklı değerlerde olabilir.)
- Servis ve ofis alanlarının aydınlatması (depo, koridor, ofis, vs. olarak sınıflandırılacak bu alanlarda ortalama 100-500lx arasında aydınlık seviyesi gerekli olabilir.)
- Dış alan ve çevre aydınlatma (depolama, güvenlik ve servis yolları gibi tesisin dış aydınlatma alanları için ortalama 15-40lx arasında bir aydınlık seviyesi gerekli olabilir.)

Tesisin aydınlık seviyesi ihtiyaçları belirlendikten sonra mutlaka ışık kaynaklarının verimlilik niteliklerine ve projede kullanılacak armatürlerin teknik kriterlerine dikkat etmek gerekmektedir.

Grafik 2.1 ve Grafik 2.2’de görüleceği üzere ışık kaynaklarının verimlilikleri her geçen gün artmaktadır; ancak unutulmamalıdır ki tesislerin aydınlatma sistemleri sadece ışık kaynaklarının verimlilikleri baz alınarak değerlendirilemez. Bu noktada önemli olan ışık kaynağının verimliliği değil aydınlatma armatürü ile birlikte tesis aydınlatma sisteminin verimliliğidir. Örneğin, LED ışık kaynağı günümüzde en verimli ışık kaynakları arasında yer alırken LED ışık kaynaklı bir ürünün verimliliği daha düşük olabilir veya tesisin özelliklerine bağlı olarak farklı ışık kaynaklı bir armatür kullanımı ile daha verimli bir aydınlatma çözüm sağlanabilir.



Grafik 2.1: Işık Kaynaklarının Verimlilik Gelişim Süreci [4]



Grafik 2.2: Işık Kaynaklarının Verimlilik Gelişimi [4]

LED ışık kaynaklı veya değil, aydınlatma armatürleri değerlendirilirken birçok değişken göz önünde bulundurulmalıdır. Bu değişkenlerden en önemlileri şu şekilde sıralanabilir:

- Armatür sistem güç tüketimi  $P(W)$
- Armatür ışık akısı  $\Phi_v$  (lümen)
- Armatür ışık verimi  $\eta_v$  (lümen/W)
- LOR
- Armatür ışık dağılımı ve optik sistem
- Renk Kalitesi (renk sıcaklığı (K), ışık rengi benzer renk sıcaklığı (Tcp), Renksel geriverim endeksi (CRI; colour rendering index, Ra)
- Ortam sıcaklığı
- LED armatürlerin ömür kriterleri (Anma Ömrü (Lx, rated life), Işık akısı azalması hata değeri (By), Toplam ölüm oranı (Cz))

Aydınlatma sistemleri değerlendirilirken ışık kaynaklarının güç tüketimi değil armatür sistem güç tüketimi dikkate alınmalıdır. Özellikle LED ışık kaynaklı ürünler değerlendirilirken yapılan en büyük hatalardan biri armatürün değil LED ışık kaynağının kurulu güç tüketiminin dikkate alınarak hesaplamalar

yapılmasıdır. Örneğin, LED birim ışık kaynağı olarak 40W ile çalışabilir; ancak armatür sistemine entegre edildiğinde kurulu güç 45W olabilir.

Armatür ışık akısı için de yine aynı değerlendirme söz konusudur; ışık kaynağının lümen değeri değil; armatürün ışık akısı dikkate alınmalıdır. Örneğin, LED birim ışık kaynağı olarak 6000lm değerine sahip olabilir; ancak aynı LED'in kullanıldığı LED armatürde armatür verimliliğine bağlı olarak bu değer daha düşük olacaktır.

Armatür ışık verimi (LOR: Light Output Ratio), armatür ışık akısının çektiği güç oranıdır. Tesislerde aydınlatma sistemleri değerlendirilirken en sık yapılan hatalardan biri de ışık kaynaklarının verimliliklerinin dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmasıdır. Bugün, LED'in ışık kaynağı olarak etkinlik değerleri 200lm/W'a kadar çıkmıştır; ancak değerlendirilmesi gereken ışık kaynağının değil armatürün ışık verimidir. Aydınlatma armatürleri yeni teknolojilerle birlikte optik sistemleri, elektriksel ve mekaniksel donanımları ile birlikte ışık kaynaklarının da gelişimine bağlı olarak geliştirilmekte ve ışık verimleri artmaktadır.

Armatür ışık dağılımı ve optik sistemi ise özellikle endüstriyel tesis aydınlatmalarında dikkate edilmesi gereken en önemli konulardan biridir. Proje kriterleri farklı ışık dağılımlarına ve optik sistemlere sahip armatürlerin

kullanımını gerektirebilir. Özellikle LED ışık kaynaklı ürünlerde kamaşma değerlerine dikkat edilmelidir. Armatürlerde kullanılacak yenilikçi optik sistemler ile kamaşma değerlerinin standartlara uygun olduğu mutlaka kontrol edilmelidir. Kamaşma değerleri, sadece görsel konforu değil iş güvenliğini ve çalışma verimliliğini de önemli derecede etkilemektedir.

Aydınlatma sistemlerinde değerlendirilmesi gereken diğer en önemli konu ise renk kalitesidir. Bu konuda en temelde dikkat edilmesi gereken noktalar arasında renk sıcaklığı (Kelvin) ve renksel geriverim endeksi gelmektedir (CRI, Ra). Endüstriyel tesislerde tesisin niteliğine göre aydınlatma armatürlerinin 4000K ile 6000K arasında renk sıcaklığına sahip olması önemlidir. Armatürün kullanılacağı alana göre Avrupa normlarında (EN 12464) bu değerler açıkça belirtilmektedir. Renk sıcaklığı konusunda özellikle LED ışık kaynaklarındaki çeşitliğin fazla olması nedeni ile gruplama aralıklarına (binning) dikkat edilmelidir. Örneğin, 4000K olduğu belirtilen LED aydınlatma armatüründe kullanılan LED 4000K-4800K arasındaki LED'lerden seçilerek kullanılabileceği gibi LED kalitesine bağlı olarak bu gruplama 4000K-4200K ile daha dar bir aralıkla da uygulanabilir ve daha doğru sonuçlar elde edilebilir.

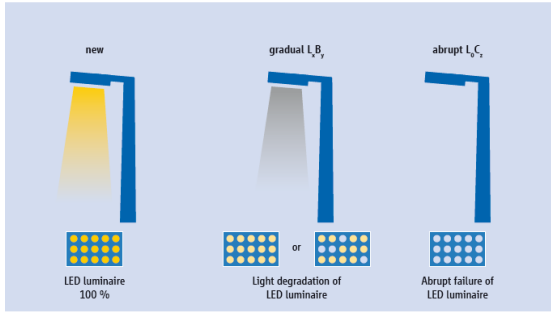
Işık rengi, tayfsal ışınım dağılımının, gözün, ışığı fark ettiği bölümünde ortaya

çıkılmaktadır. Işık kaynaklarının renk üzerindeki etkisi renksel geriverim endeksi (CRI) ve renk sıcaklığı değerleri ile belirtilebilmektedir. Renksel geriverim endeksi, ışık kaynağının objenin renklerini gerçeğe yakın olarak yansıtması olarak tanımlanmaktadır. Işık kaynağının renksel geriverim endeksi Ra ile ifade edilmekte ve gün ışığı baz alınmaktadır. Ra=100 olan ışık kaynağı, renkleri en iyi şekilde yansıtan kaynaklar olarak bilinmektedir. Endüstriyel tesislerde standartlara göre aydınlatma armatürlerinin renksel geriverim endeksleri Ra > 80 olması gerektiği belirtilmektedir.

Ortam sıcaklığı, armatür ömrünü ve performansını etkileyen en önemli değişkenlerden biridir ve bu nedenle aydınlatma sistemleri değerlendirilirken ortam sıcaklığı konusu da mutlaka analiz edilmelidir. Örneğin LED ışık kaynaklı bir aydınlatma armatürünün 45 °C'de çalışma ömrü 50.000 saat olarak ifade edilirken, 25 °C'de 100.000 saat olarak belirtilebilir. Bu noktada önemli olan aydınlatma armatürünün çalışma ömrünün belirtilmesi tek başında yeterli değildir; söz konusu değerlendirmenin kaç derece ortam sıcaklığında geçerli olacağı da dikkate alınmalıdır.

Özellikle LED ışık kaynaklı armatürlerin uzun ömürleri ile ön plana çıkmaları ile birlikte ömür kriterleri daha da önem kazanmıştır. Çalışma ömrüne ve armatür performansına ilişkin değerlendirmeler yapılırken en azından Lx anma ömrü -

çalışma ömrü performans grubu, By ışık akısı azalma hata değeri ve Cz toplam başarısızlık oranı kriterleri mutlaka incelenmelidir. [5] Örneğin, Resim 2.2’de kullanılan LED ışık kaynaklı bir armatürün ilk kullanım durumu %100 performans ile birinci sıradaki görselde tariflenmiştir. 2. sıradaki görselde ise Lx ve By değerleri ile belirtilen çalışma ömrü sonundaki armatür durumu ifade edilmektedir. [5] Örneğin, ilgili ürün için belirtilen değerler L80, B10 50.000 saat ise; bu armatürün verimliliği 50.000 saat sonunda %20 azalacak (L80); LED’lerin %10’u ise belirtilen bu verimlilik değerini karşılamayabilecektir (B10).



Resim 2.2 LED Armatür Performans Azalma ve Hata Değeri Durumları [5]

LED ışık kaynaklı aydınlatma armatürleri değerlendirilirken bu kriterler mutlaka sorgulanmalıdır ve L80, B10 değerlerine sahip aydınlatma armatürleri tercih

edilmelidir. Eğer By değeri verilmiyor ise B50 olarak dikkate alınabilir. Bu durumda belirtilen ömür sonunda armatür verimliliği belirtilen Lx değerinin %50 altında olacaktır.

Bu konuya ek olarak LED armatürlerin çalışma ömür kriterleri aydınlatma hesabı bakım faktörünü de direkt olarak etkilemektedir.

Tablo 2,1’de görüleceği üzere aydınlatma hesapları yapılırken, L80-B10 değeri için bakım faktörü 0.85 alınırken, L70-B50 değeri için 0,70 alınmalı; retrofit ürünlerde ise ortalama değerler L50-B50 olduğundan bakım faktörünün 0,50 olarak alınması gerekmektedir. Proje kriterlerine bağlı olarak yapılan aydınlatma hesaplarında bu değerler mutlaka kontrol edilmeli ve aydınlatma armatürleri arasında doğru bir karşılaştırma yapılmalıdır. Aksi durumda yapılan aydınlatma hesabı gerçekçi olmayacak; aksine yanıltıcı olacaktır.

Bemessungs- lebensdauer		Kennwerte Lx By	Betriebsdauer in 1000 h																				
			1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
L80	50.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,87	<b>0,85</b>	0,84	0,82	0,81	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,72	0,70
B10		LSF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
L80	100.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,87	0,87	0,86	<b>0,85</b>
B10		LSF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L80	50.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	<b>0,80</b>	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60
B50		LSF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98
L80	100.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	<b>0,80</b>
B50		LSF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
L70	50.000 h	LLMF	0,99	0,97	0,95	0,92	0,90	0,87	0,84	0,82	0,79	0,77	<b>0,74</b>	0,71	0,69	0,66	0,64	0,61	0,58	0,56	0,53	0,51	0,48
B10		LSF	1	1	1	1	1	1	1	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98
L70	100.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,90	0,88	0,87	0,86	0,84	0,83	0,82	0,81	0,79	0,78	0,77	0,75	<b>0,74</b>
B10		LSF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
L70	50.000 h	LLMF	0,99	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	<b>0,70</b>	0,67	0,64	0,61	0,58	0,55	0,52	0,49	0,46	0,43	0,40
B50		LSF	1	1	1	1	1	1	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98
L70	100.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,81	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,72	<b>0,70</b>
B50		LSF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
L70	35.000 h	LLMF	0,99	0,96	0,91	0,87	0,83	0,79	0,74	<b>0,70</b>	0,66	0,61	0,57	0,53	0,49	0,44	0,40	0,36	0,31	0,27	0,23	0,19	0,14
B50 (z. B. Retrofit)		LSF	1	1	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,9	0,86	0,82	0,77	0,72	0,67	0,62	0,57	0,52	0,47	0,42	0,37	0,30
L50	50.000 h	LLMF	0,99	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	<b>0,50</b>	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	0,00
B50 (z. B. Retrofit)		LSF	1	1	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,95	0,90	0,80	0,60	0,40	0,20	0,00
L50	100.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85	0,83	0,80	0,78	0,75	0,73	0,70	0,68	0,65	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53	<b>0,50</b>
B50		LSF	1	1	1	1	1	1	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97
L50	35.000 h	LLMF	0,99	0,93	0,86	0,79	0,71	0,64	0,57	<b>0,50</b>	0,43	0,36	0,29	0,21	0,14	0,07	0,00						
B50 (z. B. Retrofit)		LSF	1	1	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,35	0,20	0,00						

Tablo 2.1 LED Armatürler için Aydınlatma Hesabı Bakım Faktörü Karşılaştırma Tablosu, Trilux, CIE, ZVEI Planlama Notları [6]

LED armatürlerin performans sertifikasyonun farklı olduğu unutulmamalı; 2015 yılı itibari ile ENEC Plus sertifikasının da yeni bir standart belgesi olarak tanımlanacağı ve LED ışık kaynaklı armatürlerde sorgulanması gerekmektedir.

Tüm bu kriterler dışında, tesisin ortam koşullarına uygun koruma sınıflı armatürlerin seçilmesi de önemlidir. Üretici firmalar tarafından belirtilen koruma sınıfı değerlerinin (IPxx; neme ve toza karşı dayanım; IKxx darbelere karşı dayanım) standartlara uygunluğu da kontrol edilmelidir.

#### 4. SONUÇ

Aydınlatmanın enerji verimliliğine etkisi sadece elektrik tüketim oranı ile değil iş güvenliği başta olmak üzere çalışma ve üretim verimliliğine kadar birçok

değişken üzerindeki etkisi ile ön plana çıkmaktadır.

Işık kaynaklarının gelişimi ile birlikte aydınlatma armatürleri de sürekli bir gelişim süreci içerisinde. Bu kapsamda aydınlatma sistemleri değerlendirilirken doğru karşılaştırmalar yapılmalı; verimli aydınlatma genel projelendirme kriterleri dikkate alınarak analizler yapılmalıdır.

Enerji verimliliği çalışmalarında özellikle LED ışık kaynaklı armatürlerin kullanımının yaygınlaşması ile birlikte doğru sonuçlar elde edebilmek için birim LED değer; profesyonel aydınlatma armatürleri değerlendirilmelidir. Unutulmamalıdır ki her LED bir aydınlatma çözümü değildir.

Aydınlatma çözümleri bütünsel bir yaklaşımla değerlendirilmeli ve özellikle endüstriyel tesislerde tüketici aydınlatma

ürünleri ile değil profesyonel aydınlatma armatürlerinin kullanımı sistem çözümleri sağlanmalıdır.

## **KAYNAKÇA**

[1] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>

[2] S. Onaygil, “LED’li Yol Aydınlatması ve Enerji Verimliliği”, 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, 23-24 Mayıs 2013, İstanbul.

[3] Trilux New Light For Industry Catalogue, 2013

[4] Trilux LED Guide Catalogue, 2013-2014

[5] ZVEI-German Electrical and Electronic Manufacturers’ Association Lighting Division, Guide to Reliable Planning with LED Lighting, Almanya, 2013.

[6] Trilux Akademi, CIE ve ZVEI, LED Armatürler için Aydınlatma Hesabı Bakım Faktörü Karşılaştırma Tablosu, 2013.