

# ENDÜSTRİDE TAVAN YÜKSEKLİĞİNE BAĞLI AYDINLATMA ÇÖZÜMLERİ

Sermin ONAYGİL<sup>1</sup> Önder GÜLER<sup>1</sup> Emre ERKİN<sup>1</sup> Engin CEBECİ<sup>2</sup>  
onaygil@itu.edu.tr onder.guler@itu.edu.tr erkinem@itu.edu.tr engin.cebeci@philips.com

<sup>1</sup>İTÜ Enerji Enstitüsü, Enerji Planlaması ve Yönetimi Anabilim Dalı, Maslak, İstanbul  
<sup>2</sup>Türk Philips Tic. A.Ş., Aydınlatma, PK.2 İMES 34778, Ümraniye, İstanbul

## ÖZET

*Bu çalışmada kaliteli bir aydınlatmanın elemanları ve sağlaması gereken özellikler hakkında bilgiler verilerek, tavan yüksekliği 6 metre ila 12 metre arasında olan endüstriyel üretim hollerinde farklı tip aydınlatmalar karşılaştırılmış ve birbirlerine göre üstünlük ve sakıncaları ortaya konularak söz konusu yükseklikler için enerji verimliliği, yatırım ve işletme maliyetleri açısından optimum çözümlere ulaşılmaya çalışılmıştır. Örnek ve kolay uygulanabilir uygulamalar yaratılması amacıyla sanayi tipi direk ışık dağılımlı armatürler içinde tüp floresan, yüksek güçlü kompakt floresan, metal halojen, seramik deşarj tüplü metal halojen, rengi düzenlenmiş yüksek basınçlı sodyum buharlı, yüksek basınçlı civa buharlı ve endüksiyon lambaları kullanılarak farklı tesisat çözümleri oluşturulmuştur. 40 m x 16 m boyutlarındaki bir üretim holünde 7, 8, 9, 10, 11 ve 12 metrelik montaj yükseklikleri için ortalama 100, 200, 300 ve 500 lux aydınlık düzeyleri ve gerekli diğer aydınlatma kalite kriterlerini sağlayacak şekilde tasarım hesapları yapılmıştır. Tüm aydınlık düzeyi ve yüksekliklerde en az enerji tüketen tesisatlar seramik deşarj tüplü metal halojen lambalı olanlar olmuştur. Montaj yüksekliği ve istenilen aydınlık düzeyi değerleri arttıkça rengi düzenlenmiş yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar da iyi bir alternatif olmaktadır. On yıllık toplam maliyetler dikkate alındığında ise, tüp floresan lambalı tesisatların her durumda en maliyet-etkin çözüm olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, yoğun bir şekilde sürdürülen “enerji verimliliği” çalışmalarında endüstri aydınlatma tesisatları değerlendirilirken sadece lambaların teknik özelliklerine göre kararlar verilmesinin doğru olmadığı, uygun ışık kaynaklarının kaliteli armatürler içinde kullanıldığı detaylı tasarımlara ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır.*

## 1. GİRİŞ

Net bir ölçüm sonucu olmamasına rağmen, ülkemizde tüketilen elektrik enerjisinin %20 sinin aydınlatma amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. Enerji temininde, özellikle elektrik enerjisi üretiminde yaşanan sorunlar göz önüne alındığında, aydınlatmada gerçekleştirilebilecek enerji tasarrufunun önemi kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

Elektrik enerjisi tüketiminin sektörlere göre dağılımına bakıldığında, endüstrinin %47,6 değerinde en büyük paya sahip olduğu görülmektedir [1]. Endüstride kullanılan diğer enerji çeşitleri içinde elektrik enerjisinin ve bunun içinde de aydınlatmanın payı, yapılan üretim cins ve tekniklerine bağlı olarak sektörlere göre değişmektedir. Elektrik enerjisi maliyetinin ve bütçesinin diğer enerji çeşitlerine göre yüksek olması, enerji verimliliği çalışmalarında elektrik enerjisi tüketen sistemler üzerinde yoğunlaşılmasına neden

olmaktadır. Enerji Verimliliği Kanunu kapsamında gerçekleştirilen önemli teşvik uygulamalarından biri olan Verimlilik Artırıcı Proje (VAP) çalışmalarında da elektrik enerjisi tasarrufları öncelikli olarak değerlendirilmektedir [2,3]. Tüm dünyada yaşanan ekonomik zorluklar, artan elektrik enerjisi fiyatları ve rekabet koşulları düşünül-düğünde, sanayici açısından ürün maliyetinde sağlanabilecek küçük yüzdeli azalmalar bile önemli olmaktadır. Şüphesiz tüm enerji verimlilik çalışmalarında olduğu gibi aydınlatmada da tasarruf, çalışma emniyet ve konfor koşullarından ödün verilmeden yapılmalıdır. Kaliteli bir aydınlatma ile iş verimi yükseltip, hatalı ürün ve iş kazası sayıları azaltılabildiğinden, maliyet hesaplarında bu faydaların da dikkate alınması ve son kararların bu veriler ışığında verilmesi gerekmektedir. Amaç ülke enerji yoğunluğunun veya daha özel olarak tesis özgül enerji yoğunluğunun düşürülmesi olduğundan, üretim miktar ve kalitesindeki artışların maddi getirileri,

enerji tüketim maliyetlerinin azaltılmasında önemli etkenler olacaktır.

Endüstri tesislerinde amaç, görme koşullarını iyileştiren düzeyde düzgün ve kamaşmasız bir aydınlatma yaratılması olmalıdır. Bu da amaca uygun ışık kaynağı, armatürlerin doğru seçimi ve yerleştirilmeleri ile mümkün olmaktadır. Üretim hollerinin genel aydınlatmaları için çizgisel ve noktasal olmak üzere iki temel tip çözüm önerilmektedir. Çizgisel çözüm için önerilen armatürler genellikle tüp floresan ışık kaynaklı armatürlerdir. Noktasal çözümler ise, daha çok yüksek tavanlı hacimlerde içlerinde yüksek güçlü noktasal ışık kaynakları bulunan sanayi tipi armatürlerle gerçekleştirilmektedir. Ancak son yıllarda tüp floresan lamba ve armatür reflektör tekniğinde gerçekleşen teknolojik ilerlemeler ile bu tip ışık kaynakları ile de yüksek tavanlarda çözümler yaratılabilmektedir. Bir endüstri tesisinde hangi tip armatürün kullanılacağını belirleyen en önemli faktör tavan yüksekliğidir. Tesisat tipine karar verilirken “tavan yüksekliği” önemli bir parametredir. Tavan yüksekliği 6 metreden düşük olan tesislerde çizgisel, 12 metreden yüksek olanlarda noktasal ışık kaynaklı çözümlerin uygulanması önerilmektedir. Tavan yüksekliği 6 metre ila 12 metre arasında olduğunda ise, hem çizgisel, hem de noktasal ışık kaynaklı tesisatlar kullanılabilir. Seçimin endüstri tipine, ortam ve bakım koşullarına bağlı olarak gerekli lamba karakteristik değerlerine göre yapılması gerektiği söylenen bu tavan yüksekliklerinde, doğru tesisatlara karar verebilmek için yol gösterici uygulamalara ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada kaliteli bir aydınlatmanın elemanları ve sağlanması gereken özellikler hakkında bilgiler verilerek, tavan yüksekliği 6 metre ila 12 metre arasında olan endüstriyel üretim hollerinde farklı tip aydınlatmalar karşılaştırılmış ve birbirlerine göre üstünlük ve sakıncaları

ortaya konularak söz konusu yükseklikler için enerji verimliliği, yatırım ve işletme maliyetleri açısından optimum çözümlere ulaşılmaya çalışılmıştır.

## **2. AYDINLATMA ELEMANLARI VE TASARIM ÖNERİLERİ**

Endüstri tesislerinde kullanılacak ışık kaynaklarının etkinlik faktörleri yüksek ve ömürleri uzun olmalıdır. Kirlenmenin de fazla olduğu geniş hacimli üretim hollerinde tavan ve duvarlardan yansıyan ışığın katkısı yok denecek kadar az olduğu için armatürler direkt ışık dağılımlı olmalıdır. Armatürler ayrıca, ortamda olası toz, kir, nem ve patlayıcı gazlara karşı korunmalı, elle dokunulabilecek mesafelerde olanlar ise tamamen izole olmalıdır.

Daha önce de ifade edildiği gibi, endüstriyel tesislerde üretim hollerinin genel aydınlatmaları için tavan yüksekliğine bağlı olarak çizgisel ve noktasal olmak üzere iki temel tip çözüm olasıdır.

Çizgisel çözümler tüp şeklinde floresan lambalarla gerçekleştirilmektedir. Etanj duylu lambaların çıplak ya da reflektörlü, kapaklı olarak tekli ya da ikili yerleştirildiği armatürler genelde sürekli veya aralıklı olarak bant şeklinde tesis edilmektedir. Besleme kablolarının geçirilip, balast ve ateşleyici gibi yardımcı elemanların monte edilebildiği bant şeklindeki askı düzenleri bakım ve montaj çalışmaları açısından büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Işığı çalışma düzlemlerine yönlendiren reflektör düzenekleri de aydınlatmanın verimini önemli ölçüde artırmaktadır. Endüstri tesislerinde çizgisel ışık kaynakları olarak kullanılacak tüp floresan lambaların karakteristik özelliklerine örnekler vermek için Tablo 1 düzenlenmiştir.

Tablo 1. Endüstri tesislerinde kullanılabilen tüp floresan lambaların karakteristik değerleri

Çap (mm)	Lamba tipi	Güç (W)	Işık Akısı (lm)	Etkinlik faktörü (lm/W)*	Renk sıcaklığı (K°)	Renksel geriverim (R <sub>a</sub> )	Ekonomik ömür (saat)
38	40W/54	40	2500	63	6200	70	5000 <sup>1</sup>
	40W/33	40	2850	71	4100	60	
	65W/33	65	4650	72			
26	36W/54	36	2500	69	4000	85	10000 <sup>1</sup>
	36W/840	36	3250	90			
	32W/840	32	3250	102			
	58W/840	58	5000	86			20000 <sup>2</sup>
	51W/840	51	5000	98			
16	14W/840	14	1200	86	4000	85 ≤	20000 <sup>2</sup>
	21W/840	21	1900	90			
	24W/840	24	1750	73			
	28W/840	28	2600	93			
	35W/840	35	3300	94			
	39W/840	39	3100	79			
	49W/840	49	4300	88			
	54W/840	54	4450	82			
80W/840	80	6150	77				

\* Balast kayıpları hariç <sup>1</sup> manyetik balast <sup>2</sup> elektronik balast

Tablo 1'deki etkinlik faktörü değerleri balast kaybı dikkate alınmadan hesaplanmıştır. Şüphesiz gerçek değer lampa gücü ile birlikte balast gücü de dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Bu nedenle, floresan lambalı aydınlatma sistemlerinin verimliliği beraber kullanılan balast cins ve kalitelerine de bağlıdır. Tablo 2'de Uluslararası Enerji Verimliliği Endeksi (Energy Efficiency Index – EEI)

ne göre 26 mm çaplı tüp floresan lambalarla kullanılacak balast sınıfları ve güç sınırlamaları verilmektedir. Tablo 3'de ise aynı değerler 16 mm çaplı tüp floresan lambalar için gösterilmektedir. Tablolardaki B1, B2, C ve D sınıfları manyetik balastları, A1, A2 ve A3 sınıfları ise elektronik balastları ifade etmektedir. Elektronik balastlardan A1 sınıfı loşlaştırılabilir tipi temsil etmektedir [4].

Tablo 2. 26 mm çaplı tüp floresan lambalar için balast sınıfları ve güç sınırlamaları

Fluoresan Lamba Gücü (W)	Fluoresan Lamba ve Balast Devresi Gücü (W)						
	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
18	10,5	≤19	≤21	≤24	≤26	≤28	>28
36	19	≤36	≤38	≤41	≤43	≤45	>45
58	29,5	≤55	≤59	≤64	≤67	≤70	>70

Tavan yüksekliği 12 m'den daha fazla olan endüstriyel tesislerde gerekli aydınlatma koşullarını sağlamak için noktasal ışık kaynaklı çözümler uygulanmaktadır. Bu uygulamalarda yüksek ışık akısı deşarj lambaları genellikle sanayi tipi diye adlandırılan direkt aydınlatma armatürleri içinde kullanılmaktadır. Noktasal çözümlerde kullanılacak lampa

tiplerine örnekler Tablo 4'de verilmektedir. Yeni uygulamalarda büyük güçlü tüp floresan lambalarla oluşturulan noktasal tesisatlar da söz konusudur. Ancak tüp floresan lambaların karakteristik özellikleri çizgisel çözümlerde detaylı olarak incelendiği için, bu bölümde tekrar edilmemiştir

Tablo 3. 16 mm çaplı tüp floresan lambalar için balast sınıfları ve güç sınırlamaları

Fluoresan Lamba Gücü (W)	Fluoresan Lamba ve Balast Devresi Gücü (W)		
	A1	A2	A3
14	9,5	17	19
21	13	24	26
24	14	26	28
28	17	32	34
35	21	39	42
39	23	43	46
49	29	55	58
54	31,5	60	63
80	47,5	88	92

Tablo 4. Noktasal aydınlatmada kullanılabilen lambaların karakteristik değerleri

Lamba tipi	Lamba gücü (W)	Işık Akısı (lm)	Etkinlik Faktörü (lm/W)*	Ekonomik Ömür** (saat)	Renksel geriverim (R <sub>a</sub> )
Yüksek basınçlı civa buharlı lamba	125	6200	45	4000	40-60
	250	12700	47		
	400	22000	52		
Metal halojen lamba	250	18000	71	6000-9000	70-80
	400	32500	80		
Seramik deşarj tüplü metal halojen lamba	70	6300	77	9000	90
	100	8800	80		
	150	14200	81		
	250	23000	81		
Rengi düzenlenmiş yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba	150	12500	74	12000	65
	250	23000	80		
	400	38000	89		
Endüksiyon lambaları	165	12000	73	60000	80
Kompakt Floresan Lamba	120	9000	75	12000	80

\* Etkinlik faktörü balast kaybı dikkate alınarak hesaplanmıştır.

\*\* Işık akısının %30 değer kaybettiği ana kadar geçen süre.

Tablodan ışık akıları, etkinlik faktörleri, renksel geri verim özelliklerinin düşük, ömürlerinin de kısa olduğu görülen yüksek basınçlı civa buharlı lambaların verimli aydınlatma çözümlerinde kullanılmasının uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Günümüzde yüksek tavanlı endüstriyel tesislerin genel üretim holü aydınlatmalarında metal halojen lambalar sıklıkla kullanılmaktadır. Canlı ve ferah çalışma ortamlarının yaratılması istendiğinde renk özellikleri çok iyi olan seramik deşarj tüplü metal halojen lambalar da iyi bir seçenek olmaktadır. Renksel geri verim özelliğinin çok önemli olmadığı uygulamalarda ise

ömürleri daha uzun, yanma konumları sorunsuz olan rengi düzenlenmiş yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar enerji verimliliği açısından göz ardı edilmemesi gereken ışık kaynaklarıdır. Bakım çalışmalarının zorlaştığı çok yüksek tavanlı hacimlerde, günümüzde endüksiyon lambalarının kullanımı da başlamıştır. Ayrıca sanayi tipi armatürlerin içinde yüksek güçlü kompakt floresan lambalar ile yine yüksek güçlü tüp floresan lambaların dörtlü olarak kullanıldığı endüstriyel armatürler de yüksek tavanlı üretim holleri için uygun çözümler olabilmektedir.

Tavan yükseklikleri 6 ila 12 metre arasında olan endüstri tesislerinin aydınlatma tesisatlarında bahsedilen tüm ışık kaynakları kullanılabilir. Enerji verimliliği ve maliyetler düşünülerek farklı yükseklikler ve aydınlık düzeyleri için renk ve çalışma koşulları da dikkate alınır, en uygun çözümlerin bulunması gerekmektedir.

### 3. TAVAN YÜKSEKLİĞİNE BAĞLI AYDINLATMA ÇÖZÜMLERİ

Endüstri sektöründe çok hassas olanlardan ağır kaba işlere kadar değişik işlerin yapıldığı küçük atölyelerden başlayıp, büyük fabrika hollerine kadar uzanan farklı çalışma hacimleri yer almaktadır. Yapılan işin hassasiyetine göre, sağlanması gereken aydınlık düzeyi değerleri değişmektedir. Uluslararası standart ve önerilerde, görüş koşulları ve tesisatın ekonomikliği esas alınarak belirlenmiş değişik hacimlerde olması gereken optimum aydınlık düzeyi değerleri verilmektedir. Avrupa Birliği'nce 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 ve Nisan 2008'de yayınlanmıştır [5,6]. Söz konusu standartlarda iyi bir aydınlatmada sadece yeterli ortalama aydınlık düzeylerinin yaratılması değil, bunun yanı sıra aydınlık düzeyi ve parlaklığın 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.

İlgili standart incelendiğinde, endüstri tesislerinde sağlanması gereken aydınlık düzeyleri için 100, 200, 300 ve 500 lux değerlerindeki aydınlık düzeylerinin genel uygulamalar için örnek olabileceği ortaya çıkmaktadır. Tüm bu bilgiler ışığında, bu çalışmada 40 m x 16 m boyutlarındaki bir üretim holünde 7, 8, 9, 10, 11 ve 12 metrelik montaj yükseklikleri için ortalama 100, 200, 300 ve 500 lux aydınlık düzeyleri ve gerekli diğer aydınlatma kalite kriterlerini sağlayacak şekilde tasarım hesapları yapılmıştır. İşletme koşullarındaki genel kirlilik oranları dikkate alınarak bakım işletme faktörü 0,8 olarak alınmış, daha genel bir yaklaşım ile zemin çalışma düzlemi olarak kabul edilmiştir.

Örnek ve kolay uygulanabilir uygulamalar yaratılması amacıyla sanayi tipi direk ışık dağılımlı armatürler içinde tüp floresan, yüksek güçlü kompakt floresan, metal halojen, seramik deşarj tüplü metal halojen, rengi düzenlenmiş yüksek basınçlı sodyum buharlı, yüksek basınçlı civa buharlı ve endüksiyon lambaları kullanılarak farklı tesisat çözümleri oluşturulmuştur.

Tasarım hesaplarında son derece etkili olan armatür fotometrik özelliklerinin neden olabileceği farklılıkları ortadan kaldırıp, sadece değişik lamba tiplerinin karşılaştırılabilmesi için noktasal tüm ışık kaynakları verimi yaklaşık %80 olan aynı sanayi tipi armatürün içine yerleştirilmiştir. Sadece tüp floresan lambalarda lamba boyutları nedeni ile farklı armatürler kullanılmıştır (Şekil 1). Bu armatürlerin verimleri de %80 civarındadır. Hesaplarda kullanılan tüm armatürlerin ışık yayan yüzeyleri açık olup, koruma sınıfları ayındır. Maliyet hesaplarında veri olarak kullanılan lamba ve balast dahil armatür fiyatları Tablo 5'de verilmektedir. Tabloda ayrıca lamba güçleri, ışık akıları ve lamba sayısı ile balast kayıpları dikkate alınarak toplam armatür güçleri de gösterilmektedir.



Şekil 1. Sanayi tipi ve tüp fluoressan armatürler

Tablo 5. Tasarım hesaplarında kullanılan armatür ve lamba tipi, özellikleri ve fiyatları

Armatür Kodu	Lamba Tipi	Lamba Gücü (W)	Işık Akısı (lm)	Armatür Gücü (W)	Armatür Fiyatı (TL)
TF251	2 adet 26 mm Tüp Fluoresan	51	5000	102	174,70
TF454	4 adet 16 mm Tüp Fluoresan	54	4450	236	394,45
END165	1 adet Endüksiyon Lambası	165	12000	165	1563,00
KFL120	1 adet Kompakt Fluoresan	120	9000	133	750,00
SDMH150	1 adet Seramik Deşarj T. Met. Hal.	150	14200	167,5	689,19
SDMH250	1 adet Seramik Deşarj T. Met. Hal.	250	23000	268	824,00
MH250	1 adet Metal Halojen	250	18000	276	650,00
MH400	1 adet Metal Halojen	400	32500	429	688,00
YBSB250	1 adet Yüksek Basıncılı Sodyum B.	250	23000	276	654,00
YBSB400	1 adet Yüksek Basıncılı Sodyum B.	400	38000	429	721,00
YBCB250	1 adet Yüksek Basıncılı Civa B.	250	12700	268	317,00
YBCB400	1 adet Yüksek Basıncılı Civa B.	400	22000	419	340,00

Altı farklı yükseklikte yapılan tasarım hesapları ile ortalama 100, 200, 300 ve 500 lx aydınlık düzeylerini sağlayabilecek tesisatlar belirlenip, birim m<sup>2</sup> başına kurulu güçler hesaplanmıştır. Aynı hacimde farklı lamba/armatür elemanları ile gerekli aydınlık düzeylerinin istenilen düzgünlük koşulları sağlanacak şekilde yaratılması için tasarımlar yapılırken, armatür sayı ve yerleşim planlarında farklılıklar ortaya çıkabilmektedir. Buna bağlı olarak, hepsi ±%10 sınırında kalmasına rağmen yaratılan aydınlık düzeyleri de farklı olabilmektedir. Karşılaştırmaların doğru olarak yapılabilmesi için birim m<sup>2</sup> başına hesaplanan kurulu güçler, birim lux başına olmak üzere de normalize edilmiştir. Bu yaklaşımlar ile elde edilen sonuçlar Şekil 2'de sağlanan aydınlık düzeyleri değişken alınarak grafik olarak gösterilmektedir.

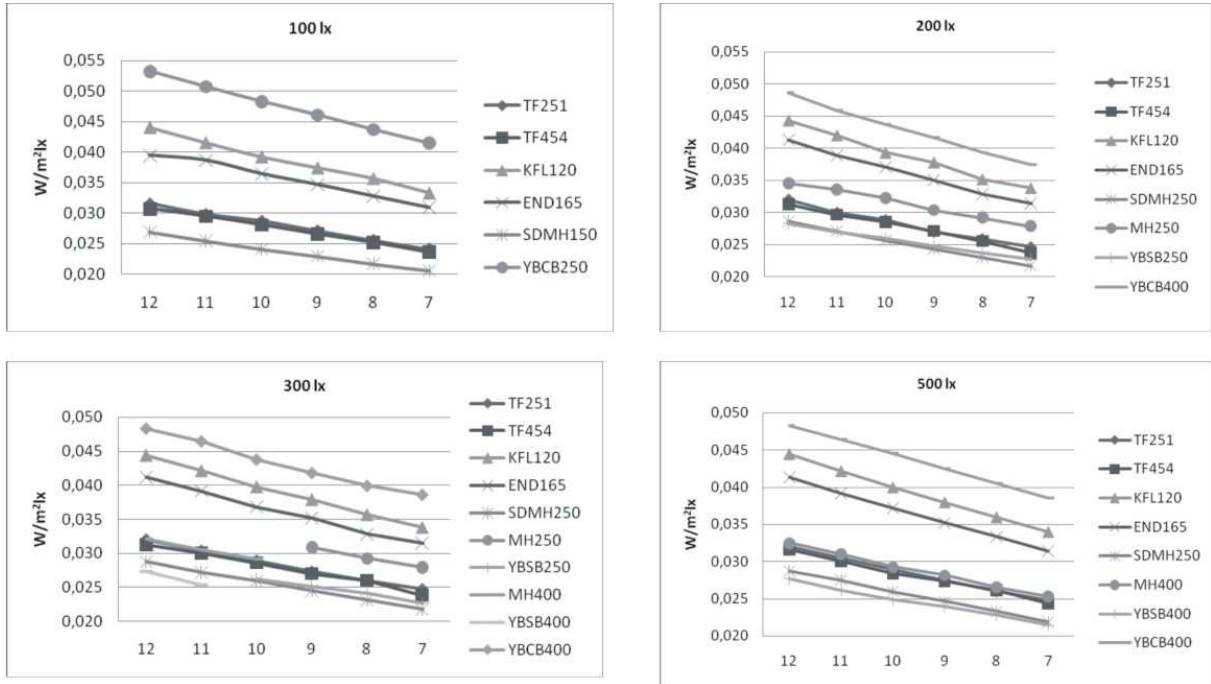
Yürütülen enerji verimliği çalışmalarında temel amaç, endüstri tesislerinde istenilen aydınlatma kalite kriterlerini en düşük elektrik enerjisi harcayarak sağlayabilen tesisatlara ulaşmak olduğu için, sistemlerin

elektrik enerjisi tüketimlerini karakterize eden ve Şekil 2'de gösterilen W/m<sup>2</sup>.lux değerlerine göre, elde edilen tesisat çözümleri gözden geçirilmiş, enerji tüketimi açısından verimsiz olanlar elenerek, maliyet hesapları enerji verimli çözümler için gerçekleştirilmiştir.

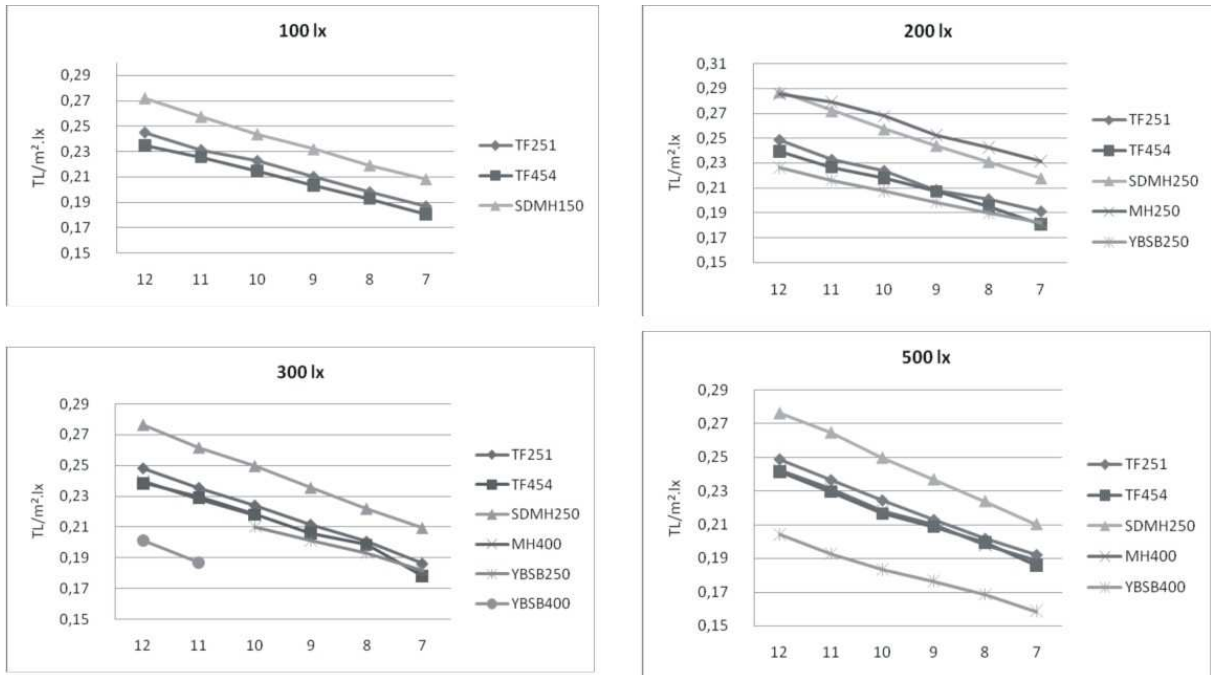
Bu çalışmada esas alınan teknik ve mali bilgilere göre gerçekleştirilen tasarım hesapları sonucunda enerji verimli olarak ortaya çıkan aydınlatma tesisatlarının yine birim m<sup>2</sup> ve birim lux başına 10 yıl kullanım süresi boyunca kurulum ve elektrik enerjisi tüketimi ve lamba değişimini esas alan işletme maliyetlerini içeren toplam maliyetleri hesaplanmıştır. Kurulum maliyetleri sadece Tablo 5'de verilen lamba, balast, armatür satın alma maliyetlerine göre hesaplanmış olup, kablo ve işçilik maliyetleri dikkate alınmamıştır. Tesisatların yılda 300 gün, günde 24 saat olarak yılda 7200 saat kullanıldığı ve sistemlerde otomasyon olmadığı kabul edilmiştir. Yıllık faiz oranı %15, elektrik

enerjisi birim fiyatı da 0,18 TL/kWh olarak alınmıştır. Sonuçlar yine sağlanan aydınlık

düzeylerine bağlı olarak yüksekliklere göre Şekil 3'de grafik olarak verilmektedir.



Şekil 2. Birim alan ve birim aydınlık düzeyi için tesisat kurulu güçleri



Şekil 3. Birim alan ve birim aydınlık düzeyi için on yıllık toplam maliyetler

#### 4. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Birim alan ve birim aydınlık düzeyi için  $W/m^2.lux$  birimi ile hesaplanan kurulu güçler, belli kullanım süreleri için

tesisatların elektrik enerji tüketimlerini karakterize etmektedir. Şekil 2'de grafik olarak gösterilen değerlerden enerji verimli olan tesisatların seçilebilmesi için, Tablo 6 düzenlenmiştir. Tabloda farklı aydınlık

düzeylerinde elektrik enerji tüketimi en düşük olan tesisat minimum olarak belirlenmiş, diğer tesisatların minimum enerji tüketimli olana göre farkları da yüzde (%) olarak verilmiştir. Buna göre seramik deşarj tüplü metal halojen lambalar tüm aydınlık düzeyi ve yüksekliklerde en az enerji tüketen tesisatlar olarak ortaya çıkmaktadır. Montaj yüksekliği ve ortamda istenilen aydınlık düzeyi değerleri arttıkça rengi düzenlenmiş yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar da iyi bir alternatif olmaktadır. Ancak bu lambaların kullanımında renk faktörü önemli olduğu için, her zaman renksel geri verim özelliği iyi olan en yakın çözüm de değerlendirilmelidir. Bu durumlarda yine seramik deşarj tüplü metal halojen lambalı çözümler iyi bir alternatif oluşturmaktadır. Tablo 6'da verilen yüzdesel farklara göre, seramik deşarj tüplü metal halojen ve rengi düzenlenmiş yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarla birlikte tüp floresan ve metal halojen lambalı tesisatlar da enerji verimli çözümler olabilmektedir. Yüksek enerji tüketimleri nedeni ile yüksek basınçlı civa buharlı lambalar kullanılmaması gereken tesisatlardır. Kompakt floresan ve endüksiyon lambalı olanlar da yine yüksek enerji tüketimleri nedeni ile, enerji verimliliği çalışmalarında

endüstri aydınlatmalarında ön plana çıkamamaktadır.

Bu analizler sonucunda, maliyet hesaplarının enerji verimli sistemler olarak tanımlanabilen seramik deşarj tüplü metal halojen (SDMH), metal halojen (MH), tüp floresan (TF) ve rengi düzenlenmiş yüksek basınçlı sodyum buharlı (YBSB) lambalı tesisatlar için gerçekleştirilmesi kararlaştırılmıştır. Şekil 3'de grafik olarak verilen on yıllık toplam maliyetlerden en düşük olanlar, aydınlık düzeyi ve montaj yüksekliklerine göre Tablo 7'de sıralanmıştır. Tüp floresan lambalı tesisatların her durumda en maliyet-etkin çözüm olduğu görülmektedir. Bu çalışmada ucuz ve kolay temin edilebilir tiplerin kullanılması amaçlanarak, elektronik balastlı tüp floresan lambaların ekonomik ömürleri 20000 saat olarak alınmıştır. Yüksek ömürlü tüp floresan lambaların kullanımda olduğu günümüzde, daha iyi sonuçlara da ulaşılabileceği açıktır. Sağlanması gereken aydınlık düzeyi değerleri yükseldikçe rengi düzenlenmiş yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar da iyi bir çözüm olmaktadır. Ancak renksel geriverim özellikleri dikkate alındığında, bu lambaların alternatifleri yine tüp floresan ve metal halojen lambalar olmaktadır.



Tablo 6. Tesisat kurulu güçlerinin minimum kurulu güce göre % olarak farkı

100 lx						
	12 m	11 m	10 m	9 m	8 m	7 m
TF251	+% 18	+% 17	+% 19	+% 18	+% 18	+% 17
TF454	+% 14	+% 16	+% 17	+% 16	+% 17	+% 15
KFL120	+% 64	+% 64	+% 63	+% 64	+% 65	+% 62
END165	+% 47	+% 52	+% 52	+% 52	+% 52	+% 51
SDMH150	min	min	min	min	min	min
YBCB250	+% 99	+% 100	+% 101	+% 102	+% 102	+% 102
200 lx						
	12 m	11 m	10 m	9 m	8 m	7 m
TF251	+% 14	+% 11	+% 13	+% 11	+% 13	+% 14
TF454	+% 11	+% 10	+% 11	+% 12	+% 11	+% 9
KFL120	+% 57	+% 56	+% 53	+% 56	+% 53	+% 56
END165	+% 46	+% 44	+% 45	+% 44	+% 43	+% 45
SDMH250	+% 1	+% 1	min	min	min	min
MH250	+% 22	+% 24	+% 26	+% 25	+% 27	+% 28
YBSB250	min	min	+% 1	+% 2	+% 3	+% 5
YBCB400	+% 72	+% 70	+% 70	+% 71	+% 71	+% 73
300 lx						
	12 m	11 m	10 m	9 m	8 m	7 m
TF251	+% 17	+% 20	+% 11	+% 11	+% 12	+% 13
TF454	+% 15	+% 19	+% 10	+% 10	+% 13	+% 9
KFL120	+% 63	+% 67	+% 53	+% 55	+% 55	+% 55
END165	+% 51	+% 55	+% 42	+% 44	+% 42	+% 45
SDMH250	+% 5	+% 8	min	min	min	min
MH250				+% 26	+% 27	+% 28
YBSB250			+% 1	+% 3	+% 4	+% 4
MH400	+% 18	+% 21	+% 12			
YBSB400	min	min				
YBCB400	+% 77	+% 84	+% 69	+% 71	+% 73	+% 78
500 lx						
	12 m	11 m	10 m	9 m	8 m	7 m
TF251	+% 16	+% 17	+% 16	+% 15	+% 14	+% 15
TF454	+% 14	+% 15	+% 14	+% 14	+% 15	+% 13
KFL120	+% 61	+% 62	+% 61	+% 59	+% 58	+% 58
END165	+% 49	+% 50	+% 50	+% 47	+% 46	+% 46
SDMH250	+% 4	+% 6	+% 5	+% 3	+% 2	+% 2
MH400	+% 18	+% 19	+% 18	+% 18	+% 16	+% 18
YBSB400	min	min	min	min	min	min
YBCB400	+% 75	+% 78	+% 80	+% 78	+% 78	+% 80

Tablo 7. Toplam maliyetlere göre maliyet-etkin tesisatlar

h	100 lx	200 lx	300 lx	500 lx
7	TF454 / TF251*	YBSB250 / TF454	TF454 / YBSB250	YBSB400 TF /MH400
8	TF454 / TF251	YBSB250 / TF454	YBSB250 / TF454	YBSB400 TF /MH400
9	TF454 / TF251	YBSB250 / TF454	YBSB250 / TF454	YBSB400 TF /MH400
10	TF454 / TF251	YBSB250 / TF454	YBSB250 / TF454	YBSB400 TF /MH400
11	TF454 / TF251	YBSB250 / TF454	YBSB400 MH400 /TF**	YBSB400 TF /MH400
12	TF454 / TF251	YBSB250 / TF454	YBSB400 MH400 /TF	YBSB400 TF /MH400

\* En düşük maliyetli tesisatlar.

\*\* En düşük maliyetten maksimum %20 fazla maliyetli tesisatlar.

## 5. SONUÇ

Endüstride 6 ila 12 metre arasındaki tavan yüksekliklerinde tüp floresan lambalı çözümlerin en iyi sonuçları verdikleri görülmektedir. Ancak gerçekleştirilen tesisatlarda aydınlatmanın kalitesi önemli ölçüde kullanılan armatürlerin fotometrik özelliklerine bağlıdır. Bu çalışmada kullanılan veriler fotometrik özellikleri iyi olan kaliteli armatürlere ait olduğu için, benzer sonuçların ancak aynı tip armatürler ile elde edilebileceği akıldan çıkarılmamalıdır. Maliyet-etkin çözüm olarak ortaya çıkan tesisatta içlerinde 54W gücünde dört adet tüp floresan lamba bulunan armatürler kullanılmaktadır. Floresan lambalı tesisatlar, uygun balastlar ile loşlaştırılma olanakları ile enerji verimliliği çalışmalarında göz ardı edilmemesi gereken otomasyon sistemleri için de uygun çözümlerdir. Ayrıca acil-ihyaç aydınlatmaları açısından aynı armatüre akü sistemlerinin ilave edilebilmesi üstünlükleri de vardır. Renk özellikleri ve boyutları bakımından, floresan lambalar daha geniş seçim yapılabilme olasılığına sahiptir. Boyutsal özellikleri nedeni ile aydınlatmanın düzgünlüğü de daha iyidir. Armatür ve lamba sayısının diğer verimli noktasal sistemlere göre daha yüksek olması bakım çalışmaları açısından olumsuz olmasına rağmen, çok sayıda lambanın bulunduğu armatürde bir veya iki lambanın yanmaz konuma gelmesi halinde diğerlerinin yanar

olması, ortamdaki aydınlatmanın düzgünlüğü açısından olumlu sonuçlar yaratmaktadır.

Sonuç olarak, yoğun bir şekilde sürdürülen “enerji verimliliği” çalışmalarında endüstri aydınlatma tesisatları değerlendirilirken sadece lambaların teknik özelliklerine göre kararlar verilmesinin doğru olmadığı, uygun ışık kaynaklarının kaliteli armatürler içinde kullanıldığı detaylı tasarımlara ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır.

## KAYNAKÇA:

- [1] TEDAŞ, Türkiye Elektrik Dağıtım ve Tüketim İstatistikleri, 2007, Ankara.
- [2] TBMM, Enerji Verimliliği Kanunu, 2 Mayıs 2008, Ankara.
- [3] Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanılmasında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik, 2008, Ankara.
- [4] CELMA Ballast Guide EN 200212, <<http://www.eu-greenlight.org/pdf/BallastGuideEN200212.pdf>>
- [5] TS EN 12464-1, Işık ve Işıklandırma - İş Mahallerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Alandaki İş Mahalleri, Ocak 2004.
- [6] TS EN 12464-2, Işık ve Aydınlatma - İş Yerlerinin Aydınlatılması - Bölüm 2: Bina Dışı İş Yerleri, Nisan 2008.