

TÜNEL AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE LED TEKNOLOJİSİ

Canan AYTAÇOĞLU PERDAHÇI¹ Murat DURAK² Yusuf KILIÇ³ Burak ALTUN⁴

¹Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
^{2,3,4}Eli Solar Aydınlatma Enerji Elektronik ve Ar-Ge Tek. San. Tic. Ltd. Şti.

e-posta: perdahci@kocaeli.edu.tr m.durak@elisolar.com y.kilic@elisolar.com b.altun@elisolar.com

ÖZET

Enerji verimliliği, birim enerjinin doğru yöntemler ve cihazlarla daha çok hizmet ve ürüne dönüştürülmesidir. Enerji kaynaklarının en etkin bir şekilde kullanımı anlamına gelen enerji verimliliği; aynı koşullar altında kaliteden ödün vermeden, enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Enerji verimliliği ulusların enerji politikalarında önemli bir yere sahip olmuştur. Enerji maliyetlerinin ve enerjiye olan talebin artması, enerji tasarrufunu zorunlu hale getirmiştir. Enerji verimliliğinin artırılması ek yeni enerji kaynakların kullanılması için yapılacak yatırımlardan daha ekonomiktir[2].

Aydınlatmada enerji tasarrufu, mevcut sistemdeki aydınlık düzeyini değiştirmeden, tüketilen enerjinin azalması ile sağlanır. İyi ve kaliteli bir aydınlatmada daha verimli aydınlatma elemanları olan LED lambalar kullanıldığında, aynı aydınlık düzeyinde daha az enerji tüketimi mümkündür. LED lambaların kullanımıyla enerji tüketimi azalırken, göze zararlı ultraviyole bölgede ışınım yapmamasından dolayı göz sağlığı da korunacaktır. Bu çalışmada tünel aydınlatması yapılırken görme sorunları dikkate alınarak doğru bir tünel aydınlatmasının C. I. E. yayın no: 88 (1990) standartlarına uygun bir şekilde nasıl yapılması gerektiği konusuna değinilmiştir. Enerji tasarrufu sağlanırken Tünel aydınlatmalarında LED lambaların kullanımını incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler:

Enerji Verimliliği, Verimli Tünel Aydınlatma, LED Teknolojisi

1. GİRİŞ

Ulaşımı sağlayan karayolu, demiryolu, yaya yolu gibi yolların yapımında gerek teknik yetersizlik gerekse ekonomik maliyetin yüksek olmasından dolayı yolun bir kısmı yer altından, tünelden geçer. Sürücüyü zorlayacak, rahatsız edecek, doğa koşullarının durumuna göre sürüş güvenliğini tehlikeye atabilecek rampaları azaltmak ve seyahat mesafelerini kısaltmak için yol güzergâhındaki engeller (dağ, tepe vb.) tüneller açılarak geçilmektedir. Bu şekilde yol güzergâhındaki tüneller artmakta ve bu farklı özelliklerdeki tünellerin gece, gündüz aydınlatma

yöntemleri değişmektedir. İyi bir tünel aydınlatmasında yaklaşılacak yoldaki ile aynı rahatlık, hız ve emniyette trafik akışı sağlanması gerektiğinden tünel aydınlatma hesapları ve uygulamaları ayrı bir önem kazanmaktadır.

Tünel aydınlatmasında dikkat edilecek en önemli husus, gözün karanlık ve aydınlığa adaptasyonunu sağlayarak sürücülerin tünel içerisinde güvenli seyrine imkân vermektir. Göz adaptasyonunun sağlanabilmesi için, tüneller beş bölgeye ayrılmıştır[4].

- Yaklaşım bölgesi (Dış bölge)
- Eşik bölgesi
- Geçiş bölgesi
- İç bölge
- Çıkış bölgesi

Tünellerdeki bu bölgelerin gerekli olan aydınlık miktarları birbirinden farklıdır. Günümüzde tünel aydınlatmalarında genellikle yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar kullanılmaktadır. Mevcut sistemde kullanılan gaz deşarjlı lambaların dezavantajlarından bazıları şunlardır;

- Balast ve ateşleyici gibi devre elemanları ile birlikte kullanıldıklarından ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması
- Renksel geri verimliliklerinin düşük olması
- İçlerinde çevreye zararlı gazlar bulundurmaları
- Arıza giderimi zor ve bakım maliyetlerinin yüksek olması
- Yandıktan sonra tam ışık verimine ulaşmak ve söndükten sonra tekrar yanmak için belli bir süreye ihtiyaç duymaları
- Işık renkleri
- Yanarken ısınmaları ve çevreye ısı yaymaları
- Şebeke gerilimindeki değişimlerden etkilenmeleri
- Harmonik etkilerinin bulunması

Son yıllarda aydınlatma teknolojileri, yeni fakat çok hızlı bir gelişim göstermekte olan LED lambalı armatür tasarımlarıyla yeniden şekillenir oldu. Aydınlatmada enerji verimliliğini artırmaları, düşük güç tüketimleri LED lambaların kullanımını yaygınlaştırmıştır. Geleneksel ışık kaynaklarında, kaynaklar tüm yönlere ışık

yaydıklarından kayıpları yüksektir. LED lambalı armatürler geleneksel ışık kaynakları gibi küresel değil yönlü ışık yayarlar ve kaybı minimuma indirirler. LED lambalardan ışığın, kullanılacak ortama göre istediğimiz şekilde yayılabilmesi için çeşitli lensler kullanılır. Projektörlerde lens kullanım amacı ışığın odaklanmasını sağlamaktır. Sokak armatürlerinde ise, kullanılacak direğin yüksekliğine ve yol özelliklerine göre ışığın homojen yayılımını sağlar. Günümüzde çoğunlukla kullanılmakta olan sodyum, halojen, civa, metal halojen lambaları çalışma prensiplerinden ötürü yüksek sıcaklıklara ulaştıklarından dolayı, lens kullanmak mümkün değildir. Bunun için bu tip lambalarda reflektör kullanılır. Reflektörler ışığın odaklanmasında kullanılabilir olmasına rağmen homojen bir şekilde aydınlığı sağlayamaz. LED teknolojisinin gelişimi ile birlikte, tünel aydınlatmalarında LED lambaların kullanılmasına başlanmıştır. LED lambalı sistemlerin mevcut sistemlere göre halen yüksek güçlerde jonksiyon sıcaklığı, kullanılan malzeme vb.den kaynaklanan verim düşüklüğü gibi dezavantajları olmasına karşın, avantajlarından bazıları şunlardır;

- LED akımı hızlıca değiştirilebildiği için, ışık akısı da hızlıca ayarlanabilir ve kolayca her kademedede aydınlık düzeyinin değiştirilebilmesi (dimmerlenebilir)
- Çevre kirliliğine ve UV ışımaya neden olmamaları
- Yüksek renksel geriverim indisinde olmaları
- Yandıktan sonra tam ışık verimine hızlıca ulaşabilmeleri
- Bir iletişim kontrol merkezinden Uzaktan Kontrol ve Dim Entegrasyonu yazılımı ile her bir LED armatürün düzenli çalışıp çalışmadığını, herhangi bir arıza durumunda hangi armatürden kaynaklandığını bilebilmemiz

2. TÜNEL AYDINLATMA YÖNTEMİ

Tünel aydınlatmasında trafik akışı rahat olan bir yolda sürücünün rahat ve emniyetli sürüş kalitesini değiştirmeden yola devam etmesi istenir. Aydınlatma hesaplarındaki ekonomik problemler ve işletme sırasındaki enerji tasarrufu talepleri aydınlatma hesaplarında en emniyetli ve en ekonomik çözümlerin bulunmasına neden olmuştur.

Tünel girişinden önce fren mesafesi kadar uzak bir mesafeden bakıldığında gün ışığı ile aydınlık halde bulunan tünel çıkışı, görüş alanının büyük bir bölümünü kapsıyor ise, bu kritik uzunluktan kısadır gündüz aydınlatması'na gerek yoktur. Kritik uzunluk genellikle 40m. ye yakındır. Buna karşın, az önceki aynı konumdan bakıldığında; tünel çıkışı, aydınlık bir halde bulunmayıp,

araçlar ve engeller net görünemiyorsa tünelde gündüz aydınlatması yapılmalıdır.

Özellikle güneşli bir günde aydınlık bir ortamdan karanlık bir ortama giren sürücünün görme koşullarını değiştirmek için ilk bölgenin iyi hesaplanması gerekir. Tünel içinde sağlanması gereken parıltı düzeyleri, yaklaşma bölgesi parıltısına bağlıdır. Tünel giriş bölgesindeki parıltı düzeyi buna göre belirlenir. Tünelde gündüz aydınlatması için ilk önce dış bölgenin parıltısı (L_{20}) hesaplanır. Dış bölgenin parıltısı 24 saat içerisinde her an değişir.

Günün herhangi bir anında dış bölge parıltısını aşağıdaki şekilde hesaplanır[4].

$$L_{20} = \alpha L_c + \beta L_r + \gamma L_e + \delta L_{th}$$

L_c : gökyüzü parıltısı ↔ α : gökyüzü yüzdesi,

L_r : yol parıltısı ↔ β : yolun yüzdesi,

L_e : çevre parıltısı ↔ γ : çevrenin yüzdesi,

L_{th} : eşik bölgesi parıltısı ↔ δ : eşik yüzdesi

Tünelimizin bulunduğu konuma göre Tablo-2.1 de verilen değerler seçilir[4].

Sürüş Yönü	L_c (kcd/m ²)	L_r (kcd/m ²)	L_e (kcd/m ²)			
			Kayalar	Binalar	Kar	Çayır
Doğu-Batı	12	4	2	6	10(dikey) 15(yatay)	2
Güney	16	5	1	4	5(dikey) 15(yatay)	2
Kuzey	8	3	3	8	15(dikey) 15(yatay)	2

Tablo-2.1: L_c , L_r değerlerine göre L_e değeri

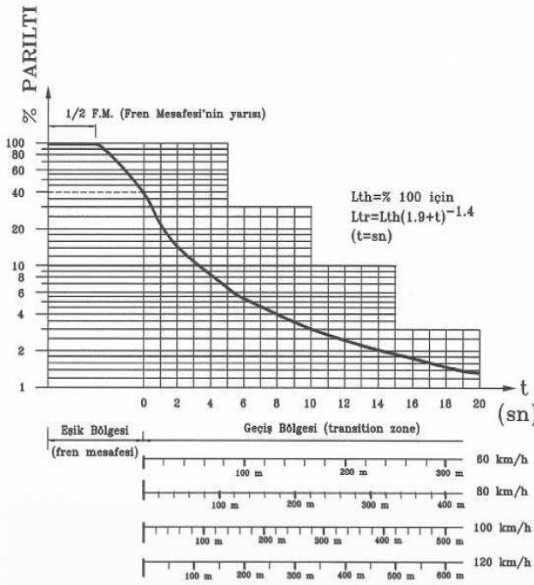
Eşik bölgesinin parıltısı (L_{th}) Tablo-2.2 ye göre hesaplanır[4].

	Simetrik Aydınlatma Sistemi ($L/E_v \leq 0,2$)	Zıt-Yönlü Aydınlatma Sistemi ($L/E_v \geq 0,6$)
Fren Mesafesi	$k=L_{th}/L_{20}$	$k=L_{th}/L_{20}$
60m.	0,05	0,04
100m.	0,06	0,05
160m.	0,10	0,07

Tablo-2.2:Dış Bölge ve Eşik Bölgesi Parıltı'ları Arasında Önerilen Oranlar ($k=L_{th}/L_{20}$)

Eşik bölgesinin toplam uzunluğu en azından fren mesafesi kadar olmalıdır. Bu mesafenin ilk yarısında, aydınlatma seviyesi, eşik bölgesinin başlangıcındaki değer olan L_{th} 'a eşit olmalıdır. Fren mesafesinin yarısından ileriye doğru, aydınlatma seviyesi ; eşik Bölgesinin sonunda 0, 4 L_{th} 'a eşit bir değere derece derece ve doğrusal olarak azalabilir (Tablo-2.3). Eşik Bölgesinin ikinci yarısındaki kademeli azaltma, adımlar halinde yapılabilir. Bu taktirde, bir kademe ile sonraki kademe arasındaki Parıltı (luminance) oranı, yine de 3/1'i aşmamalı ve aydınlatma seviyesi, egride gösterilen limit değerinin altına düşmemelidir. [8].

Geçiş bölgesi parıltısı (L_{tr}) Tablo-2.3 de verilen denkleme göre hesaplanır[4].



Tablo-2.3:Farklı Bölgelerdeki Aydınlatma Seviyesinin Sematik Gösterilişi

İç bölgenin parıltısı (L_{in}) aşağıdaki Tablo-2.4 den seçilir.

İç Bölge Ortalama Yüzey "Parıltı" Değeri			
Saatte Trafik Akışı (araç/saat)			
Fren Mesafesi	Düşük (100 araca kadar)	Orta (100–1000 Araç)	Yüksek (1000 araçtan çok)
160m.	5 (cd/m ²)	10 (cd/m ²)	15 (cd/m ²)
100m.	2 (cd/m ²)	4 (cd/m ²)	6 (cd/m ²)
60m.	1 (cd/m ²)	2 (cd/m ²)	3 (cd/m ²)

Tablo-2.4:İç Bölgede Önerilen Ortalama Parıltı Değerleri (cd/m²)

Çıkış bölgesinin parıltısı (L_{ex}) iç bölgenin parıltısıyla (L_{in}) aynı seviyede bırakılabilir. Ya da tünelin son 60

metresine, iç bölgenin beş katı bir seviyede yapay bir aydınlatma tesis edilmesi istenebilir [4].

Gece aydınlatmasında ise, tünel içi aydınlatma en azından dıştaki yol aydınlatmasına eşit seviye ve düzgünlükte olur. İsteğe bağlı olarak araç trafiği az olan bölgelerde dış Parıltı'nın 1/3 ünden az olmamak kaydıyla aydınlatma seviyesi ayarlanır [8].

3. ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların (YBSL) boyutları küçültülüp, basınçları artırılmıştır. Buna bağlı olarak da lambanın çalışma sıcaklığı artmıştır. Ayrıca YBSL lambaların içeriğinde civa da bulunur. Deşarjın asal gazlarla başlamasının ardından civa ve sodyum buharlaşır. Civanın buharlaşmasıyla ışık rengi beyazlaşır.

Tablo-3.1 de görüldüğü gibi geçen zaman ile lamba uçlarındaki gerilim2 değeri artmakta, akım2 değeri ise düşmektedir. Güç değerlerinde gözlenen fark kullanılan transformatörün kayıplarından kaynaklanmaktadır. Transformatör, ateşlemeden sonra balast görevi yapmaktadır. Dolayısıyla üstünden geçen akım ile kayıp bir güç oluşur. Balast verimi kalkış anında %72 olmasına rağmen, kararlı hale geçtiğinde verimi %86 ya kadar yükselmektedir.

Lambanın çalışmaya başladığı andan sekizinci dakikaya kadar, balast çıkışındaki gerilim 2 değeri şebeke geriliminin altında bir değerdedir. Bunun sebebi ilk çalışma anında gerilimin büyük bölümünü balastın kendi üzerine almasıdır. Aynı şekilde balastın diğer bir etkisi de akım değerini sınırlamak ve belli bir süre sonunda düzenli hale getirmektir.

Süre	Akım1 * (A)	Akım2 ** (A)	Gerilim1 * (V)	Gerilim2 ** (V)	Güç1 * (W)	Güç2 ** (W)
30sn	1,537	3,654	225.1	38,4	180	131
2dk	1,378	3,151	225	79	264	208
5dk	1,391	2,713	225,6	114,5	299	255
8dk	1,405	2,588	225	121,8	301	259

Süre	THDI(%)	THDV(%)	PF
30sn	24,0	2,4	0,52
2dk	29,1	2,3	0,85
5dk	30,7	2,2	0,95
8dk	29,0	2,3	0,95

Tablo-3.1: YBSL lambaya enerji verildikten sonra belirli zaman aralıklarda alınan ölçüm değerleri

(* balast öncesinde yapılan ölçümler)

(** balast sonrasında yapılan ölçümler)

YBSL lambalar şebekeye endüktif etki yaparlar. Tablo-3.1 de ilk çalıştığı andan kararlı hale geçene kadar YBSL lambaya ait güç katsayısı ve akım- gerilim harmonik ölçüm sonuçları verilmiştir. Fazla adette yüksek harmonikli yükler kullanılması durumunda trafoda ve aynı şebekeden beslenen diğer elektronik cihazlara ciddi şekilde zarar verirler. Yüksek akım ve gerilim harmoniklerinin sisteme zararlarını azaltmak için aktif güç filtreleri kullanılabilir. Aktif güç filtresinin çalışma ilkesi, yükün ürettiği harmonikle aynı genlikte fakat ters fazda bir akımın sisteme ilave edilmesi temeline dayanmaktadır [5-6]. Akım harmonik değerleri %15, gerilim harmoniklerinin ise %5 altında olması beklenir [5-6].

Light Emitting Diode (LED) veya "Işık Yayan Diyot" olarak bilinen LED'ler, Galyum-Arsenur, Galyum-Fosfit ve Galyum-Nitrit gibi yarı-iletken maddeler kullanılarak yapılan diyot temelli ışık yayan elektronik devre elemanlarıdır.

Tablo-3.2 de görüldüğü gibi LED lambalı sokak armatürü, sürücü öncesi ve sonrası sabit akım ve gerilim değerlerine sahiptir. Sürücü verimi %93'tür.

Tablo-3,2 de görüldüğü gibi akım harmonikleri %15'in gerilim harmonikleri de %5'in altındadır. Şebekede balastlı lambalar kadar enerji bozulmasına neden olmazlar.

Süre	THDI(%)	THDV(%)	PF
30sn	13.2	2.2	0,97
2dk	13.2	2.2	0,97
5dk	13.2	2,2	0,97
8dk	13.2	2.2	0,97

Süre	Akım1 *	Akım2 **	Gerilim1 *	Gerilim2 **	Güç1 *	Güç2 **
	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)
30sn	0,570	0,501	226	228.2	123	115
2dk	0,570	0,501	226	228.2	123	115
5dk	0,570	0,501	226	228.2	123	115
8dk	0,570	0,501	226	228.2	123	115

Tablo-3.2: LED lambaya enerji verildikten sonra belirli zaman aralıklarında alınan ölçüm değerleri

(* LED sürücü öncesinde yapılan ölçümler)

(** LED sürücü sonrasında yapılan ölçümler)

4. TÜNELLERDE LED LAMBALI AYDINLATMA ARMATÜRLERİ NEDEN TERCİH EDİLMELİDİR?

- Yüksek enerji verimliliği sağlamaları
- Yüksek ışık verimliliği 25°C de min 130 lm/W

- LED çipinin minimal boyutlara sahip olması sayesinde kolay ve farklı tasarımların kolayca yapılabilmesi
- Hızlı bir ışık çıkışına sahip olması
- Cam, flaman gibi kırılğan elementlerden yapılmadıkları için montaj ve bakımın kolay olması
- DC akımla çalışmaları için insan kulağı ile duyulacak ses titreşimlerine neden olmamaları
- Çevreci; yapısında civa gibi ağır metaller içermemeleri
- Titreşimsiz yanma özelliğine sahip olmaları
- Gaz deşarjlı lambalar gibi çok yüksek ısı vermeyen ışık kaynakları olmaları nedeniyle güvenli kullanıma imkan sağlamaları
- Armatürde herhangi bir LED lamba arızalanması durumunda, o lamba kısa devre olur. Bu durumda armatür yanmaya devam eder, bozuk LED lamba sayısı belirli bir miktara ulaşana kadar aydınlatmadaki homojenlikte çok büyük bir değişiklik olmaması
- LED optik tasarımındaki gelişmelerle (LED-lens uyumu) kolayca simetrik, asimetrik, zıt asimetrik olarak yapılabilmesi
- LED lambaların CRI (Color Rendering Index) değerlerinin >70 de olmasından dolayı nesnelere gerçek renklerinde algılayabilmeleri [3].

5. SONUÇ

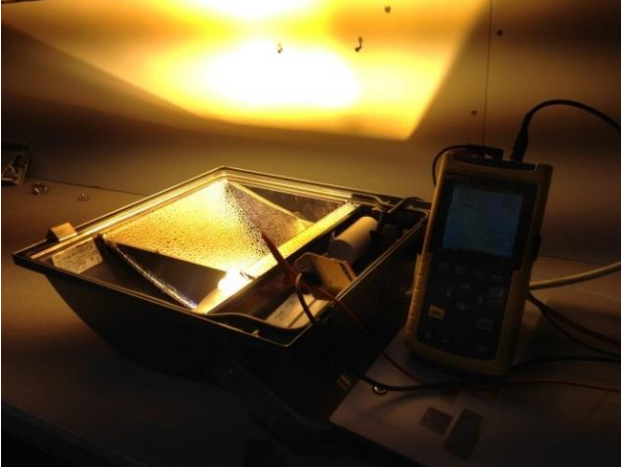
Tüneller sadece gece değil, gündüz de aydınlatıldığından ve gündüz saatlerinde tünel aydınlatmalarında tüketilen enerji, aynı tünelde gece tüketilenin onlarca katı olduğundan, enerji sarfıyatı ve maliyetinin önemi oldukça artmaktadır.

Tünellerde, gün boyu aydınlatılmalarından dolayı aydınlatma elemanının belirli aralıklarla değiştirilmesi ve periyodik bakım yapmak oldukça zordur. Kapalı ortam olması itibarıyla nem, sıcaklık, rutubet gibi etkenlerden elemanların kullanım süresi azalmaktadır. Enerji kullanımının gün boyu devam etmesinden dolayı enerjiyi verimli kullanmak gerekmektedir.

Modern ve teknolojik olarak üretilip geliştirilecek olan LED lambalı tünel armatürlerinin bakımı kolay olup, daha az enerji sarfıyatı olması nedeniyle geleneksel ve yüksek güç tüketimli aydınlatma ürünlerine alternatif olacaktır. Teknolojik ve düşük güç tüketimli, merkezi bir sistemden kontrol edilebilen, armatür tasarımı geliştirilmelidir. Bu şekilde trafik emniyetinin önemli olduğu tüm tünellerde yüksek oranda enerji tasarrufu sağlanarak güvenliği ve ışık verimliliği yüksek aydınlatma gerçekleştirilebilir. Herhangi bir lambanın arıza vermesi durumunda merkeze, hangi lambanın ve ne arızası verdiği bilgisini verebilecek sistem geliştirilmelidir. Böylece arızalanan lamba en kısa

zamanda değiştirilebilecektir. Doğabilecek maddi ve manevi hasarların önüne geçilecektir. Tünel girişinin belirli bir uzaklığında aydınlanma düzeyini ve parlaklığını ölçecek cihazların verileri ile tünel içindeki lambaların ışık akıları değiştirilebilecektir. Böylelikle tüneldeki aydınlık seviyesi, dış ortamın gündüz, gece, açık, kapalı, karlı olması durumlarında farklı ve standartlardaki gibi bir seviyeye otomatik ayarlanabileceğinden, aydınlatmanın zor bir konu olduğu tünellerde, aydınlatmadan doğabilecek risklerin önüne geçilmiş olacaktır. Mevcut tünel aydınlatmalarında olduğu gibi geceleri tünel içindeki aydınlanma miktarını düşürmek için, yanan lamba sayılarını azaltıp değil de tüm lambaların aynı anda ayarlanarak belirli bir seviyeye indirilmesi ile bazı lambaların çok ısınıp kısa sürede ömrünü tamamlamasının önüne geçilebilecektir.

Günümüzde halen özellikle yüksek güçlere ulaşıldığında LED lambalara göre, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaları daha ekonomik düşünebiliriz. Fakat hızla gelişen LED teknolojisi yakın bir gelecekte; ışık dağılım eğrilerinin istenilen açılarda üretilebilmesi, renksel geriveriminin yüksek olması, çevreci ve UV ışın içermemesi, uzaktan kontrol edilebilmeleri, balast içermemeleri ve açma kapama sürelerinin çok çok kısa olması nedeniyle tünel aydınlatmalarında çok daha yaygın kullanılacaktır.



Şekil -1: Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba



Şekil -2: LED Lamba

6. KAYNAKLAR

- [1]. 1501 Tübitak Sanayi Ar-Ge Projeleri, “ Yüksek Güvenlikli ve Akıllı Tünel Aydınlatma Armatürü Tasarımı ve Geliştirilmesi”,01.09.2012-28.02.2014
- [2]. Led Technology, SET 2011 The 10th International Conference on Sustainable, Perdahci Canan, Hanlı Uğur, Karaca Semih.
- [3]. Verimli Aydınlatma Yöntemleri, Perdahci Canan, Hanlı Uğur, 3E Electrotech Mart 2010
- [4]. CIE Yayın NO 88 (1990), International Commission on Illumination –C.I.E., Guide for The Lighting of Road Tunnels and Underpasses
- [5]. Researchon Intelligent Control of Tunnel Lighting System Based on LED, He Yi, Lang Zheyang, Wu Aiguo, Li Changbin, Feng Shouzhong, 2010 International Conference on Optoelectronics and Image Processing
- [6]. E.P.D.K. Enerji Tedarik, Ticari ve Teknik Kalite Yönetmeliği, 12.11.2008
- [7]. Application Issues of Active Power Filters, PENG, F.Z., IEEE Industry Applications Magazine, Vol.4, Issue:5, pp. 21-30, 1998
- [8]. CIE Yayın NO 88 (1990), Çeviri: K.Kurtuluş İzbeke