

Tünel Aydınlatmasında LED Armatür Kullanımı

Sabir Rüstemli¹, Suat Avcil^{2*}

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bitlis

²Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bitlis

*savcil13@gmail.com

Özet: Bu çalışmada; tünel aydınlatmasının öneminden bahsedilerek tünellerin aydınlatma yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Aynı zamanda tünel aydınlatmasında kullanılan armatür çeşitlerinden bahsedilmiş ve günümüzde tünel aydınlatmasında en çok kullanılan armatür çeşitleri ve gelişen teknoloji ile kullanılmaya başlanan LED (Işık Yayan Diyot) armatürler karşılaştırılarak, LED armatürlerin avantajları hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar kelimeler: LED Armatür, Tünel Aydınlatması.

The Use of LED Luminaire for Tunnel Lighting

Abstract: In this study; We give information about different methods of tunnel lighting by explaining the importance of tunnel lighting. We also mentioned about variety of luminaire types used for tunnel lighting and give information about the advantage of the usage of LED luminaires by the comparison of most commonly used luminaire types for tunnel lighting with LED luminaires that are started being used by the development of technology.

Keywords: LED Luminaire, Tunnel Lighting

Giriş

Yaya yolu, demiryolu, karayolu, kanal vb. yolların yeryüzünden geçirilmesinin teknik açıdan elvermediği durumlarda ya da şehir içinde, şehir dışında trafik akışını düzenlemeye yönelik yapılan yolun bir kısmının yer altından geçirmeye yönelik yapılan yapılara tünel denir.

Sürücüler, tünel içerisine girdikten itibaren ortamın aydınlık adaptasyonuna uyum sağlayacak olan ve tünelin sürücüye güven duygusu içinde yolculuk etmesini sağlayacak bir aydınlatma, düzgün bir aydınlatma olarak kabul edilir. Aydınlatması yetersiz olan tüneller, yaklaşan bir sürücü için “kara delik” izlenimini doğurur ve sürücünün görüş kaybına uğramasına neden olur. Bunun sonucunda da ölümlü kazalar meydana gelebilmektedir. Tünellerdeki trafik kazaları, toplam karayolu kazalarının küçük bir kısmını oluşturmaktadır; bununla birlikte, tünel kazaları ile ilişkili insan ve ekonomik kayıplar açık

yollardakilerden önemli ölçüde daha şiddetlidir (Mehri ve ark., 2018).

Sürücülerin tünel içerisinde görüş kaybına uğramamaları için tünellerin kademeli aydınlatılması gerekmektedir. Tünel aydınlatma hesaplamalarında Uluslararası Aydınlatma Komisyonunun (CIE) 1990 yılında hazırladığı ve halen günümüzde geçerli olan bildiriye göre tünel bölgelerinin aydınlatılması yapılmalıdır (CIE NO 88, 1990).

Tünel Aydınlatma Yöntemi

Trafik akışının sorunsuz olduğu bir tünelde, sürücünün rahat ve tehlikesiz bir şekilde sürüş kalitesini değiştirmeden yola devam etmesi tünel aydınlatılmasında istenen bir durumdur. Tünelde gündüz aydınlatılmasının yapılması için, tünel giriş noktasından önce fren mesafesi kadar uzak bir mesafeden bakıldığında tünel çıkış noktası aydınlık bir şekilde görünmeyip araçlar ve engeller sürücü tarafından net bir şekilde görülmemesi gerekir. Aynı uzaklıktan bakıldığında aydınlık durumda

bulunan tünel çıkışı, görüş alanının büyük bir kısmını içeriyorsa bu kritik uzunluktan kısadır. Bu nedenle gündüz saatlerinde tünelin aydınlatılmasına gerek yoktur. Kritik uzunluk genelde 40 metre dolayındadır.

Tünel aydınlatılmasında ilk bölgenin aydınlatma hesapları iyi yapılmalıdır. Çünkü aydınlık ortamdan karanlık ortama giren sürücünün görme koşulları değişebilir. Sürücünün emniyeti için bu görme koşullarını değiştirmemek gerekir. Tünel içerisinde elde edilmesi gereken parlıtlı seviyeleri, tünel yaklaşma bölgesinin parlıtlı değerine bağlıdır. Tünelin giriş bölgesinin parlıtlı seviyesi buna bağlı olarak hesaplanır. Tünelde gündüz aydınlatmasının hesaplanması için önce dış bölge parlıtlısının (L20)

hesaplanması gerekir. Lc, Lr değerlerine göre Le değerleri Tablo 1’de verilmiştir (CIE NO 88, 1990). Dış bölgenin parlıtlı değeri (L20) 24 saat içerisinde her an değişir. Dış bölge parlıtlı değeri günün herhangi bir zaman diliminde şu şekilde hesaplanır (CIE NO 88, 1990).

$$L20 = \alpha Lc + \beta Lr + \gamma Le + \delta Lth \quad (1)$$

Lc: gökyüzünün parlıtlı değeri ↔ α : gökyüzünün yüzde değeri,
Lr: yolun parlıtlı değeri ↔ β : yolun yüzde değeri,
Le: çevrenin parlıtlı değeri ↔ γ : çevrenin yüzde değeri,
Lth: eşik bölgesinin parlıtlı değeri ↔ δ : eşik bölgesinin yüzdesi

Tablo 1. Lc, Lr Değerlerine Göre Le Değeri

	Lc	Lr	Le [kcd/m ²]			
	[kcd/m ²]	[kcd/m ²]	Kayalar	Binalar	Kar	Çayır
Sürüş Yönü						
Doğu-Batı Yönü	12	4	2	6	10 [V] 15 [H]	2
Güney Yönü	16	5	1	4	5 [V] 15 [H]	2
Kuzey Yönü	8	3	3	8	15 [V] 15 [H]	2

(V): Sürücüyü karşılayan, esas olarak dik yüzeyli dağlık bölge. (Vertical)

(H): Yataya yakın düz arazi. (Horizontal)

Tablo 2. Dış Bölge ve Eşik Bölgesinin Parlıtlıları Arasında Önerilen Oranlar
[k=Lth/L20]

	Simetrik Aydınlatma Sistemi [L/Ev ≤ 0,2]	Zıt-Yönlü Aydınlatma Sistemi [L/Ev ≥ 0,6]
Fren Mesafesi	k=Lth/L20	k=Lth/L20
60 metre	0,05	0,04
100 metre	0,06	0,05
160 metre	0,1	0,07

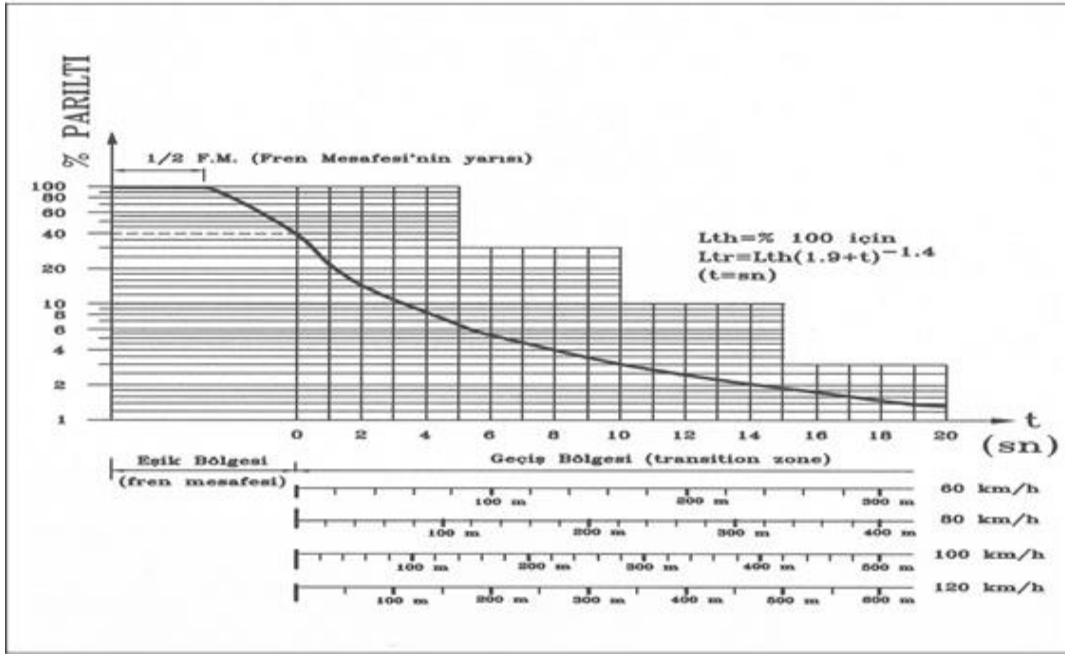
Tünelin bulunduğu pozisyona göre Tablo 1'deki uygun veriler seçilir (CIE NO 88, 1990).

Tablo 2'ye göre eşik bölgesinin parıltı değeri (Lth) hesaplanır (CIE NO 88, 1990).

Sürücü belirli bir hızla ilerlerken aracını durdurması gereken bir durumla karşılaştığı anda durdurabileceği mesafeye fren mesafesi denir. Eşik bölgesinin toplam uzunluğu da bu fren mesafesinden az olmalıdır. Aydınlatma seviyesi, fren mesafesinin ilk yarısında eşik bölgesinin başlangıçtaki parıltı değeri olan Lth' a eşit olmak zorundadır.

Şekil 1'de de görüleceği üzere aydınlatma seviyesi fren mesafesinin yarısından sonra eşik bölgesinin sonunda 0, 4 Lth'a denk bir değere doğrusal olarak azalabilir. Eşik bölgesinin diğer yarısının aydınlatma seviyesi, aşamalı bir şekilde azaltılır. Bu bağlamda, bir derece ile sonraki derece arasındaki parıltının (luminance) oranı, her hâlükârda 1/3'ü aşmamalı ve aydınlatmanın seviyesi, şekil 1' de verilen sınır değerlerin altına inmemelidir (CIE NO 88, 1990),

Geçiş bölgesi parıltısı (Ltr) Şekil 1'de verilen denkleme göre hesaplanır (CIE NO 88, 1990).



Şekil 1. Farklı Bölgelerdeki Aydınlatma Seviyesinin Şematik Gösterimi

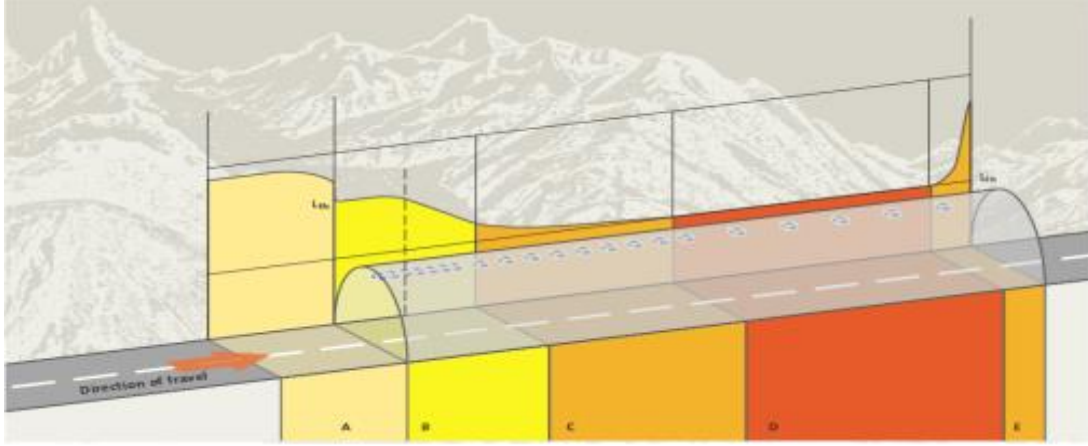
Tünellerin gece aydınlatılmasında ise tünel yaklaşım aydınlatmasına eşit seviye ve düzgünlükte olmasına dikkat edilir. Araç trafiğinin seyrek olduğu bölgelerde dış parıltının üçte birinden az olmaması şartıyla gece aydınlatma düzeyi ayarlanır (CIE NO 88, 1990).

Uluslararası Aydınlatma Komisyonunun (CIE) raporuna göre tüneller, parıltı seviyelerini belirlemek üzere beş bölgeye ayrılarak aydınlatma

hesapları bu bölgeler için ayrı ayrı yapılmaktadır. Bu bölgeler;

- A Bölgesi: Dış Bölge
- B Bölgesi: Eşik Bölgesi
- C Bölgesi: Geçiş Bölgesi
- D Bölgesi: İç Bölge
- E Bölgesi: Çıkış Bölgesi

Tünel aydınlatılmasındaki bölgeler şekil 2'de verilmiştir (Perdahacı ve ark. 2014).



Şekil 2. Tünel Aydınlatmasındaki Bölgeler

Dış Bölge: Tünelin başlangıç noktasından 100 ile 200 metre mesafeden başlayıp tünel giriş noktasının başlangıcı olan kısmıdır. Bu bölgenin parlıtlı değeri L20 olarak bulunur. Tünelin diğer bölgelerinin parlıtlı değerlerinin hesaplanması için bu parlıtlı değeri önemli bir değişken olarak hesaplanmalıdır.

Eşik Bölgesi: Eşik bölgesinde hesaplanan parlıtlı değeri L_{th} ' tır. Eşik bölgesi de tünel aydınlatmasında dış bölge gibi önemli bir bölgedir. Bir tünelin eşik bölgesindeki aydınlatma seviyesi, sürücülerin gözlerinin uyum düzeyiyle eşleşmelidir (Gil ve ark. 2011).

Gün ışığı gibi ışık şiddeti yüksek bir ortamdan, ışık şiddeti daha düşük bir ortama giren sürücünün tüneli kara delik gibi görmemesi ve güvenli bir şekilde yola devam etmesi için eşik bölgesinin aydınlatılması önem taşır.

Geçiş Bölgesi: Geçiş bölgesi eşik bölgesinden sonra gelir. Eşik bölgesindeki parlıtlının iç bölge parlıtlı düzeyine indirildiği bölgedir. Bölgenin uzunluğu başlangıç ve bitiş parlıtlı değerine ve müsaade edilen hız limitine göre değişir.

İç Bölge: Geçiş bölgesinden sonra gelen ve çıkış bölgesinin başlangıcına kadar olan bölgedir. Aydınlatma, diğer bölgelerde olduğu gibi bu bölgede de sürücünün emniyetli bir şekilde yola devam edebileceği düzeyde ayarlanır.

Çıkış Bölgesi: İç bölge bitiminden çıkışa kadar olan bölgedir. Çıkıştaki parlıtlı yüksek bölgeye adaptasyonu kolaylaştırır. Gündüz tünel çıkışı; içerdeki bir sürücüye aydınlık bir delik şeklinde gözükür ve sürücünün önündeki engeller bu aydınlık fon üzerinde silüet şeklinde açıkça görülebilir.

Tünel Aydınlatma Sistemleri

Tünel aydınlatma sistemleri zıt yönlü, eş yönlü ve simetrik aydınlatma sistemleri olmak üzere üçe ayrılır.

Zıt Yönlü Aydınlatma Sistemi

Bu sistemlerde kullanılan armatürlerden çıkan ışın trafiğe zıt yönde ve sürücüye doğru yönelmektedir. Zıt yönlü aydınlatma sistemlerinde asimetric dar açılı yüksek güçlü lambalar kullanılır. Bu sistemler CBL (Counter Beam Lighting) olarak adlandırılır. Sistemin avantajı; maksimum aydınlatma sağlanırken yol üzerinde kamaşma oluşturmamasıdır. Dezavantajları ise, ışınların zıt yönlü gelmesinden dolayı tünel girişinin daha karanlık olması (sürücülerin kendilerini kara bir deliğe girecekmiş gibi hissetmelerine sebep olur), tünel duvarlarının karanlık veya değişken aydınlıkta olması ve küçük araçların üzerine düşen büyük araç gölgeleridir (Perdahacı ve Dursun 2014).

Eş Yönlü Aydınlatma Sistemi

Eş yönlü aydınlatma sistemlerinde, armatür ışınları sürücü istikameti yönüne düşer. Bu aydınlatma sisteminin yeni bir sistem olmasından dolayı sistem altındaki nesnelere kontrastı ile ilgili henüz mutlak bir değer verilememektedir. Ancak bu sistem altındaki nesnelere detayları daha rahat görüldüğünden tanınmaları kolaylaşmaktadır. İki yönlü trafik akışının olduğu tünellerde çıkış bölgesine yapılan eş yönlü aydınlatma sistemi, aynı zamanda ters istikametten akan trafik için giriş bölgesindeki zıt-yönlü aydınlatma sistemi görevinde olur (Perdahacı ve Dursun, 2014).

Simetrik Aydınlatma Sistemi

Bu aydınlatma iki sistem altında incelenir. Bunlar; enine simetrik aydınlatma sistemi ve boyuna simetrik aydınlatma sistemidir.

Işık tünelin eksenine dik olarak yöneliyorsa bu enine simetrik aydınlatma sistemi olur. Eğer ışık tünel eksenine paralel olarak yöneliyorsa bu boyuna simetrik aydınlatma sistemi olur.

Enine aydınlatma sisteminde alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların kullanılması daha uygundur. En çok bilinen uygulaması, tüp şeklindeki flüoresanların bant şeklinde yerleştirilmesi ile yapılandırılır. Sistemin avantajları; iyi bir görsel kılavuzlama, kamaşmanın en aza indirgenmiş olması, ışığın araçların arasına girmesi ve kolay anahtarlama ile kontrol edilebilmesidir. Dezavantajları ise; armatürler arası uzaklığın azalmasıyla aydınlatma elemanlarının sayısındaki artış, titreşim etkisini önlemek için fazladan dikkat edilmesidir.

Boyuna simetrik aydınlatma sisteminde ışık paralel olarak yönlendiği için fazladan ışık saçar. Sistem hem yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların hem de alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların kullanımına uygundur. Sistemin avantajları; yüksek verimle

beraber armatürler arasındaki uzaklığın artmasından dolayı armatür sayısının azalmasıdır. Bu da ekonomik olarak büyük bir avantaj sağlar. Gölgeler, duvardaki parıltının değişken ve düzensiz olması dezavantajları olarak gösterilebilir (Perdahacı ve Dursun, 2014).

. Tünel Aydınlatma Armatürleri

Tünel aydınlatılmasında kullanılan armatürlerin özellikler şu şekilde sıralanabilir (Akbulut, 2011).

- Görsel kılavuzlamayı sağlamak.
- Kamaşmayı engellemek.
- Basınçlı suya karşı su geçirmez, paslanmaya karşı dayanıklı olmak.
- Kaliteli ve ekonomik olmak.
- Çıplak lambanın ışık dağılım eğrisine kumanda etmek ve ona istenilen ışık dağılım eğrisi şeklini vermek (Örneğin; tünelin ortasında tavana monte edilmiş düzende asimetric geniş açılı ışık dağılımına sahip olmak).

Teknik, yöntem ve sonuçlar bakımından aydınlatma armatürlerini altı ayrı grupta inceleyebiliriz.

- Standart akkor flamalı armatürler.
- Halojen akkor armatürler.
- Flüoresan armatürler.
- Kompakt flüoresan armatürler.
- Deşarj armatürler
- LED armatürler

Günümüzde, yol ve tünel aydınlatmalarında en çok tercih edilen armatürler, "Deşarj Armatür" grubu içinde "Yüksek Yoğunluklu Deşarj Armatür (HID)" olarak anılan özel bir grupta yer alırlar. Bu grubu oluşturan lambalar ise; Metal Halide Armatür, Yüksek Basınçlı Cıva Buharlı Armatür ve Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Armatür' dür. Bu armatür grupları içinde en çok tercih edilen ise Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Armatür' dür.

Bitlis ilindeki 8 Ağustos tünelin yüksek basınçlı sodyum buharlı armatürle aydınlatılması şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Sodyum Buharlı Armatürlerle Tünel Aydınlatması

Kullanılan bu armatürlere ek olarak gelişen teknoloji ile birlikte LED armatürlerin kullanım alanları artmış ve tünel aydınlatmasındaki yerini almaya başlamıştır.

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların (YBSL) ölçüleri küçültülerek, basınçları yükseltilmiştir. Bundan dolayı da lambanın çalışma sıcaklığı yükselmiştir. Ayrıca YBSL'in içerisinde cıva da mevcuttur. Yüksek basınçlı sodyum buharlı (YBSL) armatürlerinin zamana bağlı akım, gerilim ve güç değerleri tablo 3'te verilmiştir (Durak, 2013).

Tablo incelendiğinde, zaman ilerledikçe lamba uçlarındaki gerilim 2 değeri artmakta, akım 2 değerinde ise azalma görülmektedir. Güç değerlerindeki farklılığın nedeni kullanılan transformatörün kayıplarından dolayı oluşmaktadır. Transformatör, ateşlemeden sonra balast görevi görmektedir. Bu nedenle transformatör üstünden geçen akım ile kayıp bir güç oluşur. Balastın verimi kalkış esnasında %72 olmasına rağmen, kararlı duruma

geçtiği zaman verimi, %86'ya kadar yükselir.

Balast çıkışındaki gerilim 2 değeri, lambanın çalıştığı andan sekizinci dakikaya kadar olan sürede şebeke geriliminin altında bir değerdir. Bunun nedeni; balastın, çalışmaya başladığı ilk anda gerilimin büyük kısmını kendi üzerine almasından kaynaklanır. Bununla birlikte balastın bir diğer etkisi de akım değerlerini sınırlandırmak ve belirli bir zaman sonunda düzenli hale getirmektir (Durak, 2013).

YBSL armatürün zamana bağlı güç katsayıları ve akım - gerilim harmonik ölçüm değerleri tablo 3'te verilmiştir. Çok sayıda yüksek harmonikli yükler kullanılması durumunda trafoda ve aynı şebekeden beslenen diğer elektronik elemanlara ciddi biçimde zarar verirler. Aktif güç filtreleri kullanılarak yüksek akım ve gerilim harmoniklerinin zararları azaltılabilir. Akım harmoniklerinin değerleri (THDI) %15, gerilim harmoniklerinin (THDV) ise %5'in altında olması beklenir (Yi, 2011).

Tablo 3. YBSL Armatüre Enerji Verildikten Sonra Belirli Zaman Aralıklarındaki Ölçüm Değerleri

Süre	Akım 1 (A)*	Akım 2 (A)**	Gerilim 1 (V) *	Gerilim 2 (V) **	Güç 1 (W)*	Güç 2 (W)**
30 sn	1,537	3,654	225,1	38,4	180	131
2 dk	1,378	3,151	225	79	264	208
5 dk	1,391	2,713	225,6	114,5	299	255
8 dk	1,405	2,588	255	121,8	301	259
Süre	THDI(%)		THDV(%)		PF	
30 sn	24		2,4		0,52	
2 dk	29,1		2,3		0,85	
5 dk	30,7		2,2		0,95	
8 dk	29		2,3		0,95	

(*) : balast öncesi yapılan ölçümler

(**): balast sonrası yapılan ölçümler

LED'ler, (Işık yayan diyotlar) Galyum-Nitrit, Galyum-Fosfit ve Galyum-Arsenur gibi yarı-iletken maddelerden yapılır. Çok sayıda diyotun seri, paralel guruplar halinde birleştirilmesiyle oluşan elektronik devre elemanlarıdır. LED armatürlerin zamana bağlı akım, gerilim ve güç değerleri tablo 4'te verilmiştir (Perdahaci ve ark., 2014).

Tablo 4' te görüldüğü üzere LED lambalı armatürün, akım ve gerilim değerleri zamanın her diliminde sabittir. Sürücünün verimi %93'tür (Perdahaci ve ark., 2014).

Aynı tabloya bakıldığı zaman gerilim harmoniklerinin değeri yüzde 15'in altında, akım harmoniklerinin değeri de yüzde 5'in altında olduğu görülür.

Tablo 4. LED Armatüre Enerji Verildikten Sonra Belirli Zaman Aralıklarında Alınan Ölçüm Değerleri

Süre	Akım 1 (A)*	Akım 2 (A)**	Gerilim 1 (V) *	Gerilim 2 (V) **	Güç 1 (W)*	Güç 2 (W)**
30 sn	0,57	0,501	226	228,2	123	115
2 dk	0,57	0,501	226	228,2	123	115
5 dk	0,57	0,501	226	228,2	123	115
8 dk	0,57	0,501	226	228,2	123	115
Süre	THDI(%)		THDV(%)		PF	
30 sn	13,2		2,2		0,97	
2 dk	13,2		2,2		0,97	
5 dk	13,2		2,2		0,97	
8 dk	13,2		2,2		0,97	

(*) : LED sürücü öncesi yapılan ölçümler

(**): LED sürücü sonrası yapılan ölçümler

Bitlis 8 Ağustos Tünelinin Aydınlatma Analizi

Bitlis 8 Ağustos tünelinin boyu 1958 metre uzunluğundadır. Tünel aydınlatması hesaplanırken Karayolları Genel Müdürlüğünün özel teknik şartnamesinde vermiş olduğu değerler baz alınmıştır. Bu değerler şu şekildedir; Yolda müsaade edilen hız değeri: 70 km/saat

Tasarım hızı: 80 km/saat

Yolun eğimi: %4

Fren mesafesi: 100 metre

Dış bölge parıltısı: 3000 cd/m²

Eşik bölgesi parıltısı: 150 cd/m²

Yol kaplaması: Asfalt sınıfı R3, $q_0 = 0,07(\text{cd/m}^2)/lx$

Tünel içi duvar kaplaması: Beton (yansıtma katsayısı 0,4)

Bakım faktörü: 0,7

Karayolları Genel Müdürlüğü bu verilen değerlere göre tünelin aydınlatmasında istenen ışık şiddet gereksinimlerini ve nasıl aydınlatma istediğini bölgelere göre şu şekilde belirtmiştir.

Giriş Aydınlatması (Geçiş ve Eşik Bölgesi)

Eşik bölgesinin ikinci yarısında parıltı seviyesi doğrusal olarak Eşik bölgesi parıltı seviyesinin %40'ına kadar azaltılacaktır. Geçiş bölgesi parıltısı, CIE 88.2004 yayınında belirtildiği şekilde, iç bölge parıltı seviyesinin 2 katına eşit seviyeye düşene kadar devam ettirilecektir. Eşik ve geçiş bölgesi aydınlatma sistemi 6 kademeli olarak kontrol edilecektir. Eşik ve Geçiş bölgeleri parıltı seviyesi hiçbir yerde ve hiçbir kademede CIE adaptasyon eğrisinin altına düşmeyecektir. Tünellerin eşik ve geçiş bölgelerinin aydınlatılması zıt ışınlı (counter beam) aydınlatma armatürleri ile yapılacak ve zıt ışın kullanım şartı ($L/Ev \geq 0.6$) sağlanmış olacaktır.

İç Bölge Aydınlatması

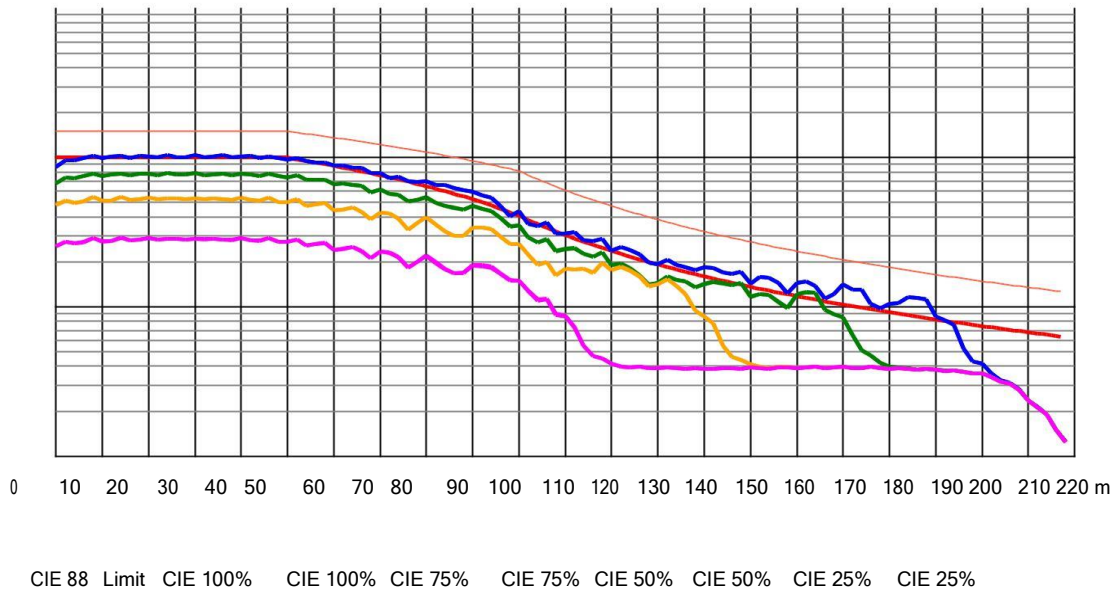
Tünel içindeki araç trafiği yoğunluğu düşük (yani araç/saat >100 , $=<1000$) kabul edilerek tünelde müsaade edilen hız sınırına göre tünel iç bölge parıltı seviyesi belirlenecektir. Bu bölge 4cd/m² ve 2 cd/m² olmak üzere iki parıltı seviyesi şeklinde yapılacaktır. İkinci iç bölge parıltı seviyesi, DIM özelliği kullanılmadan, armatürlerin çapraz yakılıp söndürülmesi ile 1cd/m² seviyesine düşürülecektir. Tünellerde çıkış bölgesi aydınlatması yapılmayacaktır. İç bölge aydınlatma sisteminde, simetrik ışık dağılımlı armatürler kullanılacaktır ve simetrik aydınlatma şartı ($L/Ev < 0,2$) sağlanmış olacaktır. Yolun tamamında ortalama parıltı düzgünlüğü (L_{min}/L_{ort}) 0,4'ten; her şerit için boyuna parıltı düzgünlük oranı ise (L_{min}/L_{max}) 0,6'dan büyük olacaktır. Bu bölgede görebilme eşik değeri artışı TI %15 ile sınırlanacaktır.

Gece Aydınlatması

Tünel tamamı aydınlatılmamış bir yol üzerinde olduğundan, tüm uzunluğu boyunca yanacak ve ortalama 1 cd/m²'lik parıltı seviyesi sağlanacak şekilde bir gece aydınlatması yaratılacaktır. Gece aydınlatmasında tünelin tamamında ortalama parıltı düzgünlüğü (L_{min}/L_{ort}) 0,4'ten, her şerit için boyuna parıltı düzgünlük oranı ise (L_{min}/L_{max}) 0,6'dan büyük olacaktır. Gece aydınlatma sistemi, iç bölge aydınlatma armatürleri ile sağlanacaktır.

Karayolları Genel Müdürlüğünün vermiş olduğu verilerle istenen aydınlatma seviyeleri, aydınlatma ve armatür tasarımı yapan Schreder firması tarafından yapılmıştır. Tasarımı yapılan tünelin adaptasyon eğrisi şekil 4' te verilmiştir.

Grafik incelendiğinde aydınlatma seviyesi, bütün aydınlatma kademelerinde limit değerinin üzerine çıkmamıştır.



Şekil 4. 8 Ağustos Tüneli CIE Adaptasyon Eğrisi

Tünel aydınlatma hesabı yapılırken ilk önce L20 dış bölge parlaklığı değeri hesaplanır. Bu değer (1)'deki formülle hesaplanır. Formül için gerekli parametreler tablo 1 de verilmiştir. 8 Ağustos tünelinin sürüş yönü kuzeydir.

Schreder firmasının hazırlamış olduğu aydınlatma tasarımına göre tünellerde kullanılacak armatür sayıları ve bu armatürlerin hangi kademelerde devreye girecekleri ise şu şekildedir.

Tablo 5. 8 Ağustos Tünelinin Kademelere Göre Armatür Sayıları (Sodyum Buharlı)

	400W armatür sayısı (Sodyum Buharlı)	250W armatür sayısı (Sodyum Buharlı)	150W armatür sayısı (Sodyum Buharlı)	70W armatür sayısı (Sodyum Buharlı)
Kademeler				
1. Kademe (Gece Kademesi)	0	0	0	278
2. Kademe (% 25)	14	0	0	414
3. Kademe (% 50)	30	4	2	414
4. Kademe (% 75)	44	8	8	414
5. Kademe (% 100)	58	10	14	414
6. Kademe (Acil durum Kademesi)	0	0	0	134

Yapılan tasarımda Karayolları Genel Müdürlüğü'nün isteği doğrultusunda aydınlatma kademelere ayrılmıştır. Tabloda görüleceği üzere bazı kademelerde aydınlatma armatür sayılarında artış gözükmemektedir. Bu

durumun sebebi gün ışığının fazla geldiği saatlerde göz adaptasyonunun sağlanması için tünel içindeki aydınlatma seviyesinin artması gerektiğindedir. Geceleyin yolculuk yapan bir sürücü karanlık bir ortamdan tünel giriş yapacağından göz

adaptasyonu için gerekli olan aydınlatma seviyesi daha düşüktür. Bu durumdan dolayı da 1. kademede (Gece kademesinde) armatür sayısı daha azdır. 6. kademenin (Acil durum kademesi) armatür sayısındaki azalmanın sebebi ise; tünele herhangi bir şekilde şebekeden enerji verilemeyeceği durumlarda kesintisiz güç kaynağından beslenebilecek maksimum armatür

sayısının beslenerek eşik bölgesi parıltı değerinin 75 cd/m^2 olması durumundan kaynaklanmaktadır. Tünelde kullanılan toplam armatür sayısı ise 5. Kademedeki toplam armatür sayısı olan 494 adettir.

Aynı tüneli istenilen ışık seviyelerinde LED armatür ile tasarlamak istediğimizde kademelere göre oluşacak armatür sayısı ise tablo 6' da gösterilmiştir.

Tablo 6. 8 Ağustos Tünelinin Kademelere Göre Armatür Sayıları (LED)

	213 W armatür sayısı (LED)	153 W armatür sayısı (LED)	75 w armatür sayısı (LED)
Kademeler			
1. Kademe (Gece Kademesi)	0	0	184
2 Kademe (% 25)	40	184	0
3. Kademe (% 50)	84	184	0
4. Kademe (% 75)	130	184	0
5. Kademe (% 100)	174	184	0
6. Kademe (Acil durum Kademesi)	0	0	184

Tablo incelendiğinde; tıpkı sodyum buharlı armatür tasarımı olduğu gibi 1. Kademe ve 6. Kademe armatür sayılarının, diğer kademelerdeki armatür sayılarına göre daha az olduğu görülmektedir. LED armatür tasarımında iki farklı özelliğe sahip armatür kullanılmıştır. Bunlar; 500 ma 153 W 96 LED ve 700 ma 213 W 96 LED özelliğine sahiptir. 153 w güce sahip olan armatür dimleme özelliği ile ışık şiddetini yarıya düşürerek 75 W güç çekmektedir. Gerek sodyum buharlı aydınlatma tasarımı gerekse LED armatür tasarımında hangi kademenin hangi saatlerde devreye gireceğini, gün ışığını ölçmeye yarayan ve bu ölçümleri scada üzerinden sisteme gönderen Luminansmetre cihazları belirlenmektedir. Bitlis 8 Ağustos tünelinin bir gün

boyunca Luminansmetreden aldığı değerlerle hangi kademenin ne kadar zaman devrede kaldığı bilgisi şu şekildedir;

1. kademenin devrede kalma süresi: 17 saat 10 dakika
2. kademenin devrede kalma süresi: 1 saat 15 dakika
3. kademenin devrede kalma süresi: 1 saat 5 dakika
4. kademenin devrede kalma süresi: 1 saat 45 dakika
5. kademenin devrede kalma süresi: 2 saat 45 dakika
6. kademenin devrede kalma süresi: 0 saat 0 dakika

Bu bilgiler ışığında sodyum buharlı armatürler ile LED armatürlerin kademelere göre enerji tüketimleri tablo 7' de verilmiştir.

Tablo 7. 8 Ağustos Tünelinin Kademelere Göre Enerji Tüketim

Kademe	Yıllık Çalışma Saati	Sodyum Buharlı Armatür		LED Armatür	
		Güç (W)	Tüketim (kWh)	Güç (W)	Tüketim (kWh)
1.Kademe (Gece Kademesi)	6265,8 H	23074 W	144577	13800	86468
2. Kademe (%25)	456,25 H	34992 W	15965	36672	16731
3. Kademe (%50)	395,,41 H	49354 W	19515	46044	18206
4. Kademe (%75)	638,75 H	57850 W	36951	55842	35669
5. Kademe (%100)	1003,75 H	65776 W	66022	65214	65458
6. Kademe (Acil Durum Kademesi)	0 H	0 W	0	0	0
Toplam			283030		222532

Tablo 7 incelendiğinde özellikle 1. kademede LED armatürlerin çok daha az enerji tükettiği, yıllık tüketim miktarına bakıldığında ise 60.498 kWh LED armatürlerin daha az enerji tükettiği görülmektedir.

LED armatürler daha az enerji tüketmesine karşı ilk kurulum maliyetleri

diğer armatür çeşitlerine göre daha yüksektir. 8 Ağustos tüneli için her iki tasarımda oluşacak maliyet hesabını ve LED armatürün kendini kaç yılda amorti edeceğini tablo şeklinde inceleyecek olursak;

Tablo 8. 8 Ağustos Tünelinin Maliyet İncelemesi

	LED Armatür (358 adet)	Sodyum Buharlı Armatür(496 adet)
İlk Kurulum Maliyeti	393.800,00 TL	198.400,00 TL
7 Yıllık Enerji Tüketim Fiyatı	718.380,25 TL	913.680,56 TL
Bakım Masrafı (7 Yıllık)	0	86.800,00 TL
Toplam	1.112.180,25 TL	1.198.880,56 TL

Tablo 8 incelendiğinde LED armatürler kendini 7 yılda rahatlıkla amorti ettiği görülmektedir. 1 adet LED armatürün ilk kurulum maliyeti 1100 TL iken, 1 adet Sodyum Buharlı armatürün kurulum maliyeti 400 TL' dir. 8 Ağustos tüneline 496 adet Sodyum Buharlı armatür kullanılmıştır. Aynı tüneli LED armatürle tasarladığımızda bu sayı 358 adet olmaktadır. Bir adet Sodyum Buharlı armatürün yıllık bakım masrafı 25 TL iken, LED armatürler için ise literatürde

böyle bir masraf söz konusu değildir. Ayrıca sodyum buharlı lambaların çalışma ömrü ortalama 30.000 saat iken LED armatürlerde 50.000 saatten fazladır (Çelebi ve Karatekin 2014).

Enerji piyasasında 1 kWh elektrik yaklaşık olarak 0,461173 TL olup tablo 8' deki enerji tüketim miktarlarıyla bu fiyat çarpıldığında armatürlerin harcadığı elektrik fiyatları tablo 8' deki gibi olmaktadır.



Şekil 5. LED Armatür İle Tünel Aydınlatması

Tünellerde Led Aydınlatma Armatürlerinin Tercih Edilme Nedenleri

- LED armatürlerin enerji verimliliğinin yüksek olması.
- Yüksek ışık verimliliği 25°C’de minimum 130 lm/W,
- LED armatürlerde kullanılan çipin küçük boyutlarda olması sayesinde istenilen tasarımın kolayca yapılması.
- LED armatürlerde ışık çıkışının yüksek olması.
- LED armatürler kırılmalardan malzemenin yapılmadığı için montajı ve bakımı kolaydır.
- Doğrusal akımla çalışmaları için diğer armatürler gibi insan kulağı ile duyulacak ses titreşimlerine neden olmamaları.
- İçeriğinde cıva gibi ağır maddeler ve halojen gazlar olmadığından çevreci olması (Farsakoğlu ve ark. 2014).
- Çalışma esnasında LED armatürler titreşimsiz yanma özelliğine sahiptirler.
- Diğer aydınlatma armatürleri gibi çok yüksek ısı vermediklerinden güvenli kullanıma imkân sağlamaları.
- LED armatürlerin ömrü daha uzun olduğu için diğer aydınlatma ürünlerindeki gibi sürekli bakım gerektirmez. LED armatür içindeki lamba sayısının belirli bir miktarı bozulmayana

kadar aydınlatmadaki homojenlikte çok büyük bir değişiklik olmaz.

- LED optik tasarımındaki gelişmelerle (LED-lens uyumu) tünel aydınlatma sistemlerine uyum sağlayabilmesi.
- LED lambaların Color Rendering Index (CRI) değerlerinin >70 ‘te olması sebebiyle cisimleri kendi renklerinde algılanabilmesini sağlar (Peng, 1988).

LED’lerin, küçük boyutlara sahip olması, yüksek verimlilik değerleri, uzun ömürlü olmaları, otomasyon sistemlerine kolay uyumları ve geniş renk aralığına sahip olmasını avantajları olarak özetleyebiliriz (Yurtseven ve ark. 2015).

Tartışma ve Sonuç

Tünellerde gece aydınlatılması yapıldığı gibi gündüz aydınlatması da yapılır. Hatta gündüz saatlerinde; sürücünün tünele girdiğinde göz adaptasyonunun bozulmaması için daha fazla bir aydınlatma gerekir. Bu durumda da gündüz saatlerinde kullanılan enerjinin gece saatlerinde kullanılan enerjiden çok daha fazla olmasına neden olur. Gündüz aydınlatılmasında harcanan enerji gece aydınlatılmasında harcanan enerjiden onlarca kat fazla olabilmektedir. Bu durum göz önüne alındığında tünellerde harcanan enerji ve maliyetinin önemi oldukça artmaktadır. Tüneller, günün her

anı aydınlatıldıklarından dolayı armatürlerin belirli aralıklarla değiştirilmesi ve düzenli bakımlarının yapılması oldukça zordur. Yapılan bir çalışmada tünellerde flüoresan lamba yerine LED armatür kullanılmasının enerji tasarrufu ve bakım kolaylığı sağlandığı tespit edilmiştir (Cengiz ve Rüstemli, 2014).

Tünellerin kapalı ortam olması nedeniyle sıcaklık, nem, rutubet gibi etkenlerden dolayı aydınlatma elemanların kullanım süresi azalmaktadır. Aynı zamanda tünellerden geçen araçların egzoz gazları da aydınlatma elemanlarının kullanım süresini azaltmaktadır. Tünellerde gün boyu enerji kullanıldığından dolayı bu enerjiyi verimli bir şekilde kullanmak gerekir. Tablo 3 ve tablo 4’ te verilen akım, gerilim değerlerine bakıldığı zaman LED armatürün YBSL armatüre göre daha verimli olduğu görülmektedir. Aynı tablolardan görüldüğü üzere; LED armatürün, sürücü öncesi ve sonrası yapılan ölçümlerde sabit akım ve gerilim değerlerine sahip olup sürücü verimi %93 tür. Bu verim YSBL’ da görülmemektedir. Aksine THDI değerleri %15’ in altında olması beklenirken bu değer çok üstünde olduğundan hem sisteme zarar verir hem de daha fazla enerji ihtiyacını ortaya çıkarır.

Kurulum aşamasında LED armatürler daha maliyetlidir. Ancak LED lambalı armatürlerin bakımının kolay olması ve daha az enerji harcaması sebebiyle, yüksek güç tüketimli aydınlatma elemanlarına alternatif olacaktır. Dünyada enerjinin büyük önem kazandığı bu dönemde düşük güç tüketimli, merkezi bir sistemden kontrol edilebilen, armatür tasarımı geliştirilmelidir. Tasarımı böyle yapılmış bir armatür tüm tünellerde yüksek oranda enerji tasarrufu sağlar. Aynı zamanda sürücü güvenli bir şekilde ışık verimliliği yüksek bir tünelden geçiş olur.

Kaynaklar

- Akbulut A., 2006. Tünel Aydınlatması, Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Cengiz, M.S., Rüstemli S., 2014. The relationship between height and efficiency and solution offerings in tunnel and subsea tunnels”, *Light & Engineering*, vol 22, No.2, pp. 76- 83.
- Çelebi, F., Karatekin, C., 2014. İstanbul Halit Ulukurt Tünelinde Eşik Parıltı Değeri ve Fren Mesafesine Göre LED Armatür ile Aydınlatma Tasarımı, *Eleco 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, 27–29 Kasım 2014, Bursa.
- Durak, M., 2013. Tünel Aydınlatma Sistemlerinde LED Teknolojisi.
- Farsakoğlu, O.M., Atık, İ., Hasırcı, H.Y., 2014. LED Aydınlatma Sistemlerinin Çevre Kirliliğini Azaltmadaki Etkileri, *Yüzüncüyıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19;(1-2) 94-103.
- Gil, M.L., Pena, G.A., Hernandez, M.E., 2014. Study of Light Pipes for the Use of Sunlight in Road Tunnels: From a Scale Model to Real Tunnels, *Tunn Undergr Sp Technol*, 41:82-7.
- International Commission on Illumination –C.I.E, 1990. Guide for The Lighting of Road Tunnels and Underpasses, CIE NO 88.
- Kılıç A, (2013), Kentsel Dış Mekânlarda LED Aydınlatma Sistemlerinin Değerlendirilmesi Üzerine Örnek Bir Çalışma.
- Karayolları 11. Bölge Müdürlüğü, 2016. Bitlis Tünel İşletme Şefliği.
- Mehri, A., Hajizadeh, R., Farhang, D., Nassiri, P., Jafari, S.M., Taheri, F., Zakerian, S.A., 2017. Safety Evaluation of the Lighting at the Entrance of a Very Long Road

- Tunnel: A Case Study in İlam, Safety and Health at Work, 8:151-155.
- Onaygil S., 2013. Aydınlatmada Enerji Verimliliği, Elektrik Mühendisliği, 446 pp. 29-3
- Peng F.Z., 1988. Application Issues of Active Power Filters, IEEE Industry Applications Magazine, 4 ;5, pp. 21-30
- Perdahcı C., Dursun F, 2014. Güvenli Sürüş İçin Tünel Aydınlatılmasının Önemi, Koceeli.
- Rüstemli, S., Gültaç, V., Avcil, S., 2016. The Systems and Applications of Led Roadway Lighting. International Engineering, Science and Education Conference, 01-03 December 2016 Diyarbakir-Turkey
- Tünel Aydınlatma Sistemlerinde LED Teknolojisi, <http://www.bestdergisi.com.tr>
- Yi H, 2010. Researchon Intelligent Control of Tunnel Lighting System Based on LED, International Conference on Optoelectronics and Image Processing, 1 pp. 247-250.
- Yurtseven, M.B., Onaygil, S., 2015. Latest Developments in LED Standards, 21st International Conference Light Svetlo, 11 January 2015, Burno-Çekya