



Tünel Aydınlatma Sistemlerinde Aydınlık Düzeyi Toleransının Bakım Faktörüne Göre Saptanması

Detection of Luminance Level Tolerance in Tunnel Lighting Systems by Maintenance Factor

Mehmet Sait Cengiz¹

¹Department of Technical Vocational School Bitlis Eren University, Bitlis, TURKEY

Başvuru/Received: 23/10/2018

Kabul/Accepted: 05/03/2019

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2019

Öz

Bu çalışmada gün boyunca sürekli olarak çalışan tünel aydınlatma sistemlerinde bakım faktörünün etkisi simülasyon ortamında incelenmiştir. Bakım faktörünü oluşturan temel parametreler anlatılarak bu parametrelerinde kirlilik gibi parametrelerin bakım faktörü hesabına katılması gerektiği hesaplamalı olarak ortaya konulmuştur. Sürekli devrede olan-çalışan tünel aydınlatmasında meydana gelen performans kayıplarının, bakım faktörü çarpanını küçülttüğü anlaşılmış olup, standart bakım faktörü yerine detaylandırılmış bakım faktörünün kullanılması gerektiği görülmektedir. Buna göre tünel aydınlatmasının ilk kurulumu esnasında hesaplanan %E değerine performans kaybına neden olan diğer etkilerde eklenerek bakım faktörü hesabı yapılmalıdır. Bu işlemler simülasyon ortamında yapılarak Standart bakım faktörü ve detaylandırılmış bakım faktörü sonuçları karşılaştırılarak, ortaya çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Aydınlik düzeyi, tünel aydınlatma, bakım faktörü”

Abstract

In this study, the effect of maintenance factor in tunnel lighting systems which are continuously working throughout the day has been investigated in simulation environment. The main parameters that constitute the maintenance factor are explained and calculated as the pollution factor in such parameters. It is understood that the performance factor of continuous tunnel lighting diminishes the factor of maintenance factor and it is seen that detailed maintenance factor should be used instead of standard maintenance factor. During the first installation of the tunnel, the calculated E% value should be added to other effects that cause performance loss and the maintenance factor calculation should be made. By performing these operations in simulation environment, the results of standard maintenance factor and detailed factor have been compared and the results have been evaluated.

Key Words

“Light level, tunnel lighting, maintenance factor”

1. Giriş

Günümüzde enerji kaynaklarının sınırsızmış gibi kullanılması insanoğluna tasarruf yapma zorunluluğu getirmiştir (Gil-Martin ve ark., 2015). Bu amaçla özellikle bilim insanları enerji tasarrufuna yönelik çalışmalar yürütmektedir. Enerji tüketiminin yüksek olduğu alanlardan biride tünel yol aydınlatmasıdır. Bu aydınlatma yapılırken gereksiz enerji sarfiyatı yapılmadan maliyetleri arttırmadan tüketim yapılmalıdır (Cengiz ve Mamiş, 2015; Cengiz ve ark., 2018). Bu çalışmada sürekli devrede kalan tünel aydınlatma sistemlerinin elektrifikasyonu incelenmiştir. Tünel aydınlatmasında temel amaç, gece ve gündüz şartlarında, güvenli araç veya trafik akışını sağlamaktır. Tünel aydınlatma performansı; yol yüzeyi ve duvarların aydınlatma düzeyi, genel ve boyuna aydınlatma düzgünlüğü, kamaşma kontrolü, nesnelerin algılanabilmesi için gerekli kontrastın oluşturulabilmesi ve titreşim frekansı gibi parametrelere bağlıdır.

Tünel aydınlatma tasarımı yapılırken, hesaplamalarda fren mesafesine dikkat edilir. Bu mesafe sürücünün önündeki engeli görüp tepki verme süresiyle ilgilidir. Fren mesafesi aydınlatma tasarımının temel dayanağını oluşturduğu gibi aynı zamanda tünel aydınlatmasının gerekliliğini de ortaya koyar. Tünel boyunca sürücülerin, emniyetli ve rahatsız olmadan tünele girmesi, tünel boyunca ilerlemesi ve tünel çıkışında sürüşüne devam etmesi trafik güvenliği açısından çok önemlidir. Sürücünün tünel içerisinde bir cisim fark edebilmesi için aydınlık düzeyinin ve ortalama parlılığın doğru ve optimum olması gereklidir. Tünel aydınlatmasında zorlu koşullara maruz kalan elektriksel elemanların ekonomik ömrünü tespit etmek, meydana gelecek performans kayıplarını öngörmek ve bunlara müdahale etmek zaman ile işgücü açısından büyük zorluklar taşımaktadır. Bu nedenle aydınlatmada tolerans payının geniş tutulması elektrik tüketimini arttırmış gibi görünse de toplam kazanım (ekonomik, teknik ve işgücü) açısından fayda sağlamaktadır.

2. Aydınlık Düzeyi Performans Kayıpları

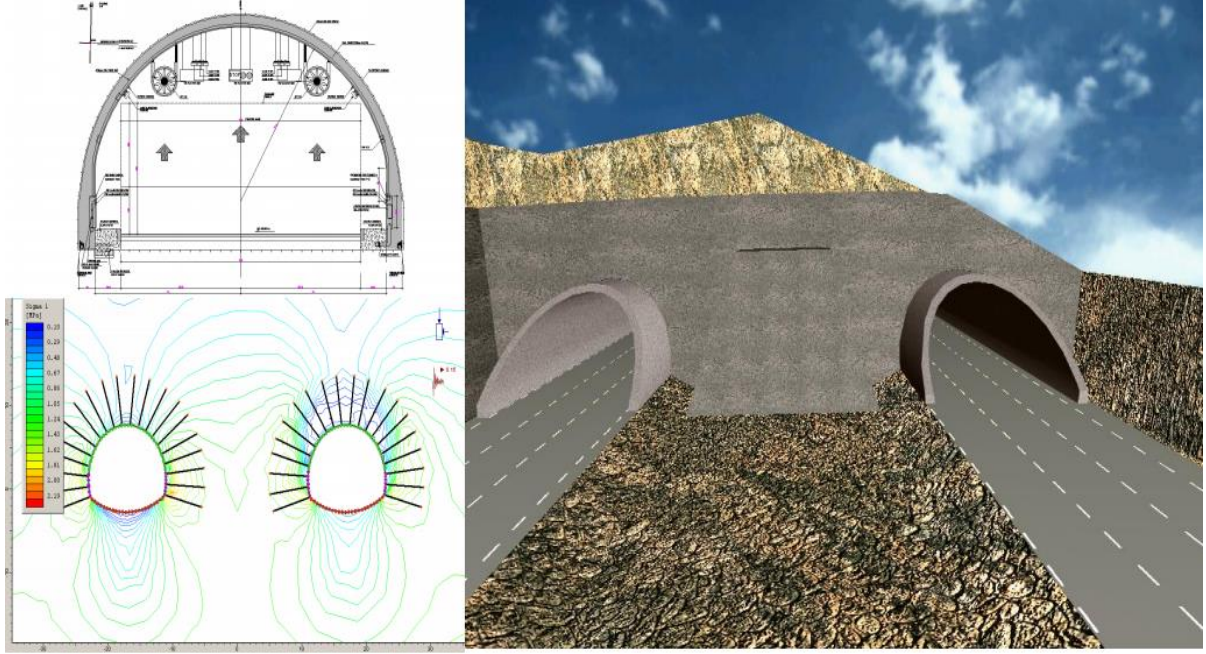
Tünel aydınlatmasında aydınlatmanın tanımını sürücü için görüş konforunun sağlanması olarak tanımlayabiliriz. Sürekli olarak devrede kalan tünel aydınlatmasında kullanılan aydınlatma elemanlarının ışık akısı değerlerinde zamanla azalmalar meydana gelmektedir. Yani zamanla aydınlatma elemanlarının ekonomik ömürleri dolmaktadır. Armatürler kullanıldıkça ekonomik ömrünü doldurup kirlenme etkileriyle birlikte performans kaybı yaşarlar. Performans kaybında önemli bir etkende kullanıma bağlı olarak ışık akısındaki azalmadır. Şekil 1'de kullanımda olan sodyum buharlı çift askı tertibatlı örnek tünel aydınlatması görülmektedir.



Şekil 1. Sodyum buharlı çift askı tertibatlı örnek tünel aydınlatması

Armatürlerin performansları zamana bağlı olarak azaldığından, aydınlatma sisteminin performansı belirlenmiş bir süre için tanımlıdır. Belirlenen zaman aralığında yani armatürlerin kullanım süresi dolunca tüm armatürlerin yenilenmesi veya armatürlerin performanslarının iyileştirilmesi (armatür cam temizliği, lamba değişimi) gibi bakım işlemleri yapılmalıdır. Aydınlatma sisteminin en düşük performansa düştüğü anda dahi, tünel içinde yeterli aydınlatma sağlanabilmelidir. Bunu sağlamak için tünel aydınlatma tasarımı yapılırken simülasyon veya hesaplama ile öngörülen performans düşümünün sistem performansına eklenmesi yöntemi uygulanmalıdır.

Lambaların ışık düzeylerindeki azalma ve bakım eksiklikleri sebebiyle aydınlatmada oluşacak yetersizlikler görme koşullarını olumsuz etkiler. Bu aşamada kullanılacak aydınlatma simülasyon programları, ilk kurulum aşamasında tünel aydınlatmasında gerekli tolerans payını tespit etmek için büyük kolaylıklar sağlar. Bu amaçla literatürde bir çok fonksiyonu gerçekleştirecek bireysel simülasyonlar hazırlanmıştır (Arı ve ark., 2017; Çıbuk ve Balık, 2011). Bu yöndeki çalışmalar akıllı şebekelere geçişi ve otomasyonu artırarak verimliliğine katkı sunmaktadır (Efe ve Cebeci, 2013; Olga ve ark., 2019; Cengiz, 2013; Ruchkina ve ark., 2019; Cengiz 2014; Efe ve Cebeci, 2015; Eruğrul, 2011). Bu çalışmada yol-tünel aydınlatmasına yönelik bir simülasyondan faydalanılmıştır. Şekil 2'de Üç şeritli tünel aydınlatması simülasyon görünümü verilmiştir (Protek, 2017).



Şekil 2. Üç şeritli tünel aydınlatması simülasyon görünümü

Bir aydınlatma aygıtı minimum aydınlatma düzeyini, kullanım süresi boyunca sağlamalıdır. Aydınlatma performansındaki kayıp aydınlatma aygıtlarında bakımı zorunlu hale getirmektedir. Tünel aydınlatmasında kullanılan aydınlatma aygıtları kullanım süresi dolsa dahi (en minimum düzeyde) ihtiyaca cevap verecek toleransa uygun olarak tesis edilmelidir (Eren ve ark. 2017; Gencer ve ark., 2017). Bu nedenle tolerans payına bağlı bakım faktörünün doğru hesaplanması gereklidir. Bir aydınlatma sisteminin toplam maliyetinde, bakım faktörü elektrik tüketimini arttırdığı için önemli yer tutmaktadır. Çünkü bakım faktörü aydınlatma parametreleri ile çarpan konumunda olduğundan, direk olarak enerji tüketimini arttırmaktadır.

Aydınlatma hesaplama programlarında bakım faktörü bir çarpan olarak kullanılmaktadır. Performans hesabında bakım faktörü, denklem 1’de Aydınlanma düzeyi (E) bağıntısında görüldüğü gibi çarpan olarak kullanılır (Cengiz, 2019). Denklem 1’de aydınlık düzeyi ile bakım faktörü ilişkisi görülmektedir.

$$E = \frac{I * \cos^3 \varepsilon * \Phi}{H^2} * BF \quad (1)$$

Denklem 1’de I : ışık şiddeti (cd), Φ : ışık akısı (lm), BF: bakım faktörü, H: armatürün yerden yüksekliği (m), ε : armatürden yüzeye gelen ışık ile yüzeyin normali arasındaki açıyı ifade eder (Özkaya, 1994; TS EN 13201-2).

3. Bakım Faktörü Parametreleri

Bakım faktörü çeşitli parametrelerin toplam etkisinden oluşmaktadır. Bunların en önemlileri; Lümen Bakım Faktörü (LBF), Canlılık Faktörü (CF), Armatür Bakım Faktörü (ABF) ve Optik etki (OE) (LED lamba için) gibi parametrelerdir (Cengiz ve Cengiz, 2018).

3.1 Armatür bakım faktörü

Aydınlatma performansının tayininde önem arz eden parametreler armatürler ve işletme koşullarıdır. Armatürlerin ekonomik ömrü ve çevresel faktörler, aydınlatma verimindeki kayıpların sebebidir. Kirlenen armatür yüzeyleri nedeniyle ışık geçirgenliği azalınca lambaların verimliliği de azalır. Bu etkiye bakım faktörü denilir. Armatürlerin belirlenen süre boyunca performansını koruması için armatür camının temizlenmesi veya lambaların değiştirilmesi gibi bakım işlemleri yapılmalıdır.

Bakım faktörü, belirli bir süre sonunda bir aydınlatma sistemi tarafından sağlanacak performansı, dönemin başındaki performansa bağlı olarak belirleyen bir parametredir. Bakım faktörü, bakım süresinin sonunda %15 performans kaybının tahmin edildiği bir sistem için %85 olarak tanımlanır.

Bakım faktörü armatürlerin teknolojik düzeyine göre değişir. CIE 154:2003’e göre, armatürlerin bakım faktörü, birden çok performans göstergesinin ürünüdür. Bakım faktörü armatürlerin kirlenme düzeyine, armatürde kullanılan ışık kaynağına ve ışık akısında azalmaya neden olabilecek tüm etkilere bağlıdır. Tablo 1’de Armatürün koruma derecesine ve çevre kirliliği kategorisine göre armatür bakım faktörü görülmektedir (CIE-154, 2003; CIE-88, 2004).

Tablo 1. Armatürün koruma derecesine ve çevre kirliliği kategorisine göre armatür bakım faktörü

Armatür Koruma Sınıfı	Kirlilik Kategorisi	Bakım Faktörü Katsayısı (Yıl)				
		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
IP2X	Yüksek	0.53	0.48	0.45	0.43	0.42
	Orta	0.62	0.58	0.56	0.54	0.53
	Düşük	0.82	0.80	0.79	0.78	0.78
IP5X	Yüksek	0.89	0.87	0.84	0.80	0.76
	Orta	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82
	Düşük	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88
IP6X	Yüksek	0.91	0.90	0.88	0.85	0.83
	Orta	0.92	0.92	0.89	0.88	0.87
	Düşük	0.93	0.93	0.91	0.90	0.90

3.2 Lümen bakım faktörü

LBF, Işık kaynağındaki performans kaybına denir. Armatürün kirlenmeye karşı koruma sınıfına (IP) ve çevrenin kirliliğine bağlıdır. Kullanım süresine bağlı olarak, tünel içinde 24 saat boyunca aydınlatma yapan 100 W HPS lambalar için performans kaybını gösteren üretici firma kataloğundan alınır (Protek, 2017; Master T Son Apia, 2018). Buna göre 1. yıl 8766 saat, 2. yıl 17532 saat ve 3. yıl 26298 saatlik kullanım süresi sonundaki ışık akısındaki düşüş sırasıyla %6, %10 ve %13 olarak tespit edilmiştir.

3.3 Canlılık faktörü

Canlılık Faktörü (CF), ışık kaynağının, belirlenen bakım periyodu için canlı kalma oranına denir. Armatür Bakım Faktörü (ABF) armatür özelliği ve çevresel etkilere azalan ışık akısının başlangıç ışık akısına oranıdır. Aydınlatma yapılan yerlerde arızalanan her lambanın anında değiştirilmesi durumunda, CF=1 kabul edilir. Yani başka bir deyişle %100 olarak hesaba katılır. Ancak, bu uygulamada mümkün olamamaktadır. Periyodik zamana aralığında toplu veya grupsal değişimler yapılabilmektedir. Toplu lamba değişimi için öngörülen azami lamba sönme oranı %10 olarak benimsenen bir yerde tüm lambaların değişimi %10 sönme gerçekleştiğinde yapılır (Master T Son Apia, 2018).

Tablo 2'ye göre lambalarının tünel iç bölgesinde kullanım süresine bağlı olarak CF, 1 yıllık çalışma süresi 8766 saate, 2 yıllık çalışma süresi 17532 saate ve 3 yıllık çalışma süresi 26298 saate denktir. Lamba canlılık eğrisine göre, %10 sönme oranı 3. yıldan sonra gerçekleşmiştir. %10 sönme oranına ulaşan lambalar 3 yıldan fazla kullanımın mümkün olmadığını göstermektedir.

3.4 Optik etki

Optik etki (OE), LED'li armatürlerde, bakım faktörünün belirlenmesinde yüksek ısıya maruz kalan lenslerin sebep olacağı %5'lik kayıplar ihmal edilmemelidir (IEC 62717, 2014; IEC 62722-1, 2014). LED kaynaktan çıkan ışığın yönlendirilebilmesi için lensler kullanılmaktadır. Reflektörlerden farklı olarak lenslerin ışık geçirgenliği zamanla azalır. OE, LBF'ye ilave edilerek kullanılır. Bu parametrelerin çarpımıyla BF hesabı denklem 2'e göre yapılır.

$$BF = ABF * LBF * CF \quad (2)$$

4. Tünel Aydınlatmasında Bakım Faktörünün Tayini

Bu çalışmada tünel içinde 6 m yüksekliğe ikili şekilde takılan Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı (YBSB) 100 W lambalı armatürler kullanılmıştır. YBSB lambalı armatürler için bakım faktörü Lümen Bakım Faktörü, Canlılık Faktörü ve Armatür Bakım Faktörü gibi üç ana unsurun çarpımıyla denklem 2'ye göre hesaplanmıştır. 100 W gücünde, YBSB lambalı armatür IP65 koruma sınıfında seçilmiştir (Master T Son Apia, 2018). Buna göre 40.000 saat çalışma süresine sahip bir YBSB lambaya ait çalışma süreleri ve yıllara göre oluşan lamba lümen bakım faktörleri Tablo 2'de görülmektedir. Tablo 3'te YBSB lambalı tünel aydınlatma bakım faktörü ve gerekli minimum aydınlık düzeyi görülmektedir.

Tablo 2. YBSB lambaya ait çalışma süreleri ve yıllara göre oluşan LBF

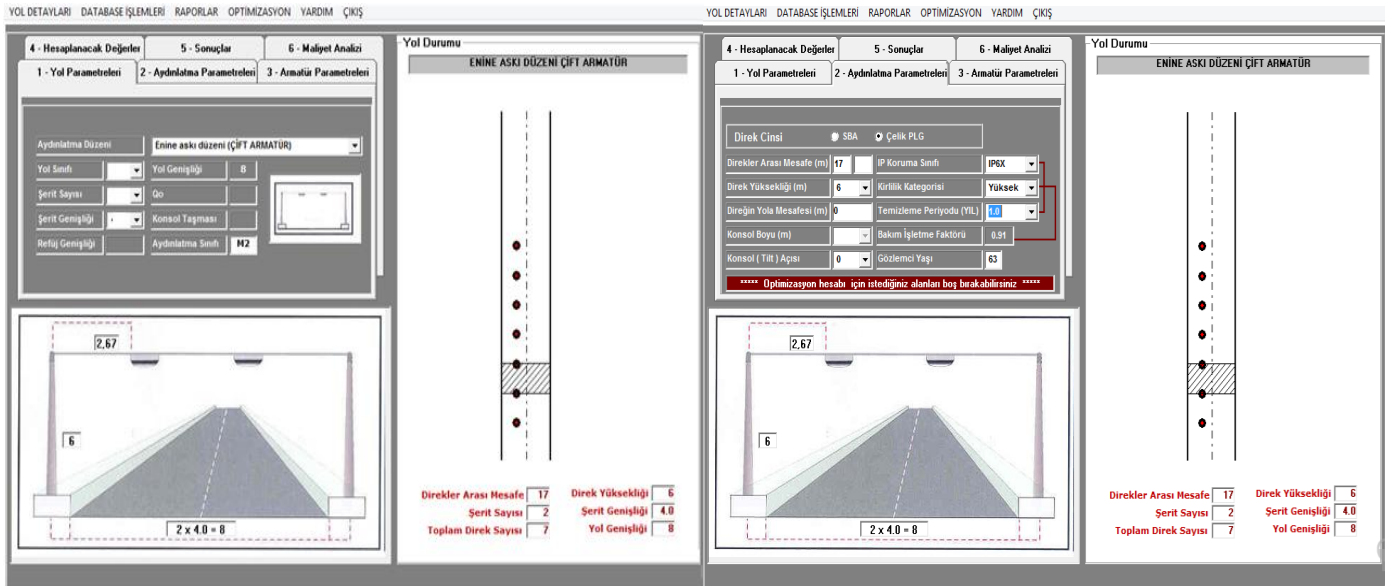
Yıl	Çalışma Süresi	LBF
1	8.766	0.98
2	17.532	0.97
3	26.298	0.90

Tablo 3. YBSB lambalı tünel aydınlatma bakım faktörü ve gerekli minimum aydınlık düzeyi

Yıl	IP65-Yüksek Kirlilikte ABF	CF	LBF	BF ($BF = ABF * LBF * CF$)	E%
1	0.91	0.99	94	0,8468	1.1810
2	0.91	0.98	90	0,8026	1.2460
3	0.91	0.90	87	0,7125	1.4035

5. Tünel Aydınlatması Tasarımı

Uluslararası standartlarda ve ilgili literatürde yol tipleri tanımlanmış olup uyulması gereken standartlar CIE raporlarında verilmektedir. Bu çalışmaya temel oluşturan standartlar CIE 88-2004'e göre hazırlanmıştır (CIE-88, 2004). Fotometrik değerleri bilinen armatürler ile gerekli tasarım hesapları yapılmalı, armatür sayısı ve tipi bu hesaplara göre saptanmalıdır. Kullanılan simülasyon programındaki pencereler üzerinde yol parametrelerine yönelik çeşitli seçimler yapılabilmektedir. Yol parametreleri penceresi altında aydınlatma düzeni (karşılıklı, kaydırılmış, refüjlü yol, refüjsüz yol, tek armatürlü tünel yolu, iki armatürlü tünel yolu gibi), yol sınıfı (R1, R2, R3, R4, N1, N2, N3, N4 gibi), şerit sayısı, şerit genişliği, refüj genişliği, aydınlatma sınıfı (M1, M2, M3, M4, M5, M6 gibi) seçimler yapılabilmektedir. Aydınlatma parametreleri penceresi altında direk veya askı düzeni aydınlatma için, armatürler arası mesafe, armatürün yerden yüksekliği, armatürün yola mesafesi, konsol açısı, IP koruma sınıfı, kirlilik oranı, temizleme periyodu, bakım faktörü gibi özellikler seçilmektedir. Armatür parametreleri penceresinde ise armatür adı, açısı, kullanılan lambanın gücü, kullanım ömrü, ışık akısı, balast gücü görülmekte olup, istenildiğinde Database işlemleri başlığı altında yeni lambalarda bu simülasyona eklenebilmektedir. Bu sayede istenilen her türlü lambanın simülasyona eklenmesi mümkün olabilmektedir. Sonuçlar penceresinden de veri girişi yapılan aydınlatma düzenine yönelik kolay ve hatasız bir hesaplamaya ulaşılmaktadır (Onaygil, 1998; Güler ve Onaygil, 2002; Onaygil, 2007; Ayaz ve ark., 2019). Şekil 3'te Yol ve aydınlatma parametrelerine ait örnek veri giriş ekranları görülmektedir (Onaygil, 2007).

**Şekil 3.** Yol ve aydınlatma parametrelerine ait örnek veri giriş ekranları

5.1 Tünel yol aydınlatma parametreleri

Yol kaplaması asfalt olup, sınıfı R3'tür. $Q_0=0.07$, duvar kaplaması beton, duvar yansıtma katsayısı 0.4, armatür yüksekliği 6 m'dir. Tasarımı yapılan tünele ait Tünel yol ve aydınlatma parametreleri Tablo 4'te görülmektedir.

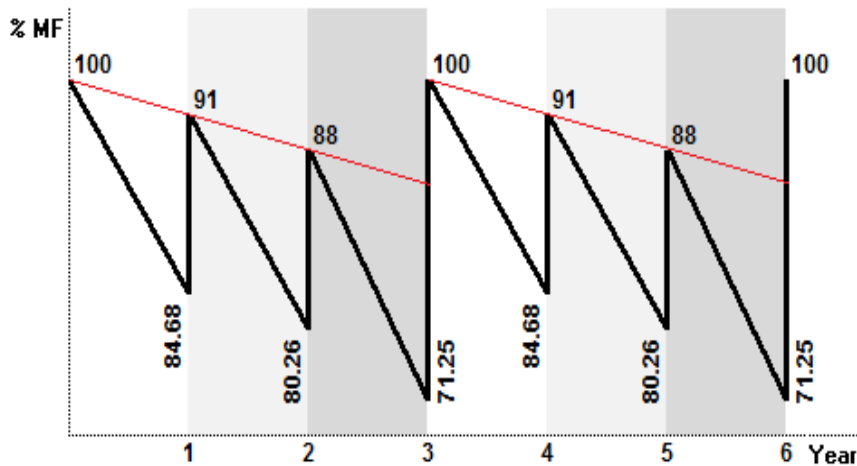
Tablo 4. Tünel yol ve aydınlatma parametreleri

Tünel aydınlatma düzeni:	
Enine askı düzeni (Çift Armatürlü)	
Yol sınıfı	M2
Yol Şerit Sayısı	3
Yol Şerit Geniliği	3.5
Yol Geniliği	10.5
Yol Sınıfı	R3
Q _o	0.07
Direkler arası mesafe	15
Yükseklik	6
BF (IP65-Yüksek kirlilik)	0.91
Armatür Tipi	YBSB
Armatür Açısı	0
Lamba Gücü	100
Işık Akısı	8346

6. Materyal ve Yöntem

Yol aydınlatma hesabında Noktasal Aydınlatma Hesabı Yöntemi kullanılmıştır (Özkaya, 1994). Bu yöntemde öncelikle noktasal aydınlatma hesabı yapılacak alan seçilir. Hesap alanı olarak iki direk arasındaki alan tespit edilir. Hesap alanındaki ilk armatürden başlayarak 60 m geriye doğru ve her şeridin ortasında duracak şekilde konumlandırılan gözlemciye göre noktasal hesaplama yapılır. Yol yüzeyindeki bir noktanın aydınlık düzeyi hesabı içinse bir noktaya gelen yatay aydınlık düzeyine tüm lambalardan gelen ve bu noktada oluşan aydınlık düzeylerinin toplamına eşittir. (Cengiz, 2019).

Bu çalışmada tünel içinde 3 şeritlik yol boyunca yatay ve dikey konumda seçilen 90 nokta üzerinde simülasyon yardımıyla ölçüm ve hesaplama yapılarak seçilen noktaların aydınlık düzeyi değerleri tablo 5'e işlenmiştir. Bu yaklaşımda aydınlatma elemanlarının 3 yıllık çalışması sonrası meydana gelen performans kaybı dikkate alınmamıştır. Standart bakım faktörü etkisine göre simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Ancak gerek tozlanma gerekse lambaların devamlı çalışması sonucu ekonomik ömürlerin dolması yani elektriksel elemanların yaşlanması etkisi nedeniyle ekstra bir bakım faktörü oluşmaktadır. Yani aslında standart BF etkisinde birçok etki dikkate alınmamaktadır. Bunun yerine detaylandırılmış BF etkisine göre yeni BF hesaba katılınca %E değerinin %140.35 oranında olması gerektiği anlaşılmaktadır. Şekil 4'e göre detaylandırılmış BF etkisi bağlı %140.35 oranında olmalıdır. Şekil 3'te 100 W YBSB armatürler için kullanıma bağlı optik performans değişimi görülmektedir (Cengiz ve Cengiz 2019).



Şekil 4. 100 W YBSB armatürler için kullanıma bağlı optik performans değişimi (Cengiz ve Cengiz 2018).

Buna göre Şekil 4 incelendiğinde;

- 1. yılın sonunda MF, %84.68'e düşmekte iken armatür camlarında yapılan temizlik ile MF, %91'e yükselmektedir. 1. yılın sonunda %E değeri %15.32 kayıp yaşamaktadır. Yılın sonundaki kaybı tolere etmek için E değeri %18.10 daha fazla olmalıdır.

- 2. yılın sonunda MF %80.26'e düşmekte iken armatür camlarında yapılan temizlik ile MF %88'e yükselmekte, 2. yılın sonunda %E değeri %19.74 kayıp yaşamaktadır. 2. yılın sonundaki kaybı tolere etmek için E değeri %24.60 daha fazla olmalıdır.
- 3. yılın sonunda %71.25'e düşmekte iken armatür camlarında yapılan temizlik yeterli olmadığından tüm lambalar değiştirilmelidir. BF 3. yılın sonunda lambalardaki ışık akısı azalması nedeniyle aydınlık düzeyindeki düşüşün tolere edilemez hale gelmesi nedeniyle tüm lambalar değiştirilmelidir.
- E_{ort} düzenli olarak azalmıştır. E_{ort} 1. yılda %100 ile başlamışken 2. yılda %91 ve 3. yılda %88'in altına düşmüştür. Buna göre tünel aydınlatmasında 24 saat esaslı olarak çalışan lambalar 3. yılın sonunda komple değiştirilmelidir. Çünkü lamba canlılık eğrisine göre, %10 sönme oranı 3. yıldan sonra gerçekleşmiştir. %10 sönme oranına ulaşan lambalar 3 yıldan fazla kullanımın mümkün olmadığını göstermektedir.
- Tablo 3 incelendiğinde %E değerlerinin 1. yılda %118.10 daha fazla olması gerekirken, 2. yılda %E değerinin %124.60 daha fazla olması gerektiği ve kullanımın sona ereceği yani tüm lambaların değişiminin yapılacağı yıl olan 3. yılda %E değerinin %140.35 oranında olması gerektiği görülmektedir. Yani tünel aydınlatma sistemi ilk çalışmasında devreye girerken %E değeri optimum olarak seçilmiş olsada aslında bu oran hatalı bir orandır. Çünkü zamanla %E oranında azalmalar olduğu Tablo 3'ten görülmektedir. Tablo 3'e göre 3 yıllık çalışmanın sonunda tünel aydınlatması BF çarpanı %71.25'e düşmekte yani $\%E=1/0.7125=\%140.35$ oranına ulaşmaktadır. Bu nedenle simülasyondaki E değerlerine yıllara göre oluşan bakım faktörü etkisi ilave edilerek doğru sonuca ulaşılabilir.

Tablo 5'te Standart BF hesabına göre 90 noktaya ait aydınlık düzeyi değerleri görülmektedir.

Tablo 5. Standart BF hesabına göre 90 noktaya ait aydınlık düzeyi değerleri

Konum Dikey/ Yatay	0,750	2,250	3,750	5,250	6,750	8,250	9,750	11,250	12,750	14,250
0,583	79,88	56,24	41,23	35,74	35,16	35,16	35,74	41,24	56,24	79,89
1,750	57,16	41,20	30,75	24,53	25,27	25,27	24,53	30,76	41,20	57,17
2,917	36,43	28,86	24,10	19,22	19,12	19,12	19,22	24,10	28,86	36,44
4,083	25,78	22,16	18,89	16,76	16,39	16,39	16,76	18,89	22,16	25,78
5,250	22,98	20,19	17,07	15,93	15,57	15,57	15,93	17,07	20,20	22,98
6,417	25,78	22,16	18,89	16,76	16,39	16,39	16,76	18,89	22,16	25,78
7,583	36,43	28,86	24,10	19,22	19,12	19,12	19,22	24,10	28,86	36,44
8,750	57,16	41,20	30,75	24,53	25,27	25,27	24,53	30,76	41,20	57,17
9,917	79,88	56,24	41,23	35,74	35,16	35,16	35,74	41,24	56,24	79,89

Tablo 5'e %E değeri tolerans oranı olan %40.35 ilave edilince Tablo 6 elde edilir. Tablo 6'da detaylandırılmış BF hesabına göre 90 noktaya ait aydınlık düzeyi değerleri ve Tablo 7'de standart ve detaylandırılmış BF hesabına göre genel sonuçlar görülmektedir.

Tablo 6. Detaylandırılmış BF hesabına göre 90 noktaya ait aydınlık düzeyi değerleri

Konum Dikey/ Yatay	0,750	2,250	3,750	5,250	6,750	8,250	9,750	11,250	12,750	14,250
0,583	112,11	78,93	57,87	50,16	49,34	49,35	50,16	57,87	78,94	112,12
1,750	80,23	57,82	43,16	34,43	35,46	35,46	34,43	43,17	57,82	80,24
2,917	51,13	40,50	33,82	26,97	26,83	26,83	26,97	33,83	40,51	51,14
4,083	36,18	31,10	26,51	23,52	23,00	23,00	23,52	26,52	31,10	36,18
5,250	32,25	28,34	23,95	22,36	21,85	21,85	22,36	23,95	28,35	32,25
6,417	36,18	31,10	26,51	23,52	23,00	23,00	23,52	26,52	31,10	36,18
7,583	51,13	40,50	33,82	26,97	26,83	26,83	26,97	33,83	40,51	51,14
8,750	80,23	57,82	43,16	34,43	35,46	35,46	34,43	43,17	57,82	80,24
9,917	112,11	78,93	57,87	50,16	49,34	49,35	50,16	57,87	78,94	112,12

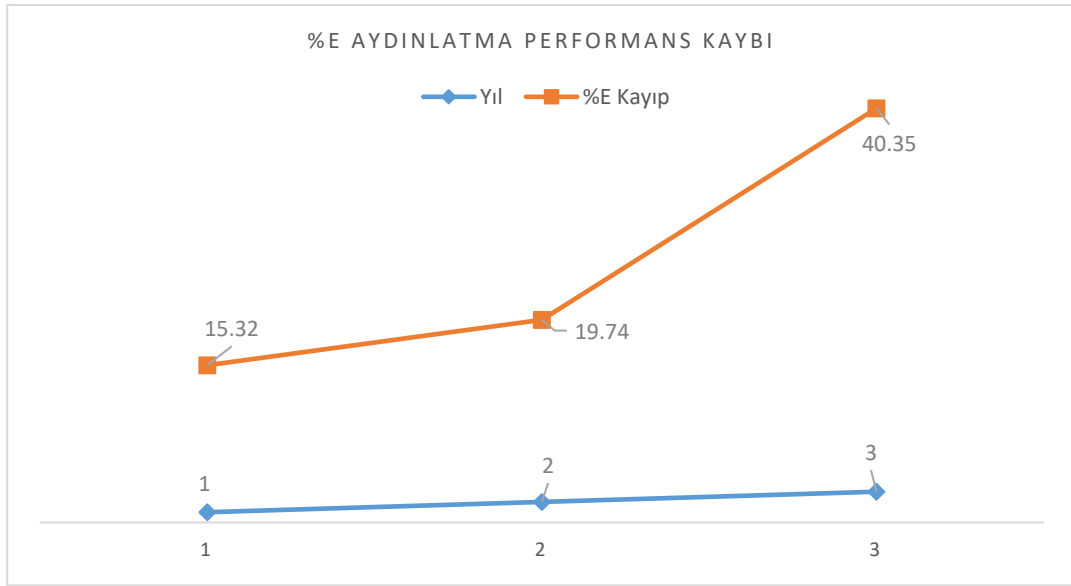
Tablo 7. Standart ve detaylandırılmış BF hesabına göre genel sonuçlar

Genel Sonuçlar	Standart BF	Detaylandırılmış BF
Emin	15,56	21,84
Emax	79,89	112,13
Eort	31,14	43,70
Uoa	0,50	0,70
Ula	0,19	0,27
Sr	1,09	1,53

7. Sonuçlar

Gün boyunca sürekli olarak enerji tüketen tünel aydınlatma sistemlerinde yol aydınlatmalarına göre yaklaşık 3 kat daha fazla yıpranma ve performans kaybı görülmektedir. Aydınlatma aygıtlarında en düşük performansa inme durumunda dahi, tünel içinde yeterli aydınlatma sağlanmalıdır. Çünkü tünel aydınlatmalarından kaynaklanabilecek kaza riskleri en aza indirmek için her türlü koşulda minimum aydınlatmayı sağlayacak bir aydınlatma tasarımı oluşturulmalıdır. Bu amaçla öngörülen performans düşümünün sistem performansına eklenerek hesaplama ve simülasyon çalışması yapılmıştır.

Tünel BF tespitine yönelik olarak öngörülemez olumsuz koşullardan bir veya birkaçının oluşması nedeniyle detaylandırılmış BF hesaplanırsa; 1. yılda %E değerinde %15.32, 2. yılda %19,74 ve 3. yıl sonunda %40.35 oranında performans kaybı yaşanır. Şekil 5'te yıllara göre aydınlatmada oluşan performans kaybı görülmektedir.



Şekil 5. Yıllara göre aydınlatmada oluşan performans kaybı

Tünel aydınlatması ilk kez tasarlanırken veya lamba değişiminin olduğu komple bakım yapılırken 3 yıllık bir tünel aydınlatmasında aydınlık düzeyi %40.35 oranında tolerans payı bırakılarak tünel aydınlatması yapılmalıdır. Simülasyon sayesinde farklı senaryo ve ihtimaller için kolaylıkla hesaplama yapılabilmektedir. Tünel aydınlatmasında YBSB lamba gücü 100 W olarak seçilmiş olsa da, bir üst lamba tipi olan 150 W'lık YBSB lamba kullanılmalıdır. Ancak bu şekilde tünel aydınlatması için gerekli tolerans payı bırakılmış olur.

References

- Arı, D. Çıbuk, M. Ağgün, F. (2017) Effect of relay-priority mechanism on multi-hop wireless sensor networks, Bitlis Eren University Journal of Science and Technology, 7(2), 145–153.
- Ayaz, R. Ozcanli, A.K. Nakir, I. Bhusal, P. Unal, A. (2019) Life Cycle Cost Analysis on M1 and M2 Road Class Luminaires Installed In Turkey. Light Engineering, 27(1), 61-47.
- Cengiz, M.S. (2019) A Simulation and Design Study for Interior Zone Luminance in Tunnel Lighting, Light Engineering, 27(2).

- Cengiz, M.S. (2014) Evaluation of Smart Grids and Turkey. *Global Advanced Research Journal of Engineering Technology and Innovation*, 3(7), 149-153.
- Cengiz, M.S. (2013) Smart meter and cost experiment. *Przeglad Elektrotechniczny*, 89(11), 206-209
- Cengiz MS. & Cengiz Ç. Numerical Analysis and An Application Study on Maintenance Factor in Tunnel Lighting, *Journal of Engineering and Technological Sciences*.(In press)
- Cengiz, M.S. Mamiş M.S. (2015) Endüstriyel tesislerde verimlilik ve güneş enerjisi kullanımı. VI. Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi, 21-25. 4-6 Haziran 2015, Sakarya, Türkiye
- Cengiz, M.S. Mamiş M.S. (2015) Solution Offers For Efficiency and Savings in Industrial Plants. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology* 5(1), 24-28.
- Cengiz, M.S. Mamiş, M.S. (2015) Price-efficiency relationship for photovoltaic systems on a global basis, *International Journal of Photoenergy*, 2015(2015), 1-12.
- Cengiz, M.S. Mamiş, M.S. Yurci, Y. (2018) Providing electrical power increase by stimulating temperature difference at low temperatures in Stirling motors, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 36(1), 86-97.
- CIE, "CIE 154-The Maintenance of Outdoor Lighting Systems, 2003.
- CIE Technical Report-88-2004. "Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses [R] ", 2004.
- CREE, SSL Design Processes/Considerations, (2009) Available from:www.cree.com ABD, (Accessed 09.09.2017).
- Çıbuk, M. Balık, H.H. (2011) A novel solution approach and protocol design for bio-telemetry applications. *Advances in Engineering Software*, 42(7), 513-528.
- Efe SB, Cebeci M, 2013. Power flow analysis by Artificial Neural Network, *International Journal of Energy and Power Engineering*, 2 (6): 204-208.
- Efe SB. Cebeci M. 2015. Mikro Şebekenin Farklı İşletme Koşulları Altında İncelenmesi, 6. Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu, 4-6 Haziran 2015, Sakarya, Türkiye
- Eren, M., Kaynaklı, M., Yapıcı, I., Gencer, G., Yurci, Y., Cengiz, Ç. (2017) Numerical Analysis of Maintenance Factor for Tunnel and Road In Solid State Lighting", *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology*, Bitlis, Turkey, October 27-29, 2017. Bitlis.
- Ertugrul, Ö.F. (2011) Enerji Verimliliği Çalışmaları ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Bölgede Kullanılabilirliği ve Yatırım Olanakları, Batman, Siirt, Şırnak İlleri Enerji Forumu.
- Gencer, G. Eren, M. Yildirim, S. Kaynaklı, M. Palta, O. Cengiz, M.S. Cengiz, Ç. (2017) Numerical Approach to City Road Lighting Standards, *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology*, Bitlis, Turkey, October 27-29, 2017, Bitlis
- Gil-Martín, L.M. Gómez-Guzmán, A. Peña-García, (2015) Use of diffusers materials to improve the homogeneity of sunlight under pergolas installed in road tunnels portals for energy savings, *Tunnel Undergr. Space Technol.* 48, 1, pp.123-128.
- Güler Ö. & Onaygil S. (2002) The effect of luminance uniformity on visibility level in road lighting, *Lighting Research Technology*, 35: 199-215.
- IEC 62717, (2014) LED module for general lighting. Performance requirements, 2014
- IEC 62722-1, (2014) Luminaire performance-Part 2-1 : Particular requirements for LED luminaries, 2014
- Master Son-T Apia Plus-Xtra, HPS-100, (2018) Available online at: http://www.lighting.philips.com/main/prof/conventional-lamps-and-tubes/high-intensity-discharge-lamps/son-highpressure-sodium/master-son-t-apia-plus-xtra/92815021_EU/product, (Accessed on 09.05.2018).
- Onaygil, S. (1998) Yol aydınlatma projelerinde yol sınıfının belirlenmesinin önemi, *Kaynak Elektrik Dergisi*, 12: 125-132.

Onaygil S. (2007) TEDAŞ Genel Müdürlüğü Meslek İçi Eğitim Semineri-Gölbaşı Eğitim Tesisleri, Yol aydınlatma Semineri 23-24 Ocak 2007.

Onaygil S. (2007) TEDAŞ Genel Müdürlüğü Meslek İçi Eğitim Semineri, TEDAŞ Basımevi, Ankara, 1-70.

Olga N. Ryzhik, A.A.V. Shajdullina V.K. (2019) Alternative Ways of Attracting Investments in the Energy Saving Technologies Industry. *Light Engineering*, 27(1), 103-108.

Özkaya, M. (1994) *Aydınlatma Tekniği*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 91.

Protek Company Catalog, (2017). Available from: <http://www.protekproje.com/downloads/ProtekProjeCompanyCatalogTR.pdf>, (Accessed on 09.05.2018).

Ruchkina G.F. Matveeva, E.Y. (2019) Energy Saving in the Sphere of State Public Interests. *Light Engineering*, 27(1), 97-102.

TSE standard: TS EN 13201-2, Road lighting - Part 2: Performance requirements (Effective date: 09.12.2016).