

YOL AYDINLATMASI TESİSATLARINDA OTOMASYON STRATEJİLERİ

Burcu
BÜYÜKKINACI¹
bbuyukkinaci@isbak.com.tr

Sermin
ONAYGİL²
onaygil@itu.edu.tr

Önder GÜLER²
onder.guler@itu.edu.tr

M.Berker
YURTSEVEN²
byurtseven@itu.edu.tr

¹ İSBAK A.Ş. Cendere Yolu No:52 34406 Kağıthane-İstanbul
² İTÜ Enerji Enstitüsü, İTÜ Ayazağa Kampüsü, 34469 Maslak-İstanbul

ÖZET

Günümüzde aydınlatma armatürleri etkin bir şekilde loşlaştırılabilmekte, bilgisayar ve haberleşme teknolojileri de tüm armatürleri tek bir merkezden yönetebilmektedir. Ancak ne zaman ve ne kadar loşlaştırma yapılacağı bilinmediğinden yol aydınlatması otomasyon sistemleri etkin bir şekilde uygulama alanı bulamamaktadır. Dünyadaki çeşitli uygulamalarda araştırmacılar kendi yöntemlerini geliştirerek değişen yol ve sürüş koşullarına göre loşlaştırma yapan sistemler tesis etmeye çalışmaktadır. Ancak tüm bu uygulamalar genellikle yerel pilot projeler olarak kalmış, uluslararası kabul gören herhangi bir yöntem henüz oluşturulamamıştır. Otomasyon sistemleri kullanılırken önemli olan, uluslararası standart ve öneriler ile belirlenmiş yol aydınlatması kalite kriterlerine uygun, sürüş güvenliğini tehlikeye atmayan doğru loşlaştırma senaryolarını belirleyebilmektir. Otomasyon stratejilerini belirlemeden ve uygulamadan önce mümkün olduğunca test projeleri üzerinde çalışılması, gerçek yol kullanıcıları ile deney ve anketlerin gerçekleştirilmesi, sürüş güvenliği konusunda daha çok araştırma yapılması gerekmektedir. İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ve İstanbul Ulaşım Haberleşme ve Güvenlik Teknolojileri A.Ş. (İSBAK), ortak bir proje geliştirerek, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'ndan aldığı proje desteği ile İstanbul İTÜ Ayazağa Kampüsü içerisinde, sürücülerin görüş performansını ölçüp değerlendirmek amacıyla değişik koşul ve senaryoların yaratılabileceği bir test yolu kurmuştur. Test yolu üzerinde gerçekleştirilecek ölçüm ve deney sonuçlarına göre doğru loşlaştırma senaryolarının uygulandığı bir "yol aydınlatması otomasyon sistemi"nin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar sözcükler: Aydınlatma otomasyon stratejileri, Loşlaştırma senaryoları, Yol aydınlatması otomasyonu.

1. GİRİŞ

Yol aydınlatma sistemlerinde görsel konforun ve enerji verimliliğinin artırılması ile ilgili çalışmalar başlıca iki alanda yoğunlaşmaktadır. Bunlardan ilki daha verimli ışık kaynakları ve armatürlerin kullanılması, ikincisi ise aydınlık düzeyi, dolayısı ile parıltının farklı seviyelerde gerektiği kadar ayarlanabilmesine olanak sağlayan kontrol ve kumanda sistemleridir.

Mevcut teknolojik gelişmeler çeşitli algılayıcılar ve kameralar ile yoldan geçen araç sayısının ve trafik yoğunluğunun gerçek zamanlı olarak ölçülmesine olanak sağlamaktadır. Elde edilen bu tip bilgiler kontrol sistemine bir giriş parametresi olarak konulduğunda, yine gerçek zamanlı olarak armatür ışık akılarını o anki yol koşullarına uygun şekilde değiştirmek

mümkün olabilmektedir. Teknik olarak armatür ışık akıları istenilen seviyelerde loşlaştırılabilmektedir. Ancak can ve mal güvenliği açısından ele alındığında, gerçek yol koşullarında hangi saatlerde ve ne oranda loşlaştırma yapılması gerektiği konusundaki bilgi eksikliği, yol aydınlatması otomasyon sistemlerinin mevcut ya da yeni kurulacak olan aydınlatma tesislerinde uygulanmasının önündeki en büyük engeldir.

Dünya'da gerçekleştirilen örnek projeler ile, yol aydınlatmalarında ışık akısının ayarlanabildiği otomasyon sistemleri kullanıldığında, önemli oranda enerji tasarrufu elde edilebileceği anlaşılmaktadır. Ancak ışık akısını azaltmanın sürücülerin görüş performansını nasıl etkileyeceği, sürücü emniyet ve konforunu nasıl değiştireceği üzerinde henüz yeterli

araştırma yapılamadığı için, kontrol stratejileri ve loşlaştırma senaryoları belirlenirken çelişkili yaklaşımlar ortaya konulmaktadır. Bir görüşe göre trafik yoğunluğu azaldığında ışık akısı (ortalama yol yüzeyi parlaklığı) azaltılabilirken, diğer bir görüşe göre trafik yoğunluğu azaldığında araç hızının ve güvenli duruş mesafesinin artması nedeniyle daha yüksek yol parlaklığı düzeylerine ihtiyaç vardır [1, 2, 3, 4].

Bu nedenle, otomasyon stratejilerini belirlemeden ve uygulamadan önce mümkün olduğunca test projeleri üzerinde çalışılması, gerçek yol kullanıcıları ile deney ve anketlerin gerçekleştirilmesi, sürüş güvenliği konusunda daha çok araştırma yapılması gerekmektedir.

Sürüş güvenliği açısından, armatür ışık akısını azaltmanın sürücülerin görüş performansı üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için, ışık akısının istenilen seviyelerde ayarlanabileceği şekilde tasarlanan kontrol sistemi ile donatılmış, değişik koşul ve senaryoların yaratılabileceği, böylece sürücü görsel performansını etkileyen yol aydınlatma kalite kriterleri (parlaklığı, düzgünlük, kamaşma, vb.), tesisat özellikleri (ışık kaynağı, armatür, direk boyu, yol kaplaması, aydınlatma düzeni, vb.), sürücü kişisel özellikleri (yaş, cinsiyet, kültür, göz bozukluğu, vb.), çevresel faktörler (diğer araç farları, kamaşma kaynakları, görüş alanı karmaşıklığı, vb.) gibi çok sayıda parametrenin hem tekil hem de karşılıklı etkilerini dikkate alan deneysel çalışmaların yapılacağı test amaçlı yol aydınlatma tesisatlarına ihtiyaç vardır.

Bu düşünce ile, İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü'nde İTÜ ve İSBAK ortak çalışması ile, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından destekli SAN-TEZ projesi kapsamında, sürücülerin görüş performansını ölçüp değerlendirmek amacıyla değişik koşul ve senaryoların

yaratılabileceği bir test yolu kurulmuştur. Böylece yol aydınlatması otomasyon strateji ve senaryolarını belirlemek üzere çeşitli ölçüm ve deneylerin gerçekleştirilebileceği bir deney sahası hazırlanmıştır. Projenin sonunda, trafik algılayıcılarından araç hız bilgisini alan, yol üzerindeki mevcut koşullara uygun loşlaştırma oranına karar verebilen ve armatürlere bu yönde kumanda ederek sürücü emniyet ve konforunu bozmadan enerji tasarrufu sağlayabilen bir akıllı yol aydınlatma kontrol sisteminin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Bu bildiriye, İTÜ Ayazağa Kampüsü'ndeki test yolu tanıtılarak, bu yolda gerçekleştirilen ilk ölçüm ve hesaplar açıklanmaktadır.

2. TEST YOLU AYDINLATMA TESİSATI VE OTOMASYON SİSTEMİNİN KURULUMU

Test yolu aydınlatma sistemi kurulmadan önce gerçekleştirilen hazırlık çalışmalarında çok sayıda aydınlatma tasarım hesabı yapılarak armatür tipleri, direk yüksekliği, direkler arası açıklık, konsol boyu gibi çeşitli tesisat parametrelerine karar verilmiştir.

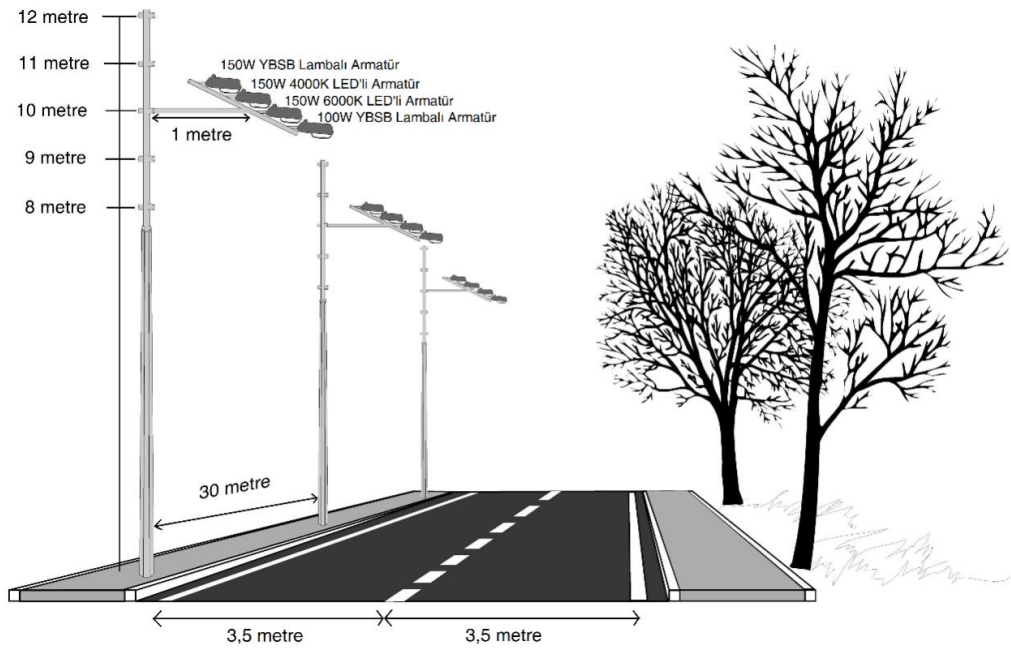
2.1 Test yolu tesisat parametreleri

Test yolu, her birinin genişliği 3,5 metre olmak üzere iki şeritli, toplam 7 metre genişliğinde ve 250 metre uzunluğundadır. Soldan tek taraflı düzenle aydınlatılmıştır. Test yolunda farklı yol aydınlatma sınıflarına ait senaryoların gerçekleştirilebilmesi ve farklı renk sıcaklıklarının etkisinin dikkate alınabilmesi amacıyla, sekiz adet direğin herbirine 150W gücünde 4000K ve 6000K renk sıcaklıklarında iki adet LED'li armatür ile 100W ve 150W güçlerinde iki adet yüksek basınçlı sodyum buharlı (YBSB) lambalı armatür olmak üzere, toplam dört adet armatür yerleştirilmiştir. Gerek bu

çalışma kapsamında gerçekleştirilecek saha testlerinde ihtiyaç duyulması halinde farklı parlaklık ve kontrastlar yaratılabilmesi; gerekse ileride yol aydınlatması konusunda gerçekleştirilecek benzer ya da farklı deneysel çalışmalarda esnek çözümler oluşturulabilmesi amacıyla test yolundaki direkler, ileri geri hareket düzeneği ile uzunlukları değiştirilebilen konsolların yükseklikleri 8, 9, 10, 11 ya da 12 metreye

ayarlanabilecek şekilde özel olarak tasarlanmıştır.

Gerçekleştirilen aydınlatma tasarım hesapları sonucunda, proje kapsamındaki çalışmalarda direkler arası mesafenin 30 metre, konsol boyunun 1 metre, armatür yüksekliğinin ise 10 metre olmasına karar verilmiştir. Şekil 1'de test yolu ve tesisat parametreleri grafik olarak gösterilmektedir.

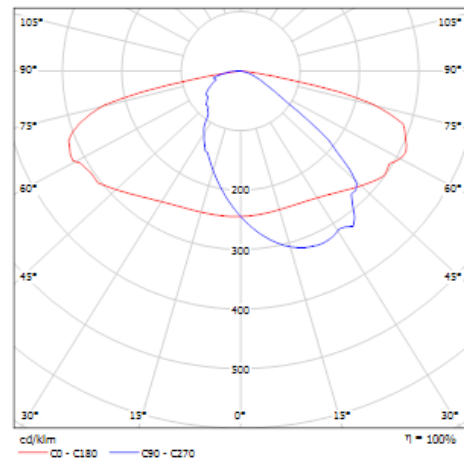


Şekil 1. İTÜ-İSBK Test yolu

2.2 Armatürlerin saha öncesi ölçümleri

İlk deneylerin LED'li armatürlerle yapılmasına karar verilmiş ve sahada test yolu kurulum çalışmaları devam ederken armatürlerin 1-10V kontrol gerilimi uygulanarak loşlaştırılabilmesi için gerekli hesap ve ayar ölçümleri yapılmıştır.

İSBK LightraPower LXMLED 150W LED armatürünün fotometrik özellikleri (ışık akısı, etkinlik faktörü ve ışık dağılım eğrisi) İTÜ Enerji Enstitüsü Enerji Verimliliği ve Aydınlatma Tekniği Laboratuvarı'nda ölçülmüştür. Armatür ışık dağılım eğrisi Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. İSBK Lightra Power LXMLED 150W armatür ışık dağılım eğrisi

4000K LED'li armatürün toplam ışık akısı 17850 lümen, 6000K LED'li armatürün toplam ışık akısı 19240 lümen olarak ölçülmüştür.

Armatürlerin loşlaştırılması için kullanılan Philips Xitanium 150W 1-10V kontrollü balastlar laboratuvarında test edilmiştir. Kontrol gerilimi kademeli olarak değiştirilerek, her kademede ışık akısı ve armatür toplam gücü ölçülmüştür. Armatür gücüne bağlı ışık akısı değişimi elde edilerek, farklı loşlaştırma seviyelerinin oluşturulabilmesi için uygulanması gereken kontrol gerilim değerleri belirlenmiş ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Değerlerden 10V'ın altına düşürülmesi için uygulanması gereken kontrol gerilim değeri belirlenmiş ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Değerlerden 10V'ın altına düşürülmesi için uygulanması gereken kontrol gerilim değeri belirlenmiş ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Değerlerden 10V'ın altına düşürülmesi için uygulanması gereken kontrol gerilim değeri belirlenmiş ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kontrol gerilimine bağlı loşlaştırma seviyeleri

| Loşlaştırma Seviyesi (%) | Kontrol gerilimi (V) |
|--------------------------|----------------------|
| 100 | 7,596 |
| 95 | 7,191 |
| 90 | 6,797 |
| 85 | 6,414 |
| 80 | 6,040 |
| 75 | 5,675 |
| 70 | 5,319 |
| 65 | 4,970 |
| 60 | 4,628 |
| 55 | 4,293 |
| 50 | 3,965 |
| 45 | 3,642 |
| 40 | 3,326 |
| 35 | 3,014 |
| 30 | 2,708 |
| 25 | 2,407 |
| 20 | 2,111 |
| 15 | 1,819 |
| 10 | 1,531 |

Laboratuvardaki deney ve ayarların tamamlanmasından sonra armatürler sahada direklere monte edilmiştir. Bilgisayar, tablet ya da cep telefonu kullanılarak internet

bağlantısı üzerinden armatürlerin ışık akılarının istenilen seviyelere ayarlanabilmesine olanak sağlayan bir yazılım geliştirilerek, test yolu tesisatına entegre edilmiştir.

3. SAHA ÖLÇÜMLERİ

EN13201-3'e [5] göre test yolunda iki direk arası eşit parçalara bölünerek 60 adet hesap noktası test yolu üzerinde işaretlenmiştir. EN13201-3'e uygun ölçüm yazılımı entegreli LMK Mobile Advanced kameralı parıltı ölçer ile 4000K ve 6000K LED'li armatürlü düzeneklerde M2, M3, M4 ve M5 yol aydınlatma sınıfları için tam olarak istenen parıltı düzeylerini elde edecek şekilde loşlaştırma seviyeleri belirlenmiştir. Sekiz senaryo için loşlaştırma seviyelerine karşılık gelen ışık akıları ve armatür güçleri Tablo 2'de, kameralı parıltı ölçer ile yapılan ölçümlere ait örnek ise, gerçek yol fotoğrafı ile birlikte Şekil 3'de verilmektedir.

Tablo 2. Farklı senaryolardaki loşlaştırma seviyeleri, ışık akıları ve armatür güçleri

| Yol aydınlatma sınıfı | Loşlaştırma seviyesi (%) | Işık akısı (Lümen) | Armatür gücü (W) |
|-----------------------|--------------------------|--------------------|------------------|
| 4000K | | | |
| M2 | 60 | 10710 | 81,74 |
| M3 | 38 | 6782 | 50,48 |
| M4 | 27 | 4820 | 36,05 |
| M5 | 17 | 3035 | 23,53 |
| 6000K | | | |
| M2 | 56 | 10900 | 78,47 |
| M3 | 36 | 7116 | 50,12 |
| M4 | 27 | 5412 | 38,15 |
| M5 | 17 | 3519 | 25,35 |



Şekil 3. Test yolu gerçek ve kameralı parıltı ölçer fotoğrafı

Sahada sekiz farklı senaryo için belirlenen loşlaştırma seviyelerine karşılık gelen ışık akıları veri olarak kullanılarak Dialux programı ile aydınlatma hesapları yapılmıştır. Hesaplar, yol kaplaması yansıtma özellikleri R1, R2, R3 ve R4 sınıfı kabul edilerek, her bir farklı yol aydınlatma

sınıfı için tekrarlanmıştır. Farklı yol kaplaması yansıtma özelliklerinde değişik yol aydınlatma sınıfları için hesaplanan ortalama parıltı değerleri Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3. Farklı yol kaplamaları için ortalama yol yüzeyi parıltıları (cd/m^2)

| | | R1 | R2 | R3 | R4 |
|-------|----|------|------|------|------|
| 4000K | M2 | 1,84 | 1,39 | 1,35 | 1,50 |
| | M3 | 1,17 | 0,88 | 0,86 | 0,95 |
| | M4 | 0,83 | 0,62 | 0,61 | 0,67 |
| | M5 | 0,52 | 0,39 | 0,38 | 0,42 |
| 6000K | M2 | 1,88 | 1,41 | 1,38 | 1,52 |
| | M3 | 1,22 | 0,92 | 0,90 | 0,99 |
| | M4 | 0,93 | 0,70 | 0,68 | 0,76 |
| | M5 | 0,61 | 0,46 | 0,44 | 0,49 |

Kameralı parıltı ölçer ile gerçekleştirilen saha ölçümleri ve hesap sonuçları karşılaştırıldığında, ölçümlere en yakın sonuçların R4 sınıfı ile elde edildiği görülmektedir.

Saha ölçümleri aynı sekiz senaryo için noktasal parıltı ölçerle de tekrarlanmıştır. Kameralı parıltı ölçer, noktasal parıltı ölçer ve R4 sınıfı için hesap sonuçları Tablo 4'de toplu olarak gösterilmektedir.

Tablo 4. Hesap, kameralı parıltı ölçer ve noktasal parıltı ölçer sonuçlarına göre yol ortalama parıltı düzeyi (cd/m^2)

| | | Hesap | Kameralı parıltı ölçer | Noktasal parıltı ölçer |
|----|-------|-------|------------------------|------------------------|
| M2 | 4000K | 1,50 | 1,51 | 1,54 |
| | 6000K | 1,52 | 1,54 | 1,42 |
| M3 | 4000K | 0,95 | 1,01 | 0,95 |
| | 6000K | 0,99 | 1,01 | 0,92 |
| M4 | 4000K | 0,67 | 0,75 | 0,65 |
| | 6000K | 0,76 | 0,76 | 0,67 |
| M5 | 4000K | 0,42 | 0,49 | 0,39 |
| | 6000K | 0,49 | 0,49 | 0,39 |

Farklı senaryolar için yol yüzeyi ortalama ve boyuna düzgünlük değerleri de Tablo 5'de verilmektedir.

biri yolun en karanlık noktasında bir dizi yansıtma faktörüne sahip hedeflerin yüzde kaçının görülebilir olduğunun ifadesi olarak tanımlanan "açığa çıkarma gücü"nin belirlenmesi, diğeri ise 0,50 yansıtma faktörüne sahip düz kare hedeflerin, her bir ölçüm noktasında hesaplanan görülebilirlik düzeylerinin ağırlıklı ortalaması olarak tanımlanan "küçük hedef görülebilirliği"nin hesaplanmasıdır [9].

Test yolunda bundan sonra gerçekleştirilecek çalışmalarda her iki yöntem kullanılarak, armatür ışık akısı azaltıldığında görüş konforu ve kritik cisim görülebilirliğinin ne kadar etkilendiğinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ölçümler sonucunda elde edilecek görülebilirlik seviyeleri, test yolunda gözlemciler ile gerçekleştirilecek görülebilirlik deneyleri ile karşılaştırılarak doğrulanacaktır. Deneylerden elde edilen sonuçlar ve yol aydınlatma kriterleri ölçüm sonuçları yardımıyla, kritik cismin yansıtma özellikleri, araç hızı, kamaşma, gözlemci yaşı, cinsiyeti gibi birbirini etkileyebilecek çok sayıda faktör istatistiksel analiz yöntemleri ile değerlendirilecek, tüm bu karmaşık parametreler içinden doğru işleyecek senaryolar ortaya çıkarılmaya çalışılacaktır. Bu çalışmanın sonucunda oluşturulacak senaryoları uygulayabilen, araç hızına göre lamba ışık akılarını uygun değerlere ayarlayabilen örnek bir yol aydınlatması otomasyon sisteminin, armatür içindeki kontrol üniteleri ve yazılımı ile bir bütün olarak geliştirilmesi hedeflenmektedir.

6. SONUÇ

Büyük enerji tasarrufu beklentileri ile tesis edilen yol aydınlatması otomasyon sistemlerinde sürücü emniyet ve konforunu bozmadan enerji tüketimini azaltabilen loşlaştırma senaryolarının nasıl belirlenmesi gerektiğini gösteren standart veya öneri şeklinde bir uluslararası başvuru kaynağı henüz mevcut değildir. Bu nedenle ülkemizde yoğun olarak sürdürülen enerji verimliliği çalışmaları kapsamında,

özellikle son yıllarda üzerinde önemle durulan ve uygulama projelerinin kısa bir süre içinde başlayacağı ifade edilen otomasyon sistemli ve LED ışık kaynaklı yol aydınlatma tesisatlarından beklenen faydaların elde edilebilmesi için gerekli otomasyon strateji ve senaryolarının doğru ve güvenilir olarak belirlenmesi hem ulusal hem de uluslararası arenada beklenen ve ihtiyaç duyulan araştırmalardır.

Diğer yandan sürücü görsel performansını etkileyen çok sayıda parametre olduğu, bu parametrelerin hem tekil hem de karşılıklı etkilerinin dikkate alınması gerektiği için, ihtiyaç duyulan deneysel çalışmalar çok karmaşıklaşmakta ve zorlaşmaktadır. Trafik güvenliği amacıyla tesis edilen yol aydınlatması sistemleri planlanırken, özellikle otomasyon uygulamaları sırasında ışık akısının loşlaştırılması konusu gündeme geldiğinde, çalışmaların titizlikle ele alınması ve çeşitli yönlerden değerlendirilmesi gerektiği açıktır.

İTÜ ve İSBAK, ortak bir proje geliştirerek Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'ndan aldıkları proje desteği ile, İTÜ Ayazağa Kampüsü içerisinde, sürücü güvenlik ve konforunu tehlikeye sokmadan, tüketilen enerji miktarını azaltmak için doğru loşlaştırma senaryolarının entegre edilebilmesi amaçlı, gerçek yol modeli üzerinde tüm parametreler dikkate alınarak deneysel çalışmaların gerçekleştirilebileceği bir test yolu kurmuştur.

Test yolunda yapılan ilk ölçümlerde katalog değerleri, laboratuvar ölçümleri, saha ölçümleri ve hesaplamalardan elde edilen sonuçların farklı olabildiği görülmüştür. Şu ana kadar test yolunda gerçekleştirilen çalışmalar yolda farklı senaryoların uygulanabilmesi için tüm bu ölçüm ve hesaplardaki farkları da dikkate alarak en doğru şekilde ışık akılarının ayarlanması amaçlı yapılmıştır. Hesap ve ölçüm sonuçları karşılaştırılarak, yol kaplama sınıfına karar verilmiş, ölçümlerde büyük zaman tasarrufu sağlayacak kameralı parıltı ölçer sonuçlarının kabul edilebilir

aralıklarda olduğu belirlenmiştir. Test yolunda tüm aydınlatma kalite kriterlerini sağlayan farklı yol aydınlatma sınıfları, LED'li armatürler ile yaratılmıştır. Aynı düzenlemeler YBSBL'lı armatürler için de tekrarlanacaktır. Bunu takiben gerçekleştirilecek deneysel çalışmalar sonucunda, trafik algılayıcılarından araç hız bilgisini alan, yol üzerindeki mevcut koşullara uygun loşlaştırma oranına karar verebilen ve armatürlere bu yönde kumanda ederek sürücü emniyet ve konforunu bozmadan enerji tasarrufu sağlayabilen bir "akıllı yol aydınlatma kontrol sistemi"nin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu bildiriye gerçekleştirilen çalışmalar, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (BSTB) tarafından desteklenen İTÜ ve İSBAK tarafından ortaklaşa yürütülen 0660.STZ.2014 kodlu proje kapsamında yapılmaktadır. Yazarlar, BSTB ve İSBAK'a katkılarından dolayı teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

- [1] A. Collins, T. Thurrell, R. Pink, J. Feather, Dynamic Dimming: The Future of Motor Way Lighting, The Lighting Journal, Sep/Oct, 2002
- [2] 10. L. Guo, M. Eloholma, L. Halonen, Lighting Control Strategies for Telemangement Road Lighting Control Systems, Leukos Vol 4 No 3 January, 2008
- [3] CIE Pub.115, Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, International Commission on Illumination, 2010
- [4] S. B. Semiz, Kontrol Sistemlerinin Kullanıldığı Yol Aydınlatması Tesisat Kriterlerinin Görülebilirlik Esasına Göre İncelenmesi, İTÜ Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2006
- [5] EN 13201-3 Road lighting Part 3: Calculation of Performance. Publication 270-2003

- [6] Wout van Bommel, Road Lighting: Fundamentals, Technology and Application, Springer International Publishing Switzerland, 2015
- [7] Peter R. Boyce, Lighting for driving: Roads, Vehicles, Signs and Signals, CRC Press Taylor & Francis Group, 2009
- [8] Kohei Narisada, Duco Schreuder, Light Pollution Handbook, Springer International Publishing Netherlands, 2004
- [9] ANSI/IES RP-8-14, Roadway Lighting, Illuminating Engineering Society of North America, 2014