

SOKAK AYDINLATMASI İÇİN AKILLI LED AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMI VE VERİMLİLİK ANALİZİ

MEHMET DEMİRTAŞ¹, KEMAL ÇELİK²

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500 Teknikokullar, ANKARA, mehmetd@gazi.edu.tr

²Akdeniz Üniversitesi, Elmalı Meslek Yüksekokulu, Elektrik Elektronik Bölümü, 07700 Elmalı, ANTALYA, kemalcelik@akdeniz.edu.tr

ÖZET

Klasik aydınlatmaya alternatif olarak ortaya çıkan ve yenilikçi çözümler üreten LED teknolojisi, akıllı şebekelere hızlı uyum sağlayabilmesi ve enerji verimliliği uygulamaları ile sokak aydınlatmasında yeni bir uygulama alanı olmuştur. Akıllı şehir kavramıyla birlikte birçok alanda olduğu gibi sokak aydınlatmasında da akıllı dönüşümler yaşanmakta, kontrol edilebilirlik ve enerji yönetimi adına çözümler geliştirilmeye devam etmektedir. Bu çalışmada, LED sokak aydınlatması uygulamaları için trafik yoğunluğu ve çalışma zamanı yönünden karar verme ve kontrol işlemlerini gerçekleştirebilen akıllı bir LED aydınlatma sisteminin tasarımı yapılmıştır. Günümüzde uygulanan standart LED aydınlatma sistemi yerine, hareketlilik profili tanımlanan özelleştirilmiş sokaklar oluşturulabilmesi için bir senaryo ve buna uygun çalışma stratejisi önerilmiştir. Zamana göre sokağın trafik yoğunluğu kaydedilmiş ve yoğunluk durumuna göre LED armatürün dimleme (parlaklık seviyesi kontrolü) özelliği kullanılarak aydınlatma seviyesi ayarlanmıştır. C# programı kullanılarak oluşturulan kullanıcı arayüzü ile sistemin izlenmesi, verilerin kaydedilmesi ve verimlilik analizi işlemleri yapılmıştır. Klasik LED aydınlatmaya göre; yoğunluk-zaman tabanlı çalışan LED aydınlatma ile %36 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

1. GİRİŞ

Kentlerin gelişmişlik düzeyinin artması, nüfus artışı ve sanayileşme ile birlikte sürekli olarak daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrik enerjisi üretimi için gereken enerji miktarında 2040 yılına kadar ortalama yıllık %2'lik bir artış olacağı ve nüfusunda 9 milyar olacağı tahmin edilmektedir. Toplamda bu oranın yaklaşık %70 değerini göreceği ve bununda şimdiki nüfusa ek olarak 1,9 milyar insan için daha fazla enerji ihtiyacı olacağı öngörülmektedir [1]. Dolayısıyla üretimden tüketime aynı performansı ve kaliteyi muhafaza ederek yeni teknolojilerin kullanımı yoluyla her alanda enerji verimliliği çalışmaları önem kazanmıştır.

Aydınlatma sektöründe, LED'li ışık kaynakları sokak aydınlatmasını daha verimli hale getirmiştir. LED aydınlatmanın klasik aydınlatmaya

tercih edilmesinin birçok sebebi bulunmaktadır. LED ışık kaynakları, içeriğinde zararlı kimyasallar bulundurmamakta ve çevre dostu yaklaşım sergilemektedir. Kolay kontrol edilebilen LED'lerin ışık verimliliği yüksektir. Bekleme olmaksızın anında ışık veren ve bakım maliyeti düşük olan LED'li ışık kaynakları uzun ömürlü olmaları sebebiyle birçok iç ve dış mekân aydınlatma uygulamasında kullanılmaktadır [2-4].

LED'li aydınlatma ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Sokak aydınlatma sistemleri için tek kademeli LED sürücü önerilmiş, LLC dönüştürücünün prototipi yapılarak sistemin tam yükte verimliliği değerlendirilmiştir [5]. Diğer bir uygulamada tek kademeli AC/DC konvertör ve LED sabit akım sürme devresinden oluşan iki kademeli sokak aydınlatma sistemi önerilmiştir. Prototip tasarlanmış ve tam yük durumundaki

verimliliği değerlendirilmiştir [6]. Sürücü tasarımına ek olarak sokak aydınlatmasının rengiyle ilgili çalışmalar da yapılmıştır. Farklı renk sıcaklıklarına sahip LED Sokak aydınlatmasının performansı yakından incelenmiştir. Sokak aydınlatmasında kullanılacak en uygun LED'lerin fosfor kaplı LED'ler olduğu tespit edilmiştir [7]. Sokak ve yol aydınlatmasının dışında binalar ve ofisler içinde çalışmalar yapılmıştır. Yeşil binalar ve ofisler için akıllı bir LED aydınlatma sistemi önerilmiştir. Düşük maliyetli olan ve kablosuz çalışan sistemde, ışık yoğunluğunu otomatik olarak ayarlamış ve verimlilik artırılmıştır [8]. Ofisler için günışığının miktarına bağlı olarak yapay ışıkların adaptasyonu ile etkin enerji tasarrufu amaçlanmıştır. Foto detektörlerle günışığı ve yapay ışık ölçülmekte, yapay ışığın doğru seviyede olabilmesi için kontrol sistemi, armatürlerin dimleme seviyesini belirlemektedir. Aydınlatma ve gün ışığı ölçüm fonksiyonlarını yerine getiren armatür prototipi önerilmiştir. Önerilen sistem ile foto detektör temelli aydınlatma kontrol sistemi karşılaştırılmıştır [9].

Bu çalışmada ise, standart LED sokak aydınlatması uygulaması yerine her sokağın yoğunluk profilinin çıkarılması ve sokakların özelleştirilebilmesi için yoğunluk-zaman tabanlı akıllı bir LED aydınlatma sistemi tasarımı yapılmıştır. Belirlenen trafik yoğunluğu durumuna göre LED armatürün parlaklık seviyesini içeren bir senaryo oluşturulmuştur. Yoğunluk durumuna göre LED armatürün dimleme özelliği kullanılarak aydınlatma seviyesi ayarlanmıştır. Oluşturulan senaryoya göre LED armatürün çalışması tasarlanan kullanıcı arayüzü ile izlenmiştir. Klasik LED sokak aydınlatmasına göre önerilen çalışmanın verimliliği değerlendirilmiştir.

2. AKILLI LED AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMI

Bu çalışmada sunulan akıllı LED aydınlatma sisteminde, temel parametre aydınlatma yapılan bölgedeki yaya ve araç yoğunluğudur. Yoğunluğun fazla olduğu yerlerde aydınlatma seviyesinin yüksek olması, تنها yerlerin aydınlatma seviyesinin ise güvenli bir oranda düşük olması gerekmektedir. Aydınlatma seviyesinin yoğunluğa göre ayarlanması tasarruf sağlanması açısından önemlidir. Dimleme adı verilen aydınlık seviyesinin ayarlanması işlemi değişik kriterler göz önüne alarak yapılır. Hareket sensörüne bağlı kullanım en yaygın uygulama şeklidir. Hareket olduğu ve olmadığı durumlar için sırasıyla aydınlık seviyesi arttırılmakta ya da azaltılmaktadır. Fakat bu işlem uygulamada psikolojik etkilerin yanında göz kamaşması, tepki süresinin geç olduğu durumlarda yavaş çalışma ya da geç aydınlatma gibi sorunları ortaya çıkarmaktadır [10]. Bu sorunların önüne geçebilmek için sistemin ortama hızlı adaptasyonunu sağlayan "çoklu modlu çalışma" olarak adlandırılan uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Böylece sistemlere değişik hareketlilik durumuna ve akülerde depolanan enerji miktarına göre belirlenen aydınlatma senaryolarından seçim yapma olanağı tanınmıştır. Oluşturulan farklı çalışma senaryoları ile yeterli aydınlık şiddetinin sağlanabilmesi ve kullanılan enerji miktarının optimum düzeyde tutulması amaçlanmıştır [11].

LED sokak armatürlerinin elektronik sistemler ve sensörler yardımıyla kontrol edilebilir veya kendi başına karar verebilir hale getirilmesi gelecekte sadece aydınlatma ünitelerinde değil pek çok enerji tüketen cihazda karşımıza çıkacak bir uygulama modelidir. Akıllı uygulamalar olarak adlandırılan bu senaryolardan biri de yaya veya araç

trafiği yoğunluğuna bağlı çalışan aydınlatma sistemidir. Sistem, belirli bir sürede aldığı hareketlilik verilerine göre tanımlanan referanslar çerçevesinde aydınlatma seviyesini ayarlamaktadır. Fakat bu uygulamanın dezavantajı; sistemin belirlenen andaki trafik yoğunluğu hesapladıktan sonra tepki vermesidir. Bu durumda ortamın aydınlık miktarı uygun değerlere gelmemektedir. Çünkü o anda kalabalık olan bir yol için 5 dakika öncesinde boş olan yolun aydınlatma değerleri uygulanmaktadır.

Bu çalışmada ise bu sorunu ortadan kaldırmak için aylık ortalama değer, hafta bazlı çalışma ve gün bazlı aylık ortalama değer şeklinde yeni tahmin metotları önerilmiştir. Çalışma Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi içerisindeki bir yolda alınan değerler ile analiz edilmiştir. Alınan değerlerin test amaçlı olması ve aydınlatma armatürüne müdahalenin kolay olması açısından yaya trafiği olan bir bölgeden alınmıştır. Tasarlanan hareket sensörlü sistem, yaya ve araç yoğunluğunu birlikte ölçebilmekte ya da başka bir harekete duyarlı uygulamaya kolay adapte edilebilmektedir. Önerilen metotlarda amaç; aydınlatılması istenen yerin yoğunluk haritasını çıkarmak ve bu yoğunluk haritasına göre aydınlatma karakteristiğinin üretilmesidir. Bunu

yaparken, sistemin hem otonom çalışması hem de kendini sürekli olarak aldığı veriler doğrultusunda güncellemesi amaçlanmıştır. Bu sebeple, önerilen üç farklı çalışma stratejisi karşılaştırılmış ve verimlilik analizleri yapılmıştır.

2.1. Aylık Ortalama Değer İle Çalışma

Aylık ortalama değer ile çalışmada, aydınlatma yapılacak ortama veya LED armatür üzerine yerleştirilen hareket sensörleri yardımıyla alınan değerlerin bir kısmı Tablo 1'de verilmiştir. On dakikalık periyotlar halinde kaydedilen verilerin bir aylık ortalaması alınmıştır. Bulunan değer, o günkü çalışmanın on dakikalık süre için tahmin edilen değeridir. Burada, ortamın hareketlilik karakteristiğini belirlemeye çalışmak ve buna göre bir sonraki gün için aydınlatma tahmini yapmak amaçlanmıştır. Bununla beraber zamana göre hareketlilik verilerinin değişeceği de göz önünde bulundurulmuştur. Örneğin, iş çıkışı saatleri daha yoğun, gecenin ilerleyen zamanları daha az yoğunluk olacaktır. Ortalama hareket, maksimum sapma ve maksimum göreceli sapma sırasıyla Eşitlik (1-3) ile hesaplanır.

$$\text{Ortalama hareket} = \frac{\text{Aynı süre için alınan değerler toplamı}}{\text{Örnekleme sayısı}} \quad (1)$$

$$\text{Maksimum sapma} = |\text{Ortalama değer} - \text{Minimum değer}| \quad (2)$$

$$\text{Maksimum göreceli sapma} = |\text{Maksimum değer} - \text{Minimum değer}| \quad (3)$$

Tablo 1. Aylık ortalama değer için kaydedilen çalışma verileri ve hesaplamalar

Saat	Tarih										Ortalama Hareket	Gerçek Değer İle Ortalama Arası Maksimum Sapma	Maksimum Görelİ Sapma
	10.02.2017	11.02.2017	12.02.2017	13.02.2017	14.02.2017	15.02.2017	16.02.2017	17.02.2017	18.02.2017	19.02.2017			
20:00	30	24	30	31	18	15	19	26	29	33	25,5	10,5	18
20:10	28	33	39	37	31	30	35	38	30	28	32,9	6,1	11
20:20	19	23	29	28	26	28	22	23	24	29	25,1	6,1	10
20:30	22	25	30	31	29	28	24	26	27	29	27,1	5,1	9
20:40	32	30	31	24	18	22	25	21	19	18	24	8	14
20:50	22	18	23	29	26	28	20	18	25	30	23,9	6,1	12
21:00	30	35	37	33	36	33	32	28	31	29	32,4	4,6	9

Tablo incelendiğinde, saat 20.00 için 25,5 ortalama değeri hesaplanmış ve bu değer diğer değerlere göre maksimum 10,5 sapma göstermiştir. Ortalama değer alınmadan yapılan karşılaştırmada ise saat 20.00'da alınan değerler arası maksimum fark 18 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, ortalama değer olarak çalışmanın gerçek değere daha da yakınlaştırdığı görölmektedir. Bununla beraber bazı günlerde yığılmaların olduğu göze çarpmaktadır. Bu yığılmalardan dolayı tahmin gerçekliği azalmaktadır.

2.2. Hafta Bazlı alışma

Hafta bazlı çalışmada, bir önceki haftanın aynı gününün ve aynı saatinin hareketlilik değerlerine göre aydınlatma yapılmaktadır. Hafta sonu iş yeri ve çevreleri yoğunluk daha az olurken, park gibi yerler kalabalık olmakta, yani günlere göre hareketlilik durumları değişkenlik göstermektedir. Haftalık bazda yapılan çalışmada hem günün hareketlilik durumları hem de çalışma saatine göre hesaplamalar yapıldığı için zamana bağlı hareketlilik durumları incelenmiştir. Dolayısıyla daha gerçekçi tahminler yapmaya olanak sağlamıştır. Tablo 2'de hafta bazlı çalışma için kaydedilen çalışma verileri verilmiştir. Bu veriler ve hesaplamalardan göröldüğü üzere sapma oranları aylık

bazlı çalışmaya göre daha düşük seviyededir.

Tablo 2. Hafta bazlı çalışma için kaydedilen çalışma verileri ve hesaplamalar

Saat	Tarih		Maksimum Sapma
	22.01.2017	29.01.2017	
20.00	25	32	7
20.10	28	29	1
20.20	27	28	1
20.30	28	27	1
20.40	31	30	1
20.50	35	33	2
21.00	34	32	2

Bu sistemin dezavantajı ise herhangi bir nedenle bir hafta önceki hareketlilik durumunun aşırı değişmesi durumunda sistemin buna aşırı tepki vermesiyle bir sonraki hafta dengesiz bir davranış sergilenecektir.

2.3. Gün Bazlı Aylık Ortalama Değer İle alışma

Gün bazlı aylık ortalama değer ile çalışmada, bir ay içerisinde bulunan aynı günlerin onar dakikalık zaman dilimlerinde alınan hareketlilik verilerinin ortalaması alınır. Bu tahmini değerler o günkü çalışmada kullanılır. Böylece hareketlilik tahmini yapılırken aynı anda günün hareketlilik

karakteristiğinin tespit edildiği, zamanın hareketlilik üzerindeki etkisinin hesaba katıldığı ve bu hesaplar yapılırken alınan ortalama değer sayesinde gerçek değere daha yakın sonuçların alındığı

görülmüştür. Tablo 3’de bir aya ait pazar günlerinin hareketlilik verilerinin bir bölümü yer almaktadır.

Tablo 3. Gün bazlı aylık ortalama değer ile çalışma için kaydedilen çalışma verileri ve hesaplamalar

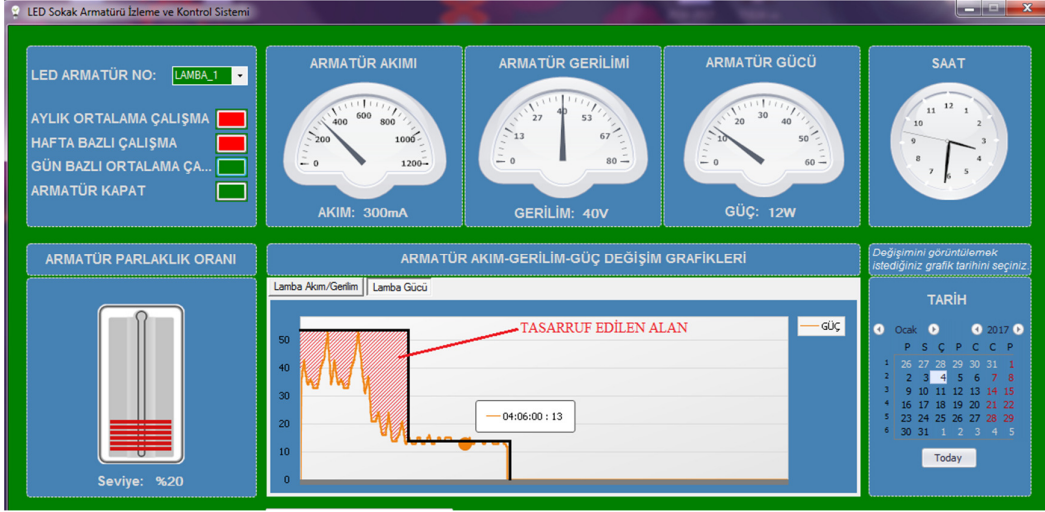
Saat	Tarih					Ortalama Hareket	Gerçek Değer İle Ortalama Arası Maksimum Sapma	Maksimum Göreli Sapma
	01.01.2017	08.01.2017	15.01.2017	22.01.2017	29.01.2017			
20:00	31	32	30	25	32	30	5	7
20:10	29	25	27	28	29	27,6	2,6	4
20:20	32	30	29	27	28	29,2	2,8	5
20:30	29	30	28	28	27	28,4	1,6	3
20:40	33	34	29	31	30	31,4	2,6	5
20:50	36	34	30	35	33	33,6	3,6	6
21:00	32	31	33	34	32	32,4	1,6	3

Ortalama değer ile gerçek değer arasındaki sapma miktarı aylık ortalama değer ile çalışma göre daha düşüktür. Hafta bazlı çalışmanın dezavantajı olan herhangi bir sebeple bir günün yoğunluk miktarının aşırı farklı çıkması durumunda sistem tek bir gün yerine birkaç günün ortalamasını aldığı için bu durumun gerçek değere etki büyüklüğü de düşürülmüştür. Böylece ortamın hareketlilik karakteristiğinin tahmin edilmesi yönünde daha gerçekçi sonuçlar ortaya çıkmıştır. Ayrıca sistem sürekli olarak veri topladığı için ortam

karakteristiği değiştiği takdirde sistem buna kısa sürede uyum sağlayacaktır.

2.4. Kullanıcı Arayüzü Tasarımı ve Alınan Verilerin Değerlendirilmesi

Verilerin izlenmesi, kaydedilmesi, kontrolü ve değerlendirilmesi için C# ortamında kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Tasarlanan arayüz Şekil 1’de verilmiştir. Alınan veriler bu arayüz aracılığı ile kaydedilmekte ve bu veriler daha sonra tekrar işlenerek aydınlık oranı tahmini yapılmaktadır.



Şekil 1. Tasarımı gerçekleştirilen kullanıcı arayüzü

Klasik dimleme özellikli aydınlatma yönteminde, armatür aktif olduktan sonra belirli bir süre maksimum aydınlatma seviyesinde çalışır. Yoğunluğun azaldığı saatlerde ise performans minimum seviyeye düşürülür. Bu çalışma ise Şekil 1'deki grafikte görülen siyah çizgi ile çizilmiş çalışma alanını oluşturur. Hareket sensörü ile bir diğer klasik çalışma ise hareketi algılayınca parlaklığın artırılması, hareket algılanmadığında ise parlaklığını azaltılmasıdır. Fakat bu tür bir çalışma, dengesiz ve rahatsız edici bir aydınlatmaya sebep olacaktır. Klasik dimleme ve hareket sensörlü aydınlatmaların bahsedilen sorunlarını ortadan kaldırmak için arayüz üzerinden aktif ve pasif hale getirilebilen üç farklı çalışma şekli önerilmiştir. Bu çalışma ile yoğunluk tahmininin önceden yapılması ve aynı zamanda veri alınan bölgenin hareketlilik karakteristiğinin çıkarılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda ortamdan alınan hareketlilik verileri arayüz aracılığı ile gün-gün ve dakika-dakika kaydedilmiştir. Bunun sonucu olarak klasik aydınlatmaya göre grafikte görülen kırmızı taralı alan kadar tasarruf sağlanmıştır. Sistemin gece boyunca harcadığı enerjilerin ani değerlerini

toplayıp Eşitlik (4)'deki formüle göre ortalaması alındığında, ortalama 23W'lık bir enerji harcadığı görülmüştür.

$$P_{ort} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \times dt = 23W \quad (4)$$

Klasik aydınlatmaya göre ise harcanan güç miktarı Eşitlik 5'de verildiği gibi ortalama 36W olarak hesaplanır. Burada, P_1 yüksek performans gücünü, P_2 düşük performans gücünü, t_1 yüksek performans süresini ve t_2 ise düşük performans süresini göstermektedir.

$$P_{ort} = \frac{P_1 \times t_1 + P_2 \times t_2}{t_1 + t_2} = \frac{60 \times t + 12 \times t}{2t} = 36W \quad (5)$$

Klasik aydınlatmaya göre önerilen sistemin ortamın yoğunluk durumuna göre değişmesinin daha verimli olacağı hesaplamalardan ve arayüz grafiğinden anlaşılmaktadır. Yapılan örnek çalışmanın sağladığı tasarruf ise Eşitlik 6'dan görüldüğü üzere %36 olarak hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{P_k}{P_k - P_a} \times 100 = \%36 \quad (6)$$

Burada P_k klasik mod gücünü, P_a ise adaptif sistemin harcadığı gücü temsil etmektedir.

3. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada klasik LED sokak aydınlatması sistemi yerine, her sokak için özelleştirilmiş uygulamalar geliştirilebilmesi için akıllı LED aydınlatma sistemi tasarlanmıştır. Önerilen sistemde, sokaktaki LED armatürler üzerindeki sensörlerden elde edilen veriler yardımıyla her sokağın yoğunluk profili çıkartılabilmektedir. Böylece daha verimli bir aydınlatma ve daha az enerji harcanarak sistemin optimum çalışması sağlanmıştır. Önerilen sistemde sensörlü armatürlerin yerleştirildiği her sokak farklı bir yoğunluk profili çıkarabilir. Fakat önerilen sistemin yoğunluğa göre aydınlatma düzeyinin ayarlamasının diğer dimleme yöntemlerinden daha tasarruflu, dengeli ve aydınlatma açısından daha kullanışlı olduğu görülmektedir. Önerilen ortalama değerli yoğunluk tahmin sistemleri kalabalığı tahmin etmede ve ortama uyum sağlamada daha gerçekçi sonuçlar ortaya koymuştur. Önerilen üç farklı çalışma stratejisi arasında yapılan değerlendirmede ise gün bazlı aylık ortalama değer ile çalışan sistemin daha verimli olduğu görülmüştür. Hesaplamalar sonucunda; klasik LED aydınlatmaya göre yoğunluk-zaman tabanlı çalışan LED aydınlatma ile %36 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Tasarlanan ve uygulaması gerçekleştirilen sistem araç veya yaya trafiğine göre çalışabilmekte ve park, yürüyüş yolu, sokak veya araç yolu gibi değişik trafik yoğunluğuna sahip uygulamalara kolay adapte olmaktadır. Gelecek çalışmalarda LED armatürlerin

farklı sensör teknolojileri kullanılarak geliştirilmesi planlanmaktadır.

4. KAYNAKLAR

[1] İnternet adresi:

http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fEnerji%20ve%20Tabii%20Kaynaklar%20G%C3%B6zetim%20Sistemleri%20Kullanılabilirlik%20Raporu%2fSayi_14.pdf, Erişim tarihi: 06.05.2017.

[2] Scalzi, S., Bifaretti, S., Verrelli, C.M. Repetitive Learning Control Design for LED Light Tracking. *IEEE Transactions On Control Systems Technology*. Volume 23, Issue 3, 2015

[3] Tan, Y.K., Huynh, T.P., Wang, Z. Smart Personal Sensor Network Control for Energy Saving in DC Grid Powered LED Lighting System. *IEEE Transactions On Smart Grid*. Volume 4, Issue 2, 2013.

[4] Tähkämö, L., Halonen, L. Life Cycle Assessment Of Road Lighting Luminaires E Comparison Of Light-Emitting Diode And High-Pressure Sodium Technologies. *Journal of Cleaner Production*. Volume 93, 2015.

[5] Wang, Y., Guan, Y., Ren, K., Wang, W., Xu, D. A Single-Stage LED Driver Based On BCM Boost Circuit And LLC Converter For Street Lighting System. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, Volume 62, Issue 9, 2015.

[6] Wang, Y., Guan, Y., Liang, X., Wang, W., Xu, D. Two-stage LED street lighting system based on a novel single-stage AC/DC converter. *IET Power Electron*. Volume 7, Issue 6, Pages 1374-1383, 2014.

[7] Jin, H., Jin, S., Chen, L., Cen, S., Yuan, K. Research on the Lighting Performance of LED Street Lights With Different Color Temperatures. *IEEE Photonics Journal*. Volume 7, Issue 6, 2015.

[8] Magno, M., Polonelli, T., Benini, L., Popovici, E. A Low Cost, Highly Scalable Wireless Sensor Network Solution to Achieve Smart LED Light Control for Green Buildings. *IEEE Sensors Journal*. Volume 15, Issue 5, 2015.

[9] Li, S., Pandharipande, A., M. J. Willems, F. Daylight Sensing LED Lighting System. *IEEE Sensors Journal*. Volume 16, Issue 9, 2016.

[10] Antal H., Yvonne A.W. de Kort, "Light Distribution in Dynamic Street Lighting: Two Experimental Studies on its Effects on Perceived Safety, Prospect, Concealment, and Escape", *Journal of Environmental Psychology*, Volume 32, Issue. 4, Pages 342–352, Dec. 2012.

[11] Demirtaş M., Çelik K. PV Beslemeli LED Sokak Armatürünün Çoklu Modlu Çalışmasının Panel Gücü ve Akü Ömrü Üzerine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part C: Tasarım ve Teknoloji*. Volume 5, Issue 2, Pages 257–270, 2017.