



## Yol aydınlatması için FV Beslemeli Akıllı LED Armatür Tasarımı

Baran TUNA<sup>1,a</sup>✉, Serhat Berat EFE<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

<sup>2</sup>Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi, Mühendislik ve Doęa Bilimleri Faköltesi, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

<sup>a</sup>ORCID: 0000-0003-3182-0602; <sup>b</sup>ORCID: 0000-0001-6076-4166

✉Sorumlu Yazar: baran.tuna@ogr.bandirma.edu.tr

Geliř tarihi: 25/4/2023

Kabul tarihi: 18/06/2023

**Özet:** Bu çalışmada, yol aydınlatmasında kullanılmak üzere tasarlanan bir aydınlatma sistemi modeli önerilmiştir. Çalışmanın en önemli motivasyonu aydınlatmada enerji verimliliğinin sağlanmasıdır. Çalışmada, özellikle yol aydınlatmasında kullanılan aydınlatma aygıtlarına hem yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunun yapılması, hem de bu cihazların verimlerinin artırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Fotovoltaik (FV) beslemeli bir LED armatürün tasarımı yapılmıştır. Tasarım Proteus temelli modellenmiş olup, bu yazılımın kullanılmasının ana amacı söz konusu tasarımın fiziksel olarak da gerçekleştirilebilir olmasıdır. Ortamdaki aydınlık düzeyine göre adaptif olarak çalışan darbe genişlik modülasyonu (PWM) tabanlı bir algoritma ile gerekli kontrol yapılmış olup, elde edilen benzetim sonuçları, önerilen sistemin hedeflenen şekilde çalıştığını ortaya koymuştur.

**Anahtar Sözcükler:** Fotovoltaik sistemler, LED, Proteus, Yol aydınlatması.

## PV Supplied Intelligent LED Luminaire Design for Road Illumination

**Abstract:** In this study, an illumination system model that designed to be used in road lighting is proposed. The most important motivation of the study is to provide energy efficiency in illumination. In the study, it is aimed to integrate renewable energy sources and increase the efficiency of these devices, especially which are used in road lighting. In this context, a Photovoltaic (PV) powered LED luminaire was designed. The design is modeled on the basis of Proteus, and the main purpose of using this software is to plan the physical realization of the design. The necessary control was made with a pulse-width modulation (PWM) based algorithm that works adaptively according to the ambient illumination level, and the obtained simulation results revealed that the proposed system works as intended.

**Keywords:** Photovoltaic systems, LED, Proteus, Road illumination.

### 1. Giriş

Enerji, modern dünyanın en önemli gereksinimlerinin başında gelmektedir. Kısıtlı olan üretim kaynaklarının en verimli biçimde kullanılması son zamanlarda en önemli çalışmalar arasında yer almaktadır. Ülkemizde elektrik enerjisinin %55'i yenilenemeyen enerji kaynaklarından üretilmektedir. Bu kaynakların yaklaşık %39'unu ise ithal kömür ve doğalgaz oluşturmaktadır.

Ülkemizde genelinde tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık %20'si genel aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır (Askola et al., 2022). Yol ve şehir içi aydınlatmalarında kullanılan enerji de bu yüzdelik dilim içerisinde yer almaktadır. Bu oran düşük değerde görünmekle birlikte dünyadaki enerji verimliliği uygulamaları ile kıyaslandığında önemli bir yere sahip olduğu değerlendirilmektedir. Özele indirgenecek olursa, yol aydınlatmalarında kullanılan yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar, yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar ve metal halide lambalar gibi düşük verimli armatürler ciddi oranda enerji kaybına yol açmaktadır. Bu durum, enerji maliyetlerini ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak için mevcut ve planlanan aydınlatma tesisatlarının gözden geçirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır, bu kapsamda enerji verimli aydınlatma sistemlerine önemli miktarda yatırımlar yapılmaktadır. Bu noktada iç aydınlatmada

kullanım olanaklarıyla büyük artılar sunan LED aydınlatma sistemleri, dış aydınlatma sistemleri içinde kaliteli ve tasarruflu bir çözüm olmaktadır (Demir et al., 2020).

Geleneksel aydınlatma ürünlerini enerji tasarruflu LED tabanlı aydınlatma ürünleriyle değiştirmek, sera gazı emisyonlarını yılda 670 Mt, enerji maliyetlerini ise %50-70 azaltma potansiyeline sahiptir (Yoomak et al., 2018). Literatürde bulunan çok sayıda çalışma da, aydınlatma uygulamalarında en son teknoloji kullanarak yenilenmiş projelerin enerji maliyetlerini düşürebileceğini göstermiştir (Carli et al., 2018; Djuretic & Kostic, 2018; Juntunen et al., 2015) .

Yol aydınlatmalarında, akıllı aydınlatma sistemleri uygulamalarıyla %50'ye varan enerji tasarrufu sağlamak mümkündür (Akalp, Özbay, et al., 2021; Akalp, Ozbay, et al., 2021; Efe et al., 2022). Ayrıca, uzaktan yönetim yaklaşımı ile bakım ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi sağlanabilecektir. Bahsedilen yapılandırmaya ek olarak sisteme entegre edilecek yenilenebilir enerji destekli besleme sistemleriyle de bu oranın daha üst mertebelere çıkarılabilmesine olanak tanınacaktır (Kocaman et al., 2017; Özbay et al., 2019) .

Bu çalışmada yol aydınlatması amacıyla kullanılmak üzere akıllı ve enerji verimli bir armatür tasarlanmıştır. Bu kapsamda, FV entegrasyonlu ve enerji verimliliği öncelikli bir algoritma geliştirilmiştir. Proteus platformu altında tasarlanan sistem çeşitli işletme koşulları için test edilmiştir, elde edilen sonuçlar farklı aydınlık düzeylerinde sistemin adaptif olarak çalıştığını ortaya koymuştur.

Önerilen modelin özgül değeri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Sistem ortamın aydınlık düzeyine göre adaptif olarak aydınlık sağlamaktadır. Bu sayede gereksiz aydınlatma kullanımının önüne geçilebilmektedir.
- Aynı zamanda sisteme entegre edilen PWM sayesinde devrede olan aydınlatma kademelerinin parlaklık seviyeleri ayarlanarak daha hassas sınırlar içerisinde gerekli olan aydınlatma sağlanabilmektedir.
- Sistemin enerjilendirilmesi dahili FV panel vasıtasıyla yapılmakta olup, enerji tüketim maliyetinin yanı sıra tesis, kablolama vb. maliyetlerin de önüne geçilebilecektir.
- Sisteme dahil edilen radyo frekansı (RF) vericisi sayesinde tek bir merkezden her armatürün durumu anlık izlenebilecek, gerekli durumlarda müdahalenin hızlı biçimde yapılabilmesi sağlanabilecektir.

## 2. Materyal ve Metot

Aydınlatma tasarımı yapılırken belirlenmesi gereken öncelikli konu, uygun yol sınıfının seçilmesidir. Bu sınıflandırma standartlara bağlı olarak yolun karmaşıklığına, trafik yoğunluğuna, araçların hız limitlerine, yonca kavşak ayrımı vb. yol üzerinde aydınlatmayı etkileyecek parametrelere göre oluşturulmuştur (Cengiz, 2019; Cengiz & Cengiz, 2018; Yılmaz, 2021) . Sürüş emniyetini sağlayacak minimum aydınlık düzeyleri bu yol sınıflarına göre belirlenmiştir. Bu kapsamda yol türlerine göre standartlara bağlanmış aydınlatma büyüklükleri mevcuttur (Cengiz, 2020; Hegedüs et al., 2017; Jiang et al., 2018; Yoomak & Ngaopitakkul, 2018).

Tabiatta bulunan tüm doğal sistemler analog yapıdadır. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte yaşamın her alanında kullanılmaya başlanan mikro denetleyiciler ise sayısal sistemlerdir. Doğada bulunan analog sinyallerin (ısı, ışık, ses, nem vb.) sayısal sistemlerin anlayacağı sayısal sinyallere çevrilmesi gereklidir. Bu işlem için analog-sayısal dönüştürücü (ADC) devreleri ve entegreleri kullanılmaktadır. PIC 16F877 mikro denetleyicisinde ADC modülü bulunmaktadır. Böylece harici bir devre veya entegre kullanmadan analog sinyaller dahili ADC modülü sayesinde sayısal sinyallere çevrilebilir.

Bu projede PIC16F877 denetleyicisi içinde bulunan ADC modülü (Analog Digital Convertor-Analog Sayısal Çevirici) kullanılmıştır.

ADC'nin sayısal bilgiye dönüşebildiği en küçük gerilim değerine adım büyüklüğü denir. Adım büyüklüğü 1 lsb (least significant bit) değeri olarak ifade edilir. Adım büyüklüğü,

$$T_{ad} = V_{REF(+)} - V_{REF(-)} / 2^n \quad (1)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Bu çalışmada  $V_{REF(+)}=5V$  ve  $V_{REF(-)}=0V$  değerleri kullanılmış olup  $n=10$  bitlik bir ADC ile 1024 adet değere sahip bir analog işaret örneklenmiştir. Bu durumda adım büyüklüğü 0,0048828125 V olarak hesaplanmıştır.

ADC girişine gelen sinyal gerilimi,

$$V_{ADC} = D_{dec} \cdot T_{ad} \quad (2)$$

Eşitliği ile hesaplanır. Burada  $V_{ADC}$  ADC girişine gelen sinyal gerilimi,  $D_{dec}$  ise sayısal çıkışın ondalık değeridir. Bu şekilde elde edilen değerler ile sistemde kullanılmak üzere bir lüksmetre oluşturulmuş, bu lüksmetreden okunan değer ile çıkıştaki LED'lerin yanıp sönmeleri sağlanmıştır.

Tasarlanan sistemde aydınlatma kontrolü LDR (Light Dependent Resistor – Işığa Duyarlı Direnç) ile sağlanmıştır. LDR'ye seri bağlanan hareket sensörü ile hareket anında LDR' de okunan gerilim değeri PIC'e aktarılmakta ve adaptif aydınlatma sağlanmaktadır. Hareket olmadığı durumda ise aydınlık düzeyine bağlı olarak yalnız iki kademe çıkış sağlanmaktadır. Her bir çıkış kademesinde parlaklık seviyesinin ayarlanması amacıyla PWM (Pulse Width Modulation – Darbe Genişlik Modülasyonu) tabanlı oluşturulmuştur. Oluşturulan görev döngüsü ile 8 bitlik analog işaret örnekmiş olup, 0-255 arası PWM kontrolü ile parlaklık seviyesi ayarlanmaktadır. Bu sayede her kademe çıkışı bağımsız olarak ortam aydınlık düzeyine göre adaptif parlaklık sağlayabilecek hale getirilmiştir.

Akıllı aydınlatma tasarımının başka bir özelliği olarak, sisteme eklenen RF alıcı verici modülleriyle herhangi bir arıza anında operatöre uyarı gönderilebilmektedir (Çıbuk & Cengiz, 2020). Bu işlem, verici modülünün, 16F877A'nın çıkış portlarına paralel bağlanan 16F84A ile sağlanmaktadır. Bu sayede arıza durumunda veya bölge armatürünün aktif olup olmadığının kontrolü yapılabilecektir. Hareket sensörü ile hareket algılandığı anda ortamın aydınlık düzeyine göre gerekli kademede aydınlatma sağlanır. Ortam aydınlık düzeyine göre kademeler Tablo1'de verilmiştir.

**Tablo 1** Ortam aydınlık düzeylerine göre kademe ayarları

Aydınlık Düzeyi (lx)	Devrede olan kademe sayısı
<100	8
<250	7
<300	6
<450	5
<500	4
<650	3
<700	2
<850	1

Hareket algılanmadığı durumlarda ise ortam aydınlık seviyesi yetersiz ise 2 kademeli aydınlatma sağlar. Bu durum kendi içerisinde  $lx < 450$  ise 1.kademe,  $lx < 250$  ise 2.kademe devreye girecek şekilde tasarlanmıştır. 450 lx üzeri aydınlık seviyesinde ise herhangi bir aydınlatma sağlanmamaktadır.

Sistem tasarımında enerji kaynağı olarak FV panel kullanılmaktadır. Armatür içerisinde bulunan ve her biri 0,5 W gücündeki 64 adet güçlü ışık yayan LED'ler için yaklaşık olarak 15 saat (en uzun gece referans alınmıştır) enerji sağlanabilmesi için gerekli olan batarya ve FV panel gücü, kademeli şekilde çalışacak olan armatürün 7 saat tam kapasite 4 saat yarı kapasite 4 saat ise  $\frac{1}{4}$  kapasite ile çalışacağı senaryosuna göre, sırasıyla denklem 3, denklem 4 ve denklem 5'te verildiği şekilde hesaplanmıştır,

$$E = P \cdot t = 32W \times 7s = 224 \text{Ws} \quad (3)$$

$$E = P \cdot t = 16W \times 4s = 64 \text{Ws} \quad (4)$$

$$E = P \cdot t = 8W \times 4s = 32 \text{Ws} \quad (5)$$

Bu durumda bir gecede ihtiyaç duyulan enerji 320 Ws olarak bulunur. Yıllık ortalama güneşlenme süresi her koordinata göre farklılık göstermekle birlikte bu çalışma kapsamında 4 saat olarak kabul edilerek işlem yapılmıştır. 320Ws enerji depolanması için sistem kayıpları da hesaba katıldığında 100W gücünde FV panele ihtiyaç duyulacaktır. Kullanılacak batarya için akım sağlama kapasitesi C, amper-saat (As) olarak denklem 6'da verildiği şekilde hesaplanmaktadır,

$$C = 320Ws / 12V = 30 \text{As} \quad (6)$$

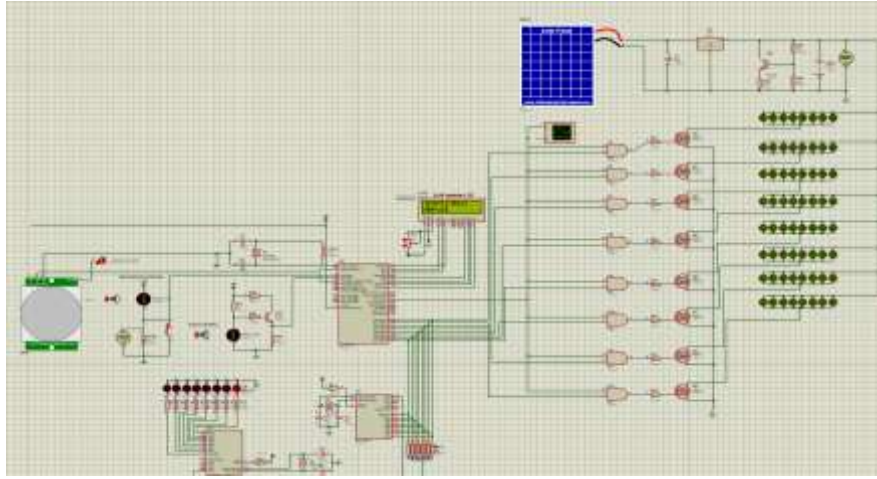
### 3. Bulgular

Bu çalışmada tasarımı yapılan akıllı aydınlatma sisteminin çalışma performansı, çeşitli çalışma koşulları için senaryolar oluşturularak test edilmiştir. Oluşturulan senaryolar çeşitlendirilebilmekle birlikte özellikle hareket algılama durumunda sistemin çalışma karakterinin daha önemli olacağı varsayılarak 3 senaryo hareket bulunan ortamlar için oluşturulmuş, bir senaryoda ise hareketsiz ortam koşulları çalışılmıştır.

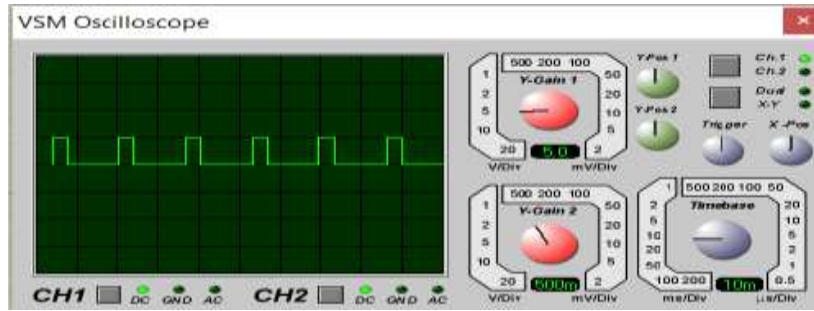
#### 3.1. Senaryo 1- Hareketli ortam, 11 lx, 255 PWM

Bu senaryo, hareketli ortam ve minimum aydınlık düzeyi koşulları sağlanacak şekilde oluşturulmuştur. Aydınlık düzeyi 100 lx altında bir değere sahip olduğundan armatürün 8 kademesi enerjilendirilmektedir. Aynı zamanda PWM sinyali maksimum seviyede (255) olduğundan tüm kademelerdeki LED'ler maksimum seviyede parlaklığa sahip olmaktadır. RF alıcısı gözlemlendiğinde kademe 8 bilgisini iletmediği görülecektir.

Senaryo 1 koşullarına göre tasarlanan devrenin Proteus modeli Şekil 1'de, ilgili senaryoya ait PWM sinyallerinin gösterildiği osiloskop grafiği Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 1. Senaryo 1 için devre şeması

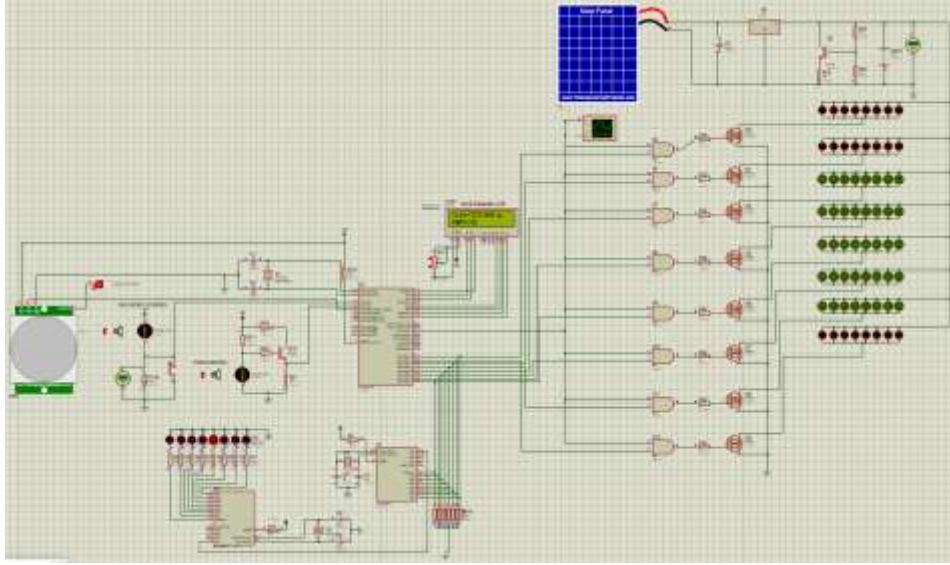


Şekil 2. Senaryo 1 için PWM sinyal grafiği

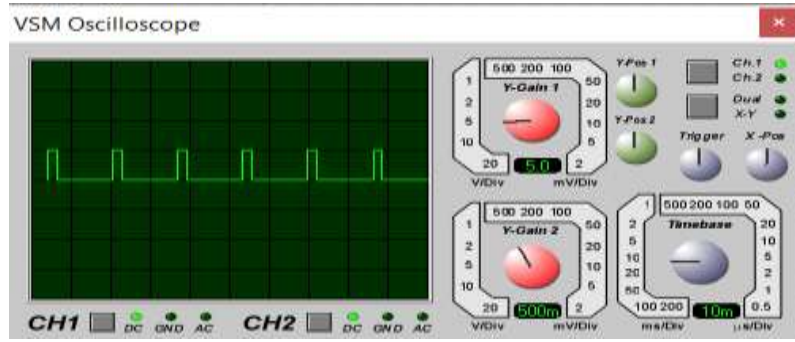
#### 3.2. Senaryo 2- Hareketli ortam, 335 lx, 143 PWM

Bu senaryoda aydınlık düzeyi 450 lx altında belirlenmiş olup hareketli ortam mevcuttur. PWM sinyali 143 olduğundan aktif kademelerdeki LED'lerin parlaklık seviyeleri yarıya düşmektedir. Ortam aydınlık düzeyi <450 lx olduğundan armatürün 5 kademesi aktif durumdadır. Bu senaryo için RF alıcısı gözlemlendiğinde kademe 5 bilgisini iletmediği görülecektir.

Senaryo 2 koşullarına göre tasarlanan devrenin Proteus modeli Şekil 3'te, ilgili senaryoya ait PWM sinyallerinin gösterildiği osiloskop grafiği Şekil 4' te verilmiştir.



Şekil 3. Senaryo 2 için devre şeması



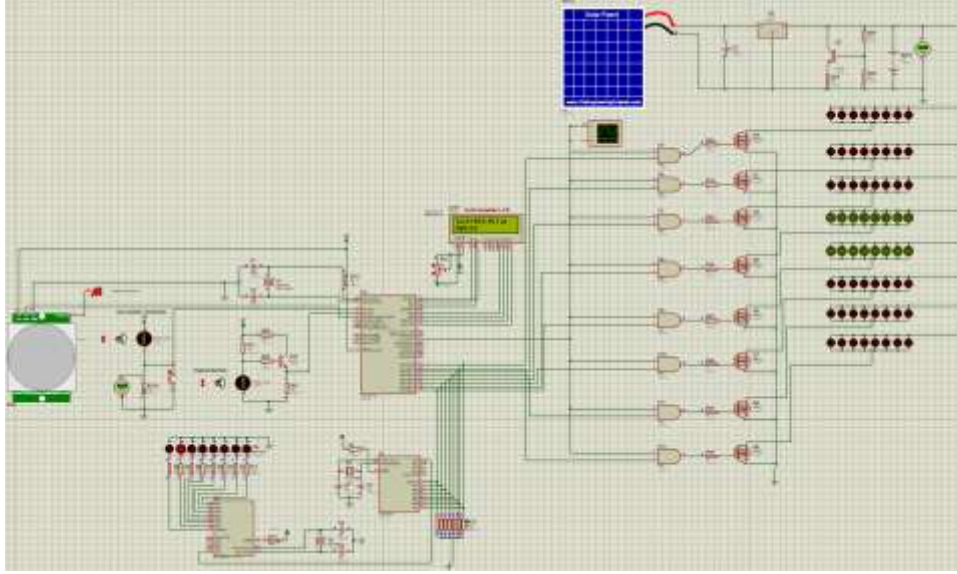
Şekil 4. Senaryo 2 için PWM sinyal grafiği

### 3.3. Senaryo 3- Hareketli ortam, 668 lx, 59 PWM

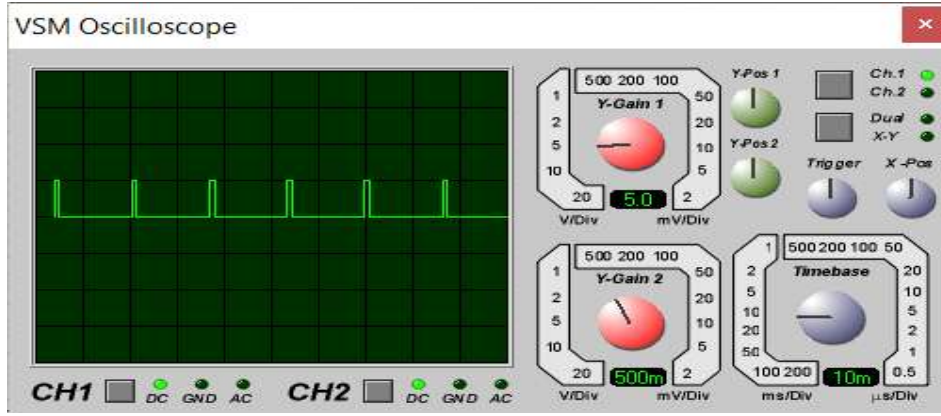
Bu senaryoda 668 lx aydınlık düzeyi ve hareketli ortam mevcuttur. PWM sinyali 59 olduğundan aktif kademelerdeki LED'lerin parlaklıkları en düşük seviye mertebelerinde olacaktır. Ortam aydınlık düzeyi 668 lx olduğundan armatürün 2 kademesi aktif hale gelecektir. RF alıcısı kademe 2 bilgisi göndermektedir.

Senaryo 3 koşullarına göre tasarlanan devrenin Proteus modeli Şekil 5'te, ilgili senaryoya ait PWM sinyallerinin gösterildiği osiloskop grafiği Şekil 6'da verilmiştir.





Şekil 5. Senaryo 3 için devre şeması

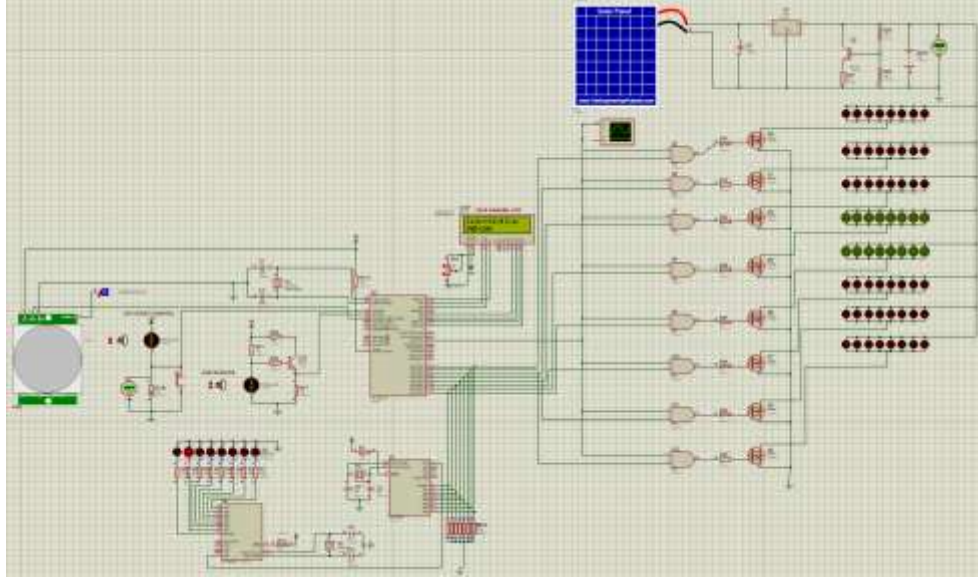


Şekil 6. Senaryo 3 için PWM sinyal grafiği

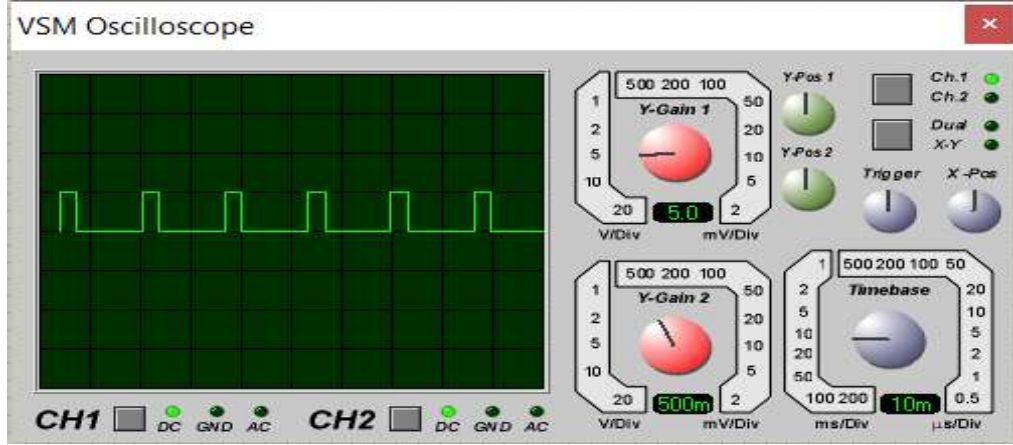
### 3.4. Senaryo 4- Hareketsiz ortam, 168 lx, 204 PWM

Bu senaryo koşullarında 168 lx aydınlık düzeyi ve hareketsiz ortam mevcuttur. PWM sinyali 204 olduğundan aktif kademelerdeki LED'lerin parlaklıkları en yüksek seviye mertebelerinde olacaktır. Ortamda hareket olmadığından ve 450 lx değerinin altında bir aydınlatma şiddeti olduğundan, 2 kademe güvenlik aydınlatması aktif durumdadır. RF alıcısında kademe 2 bilgisi iletilmektedir.

Senaryo 4 koşullarına göre tasarlanan devrenin Proteus modeli Şekil 7'de, ilgili senaryoya ait PWM sinyallerinin gösterildiği osiloskop grafiği Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Senaryo 4 için devre şeması



Şekil 8. Senaryo 4 için PWM sinyal grafiği

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada; yol, tünel, liman gibi dış ortamların aydınlatmasında kullanılmak üzere FV beslemeli bir akıllı aydınlatma sistemi modeli sunulmuştur. Tasarlanan bu model ortam koşullarına göre uyumlu olarak aydınlatma işlevini sağlamaktadır. Önerilen model Proteus platformu altında tasarlanmıştır. Aydınlatma sisteminin enerjisi, sisteme entegre edilmiş bir FV panel vasıtasıyla sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji destekli bu armatür, ortam koşullarına göre kademeli devreye girme ve çıkma işlevinin yanı sıra, devreye dahil edilen PWM ile parlaklık kontrolünün yapılmasına da olanak sağlamaktadır. Modelin tasarımının ardından sistem, gerçek çalışma koşulları göz önünde bulundurularak oluşturulan senaryolar üzerinden test edilmiştir. Adaptif aydınlatma özelliğinin daha iyi gözlenebilmesi amacıyla, oluşturulan senaryolar hareket algılama durumları için şekillendirilmiştir. Farklı seviyelerde aydınlık düzeyleri için yapılan testlerde sistemin mevcut duruma uyum sağlayarak aydınlatma işlevini sorunsuz yerine getirdiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda, uzaktan kontrol amaçlı eklenmiş olan RF vericisi sayesinde sistemin mevcut durumunun kontrolöre bildirilmesi sağlanmış, bu sayede özellikle uzak mesafelere yapılacak kurulumlarda sistemin durumunun anlık gözlenebilmesine olanak verilmiştir.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

## Yazarların Katkı Oranı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan etmişlerdir.

## Etik Beyan

Bu çalışmada sunulan veri, bilgi ve belgeler akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde edilmiştir.

## Finansal Destek

Bu araştırma herhangi bir fon sağlayan kurumdan / sektörden hibe almaz.

## Açıklama

Bu çalışma Baran TUNA adlı öğrenciye ait hazırlanmakta olan yüksek lisans tezinden türetilmiş olup Serhat Berat EFE, öğrencinin tez danışmanıdır.

## Kaynakça

- Akalp, O., Ozbay, H., & Efe, S. B. (2021). Design and Analysis of High-Efficient Driver Model for LED Luminaires. *Light & Engineering*, 29(2), 96–106.
- Akalp, O., Özbay, H., & EFE, S. B. (2021). FOTOVOLTAİK BESLEMELİ LED AYDINLATMA İÇİN ZVS SEPIC DEVRESİ TASARIMI. *International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies*, 460–467.
- Askola, J., Kärhä, P., Baumgartner, H., Porrasmä, S., & Ikonen, E. (2022). Effect of adaptive control on the LED street luminaire lifetime and on the lifecycle costs of a lighting installation. *Lighting Research and Technology*, 54(1), 75–89. <https://doi.org/10.1177/14771535211008179>
- Carli, R., Dotoli, M., & Pellegrino, R. (2018). A decision-making tool for energy efficiency optimization of street lighting. *Computers and Operations Research*, 96, 223–235. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.11.016>
- Cengiz, M. S. (2019). Simulation and design study for interior zone luminance in tunnel lighting. *Light and Engineering*, 27(2), 42–51. <https://doi.org/10.33383/2018-043>
- Cengiz, M. S. (2020). Effects of luminaire angle and illumination topology on illumination parameters in road lighting. *Light and Engineering*, 28(4), 47–56. <https://doi.org/10.33383/2019-037>
- Cengiz, M. S., & Cengiz, Ç. (2018). Numerical analysis of tunnel LED Lighting maintenance factor. *IJUM Engineering Journal*, 19(2), 154–163. <https://doi.org/10.31436/iiumej.v19i2.1007>
- Çıbuk, M., & Cengiz, M. S. (2020). Determination of energy consumption according to wireless network topologies in grid-free lighting systems. *Light and Engineering*, 28(2), 67–76. <https://doi.org/10.33383/2019-030>
- Demir, H., Çıracı, G., Kaya, R., & Ünver, Ü. (2020). Aydınlatmada enerji verimliliği: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi durum değerlendirmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1637–1652. <https://doi.org/10.17482/uumfd.795971>
- Djuretic, A., & Kostic, M. (2018). Actual energy savings when replacing high-pressure sodium with LED luminaires in street lighting. *Energy*, 157, 367–378. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.179>
- Efe, S. B., Ozbay, H., & Ozer, I. (2022). Experimental Design and Analysis of Adaptive LED Illumination System. *Light & Engineering*, 30(4), 63–70.
- Hegedüs, J., Hantos, G., & Poppe, A. (2017). Light output stabilisation of LED based streetlighting luminaires by adaptive current control. *Microelectronics Reliability*, 79, 448–456. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2017.06.060>
- Jiang, Y., Li, S., Guan, B., Zhao, G., Boruff, D., Garg, L., & Patel, P. (2018). Field evaluation of selected light sources for roadway lighting. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 5(5), 372–385. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.05.002>
- Juntunen, E., Tetri, E., Tapaninen, O., Yrjänä, S., Kondratyev, V., Sitomaniemi, A., Siirtola, H., Sarjanoja, E. M., Aikio, J., & Heikkinen, V. (2015). A smart LED luminaire for energy savings



- in pedestrian road lighting. *Lighting Research and Technology*, 47(1), 103–115.  
<https://doi.org/10.1177/1477153513510015>
- Kocaman, B., Akdağ, M., Efe, S. B., & Akdeniz, M. (2017). Implementation and Performance Analysis of a Hybrid PV-Wind Energy System. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 7(1), 100–104.
- Özbay, H., Efe, S. B., & Özer, İ. (2019). PV System Design for Farm Houses: A Case Study in Bandırma. *International Engineering and Natural Sciences Conference (IENSC 2019)*, November, 710–717.
- Yılmaz, F. (2021). Lighting energy performance determination in office environments through implementation of EN 15193-1 for Turkey. *Lighting Research and Technology*, 53(8), 749–776.  
<https://doi.org/10.1177/1477153520987420>
- Yoomak, S., Jettanasen, C., Ngaopitakkul, A., Bunjongjit, S., & Leelajindakraierk, M. (2018). Comparative study of lighting quality and power quality for LED and HPS luminaires in a roadway lighting system. *Energy and Buildings*, 159, 542–557.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.060>
- Yoomak, S., & Ngaopitakkul, A. (2018). Optimisation of lighting quality and energy efficiency of LED luminaires in roadway lighting systems on different road surfaces. *Sustainable Cities and Society*, 38(September 2017), 333–347. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.005>