GU J Sci, Part C, 5(2): 257-270 (2017)

Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

dergipark.gov.tr/http-gujsc-gazi-edu-tr

PV Beslemeli LED Sokak Armatürünün Çoklu Modlu Çalışmasının Panel Gücü ve Akü Ömrü Üzerine Etkisi

Mehmet DEMİRTAŞ[1]*, Kemal ÇELİK[2]

[1]*Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye*

[2]*Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye*

Makale Bilgisi

Başvuru: 13/11/2016
Düzeltme: 19/12/2016
Kabul: 20/12/2016

Anahtar Kelimeler

LED Aydınlatma,
Sokak Aydınlatması,
Akü Ömrü,
Enerji Yönetimi,
Enerji Verimliliği.

Öz

Bu çalışmada, sokak aydınlatması amacıyla güneş enerjisi kaynaklı bir LED armatür için enerji kontrol yazılımı ve elektronik sistem tasarlanmıştır. LED armatürü sürebilmek için çoklu modlu çalışma olarak adlandırılan ve C# tabanlı bilgisayar arayüzü olan yeni bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistemin amacı yaz ve kış mevsimleri arasında oluşan farklı güneşlenme süreleri nedeniyle ihtiyaç duyulan PV panel gücündeki değişikliğin ortadan kaldırılması ve akü ömrünü uzatabilmektir. Yazılımda ortamdaki trafik yoğunluğu ve akü doluluk seviyesi parametreleri dikkate alınarak beş farklı çalışma modu oluşturulmuştur. Tasarlanan sistemde hareket sensörleri kullanılması geleneksel aydınlatma sistemine göre bir yenilik olarak görülmektedir. Ayrıca RF haberleşme modülleri ile sistemin kontrol edilmesi ve verilere ulaşılması sağlanmıştır. Sistemin etkinliğini ve verimli çalışmasını doğrulamak için sistem bir test alanında çalıştırılmıştır. Tasarlanan sistemin aküler üzerindeki etkisi ve enerji tasarrufu durumları ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Uygulama sonuçlarına göre çoklu modlu çalışan sistemin geleneksel aydınlatma sistemine göre %42 daha verimli çalıştığı deneysel olarak görülmüştür.

The Effects on Battery Life and Panel Power of Multi-Mode Operated PV Sourced LED Street Lamp

Keywords

LED lighting,
Street lighting,
Battery life,
Energy management,
Energy efficiency

Abstract

In this study, solar powered LED luminaire has been designed for street lighting. To drive the led luminaire a new lighting system called “multi-mode operating” and a computer interface based on C# have been introduced. The proposed system aims to decrease the alteration of PV panel power required between summer and winter due to different insolation time; it can also extend the employed battery life. In the software five different operation modes are performed considering traffic density and ambient light conditions. In the designed system, motion sensors are used to bring innovation to classical street lighting system. Moreover, RF communication modules are exploited to control and reach the system data. To verify the effectiveness of the system, an implementation study is carried out in a test area. The effect on the battery life and the energy-saving of the designed system are examined in detail. The implementation results show that the proposed system has been experimentally observed that the system using multi-mode operates as 42% more efficient than the classical lighting system.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji ve optik verimliliği ile ön plana çıkan LED (Light Emitting Diode) teknolojisi, aydınlatma sektöründe sokak aydınlatması, trafik ışıkları, sinyalizasyon ve dekoratif aydınlatma gibi birçok iç ve dış uygulamalarda geniş çaplı kullanım alanına sahiptir. Fiziksel sağlamlık, düşük çalışma gerilimi, düşük enerji tüketimi, yüksek verimlilik ve cıva içermemesi LED aydınlatmanın diğer aydınlatma kaynaklarına göre avantajları arasındadır. Ayrıca uzun çalışma ömürleri, yüksek aydınlatma verimliliği, anlık hızlı anahtarlamaya olanak tanıması, geleneksel enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında enerji tüketiminin %70’e varan oranlarda azaltılabilmesi ve güvenilirlik LED teknolojisinin en önemli özellikleri arasında yer almaktadır [1,2].

*İletişim yazarı, e-mail: mehmetd@gazi.edu.tr

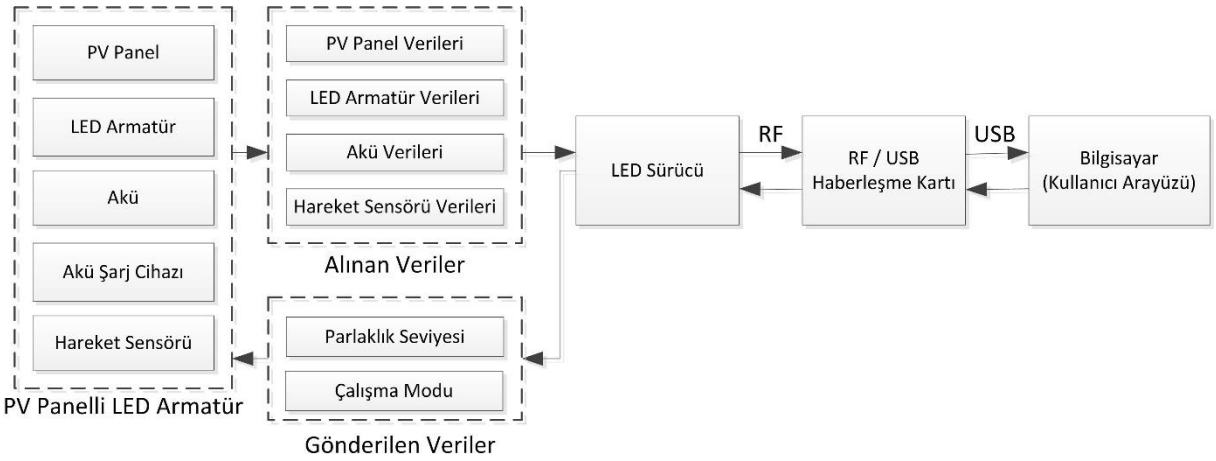
Geleneksel sokak aydınlatmasında kullanılan cıvalı lambalar ve sodyum buharlı lambalar yerini saydığımız bu teknik avantajları nedeniyle LED armatürlere bırakmıştır [3]. Aydınlatma uygulamalarında LED teknolojisi ile güneş enerjili sistemler birleştirilerek yapılan sistemler ise, elektrik şebekesinin olmadığı yâda şebekenin ulaştırılması gereken bölge için maliyetli olduğu durumlarda solar LED teknolojisi en uygun çözüm olmaktadır [4]. Güneş enerjili LED aydınlatma ile gün içinde panellerden elde edilen enerji akülerde depolanmakta, gece ise akülerde depolanan enerji ile aydınlatma sağlanmaktadır.

LED aydınlatma armatürleri ve kontrol sistemleri ile ilgili olarak literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Sabit güç ve parlaklık kontrollü solar LED sokak aydınlatma sistemleri tasarlanmış ve test edilmiştir [5]. Yapılan çalışmada 18 W ve 100 W gücünde iki farklı LED armatür için doğrudan bataryadan kontrollü sabit güçle çalışan bir sistem oluşturulmuş ve sistemin performansı incelenmiştir. Sonuçta ortamın aydınlık şiddeti değerine göre ayarlanabilen ve düşük güçle sürülen LED lambanın, bataryaların ömrünü normal çalışma sürelerine göre üç kat daha fazla uzattığı görülmüştür. Sokak aydınlatma uygulamaları için çeşitli merkezileşmiş güç dağıtım yapıları verim ve karmaşıklık açısından incelenmiştir [6]. Çalışmada 220 V AC ve 220 V DC beslemeli LED armatürlerin aynı DC veya AC baradan beslenerek ve merkezi bir noktadan kontrol edilerek karşılaştırmalı verim analizleri gerçekleştirilmiştir. Diğer bir çalışmada ise sokak lambalarının enerji kullanımını minimize ederek verimliliği arttırmak için sensör kontrollü aydınlatma armatürlerini yönetmek için enerji yönetimi ağları önerilmiş ve enerji tasarrufu değerleri incelenmiştir [7]. Çalışmada simülasyon ortamında trafik yoğunluğu ve diğer bazı etkenlere, belirlenen bir bölgedeki aydınlatma armatürlerinin tepkileri ve oluşturulan sistemin maliyet ve enerji tüketimi açısından değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ada modu çalışma için LED aydınlatma sistemleri geliştirilmiş, yüksek performanslı şarj/deşarj kontrolörler ve DC sürücüler tasarlanarak verim analizleri değerlendirilmiştir [8-10].

Bu çalışmada PV panel beslemeli LED sokak armatürünün çoklu modlu çalışmasının akülerin kullanımı ve güneş panellerinin mevsimsel güç tercihleri üzerine etkisi incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak harekete duyarlı sensörler ve tasarlanan bir LED sürücü ve bir bilgisayar arayüzü içeren sistemde, LED armatür için arayüz yardımıyla değişik çalışma senaryoları (modlar) tanımlanmıştır. Bu amaçla oluşturulan sistemin izleme ve kontrolü C# tabanlı olarak gerçekleştirilmiş, armatürler ile merkezi bilgisayar arasındaki haberleşme RF haberleşme kartları ile sağlanmıştır. Oluşturulan sistemde LED armatür her bir çalışma modunda test edilmiştir. Tanımlanan modlara göre gece boyu belirlenen sabit bir PWM değerinde armatürü sürmek yerine, hareket sensörleri kullanılarak aydınlatılan sokaktaki insan yoğunluğu, akü seviyesi gibi değişkenlerle yapılan hesaplamalar sonucunda, değişken lümen değerinde aydınlatma yapılmıştır. Ayrıca tasarlanan bu arayüz ve elektronik sistemin güneş paneli destekli aydınlatma armatürlerinde panel gücü seçimi yapılırken yaz ve kış mevsimleri arasındaki farklı panel gücü ihtiyacını minimize ederek sistemin maliyetine olumlu yönde katkı sağlaması amaçlanmıştır.

2. TASARIM VE UYGULAMA (DESIGN AND APPLICATION)

PV panel beslemeli LED sokak aydınlatması uygulaması için; kendi tasarladığımız 28 LED'li, 60 W'lık bir armatür ve DC-DC LED sürücü, iki adet 50 Amper-Saat'lik (Ah) akü, akü şarj cihazı, iki adet 100W'lık PV panel, haberleşme modülü ve hareket sensöründen oluşan bir sokak aydınlatması sistemi oluşturulmuştur. Sistem için farklı çalışma modları belirlenmiş ve bu modlara göre LED armatür, akü ve PV panelden alınan verilerin bilgisayar ortamında kaydedilerek sağlanan tasarruf gözlenmiştir. Bu sayede önerilen farklı aydınlatma senaryoları kıyaslanarak, avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir. Oluşturulan sistemin blok şeması Şekil 1'de verilmiştir.



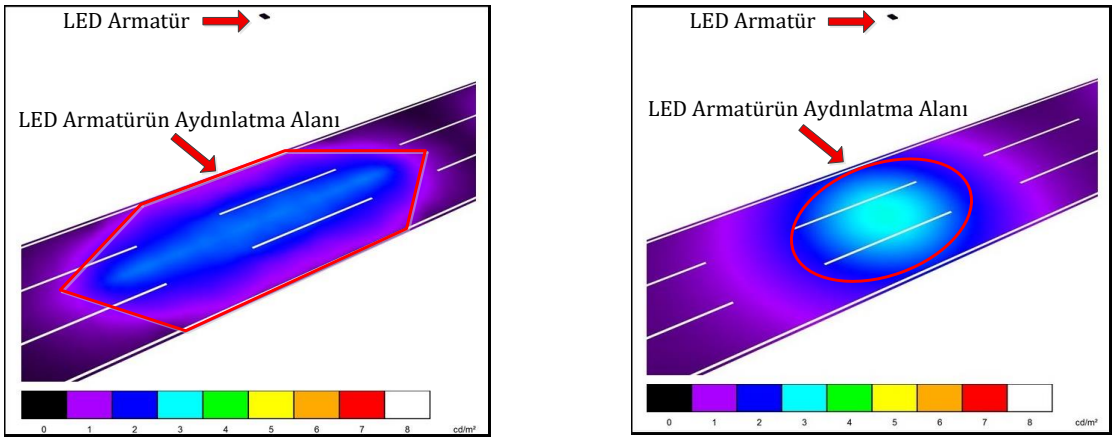
Şekil 1. *PV panel beslemeli LED sokak armatürünün blok şeması (Block diagram of PV panel sourced LED street luminaire)*

Tasarım süreci; LED armatür, DC sürücü ve kablosuz kontrol sisteminin tasarımı ve uygulanması, çalışma modlarının belirlenmesi, uzak noktadan izleme ve kontrol arayüzünün oluşturulması aşamalarını içermektedir.

2.1. PV Panel Beslemeli LED Sokak Armatürü Tasarımı (Design of PV Panel Sourced LED Street Luminaire)

Tasarımı ve simülasyonu Dialüx programında yapılan LED armatür 60 W gücünde ve ışığın verimli kullanılabilmesi için mercekli olarak tasarlanmıştır. Armatür 167 W/lümen ışık verimliliğine, toplamda ise 10037 lümen aydınlık şiddeti değerine sahiptir [11]. Tasarlanan armatür; iki paralel kol ve her kolda seri bağlı 14 adet LED'den oluşmaktadır. Her bir paralel kol 738 miliamper (mA) akım çekmekte ve her LED üzerine yaklaşık 2.7 Volt (V) gerilim düşmektedir. LED lamba toplamda 1.476 A akım ve 40.6 V gerilim değerlerine sahiptir. Mercek üretici firmadan alınan verilere göre; mercek verimi yaklaşık %93 olduğu durumda aydınlık şiddeti 9334.41 lümen (lm) olarak hesaplanmıştır.

LED armatürün mercekli ve merceksiz ışık kullanımının Dialüx programı çıktıları Şekil 2'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde mercekli armatürün merceksiz armatüre göre ışık yayılımının daha iyi olduğu ve daha geniş bir alanda verimli aydınlatma yapabileceği görülmektedir.



a) *Mercekli (With Lens)* ***b)*** *Merceksiz (Without Lens)*

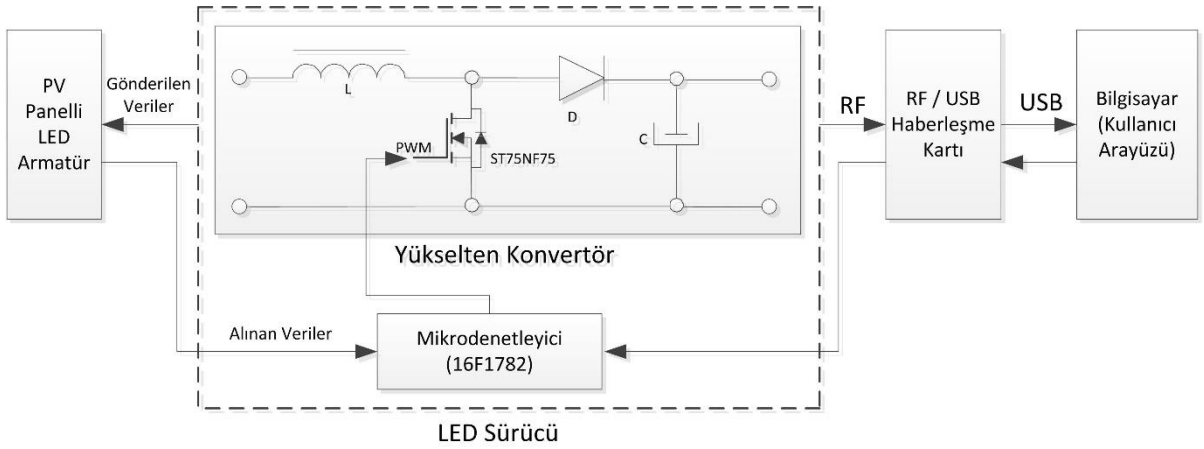
Şekil 2. *LED armatürün mercekli ve merceksiz ışık yayılımı (Light diffusion of LED luminaire with lens and without lens)*

Yapılan simülasyon sonucunda direkler arasındaki mesafenin mercek kullanılarak arttırılabildiği ve aydınlatmanın daha verimli yapılabildiğini görülmektedir. Mercek kullanılmadığı durumda ise yapılan tasarımın aydınlatma direğinin altında dairesel ve küçük bir bölgeyi çok fazla aydınlattığı diğer bölgelere veya yakınındaki başka bir direğin yaydığı ışığa yardımcı olmadığı görülmüştür. Böyle bir durumda yan yana belirli bir mesafede yerleştirilen direkler için direkler arası mesafenin kısa olması ve direk sayısının artırılması gerekmektedir. Sonuçta maliyeti olumsuz yönde etkileyecek bir durumu ortadan kaldırmak ve ışık şiddeti değerini daha verimli kullanmak için mercek kullanımı gereklidir.

2.2. DC Sürücü Tasarımı ve Kablosuz Kontrol (DC Driver Design and Wireless Control)

LED armatürde kullanılan LED'in akım-gerilim ilişkisinden dolayı küçük gerilim değişikliklerinde akım büyük ölçüde değişmekte ve akıma bağlı olarak ışık şiddeti değişmektedir. Işık şiddetinin sabit tutulabilmesi için akımının sabit kalması gerekmektedir. Sabit gerilimde sabit akımlı çalışma, armatürün aşırı ısınmasından dolayı zor bir çalışma durumu olarak karşımıza çıkmaktadır. Aşırı ısı LED'lerin iç direncini düşürür ve akım artışı devam eder. Bu sebeple akımın sabit tutulabilmesi için sürücü kullanılması gereklidir.

Gerçekleştirilen uygulamada, iki adet 100 W gücünde PV panel, şarj cihazı aracılığıyla iki adet seri bağlı 50 Ah aküyü beslemektedir. LED besleme gerilimi 24 V seçilmiştir. Tasarımdaki seri LED dizisinin beslenmesi için gerekli olan 41 V gerilimi sağlamak için besleme gerilimi seviyesini arttıran yükselten, ayrıca akım sabitleme güçlüğünü engellemek ve enerji tasarrufu amacıyla yükselten özellikli DC sürücü kullanılmaktadır. Şekil 3'te tasarlanan yükselten tip DC sürücü devresinin genel diyagramı verilmiştir.



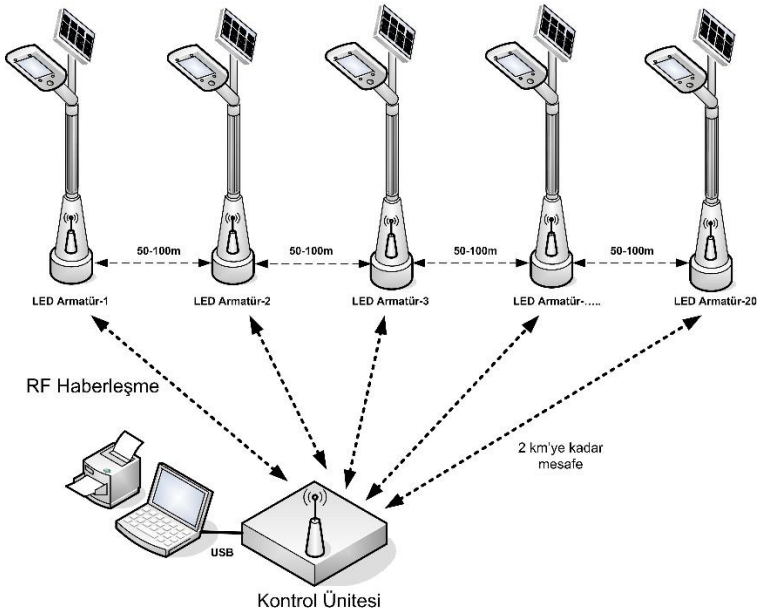
Şekil 3. *Yükselten tip DC sürücü devresi (Boost type DC driver circuit)*

Tasarlanan sürücüde akımın hassas okuması için 16 bit çözünürlükte PWM çıkışına ve 12 bit çözünürlükte analog dijital çevirici (ADC) özelliklerine sahip PIC16F1782 mikroişlemcisi ve anahtarlama elemanı olarak ta ST75NF75 modeli MOSFET kullanılmıştır. Enerji tasarrufu yapılabilmesi için LED'lerin parlaklığının değiştirilebilir olması gerekmektedir. Bunun için DC gerilim seviyesi ayarlanarak ışık akısı ayarlanmış ve armatüre aydınlık seviyesi kontrolü (dimleme) özelliği kazandırılmıştır. Gerilim seviyesinin hassas bir şekilde ayarlanarak, akım kontrolü ve dolayısıyla ışık akısı kontrolü yapılması DC sürücü tasarımının temel amacını oluşturmaktadır.

Oluşturulan sistemde sürücü devresi, radyo frekansı (RF) alıcı devresi ile bir bağlantıya sahiptir. Sürücü tarafından okunan akım gerilim verileri ve hareket sensöründen gönderilen veriler RF alıcı devresi aracılığı ile kontrol ünitesine oradan da USB aracılığı ile kullanıcı arayüzüne gönderilmektedir.

Şekil 4'te RF haberleşme sisteminin genel çalışmasına ilişkin blok şeması verilmiştir. RF alıcı devresi her direkte bir adet bulunmakta ve bulundukları armatürün sürücüsünden, panellerden, akülerden ve hareket sensörlerinden aldıkları verileri merkez kontrol ünitesine göndermektedir. Kontrol ünitesi ise kullanıcı arayüzünde istenilen verileri gösterebilmekte ve seçilen aydınlatma armatürünün parlaklık değerini değiştirebilmektedir. USB devresi ise arayüzden aldığı armatür numarası ve armatür parlaklık verilerini

alarak RF üzerinden alıcı devresine gönderir. Alıcı devresi aracılığı ile RF üzerinden gelen verileri kullanıcı arayüze aktarır.

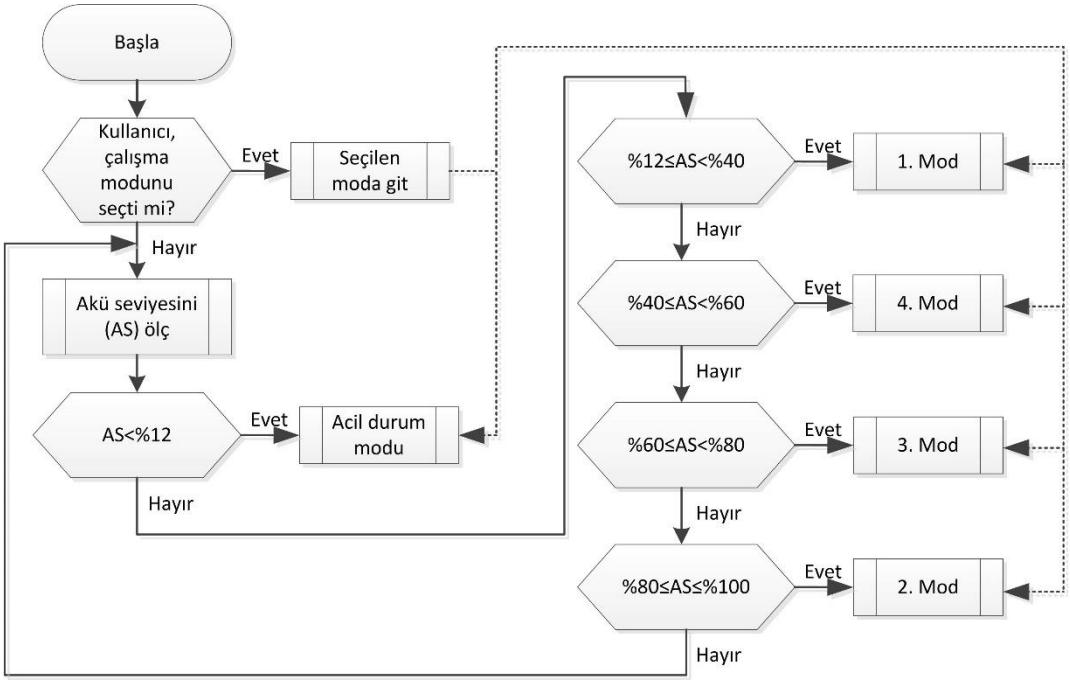


Şekil 4. *RF haberleşme sisteminin blok şeması (Block diagram of RF communication system)*

Verilerin tek merkezde toplanması ile sürekli izlenen PV panelli LED sokak aydınlatması sisteminde oluşabilecek olası arızalar belirlenebilmekte ve bilgisayar arayüzü yardımıyla belirlenen senaryolarda sistemin otonom çalışması sağlanabilmektedir.

3. ÇOKLU MODLU ÇALIŞMA SENARYOSU (MULTI-MODE WORKING SCENARIO)

Mevsimlerin değişimi ile güneşlenme oranının değişmesi ve akülerin şarj oranlarının farklılık göstermesi PV panel beslemeli sokak aydınlatması için önem arz etmektedir. Mevsimsel değişimlere göre değişen şarj durumunun üstesinden gelmek için ya gerekli kapasitenin üzerinde PV panel ve akü seçimi yapılmakta ya da bir müddet sonra armatür parlaklığı azaltılmaktadır. Bu çalışmada beş adet senaryo oluşturulmuş ve her bir senaryonun çıktıları incelenerek verim ve ışık değerleri elde edilmiştir. Kaydedilen akü verilerine göre LED armatürün çalışma modunu kendi belirleyebildiği veya arayüz yardımıyla elle belirlenen bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistem ile optimum şartlarda mevcut enerjiyi maksimum verimle kullanmak ve enerji kesintisinden hiçbir armatürün etkilenmemesi amaçlanmıştır. Oluşturulan algoritmanın blok şeması Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. *Çalışma modları algoritmasının akış şeması (Flowchart of operating modes algorithm)*

Tasarlanan sistemin çalışması sırasında öncelikli olarak akü seviyesi göz önünde bulundurulmakta ve seviye durumuna göre çalışma modları tercih edilmektedir. Burada amaç LED armatürün güneşin olmadığı saatlerde akülerden besleneceği için akü kullanım oranını minimize etmek ve akünün ömrünü uzatabilmektir. Eğer akü seviyesi %12'nin altına düşerse armatür belirlenen bir parlaklık oranında akülerle bir tam gece boyunca çalışamayacağı için kendini koruma altına almakta ve "Acil Durum Modu" adı verilen bir modda çalışarak akü seviyesi yeterli seviyeye ulaşıncaya kadar LED lambayı minimum seviye olan %20 parlaklık seviyesinde yakmaktadır. Normal çalışma amacıyla oluşturulan dört farklı çalışma durumu aşağıda açıklanmıştır.

Mod 1: LED armatür, hareket sensöründen bilgi gelmediği sürece %20 PWM oranıyla çalışır. Hareket algılandığı zaman ise parlaklık %100'e çıkartılır. Sistem 10 dk. Sonra eski çalışma durumuna dönmektedir.

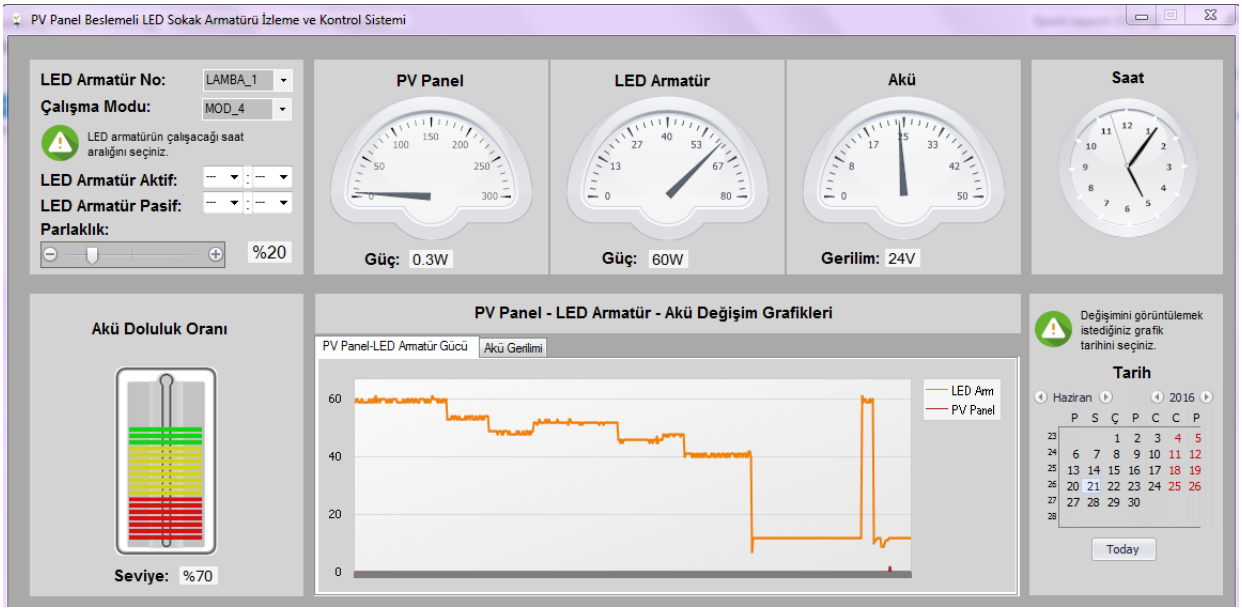
Mod 2: LED armatür, 60W güçte 10 saat boyunca %100 parlaklık seviyesinde çalışır. Hareket sensörü aktif değildir. Lamba sürekli olarak aynı parlaklıkta yanar. Bu mod aküde depolanmış fazla enerji olması halinde mevcut enerjinin maksimum fayda ile kullanımı için seçilir.

Mod 3: LED armatür %100 parlaklık seviyesinde çalışmaya başlar. Lamba hareket sensöründen bağımsız ancak sürücü ve kontrol ünitesi hareket sensöründen gelen bilgilerle çalışmaktadır. Sensörden bir önceki gün için gelen verilerle çalışılan bu mod için saatler arası trafik yoğunluğunun durumu baz alınarak gece dört farklı dilime ayrılmıştır. Kullanıcı seçimine bağlı olarak armatürün her bir dilim için çalışacağı parlaklık seviyesi tanımlanmıştır. Yoğunluğun azalmasına bağlı olarak parlaklık seviyesi dilimler arası düzenli olarak azaltılır veya arttırılır.

Mod 4: %100 parlaklık seviyesine karşılık gelen %100 yoğunluk durumuna göre 30 dakika aralıklarla hareket sensöründen gelen yoğunluk verisine karşılık gelen parlaklık seviyesi hesaplanır ve LED armatür o parlaklık durumunda çalışır. Saat 03:^{30}'dan itibaren LED armatür tasarruf moduna geçer ve 12 W güç değerinde çalışır. Sensörden hareket algılandığında tam güçte çalışma sağlanır ve 10 dakika bu güçte çalışılır. Hareket algılanmaz ise tekrar tasarruf gücüne geri döner. Belirlenen süre boyunca hareket sensörüne bağlı olarak tam güç ve tasarruf gücü arasında çalışır.

3.1. Uzaktan İzleme ve Kontrol İçin Kullanıcı Arayüzü (User Interface for Remote Monitoring and Control)

Tasarlanan sistemdeki LED armatürler ile iletişimin sürekli olabilmesi için Şekil 6'da verilen uzak noktadan izleme ve kontrol kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir. LED armatürlerin, PV panelin ve akülerin her birinin ayrı ayrı akım ve gerilimleri RF aracılığıyla merkez bilgisayara aktarılmış ve kullanıcı arayüzü ile kaydedilmiştir. Sokak aydınlatma sisteminde kullanılan LED armatürler numaralandırılmıştır. Kullanıcı arayüzünden LED armatür numarası seçilerek istenilen armatüre ilişkin LED armatür gücü, panel gücü ve akü gerilimi izlenebilmektedir. Ayrıca kaydedilen veriler ile oluşturulan veri tabanına, arayüz üzerinden erişilerek istenilen tarihe ait LED armatür ve panel gücü eğrileri çizdirilebilmekte ve grafikler yorumlanabilmektedir.



Şekil 6. *Uzaktan izleme ve kontrol için kullanıcı arayüzü (User Interface for Remote Monitoring and Control)*

İstenildiğinde armatürlerin programlanacağı farklı çalışma modları, kullanıcı arayüzünden ayarlanabilmekte, modlar arasında geçiş yapılabilmekte, alınan veriler çalışılan moda göre veri tabanına kaydedilmektedir. Kullanıcı girişi yapılmadığı durumda ise sistem otomatik olarak akü seviyesine bağlı kalarak Şekil 5'te verilen algoritmayı uygulamaktadır. Aynı ortamda bulunan armatürler, yaklaşık olarak aynı güneş ışığı ve hareketlilik değerlerine sahip olacağından, elde edilen değerler modun güç ve ışık değerleri olacaktır. Bu sayede modların ortam koşullarına göre kıyaslamaları yapılmıştır. Yapılan bu kıyaslama sonunda her modun enerji harcama değerleri ve akü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Arayüze eklenmiş olan otomatik mod seçme özelliği ile akü durumunu inceleyen bilgisayar algoritması; akü değerine ve mod performansına göre en uygun modu kendisi belirlemektedir. Bu sayede mevcut durumda depolanan enerjinin maksimum performansta kullanılması sağlanmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE DEĞERLENDİRME (EXPERIMENTAL STUDIES AND EVALUATION)

PV panel beslemeli LED sokak aydınlatması uygulaması, beş farklı moda göre belirlenen çalışma senaryolarıyla test edilmiştir. Şekil 7'de verilen test alanında PV panellerden gündüz saatlerinde akülere depolanan enerjinin, LED armatür üzerinde harcanması, sistemin harekete ve yaya trafiği yoğunluğuna göre çalıştırılması durumunda elde edilen veriler yardımıyla aşağıda sırasıyla her bir modun performansı değerlendirilmiştir.



Şekil 7. *PV beslemeli LED armatür için oluşturulan armatür ve direk gövdesi (Armature and pole body for PV sourced LED luminaire)*

Mod 1'in performans değerlendirmesi (Performance analysis of Mode 1): LED armatür, hareket sensöründen bilgi gelmediği sürece %20 PWM oranıyla çalışır. Belirlenen bu oran 60 W gücünde tasarlanan armatürün 12 W'lık bir enerji tüketmesini sağlamaktadır. Hareket algılandığı zaman ise parlaklık %100'e çıkartılır. 1. modda çalıştırılan LED armatürün çalışma grafiği Şekil 8.a'da verilmiştir. 1. mod çalışma senaryosuna göre; hareket sensöründen gelen bilgiye göre parlaklık %100 ile %20 arasında değişmektedir. Hareket algıladığı zaman armatür maksimum güç ve parlaklık seviyesine getirilmekte ve 10 dakika boyunca maksimumda kalmaktadır. Belirlenen süre sonunda hareket algılanmaya devam ettikçe 10 dakikalık bekleme süresi yenilenmektedir. Sensörden 10 dakika boyunca hareket bilgisi gelmez ise sistem kendini tasarruf modu olan 12 W güç ve %20 parlaklık değerine ayarlamaktadır.

1. moda göre sistemde harcanan ortalama güç Eşitlik (1) ile hesaplanmıştır. Eşitlikte P gücü, P_{ort} ise ortalama gücü temsil etmektedir.

$$P_{ort} = \frac{1}{T}\int_0^t p \times dt \tag{1}$$

1. moda göre harcanan ortalama güç elde edilen verilerin MS excel'de hesaplatılması ile 20.998 W olarak hesaplanmıştır. Harcanan bu güç miktarı, maksimum gücün %35'i kadardır. Akü kapasitesinden 8,75Ah'lik enerji tüketilmiştir.

Mod 2'nin performans değerlendirmesi (Performance analysis of Mode 2): LED armatür, 60 W güçte 10 saat boyunca %100 parlaklık seviyesinde çalışır. Hareket sensörü aktif değildir. 2. modda çalıştırılan LED armatürün çalışma grafiği Şekil 8.b'de verilmiştir. 2. modda herhangi bir tasarruf yada parlaklık ayarı yapılmamaktadır. Akülerin tam dolu şarj seviyesinde olması durumunda sistem tarafından bu çalışma modu etkinleştirilir. Bu mod aküde depolanmış fazla enerji olması halinde mevcut enerjinin maksimum fayda ile kullanımı için belirli aralıklarla otomatik olarak seçilir.

Akülerin yaz aylarında tam dolu şarjlı olması ve akülerde harcanacak enerjinin gerekli olan enerjiden iki ya da üç kat fazla enerjinin depo edilmesi durumunda tasarruf yapılması gereksiz olmakta ve 2. modun kullanımı gerekmektedir. Akülerde sürekli olarak depolu bulunan ve kullanılmayan enerji akünün zarar görmesine neden olabilir. Bunun önlenmesi ve eldeki enerjinin maksimum fayda ile kullanılması için tam kapasite çalışma olan 2. moda geçiş yapılır. 2. moda göre harcanan ortalama güç 60 W olarak hesaplanmıştır. Sistem %100 güç tüketimi ile çalıştırılmış ve akü kapasitesinden 25 Ah 'lik enerji tüketilmiştir.

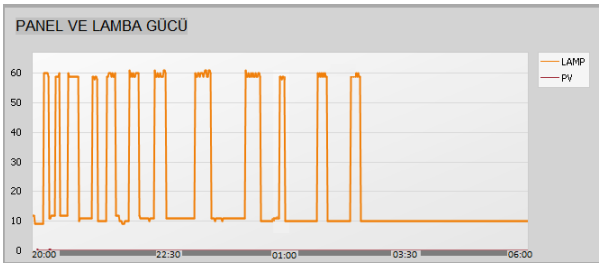
Mod 3'ün performans değerlendirmesi (Performance analysis of Mode 3): LED armatür %100 parlaklık seviyesinde tam performans çalışmaya başlar. 3. modda çalıştırılan LED armatürün çalışma grafiği Şekil 8.c'de verilmiştir. Lambanın hareket sensöründen bağımsız çalıştığı bu uygulama modunda, lambanın

çalıştığı saatler arası trafik yoğunluk durumu baz alınarak gece dört farklı dilime ayrılmıştır. Birinci dilim 20:^{00}-22:^{30} saatleri arasını kapsayan kalabalığın en yoğun olduğu ilk çalışma aralığıdır ve %100 parlaklık seviyesinde çalışılır. İkinci dilim 22:^{30}-01:^{00} saatleri arasını kapsayan yoğunluğun düşüşe geçtiği olduğu evredir ve %75 parlaklık seviyesinde çalışılır. İkinci dilimden sonrası için tasarruf moduna geçilmiştir. Üçüncü dilim 01:^{00}-03:^{30} saatleri arasını kapsayan yoğunluğun iyice azaldığı evredir ve %50 parlaklık seviyesinde çalışılır. Güvenlik amaçlı olarak düşünülen dördüncü dilim 03:^{30}-06:^{00} saatleri arasını kapsayan yoğunluğun çok çok az olduğu evredir, %30 parlaklık seviyesinde ve 18 W güç değerinde çalışılır. Kullanıcı seçimine bağlı olarak armatürün her bir dilim için çalışacağı parlaklık seviyesi tanımlanmıştır. Yoğunluğun azalmasına bağlı olarak parlaklık seviyesi dilimler arası düzenli olarak azaltılır ve armatür gücü düşürülür. Saat dilimleri arası ve her bir dilimdeki armatür parlaklık seviyesi azalımı miktarı kullanıcı kontrollü olarak değiştirilebilir.

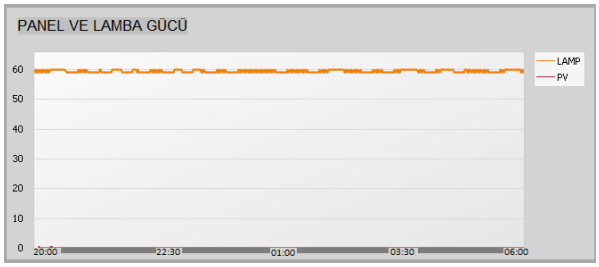
3. moda göre harcanan ortalama güç 40.48 W olarak hesaplanmıştır. Harcanan bu güç miktarı, maksimum gücün %67'sidir. Akü kapasitesinden 17 Ah 'lik enerji tüketilmiştir.

Mod 4'ün performans değerlendirmesi (Performance analysis of Mode 4): %100 parlaklık seviyesine karşılık gelen %100 yoğunluk durumu belirlenir. 30 dakika aralıklarla hareket sensöründen gelen yoğunluk verisine karşılık gelen parlaklık seviyesi hesaplanır ve LED armatür o parlaklık durumunda çalışır. Saat 01:^{45}'den itibaren LED armatür tasarruf durumuna geçer ve 12 W güç değerinde çalışır. Bu noktadan itibaren sensörden bir hareket algılandığında sistem tam güce geçer ve bu konumda 10 dakika kalır. Bu sürenin sonunda hareket algılanmaz ise tasarruf durumuna geri dönülür. Sistemde manuel şekilde ayarlanmış olarak 30 dakikalık değerler ile sayım yapmaktadır. İlk yarım saatlik süre içerisinde alınan sayım değeri maksimum değer olarak kabul edilir. Minimum değer olarak ise "0" değeri atanır. Bu çalışma modu için armatürün maksimum güç değeri 60 W, minimum güç değeri ise 12 W'tır. Bu senaryo ile yoğunluk sayısına göre armatür parlaklığı değişkenlik göstermektedir. Hareket olmadığı durumda tasarruf durumunda çalışılırken, hareket olduğunda tam güçte çalışılır. Böylelikle akülerin faydalı kullanımı sağlanmış olur. 4. modda çalıştırılan LED armatürün çalışma grafiği Şekil 8.d'de verilmiştir.

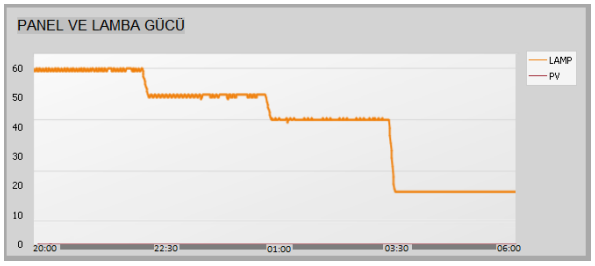
4. moda göre harcanan ortalama güç 35.58 W olarak hesaplanmıştır. Harcanan bu güç miktarı, maksimum gücün %59'udur. Akü kapasitesinden 15 Ah 'lik enerji tüketilmiştir.



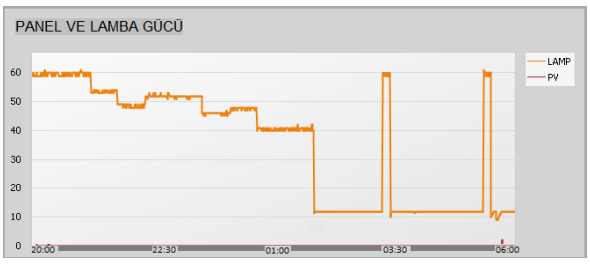
a) *1. modda çalışan LED armatür (LED luminaires operating in mode 1)*



b) *2. modda çalışan LED armatür (LED luminaires operating in mode 2)*



c) *3. modda çalışan LED armatür (LED luminaires operating in mode 3)*



d) *4. modda çalışan LED armatür (LED luminaires operating in mode 4)*

Şekil 8. *Çalışma modlarından elde edilen grafikler (Graphs from operating modes)*

4.1 PV Panel ve Akü Kapasitesi Hesabı (PV Panel and Battery Capacity Account)

PV panel ve akü kapasitesinin belirlenmesi amacıyla Ankara için Avrupa Komisyonu tarafından Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) sitesinde yayınlanan, aylara göre güneşlenme değerleri kullanılmıştır[13]. PVGIS sitesine göre minimum günlük ortalama enerji üretimi ocak ayında 1000 W'lık panel için 2.10 kWh olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm günlük 2.1 saat güneşlenme süresine karşılık gelmektedir. Temmuz ayında maksimum günlük ortalama enerji üretimi 5.25 kWh olarak ölçülmüş ve 5.25 saatlik güneşlenme süresine sahiptir.

Normal çalışma için PV panel ve akü hesabı (PV panel and battery account for normal operation): 60W'lık LED armatürün 10 saat boyunca klasik çalışması Eşitlik (2) ile hesaplandığında 600 Wh enerji gerekir.

$$W = P \times h = 60 \times 10 = 600Wh \tag{2}$$

Ankara için günlük ortalama enerji üretimi 2.10 kWh ile ocak ayı değerlendirildiğinde; gereken panel ihtiyacı Eşitlik (3) ile hesaplandığında 285.71 W olacaktır.

$$P = \frac{W}{h} = \frac{600}{2.10} = 285.71W \tag{3}$$

285.71 W PV panel yerine toleranslı olunarak iki adet 150 W değerinde, toplamda ise 300 W panel kullanılabilir. Hesaplanan panel gücüne göre ocak ayı için akü hesabı Eşitlik (4) ile yapıldığında, minimum 630 Wh akü kapasitesine sahip olunması gerekmektedir.

$$W = P \times h = 300 \times 2.1 = 630Wh \tag{4}$$

İki adet 12 V'luk akünün seri bağlanmasıyla akülerin uç gerilimi 24 V olacağından, Eşitlik (5) ile hesaplandığı gibi iki adet 26.25 Ah'lik akü gereklidir.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{630}{24} = 26.25Ah \tag{5}$$

Akü seçiminde en kötü senaryoya açısından; bir sisteme, iki gün enerji sağlayabilen kapasiteler tercih edilmektedir. Daha büyük kapasite maliyeti arttırdığı için en uygun değerde kapasite seçimi önemlidir.

Ankara için günlük ortalama enerji üretimi 5.25 kWh ile temmuz ayı değerlendirildiğinde; Ocak ayı için yapılan hesaplamalarda seçilen 300 W'lık panel için sağlanan enerji Eşitlik (6) ile hesaplandığında 1575W olacaktır.

$$W = 300 \times 5.25 = 300 \times 21 = 1575Wh \tag{6}$$

Kış şartları için 630 Wh olarak hesaplanan akü kapasitesi ile yaz şartları için 1575 Wh olarak hesaplanan akü kapasitesi karşılaştırıldığında yaklaşık %60'lık boşa harcama söz konusudur. Akü yaz şartlarına göre seçilirse Eşitlik (7) ile hesaplandığı gibi 65 Ah akü gereklidir.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1575}{24} = 65Ah \tag{7}$$

Günlük 1575 Wh enerjinin 10 saat kullanılacağı göz önüne alındığında sistem Eşitlik (8) ile verildiği gibi 157.5 W güç sağlayabilmektedir. Seçilen LED armatür 60 W gücünde olduğundan, akünün gereksiz yere şarj olması ve sürekli ekstra %66 dolu olması güneş enerjisinden elde edilen enerjinin tam verimle kullanılamaması anlamına gelmektedir.

$$P = \frac{W}{h} = \frac{1575}{10} = 157.5W \tag{8}$$

Yaz ve kış şartlarındaki hesaplamalar değerlendirildiğinde; dört farklı seçenek arasından seçim yapılması gerekmektedir. Birinci seçenekte; panel ve akü kış şartlarına göre seçilebilir, yazın depolanacak enerjiden vazgeçilebilir. Ancak akünün dolu olarak sürekli tekrar şarj edilmesi aküye zarar verebilir. Belirli aralıklarla aküye tam deşarj uygulanması gerekir. İkinci seçenekte; panel ve akü yaz şartlarına göre seçilebilir, kışın yalnıza kapasitenin yaklaşık üçte birlik kısmını kullanılır. Üçüncü seçenekte; paneli kış şartlarına göre seçip yazın depolanan fazla enerjinin kullanılabilmesi için sistemin gücü üç katına çıkartılabilir. Dördüncü seçenekte ise panel kış şartlarına göre, akü ise yaz şartlarına göre seçilir. Kış şartlarında sistem gücü karşılanırken, yazın fazla enerji elektrikli araçların şarj edilmesi gibi başka yöntemlerle tüketilerek fayda

sağlanabilir. Seçenekler değerlendirildiğinde, pratikte akü ve panel kış şartlarına göre seçilir ve yazın depolanacak fazla enerjiden feragat edilir. Hesaplanan veriler doğrultusunda iki adet 150W'lık solar panel ve iki adet 50 Ah'lik akü seçilmesi gereklidir.

Çoklu modlu çalışma için PV panel ve akü hesabı (PV panel and battery account for multi mode operation): 4. Mod çalışmada hesaplanan 35 W'lık ortalama güç değeri baz alınarak 10 saatlik günlük çalışma için gereken enerji Eşitlik (9) ile hesaplandığında 350 Wh elde edilir.

$$W = P \times h = 35 \times 10 = 350Wh \tag{9}$$

Ankara için günlük ortalama enerji üretimi 2.10 saat ile ocak ayı değerlendirildiğinde; gereken panel ihtiyacı Eşitlik (10) ile hesaplandığında 166W olacaktır.

$$P = \frac{W}{h} = \frac{350}{2.10} = 166W \tag{10}$$

Akü hesabı 60 W'lık LED armatürün 10 saat boyunca çalıştığı ve 600 W enerji harcadığı 2. Mod'a göre Eşitlik (11) ile yapıldığında, minimum 25 Ah'lik akü kapasitesine sahip olunması gerekmektedir.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{600}{24} = 25Ah \tag{11}$$

Hesaplanan akü değeri üzerine tolerans değeri eklenebilmektedir. Fakat diğer çalışma modlarında tasarruflu çalışma durumları etkili olduğu için tolerans eklemesi gerekli değildir. Yapılan hesaplar doğrultusunda normal ve çoklu modlu çalışmada gerekli olan PV panel ve akü değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. *Klasik ve çoklu modlu çalışma için gereken panel ve kapasite değerleri (Required panel and capacity values for classic and multimodal operation)*

Çalışma Durumu	PV Panel Gücü (W)	Akü Kapasitesi (Ah)
Klasik Mod	300 W	50 Ah
Çoklu Çalışma Modu	160 W	25 Ah

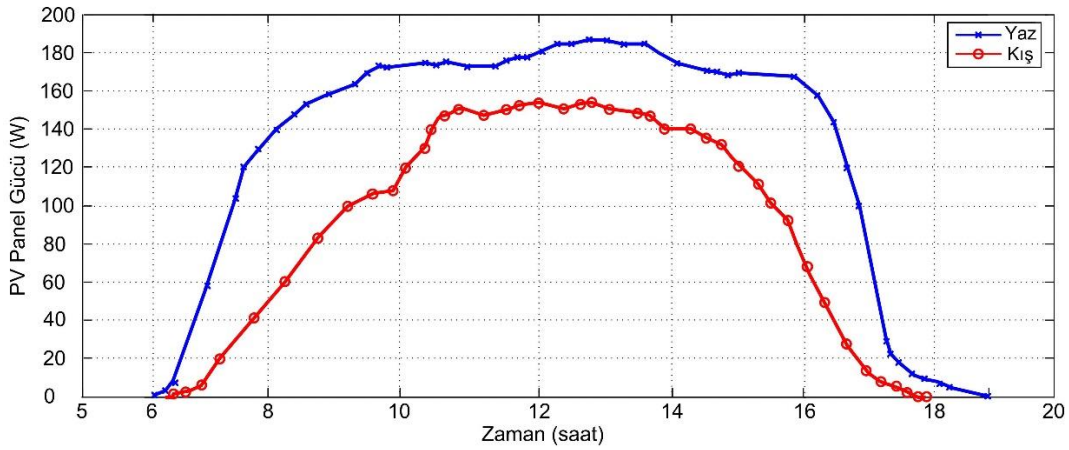
Çoklu modlu çalışmanın klasik moda göre hem PV panel seçiminde hem de akü kapasitesi seçiminde önemli avantajları bulunmaktadır. Tasarlanan sistemin yapılan hesaplamalar ve deneyler sonunda iki adet 100 W PV panel ve iki adet 25 Ah akü ile çalışabileceği ortaya çıkmaktadır.

Eşitlik (3) ile elde edilen normal çalışma durumundaki panel gücü değeriyle, Eşitlik (10) ile elde edilen çoklu mod çalışma durumundaki gerekli panel gücü değerleri karşılaştırılacak olursa;

$$\eta = \frac{P_{pv-normal_mod} - P_{pv-çoklu_mod}}{P_{pv-normal_mod}} = \frac{285{,}71-166}{285{,}71} = \%42 \tag{12}$$

Tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilen sistemin normal bir sisteme göre %42 daha verimli olduğu veya bu oranda daha az bir panel gücüne ihtiyaç duyacağı deneysel olarak ispatlanmıştır.

PV panelin ve akünün kapasitesinin değerlendirmesi (Evaluation of PV panel and battery capacity): Hesaplanan ve seçilen değerlere göre PV panel ve akü kapasitesi değerlendirilmesi için yaz şartlarında güneşli bir gün ve kış şartlarında bir gün için elde edilen güç eğrileri incelenmiştir. Şekil 9'da yaz ve kış mevsimlerindeki karşılaştırmada kullanılan 100 W'lık iki panel ile PV panel gücü grafiği verilmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla yapılan hesaplamalarda yaz mevsiminde depolanan enerji ortalama 111 W olarak hesaplanmıştır. 10 saatlik çalışma neticesinde 1110 Wh olarak belirlenmiş ve 46.25 Ah'lik enerji depolanmıştır. Kış mevsimi için elde edilen verilerle yapılan hesaplamada ise depolanan enerji ortalama 87 W olarak hesaplanmıştır. 10 saatlik çalışma neticesinde 870 Wh olarak belirlenmiş ve 36Ah'lik enerji depolanmıştır. Hesaplamalardan görüleceği üzere depo edilen enerji yaz ve kış mevsimleri için tasarlanan armatürün harcayabileceği değerden fazla olduğu için artan enerji kullanılmadan akülerde kalmaktadır.



Şekil 9. *Yaz ve kış mevsimlerinde bir gün için panellerden elde edilen güç eğrisi (Power curve obtained from panels for one day during summer and winter seasons)*

Kabul edilebilir minimum güç seviyesi (Acceptable minimum power level) : PV panelli LED sokak aydınlatma sistemi, beş farklı çalışma senaryosunda ayrı ayrı çalışılabilmektedir. Ya da akü seviyesine göre maksimum güçten başlanarak sistemin günlük karşılayabileceği güç için hangi modda çalışılacağına sistem kendi karar vermektedir. Örneğin 4. modda yoğunluğa göre parlaklık seviyesi sürekli değişmektedir. Bu senaryoda yaya trafiği sürekli olarak kontrol edildiği ve parlaklık oranları belirlendiğinde, akülerin şarj oranı belirli bir noktanın altına düşmesi durumunda sistem geceyi standartlara uygun lümen değerinde tamamlayabilmek için gerekli olan güç seviyesini hesaplayıp belirlenen güç seviyesine kendini ayarlayacaktır. Kabul edilir minimum güç seviyesi karayolları M2 standardı esas alınarak 2000 lümen olarak hesaplanmıştır[12]. Uygulaması gerçekleştirilen bu sistem, 7 metre genişliğinde bir yol için 4 metre lamba yüksekliğinde M2 standardına uygundur.

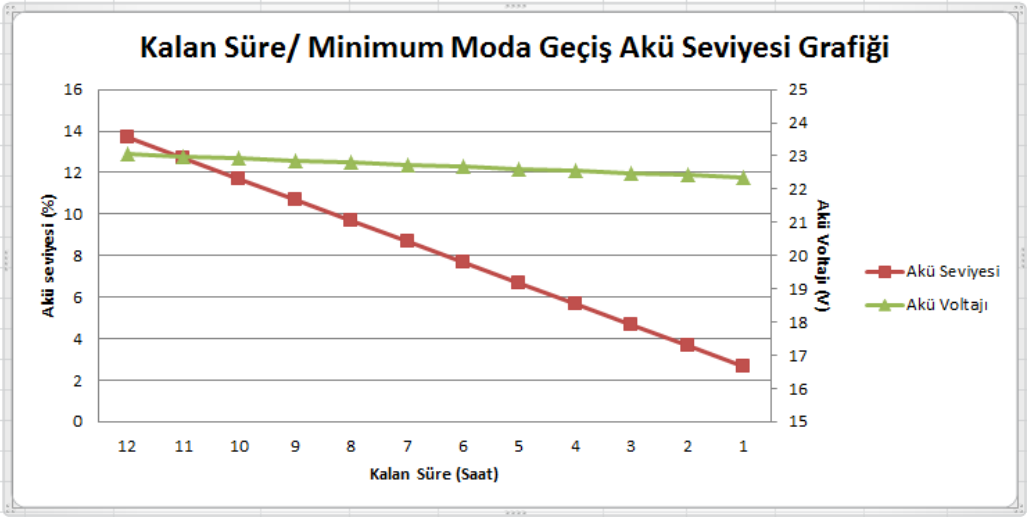
LED armatürün hesaplanmış watt başına lümen değeri 167 W/lümen olduğuna göre gerekli olan minimum güç değeri Eşitlik (13) ile 12 W hesaplanır.

$$P = \frac{Lümen}{Işık\ verimi} = \frac{2000}{167} = 12W \tag{13}$$

Ayrıca 60 W gücündeki LED armatür için minimum 12 W parlaklık seviyesi tanımlandığına göre minimum seviyedeki güç değeri Eşitlik (14) ile %20 olarak hesaplanır.

$$\%Parlaklık = \frac{P_t}{\mathrm{P}} \times 100 = \frac{12}{60} \times 100 = \%20 \tag{14}$$

Şekil 10'da çalışmada kullanılan 50 Ah akünün, 10 saat çalışma süresine göre minimum moda geçiş için güç ve gerilim seviyesinin değişimleri verilmiştir.



Şekil 10. *Minimum moda geçişte akü seviye grafiği (Battery level graph in transition to minimum mode)*

Grafiğe göre armatür herhangi bir parlaklık değerinde çalışırken, çalışma süresinin bitimine 10 saat kaldıysa aküde depolu olması gereken enerji %12 ve akü gerilim seviyesi 22.92 V değerlerinin üzerinde olmalıdır. Bu değerler sınır değerlerdir. Eğer akü seviyesi ve akü gerilimi bu sınır değerlerin altına düşerse sistem acil durum modu seviyesi olan %20 parlaklık değerine otomatik olarak geçecektir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSION AND EVALUATION)

Güneş paneli kaynaklı olarak akü beslemeli çalıştırılan LED sokak armatürü uygulaması için, farklı çalışma senaryolarını barındıran beş farklı mod test alanında yapılan deneysel çalışmalar ile test edilmiştir. Uygulaması gerçekleştirilen PV panel beslemeli LED sokak aydınlatma sistemi; ortalama güç, minimum akü kapasitesi, kış ayları için minimum panel gücü, yaz ayları için minimum panel gücü ve kullanılan güç yüzdesi ölçütleri bakımından kıyaslaması Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. *Önerilen çalışma modların karşılaştırılması (Comparison of recommended study modes)*

Kıyaslama ölçütleri	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4
Ortalama güç (W)	21	60	41	36
Minimum akü kapasitesi (Ah)	8,75	25	17	15
Kış ayları için minimum panel gücü (Ocak) (W)	100	285	195	170
Yaz ayları için minimum panel gücü (Ağustos) (W)	40	115	78	70
Kullanılan Güç Yüzdesi (%)	35	100	67	59

Tablo ortalama güç tüketimi bakımından incelendiğinde; en az ortalama güç tüketimi Mod 1'de, en çok ortalama güç tüketimi ise Mod 2'de olmaktadır. Minimum akü kapasitesi bakımından tablo incelendiğinde; minimum akü kapasitesi en az Mod 1'de, en çok ise Mod 2'de olmuştur. Gerekli olan panel gücü bakımından tablodaki değerler kıyaslandığında, ocak ayı için gerekli minimum panel gücü 100 W iken, yaz ayları için gerekli maksimum panel gücü 2. modda 115 W olarak hesaplanmıştır. Sistemin çoklu modlu çalışması sayesinde yaz ve kış ayları arasındaki gerekli olan panel gücü farkı büyük oranda birbirine yaklaştırılmıştır. Bu sayede 115 W PV panel yazın tam performansta çalışırken, kışın düşük enerji sarfiyatı olan modda çalışabilecektir. Güneşli günlerde ise güneşlenme seviyesine en uygun olan mod çalışacağı için panellere gelen tüm enerji en faydalı şekilde kullanılmış olacaktır.

Farklı çalışma modlarının diğer bir avantajı ise yaz ve kış ayları için gerekli olan ortalama akü kapasitesinin düşürülmesidir. Tasarlanan sistem ve önerilen çalışma metodları ile PV panel beslemeli LED sokak aydınlatma armatürü sistemlerinde verimin arttırıldığı, akü kapasitesinin ve mevsimlere göre gereken panel gücünün optimize edildiği deneysel olarak ispat edilmiştir. Tasarlanan arayüz ve yazılım farklı aydınlatma sistemlerine entegre edilerek ekonomik ve verimli sistem uygulamaları gerçekleştirilmesi beklenmektedir. Ayrıca oluşturulan sistemin fazla enerji depolaması durumunda enerjiyi elektrikli bisiklet veya bu gibi araçların şarjında kullanabileceği sistemlerin geliştirilmesi, şebekeden bağımsız sistemlerle çalışmada bir avantaj olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] De Almeida, A. Santos, B. Paolo, B. Quicheron, M., "Solid State Lighting Review-Potential And Challenges In Europe", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Cilt 34, 30-48, 2014.

[2] Singh, D. Basu, C. Meinhardt-Wollweber, N., Roth, B., "Leds For Energy Efficient Greenhouse Lighting", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Cilt 49, 139-147, 2015.

[3] Hong, G.W. Abe, N., "Modeling and Optimizing a Sub-Centralized LED Lamps Provision System for Rural Communities", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Cilt 16, 4616-4628, 2012.

[4] Wu, M.S. Huang, H.H. Huang, B.J. Tang, C.W. Cheng, C.W., "Economic Feasibility Of Solar-Powered Led Roadway Lighting", ***Renewable Energy***, Cilt 34, No 8, 1934-1938, 2009.

[5] Huang, B.J. Chen, C.W. Hsu, P.C. Tseng, W.M. Wu, M.S., "Direct Battery-Driven Solar LED Lighting Using Constant-Power Control", **Solar Energy**, Cilt 86, No 11, 3250-3259, 2012.

[6] Panguloori, RB. Mishra, PR. Kumar, S. "Power Distribution Architectures to Improve System Efficiency of Centralized Medium Scale PV Street Lighting System", **Solar Energy**, Cilt 97, 405-413, 2013.

[7] Lau, S.P. Merrett, G.V. Weddell, A.S. White, N.M., "A Traffic-Aware Street Lighting Scheme for Smart Cities Using Autonomous Networked Sensors", **Computers and Electrical Engineering**, Cilt 45, 192-207, 2015.

[8] Huang, B.J. Wu, M.S. Hsu, P.C. Chen, J.W. Chen, K.Y., "Development of High-Performance Solar LED Lighting System", **Energy Conversion and Management**, 51, 1669-1675, 2010.

[9] He, Z.Y. Chen, H., "Integrated Solar Controller for Solar Powered Off-grid Lighting System", **Energy Procedia**, Cilt 12, 570-577, 2011.

[10] Fathi, M. Chikouche, A. Abderrazak, M., "Design and Realization of LED Driver for Solar Street Lighting Applications", **Energy Procedia**, Cilt 6, 160-165, 2011.

[11] Erişim Adresi: http://www.nichia.co.jp/specification/products/led/NVSW219C-E.pdf, Erişim Tarihi: 01.11.2016.

[12] Erişim adresi: www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/yonetmelik/9.5.20830-EK.docx, Erişim Tarihi: 01.11.2016.

[13] Erişim adresi: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#, Erişim Tarihi: 01.11.2016.