



**ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN BİR MERKEZDEN KONTROLLÜ SOKAK
AYDINLATMA SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Kemal ÇELİK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2016

Kemal ÇELİK tarafından hazırlanan “ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN BİR MERKEZDEN KONTROLLÜ SOKAK AYDINLATMA SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ

Elektrik Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan : Doç. Dr. İlyas ÇANKAYA

Elektrik Elektronik Mühendisliği, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye : Doç. Dr. Nihat ÖZTÜRK

Elektrik Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 08/12/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Kemal ÇELİK

08/12/2016

ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN BİR MERKEZDEN KONTROLLÜ SOKAK AYDINLATMA SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Kemal ÇELİK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2016

ÖZET

Bu çalışmada; Güneş enerjisi ile beslenen LED armatüre sahip bir sokak aydınlatma sistemi gerçekleştirilmiştir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde kullanılan PV (Photovoltaic) panellerden elde edilen enerji akülerde depolanmış ve hava karardıktan sonra da geliştirilen parlaklık ayarı yapılabilen (dimleme) sabit güçlü LED sürücü yardımı ile LED armatürün enerjisi akülerden karşılanmıştır. LED sürücüye entegre bir kablosuz haberleşme cihazı tasarlanmış ve sürücü kontrolü için yetkilendirilmiştir. Sürücüyü uzaktan kontrol etmek için ise USB (Universal Serial Bus) üzerinden bilgisayara bağlanabilir bir cihaz ve buna uyumlu bir bilgisayar arayüzü tasarlanmıştır. Böylece ortam koşullarına adapte olabilir, akıllı enerji yönetimi yapabilen bir sistem tasarımı amaçlanmıştır. Tasarlanan sistemin değişik ışık şiddeti değerleri, sürücü verimi, harcanan enerji miktarı gibi değişkenler deneysel olarak incelenmiş, ortam koşullarına uygun çalışma durumları belirlenmeye çalışılmıştır. Literatürdeki tek modlu çalışmalara ek olarak günlük güneşlenme miktarı ve akü doluluk oranına göre seçilebilecek birden fazla çalışma seçeneği (mod) sunulmuş ve mevcut depolanmış enerjinin maksimum fayda ile kullanılması amaçlanmıştır. Ayrıca yenilik olarak hareket sensörü yardımıyla ortamdaki insan yoğunluğunun tahminini yapabilen ve parlaklığını yoğunluk seviyesine göre ayarlayabilen bir çalışma modu da önerilen modların arasında yer almaktadır. Böylece bu çoktan seçmeli çalışma biçimine, çoklu modlu çalışma ismi verilmiştir. Sistemde ışık kesintisi yaşanmaması açısından depolanan enerjiyi gece boyunca kullanabilmek için acil durum algoritması tasarıma eklenmiş bu sayede istenmeyen kesintiler önlenmiştir. Alınan veriler ışığında önerilen çoklu mod çalışma ile dimleme yapmayan LED armatürlere göre %40'a varan bir tasarruf sağlanırken, tek mod dimleme yapan sürücülere göre ise sağlanan ekonomi ve verimlilik oranı arttırılmıştır.

Bilim Kodu : 90544

Anahtar Kelimeler : Yenilenebilir Enerji Sistemleri, PV Panel, LED Sokak Aydınlatma, Kablosuz Kontrol, Akıllı LED Sürücü

Sayfa Adedi : 103

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ

DEVELOPMENT OF A CENTER-CONTROLLED STREET LIGHTING SYSTEM FOR ENERGY EFFICIENCY

(M. Sc. Thesis)

Kemal ÇELİK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2016

ABSTRACT

In this thesis, a street lighting system with a LED armature fed by solar energy has been realized. The energy obtained from PV (Photovoltaic) panels, which are used in the generation of electricity from solar energy, is firstly stored within the batteries. After the weather gets dark, the required energy for the LED armature is met from the batteries, thanks to the presented constant-power LED driver that is capable of adjusting brightness (dimming). Integrated into the LED driver, a wireless communication device is designed and it is authorized for driver control. In order to control the driver remotely, a device that can be connected to the computer via USB (Universal Serial Bus), and a compatible computer interface are designed. Thus, it is aimed to design a system that can adapt to ambient conditions and can perform smart energy management. Variables such as varying light intensity values, driver efficiency, and amount of consumed energy are examined experimentally and efforts are devoted for identifying working conditions appropriate for the ambient conditions. Besides the single-mode operation in the literature, more than one operating regime selectable depending upon daily insolation amount and battery fullness ratio are presented, and it is intended to utilize the available stored energy with maximum benefit. In addition, as an innovation, estimating the human density in the environment by a motion sensor, an operation mode, in which the brightness is adjustable according to the estimated human density, is also among the recommended modes. Therefore, this multi-choice mode of operation is given the name of the multi-mode operation. From the point of no light interruption in the system, an emergency algorithm is added into the design to use the stored energy during the night so that undesired interruptions are avoided. According to the obtained data, with the presented multi-mode operation, saving up to 40% is achieved compared to non-dimmable LED armatures, while increasing economy and efficiency ratio as compared to drivers with single-mode dimming.

Science Code : 90544

Key Words : Renewable Energy Systems, PV panel, LED Street Lighting, Wireless Control, Intelligent LED Driver

Page Number : 103

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren çok değerli Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ'a destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli arkadaşlarım İpek ÇETİNBAŞ ve Şerif ŞEREFOĞLU'na, manevi desteklerini esirgemeyen Adem AKTAŞ, Ertan TONGA, Okan KARA, ERSAN ailesine ve Burcu DURAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. LED TEKNOLOJİSİ VE GELİŞİMİ.....	7
2.1. LED'in Yapısı ve Elektriksel Karakteristiği	8
2.1.1. LED'in elektriksel ve termal modeli.....	10
2.2. LED Çeşitleri.....	15
2.2.1. Düşük güçlü LED'ler	15
2.2.2. Orta güçlü LED'ler	16
2.2.3. Yüksek güçlü LED'ler	16
2.3. LED'lerin Uygulama Alanları ve Aydınlatmada Kullanımı	17
2.3.1. LED'lerin uygulama alanları.....	17
2.3.2. LED'lerin aydınlatmada kullanımı	17
2.4. Klasik Aydınlatma Kaynakları ile LED Aydınlatmanın Karşılaştırılması	18
2.4.1. Klasik aydınlatma kaynakları	18
2.4.2. LED aydınlatmanın klasik aydınlatma ile karşılaştırılması	19
3. LED SÜRÜCÜLERİ VE SÜRME TEKNİKLERİ.....	21
3.1. LED Sürücüleri.....	21
3.1.1. Pasif LED sürücü	21

	Sayfa
3.1.2. Aktif LED sürücüler	22
3.2. LED Sürme Teknikleri.....	27
3.2.1. Sabit akım çıkışı sağlayan konvertör ile LED sürme.....	27
3.2.2. Sabit gerilim ile LED sürme.....	28
3.2.3. PWM ile LED dimleme	29
4. GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ LED AYDINLATMA	31
4.1. PV Paneller	32
4.1.1. PV panel çeşitleri	33
4.2. PV Panellerin LED Aydınlatma Sistemlerine Entegrasi	36
4.2.1. Örnek kurulacak bir sistem için maliyet hesabı.....	38
5. TASARIM VE UYGULAMA	41
5.1. LED Armatür Tasarımı	41
5.2. Akü Grubu ve Kapasite Hesabı	45
5.3. Güneş Paneli Seçimi	45
5.4. Akü Şarj Kontrol Ünitesi	46
5.5. LED Armatür için Sabit Güçlü Sürücü Tasarımı	47
5.5.1. Sabit güçlü LED armatür sürücüsünün Matlab simülasyonu	47
5.5.2. Sabit güçlü LED armatür sürücüsünün tasarım aşamaları	49
5.6. Sürücü Haberleşme Kartı	73
5.6.1. DRF4432F20 modül yazılımsal ayarları.....	76
5.7. USB Üzerinden Bilgisayara Bağlanan Veri Toplama Kartı	77
5.8. Bilgisayar Arayüzü	79
5.9. Sistem İçi Haberleşmeler	79
6. TASARIM TESTLERİ	81
6.1. Sürücü Testleri.....	81
6.2. Çoklu Modlu Çalışma	85

	Sayfa
6.3. Çoklu Mod Çalışma için Akü Kapasite Belirleme	89
6.4. Temmuz Ayına Ait Panelden Alınan Güç Eğrisi	90
6.5. Minimum Kabul Edilebilir Güç Seviyesi.....	91
7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	95
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	103

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. LED renklerine göre dalga boyu, gerilim ve kullanılan yarıiletkenlerin karşılaştırılması.....	9
Çizelge 2.2. LED'in ortam sıcaklığı ile ömür ilişkisi	13
Çizelge 2.3. Lamba çeşitlerinin ışık verimleri ve ömürlerinin karşılaştırılması.....	20
Çizelge 4.1. Aylara göre ortalama güneşlenme miktarları	32
Çizelge 4.2. Güneş enerjili LED sokak armatürü maliyeti.....	38
Çizelge 5.1. PV panelin katalog bilgileri	46
Çizelge 5.2. Mikro denetleyicinin diğer özellikleri	53
Çizelge 6.1. Normal mod/ çoklu mod PV panel ve akü kapasite karşılaştırması	89
Çizelge 6.2. 4 farklı modun karşılaştırılması.....	90

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. LED'in akım-gerilim karakteristiği	11
Şekil 2.2. LED'in verim ve çalışma süresi ilişkisi	11
Şekil 2.3. LED'in akımı ile bağıl ışık akısı ilişkisi	12
Şekil 2.4. LED'in bağıl ışık akısı ile ortam sıcaklığı ilişkisi.....	13
Şekil 2.5. (a) 55°C için, (b) 120°C için LED'in zamana bağlı ışık değişimi	14
Şekil 2.6. LED termal eşdeğeri	15
Şekil 2.7. Lamba çeşitlerinin ışık verimlerinin karşılaştırılması	19
Şekil 3.1. Pasif sürme tipi (a) Seri bağlantı, (b) Paralel bağlantı.....	21
Şekil 3.2. Akım regülatörü ile 220VAC kaynaklı LED uygulaması	22
Şekil 3.3. AC-DC LED sürücü blok diyagramı	23
Şekil 3.4. Örnek PFC devresi	24
Şekil 3.5. Alçaltan konvertör devre şeması	25
Şekil 3.6. Yükselten konvertör devre şeması.....	26
Şekil 3.7. Alçaltıcı-yükseltici konvertör devre şeması.....	27
Şekil 3.8. Regülatör tipi LED sürücü devresi	28
Şekil 3.9. Regülatörlü PWM LED dimleme devresi.....	29
Şekil 4.1. Güneş enerjili LED lamba blok diyagramı	37
Şekil 5.1. Sistem bileşenlerinin blok diyagramı	41
Şekil 5.2. Sabit güçlü LED sürücünün Matlab simülasyonu.....	47
Şekil 5.3. (a) Sabit güçlü LED sürücünün devre şeması, (b) Sürücü akış diyagramı	51
Şekil 5.4. Mikro denetleyicinin blok diyagramı	52
Şekil 5.5. ADC biriminin blok diyagramı	54
Şekil 5.6. Akü gerilimi ölçüm devresi.....	55

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. LED armatür gerilimi ölçüm devresi.....	56
Şekil 5.8. LED armatür akımı ölçüm devresi	57
Şekil 5.9. OP-AMP'lı fark alıcı devre şeması	57
Şekil 5.10. Tersleyen girişi olmayan OP-AMP'lı devre şeması.....	58
Şekil 5.11. PV panel gerilimi okuma devresi	60
Şekil 5.12. PV panel akımı okuma devresi.....	61
Şekil 5.13. Devre üzerinde sensör için bırakılmış terminal görüntüsü	62
Şekil 5.14. Regülatör bölümü devre şekli	63
Şekil 5.15. Ferrit malzeme empedans eğrisi.....	64
Şekil 5.16. RF haberleşme kartı için ayrılan soket ve mikro denetleyiciye bağlantısı	64
Şekil 5.17. (a) Sürücü-haberleşme kartı bilgi alışverişi, (b) akış diyagramı	65
Şekil 5.18. Yükselten konvertör bölümü devre çizimi.....	66
Şekil 5.19. Nüve doğru akım karakteristiği.....	70
Şekil 5.20. Kullanılan diyot ileri voltaj karakteristiği.....	71
Şekil 5.21. Kullanılan MOSFET iç direnç karakteristiği	72
Şekil 5.22. RF haberleşme devre şeması.....	74
Şekil 5.23. RF haberleşme kartı blok diyagramı	74
Şekil 5.24. RF modül kontrol entegresi blok diyagramı	76
Şekil 5.25. USB veri toplama kartı devre şeması	78
Şekil 5.26. USB veri toplama kartı blok diyagramı	78
Şekil 5.27. Sistem haberleşmeleri blok diyagramı.....	80
Şekil 6.1. LED lamba çıkışı akım ve gerilim sinyal şekilleri.....	81
Şekil 6.2 Sürücü girişi akım ve gerilim sinyal şekilleri	82
Şekil 6.3. Haberleşme kartı tüketimi.....	83

Şekil	Sayfa
Şekil 6.4. MOSFET drain gerilimi ve çıkış akımı dalga şekilleri.....	84
Şekil 6.5. Anahtar kontrol sinyali	84
Şekil 6.6. 1. mod için LED lamba harcanan güç grafiği	86
Şekil 6.7. 2. mod için LED lamba harcanan güç grafiği	87
Şekil 6.8. 3. mod için LED lamba harcanan güç grafiği	88
Şekil 6.9. 4. mod için LED lamba harcanan güç grafiği	88
Şekil 6.10. Güneşli bir güne ait PV panel güç grafiği.....	90
Şekil 6.11. Parçalı bulutlu bir güne ait PV panel güneşlenme grafiği	91
Şekil 6.12. Gün doğumuna kalan süre/ gerekli akü seviyesi grafiği.....	93

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Düşük güçlü LED'ler	15
Resim 2.2. İç aydınlatma için kullanılan orta güçlü LED	16
Resim 2.3. (a) Yüksek güçlü LED, (b) 220VAC LED, (c) 50VDC LED	16
Resim 4.1. Mono kristal PV panel	34
Resim 4.2. Poli kristal PV panel	34
Resim 4.3. İnce film PV panel	35
Resim 4.4. Esnek PV panel	35
Resim 4.5. Organik PV panel	36
Resim 4.6. Güneş enerjili LED sokak aydınlatması	37
Resim 5.1. LED armatür kartının üç boyutlu görüntüsü	42
Resim 5.2. Lamba armatür gövdesi görüntüsü	44
Resim 5.3. Dialux simülasyonu	44
Resim 5.4. Akü şarj kontrol cihazı	47
Resim 5.5. Çıkış gerilimi dalga şekli	48
Resim 5.6. Çıkış akımı dalga şekli	48
Resim 5.7. Giriş akımı dalga şekli	48
Resim 5.8. Mikro denetleyicinin görüntüsü	53
Resim 5.9. Kullanılan sensör görüntüsü	62
Resim 5.10. Parazit önleyici ferrit malzeme	64
Resim 5.11. Magnetics firmasına ait C055083A2 serisi nüve	70
Resim 5.12. Kullanılan RF modül resmi	75
Resim 5.13. RF modül gönderim paketi şekli	75
Resim 5.14. Bilgisayar arayüz görüntüsü	79

Resim	Sayfa
Resim 5.15. LED lambalar ile bilgisayar haberleşme şekli.....	80
Resim 6.1. M2 standardına uygun LED ışık dağılımı Dialux simülasyon görüntüsü	92
Resim 6.2. Bir merkezden kontrollü LED sokak aydınlatma sisteminin görüntüsü.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
R_t	Toplam termal direnç
T_j	Jonksiyon sıcaklığı
R_{j-c}	LED termal direnci direnci
R_{p-h}	Arayüzey maddesi termal direnci
R_{th-m}	Soğutucu termal direnci
V_{LED}	LED gerilimi
I_{LED}	LED akımı
T_a	Ortam sıcaklığı
P_t	Toplam güç
D	Görev çevrimi
ΔV_r	Gerilim salınımı
V_o	Çıkış gerilimi
V_s	Kaynak gerilimi
ΔI	Akım salınımı
f	Frekans
L	Bobin endüktansı
T	Periyot
C	Kondansatör sığası
I_o	Çıkış akımı
W	Enerji
V_{Lin}	Bobin giriş gerilimi
h	Zaman
A	Yüzey alanı
P_{out}	Çıkış gücü
η	Verim
V_{ref}	Referans gerilimi

Simgeler**Açıklamalar**

V_i	Giriş gerilimi
$PSMCxPR$	Periyot değişkeni
$PSMCxDC$	Görev çevrim değişkeni
$PSMCxPH$	PWM faz değişkeni
N	Sipir sayısı
L_{AL}	Endüktans faktörü
I_{rms}	Etkin akım değeri
V_F	İleri yön gerilimi
P_k	Kayıp güç
t	Süre
P_{ort}	Ortalama güç

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AC	Alternatif akım
ADC	Analog dijital dönüştürme
DC	Doğru akım
EMI	Elektromanyetik girişim
GND	Şase
GPRS	Genel paket radyo servisi
ICSP	Devre üzerinde seri programlama
IDC	Çıkarılabilir konnektör
IEC	Uluslararası elektroteknik komisyonu
LED	Işık yayan diyot
MPPT	Maksimum güç noktası takibi
PFC	Güç faktörü düzeltme
PV	Fotovoltaik
PVGIS	Fotovoltaik küresel bilgi sistemi
PWM	Darbe genişlik modülasyonu
RF	Radyo frekansı
RX	Alıcı X

Kısaltmalar**Açıklamalar****SMD**

Yüzey montajlı malzeme

SMPS

Anahtarlama tip güç kaynağı

TX

Gönderici X

USB

Üniversal seri veri yolu

UV

Morötesi

1. GİRİŞ

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerjiye olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Başta sanayi olmak üzere birçok alanda ve günlük yaşantımızda ihtiyaçlarımızı karşılamak için enerjiye ihtiyaç duyulur. Günümüzde ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir bölümü hidroelektrik ve termik santrallerden karşılanmaktadır. Gelişen ve gelişmekte olan bütün ülkelerin ortak sorunu enerji talebinin karşılanamaması ve enerji açığının büyümesidir. Birincil enerji kaynakları olarak enerji üretimi yapılan fosil yakıtlar, enerji üretiminde birinci sırada tercih edilmesine rağmen rezervleri tükenme noktasına gelmiş ve birçok çevresel soruna neden olmuştur.

Isınma, ulaşım ve sanayi gibi büyük sektörlerin elektrik enerjisi ihtiyacı büyük oranda fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtlardan enerji üretim süreci sonucunda çevreye CO₂ (Carbondioxide) gazı salınmaktadır. Tükenme riski ile karşı karşıya kalınan fosil yakıtların gaz salınımı tehlikeli boyutlara ulaşmıştır. Bu sebeplerden dolayı fosil yakıtların tüketiminin sınırlandırılması gerekliliği bilinci yaygınlaşmaya başlamıştır. Fosil yakıtlara alternatif olarak temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. Fakat kesikli üretimin yapılması, enerji üretiminde sürekliliğin olmaması ve kapasite ile ilgili ileriye dönük net veriler alınamaması yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük sorunudur [1].

Ülkemizde son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji tasarrufu çalışmaları hız kazanmıştır. 2 Kasım 2011 tarihinde 662 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü kurulmuştur. Bu kuruluş yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımı konusunda faaliyet göstermektedir.

Günümüzde aydınlatma sektöründe verimlilik adına büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. LED'ler (Light Emitting Diode) uzun ömürlü olması, verimli çalışması, maliyetinin düşük olması ve uygulanabilirliğinin geniş olması açısından dünya da geniş bir kullanım ağına sahiptir. LED'ler aydınlatma, otomotiv, trafik sinyalizasyon, reklam panoları, telefon-bilgisayar- televizyon ekranları, sensörler, haberleşme gibi birçok alanda kullanıma sunulmaktadır. LED üretim maliyetlerinin günden güne azalması ve klasik aydınlatmadan daha verimli olması sayesinde iç ve dış aydınlatmalar giderek yerini LED aydınlatmalara

bırakmaktadır. Konu ile ilgili olarak Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı çeşitli çalışmalar yürütmektedir. Bu amaçla Ankara, Eskişehir ve İzmir’de 5 farklı yer seçilerek pilot bölgeler kurulmuştur. Eskişehir Mustafa Kemal Atatürk Caddesi’nde 53 adet, Ankara İnönü Bulvarında 46 adet, Ankara Dikmen Caddesinin TBMM önünde yer alan kısmında 54 adet, Ankara Muhsin Yazıcıoğlu Caddesinde 42 adet, İzmir Cumhuriyet Bulvarında 20 adet sokak armatürü LED armatüre dönüştürülmüş ve bu bölgelerde %40 oranında tasarruf yapıldığı açıklanmıştır. Sadece armatür değişikliğine gidilerek elde edilen büyük bir verimden yola çıkılarak dimleme (parlaklık şiddetinin değiştirilmesi) özelliğinin eklenmesi ile %40 olan verimin %75’lere çıkacağı belirtilmiştir. Şu anki tahminlere göre LED’li sokak aydınlatma sistemlerinin tam anlamıyla 2017 yılında uygulamaya geçirileceği düşünülmektedir [2].

Literatürde LED aydınlatma sistemleri ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmış ve bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir:

Kaplan ve diğerleri güneş enerjili LED’li bir sistem için yumuşak geçişli aydınlatma sistemi kullanmışlardır. Çevrenin belirli bir ışık değerine düşünce yanan sokak armatürlerinin aksine, LED armatür güneşin batışıyla beraber parlaklığını yavaş bir şekilde arttırmış ve sokak için gerekli minimum aydınlık değerini korumuştur. Armatürün aydınlık ayarlama bilgisi ise bir merkezdeki ışık algılayıcı sensörden RF (Radyo Frekansı) modüller ile alınmıştır [3].

Lian ve diğerleri zigbee ve GPRS (General Packet Radio Service) modüller ile LED armatür kontrolü yapmışlardır. Armatürün veri iletişim bilgileri zigbee modül aracılığı ile toplanmıştır. Toplanan veriler GPRS modüle oradan da bir merkezi bilgisayara aktararak kontrolü yapılmıştır [4].

Zanjani ve diğerleri tarafından merkezi bir bilgisayar ile LED armatür kontrolü yapılmış ve bu kontrol güç hattı haberleşmesi ile sağlanmıştır. Simülasyon ortamında LED armatürün aydınlık şiddeti ayarlanmış ve açma kapama işlemi gerçekleştirilmiştir [5].

De Melo ve diğerleri simülasyon ortamında güneş panelleri ile şebekenin birlikte kullanıldığı hibrit bir yapı tasarlamışlardır. Güneşin olduğu zamanlarda MPPT (Maximum Power Point Tracking) yapabilen konvertörler ile bataryalar depolanmıştır. Güneşin

olmadığı zamanlarda ise LED armatürler bataryalardan beslenmiştir. Fakat bataryanın boş olduğu zamanlarda LED armatürün enerjisi şebekeden karşılanmış ve elektrik kesintisinin yaşanmaması sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca güneş enerjisi kullanılarak enerji verimliliği arttırılmıştır [6].

Yoshiura ve diğerleri gecenin geç saatlerinde sokakların boş olduğu vakitlerde enerji kullanımının azaltılması için bir çalışma yapmışlardır. LED armatüre, ışık sensörü ve haberleşme modülünün yanı sıra hareket sensörü eklenmiştir. Hareketin olmadığı zamanlarda ışık parlaklığının azaltılması ya da LED armatürün kapanması sağlanmıştır [7].

Huang ve diğerleri direkt olarak aküden beslenen LED aydınlatma tekniği ile sabit güçlü LED sürücüyü önermişlerdir. LED aydınlatmanın sistem dinamikleri sabit güçlü LED kontrol sistemine geri bilgi olarak girilmiştir. Sistem; 18W ve 100W'lık LED armatürler ile test edilmiştir. Test sonuçları LED ışığının %2-5 hata ile kontrol edilebildiğini göstermiştir. Uzun dönem kullanım verileri ise tatmin edici ölçüde iyi sonuçlar vermiş ve sistem kurulumundan itibaren bir hata gözlenmemiştir [8].

Panguloori ve diğerleri PV (Photo Voltaic) panelli sokak aydınlatma uygulaması için çeşitli merkezi besleme istasyonları önermişlerdir. Sokak aydınlatma uygulaması için çeşitli merkezi güç dağıtım mimarilerini verimlilik ve karmaşıklık açısından kıyaslamışlardır. LED sürücü topolojisini basitleştirmek, verimlilik ile güvenilirliği arttırmak için bir sınırlandırılmış DC (Direct Current) bara mimarisi önerilmiştir. Etkin sistem dağıtım uzunluğu aküden alınan enerjiyi 220V AC'ye (Alternative Current) çevirerek dağıtım yapıldığında 1,58km DC bara, 220V DC'ye çıkarıldığında 1,74km, 380V DC'ye çıkartıldığında ise 2,85km olmaktadır. DC'de çalışmayla nominal yük ile %13, dimleme ile ise %17 oranında iyileşme kaydedilmiştir. Sınırlandırılmış DC baraya ilave edilen doğrusal sürücü ile enerji harcaması %25 azaltılmıştır [9].

Pipattanasomporn ve diğerleri deniz yüzeyi harp merkezi (NSWC) için %74 elektrik tasarrufu ve aynı oranda CO₂ salınımını azaltmak amacıyla yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba yerine akıllı mühendislik tasarımı ve talep duyarlı özelliğe sahip LED'li sokak aydınlatma sistemi önermişlerdir. Bunu hareket sensörlü bir akıllı sistem ile elde etmeyi amaçlamışlardır. Buna ek olarak sodyum buharlı lamba ile LED lambanın teknik performansları ve yaşam döngüleri tartışılmıştır. Test sonuçları doğrultusunda sodyum

buharlı lamba yerine kullanılan talep duyarlı (hareket sensörlü) özelliğe sahip LED aydınlatma ile %74 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır [10].

Zhang ve diğerleri bağımsız çalışabilen bir LED'li sokak aydınlatma sistemi üzerinde çalışmışlardır. Sosyal hayvan ve böceklerden esinlenerek bir yapı tasarlamışlardır. Bu yapıda LED armatür grubundaki armatürlerden biri yönetici lambadır ve diğer üye armatürler ona bağlıdır. Yönetici armatürler de LED lamba üyelerine bağlıdır. Tüm armatür üyeleri bir ağaç oluşturarak yönetici lamba ile iletişim halindedir. Eğer bir lamba üyesi aydınlatmayı sınır değerinin altında bulursa lamba açma isteği gönderir. Yönetici lamba açma isteklerini sayar ve belirli bir eşik değerinin üzerindeyse bütün armatürlere açma sinyali gönderir. Aynı sosyal hayvanlardaki gibi yönetici lamba eğer devre dışı kalırsa ikinci yönetici komutayı devralır. Test sonuçlarına göre grup kontrol yöntemi dışardan gelebilecek parazitleri ve hataları azaltarak kontrol sisteminin zekâ düzeyini arttırdığını göstermektedir. Sistem ortam ışık değişimlerine anında tepki vermiştir [11].

Shen ve diğerleri LED sürmek ve aküleri şarj edebilmek amacıyla hem şebeke gücü hem de PV panel gücü ile başa çıkabilmek için modifiye edilmiş sepik gömülü boost konvertör önermişlerdir. Önerilen sürücü şebekeye bağlandığında güç faktörü düzeltme işlemi de yapmıştır. Şebeke olmadığı zaman PV panelden maksimum güç noktasını takip ederek güç çekilebilirken, güneş de olmaması halinde akülerdeki enerji ile LED'ler beslenmeye devam edilebilmiştir. Çok katlı veya iki katlı konvertörlerin yerine sepik tipli ve gömülü tip bir yükseltici konvertör tek kat olarak geliştirilmiştir. Test sonuçlarına göre tatmin edici sonuçlar çıkmış ve PFC (Power Factor Correction) kısmında IEC (International Electrotechnical Commission) standartlarına uygun değerler ölçülmüştür. MPPT kısmı verimi ise %99'a kadar çıkmıştır. Güç dönüşümü geleneksel PFC'lere göre %4 daha yüksek çıkmıştır. 2ms gibi hızlı bir dinamik performansa sahiptir [12].

Huang ve diğerleri LED aydınlatma için sabit akımlı sürücü yerine sabit güçlü LED sürücü önermişlerdir. LED aydınlatma modeli dinamikleri türetilmiş ve sürücüye geri bildirim olarak girilmiştir. Kontrol sistemi, 150W LED armatürü kontrol etmek için mikroişlemci ile tasarlanmıştır. Test sonuçları geri bildirim sisteminin doğruluğunu %1,3 hata sınırları içinde olduğunu göstermiştir. Sabit güçlü sürücüde 0°C ile 40°C arası ortam sıcaklığı değişiminde aydınlanma -%1,7 değişmiştir. Sabit akımlı sürücüde -%12 ışık şiddeti

değişimi olmuştur. Sabit voltajlı sürücüde ise bu değişim +%50'i bulmuştur. Sabit güçlü sürücünün sıcaklık değişimlerine daha düzgün aydınlanma sağladığı gözlenmiştir [13].

Fathi ve diğerleri solar panel beslemeli LED sokak aydınlatması için stabil LED karakteristiklerini sağlamak amacıyla DC mod PWM (Pulse Width Modulation) sürücü önermişlerdir. Basitlik, tüketim, termal ve elektriksel karakteristik ve üretim maliyeti gibi kriterleri değerlendirmişlerdir. Minimum enerji ile stabil LED kontrolünü sağlayarak uzun ömür ve sabit aydınlatma amaçlanmıştır. Bu sistemde akımı sabitlemek için doğrusal regülatör kullanılmış, dimleme ise PWM ile yapılmıştır. Test sonuçlarına göre 20 LED için iyi bir regülasyon sağlanmıştır. Simülasyon ve gerçek sonuçlar birbirini desteklemiştir. Bu çalışmadan anlaşılaçağı üzere PWM tekniğı geliştirilebilir bir uygulamadır [14].

Çolak ve diğerleri güneş enerjisiyle şarj edilebilen bir akü sisteminden beslenen yüksek güçlü LED'lerin kullanıldığı bir aydınlatma sistemini iki farklı mercekle kullanarak tasarlamış ve gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada sürücü ile ön direnç karşılaştırması yapılmıştır. Ön direnç kullanıldığında lamba sıcaklığı 68°C'ye çıkmış ve LED ömrü 46000 saat olarak belirlenmiştir. Sürücü kullanıldığında ise bu sıcaklık 60°C'ye düşmüş ve LED ömrü 64000 saat olarak belirlenmiştir [15].

PV panelli LED'li sokak aydınlatması sistemi kurulduğu zaman PV panel ve akü değerleri güneşlenme süresinin en düşük olduğu ay temel alınarak seçilmesi gerekir ki güneşlenmenin düşük olduğu kış aylarında lamba kesintiye uğramasın. Böyle olduğu takdirde güneşlenmenin fazla olduğu yaz aylarında PV panel fazla enerji üretecek, ürettiğı enerji akü kapasitesinden fazla olacak ve bu enerji kullanılamayacaktır. Üstelik sadece kış aylarında ihtiyaç duyacağımız gereğinden fazla PV panel ve akü kullanmak gerekecektir.

Bu sorunların önüne geçmek için yapılan uygulamaların bazılarında güneş ve şebeke hibrit sistemleri kullanılır ve yazın üretilen fazla enerji şebekeye aktarılır. Bir diğer uygulama ise PV panel yaz aylarına göre ayarlanırken kışın güneşin yetmediğı zamanlarda tasarruf modunda çalışma sağlanır. Fakat kontrollü bir aydınlatma yapılmadığı takdirde yine gereksiz yere enerji tüketimi veya ışık kirliliğı söz konusudur.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi ile verimleri mevcut ışık kaynaklarını geçmiş durumda olan LED'ler kullanılarak akıllı bir sokak

aydınlatma sistemi kurulmuştur. Öncelikle piyasada bulunan en verimli LED'lerden biri olan Nichia marka LED seçilmiştir. 180Lm/W değerinde ışık akısına sahip LED ile 60W gücünde bir sokak armatürü tasarlanmıştır. Bu armatür alüminyumdan yapılmış soğutucu bir gövdeye sabitlenmiştir. Böylece LED'lerin zararlı sıcaklıklara çıkması önlenerek ömürlerinin arttırılması amaçlanmıştır. LED armatüre uygun bir mercek temin edilmiş ve lamba ışığının istenilen alana düzgün olarak yönlendirilmesi sağlanmıştır. Ardından sabit güçlü yükseltici tip bir LED sürücü tasarlanmıştır. Işık istikrarı maksimum seviyeye getirilmiş ve bunun için yüksek çözünürlüklü PIC16F1782 entegresi kullanılmıştır. Bu entegre ile ekonomik ve hassas bir kontrol amaçlanmıştır. Sürücünden bilgi transferi yapmak için kablosuz haberleşmeye sahip bir kart tasarlanmış bu kart sürücüye dışarıdan konnektör ile bağlanmıştır. Bu karttan kablosuz olarak veri alabilecek ve bilgisayara USB üzerinden bağlanabilecek bir kart tasarlanarak veriler USB üzerinden bilgisayara taşınmıştır. USB üzerinden gelen verileri alacak, kaydedecek ve istenilen verileri sürücüye yollayacak bir arayüz tasarlanmış, sistemin izlemesi ve kontrolü bu arayüzden sağlanmıştır. Ortam koşulları, kalabalık miktarı, akü seviyesi gibi durumlar incelenmiş ve koşullara uygun 4 farklı çalışma modu sunulmuştur. Aküde depolu enerjiye göre bu modlardan biri seçilebilecek hale gelmiştir. Bu çalışmaya çoklu mod çalışma ismi verilmiştir. Çoklu mod sayesinde aküde depolu olan enerji maksimum fayda ile kullanılmıştır. Bu modlara ek olarak acil durum algoritması oluşturulmuş herhangi bir enerji yoksunluğunda sistem geceyi çıkaracak enerji seviyesine kendini ayarlayacak duruma getirilmiştir. Bu çalışmaların sonucunda dimleme yapmayan LED sokak aydınlatma sistemlerine göre %40 kazanç sağlanırken sabit dimleme yapan sistemlere de ek modlar getirilerek aküde depolu enerji maksimum fayda sağlanarak kullanılmıştır. Böylece kış ayları için kullanılması gereken gereğinden büyük kapasiteye sahip PV panel ve akü değerleri küçültülmüş, gereksiz enerji kaybı önlenmiş ve sistem maliyeti de düşürülmüştür.

2. LED TEKNOLOJİSİ VE GELİŞİMİ

LED, ileri yönde elektrik enerjisini ışık enerjisine direkt olarak çeviren özel bir diyottur. Bu olay P-N jonksiyonunun serbest elektronları aracılığı ile dar spektrumlu elektro aydınlatma olayı ile gerçekleştirilir. LED'lerin hızla gelişmesi ve sektörde yerini alması, geleneksel aydınlatma kaynakları ile birlikte insan yaşamını ve alışılmış uygulamaların da değişmesine sebebiyet vermiştir. LED'in ilk olarak keşfediliş tarihi 100 yıl öncesine dayanmaktadır. LED'in gelişiminin tarihsel aşamaları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- ❖ LED, 1907 yılında Henry Joseph Round tarafından kristal silikon karbit ile yaptığı deneylerle keşfedilmiştir.
- ❖ 1920 yılında Rus araştırmacı Oleg Vladimirovich Losev tarafından diyotların ışık yaydığı fark edilmiştir.
- ❖ 1955 yılında Rubin Braunstein tarafından galyum arsenik (GaAs) alaşımlı LED'in kızılötesi ışık yaydığı keşfedilmiştir.
- ❖ 1961 yılında Gary Pittman ve Bob Biard tarafından galyum arsenik alaşımına elektrik uygulanarak kızılötesi ışıma gözlemlenmiştir.
- ❖ 1962 yılında, Nick Holonyak Jr tarafından ilk görünür ışıklı LED keşfedilmiştir. Bu LED'in katkı maddesi galyum arsenik fosfit (GaAsP)'tir ve kırmızı ışık yaymaktadır.
- ❖ 1970'li yıllarda küçük kırmızı LED'ler gösterge olarak kullanılmaya başlanmıştır.
- ❖ 1972 yılında Holonyak'ın öğrencisi M. George Craford tarafından kırmızı renk LED'den 10 kat parlak olan ilk sarı LED üretilmiştir.
- ❖ 1972 Siemens Semiconductor Division tarafından ilk radyal kılıflı LED üretilmiştir.
- ❖ 1980'ler de GaAlAsP malzeme ile ilk nesil kırmızı, sarı ve yeşil süper parlak LED'ler üretilmiştir.
- ❖ 1990'larda InGaAlP malzeme ile turuncu-kırmızı, turuncu, sarı ve yeşil renkli ilk nesil ultra parlak LED'ler üretilmeye başlanmıştır.
- ❖ 1991 yılında Japon araştırmacılar, Shuji Nakamura, Isamu Akasaki ve Hiroshi Amano tarafından beyaz renkli LED geliştirilmiştir. Fosfor kaplama ile kısmen sarıya dönüştürülen, parlak mavi bir ışık üreten, galyum nitrit yayıcı kullanılan ilk yüksek

parlaklıkta LED'ler ortaya çıkmıştır. 2014 yılında ise bu araştırmacılar keşiflerinden dolayı Nobel fizik ödülünün sahibi olmuşlardır.

- ❖ 1995'te, Alberto Barbieri tarafından ilk beyaz LED keşfedilmiştir [16,17].

2.1. LED'in Yapısı ve Elektriksel Karakteristiği

Yarı iletken malzemelerden oluşan LED'ler ışık yayan diyotlar oldukları için diyot özelliği gösterirler. P ve N tipi maddelerin birleşiminden oluşurlar. P maddesi elektron gereksinimi duyan bileşime, N ise elektron fazlası olan bileşime denir. P ve N tipi maddelere enerji uygulandığı zaman N maddesinden P maddesine doğru elektron akmaya başlar.

Yüksek seviyede ışık veren renkli LED'lerde aktif katman olarak farklı materyaller kullanılır (GaAs, Gap, GaN, AlInGaP ve InGaN). Renklere göre kullanılan yarı iletkenler Çizelge 2.1'de verilmiştir. LED'lerle beyaz ışık üretmek ise iki yöntemle mümkündür. Bunlardan birincisi; kırmızı, yeşil ve mavi üç adet LED yongasını bir kılıf içerisinde kullanarak beyaz ışığı elde etmektir. İkinci yöntem ise mavi LED yongasında üretilen ışığın bir fosfor tabakasını uyarak beyaz ışık üretilmesidir [18].

Çizelge 2.1. LED renklerine göre dalga boyu, gerilim ve kullanılan yarıiletkenlerin karşılaştırılması [18]

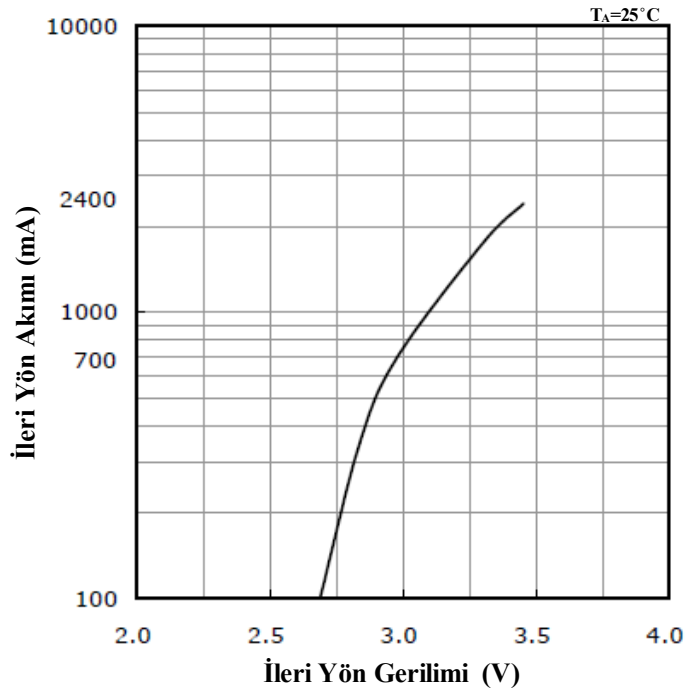
Renk	Dalga boyu (nm)	Gerilim (V)	Yarıiletken
Kızılötesi	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1,9$	Galyum arsenik (GaAs) Alüminyum galyum arsenik (AlGaAs)
Kırmızı	$610 < \lambda < 760$	$1,63 < \Delta V < 2,03$	Alüminyum galyum arsenik (AlGaAs) Galyum arsenik fosfat bileşiği (GaAsP) Alüminyum galyum indiyum fosfat bileşiği (AlGaInP) Galyum (III) fosfat bileşiği (GaP)
Turuncu	$590 < \lambda < 610$	$2,03 < \Delta V < 2,10$	Galyum arsenik fosfat bileşiği (GaAsP) Alüminyum galyum indiyum fosfat bileşiği (AlGaInP) Galyum (III) fosfat bileşiği (GaP)
Sarı	$570 < \lambda < 590$	$2,10 < \Delta V < 2,18$	Galyum arsenik fosfat bileşiği (GaAsP) Alüminyum galyum indiyum fosfat bileşiği (AlGaInP) Galyum (III) fosfat bileşiği (GaP)
Yeşil	$500 < \lambda < 570$	$1,9 < \Delta V < 4$	İndiyum galyum nitrit (InGaN) / Galyum (III) nitrit (GaN) Galyum (III) fosfat bileşiği (GaP) Alüminyum galyum indiyum fosfat bileşiği (AlGaInP) Alüminyum galyum fosfat bileşiği (AlGaP)
Mavi	$450 < \lambda < 500$	$2,48 < \Delta V < 3,7$	Çinko selenid (ZnSe) , İndiyum galyum nitrit (InGaN) Silisyum karbür (SiC) substrat olarak Silikon (Si) substrat olarak (geliştirme altında)
Menekşe	$400 < \lambda < 450$	$2,76 < \Delta V < 4$	İndiyum galyum nitrit (InGaN)
Mor	Çok tip	$2,48 < \Delta V < 3,7$	Çift mavi-kırmızı LED, fosfor ile kırmızı, mavi veya mor plastik beyaz
Ultraviyole	$\lambda < 400$	$3,1 < \Delta V < 4,4$	Elmas (235 nm) Bor nitrür (215 nm) Alüminyum nitrür (ALN) (210 nm) Alüminyum galyum nitrit (AlGaIn) Alüminyum indiyum galyum nitrür (AlGaInN) - (<210 nm)
Beyaz	Geniş spektrumlu	$\Delta V = 3,5$	Sarı fosfor ile Mavi - UV diyot

2.1.1. LED'in elektriksel ve termal modeli

LED'in elektriksel modeli LED'in kullanılması ve sürücü devre ile sürülmesi açısından önem arz etmektedir. LED'in elektriksel davranışı, LED'in sürülmesi konusunda bilgi verdiği gibi optimum koşulların sağlanmasına da katkı sağlamaktadır. LED'in termal modeli ise daha çok ışık verimi ve ömür ile ilgilidir. LED'in çalışma ısı aralığı, LED ömrü ve ışık verimi beklentisine göre değişkenlik göstermektedir. LED termal karakteristiği istenilen ömür ve ışık şiddetine dayalı olarak soğutucu ve çalışma gücü arasındaki ilişkinin açıklanmasında yararlı olur.

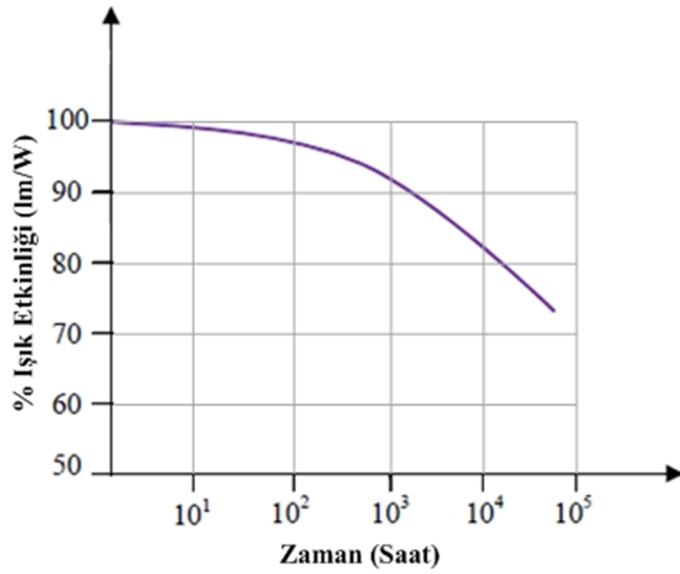
LED'in elektriksel modeli

LED karakteristiği hızlı değişim gösteren bir eğridir. 0,5V'luk bir değişime karşılık gelen akım değeri 1,5A'e kadar ulaşmaktadır. Akım ile parlaklık değeri doğru orantılı olarak artmaktadır. Parlaklığın ayarlanabilmesi için akımın ayarlanması gereklidir. Bunun yapılabilmesi için gerilimin çok hassas bir şekilde ayarlanabiliyor olması gereklidir. Ayrıca LED ısındıkça direnci değişeceğinden akım artma eğilimi gösterir. Bu nedenle parlaklığın değişmemesi için akımın sabit tutulması yani gerilimin sürekli kontrol altında tutulması gereklidir. Şekil 2.1'de 25°C'de Nichia firmasına ait 180Lm/W ışık verimine sahip bir LED'in akım-gerilim karakteristiği görülmektedir. LED'in sıcaklığı arttıkça direnci düşeceğinden aynı akım eğrisi için daha düşük gerilim değerleri oluşacaktır.



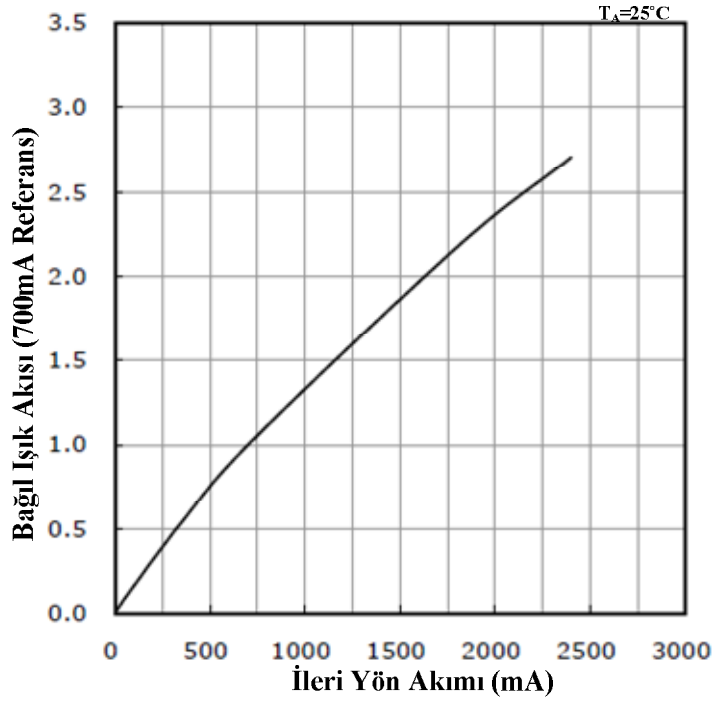
Şekil 2.1. LED'in akım-gerilim karakteristiği [19]

LED'lerin ömürleri yaklaşık olarak 100.000 saat kadardır. LED'lerin verimi Lm/W olarak ifade edilmektedir. LED'in verimi zamanla orantılı olarak düşer. Bu verim normal verimin yarısına düştüğünde LED artık ömrünü tamamlamıştır. Şekil 2.2'de LED'in verim ve çalışma süresi arasındaki ilişki görülmektedir [20].



Şekil 2.2. LED'in verim ve çalışma süresi ilişkisi [20]

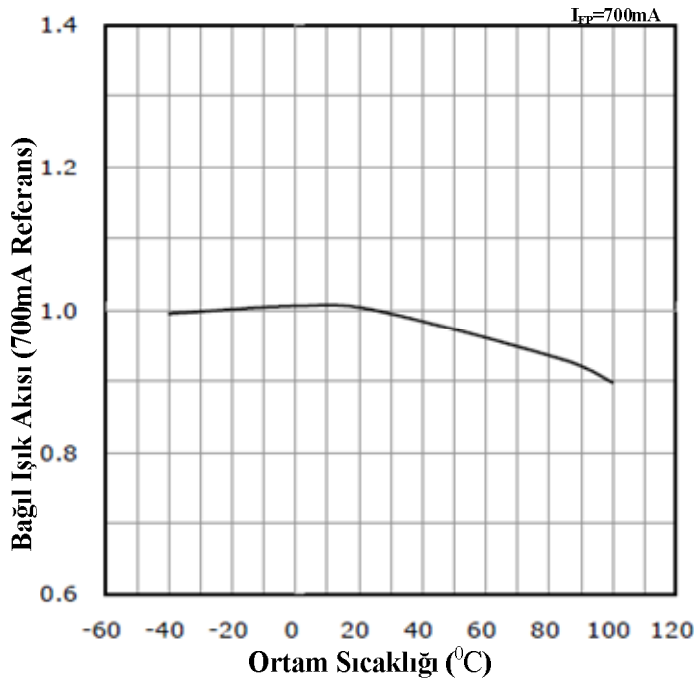
LED akımı ile ışık şiddeti yaklaşık olarak doğru orantılı artsa da, tam olarak doğrusal değildir. Akım değeri arttıkça ışık akısı artış miktarı giderek azalır. Belirli bir değerden sonra ise ışık akısı artık akım artsa dahi artmayacaktır. Akım değeri belirli bir eşik değerinin üstüne çıkarsa LED yapısı buna dayanamaz ve yanar. Şekil 2.3’de LED’in akımı ile bağıl ışık akısı arasındaki ilişki verilmiştir [19].



Şekil 2.3. LED’in akımı ile bağıl ışık akısı ilişkisi [19]

LED’in termal modeli

Çalışmada kullanılan LED’in bağıl ışık akısının ortam sıcaklığına göre değişimi Şekil 2.4’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere ortam sıcaklığı arttıkça LED’in ışık verimi düşmektedir. Bu düşüş ışıksal verimi etkilediği gibi LED ömrünü de azaltmaktadır [19].



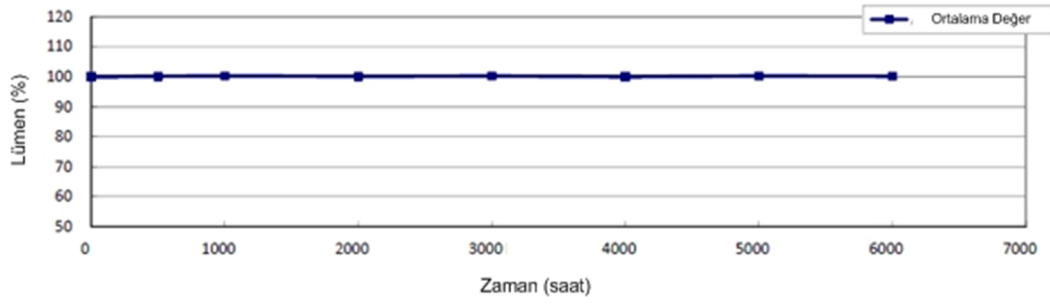
Şekil 2.4. LED'in bağıl ışık akısı ile ortam sıcaklığı ilişkisi

Çizelge 2.2 LED'in ortam sıcaklığına göre ömür ilişkisi incelendiğinde ortam sıcaklığı 80°C'de ve 1200mA akımda LED armatürün lümen değeri ancak 36000 saat sonra %70'ine kadar düşmektedir. LED'lerin ömürlerinin nominal ışığının %50'sine düştüğü zaman bittiği kabul edilir. Bu durumda %70 için 36000 saat iyi bir değerdir.

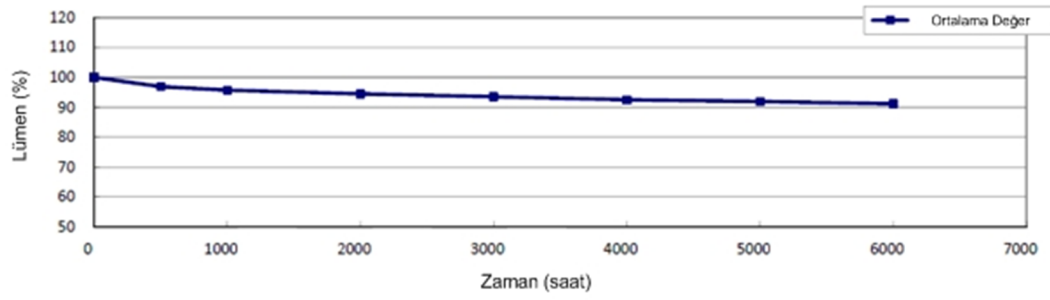
Çizelge 2.2. LED'in ortam sıcaklığı ile ömür ilişkisi [21]

Ortam Sıcaklığı (°C)	Sürme Akımı (mA)	Çalışma Ömrü (saat)
>50	700	>36000
>50	1500	>36000
>80	700	>36000
>80	1200	>36000
>80	1500	>36000
>115	700	>36000
>115	1200	>36000
>115	1500	>33000

LED'lerde ışık akısı zamana bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Şekil 2.5 incelendiğinde sıcaklık 55°C'den 120°C'ye çıkartılınca 6000 saat sonra ışık kaybı %10 seviyesine ulaşmaktadır [19].



(a)



(b)

Şekil 2.5. (a) 55°C için, (b) 120°C için LED'in zamana bağlı ışık değişimi

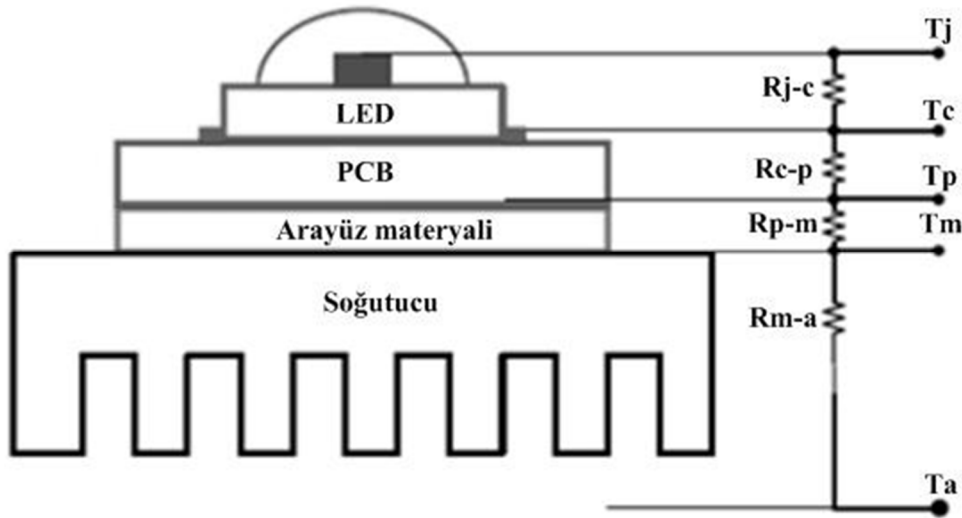
LED termal eşdeğeri Şekil 2.6'da verilmiştir. LED'in çıkış noktasındaki sıcaklığa jonksiyon sıcaklığı denir. LED lamba gövdesi sıcaklığı ise ortam sıcaklığıdır. Katalogdan alınan değerler ortam sıcaklığına göre alınmıştır. Bu sebeple jonksiyon sıcaklığını hesaplamaya gerek yoktur. Fakat jonksiyon sıcaklığı Eş. 2.1-Eş. 2.4 denklemleri kullanılarak hesaplanır [22].

$$R_t = R_{j-c} + R_{c-p} + R_{p-h} + R_{th-m} \quad (2.1)$$

$$P_t = V_{LED} \times I_{LED} \quad (2.2)$$

$$T_j - T_a = P_t \times R_t \quad (2.3)$$

$$T_j = T_a + P_t \times R_t \quad (2.4)$$



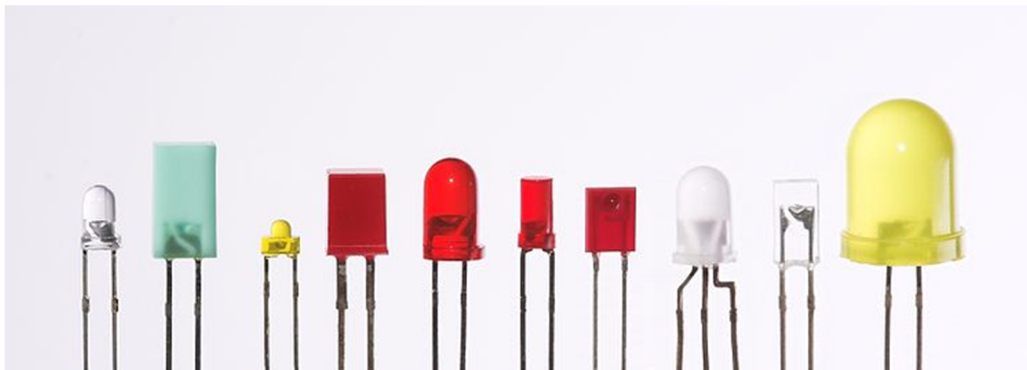
Şekil 2.6. LED termal eşdeğeri [22]

2.2. LED Çeşitleri

LED'ler düşük güçlü, orta güçlü ve yüksek güçlü olmak üzere güçleri bakımından üç sınıfa ayrılırlar.

2.2.1. Düşük güçlü LED'ler

Düşük güçlü LED'ler yüzey montajlı yapıldığı gibi bacaklı tip olarak da tasarlanabilirler. Bacaklı tip olanlar 3mm, 5mm, 8mm ve 10mm dibi çaplarında sahip olabilirler. Tipik olarak 0.1W gücünde, düşük sürme akımlı (~20mA), düşük gerilimli (3,2VDC) ve düşük ışık çıkışlı (~2-4Lm) LED'lerdir [23]. Resim 2.1'de çeşitli düşük güçlü LED'ler görülmektedir.



Resim 2.1. Düşük güçlü LED'ler

2.2.2. Orta güçlü LED'ler

Orta güçlü LED'ler genellikle iç aydınlatmada kullanılmak amaçlı tasarlanmışlardır. Yüksek güçlü LED'lerin çok parlak olması ve ev aydınlatmaları gibi aydınlatmalarda insan sağlığına zararlı olması nedeniyle ara bir LED türü ortaya çıkmıştır. İleri yön akımları 85mA'e kadar çıkabilen maksimum gerilimleri 3V olan bu LED'ler oldukça verimlidirler. Verim değerleri 230Lm/W değerine kadar çıkabilmektedir. Yine şerit LED'lerde de buna benzer LED'ler kullanılmaktadır [24]. Resim 2.2'de iç aydınlatmada kullanılan bir LED görülmektedir.



Resim 2.2. İç aydınlatma için kullanılan orta güçlü LED

2.2.3. Yüksek güçlü LED'ler

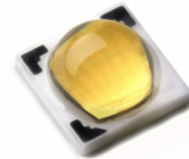
Yüksek güçlü LED'ler olarak uygulamalarda 5W gücüne kadar LED'ler mevcuttur. Yüksek güçlü LED'lerin ileri yön akımları 2A'e kadar, gerilimleri ise 3,5V'a kadar olabilmektedir. Genellikle daha verimli oldukları için bu LED'ler yaklaşık 190Lm/W verim değerine kadar ulaşmaktadır. Yüksek güçlü LED'lerde ısınma LED'e zarar vericidir ve ışık verimliliğini azaltmaktadır. Isı sınırlamasından dolayı fazla ısının LED'den uzaklaştırılması için genellikle soğutucu ile kullanılırlar [17]. Resim 2.3'te çeşitli değerlerde yüksek güçlü LED'ler verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Resim 2.3. (a) Yüksek güçlü LED, (b) 220VAC LED, (c) 50VDC LED

5W'lık LED'lerin haricinde neredeyse her gerilim değerinde 2-3W güce sahip LED'ler mevcuttur. Samsung firması 220VAC değerinde çalışan 3W ve 110Lm/W değerli LED'ler üretmektedir. Ayrıca, genellikle projektörlerde kullanılan 100W ve 100Lm/W değerinde LED'ler de mevcuttur. Bu LED'ler aslında birçok LED'in tek kılıf içerisinde seri ve paralel bağlanarak birleştirilmesiyle oluşturulurlar.

2.3. LED'lerin Uygulama Alanları ve Aydınlatmada Kullanımı

2.3.1. LED'lerin uygulama alanları

LED'ler aydınlatmanın olduğu her yerde kullanılabildiği için çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Otomotiv, reklam, iç aydınlatma, dış aydınlatma, trafik, göstergeler, akıllı telefonlar, TV'ler, fiber optik haberleşme, sanatsal yapılar gibi alanlarda LED teknolojisinden faydalanılır. Bu kullanım alanlarına ek olarak son zamanlarda LED armatürler, bahçe ve çevre düzenlemeleri işlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Görünen ışığın kırmızı ve mavi dalga boyları fotosentez için kullanılmaktadır. LED armatürlerden yayılan ışığın dalga boyu bitkilerin klorofil emisyonunu tam karşılayacak düzeyde olduğu için bitkiye ışık verildiğinde bitki gelişiminin etkin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. [20].

2.3.2. LED'lerin aydınlatmada kullanımı

LED'ler iç aydınlatma ve dış aydınlatmada farklı şekillerde kullanılır. Ev ve ofislerde kullanılan iç aydınlatma LED'leri 5W'lık dış aydınlatma LED'lerinden farklıdır. Bunun nedeni, 5W'lık LED'lerin ışık yoğunluğunun fazla olması ve neredeyse tüm aydınlatma ışığını tek bir noktadan yollamasıdır. Göz sağlığına uygun olmayan bu durum nedeni ile 0,2W gibi LED'ler kullanılır ve ışık çıkışı geniş bir alana yayılarak aydınlatma yapılır.

Dış aydınlatma, iç aydınlatmaya göre biraz daha farklıdır. Sokak aydınlatması gibi dış aydınlatmalarda, aydınlatma direkleri yüksek güçlü LED'ler kullanılarak oluşturulur. Çünkü gerekli olan ışığın fazla olmasına karşın LED armatür gövdesinin sınırları belirlidir ve küçüktür. Ayrıca 20 metre gibi yüksek aydınlatma direkleri kullanıldığında, bu yüksekliğe çıkarılabilen armatür için daha geniş bir alanın aydınlatmasına ihtiyaç olur. Uygulamada daha az LED kullanımı istenilmekte ve bu sebeple dış ortam aydınlatmalarda

genellikle yüksek güçlü LED'ler tercih edilmektedir. Yüksek güçlü LED'lerin güç yoğunlukları fazla olduğu için aktif ya da pasif olmak üzere soğutucu sistemler vasıtası ile soğutulmaları gerekmektedir. Aksi takdirde zarar görecektir ömürleri azalacaktır [25].

LED verimi ve ömrü aydınlatma için önemli parametrelerdendir. Günümüzde bazı LED üreticileri bu konuda yanıltıcı ve abartılı veriler sunmaktadır. Floresan armatürlerin ilk çıktığı yıllarda aynı problem yaşanmıştır. Amerika enerji bakanlığı bu hususta geçmişteki aynı problemin çıkabileceğini ve LED aydınlatmaya geçişin gecikebileceğini öngörmüştür. Amerika Birleşik Devleti Enerji Bakanlığı (DOE), tasarımı ve üretimi yapılan LED armatürlerin katalog değerleri haricinde gerçek değerlerini ölçen ve standartlaştıran DOE SSL Ticari Ürün Test Programını piyasaya sürmüştür. Bu program ile armatür ışık verimi, armatür gücü, renk sıcaklığı ve renk verme ölçütleri açısından marka gözetmeksizin LED armatürleri test edilmektedir [26].

2.4. Klasik Aydınlatma Kaynakları ile LED Aydınlatmanın Karşılaştırılması

2.4.1. Klasik aydınlatma kaynakları

Klasik aydınlatma kaynakları olarak akkor flamanlı lambalar, floresan lambalar ve deşarj lambaları incelenebilir.

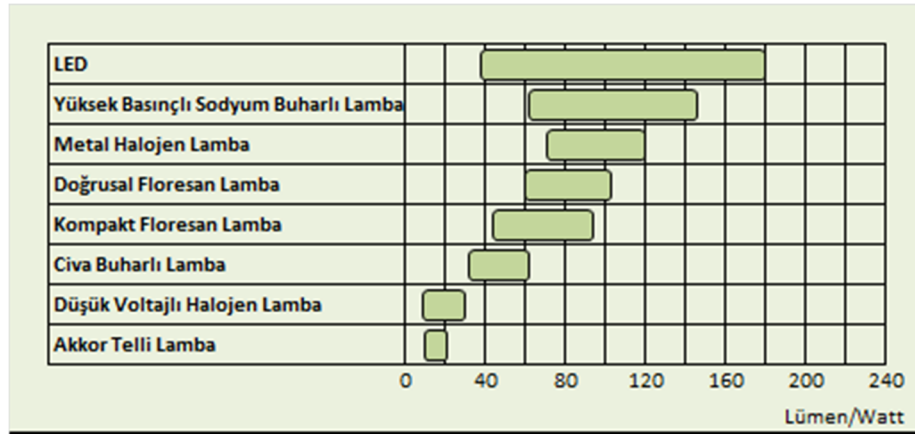
Akor flamanlı lambalar, standart lambalardır. İçinden akım geçen telin ışık yayması prensibi ile çalışır. Flamanlı lambalar şekil, renk ve voltaj gibi özelliklerinden dolayı geniş bir uygulama alanı vardır. Fakat elektriğin büyük bir kısmını ısıya dönüştürmektedir. Bu nedenle çok zayıf bir enerji verimliliği vardır [27].

Floresan lambalar, ağırlıklı olarak cıva içerisindeki deşarj ile üretilen ultraviyole ışınlar tarafından etkinleştirilmiş floresan tozları ile ışık üreten alçak basınçlı gaz deşarjlı ışık kaynaklarıdır. Genellikle iki ucunda elektrot bulunduran uzun tüp şeklinde, çalışması için az miktarda asal gaz ile düşük basınçta cıva buharı içeren bir yapıdadır. Emisyonun çoğunluğu (%95'i) UV (Ultra Viyole) bölgede meydana gelir ve ana emisyon piklerinin dalga boyları 254nm ve 185nm'dir. Bu yüzden, UV ışınlar tüpün içerisindeki fosfor tabakası ile ışığa çevrilir. Işık verimleri balast kayıpları hariç 100Lm/W'a kadar çıkabilir [29].

Deşarj lambaları, ışığın bir gaz ya da gaz buhar karışımının içinde oluşan elektriksel boşalma ile üretildiği lambalardır. İçi gaz ya da metal buharı ile doldurulmuş tüp yapısı, tüpü dış etmenlerden koruyan ampul yapısı, bazı modellerde de içine sürülen fosfor tozlarından oluşmaktadır. Deşarj lambaları serbest halde gezen atomların elektronlarının enerji almaları nedeniyle üst enerji seviyelerine geçmeleri ve sonra tekrar kendi yörüngelerine dönebilmek için enerji vermeleri sırasında ışık ortaya çıkarmaları prensibi ile çalışırlar. Işık verimlilikleri 110Lm/W değerine kadar çıkabilir [28].

2.4.2. LED aydınlatmanın klasik aydınlatma ile karşılaştırılması

Akkor telli lambalarda flaman ısısı 2700°C, halojen lambalarda 3100°C, deşarjlı lambalarda ise tüp ısısı 800-1000°C'ye ulaşabilir. Fakat LED aydınlatmalarda bu ısı 150°C'yi geçmez. Böylece enerjinin büyük bir kısmı, klasik aydınlatmada olduğu gibi ısı yerine sadece ışığa çevrilir ve %80'e varan enerji tasarrufu sağlanır [30]. Şekil 2.7'de çeşitli armatürlerin ışık verimlerinin karşılaştırılması verilmiştir. 2013 verilerine göre LED armatür 160Lm/W ışık verimine sahip iken, şimdilerde yüksek güçlü LED'ler için 180Lm/W ve orta güçlü LED'ler 230Lm/W değeri aşılmıştır [19].



Şekil 2.7. Lamba çeşitlerinin ışık verimlerinin karşılaştırılması [30]

LED aydınlatma, klasik aydınlatma ile karşılaştırıldığında birçok önemli avantaja sahiptir. Düşük enerji tüketimi, daha uzun ömürlü olmaları, iyi renk özellikleri, kompakt boyutları, doğrusal ışınım, azaltılmış ışık kirliliği, kırılma ve titreşime dayanıklılığı ve çevre dostu olmaları LED aydınlatmanın özellikleri arasındadır. LED'lerin en önemli özelliklerinden bir tanesi uzun ömürlü olmalarıdır. Klasik aydınlatma kaynakları içinde en yüksek ömre

sahip olan alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar maksimum 20000 saat ömre çıkabilirken LED'ler minimum 50000 saat ömre sahiptirler [30]. Çizelge 2.3'de lamba çeşitlerinin ışık etkinliği ve ömürlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Çizelge incelendiğinde alçak basınçlı sodyum buharlı lambanın ışık verimi diğer lambalar arasında öne çıkmaktadır. Işık veriminin 198Lm/W olmasına karşın ışık açısı 360° olduğundan alçak basınçlı sodyum buharlı lamba ışığın tamamını yüzeye yansıtamaz, yani çoğu kaybolur. Bu kaybolmayı azaltmak için lamba arkasına yansıtıcılar yerleştirilir. Fakat yine de kayıplara engel olunamamaktadır.

Çizelge 2.3. Lamba çeşitlerinin ışık verimleri ve ömürlerinin karşılaştırılması [30]

Lamba türü	Işık Etkinliği (Lm/W)	Ömür (Saat)
Akkor lamba	8-16	1000
Halojen lamba	12-26	2000-4000
Floresan lamba	45-100	6000-15000
Yüksek basınçlı cıva buharlı lamba	36-60	6000-8000
Metal halinde lamba	71-98	5600-6500
Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba	66-142	10000-15000
Alçak basınçlı sodyum buharlı lamba	100-198	11500-20000
LED lamba	80-160	50000-100000

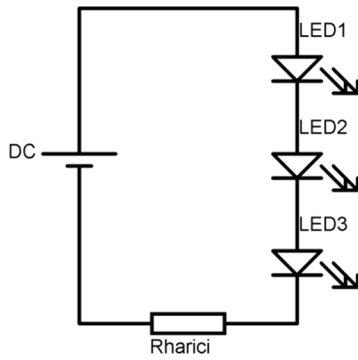
3. LED SÜRÜCÜLERİ VE SÜRME TEKNİKLERİ

3.1. LED Sürücüleri

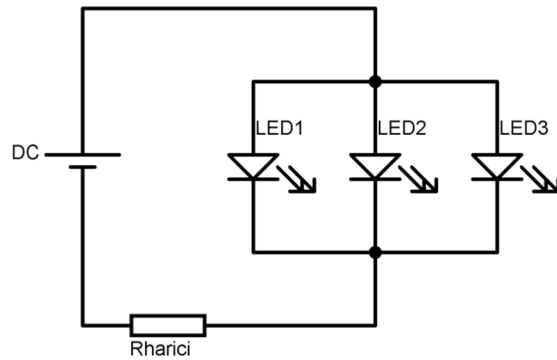
Aydınlatma için kullanılan LED modüller genel itibariyle 3V DC civarında çalışma gerilimlerine ve 2A'e kadar ileri yön akımlarına sahiptir. Bu modüller seri ve paralel bağlanarak istenilen gerilim ve akım değerleri oluşturulabilir. Fakat doğru akımda çalışmaları ve gerilimlerinin çok hassas bir seviyede tutulması gerekmektedir. Ayrıca dimleme özelliğinin de kullanılabilmesi için LED modülleri kontrol eden ve besleyen sistemlerin olması gereklidir. LED sürücüler genel itibari ile pasif ve aktif sürücü olarak ikiye ayrılır.

3.1.1. Pasif LED sürücü

Akım kontrolü yapamayan pasif LED sürücü, bir çeşit dirençle sınırlama yöntemidir. LED'e bağlanan seri direnç akımı sınırlayarak LED için zararlı akımların geçmesini önler. Küçük güçlü LED'ler için sık sık kullanılan bir yöntemdir. Şekil 3.1'de pasif LED sürücünün seri ve paralel bağlantı şekli verilmiştir. Bu yöntemde paralel bağlı LED'lere de seri direnç bağlanabildiği gibi seri bağlı LED'lere de seri direnç bağlanabilir. Direnç değeri OHM kanunu ile belirlenir [22].



(a)



(b)

Şekil 3.1. Pasif sürme tipi (a) Seri bağlantı, (b) Paralel bağlantı

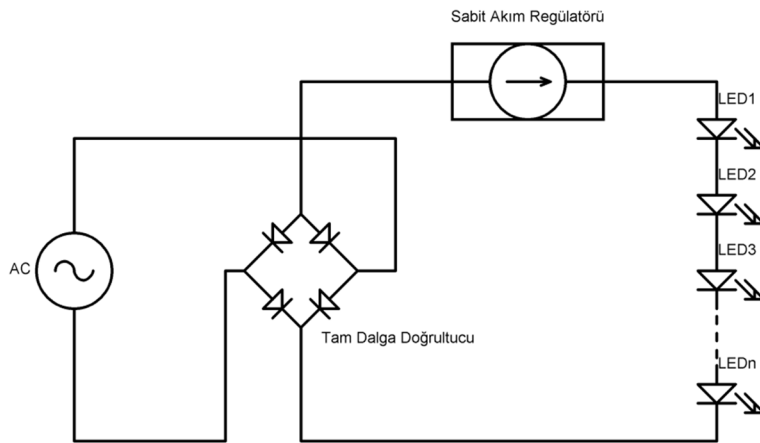
3.1.2. Aktif LED sürücüler

Bu tip sürücüde akım sürekli olarak sürücü ile sabit tutulmaya çalışılır. Bu grubu akım regülatörleri, konvertörler ve regülatörler ile birlikte kullanılan anahtarlama devreleri oluşturmaktadır.

Akım regülatörleri

Doğrusal regülatörler ucuz ve kullanımı kolay yapılardır. Fakat verimleri çok düşüktür. Regülatörler istenen güçten fazlasını kendi üzerlerinde harcarlar. Isıya dönüşen bu harcama şekli nedeni ile soğutulmaları gerekmektedir. İç dirençleri değişkendir ve referans gerilime göre değişmektedir. Akımı ya da gerilimi sabitlemek için kullanılırlar. Verimleri seri bağlı LED sayısı ve uç gerilimine göre değişir [31].

ON Semiconductor firmasının 45V gerilim düşümüne dayanıklı 20mA akım sabitleyici entegresi bulunmaktadır. Bu entegre SMD (Surface Mount Device) olarak üretilmektedir ve çok küçük boyutlarda yapılabilmektedir. Bu tür uygulama iç aydınlatmada kullanılabilir. Şekil 3.2’de bu regülatör bir köprü diyot ve 220VAC gerilim ile LED sürücü olarak kullanılmıştır. [32].



Şekil 3.2. Akım regülatörü ile 220VAC kaynaklı LED uygulaması

Anahtarlama tip LED sürücüler

Anahtarlama tip LED sürücüler, akımı sabit tutmak için çıkış gerilimini ayarlarlar. Bu sürücüler kaynak gerilimine göre farklılık gösterir. Kaynak gerilimi AC ise AC-DC tip, kaynak gerilimi DC ise DC-DC sürücü kullanılır.

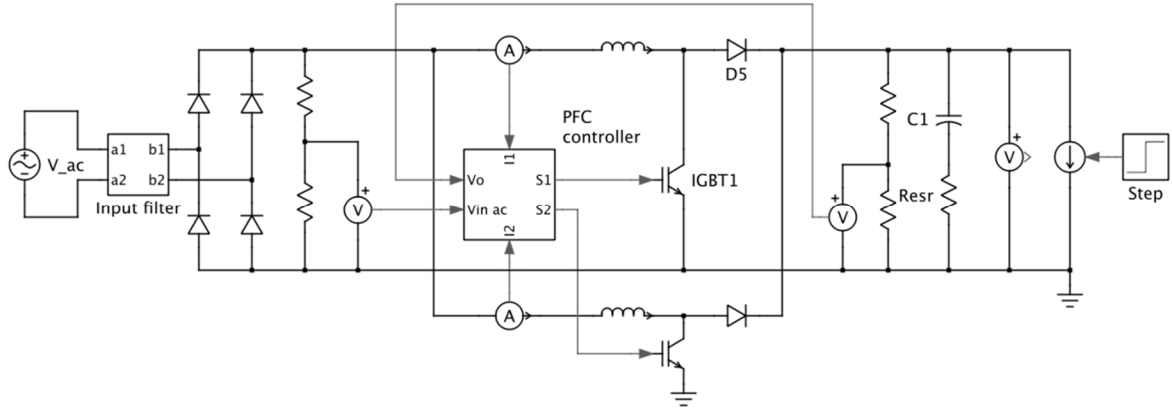
AC-DC LED sürücüler

LED'ler DC ile çalışırlar ve LED'lerin sürülmesi için DC akıma ihtiyaç duyulur. DC'nin sürekli hazır halde bulunamama sıkıntısından dolayı AC-DC dönüştürücüler kullanılır. Şekil 3.3'de bir AC-DC LED sürücünün blok diyagramı verilmiştir. Sürücüler AC akım standartlarına da uyum sağlamalıdır. DC kaynaklar genelde sabit gerilim AC dönüştürücüleri ile sağlanır. Bu dönüştürücüleri LED sürmede kullanmak için ise pasif sürücüler ya da regülatörler kullanmak gerekir. AC akım sürücülerinin verimlerinin yüksek olmasına karşın pasif sürücü ya da regülatörler verimi düşürmektedir. Bu nedenle kullanılmaları avantaj olmaktan çıkmaktadır. Buna rağmen düşük güçlü LED uygulamalarında bu sistem hala kullanılmaktadır. Bunun yerine çıkış akımı kontrollü AC-DC kaynaklar geliştirilmektedir.



Şekil 3.3. AC-DC LED sürücü blok diyagramı [22]

AC gerilimi, diyotlarla doğrulttuktan sonra LED'e uygun değere indirmek için DC-DC dönüştürücüler kullanılır. Bu yapıya SMPS (Switch Mode Power Supply) ismi verilmektedir. Geleneksel SMPS'ler yüksek frekanslı anahtarlama ve yüksek verime sahipken aynı zamanda yüksek giriş akım bozunumuna ve yüksek THD (Toplam Harmonik Bozunumu)'ye sahiptirler. Bu istenmeyen bir durumdur, giriş akımının bozulması kullanılmadığı halde akım çekilmesine sebep olur. Bu konuda uluslararası standartlara uyulması gereklidir. Bunu önlemek için Şekil 3.4'de görülen PFC devreleri kullanılır. Bununla birlikte manyetik gürültüleri önlemek ve yine standartlara uymak için EMI (Elektro Magnetic Interference) filtreleri kullanılır [22].



Şekil 3.4. Örnek PFC devresi [41]

Aslında bir yükselten konvertör olan PFC'ler, doğrultulmuş 220V gerilimi yükseltirken giriş akımını düzeltici şekilde akım çeker. Giriş akımını düzeltirken çıkışta da yüksek bir DC gerilim oluşturur. Fakat bu gerilim seviyesi LED için yüksektir ve akım kontrollü olarak düşürülmesi gerekmektedir. Bu düşürme işlemi bir DC-DC dönüştürücü ile yapılabildiği gibi yüksek frekanslı bir ferrit nüveli trafo ile de yapılabilir.

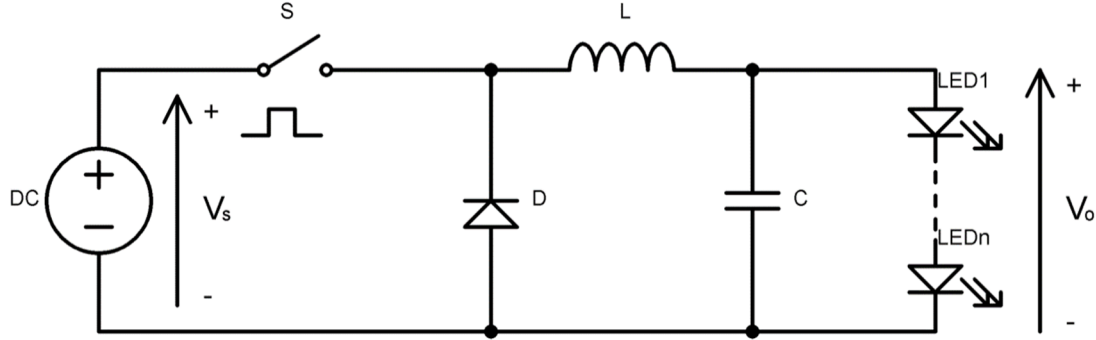
PFC çalışma prensibi olarak birkaç farklı kontrol yöntemine sahiptir. Pik akım modlu kontrol, ortalama akım modlu kontrol, sınır akım modlu kontrol, kesintili akım modlu kontrol ve histerisiz kontrol başlıca kontrol yöntemlerindendir [33].

PFC kontrol yöntemlerinden biri olan histerisiz kontrol incelenecek olursa, çekilen akım, güç anahtarı açılıp kapatılarak belirlenen histerisiz bant içerisinde referans sinüs akımı takip edilir. Histerisiz kontrolde indüktör akımı sürekli olarak çekilen akımın altında ve üstünde histerisiz bant toleransı kadar takip edilmektedir. Referans sinyal ve indüktör sinyali arasındaki fark hata sinyalini oluşturur ve histerisiz karşılaştırıcıyı besler. Bu şekilde referans sinyali tutturulmaya çalışılır. Bu yöntemde indüktör akımı referans sinyale çok yakın seyreder [34].

DC-DC LED sürücüler

DC-DC LED sürücüler, geleneksel konvertör yapılarıyla tasarlanır. Kaynak gerilimine ya da isteğe bağlı olarak düşürücü tip, yükseltici tip, hem alçaltıcı hem yükseltici tip olmak üzere üç çeşittir.

Buck (Alçaltan) tabanlı LED sürücü; LED çalışma geriliminin kaynak geriliminden düşük olduğu zaman alçaltıcı tip olan konvertörler kullanılır.



Şekil 3.5. Alçaltan konvertör devre şeması

Alçaltan konvertör devre şeması Şekil 3.5’te verilmiştir. Anahtar kapalıyken akım LED bobin ve anahtar üzerinden devresini tamamlarken bobin şarj olur. Anahtar açıkken ise şarjlı bobin LED ve diyot üzerinden deşarj olur. Böylece gerilim anahtarın açık-kapalı durumuna bağlı olarak ayarlanmış olur [27,35]. Eş. 3.1-Eş. 3.3 arasında alçaltan konvertörün denklemleri verilmiştir.

$$D = \frac{V_o}{V_s} \quad (3.1)$$

$$\Delta I = \frac{V_s \times D \times (1-D) \times T_s}{L} \quad (3.2)$$

$$\Delta V_r = \frac{D \times (1-D) \times V_s}{8 \times C \times L} \times T_s^2 \quad (3.3)$$

Burada;

D: Görev çevrimi

V_o : Çıkış voltajı (V)

V_s : Giriş voltajı (V)

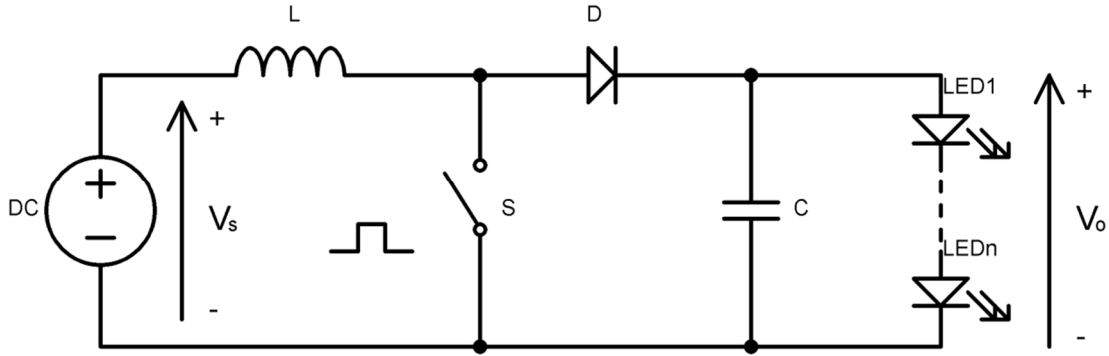
T_s : Sürme sinyalinin periyodu (s)

L: Endüktans (H)

ΔI : Akım değişimi (A)

ΔV_r : Voltaj değişimi (V)

Boost (Yükseltici) tabanlı LED sürücü; Kaynak gerilimi LED lamba geriliminden küçükse bu gerilimin yükseltilmesi gerekliliği ortaya çıkar. Gerilimi yükseltmek için yükseltici tip konvertör kullanılır. Yükselten konvertörün alçaltan konvertör ile temel yapısı aynı olmakla birlikte, enerji transferi için bobin kullanılmaktadır. Yükselten konvertör verim ve tasarım açısından daha üstündür. Ayrıca giriş akımı doğrusal olduğu için EMI standardına kolayca uyum sağlamaktadır. Fakat yükselten konvertör LED sürücü olarak daha az avantaja sahiptir. Çünkü çıkış akımı ya da çıkış gerilimi titreşimlidir. Bu yüzden yüksek kondansatör bağlamak gereklidir. Büyük kapasitans ise LED dimlemesini zorlaştırır. Diğer bir dezavantaj ise kısa devre durumunda anahtar tarafından engellenemez.



Şekil 3.6. Yükselten konvertör devre şeması

Yükselten konvertör devre şeması Şekil 3.6’da verilmiştir. Bobin anahtar kapalı iken şarj olur. Anahtar açıkken ise bobin gerilimi ters yöne dönerek kaynak gerilimi ile birleşir. Böylece çıkış gerilimi anahtara bağlı olarak yükseltilmiş olur. Eş. 3.4-Eş. 3.5 arasında yükselten konvertörün denklemleri verilmiştir.

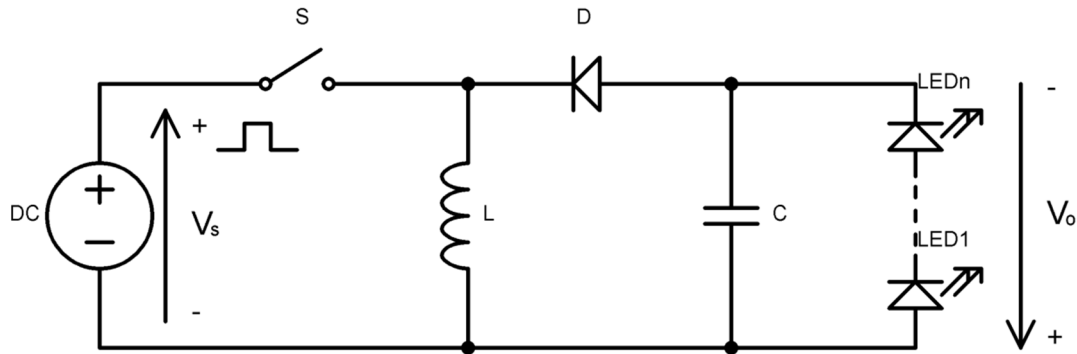
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (3.4)$$

$$L_{min} = \frac{D \times (1-D)^2}{2} \times T_s \times \frac{V_o}{I_o} \quad (3.5)$$

Minimum bobin değeri bobin akımının sürekli ile kesikli arasındaki sınır değeridir. Daha düşük olunca kesikli mod çalışacaktır [22].

Buck-boost (Alçaltan-Yükselten) tabanlı LED sürücü; Alçaltıcı-yükseltici konvertörler giriş geriliminin hem yükseltilmesi hem de düşürülmesi gereken durumlarda kullanılır ve

negatif çıkış gerilimi sağlar. Alçaltıcı-yükseltici konvertör devre şeması Şekil 3.7’de verilmiştir. Bobin üzerinde şarj olan enerji diğer konvertörlerdeki gibi diyot üzerinden geçip yükten deşarj olmaktadır. Devre iki farklı duruma bölünebilir. İlk durum bobin anahtar kapalı konumdayken enerji depolar. Bu anda LED’ler kaynaktan enerji çeker. İkinci durum ise anahtar açık konuma geçerken başlar. Bobin, üzerindeki enerjiyi yük üzerinden boşaltır.



Şekil 3.7. Alçaltıcı-yükseltici konvertör devre şeması

Eş. 3.6’dan anlaşılacağı gibi çıkış negatif olduğu görülmekte, Eş. 3.7’den ise bobin akım salınımı hesaplanabilir [22].

$$\frac{V_o}{V_s} = -\frac{D}{(1-D)} \quad (3.6)$$

$$T_s = \frac{1}{f} = \frac{\Delta I \times L \times (V_o - V_s)}{V_o \times V_s} \quad (3.7)$$

3.2. LED Sürme Teknikleri

LED’lerin sıcaklık ile iç dirençleri değişmektedir. Ayrıca çok küçük gerilim değişimlerinde büyük akım değişikliklerine neden oldukları için sürekli kontrol altında tutulmaları gerekmektedir. İşte bu durumda LED’leri sürmek önem kazanmaktadır.

3.2.1. Sabit akım çıkışı sağlayan konvertör ile LED sürme

Çıkış gerilimleri kolaylıkla ayarlanabilen konvertörler için gerilimin hassas ayarlanması önemlidir. 0,6V’luk değişime 2A’lık akım değişimi karşılık gelmektedir (Bkz. Şekil 2.1).

Buna göre 10mA akım değişimini sağlamak için gerekli olacak gerilim farkı Eş. 3.8’de verilmiştir.

$$\frac{\Delta V_o}{\Delta I_o} \times I_o = \frac{0,6}{2} \times 10^{-3} \times 10 = 3mV \quad (3.8)$$

Yükseltici konvertör tipi bir sürücü olduğunu varsayarsak ve LED armatürün uç gerilimi 40V giriş gerilimi de 24V ise görev çevrimi Eş. 3.9 ile hesaplanır.

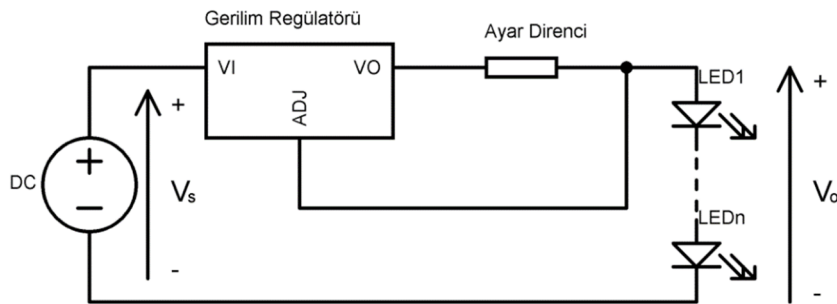
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \Rightarrow \frac{40}{24} = \frac{1}{1-D} \Rightarrow D = 0,4 \quad (3.9)$$

Çıkış gerilimi 3mV arttırmak istenildiğinde görev çevrimi Eş. 3.10 ile hesaplanır. Yani yaklaşık 5000’de 1 hassasiyette artması gerekecektir ki oldukça hassas bir değerdir.

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \Rightarrow \frac{40,003}{24} = \frac{1}{1-D} \Rightarrow D = 0,40004 \quad (3.10)$$

3.2.2. Sabit gerilim ile LED sürme

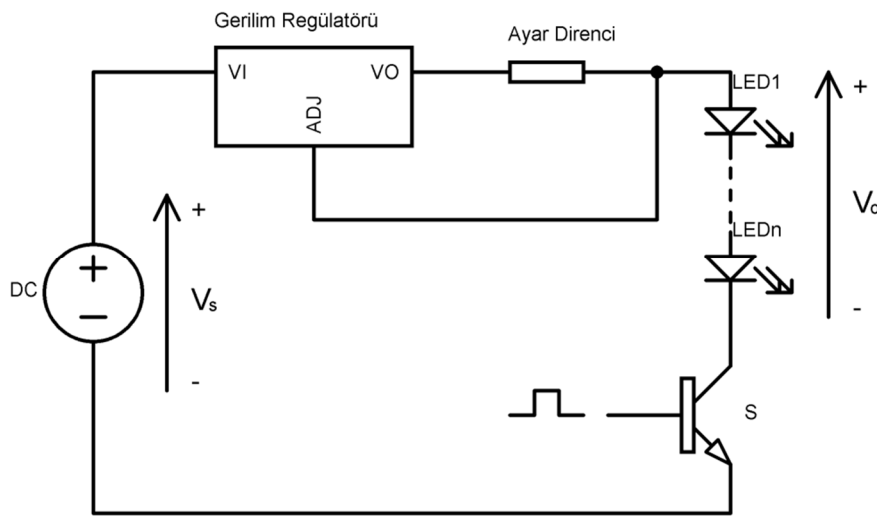
Sabit gerilim ile LED sürmek armatürün aşırı ısınma ve zarar görme riski olduğu için çok tercih edilmemektedir. Bu nedenle akımı sınırlamak için ya bir seri direnç ya da geçen akıma göre gerilimini ayarlayabilen regülatörler kullanılır. Bunların tercih sebebi ucuz olmalarıdır. Fakat bu regülatörler gerilim bölücü şeklinde çalışmaktadır. Bu şekilde çalışmanın sonucu olarak fazla enerjiyi regülatör kendi üzerinde harcamaktadır. Bu yüzden verimleri düşüktür. Sadece LED’i korumak amaçlıdır. Şekil 3.8’de regülatör tipi LED sürücü görülmektedir. Uygulanan kaynak gerilimi sabittir, fakat regülatörler akımı sabit tutmak için çalışırlar [31].



Şekil 3.8. Regülatör tipi LED sürücü devresi

3.2.3. PWM ile LED dimleme

Dimleme işlemi çıkış geriliminin ayarlanarak, LED'in parlaklığının artırılıp azaltılmasıdır. Şekil 3.9'da regülatörlü PWM LED dimleme devresi verilmiştir. Çıkış gerilimi lineer olarak azaltılabildiği gibi kare dalga gibi sinyallerle de azaltılabilir. Gerilimin çok hassas ayarlanması gerektiği için regülatör kullanılması gereklidir. Regülatör ile akımın ani olarak belirli bir değerin üstüne çıkması önlenirken çıkış gerilimi ortalama değerine göre de parlaklık ayarlanır.



Şekil 3.9. Regülatörlü PWM LED dimleme devresi

4. GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ LED AYDINLATMA

Fotovoltaik paneller ile güneş ışığı, elektrik enerjisine çevrildiği için foto-voltaik olarak adlandırılmaktadır. Foto-voltaik terimi foto ve volta kelimelerinden türetilmiştir. Foto ışık taşıyıcısı olan foton kelimesinden, volta ise gerilim birimi voltan gelmektedir. Foto-voltaik kelimesi için yaygın olarak PV kısaltması kullanılmaktadır.

Türkiye güneş enerjisi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü verilerine göre güneşlenme süresi yıllık ortalama 2640 saat, günlük ise 7,2 saattir. Genellikle güneş enerjisinden sıcak su için yararlanılmaktadır. Toplamda sıcak su için 11,5 milyon m² güneş kollektörü mevcutken buna her yıl 1 milyon m² eklenmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının yapmış olduğu Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası çalışması sonucunda Türkiye’de 56GW termik santral kapasitesine eşdeğer güneş enerji potansiyeli olduğu açıklanmıştır. Fakat bu potansiyelin 1MW gibi çok az bir kısmından yararlanılmaktadır [26].

Ankara için yıllık ortalama güneşlenme değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu değerler Avrupa komisyonu tarafından oluşturulmuş PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) sitesinden alınmıştır ve 1000W’lık bir PV panel temel alınarak hazırlanmıştır. Günlük ve aylık olarak ortalama elektrik üretimi kWh cinsinden, metrekare başına elektrik üretimi ise kWh/m² cinsinden verilmiştir [36].

Ankara için ortalama günlük ve aylık elektrik enerjisi üretimi değerlendirildiğinde en düşük üretimin ocak ayında, en yüksek üretimin ise temmuz ayında olduğu Çizelge 4.1’den görülmektedir. Ocak ayı ortalama 2.57kWh/m² günlük, 79,6kWh/m² aylık üretim değerine sahiptir. Üretimin en yüksek olduğu temmuz ayında ise ortalama 7,32kWh/m² günlük, 227kWh/m² aylık üretim değerine sahiptir [36].

Çizelge 4.1. Aylara göre ortalama güneşlenme miktarları [36]

Ay	E_d	E_m	H_d	H_m
Ocak	2,10	6,25	2,57	79,6
Şubat	2,86	80,1	3,53	99,0
Mart	3,86	120	4,93	153
Nisan	4,13	124	5,40	162
Mayıs	4,82	143	6,23	193
Haziran	4,98	149	6,81	204
Temmuz	5,26	163	7,32	227
Ağustos	5,24	162	7,29	226
Eylül	4,86	146	6,58	197
Ekim	3,86	120	5,05	157
Kasım	3,12	93,7	3,92	117
Aralık	2,11	65,5	2,60	80,6
Yıllık ortalama	3,92	119	5,19	158
Bir yıllık toplam		1430		1900

E_d : 1kW PV panel için günlük ortalama elektrik üretimi (kWh)

E_m : 1kW PV panel için aylık ortalama elektrik üretimi (kWh)

H_d : 1kW PV panel için metre kare başına günlük ortalama elektrik üretimi (kWh/m²)

H_m : 1kW PV panel için metre kare başına aylık ortalama elektrik üretimi (kWh/m²)

Türkiye'nin yüksek güneş enerjisi potansiyeli çeşitli sektörlerde kullanımının önünü açmıştır. Enerji bakanlığının açıklamaları doğrultusunda aydınlatmada LED lambalara geçiş kadar güneş enerjisinden yararlanılması çok büyük önem arz etmektedir. Güneş panellerinin çıkışlarının DC olması nedeniyle LED'ler ile PV paneller kolay uyum sağlayabilmektedir. Bu sebeple LED ve güneş enerjisinin ortak kullanımları giderek artmaktadır.

4.1. PV Paneller

Yüzeylerine gelen güneş ışığını direkt olarak elektrik enerjisine çeviren katkılı malzemelerden üretilen yarıiletken malzemelere güneş pilleri veya Fotovoltaik piller denir. Güneş pillerinin gelişim süreci 1839 yılında Becquerel tarafından yapılan çalışmalarla başlamıştır. Becquerel 1839 yılında elektrolit içine batırılmış olan elektrotların arasındaki gerilimin elektrolit üzerine düşen ışıkla bağlantılı olduğunu gözlemlemiştir. Fotovoltaik prensibin keşfi sayılan bu olaydan sonra katı selenyum kristal gözelerle 1914 yılında %1 verimliliğe sahip, 1954 yılında ise silikon kristallerle %6 verimlilikle elektrik enerjisi dönüşümü yapılmıştır. 1960'lı yıllardan itibaren güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüşüm çalışmaları başlatılmış olup uzay araştırmaları için hem güvenilir hem de uzayda

enerji üretimi için sağlam bir yapı teşkil etmişlerdir. Güneş pilleri diyot ve transistörlerde olduğu gibi yarıiletken malzemelerden yapılırlar. Genelde yarıiletken malzeme olarak silisyum kullanılır [37].

PV paneller tıpkı diyot ve transistör gibi P ve N yarıiletken maddelerden oluşur. N tipi madde son yörüngesinde 4 elektron olan silisyum gibi maddelerin içine periyodik cetvelde 5. grupta olan elementlerden ilave edilerek yapılır. Böylece silisyumun 4 elektronu ile 5. gruptaki elementin 4 elektronu bir araya gelir ve bir elektron boşta kalır. P tipi madde de bu ek olarak ilave edilen maddenin 3. grup elementlerinden seçilmesiyle oluşur. Böylelikle P tipi madde bir elektrona ihtiyaç duyacaktır. Bu P ve N maddeleri bir yüzeyde birleştirilerek PN maddesi oluşturur. Bu PN maddesinin üzerine ışık düştüğü zaman elektronlar enerjilenir ve hareketlenir. Potansiyel negatiften pozitifte doğru bir akım oluşturur ve böylece elektrik akımı sağlanmış olur [1,37].

4.1.1. PV panel çeşitleri

PV paneller yapıları bakımından 5 grupta incelenebilir.

- Mono kristal PV panel
- Poli kristal PV panel
- İnce film PV panel
- Esnek PV panel
- Organik PV panel

Mono kristal PV panel

Doğadaki kristallerin çoğu saf halde bulunmamaktadır. Ağırlıklı silisyum kristalinden oluşan mono kristal PV panel için öncelikle çeşitli kimyasal maddeler kullanılarak silisyum maddesi saflaştırılır. Bu işlemden sonra çekirdek ismi verilen tek kristale sahip silisyum parçası saflaştırılmış eriğe daldırılır. Silisyum eriğinden çıkarılan çekirdek silisyum ile kaplanmış olur. Külçe halindeki bu silisyum öncelikle dikdörtgen bloklar halinde kesilir. Daha sonra bu bloklar dilimlenir. Laboratuvar koşullarında hesaplanan verimleri yaklaşık olarak %24 civarındadır [37]. Resim 4.1’de mono kristal PV panel görülmektedir.

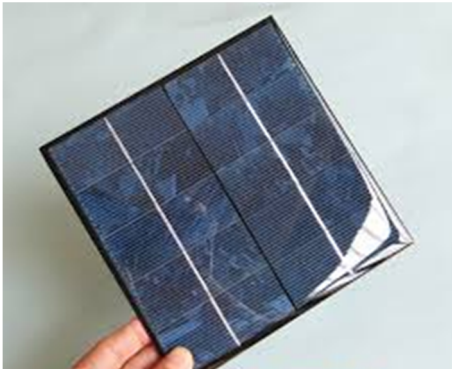
Teorik olarak hesaplara göre P-N birleşimli maddeden oluşan panellerin verimleri maksimum %33,7 olabilir. Bu sınıra Shockley-Queisser sınırı denir. Fakat son yıllarda Danimarkalı ve İsviçreli araştırmacılar tarafından ortaya atılan ve Nano Tel adı verilen teknikle bu sınırın aşılabileceği gözlenmiştir. Teorik olarak bu teknik ile PV panellerin verimlilikleri %46 seviyelerine çıkabileceği hesaplanmıştır [49].



Resim 4.1. Mono kristal PV panel

Poli kristal PV panel

Mono kristal PV panel maliyetinin çok fazla olmasından dolayı ortaya çıkmış bir üründür. Yine mono kristal üretiminde olduğu gibi çeşitli kimyasallar ile saflaştırılan silisyum kaplara dökülerek soğutulur. Daha sonra blok halindeki silisyum kesilerek işlem görür. Poli kristal PV panellerin bu şekildeki üretimi ürün kaybını ve maliyeti düşürmektedir. Fakat bununla beraber verim de düşmektedir. Şuan piyasa şartlarında %17 verime sahip poli kristal PV paneller bulunmaktadır [37].



Resim 4.2. Poli kristal PV panel

İnce film PV panel

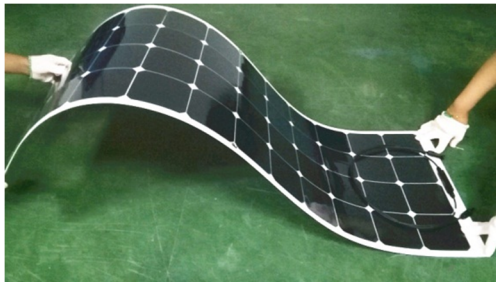
İnce film teknolojisinde yarıiletken malzeme cam, metal ya da alüminyum folyo gibi malzemelerin üzerine ince bir tabaka halinde uygulanmaktadır. İnce film PV paneller milimetrenin binde biri gibi bir kalınlıkta üretilebilir ve güneş ışınlarının tamamını soğurabilir. İnce film teknolojisi amorf silisyum, bakır indiyum diselenid, kadmiyum tellür, galyum arsenik gibi maddelerden üretilir. Sıcaklıktan etkilenmediği için çeşitli ışık yoğunlaştırıcılar ile kullanılabilir. Laboratuvar şartlarında verimleri %30'a kadar çıkmıştır [37]. Resim 4.3'te ince film PV panel görülmektedir.



Resim 4.3. İnce film PV panel

Esnek PV panel

Esnek PV paneller mono kristal ve poli kristal gibi panellerden üretilir. Tek farkları esnek olmaları ve dolayısı ile eğimli yüzeylere montajlarının kolay olmasıdır. Verimleri yine mono kristal ya da poli kristal olmasına bağlı olarak %24 ile %17 arasında seyretmektedir. Esnek yüzeylerde kullanılan bu panel genellikle teknelerde tercih edilmektedir. Resim 4.4'te esnek PV panel görülmektedir.



Resim 4.4. Esnek PV panel

Organik PV panel

Bitkilerin fotosentez özelliğinden esinlenerek çalışmalara başlanmış olan organik PV paneller fiyatlarının çok uygun olması bakımından oldukça üstündür. Henüz yeni yeni gelişmekte olan bu paneller şeffaf da dahil olmak üzere hemen hemen her renkte üretilmektedir. Organik ve kimyasal malzemelerden üretilmesi nedeniyle malzeme sıkıntısı yaşanmamaktadır. Malzeme birleşim olasılıkları neredeyse sınırsızdır. Henüz laboratuvar koşullarında %13 verime kadar çıkarılabilen bu paneller sıradan baskı teknikleri ile herhangi bir yüzeye uygulanabilmektedir. Yapılan testler sonucunda ise ömürleri 20 yıl olarak hesaplanmıştır [50]. Resim 4.5'te organik PV panel görülmektedir.



Resim 4.5. Organik PV panel

4.2. PV Panellerin LED Aydınlatma Sistemlerine Entegrasyonu

PV paneller düşük verime ve yüksek fiyata sahip oldukları için genellikle elektriğe ekonomik bir şekilde ulaşamadığı zaman tercih edilmektedir. Ancak güvenilirlik ve kötü hava şartlarında sürekli servis gerektirmesi kabul edilebilirliği etkileyen en önemli iki faktördür [8].

Günümüzde LED ve PV ikilisi gelecek vadeden bir çözüm olarak görülmektedir. Geleneksel aydınlatma kaynaklarından daha az enerji tüketimine sahip olması, daha verimli ve kolay kontrol edilebilir olması LED'lerin en önemli avantajlarından biridir. Ayrıca önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden PV paneller ile direkt olarak DC elektrik üretim yapılması, verimlerinin giderek artması LED'ler ile PV panel kullanımını giderek arttırmaktadır. LED ve PV panel ikilisine gelecekte dış aydınlatmayı bedavaya getirecek bir çözüm olarak bakılmaktadır [14].

Güneş enerjili LED sokak aydınlatmasına ait bir örnek Resim 4.6’da görülmektedir. Bu sistem; PV panel, akü şarj cihazı, akü, LED sürücü ve LED armatür bölümlerinden oluşmaktadır.



Resim 4.6. Güneş enerjili LED sokak aydınlatması

Resim 4.6’da verilen güneş enerjili LED sokak aydınlatma sisteminin iç yapısı Şekil 4.1’de verilmiştir. PV panelden alınan enerji ile gün içinde aküler şarj edilir. Gece ise LED armatür sürücü üzerinden beslenir ve aydınlatma gerçekleştirilir.



Şekil 4.1. Güneş enerjili LED lamba blok diyagramı

PV panellerin verimlerinin %20 civarında olması, güneşlenme değerlerinin her coğrafyada aynı olmaması, kurulum maliyetinin alınan enerjiye kıyasla fazla olması PV panel beslemeli LED aydınlatma sistemlerinin önündeki en büyük engellerdir. Ülkemizde güneşlenme süreleri mevsimlere göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle LED aydınlatma sisteminin bileşenlerinin güneşlenmenin en düşük olduğu zamana göre seçilmesi gerekmektedir. Aksi halde LED aydınlatma sistemi kesintisiz olarak çalışmayacaktır. Bu nedenle yaz ayları için gerekli olan akü ve panel kapasitesi ile kış ayları için gerekli olan akü ve panel kapasitesi arasında büyük bir fark oluşmaktadır. Bu farkı azaltmak için dimleme ve akıllı kontrol uygulamaları geliştirilmektedir.

4.2.1. Örnek kurulacak bir sistem için maliyet hesabı

Ankara için 60W lamba gücüne sahip bir LED armatürün 10 saat çalışması istenilmektedir. Kullanılacak enerji Eş. 4.1 ile 600Wh olarak hesaplanır.

$$W = P \times h = 60 \times 10 = 600Wh \quad (4.1)$$

Ankara için kış şartları göz önüne alındığında; Çizelge 4.1'den 2.10 saat ortalama güneşlenme süresine sahip olduğu görülmektedir. Bunun için PV panel gücü Eş. 4.2 ile 285,7W olarak hesaplanır. Bu durumda 280W panel kullanılabilir.

$$P_{PV} = \frac{W}{h} = \frac{600}{2,10} = 285,7W \quad (4.2)$$

Akü gücü ile panel kapasitesi eşit kabul edilirse akü kapasitesi Eş. 4.3 ile 50Ah olarak hesaplanır.

$$I_a = \frac{W}{V_{akü}} = \frac{600}{12} = 50Ah \quad (4.3)$$

140W PV panel etiketinden alınan değere göre kısa devre akımı 9,1A'dır. İki adet PV panel seri bağlanırsa 280W panel gücü ve 9,1A kısa devre akımı için 10A'lık bir şarj kontrol cihazı yeterli olacaktır. Çizelge 4.2'de güneş enerjili LED sokak armatürü için sistemin maliyeti görülmektedir.

Çizelge 4.2. Güneş enerjili LED sokak armatürü maliyeti

Malzeme adı	Fiyatı (TL)
280 W panel	700
60 W LED lamba	150
50 Ah akü	100
Şarj kontrol cihazı	50
LED sürücü	60
Toplam fiyat	1060

Eş. 4.1'den günlük harcanan enerji 600Wh olarak hesaplanmıştır. 2016 yılı ocak ayı için elektrik birim fiyatı 0,41TL'dir. Eş. 4.1'de bulunan enerji miktarı ile birim fiyat üzerinden

hesaplama yapıldığında günlük, aylık, yıllık harcama fiyatları ve sistemin kendini amorti etme süresinin hesabı Eş. 4.4 - Eş. 4.7’de verilmiştir.

$$Günlük = 600 \times 10^{-3} \times 0,41 = 0,25TL \quad (4.4)$$

$$Aylık = 30 \times 0,25 = 7,4TL \quad (4.5)$$

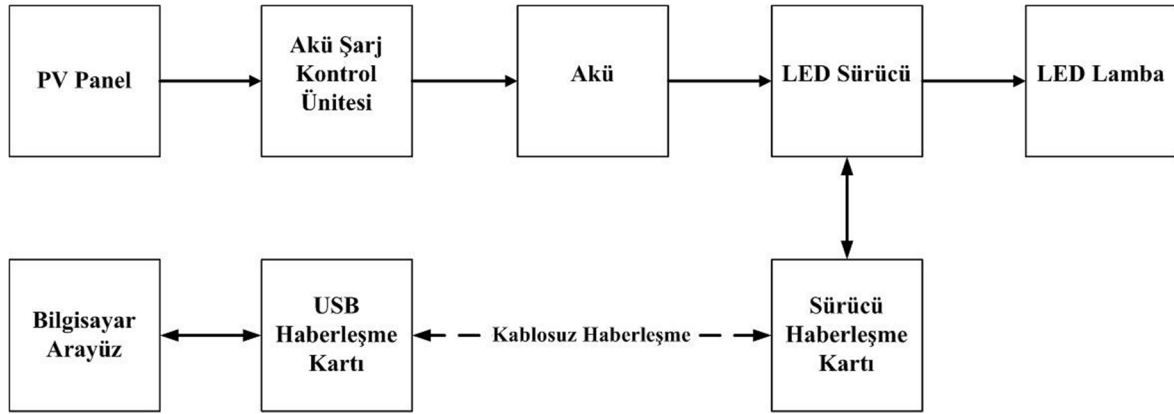
$$Yıllık = 12 \times 7,4 = 88,6TL \quad (4.6)$$

$$Amorti\ etme\ süresi = \frac{1060}{88,6} = 12\ Yıl \quad (4.7)$$

Mevcut fiyatlandırmaya göre sistem kendi ücretini 12 yılda amorti etmektedir. LED’lerin 27 yıla kadar çalıştıkları ve güneş panellerinin de 25 yıllık ömürleri olduğu düşünülünce 12 yıllık amorti etme süresi oldukça iyi bir değerdir. Hesaplamalar güneşlenmenin minimum olduğu ay değerine göre yapılmıştır. Bu sistemin dezavantajı ise sistemin kendini amorti etme süresi içinde, gelişen teknoloji ile daha verimli sistemlerin çıkabileceği ve kurulan sistemin artık verimli olamayabileceği ihtimalidir.

5. TASARIM VE UYGULAMA

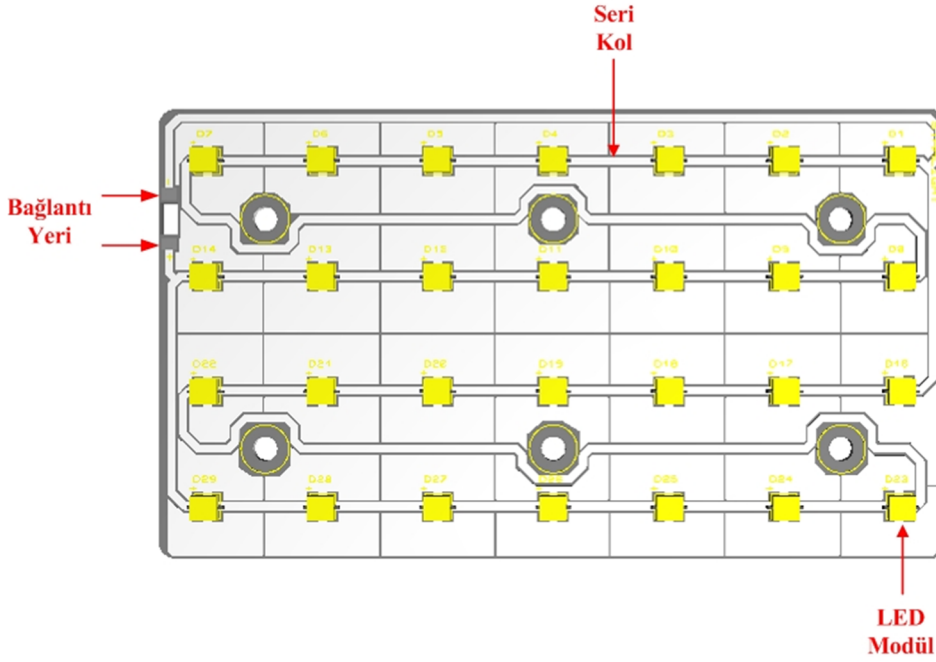
Bu çalışmada güneş enerjisi ile çalışan LED armatürlü sokak lambası sistemi tasarlanmıştır. Şekil 5.1'deki blok diyagramından görüldüğü üzere sistem; PV panel, akü şarj kontrol ünitesi, akü, LED armatürün sürülebilmesi için sabit güç sürücü kartı, LED armatür, RF sürücü haberleşme kartı, RF USB haberleşme kartı ve sistemin kontrolü için oluşturulan bilgisayar arayüzü bileşenlerinden oluşmaktadır.



Şekil 5.1. Sistem bileşenlerinin blok diyagramı

5.1. LED Armatür Tasarımı

Tasarımı yapılan LED armatür kartının üç boyutlu görüntüsü Resim 5.1'de verilmiştir. LED armatür iki adet paralel koldan oluşmaktadır ve her bir kolda 14 adet seri LED kullanılmıştır.



Resim 5.1. LED armatür kartının üç boyutlu görüntüsü

LED armatürün uç gerilimi ve devre akımının dengelenmesi gerekmektedir. Çalışmada kullanılan Nichia LED'in nominal çalışma gerilimi yaklaşık olarak 2,9V'tur. Toplam uç gerilimi Eş. 5.1 ile 40,6V olarak, kol akımı ise Eş. 5.2 ile 1.48A olarak hesaplanmıştır.

$$V_{Lin} = V_{LED} \times \text{seri LED sayısı} = 2,9 \times 14 = 40,6V \quad (5.1)$$

$$I_L = \frac{P_L}{V_{Lin}} = \frac{60}{40,6} = 1,48A \quad (5.2)$$

Armatür gerilimi akü geriliminden yükseltilebilir bir seviyede, armatür akımı ise iletkenlerde oluşacak güç kaybını önlemek için düşük bir seviyede tutulmuştur.

LED'lerin sıcaklıkları üretici firma tarafından açıklanan sıcaklık değerinin üzerinde olmamalıdır. Üretici firma tarafından verilen değer üzerinde bir sıcaklığa maruz kalan LED zarar görecektir. LED'in zarar görmesinin engellenmesi için ya LED armatürlere soğutucu bağlanmakta ya da armatür gövdesi soğutucu şeklinde yapılmaktadır. Bu sebeple LED'in jonksiyon sıcaklığının ve gerekli olan soğutucu termal direncinin hesaplanması gerekmektedir. Katalog bilgilerinden LED'in jonksiyon sıcaklığının en fazla 150°C olabileceği görülmüştür. Jonksiyon sıcaklık denklemi Eş 5.3'te görülmektedir.

$$T_j = T_a + R_t \times P_t \quad (5.3)$$

Burada;

T_j : Jonksiyon sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

T_a : Ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

R_t : Termal direnç ($^{\circ}\text{C/W}$)

P_t : Toplam güç (W)

Katalogdan alınan bilgiler neticesinde jonksiyon sıcaklığı $T_j=100^{\circ}\text{C}$ olarak seçilmiştir. Bu jonksiyon sıcaklığı LED ömrü bakımından sorun oluşturmamaktadır. $T_a=25^{\circ}\text{C}$, ve $P_t=60\text{W}$ olduğuna göre toplam termal direncin olması gereken değeri Eş. 5.4 ile 1.25°C/W olarak hesaplanmıştır.

$$R_t = \frac{T_j - T_a}{P_t} = \frac{100 - 25}{60} = 1,25^{\circ}\text{C/W} \quad (5.4)$$

Katalogdan bir LED'in termal direncinin $R_{LED} = 6^{\circ}\text{C/W}$ olduğu ve kullanılan termal malzemenin termal direncinin $R_{p-h}=0,07^{\circ}\text{C/W}$ olduğu bilindiğine göre soğutucu termal direnci Eş. 5.5-Eş. 5.7'de verilmiştir.

$$R_{j-c} = \frac{R_{LED}}{LED \text{ sayıları}} = \frac{6}{28} = 0,21^{\circ}\text{C/W} \quad (5.5)$$

$$R_{th-m} \leq R_t - R_{j-c} - R_{p-h} \quad (5.6)$$

$$R_{th-m} \leq 1,25 - 0,21 - 0,07 \Rightarrow R_{th-m} \leq 0,97^{\circ}\text{C/W} \quad (5.7)$$

Soğutucu elemanın termal direnci maksimum $0,97^{\circ}\text{C/W}$ olmalıdır. Soğutucu firmaları kataloglarda termal direnç değerini vermektedir. Eğer termal direnç değeri bilinmiyorsa alüminyum için yüzey alanına göre termal direnç Eş. 5.8 ile hesaplanabilir [42].

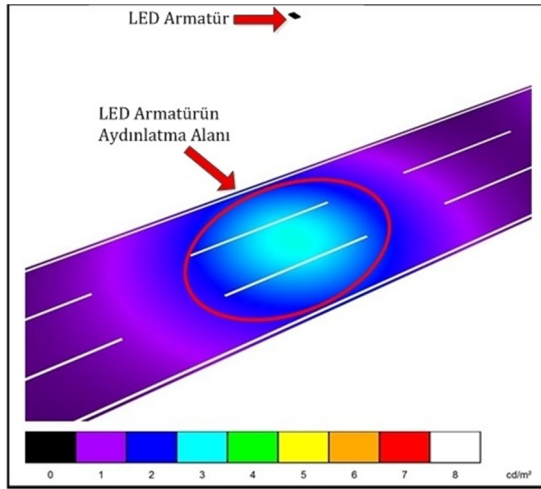
$$A = \left(\frac{50}{R_t}\right)^2 = \left(\frac{50}{0,97}\right)^2 = 2657\text{cm}^2 \quad (5.8)$$

Eş. 5.8'den anlaşılacağı üzere kullanılması gereken soğutucunun minimum yüzey alanı 2657cm^2 olmalıdır. Kullanılan armatür görüntüsü Resim 5.2'de görülmektedir.

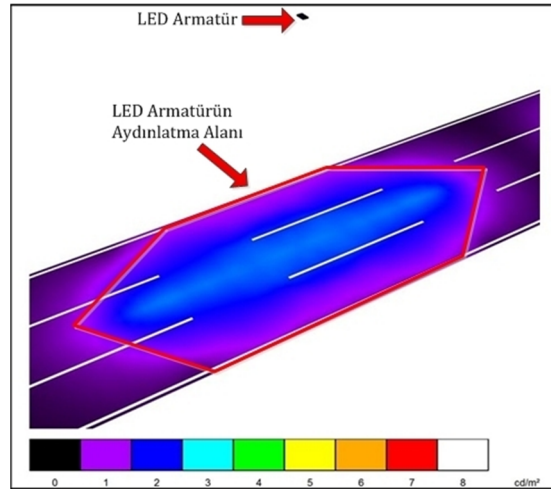


Resim 5.2. Lamba armatür gövdesi görüntüsü

LED armatürler genellikle dairesel şekilde ışık veren yapılardır. Nichia LED'li armatürün mercekli ve merceksiz aydınlatma alanlarının Dialux programı kullanılarak üretilen simülasyon çıktıları Resim 5.3'de verilmiştir.



(a) Merceksiz LED armatür



(b) Mercekli LED armatür

Resim 5.3. Dialux simülasyonu

Merceksiz LED armatür için Resim 5.3 (a)'da verilen simülasyon çıktısı incelendiğinde bu ışık şeklinin ve aydınlatma alanının yola göre uygun bir yapı olmadığı görülür. Çünkü bu aydınlatma alanlı LED armatür 3 şeritli bir yolda kullanıldığında yaklaşık olarak 6 metre aralıklarla direk dikilmesi gerekecektir. Diğer bir seçenek olarak direk yüksekliği arttırılarak ışığın çapı arttırılacak ve böylece direkler arası mesafe arttırılacaktır. Fakat bu seçenekte ışık yolun eninden taşmaya başlayacağı için kayıplar meydana gelecektir. Işığın

yoldan taşmaması ve yola uygun kırılması için LED armatürler ile birlikte mercekler kullanılmaktadır. Merceкли LED armatürün Dialux programı çıktısı Resim 5.3 (b)'de verilmiştir. Resim incelendiğinde ışık merceklerle kırılarak yola doğru yayılmış, ışık şiddeti ve aydınlatma alanı daha eşit dağıtılmıştır. Bu sayede ışığın verimli kullanımı sağlanmıştır.

5.2. Akü Grubu ve Kapasite Hesabı

Güç kaynağı olarak seçilen aküler hem kullanılan LED armatürün enerjisini sabaha kadar karşılayabilecek kapasitede olup hem de gündüz kontrol ve haberleşme için gerekli enerjiyi de sağlayabilmelidir. Bu durumda akşamdan sabaha kadar armatürün 10 saat çalışacağı düşünüldüğünde minimum enerji Eş. 5.9 ile 600Wh olarak hesaplanır.

$$W = P_L \times h = 60 \times 10 = 600Wh \quad (5.9)$$

LED armatürün gerilim seviyesi 40,6V civarında olduğu için mevcut akü geriliminin yükseltilmesi gerekmektedir. Akülerin arıza durumu da göz önüne alındığında çok sayıda seri bağlı akü istenmeyen bir durumdur. Ayrıca akü adeti arttıkça fiyat ve kapladığı alan da artmaktadır. Bu koşullar dikkate alındığında; iki adet seri bağlı akü seçilmiş ve kaynak gerilimi 24V olarak ayarlanmıştır. Akü kapasitesi Eş. 5.10 ile hesaplanmıştır. 25Ah'lık iki adet akünün seri bağlanmasına karar verilmiştir.

$$\text{Akü kapasitesi} = \frac{W}{V} = \frac{600}{24} = 25Ah \quad (5.10)$$

5.3. Güneş Paneli Seçimi

Ankara ili için güneş paneli seçiminde güneşlenme verilerinin bilinmesi ve temel alınacak aya karar verilmesi gerekmektedir. Ankara için güneşlenme değerlerini öğrenmek için PVGIS sitesinden yararlanılmıştır [36]. Ocak ayında PV panelden alınan güç en düşük seviyededir. Bu ay için Ankara'da bulunan 1000W'lık PV panel günlük ortalama 2100Wh enerji üretebilecek kadar güneşlenir. Güneşlenmenin en yüksek olduğu değer ise temmuz ayındadır. Bu ayda ise ortalama günlük enerji üretimi yaklaşık 5250Wh değerindedir (Bkz. Çizelge 4.1). Bunun anlamı ocak ayında ortalama 2,1 saat güneşlenme mevcutken temmuz ayında ise ortalama 5,25 saat güneşlenme yaşanır. Yıllık ortalama ise 3,9 saat güneşlenme

olur. Akıllı bir sistem kurulacağı düşünülerek panel değeri yıllık ortalama değere göre seçilmiştir ve Eş. 5.11 ile panel gücü 154W olarak hesaplanmıştır.

$$P_{PV} = \frac{W}{h} = \frac{600}{3,9} = 154W \quad (5.11)$$

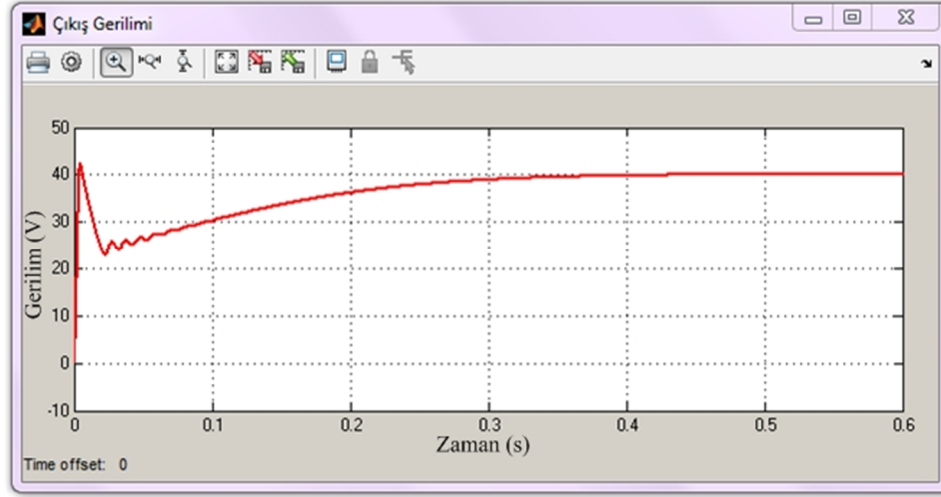
Hesaplanan panel gücüne göre iki adet 80W gücünde PV panel seçilmiştir ve Çizelge 5.1’de PV panelin katalog bilgileri görülmektedir.

Çizelge 5.1. PV panelin katalog bilgileri

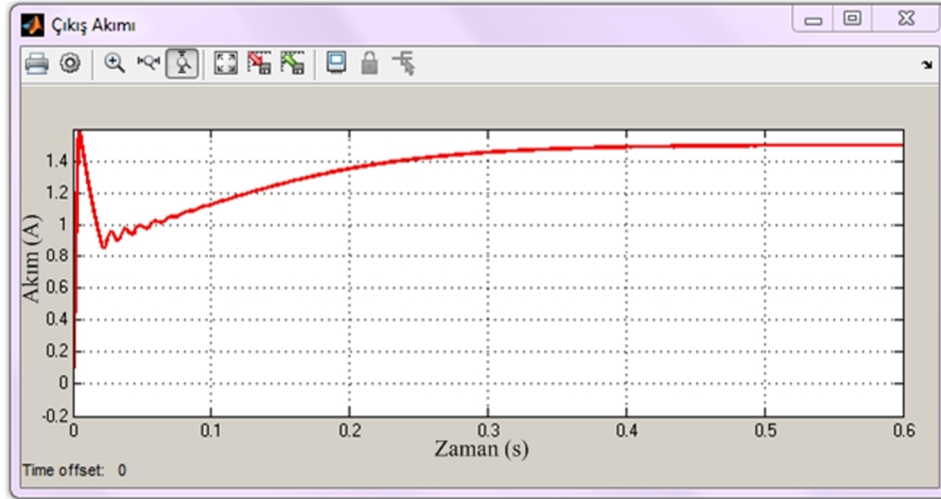
PV hücre tipi	Polikristal
Pik gücü	80W
Güç toleransı	%3
Açık devre gerilimi	21.6V
Maksimum güç gerilimi	18V
Kısa devre akımı	4.85A
Maksimum güç akımı	4.44A
Maksimum sistem gerilimi	1000VDC
Maksimum seri sigorta değeri	15A
Boyut	1195x541x30mm
Ağırlık	7,4Kg

5.4. Akü Şarj Kontrol Ünitesi

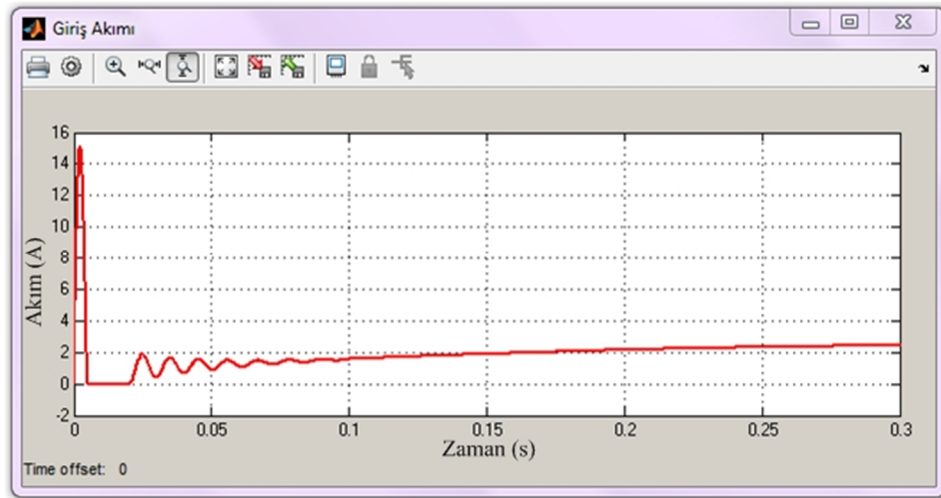
Normal şartlarda seçilen PV panelin maksimum akımı katalog verilerinden 4,85A olarak okunmaktadır. Akü şarj kontrol cihazı olarak Resim 5.4’de görülen Victron Energy firmasının Blue Solar 20A’lık ürünü kullanılmıştır. Bu ürün kısa devre, aşırı şarj, derin şarj, aşırı akım ve ters polarite koruması gibi koruma özelliklerine sahiptir ve akülerin bozulmasını önlemektedir. Sistemi ortak anotludur. Solar panelden aldığı enerjiyi bulk, absorption ve float olmak üzere üç farklı yöntemle aküye depo eder. Birinci yöntem olan bulk evresi; %80 doluluğa kadar olan kısımdır ve kontrol cihazı akünün hızlı şarj olabilmesi için potansiyel enerjinin tamamını aküye göndermeye çalışır. İkinci yöntem olan absorption evresinde %80-%100 şarj arasındaki evredir. Uzun süren bu evrede şarj



Resim 5.5. Çıkış gerilimi dalga şekli



Resim 5.6. Çıkış akımı dalga şekli



Resim 5.7. Giriş akımı dalga şekli

Matlab verilerine göre; giriş akımı 2,65A, giriş gerilimi 24V, çıkış akımı 1,5A ve çıkış gerilimi 40,2V olarak ölçülmüştür. Giriş ve çıkış gücünden yararlanarak Eş. 5.12- Eş. 5.14 yardımıyla sabit güçlü LED sürücünün verimi %96 olarak hesaplanmıştır.

$$P_{in} = I_{in} \times V_{in} = 2,61 \times 24 = 62,6W \quad (5.12)$$

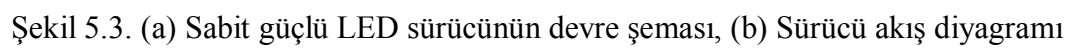
$$P_o = I_o \times V_o = 1,5 \times 40,2 = 60,3W \quad (5.13)$$

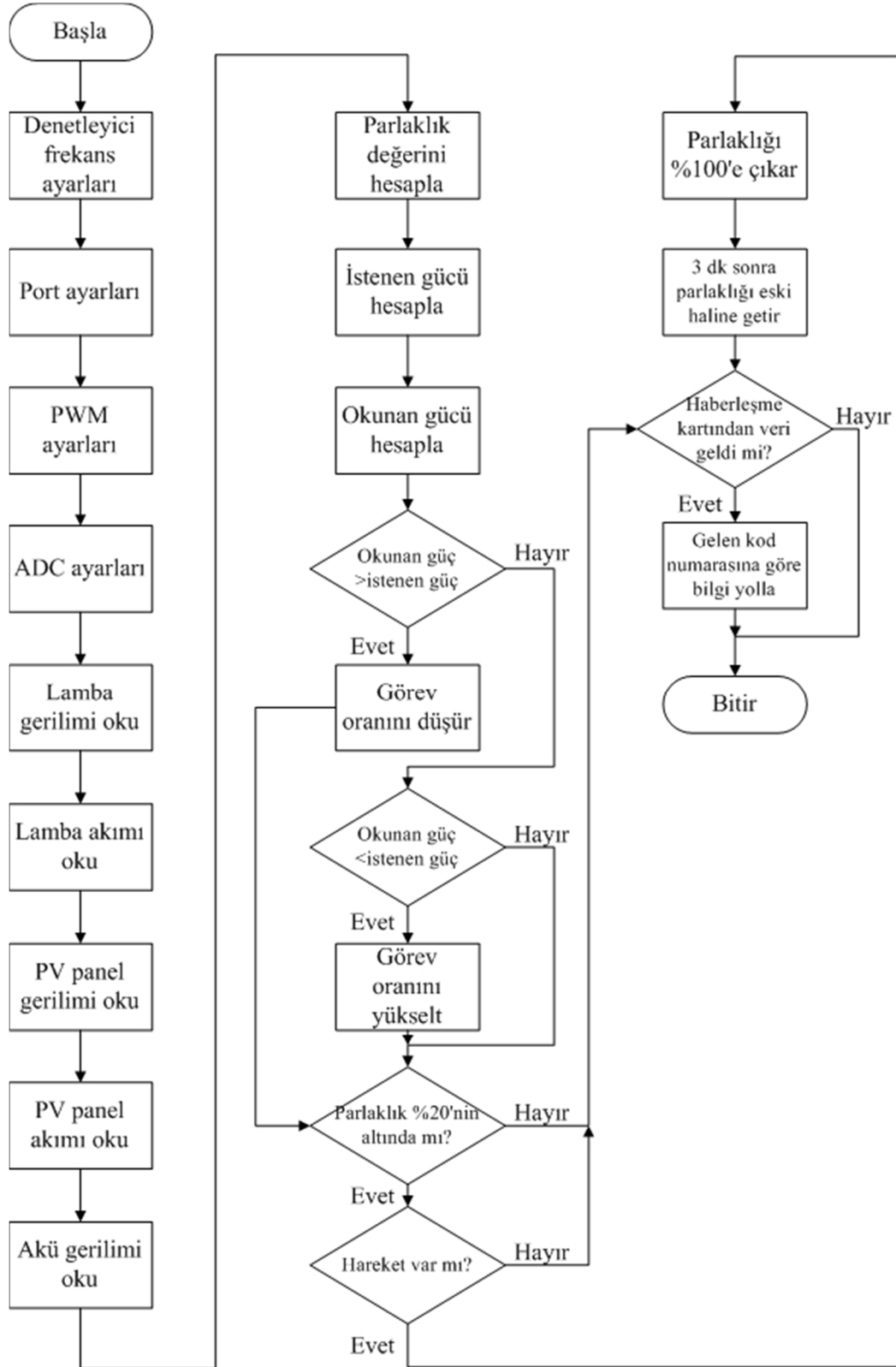
$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{60,3}{62,6} = 0,96 \quad (5.14)$$

5.5.2. Sabit güçlü LED armatür sürücüsünün tasarım aşamaları

LED sürücü için Şekil 5.3 (a)'da verilen devre şeması oluşturulmuş ve bir kart tasarlanmıştır. Şekil 5.3 (b)'de ise sürücünün akış diyagramı yer almaktadır. Bu kart aşağıda verilen işlevleri yerine getirmektedir;

- LED armatür için gerekli olan akımı ve gerilimi ayarlamak,
- LED armatürün akımını ve gerilimini ölçmek,
- PV panelin akımını ve gerilimini ölçmek,
- Akü seviyesini ölçmek,
- Havanın aydınlık şiddetini ölçmek,
- Hareketi algılamak ve ölçmek,
- Armatürü aşırı akımdan ya da gerilimden korumak,
- Armatürün parlaklığını ayarlamak,
- Elde ettiği verileri bilgisayar ortamına radyo frekansı ile aktarmak.





(b)

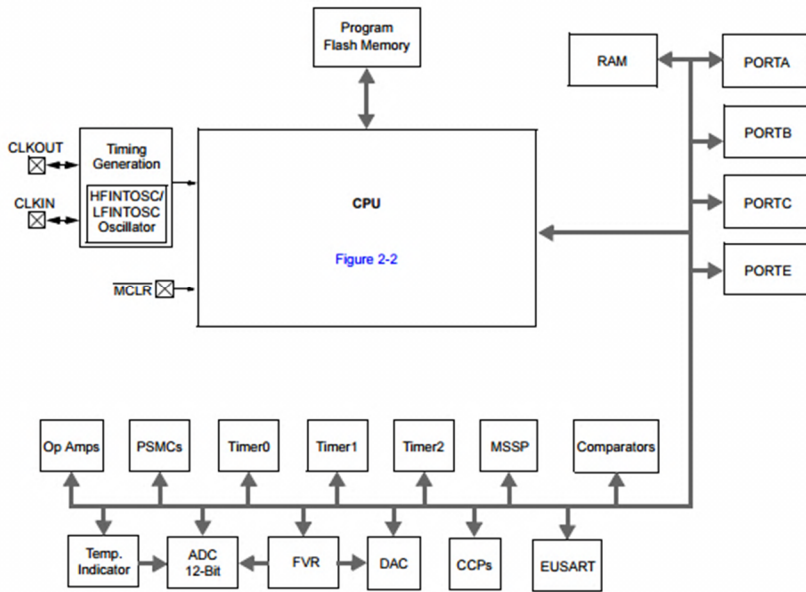
Şekil 5.3. (devam) (a) Sabit güçlü LED sürücünün devre şeması, (b) Sürücü akış diyagramı

LED sürücü aşağıda verilen altı bölümden oluşmaktadır;

- Merkezi işlem birimi
- Analog dijital dönüştürücü (ADC - Analog to Digital Conversion),
- Sensör devresi,
- Regülatör devresi,
- Haberleşme kartı için bağlantı soketi,
- Yükselten konvertör

Merkezi işlem birimi

Merkezi işlem birimi, sürücünün aldığı bilgiler doğrultusunda LED armatürün kontrolüne karar veren birimdir. Bu birim için Microchip firmasının PIC16F1782 mikro denetleyicisi kullanılmıştır. Şekil 5.4'te mikro denetleyicinin blok diyagramı verilmiştir [44].



Şekil 5.4. Mikro denetleyicinin blok diyagramı

Kullanılan mikro denetleyici Resim 5.8’da görülmektedir. Bu mikro denetleyici; 16 bit ölü zaman verilebilen PWM’e, 12 bit ADC’ ye ve 32Mhz clock frekansına sahiptir. 4xPLL fonksiyonu ile clock frekansı dört kata kadar çıkabilir. Uygulamalı olarak 25Mhz denenmiş ve çevrim frekansı 100Mhz’e çıkarılmıştır. Ayrıca 2 adet OP-AMP ve 1 adet 8 bit DAC da bu mikroçipe entegre edilmiştir. PWM çözünürlüğünün 16 bit olması sayesinde yüksek

hassasiyetle akım kontrolü yapılabilmektedir. Kristal olarak 20Mhz kullanılmış ve PLL açılmıştır. Bu sayede clock frekansı 80Mhz olarak ayarlanmıştır. İşlemcinin voltaj referansı 3,3V'a ayarlanmıştır [44].



Resim 5.8. Mikro denetleyicinin görüntüsü

PIC16F1782 mikro denetleyicisi maksimum 32Mhz dış osilatör bağlamaya imkân sağlar. Bu da 4xPLL fonksiyonu ile 128Mhz gibi bir clock frekansına ulaşılabilceği anlamına gelmektedir. PIC serisi entegrelerde işlemcilerin, frekansı dörde bölerek kullandığı unutulmamalıdır. Kullanılan mikro denetleyicinin diğer özellikleri ise Çizelge 5.2'de verilmiştir.

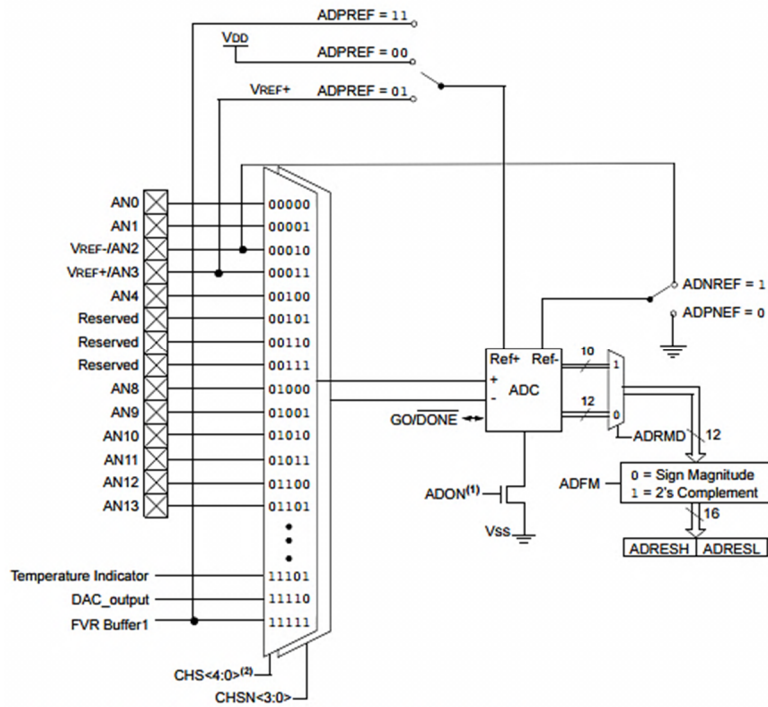
Çizelge 5.2. Mikro denetleyicinin diğer özellikleri [44]

Malzeme	Program hafızası (words)	EEPROM (bytes)	Giriş ve çıkışlar	12-bit ADC kanalı	Karşılaştırmalar	İşlemsel yükselteçler	DAC (8/5 bit)	Programlanabilir anahtarlama modu kontrolü (PSMC)	CCP	EUSART	MSSP (I ² C/SPI)	XLP
PIC16(L)F1782	2048	256	25	11	3	2	1/0	2	2	1	1	Var
PIC16(L)F1783	4096	256	25	11	3	2	1/0	2	2	1	1	Var
PIC16(L)F1784	4096	256	36	15	4	3	1/0	3	3	1	1	Var
PIC16(L)F1786	8192	256	25	11	4	2	1/0	3	3	1	1	Var
PIC16(L)F1787	8192	256	36	15	4	3	1/0	3	3	1	1	Var
PIC16(L)F1788	16384	256	25	11	4	2	1/3	4	3	1	1	Var
PIC16(L)F1789	16384	256	36	15	4	3	1/3	4	3	1	1	Var

Mikro denetleyicinin özellikleri içinde yer alan XLP (eXtreme Low Power) fonksiyonu yeni bir teknolojidir. Bu özellik sayesinde denetleyici uyku modunda 9nA akım çekmekte, normal modda ise 30µA/Mhz enerji harcamaktadır. XLP özelliği sayesinde enerji harcaması oldukça iyi bir değerdedir.

Analog dijital dönüştürücü (ADC - Analog to Digital Conversion)

ADC birimi, referans gerilime kadar olan gerilimleri mikro denetleyicinin sınır çözünürlüğüne kadar bölümlendirir. Bölümlendirilen her parça için bir dijital bilgi çıktısı verir. PIC16F1782 entegresinde 12 bit olmak üzere 11 adet ADC kanalı bulunmakta ve 75kbps işlem yapabilmektedir. Şekil 5.5'te ADC biriminin blok diyagramı yer verilmiştir.



Şekil 5.5. ADC biriminin blok diyagramı [44]

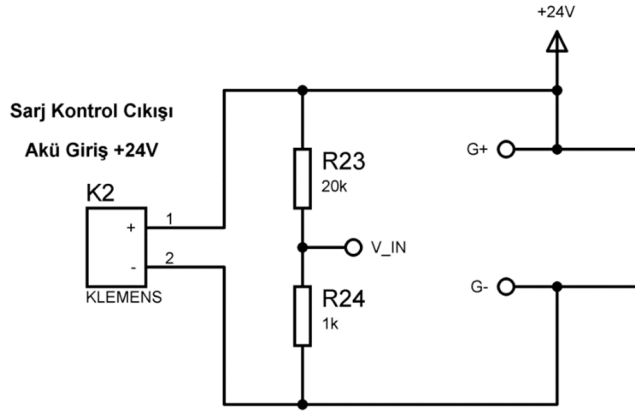
Tasarlanan ADC biriminde, okunabilen en küçük gerilim değeri Eş. 5.15'ten $805\mu V$ olarak hesaplanır.

$$V_{min} = \frac{V_{ref}}{ADC \text{ çözünürlüğü}} = \frac{3,3}{2^{12}} = 805\mu V \quad (5.15)$$

ADC birimi kullanılarak; akü gerilimi okuma, LED armatürün akımının ve geriliminin okunması, PV panel akımının ve geriliminin okunması işlemleri yapılmaktadır.

Akü geriliminin okunması

Akü gerilimi 22-28V arasında değişiklik gösterir. Mikro denetleyicinin voltaj referansının 3,3V olarak ayarlanması, bu denetleyicinin giriş geriliminin 3,3V olarak ayarlanması ile sağlanmıştır. Mikro denetleyici giriş geriliminin 3,3V olması nedeniyle okuyabileceğimiz maksimum analog gerilim değeri de 3,3V olmaktadır. 28V'luk akü gerilimini okuyabilmek için direncin gerilim bölücü özelliğini kullanarak akü gerilimi yirmide bir oranında düşürülmüştür. LED sürücü üzerinde akü gerilimi okumak için oluşturulmuş direnç bölücü devre Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Akü gerilimi ölçüm devresi

ADC kanalına gidecek olan maksimum akü okuma gerilimi Eş. 5.16 kullanılarak 1,33V olarak hesaplanmıştır.

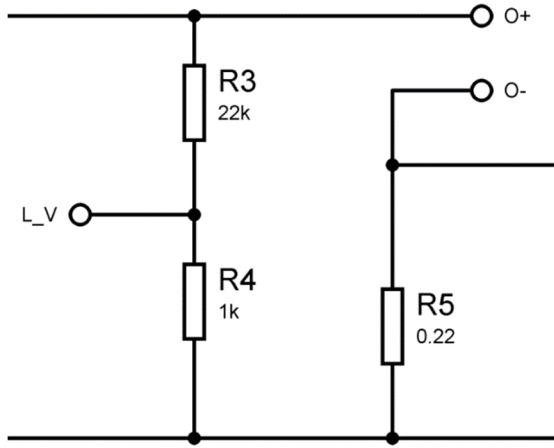
$$k = \frac{V_a}{V_{R_{24}}} = \frac{R_{23} + R_{24}}{R_{24}} \Rightarrow \frac{28}{V_{R_{24}}} = \frac{21K}{1K} \Rightarrow V_{R_{24}} = 1,33V \quad (5.16)$$

Bu devrede akü gerilimi 22-28V aralığında olduğundan ve en yüksek akü gerilimi 28V iken 1K direncin üzerindeki gerilim 1,33V olacaktır. Maksimum okuyabileceğimiz gerilim değeri Eş 5.17 kullanılarak 69,3V olarak hesaplanmıştır.

$$V_{maks} = V_{ref} \times k = 3,3 \times 21 = 69,3V \quad (5.17)$$

LED armatür geriliminin ölçümü

LED armatür geriliminin okunması için sürücü üzerinde oluşturulmuş direnç bölücü devresi Şekil 5.7’de görülmektedir.



Şekil 5.7. LED armatür gerilimi ölçüm devresi

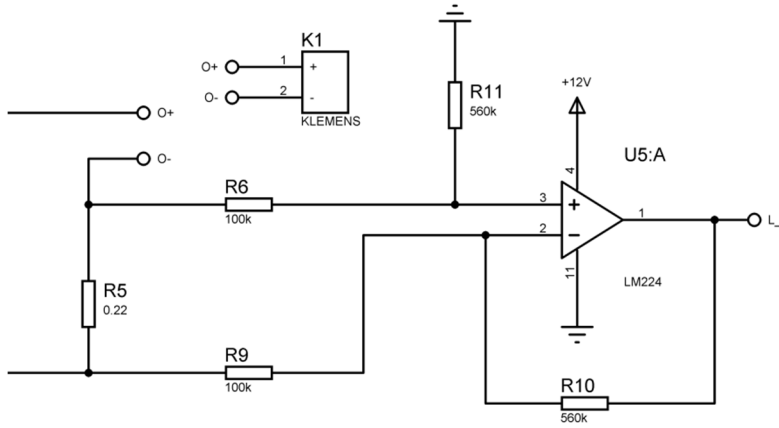
LED armatürün gerilimi 40,6V olarak hesaplanmıştır (Bkz. Eş. 5.1). Fakat ölçümlerde esneklik sağlanması amacıyla gerilim toleranslı olarak ayarlanmıştır. 3,3V maksimum ölçüm gerilimi ve 23 kata ayarlanmış gerilim bölücüyü hesaba katıldığında ölçülebilecek maksimum gerilim ve minimum gerilim Eş. 5.18-Eş. 5.19 kullanılarak sırasıyla 75,9V ve 18,5mV olarak hesaplanmıştır. Buradan armatür geriliminin 18,5mV hassasiyetle ölçüm yapabildiği görülmektedir.

$$V_{Lmax} = \frac{R_3 + R_4}{R_4} = \frac{22K + 1K}{1K} \times V_{ref} = \frac{23}{1} \times 3,3V = 75,9V \quad (5.18)$$

$$V_{Lmin} = \frac{V_{Lmax}}{ADC \text{ çözünürlüğü}} = \frac{75,9}{2^{12}} = 18,5mV \quad (5.19)$$

LED armatür akımının ölçümü

Sürücü üzerinde LED armatür akımının okunması için tasarlanmış devre Şekil 5.8’de görülmektedir.



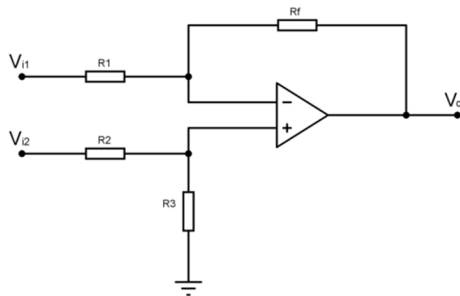
Şekil 5.8. LED armatür akımı ölçüm devresi

LED armatürden geçecek maksimum akım 1,5A olarak hesaplanmıştır (Bkz. Eş. 5.6). Akım ölçümü olarak seri direnç üzerinde oluşan gerilimi ölçme tekniği kullanılmıştır. Kullanılan direnç değeri $R_5=0,22\Omega$ seçilmiştir. Akımın direnç üzerinde harcadığı güç Eş. 5.20 kullanılarak 0,5W olarak hesaplanmıştır.

$$P_{R_5} = I^2 \times R_5 = 1,5^2 \times 0,22 = 0,5W \quad (5.20)$$

Seri direnç üzerinde harcanan güç 0,5W olduğu için 1W'lık bir direnç seçilmiştir. R_5 direnci üzerindeki gerilimi okumak için OP-AMP'lı fark alıcı devresi kurulmuştur. R_5 direnci üzerindeki gerilimin küçük olmasından dolayı akım okuma hassasiyeti düşmektedir. Gerilimi yükseltmek için ya R_5 direncinin değerini artırmak ya da gerilimi OP-AMP ile yükseltmek gerekir. Eğer R_5 direnç değeri artarsa güç kaybı da artacağı için ikinci seçenek olan OP-AMP'lı devre tercih edilmiştir.

Fark alıcı yükselteç devresi çalışması

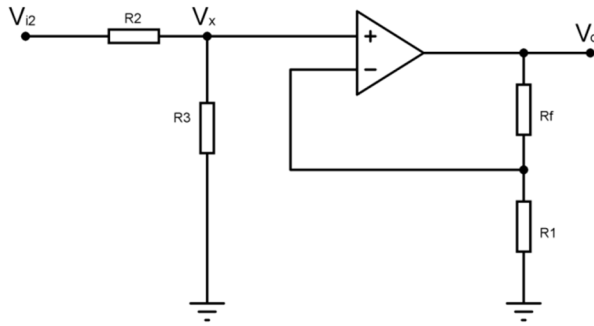


Şekil 5.9. OP-AMP'lı fark alıcı devre şeması [38]

OP-AMP fark alıcı devre Şekil 5.9'da görülmektedir. OP-AMP'ın tersleyen yükselteç olarak çalıştığı düşünülürse yani V_{i2} girişi yok kabul edilirse tersleyen yükselteç çıkışı Eş. 5.21 ile hesaplanır.

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right) \times V_{i1} \quad (5.21)$$

Tersleyen girişi yok kabul edilip terslemeyen giriş var kabul edilirse oluşacak devre Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Tersleyen girişi olmayan OP-AMP'lı devre şeması

Tersleyen girişi olmayan devreden çıkış gerilimi yazılırsa yani V_{i1} girişi yok kabul edilirse terslemeyen yükseltecin çıkış voltajı Eş. 5.22 ile hesaplanır.

$$V_o = \left[1 + \left(\frac{R_f}{R_1}\right)\right] \times V_{i2} \quad (5.22)$$

Şekil 5.10 'dan görüleceği gibi OP-AMP'ın terslemeyen (+) girişine uygulanan sinyal, R_3 direncinin üzerinde düşen voltaj (V_x) kadardır. V_x voltajı Eş. 5.23 ve Eş. 5.24 ile hesaplanır.

$$V_x = I \times R_3 \Rightarrow I = \frac{V_{i2}}{R_2 + R_3} \quad (5.23)$$

$$V_x = R_3 \times \frac{V_{i2}}{R_2 + R_3} \quad (5.24)$$

OP-AMP, girişindeki V_x gerilimini, voltaj kazancı kadar yükseltecektir. OP-AMP'ın, faz çevirmeyen yükselteç durumundaki çıkış voltajı değeri Eş. 5.25-Eş. 5.27'den hesaplanır.

$$V_o = \left[1 + \left(\frac{R_f}{R_1}\right)\right] \times V_x \quad (5.25)$$

$$V_o = \left[1 + \left(\frac{R_f}{R_1}\right)\right] \times \left[R_3 \times \frac{V_{i2}}{R_2 + R_3}\right] \times V_{i2} \quad (5.26)$$

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_2}\right) \times V_{i1} + \left[1 + \left(\frac{R_f}{R_1}\right)\right] \times \left[R_3 \times \frac{V_{i2}}{R_2 + R_3}\right] \times V_{i2} \quad (5.27)$$

Eğer, fark yükseltecinin direnç değerleri $R_1 = R_2 = R_3 = R_f$ olarak seçilirse çıkış voltajı Eş. 5.28'de olduğu gibidir.

$$V_o = V_{i2} - V_{i1} \quad (5.28)$$

Böylece devre, yükseltme yapmadan, girişine uygulanan sinyallerin farkını alır. Eğer, fark yükseltecinin direnç değerleri $R_1 = R_2$ ve $R_3 = R_f$ olarak seçilirse çıkış voltajı Eş. 5.29'daki gibi olacaktır.

$$V_o = \left(\frac{R_f}{R_1}\right) \times (V_{i2} - V_{i1}) \quad (5.29)$$

Buradaki R_f/R_1 , fark yükseltecinin kazancıdır. Bu durumda devre giriş voltajlarının farkını yükseltir [39]. Akım okumak için oluşturulmuş devrenin kazancı Eş. 5.30 kullanılarak 5,6 olarak hesaplanmıştır.

$$k = \frac{R_f}{R_1} = \frac{560K}{100K} = 5,6 \quad (5.30)$$

R_5 direnci üzerinde düşebilecek maksimum gerilim ve geçecek maksimum akım Eş. 5.31-Eş. 5.34'ten hesaplanır.

$$V_{R_5} = I \times R_5 = 1,5 \times 0,22 = 0,33V \quad (5.31)$$

$$V_{R_5max} = \frac{V_{ref}}{5,6} = \frac{3,3}{5,6} = 0,589 \quad (5.32)$$

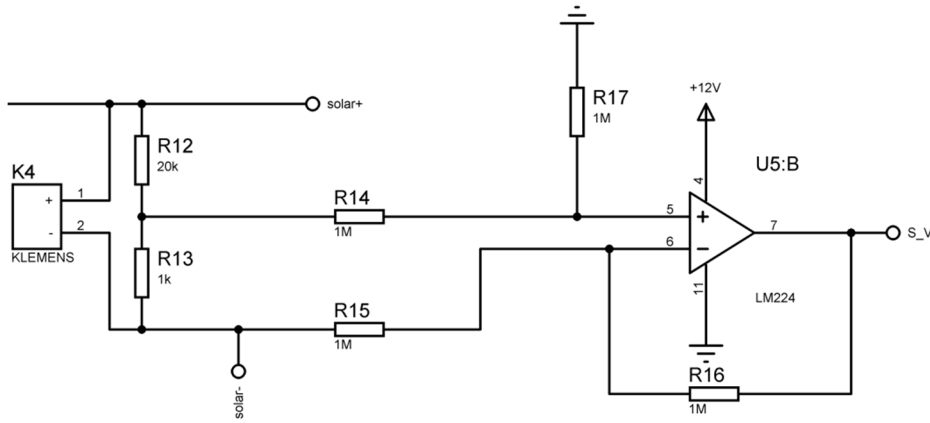
$$I_{max} = \frac{V_{R_5max}}{R_5} = \frac{0,589}{0,22} = 2,67A \quad (5.33)$$

$$I_{min} = \frac{I_{max}}{ADC \text{ çözünürlüğü}} = \frac{2,67}{2^{12}} = 654\mu A \quad (5.34)$$

Bu durumda sürücü, maksimum 2,67A akım okuyabilmekte ve bu okuma işlemini 654 μ A hassasiyet ile gerçekleştirmektedir.

PV panel geriliminin okunması

Sürücü üzerine eklenmiş OP-AMP'lı PV panelin geriliminin okunması için oluşturulmuş devre Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11. PV panel gerilimi okuma devresi

Direnç devresi kazancı Eş. 5.35 kullanılarak 21 olarak hesaplanmıştır. OP-AMP kazancı ise dirençlerin hepsinin aynı olmasından dolayı 1'dir.

$$k = \frac{R_{12} + R_{13}}{R_{13}} = \frac{20K + 1K}{1K} = 21 \quad (5.35)$$

Burada, OP-AMP'lı fark alıcı devrenin kurulma amacı solar panel ile sürücü arasındaki izolasyon sorunudur. Şarj kontrol ünitesi ile LED sürücü devresi ortak GND'ye sahip olmadığı için gerilim okuması yapılamamaktadır. Bundan dolayı OP-AMP'lı fark yükseltici kurulmuş ve iki devre arası empedans da 1M Ω değerinin üzerinde tutulmaya çalışılmıştır. Bu şekilde nispeten izoleli bir ölçüm yapılmıştır.

OP-AMP çıkışının direkt olarak mikro denetleyicinin ADC ucuna bağlı olmasından dolayı ve ADC referans değerinin 3,3V olması nedeniyle okuyabileceğimiz maksimum gerilim 3,3V olacaktır. OP-AMP'ın kazancı 1 olduğu için R_{13} direnci üzerinde okunabilecek

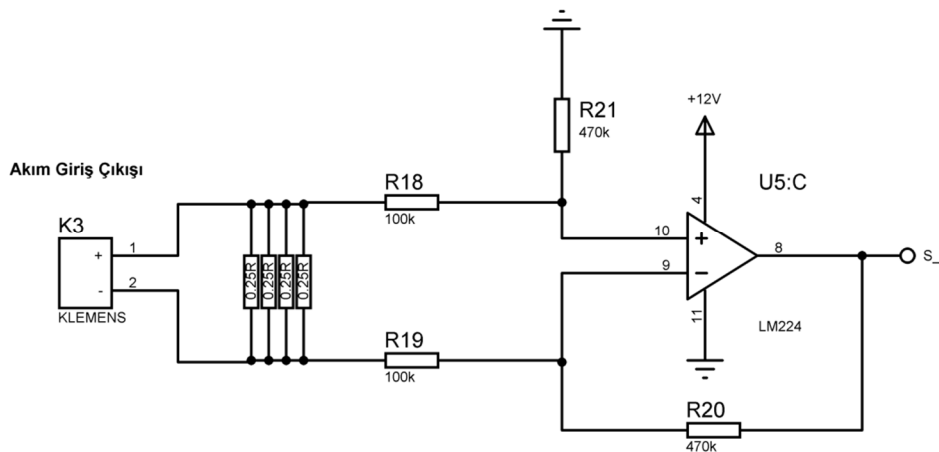
maksimum gerilim değeri 3,3V olabilir. Direnç katsayısı 21 olduğu için okunabilecek maksimum gerilim ise Eş. 5.36 kullanılarak 69,3V olarak hesaplanmıştır.

$$V_{max} = V_{ref} \times k = 3,3 \times 21 = 69,3V \quad (5.36)$$

İki adet PV panelin seri bağlanmasından ve bu panel gerilimlerinin etiket değerlerine göre 21V'u aşmamasından dolayı panel gerilimi maksimum 42V olabilir. Bu yüzden okunabilen değerler sistem için uygundur.

PV panel akımının okunması

Sürücü üzerinde solar panel akımını okumak için oluşturulmuş devre Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12. PV panel akımı okuma devresi

PV panel akımının okunması için de yine izolasyon sorunundan dolayı OP-AMP'lı fark yükselteci devresi kullanılmıştır. Çıkış gerilimi mikro denetleyicinin ADC ucuna bağlı olduğu için V_o maksimum 3,3V olabilir. Böylece akım dirençleri üzerinde oluşacak maksimum gerilim düşümü Eş. 5.37 ile 0,7V olarak hesaplanır.

$$V_{ref} = \frac{R_{20}}{R_{18}} \times (\Delta V) = 3,3 = \frac{470K}{100K} \times (\Delta V) \Rightarrow \Delta V = 0,7V \quad (5.37)$$

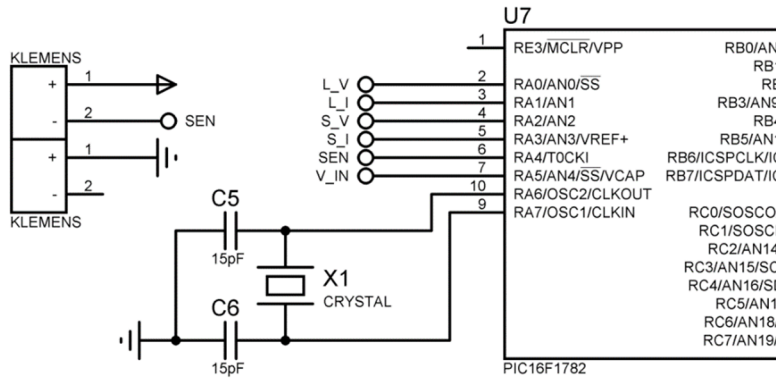
Akım, 0,25Ω değerli dört adet paralel bağlı dirençten geçeceği için bu dirençlerde bir gerilim düşümü oluşturacaktır. Dirençlerde oluşacak maksimum gerilim düşümü 0,7V

olabilir. Yani buradan geçebilecek maksimum akım Eş. 5.38 kullanılarak 11,2A olarak hesaplanır.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{0,7}{\frac{0,25}{4}} = 11,2A \quad (5.38)$$

PV panelin etiket değerine göre; panelin maksimum verebileceği akım değeri 4,85A'dır (Bkz Çizelge 5.1). Bu sebeple okunan değer sistem için uygundur.

Sensör devresi



Şekil 5.13. Devre üzerinde sensör için bırakılmış terminal görüntüsü



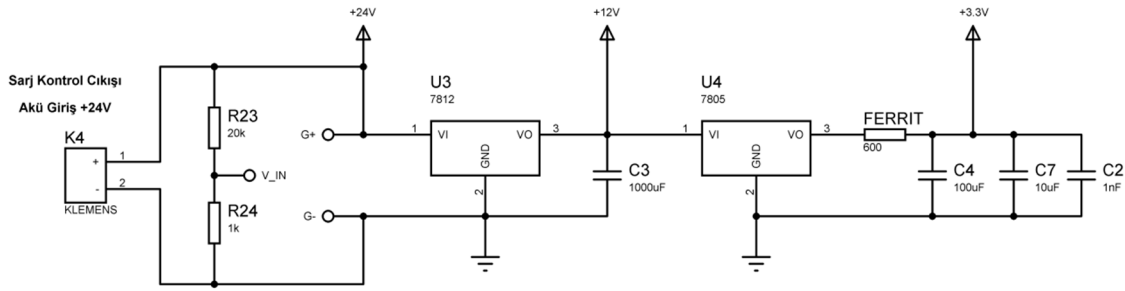
Resim 5.9. Kullanılan sensör görüntüsü

Şekil 5.13'de sürücü üzerine eklenmiş hareket sensörü bağlantı devresi görülmektedir. Resim 5.9'da ise kullanılan hareket sensörü görülmektedir. PIR (Passive Infrared Sensor) hareket sensörü hareketi algılamak için kullanılmış hazır bir devredir. 7 metreye kadar algılama yapabilmektedir. Devre bir PIR algılayıcı bir OP-AMP'lı yükselteç ve diğer pasif devre elemanlarından oluşmuştur. PIR algılayıcı çevreye yayılan kızılötesi ışınları algılamaktadır. Devre ise bu kızılötesi değişimlere göre dijital 0 ya da 1 bilgisi vermek için

ayarlanmıştır. Bu devre çıkış verme süresi ve algılama hassasiyeti değerlerini ayarlamak için 2 adet trimpot mevcuttur.

Regülatör devresi

Şekil 5.14'te sürücü için gerekli olan regülatör devresi görülmektedir. Şarj kontrol çıkışı akü gerilimi ile aynıdır ve iki akü seri bağlı olduğu için 24V değerine sahiptir. Devre elemanları farklı çalışma gerilimlerine sahip olduğu için bu gerilimleri elde etmek gereklidir. Bunu yapmanın en pratik yolu hazır entegre halinde bulunan gerilim regülatörleridir. Bu gerilim regülatörleri gerilim bölücü mantığı ile çalışır. Fazla gerilimi ve bu gerilimin oluşturduğu gücü ısı enerjisine dönüştürürler. Bu sayede istenen gerilimi sağlarlar. Sabit ve ayarlı olanları mevcuttur.

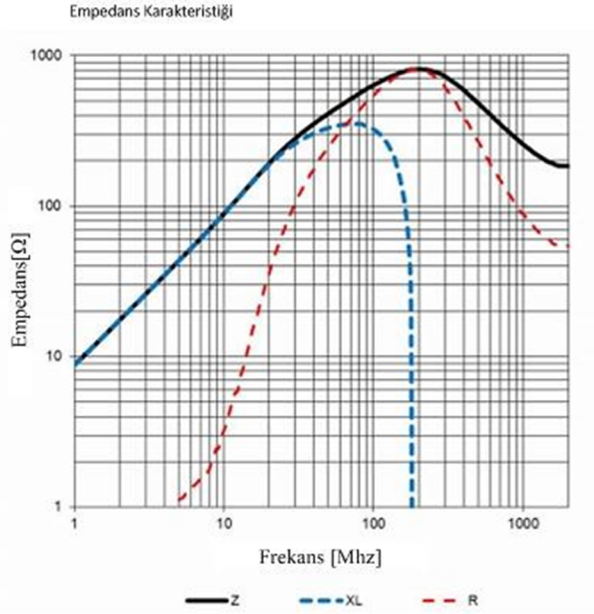


Şekil 5.14. Regülatör bölümü devre şekli

Devre elemanlarına bağlı olarak 2 farklı gerilim seviyesine ihtiyaç oldu. Bu yüzden 12V ve 3,3V olarak 2 farklı regülatör kullanılmıştır. 12V ihtiyacı MOSFET sürücü ve OP-AMP'ın 12V değerinde çalışmasından ve 3,3V ihtiyacı ise mikro denetleyicinin 3,3V değerinde çalıştırılmasındandır. Şekilde görüldüğü gibi regülatör çıkışlarında kapasitörler yer almaktadır. Bunun sebebi regülatör çıkışlarındaki gerilim dalgalanmalarını azaltmaktır. Şekilde görünen ferrit küçük smd direnç şeklinde bir malzemedir. Görevi yüksek frekanslı bileşenlere yüksek empedans göstererek bu bileşenlerin mikro denetleyiciyi etkilemesini önlemektir. Ferrit malzemenin görüntüsü Resim 5.10'da, test karakteristiği ise Şekil 5.15'te görülmektedir.

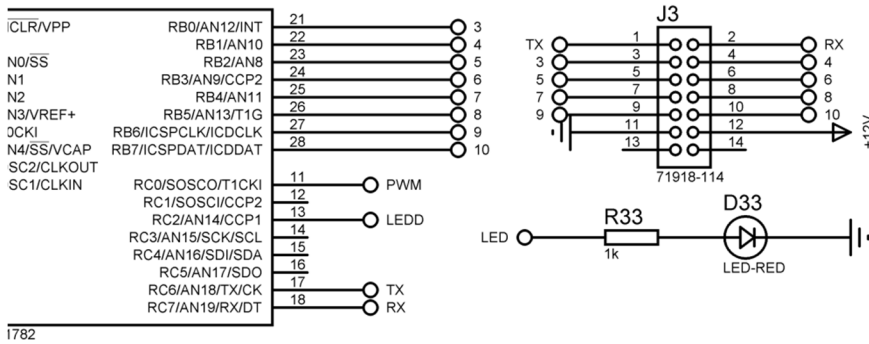


Resim 5.10. Parazit önleyici ferrit malzeme



Şekil 5.15. Ferrit malzeme empedans eğrisi

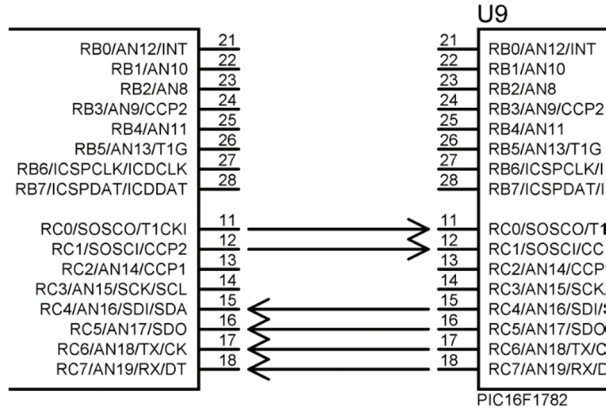
RF haberleşme kartı için bağlantı soketi



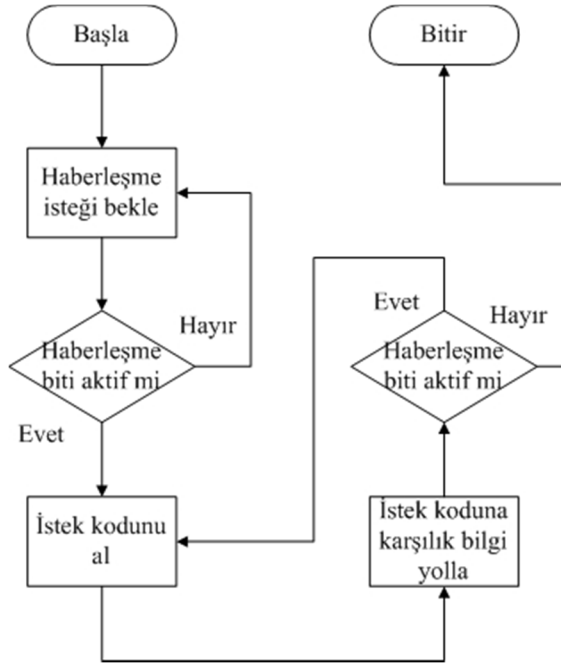
Şekil 5.16. RF haberleşme kartı için ayrılan soket ve mikro denetleyiciye bağlantısı

Şekil 5.16'da haberleşme kartı bağlantısı için ayrılmış IDC soket görülmektedir. Sürücünden aldığı verileri RF yoluyla merkez bilgisayara aktaran devre için hazırlanmış bu soket öncelikle besleme gerilimini sağlamaktadır. Beslemesini sürücünden alan devre ile ayrıca GND (Ground) ortaklaması bu soket sayesinde gerçekleştirilmiş olur. İki devre arası

haberleşme seri porttan yapılabildiği gibi kendi oluşturduğumuz yazılımsal bir yapı da ayrıca kurulmuştur ve daha sağlıklı bir iletişim sağladığı için kendi kurduğumuz yapı kullanılmıştır. Bu yapıda bilgi yollamak için 4 pin bilgi almak için 2 pin toplamda 6 pin kullanılmıştır.



(a)



(b)

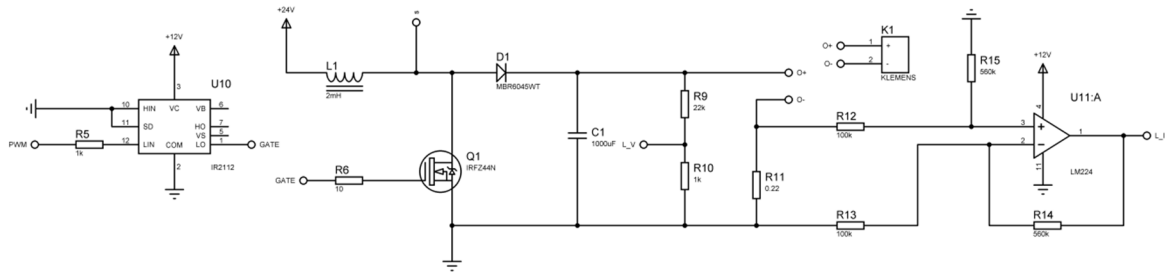
Şekil 5.17. (a) Sürücü-haberleşme kartı bilgi alışverişi, (b) akış diyagramı

Sürücü ile RF kartını birbirine bağlayan 14 pinli IDC soket mevcuttur. Bu sokette kart besleme + ve – uçları RS232 RX (Receive X) ve TX (Transmit X) ucu, ve 8 adet de bilgi alışverişi için pin bırakılmıştır. Aradaki haberleşme öncelikle RS232 haberleşme protokolü

ile yapılmıştır. Fakat iki mikro denetleyici arasında yapılan haberleşme şekli ve yazılımın düzeni nedeniyle yaşanan kilitlenmeler ve veri kayıpları bizi farklı bir iletişim kurmaya yöneltmiştir. Bu sebeple 2 alıcı ve 4 gönderici olmak üzere 6 pinli bir iletişim tasarlanmıştır. Sayılar 2’şer ve 4’er bitlik olarak yollanmıştır (Şekil 5.17 (a)). Alıcı ve gönderici arasındaki bit farkı aradaki bilgi alım ve gönderim şeklini birbirinden ayırdığı için veriler birbirine karışmamakta, kilitlenme yaşanmamakta, sağlıklı bir iletişim sağlanmaktadır.

Sürücünden her istenen bilginin bir kodu vardır ve her biri kendi döngüsünde çalışır. RF alıcı-gönderici devresi sürücünden istediği bilginin kodunu gönderir. Sürücü bu koda karşılık gelen bilgiyi karşılık olarak yollar. Bu sayede bir bilgide aksaklık olsa dahi diğer bilgiler etkilenmez ve aksaklık yaşanan bilgi için de RF alıcı-gönderici devresi bu bilgiyi alamadığı için hafızasında kalan en son bilgiyi yollar. Bu sayede hata oranı düşürülmüş olur. Akış şeması Şekil 5.17 (b)’de görülmektedir.

Yükselten konvertör



Şekil 5.18. Yükselten konvertör bölümü devre çizimi

Şekil 5.18’de sürücü üzerine eklenmiş basit yükselten konvertör devresi görülmektedir. Yükselten konvertör çıkış akımı ve gerilimine göre çıkış gücünü hesaplar. Sürücüye gelen parlaklık miktarı değerine göre sürekli olarak çıkış gücünü olması gereken güç değerine sabitlemeye çalışır. Konvertör anahtarı olarak MOSFET ve MOSFET’i sürmek için de IR2113 entegresi kullanılmıştır. Merkezi işlem birimi aldığı bilgilere göre yaptığı hesaplar doğrultusunda PWM genliğini artırıp azaltmak sureti ile çıkış gücünü yükselten konvertör yardımı ile sabit tutmaya çalışır. Yükselten konvertör kullanmamızın sebebi ise giriş geriliminin çıkış geriliminden düşük olması ve sabit bir çıkış ihtiyacı duyulmasıdır. Eş. 5.39’da konvertör çıkış denklemi verilmiştir.

$$V_o = \frac{V_i}{1-D} \quad (5.39)$$

Kare dalga genliğini ayarlamak için mikro denetleyicinin PWM modülü kullanılmıştır. PWM modülünü kullanabilmek için PWM yazılımsal ayarları yapılması gereklidir.

PWM ayarları

Mikro denetleyicinin PWM'i 16 bit çözünürlüğe sahiptir. PWM ayarları yapılırken periyod, frekans ve görev çevrimi değerlerinin belirlenmesi gereklidir. Periyod değeri Eş. 5.40'tan hesaplanır.

$$T_s = \frac{PSMCxPR[15:0]+1}{Fpsmc_clk} \quad (5.40)$$

PSMCxPR periyod katsayısıdır ve 16 bit değer alabilir. Ayrıca görev çevrimi değeri ile doğrudan bağlantılıdır. Yani buraya yazılan değer görev çevrimi değeri sınırındır. Yazılan değeri orantılı yazmak gerekir. Çünkü yüksek bir değer yazılırsa görev çevrimi değerinin çözünürlüğü yüksek olacaktır fakat frekans da o oranda düşecektir. Bu nedenle bu değer 4000 ve frekans 20KHz olarak alınmıştır. Eş. 5.41-Eş. 5.42'de anahtarlama frekansı hesapları yer almaktadır.

$$T_s = \frac{4000+1}{80000000} = 0,0000500125s \quad (5.41)$$

$$f_{PWM} = \frac{1}{0,0000500125} = 19,995Khz \quad (5.42)$$

Periyot katsayısını 4000 yaptığımız zaman PWM frekansını 20KHz'e ayarlanmış olur. Böylelikle PWM çözünürlüğünü de 4000'e ayarlanmış olur.

$$PSMCxDC[15:0] = (PSMCxPR[15:0] + 1) \times D + PSMCxPH[15:0] \quad (5.43)$$

Eş.5.43'ten de görüldüğü üzere faz adresi (PSMCxPH) 0 olursa D (görev çevrimi) maksimum 1 olabildiği için görev çevrimi adres değeri (PSMCxDC) 4001 olabilir.

Lamba geriliminin 40,6V ve akımın da 1,5A olarak hesaplanmıştı (Bkz. Eş. 5.1-Eş. 5.2). PWM çözünürlüğünü de 4000 olarak ayarlanmıştı.

LED için 750 mA akım değerine karşılık gelen LED gerilimi yaklaşık 3V'tur. 100mA ile 750mA arası akım değişimi ise 2,7V ile 3V arası bir gerilim değişimine tekabül etmektedir (Bkz. Şekil 2.1). Yani 0,3V değişime 650mA'lık değişim denk gelmektedir. Bu değer bir LED için geçerlidir. 14 adet seri bağlı LED için bu değer Eş. 5.44'ten hesap edilir.

$$\Delta V_t = \text{seri adet} \times \Delta V_{LED} = 14 \times 0,3 = 4,2V \quad (5.44)$$

Yani iki paralel kol olduğu da hesaba katılırsa 1300mA artım için 4,2V değişim gereklidir. Minimum ve maksimum görev çevrimi değeri Eş. 5.45-Eş.5.48'den hesaplanır.

$$V_{min} = V_{LEDmin} \times \text{seri adet} = 2,7 \times 14 = 37,8V \quad (5.45)$$

$$D = 1 - \left(\frac{V_i}{V_o} \right) \quad (5.46)$$

$$D_{min} = 1 - \frac{24}{37,8} = 0,36 \quad (5.47)$$

$$D_{maks} = 1 - \frac{24}{3 \times 14} = 0,43 \quad (5.48)$$

Hesaplardan anlaşıldığı gibi görev çevrimi oranı %36 ile %43 arasında değişmektedir. Yani %7 oranında bir değişim söz konusudur. Görev çevrimi değerinin %7'sini kullanmamızdan dolayı görev çevrim adresinin de %7'si kullanılacaktır.

$$PSMCxPR[15:0] \times \frac{7}{100} = 4000 \times \frac{7}{100} = 280 \quad (5.49)$$

Eş. 5.49'da görüldüğü gibi 1300mA değerinde akım 280'de 1 hassasiyetle ayarlanabilmektedir. Minimum akım adımı ise Eş. 5.50'de hesaplanmıştır.

$$I_{min} = \frac{1300}{280} = 4,64mA \quad (5.50)$$

Bu da 4,64mA hassasiyet demektir. Her bir kol akımı hassasiyeti ise 2,32mA'dır. Güç ayar hassasiyeti 100mA referans alınarak Eş. 5.51-Eş. 5.55'ten hesaplanır.

$$V_{min} = \frac{4,2V}{280} = 0,015V \quad (5.51)$$

$$P1 = (V + V_{min}) \times (I + I_{min}) = (37,8 + 0,015) \times (100 \times 10^3 + 4,64) = 3,95W \quad (5.52)$$

$$P2 = (37,8 + 0,015 \times 2) \times (100 \times 10^3 + 4,64 \times 2) = 4,13W \quad (5.53)$$

$$\Delta P = P2 - P1 = 4,13 - 3,95 = 0,18W \quad (5.54)$$

$$\% \Delta P = \frac{\Delta P}{P_{LED}} = \frac{0,18}{60} = 0,003 = \%0,3 \quad (5.55)$$

Hesaplardan anlaşılacağı gibi kurulan sistem için güç ayar hassasiyeti 0,18W yani %0,3 gibi hassas bir değerdir.

Çıkış kapasitörü

Çıkış kapasitörünün görevi çıkış geriliminin dalgalanmasını azaltmaktır.

$$C_o = I_o \times \frac{D_{min}}{f \times \Delta V_r} = I_o \times \frac{D_{min}}{f \times V_o \times \%1} = 1,5 \times \frac{0,36}{20000 \times 40,6 \times 0,01} = 66\mu F \quad (5.56)$$

Formülden anlaşılacağı gibi çıkış gerilimi salınımı akım değerine, görev çevrimine, sürme frekansına ve çıkış kondansatörü değerine bağlıdır. Akım değeri 1,5A, görev çevrimi %36-%43 arası, $V_o=40,6V$, frekansın ise 20KHz olduğu bilinmektedir (Bkz. Eş. 5.2, Eş.5.47-Eş. 5.48, Eş.5.1, Eş. 5.42). Çıkışa ise Eş. 5.56'dan %1'lik bir salınım için minimum 66 μF değerinde kondansatör bağlamak gereklidir.

Bobin hesabı

Giriş bobini konvertörün önemli parçalarından bir tanesidir. Bobin enerjiyi anahtar iletimdeyken depo eden ardından anahtar kesime geçtiği zaman depo ettiği enerjiyi çıkışa aktaran elemandır. Bu sayede çıkış gerilimi bobinde depo edilen enerjinin anahtarın iletimde kalma süresi ile ayarlanmasıyla değiştirilebilir. Bobinin değeri akım salınımını doğrudan etkiler. Akımın salınımı frekans, bobin endüktansı, görev çevrimi ve giriş voltajına bağlıdır. Akım salınımı çıkış akımının %15 olması istenirse Eş. 5.57-Eş. 5.58'den bobin değeri hesaplanır.

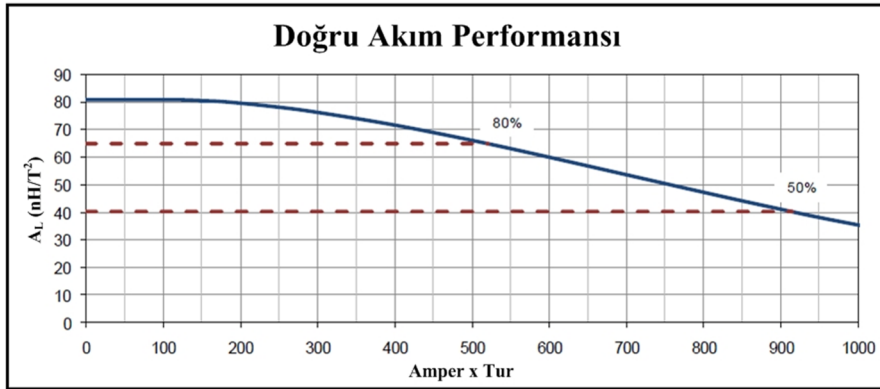
$$L = \frac{V_{in} \times D}{\Delta I_L \times f} \quad (5.57)$$

$$L = \frac{V_{in} \times D}{I_o \times \%15 \times f} = \frac{24 \times 0,43}{1,5 \times 0,15 \times 20000} = 2,3mH \quad (5.58)$$

Bobin nüvesi olarak Magnetics marka MPP serisi C055083A2 kodu olan 40mm çapında bir nüve kullanılmıştır. Bu nüve için kataloğundaki hesaplara göre 2,3mH lik bir bobin sarılmıştır. Resim 5.11’de nüve resmi ve Şekil 5.19’da ise nüve karakteristiği görülmektedir.



Resim 5.11. Magnetics firmasına ait C055083A2 serisi nüve



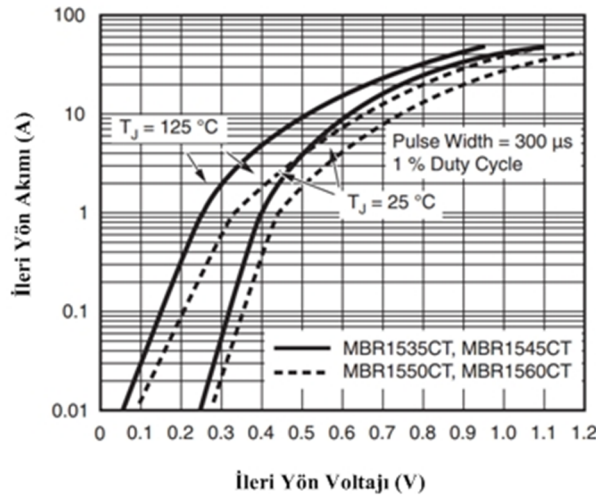
Şekil 5.19. Nüve doğru akım karakteristiği

Nüve kataloğundan alınan bilgilere göre sarım hesabı Eş. 5.59’da yer almaktadır. A_L endüktas katsayısıdır. Değeri katalogdan alınmıştır [45].

$$N = \sqrt{\frac{10^3 \times L}{A_L}} = \sqrt{\frac{10^3 \times 2300}{81}} = 168 \text{ sarım} \quad (5.59)$$

Diyot seçimi

Diyot olarak MBR1560CT schotky diyotu kullanılmıştır. Maksimum gerilimi 60V maksimum akımı 15A'dır. Üzerindeki maksimum gerilim düşümü ise 0,75V'tur. Şekil 5.20'de belirtilen ileri yön voltaj grafiği diyotun kataloğundan alınmıştır.



Şekil 5.20. Kullanılan diyot ileri voltaj karakteristiği

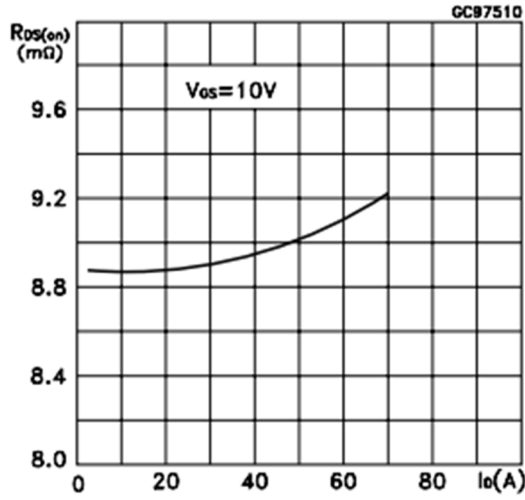
25 derece sıcaklıkta 1,5A akımda Şekil 5.20'de görüldüğü üzere yaklaşık olarak 0,37V gerilim düşümü oluşmaktadır [46]. Diyot üzerinde harcanan güç Eş. 5.60-Eş. 5.61'de verilmiştir [48].

$$P_d = I_{rms} \times V_F = \left(D \times \frac{V_i}{L \times f} \times \frac{\sqrt{1-D}}{\sqrt{3}} + \frac{I_o + D \times \frac{V_i}{L \times f} \times (D-1) \times \frac{1}{2}}{1-D} \times \sqrt{1-D} \right) \times V_F \quad (5.60)$$

$$P_d = 0,69W \quad (5.61)$$

MOSFET Seçimi

Kullanılacak anahtar olarak bir MOSFET seçilmiştir. Seçim sebebi ileri yön direncinin düşük olması ve düşük güçlü bir uygulama olmasındandır. MOSFET olarak ise STM'nin ST75NF75 serisi seçilmiştir. Drain-source arası gerilimi 75V'a kadar çıkarılabilir. İleri yön akımı ise 70A'e kadar çıkabildiği için kullanmamız uygun olacaktır. İleri yön direnci ise maksimum 11mΩ'dur [47].



Şekil 5.21. Kullanılan MOSFET iç direnç karakteristiği

Şekil 5.21’de MOSFET’in kataloğundan alınan ileri yön direnç eğrisi görülmektedir. Görüldüğü üzere drain akımı 20A’e kadar ileri yön direnci 8,9mΩ’un altındadır.

Anahtar kayıpları

İletim kayıpları

Eş. 5.62-Eş. 5.64’te MOSFET iletim kayıpları hesaplanmıştır. İletim kaybı drain akımının etkin değerinin karesi ile MOSFET iç direncinin çarpılması sonucu bulunur [48].

$$P_{mi} = I_{rms}^2 \times R_{DSon} \quad (5.62)$$

$$P_{mi} = \left(\frac{D \times V_i}{L \times f} \times \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{3}} + \sqrt{D \times \left(\frac{2 \times I_o + D \times \frac{V_i}{L \times f} \times (1-D)}{2 \times (1-D)} - D \times \frac{V_i}{L \times f} \right)^2} \right)^2 \times R_{DSon} \quad (5.63)$$

$$P_{mi} = 0,019W \quad (5.64)$$

Gate kayıpları

Eş. 5.65’te gate kayıpları hesaplanmıştır [48].

$$P_g = \frac{1}{2} \times Q_g \times V_{GS} \times f_s = 0,003W \quad (5.65)$$

Anahtarlama kayıpları

Eş. 5.66'da anahtarlama kayıpları yer almaktadır [48].

$$P_s = \frac{1}{2} \times (t_{rise} + t_{fall}) \times I_{rms} \times V_{DS} \times f_s = 0,04W \quad (5.66)$$

MOSFET kapasite kaybı

Eş. 5.67'de MOSFET kapasite kaybı hesaplanmıştır [48].

$$P_s = \frac{1}{2} \times C_{oss} \times V_{DS}^2 \times f_s = 0,5 \times 730 \times 10^{-12} \times 24^2 \times 20000 = 0,004W \quad (5.67)$$

Bobin kayıpları

Eş. 5.68'de bobin hesapları görülmektedir [48].

$$P_L = I_{rms}^2 \times R_L = \left(D \times \frac{V_i}{L \times f_s} \times \frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{I_o + D \times \frac{V_i}{L \times f_s} \times \frac{D-1}{2}}{1-D} \right)^2 \times R_L = 1,507W \quad (5.68)$$

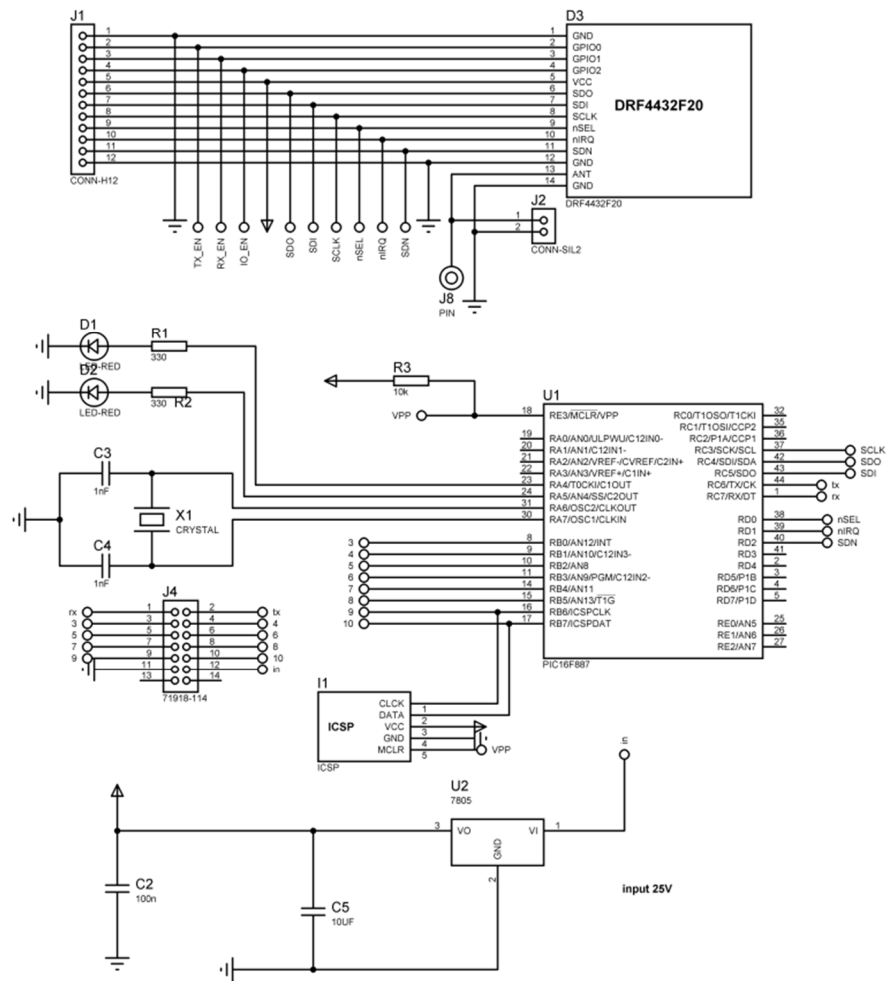
Yapılan kayıp hesapları doğrultusunda konvertör verimi Eş. 5.69-Eş. 5.70'ten hesaplanır. Bu kayıplara ek olarak akım okumak için kullanılmış seri direnci de eklemek gereklidir. Seri direnç üzerindeki güç kaybı 0,5W değerindedir (Bkz. Eş. 5.20).

$$P_k = 0,69 + 0,018 + 0,003 + 0,04 + 0,004 + 1,507 + 0,5 = 2,762W \quad (5.69)$$

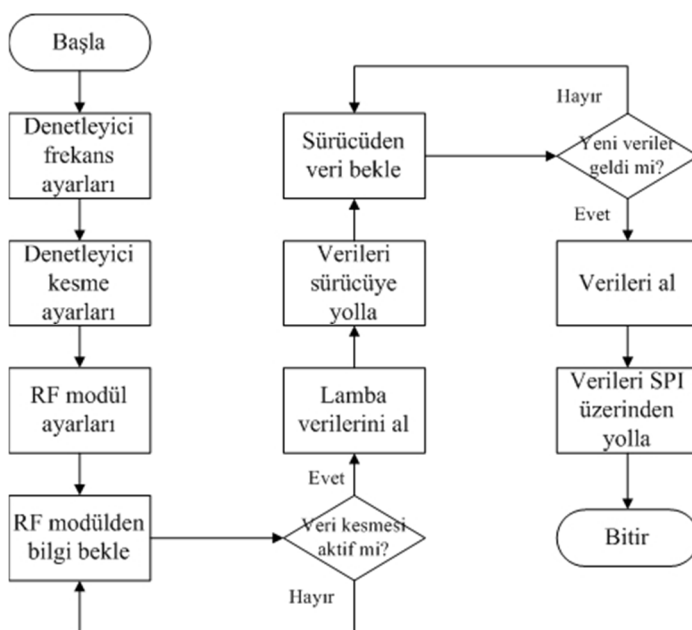
$$\eta = \frac{P}{P+P_k} = \frac{60}{60+2,762} = 0,956 \quad (5.70)$$

5.6. Sürücü Haberleşme Kartı

Şekil 5.22'de sürücü RF haberleşme kartı devre şeması görülmektedir. Haberleşme kartı sürücüye IDC (Insulation-Displacement Connector) soketle bağlanır. Görevi ise sürücüden aldığı bilgileri bilgisayar alıcısına aktarmak ve sürücüye gitmesi gereken bilgileri toplayıp sürücüye göndermektir. Şekil 5.23'de haberleşme kartı blok diyagramı görülmektedir. RF modül olarak Dorji marka DRF4432F20 isimli modül kullanılmıştır.



Şekil 5.22. RF haberleşme devre şeması



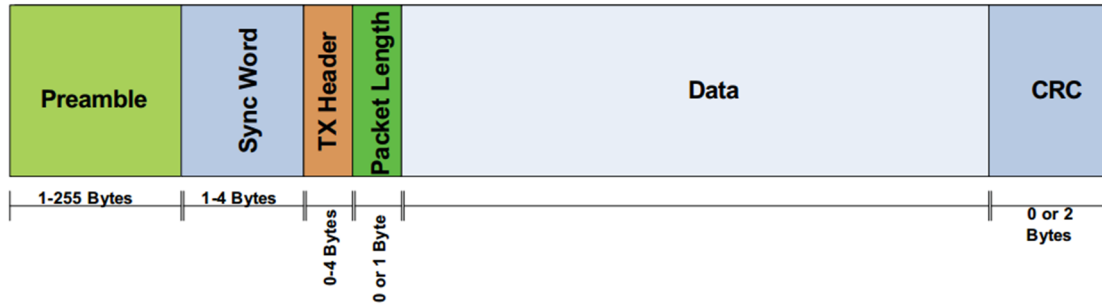
Şekil 5.23. RF haberleşme kartı blok diyagramı

Resim 5.12’de görülen bu modül Silikon Labs’ın Si4432 entegresi kullanılarak tasarlanmıştır. Üstün özelliklere sahip olan bu modül bir alıcı-gönderici olarak çalışır.



Resim 5.12. Kullanılan RF modül resmi

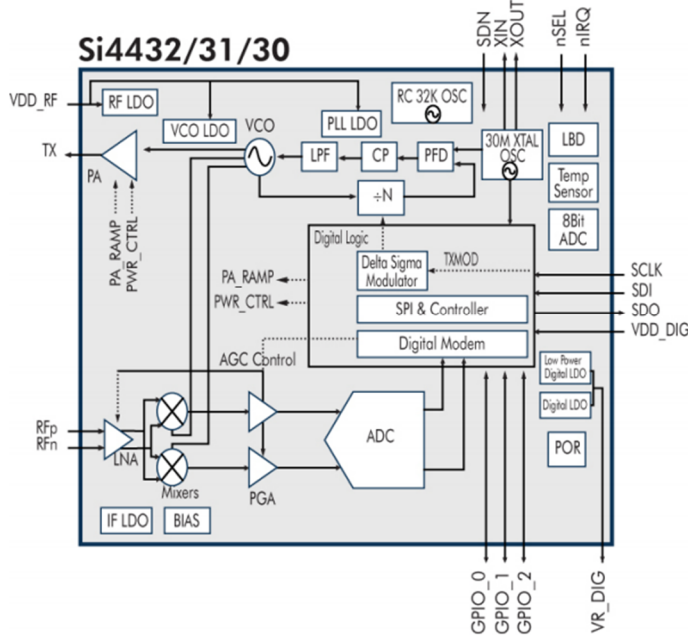
240-930MHz arası 10MHz’lik aralıklarla ayarlanabilen bir frekans aralığı vardır. Veri aktarımı 256kbps hızına kadar çıkabilir. Düşük güç tüketimine sahiptir ve alıcı modda maksimum 20mA harcar. Bir defada 64byte veri yollayabilir. 256byte değerine kadar başlangıç biti verilebilir. Ayrıca 4byte’lık senkronizasyon kodu eklenebilir. Bu sayede sağlıklı bir iletişim gerçekleşmiş olur. Veri paketi şekli Resim 5.13’te verilmiştir [42].



Resim 5.13. RF modül gönderim paketi şekli

Mikro denetleyici olarak Microchip firmasının PIC16F887 entegresi kullanılmıştır. Bu entegrenin özellikleri bizim için yeterli seviyededir. 20 MHz işlemci hızına sahiptir. Denetleyicinin SPI iletişimi, Timer0 kesmesi, giriş ve çıkış portları kullanılmıştır.

5.6.1. DRF4432F20 modül yazılımsal ayarları



Şekil 5.24. RF modül kontrol entegresi blok diyagramı

Şekil 5.24'te Si4432 entegresi blok diyagramı görülmektedir. RF modülün sağlıklı çalışabilmesi için konfigürasyon ayarlarının yapılması gereklidir. Bu ayarlar aşağıda sıralanmıştır.

- ❖ Kesme durumları
- ❖ Modül çalışma frekansı
- ❖ Dijital çıkışlar
- ❖ Alıcı mod
- ❖ Manchester kod
- ❖ Otomatik frekans kalibrasyonu
- ❖ Tx örnekleme oranı
- ❖ Senkron kelime boyutu-
- ❖ Başlangıç biti boyutu
- ❖ Bilgi paketi boyutu
- ❖ Senkron kelime seçimi
- ❖ Tx maksimum akım
- ❖ Frekans kanal seçimi

Bu ayarları yaparken SPI iletişimi ile Si4432 entegresinin katalogundaki adres bilgileri kullanılarak yapılmalıdır. Bant frekansı hesapları Eş. 5.71 - Eş. 5.72’de verilmiştir.

$$f = f_{nom} + f_{hs}[7 : 0] \times (f_{hch}[7 : 0] \times 10kHz) \quad (5.71)$$

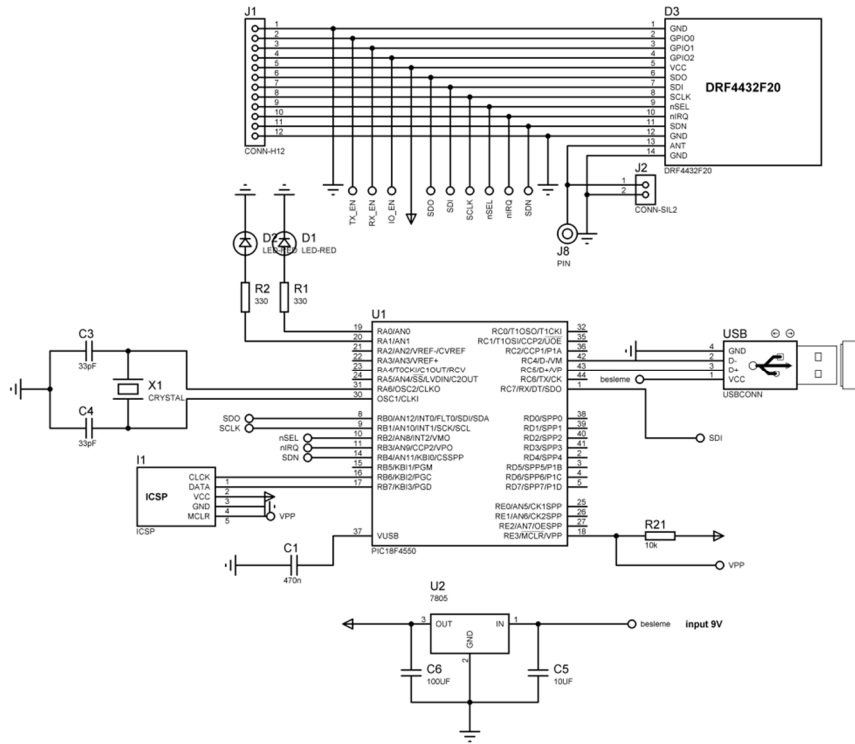
$$f = 430 + 0 \times 0 \times 10Khz = 430Mhz \quad (5.72)$$

Nominal taşıyıcı frekansı 430MHz olarak ayarlanmıştır. Adres ve hesaplamalar RF entegresinin katalogunda mevcuttur [42].

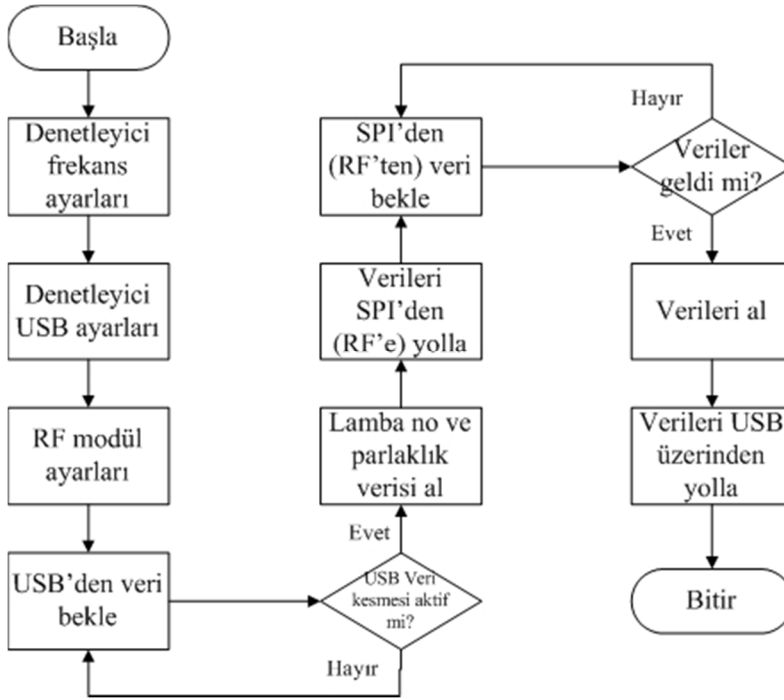
Bu modül kullanım alanları olarak; uzaktan kumanda, ev alarm ve güvenlik, akıllı ev otomasyonları, kablosuz bilgisayar uygulamaları, endüstriyel kontrol, tıbbi izleme ve uzaktan anahtarsız giriş gibi uygulamalarda kullanılan bir modüldür [42].

5.7. USB Üzerinden Bilgisayara Bağlanan Veri Toplama Kartı

RF USB (Universal Serial Bus) veri toplama devresi sürücüye bağlanan RF kartından yollanan bilgileri alıp USB üzerinden bilgisayara göndermek ve bilgisayardan alınan bilgileri ise RF üzerinden sürücüye aktarmak için tasarlanmış bir karttır. Şekil 5.25’te devre şeması görülmektedir. Bu kartta da yine RF modül olarak DRF4432F20 kullanılmıştır. Mikro denetleyici olarak ise PIC18F4550 kullanılmıştır. Bu denetleyici USB modüle sahip olduğu için seçilmiştir. Şekil 5.25’te ICSP (In Circuit Serial Programing) adı altında bir çıkış bırakılmıştır. Bunun nedeni kullandığımız entegrenin SMD olması ve çıkarılamaması nedeniyle programlanmasının sağlanması içindir. Şekil 5.26’da blok diyagramı yer almaktadır.



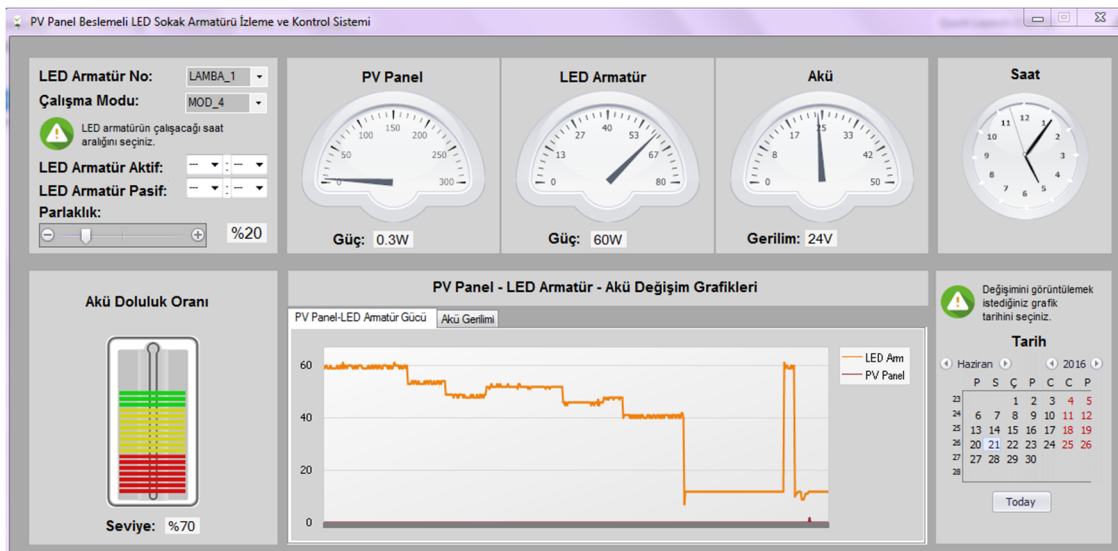
Şekil 5.25. USB veri toplama kartı devre şeması



Şekil 5.26. USB veri toplama kartı blok diyagramı

5.8. Bilgisayar Arayüzü

Resim 5.14'te görülen arayüz C# ortamında tasarlanmış sistemin izlemesini ve kontrolünü tek bir merkezden yapabilen bir arayüzdür. Bu arayüzde gerçek zamanlı olarak panel ve lamba gücü akü seviyesi gibi değerler görülebilmekte, bilgisayar belleğine kaydedilebilmekte ve tarih seçerek grafiği çizdirilebilmektedir. Lambanın parlaklığı istenirse anlık istenirse de mod seçenekleriyle planlanan şekilde ayarlanabilir. Zamanlayıcısı ile istenildiği vakit açıp kapatılabildiği gibi güneşin doğuşuyla da aktif olabilir. Çeşitli mod seçenekleri ile lambanın daha verimli kullanılması sağlanabilir. Arayüz kontrol verilerini USB portu üzerinden haberleşme kartına yollar ve gelen verileri de alıp kaydeder. Bu verileri gerçek zamanlı olarak seçilen lamba numarasına göre ekranda gösterir. Anlık olarak lamba, panel ve akü grafikleri çizdirilebildiği gibi önceki bir tarihin grafikleri de çizdirilebilir.



Resim 5.14. Bilgisayar arayüz görüntüsü

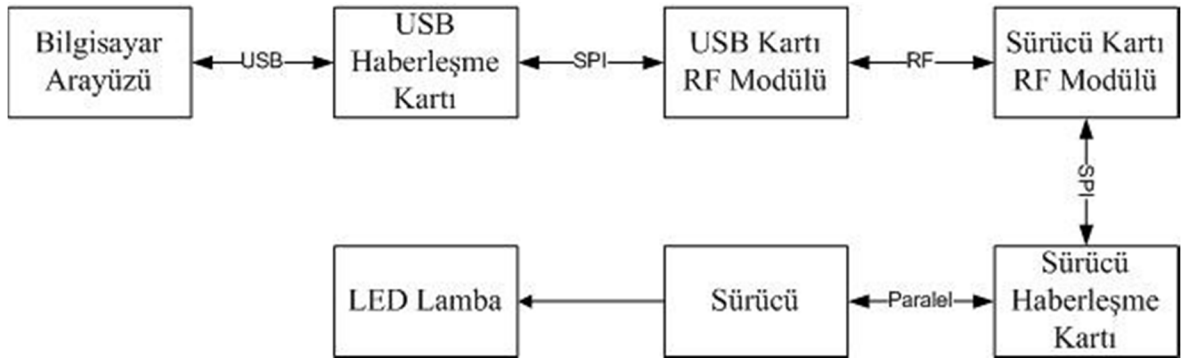
5.9. Sistem İçi Haberleşmeler

Resim 5.15'te görüldüğü gibi merkeze bağlı olan lambalar bir merkezden kontrol edilir. Sistem toplama bir içeriğe sahip olduğu için içerisinde birkaç haberleşme protokolünü barındırır. Bilgisayar ile haberleşen kart USB kablo ile haberleşir. USB kartı işlemcisi ile RF modül de kendi aralarında SPI ile iletişim kurar. USB kartı ile sürücü haberleşme kartı ise 430Mhz'lik bir radyo sinyali ile haberleşir. Sürücü ile sürücü haberleşme kartı arasında

paralel iletişim vardır. Bu iletişimde 2 gönderici uç ve 4 adet de alıcı uç vardır. Böylelikle sistem 4 farklı iletişim türünü bünyesinde barındırmaktadır. Şekil 5.27’de blok diyagramı görülmektedir.



Resim 5.15. LED lambalar ile bilgisayar haberleşme şekli

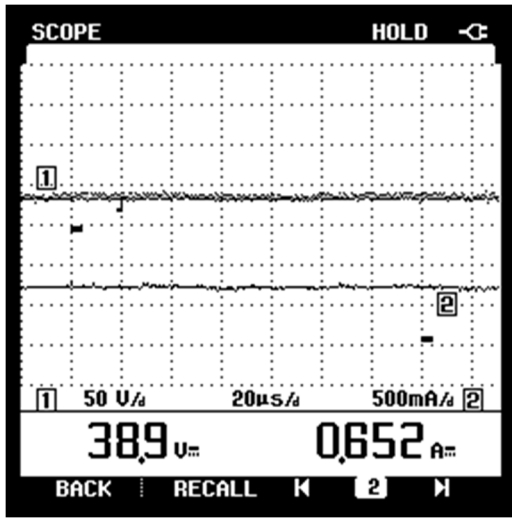


Şekil 5.27. Sistem haberleşmeleri blok diyagramı

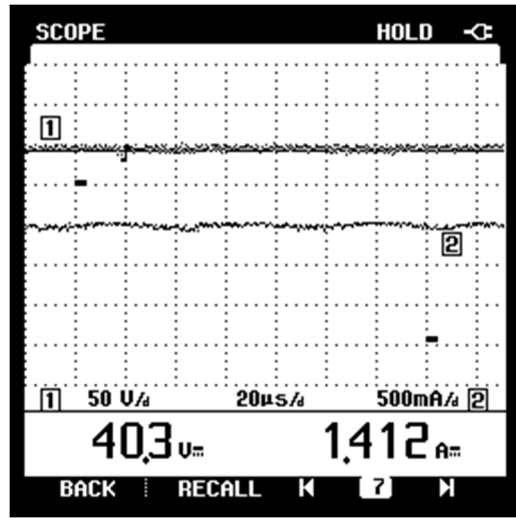
6. TASARIM TESTLERİ

6.1. Sürücü Testleri

Sürücü çıkış akım ve gerilim sinyalleri Fluke 43B Power Analizör ile analiz edilmiştir. Bu analizler %40 ve %100 parlaklık değerlerinde yapılmışlardır. Şekil 6.1’de sinyallerin görüntüleri verilmiştir.



(a) % 40 performans

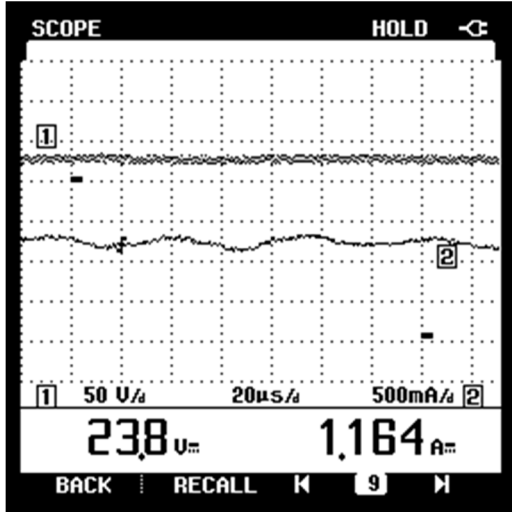


(b) % 100 performans

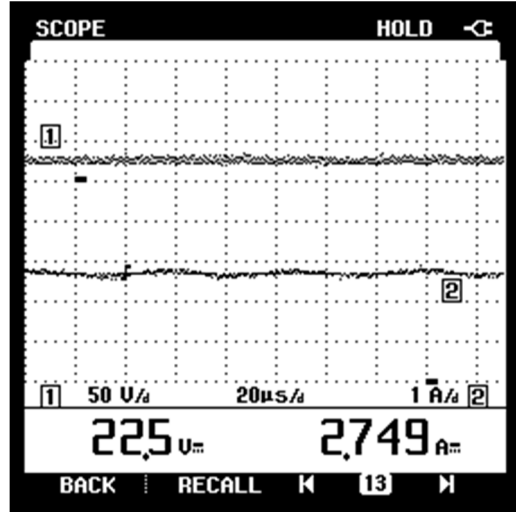
Şekil 6.1. LED lamba çıkışı akım ve gerilim sinyal şekilleri

Çıkış akım ve gerilim sinyalleri incelendiğinde DC sinyallerin gürültüsüz ve sabit bir çıkış olduğu görülmektedir. Ayrıca güç değeri arttıkça da herhangi bir bozulma gözlenmemiştir.

Giriş akım ve gerilimi de yine aynı şekilde %40 ve %100 performansta analiz edilmiştir. Şekil 6.2’de sinyal görüntüleri görülmektedir.



(a) % 40 anahtarlama

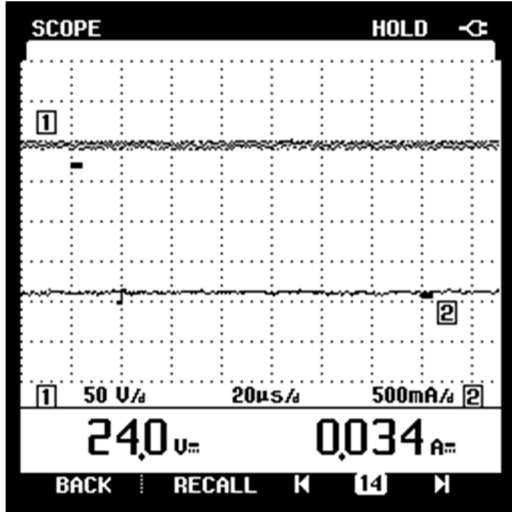


(b) %100 anahtarlama

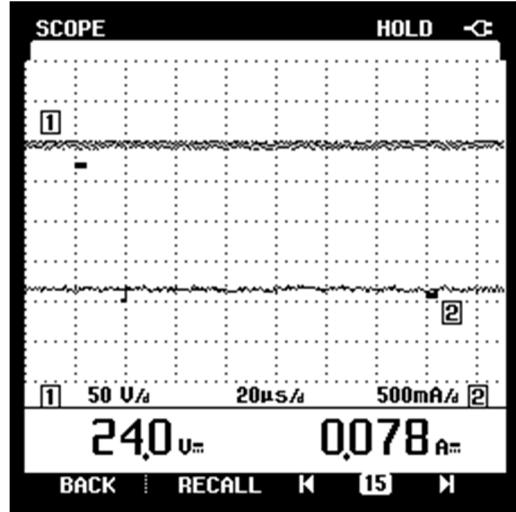
Şekil 6.2 Sürücü girişi akım ve gerilim sinyal şekilleri

Sinyal şekillerinden görüldüğü gibi giriş gerilimi çıkıştan daha düşük giriş akımı çıkış akımından daha yüksektir. Yine sürücü yüklendikçe kaynak gerilimi düşmektedir. Kaynak geriliminin düşmesi çekilen akımın yükselmesine neden olacaktır. Akımın artması ise kayıpların artmasına yol açacağı için verimi düşürecektir.

Sürücü verimini hesaplayabilmek için sürücüye bağlı olan haberleşme kartının harcadığı gücü de tespit etmek gereklidir. %0 parlaklık değerinde yapılan ölçüm ile haberleşme kartının çektiği akım ve gerilim verileri de analiz edilmiştir. Şekil 6.3'te bu sinyaller görülmektedir.



(a) Boştaki tüketim



(b) Veri bekleme modu tüketimi

Şekil 6.3. Haberleşme kartı tüketimi

Şekil 6.3'te boştaki tüketim, $I_{boş}=0,034A$ ve veri bekleme modu, $I_{bekleme}=0,078A$ olarak görülmektedir. Bu durumlar süre bakımından yaklaşık olarak eşittir. Böylece haberleşme kartı tüketimi, $P_{RF}=1,3W$ olarak Eş. 6.1'de hesaplanmıştır.

$$P_{RF} = \frac{P_1 \times P_2}{2} = \frac{V_{in} \times I_{boş} \times V_{in} \times I_{bekleme}}{2} = \frac{24 \times 0,034 + 24 \times 0,078}{2} = 1,3W \quad (6.1)$$

Sürücü verimi Eş. 6.2-Eş. 6.7'den hesaplanır.

$$P_{o-\%40} = V_o \times I_o = 38,9 \times 0,652 = 25,36W \quad (6.2)$$

$$P_{in-\%40} = V_{in} \times I_{in} - P_{RF} = 23,8 \times 1,164 - 1,3 = 26,4W \quad (6.3)$$

$$\eta_{\%40} = \frac{P_{o-\%40}}{P_{in-\%40}} = \frac{25,36}{26,4} = 0,96 \quad (6.4)$$

$$P_{o-\%100} = V_o \times I_o = 40,3 \times 1,412 = 56,9W \quad (6.5)$$

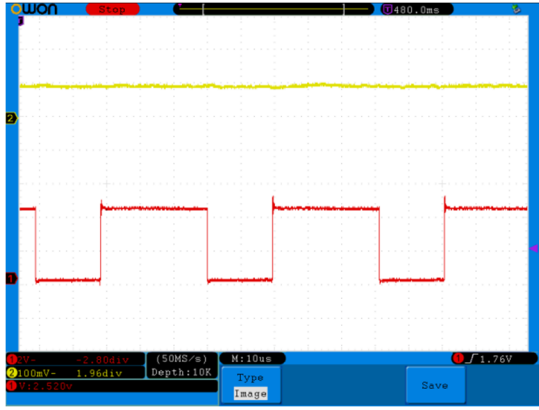
$$P_{in-\%100} = V_{in} \times I_{in} - P_{RF} = 22,5 \times 2,749 - 1,3 = 60,55W \quad (6.6)$$

$$\eta_{\%100} = \frac{P_{o-\%100}}{P_{in-\%100}} = \frac{56,9}{60,55} = 0,939 \quad (6.7)$$

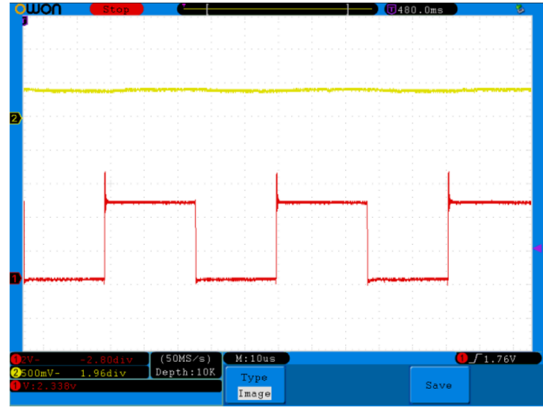
Sürücünün Eş. 6.4'te %40 performans verimi ve Eş. 6.6'da %100 performans verimi verilmiştir. Görüldüğü gibi sürücü yükü ile verim ters orantılı olarak değişmektedir.

Sürücünün maksimum performanstaki verimi $\eta_{\%100} = \%93,9$ değerindedir. Böylece test sonuçları ile teorik ve simülasyon sonuçları uyumludur (Bkz. Eş. 5.14, Eş. 5.70). Ayrıca konvertör verimi de oldukça yüksektir.

Sürücü anahtarı üzerindeki gerilim ile çıkış akımı dalga şekilleri Şekil 6,4'te görülmektedir.



(a) %40 performans için

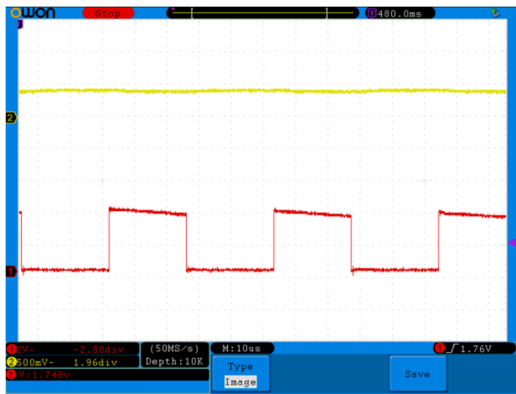


(b) %100 performans için

Şekil 6.4. MOSFET drain gerilimi ve çıkış akımı dalga şekilleri

Şekil 6.4 (b)'de görüldüğü gibi anahtar üzerinde pikler oluşmaktadır. Bu pikler snubber devreleri yardımıyla söndürülebilir. Burada pikler %100 performansta maksimum 60V değerine çıkmışlardır. Kullandığımız MOSFET nominal çalışma gerilimi ise 75V değerindedir. Bu sebeple snubber devresi kullanmaya gerek duyulmamıştır.

Şekil 6.5'te ise kontrol sinyali olan PWM sinyali görülmektedir.



Şekil 6.5. Anahtar kontrol sinyali

Şekil 6.5'te görülen anahtarlama sinyali %100 performans durumuna aittir. Görüldüğü gibi herhangi bir bozulma ya da parazit oluşmamaktadır. Böylece tasarladığımız sürücünün istenen şartlara uygun olduğunu söyleyebiliriz.

6.2. Çoklu Modlu Çalışma

Güneş enerjili lamba için verim, PV panelden alınan gücün tamamının kullanılmasının yanı sıra aynı zamanda bu gücün geceye yayılarak kesintisiz kullanılması anlamına gelir. Çoklu modlu çalışmada lambanın farklı modlarda çalıştırılması ve güç/ışık şiddeti verilerinin incelenmesi bunun sonucu olarak hangi durumda hangi modda çalışılacağına seçilmesi böylelikle hiçbir zaman lambanın sönmemesi ve maksimum fayda ile kullanılması amaçlanmıştır.

Bilindiği gibi yaz aylarında ve kış aylarında güneşlenme oranları farklılık gösterir. Bu nedenle bir gün aküler aşırı şarj oluyorken bir diğer gün lamba yeterince yanacak enerjiyi bulamayabilir. Bunun için piyasada genellikle gereğinden bir miktar fazla kapasiteye sahip akü ve panel kullanılmaktadır, ya da belirli bir süre sonra lamba parlaklığının kısılması şeklinde bir tasarruf sağlanmaktadır.

Bu çalışmada test amacıyla 4 farklı senaryo (mod) ortaya konulmuş, bu modlar incelenerek lamba gücü ve ışık değerleri elde edilmiş daha sonra gün içinde kaydedilmiş olan güneşlenme ve akü değerlerine göre çalışma modu seçimi sağlanmıştır. Bu şekilde mevcut enerjiyi maksimum verimle kullanırken optimum şartların da korunması amaçlanmıştır.

Mod 1; Lamba hareket sensöründen bilgi almadığı takdirde kendini %20 güce ayarlar. Bir hareket algıladığı zaman ise parlaklık %100'e çıkar.

Mod 2; Lamba tam güçte çalışır. Lamba 10 saat boyunca %100 parlaklık değeri olan 60W güçte çalışır. Hareket sensörü aktif değildir. Bu mod akünün içinde yeterinden çok fazla depolu enerji varsa sistem tarafından otomatik olarak seçilir ve mevcut enerjinin maksimum fayda ile kullanımını amaçlar.

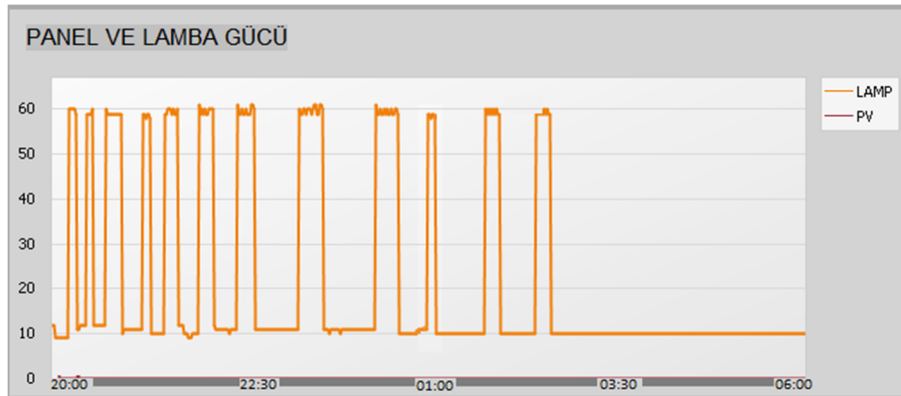
Mod 3; Lamba hava kararmasından itibaren yüzde yüz performans ile çalışmaya başlar. Gece ilerledikçe kalabalığın azalacağı düşünüldükçe parlaklık kademeli olarak azaltılır.

Gece 3'ten sonra ise minimum değer olan %20 değere iner ve bu andan itibaren gecenin sonuna kadar bu şekilde çalışmaya devam eder.

Mod 4; Hareket sensörünün belirli bir aralıkta aldığı bilgi sayısı hesaplanır. Bu hesaba göre yoğunluk hesaplanmış olur ve yoğunluk oranında parlaklık ayarlanır.

1. Mod

Şekil 6.6'da akşam saat 20.00 ile sabah 06.00 arası lamba gücü değişim eğrileri görülmektedir. Bu modda hareket sensöründen gelen bilgiye göre parlaklık %100 ile %20 arasında değişmektedir. Sistem bir hareket algıladığı zaman lamba gücü maksimuma kadar çıkarak 3dk boyunca maksimumda kalmaktadır. Sensörden hareket algılanmaya devam ettiği sürece 3 dakikalık bekleme süresi yenilenmektedir. Yani eğer sensörden 3dk boyunca hareket bilgisi gelmez ise sistem kendini tasarruf modu olan %20 parlaklık değeri yani 12W güce ayarlayacaktır. Bu performansın dezavantajı ise sürekli olarak parlaklık değişimidir ve ışığın dengesiz olmasından dolayı yerel halkı rahatsız edebilir.

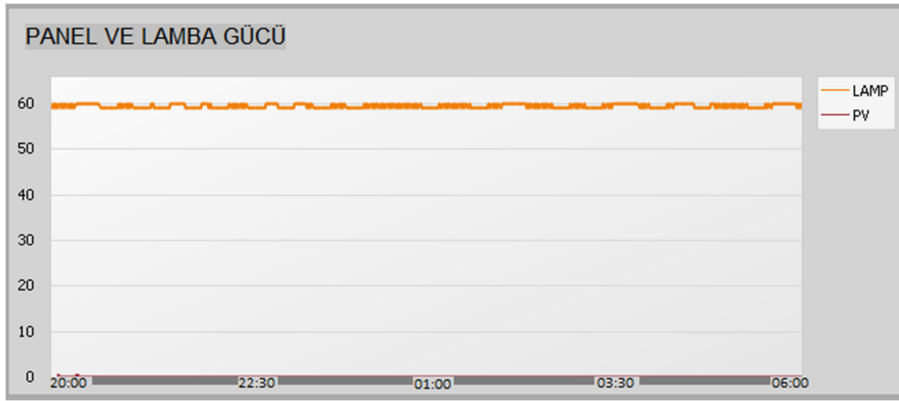


Şekil 6.6. 1. mod için LED lamba harcanan güç grafiği

Sistem ayrıca harcanan ortalama gücü de hesaplamaktadır. Saat başına harcanan güç sistem tarafından 20,998W olarak hesaplanmıştır. Yani bu sistem ve mod için harcanan enerji maksimum enerjinin %35'i kadardır.

2. Mod

Herhangi bir tasarruf ya da dim söz konusu olmayan bu mod akü içerisinde yeterinden fazla enerji bulunması durumunda seçilir. Akü tam dolu olduğu zaman bu mod etkin olacaktır. Mod grafiği Şekil 6.7’de görülmektedir.

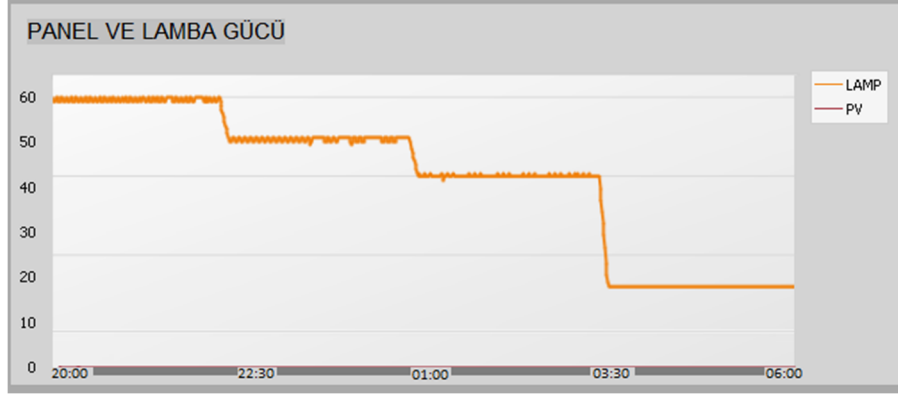


Şekil 6.7. 2. mod için LED lamba harcanan güç grafiği

Bu modun konulmasının en önemli sebebi yaz aylarında aküde depolanan enerji bir günde harcanabilecek maksimum enerjiden fazla olabilir ve bu durumda tasarruf yapmamız gereksiz hale gelebilir. Zira aküde sürekli depolu olan ve hiç kullanılmayan fazla enerji hiçbir işimize yaramamış olur. İşte sistem bunu önlemek ve eldeki enerjiyi maksimum fayda ile kullanmak için tam kapasitede çalışmaya geçer. Bu durumda harcanan gücün ortalama değeri sürekli 60W değerinde çalıştığı için yaklaşık olarak 60W’tır. Bu da gece boyunca 600Wh enerji demektir.

3. Mod

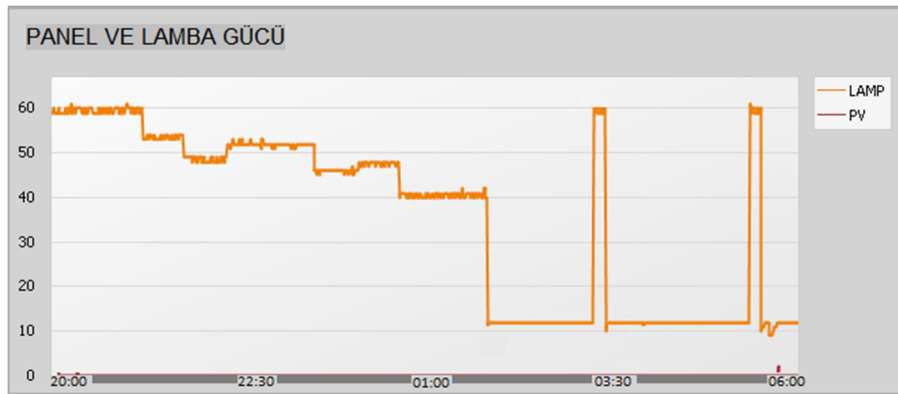
Şekil 6.8’de görünen çalışma modu ise yine hareket sensöründen bağımsız çalışmakta olan bir moddur. Modun çalışma mantığı gereği lamba yanmaya başladığından itibaren tam performansta çalışmaktadır. Sonra sistem gücü gece ilerledikçe yavaş yavaş düşürmektedir. Bunun sebebi gecenin ilerleyen saatlerinde kalabalığın azaldığının düşünülmesidir. Bu modun ortalama gücü sistem tarafından $P_{ort}=40,48W$ olarak belirlenmiştir. Yani bu sistem ve mod için harcanan güç maksimum gücün %67’i kadardır.



Şekil 6.8. 3. mod için LED lamba harcanan güç grafiği

4. Mod

Dördüncü mod hareket sensörüne bağımlı çalışan bir moddur. Şekil 6.9'da mod grafiği görülmektedir. Bu modda hareket sensörü belirlenen süre çerçevesinde hareket sayımı yapmakta ve buna göre bir güç seviyesi belirlemektedir. Gecenin belirlenen bir noktasından sonra sistem tasarruf moduna girer ve güç 12W değerine düşer. Hareket sensörü hala devrede olduğu için sensör bir hareket yakaladığında sistem tekrar tam güce geçer. Hareketten sonra tekrar 12W değerine geri döner. Sistem manuel şekilde ayarlanmış olarak 30 dakikalık değerler ile sayım yapmaktadır. İlk yarım saatlik süre içerisinde alınan sayım değeri maksimum olarak atanır. Lambanın maksimum değeri 60W ve minimum değeri de bu mod için 12W'tır. Tasarruf evresi tam güçte kalma süresi ise 5 dakikadır. Bu modun avantajı yoğunluk sayısına göre lamba parlaklığını ayarlamasıdır. Bu sayede kimse yokken düşük performansta çalışırken kalabalık olduğunda ise yüksek performans sağlar. Böylelikle lamba gücünün faydalı kullanımı sağlanmış olur.



Şekil 6.9. 4. mod için LED lamba harcanan güç grafiği

Gece boyunca sistemin harcadığı ortalama lamba gücü sistem tarafından hesaplanmış ve 35,58W bulunmuştur. Yani sistem gece boyunca maksimum gücün %59'u kadar enerji harcamaktadır.

6.3. Çoklu Mod Çalışma için Akü Kapasite Belirleme

Sistemimizin 4. modundaki çalışmada hesaplanan 35W'lık ortalama değeri baz alırsak ve 10 saat çalışacağı varsayılırsa günlük tüketilen enerji Eş. 6.8'da görülmektedir.

$$W = P \times h = 35 \times 10 = 350Wh \quad (6.8)$$

Yıllık ortalama güneşlenme süresi 3,9 saattir (Bkz. Çizelge 4.1). Panel gücü ve akü kapasitesi Eş. 6.9-Eş. 6.10'den hesaplanır.

$$P = \frac{W}{h} = \frac{350}{3,9} = 89W \quad (6.9)$$

$$I = \frac{W}{V_{in}} = \frac{350}{24} = 14,5Ah \quad (6.10)$$

Bu hesaplar doğrultusunda 2 adet 45W PV panel ve 2 adet 14Ah akü yeterli olacaktır. Çizelge 6.1'de Ankara için yıllık ortalama değere göre hesaplanmış akü ve panel değerleri normal çalışma ile çoklu mod çalışması karşılaştırılması verilmiştir (Bkz. Eş. 5.10, Eş. 5.11). Görüldüğü üzere akü ve panel için %40'ın üzerinde bir kapasite tasarrufu sağlanmıştır.

Çizelge 6.1. Normal mod/ çoklu mod PV panel ve akü kapasite karşılaştırması

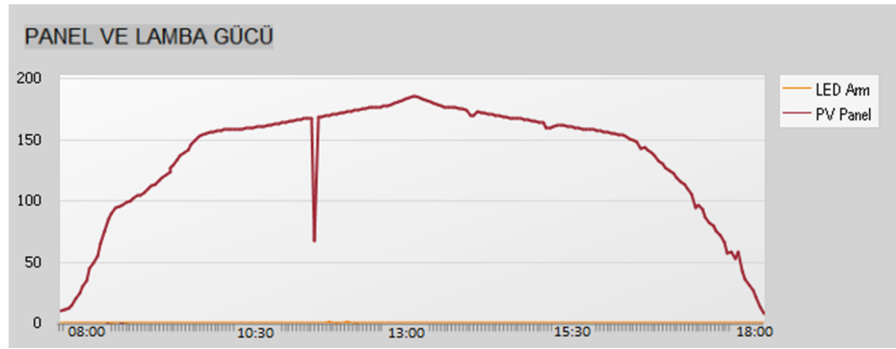
	PV panel	Akü
Normal şartlarda	154 W	25 Ah
Çoklu mod	89 W	14 Ah

Çizelge 6.2. 4 farklı modun karşılaştırılması

	1. Mod	2. Mod	3. Mod	4. Mod
Ortalama güç	21W	60W	41W	36W
Minimum akü kapasitesi	8,75Ah	25Ah	17Ah	15Ah
Minimum panel gücü (ocak)	100W	286W	195W	166W
Minimum panel gücü (temmuz)	40W	115W	78W	70W

Çizelge 6.2' görüldüğü üzere ocak ayı minimum modda günlük 100W panel gücü gerekirken ağustos ayında ise maksimum mod olan 2. modda 115W panel gerekmektedir. Sistemimizin çoklu modlu çalışması sayesinde yaz ve kış ayları arasındaki gerekli olan panel gücü farkını büyük oranda kapatmış olduk. Bu sayede 115W PV panel yazın tam performansta çalışacakken kışın da düşük modda çalışacak, arada olan güneşli günlerde ise güneşlenme seviyesine en uygun olan mod çalışacağı için panelimize gelen tüm enerji en faydalı şekilde kullanılmış olacaktır.

6.4. Temmuz Ayına Ait Panelden Alınan Güç Eğrisi

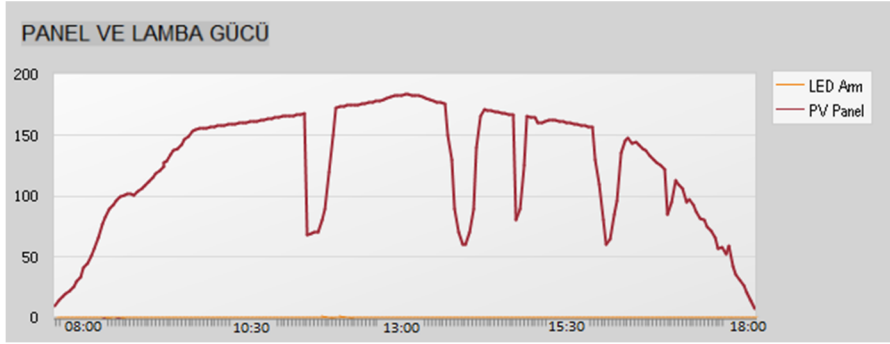


Şekil 6.10. Güneşli bir güne ait PV panel güç grafiği

Şekil 6.10'da görülen eğride temmuz ayına ait güneşli bir günde 200W panelden alınan güç yer almaktadır. Depolanan enerji sistem tarafından hesaplanmış ve ortalama 111W bulunmuştur.

$$W = 111 \times 10 = 1110Wh \quad (6.11)$$

$$t = \frac{W}{P} = \frac{1110}{200} = 5,55h \quad (6.12)$$



Şekil 6.11. Parçalı bulutlu bir güne ait PV panel güneşlenme grafiği

Şekil 6.11’de görülen eğride ise yine temmuz ayında bulutlu bir günde alınan güç değeri eğrisi görülmektedir. Bu eğride PV panel güç ortalaması sistem tarafından 87W olarak hesaplanmıştır.

$$W = 87 \times 10 = 870Wh \quad (6.13)$$

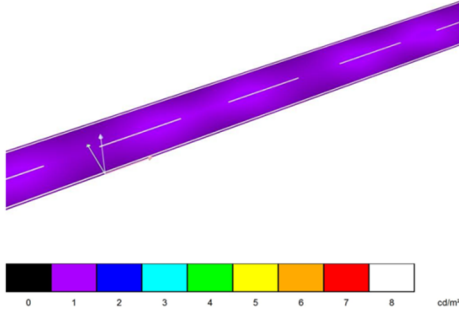
$$t = \frac{W}{P} = \frac{870}{200} = 4,35h \quad (6.14)$$

Eş. 6.13-Eş. 6.14’ten görüldüğü gibi panelden elde edilen toplam enerji 870Wh ve güneşlenme süresi ise 4,35 saat hesaplanmıştır. Aynı ay içerisinde yapılan iki farklı ölçümde bile farklı değerler alınması söz konusudur. Ayrıca güneşin en bol olduğu zaman olan yaz aylarında dahi ışınların geliş açısı nedeniyle %100 bir enerji sağlanamamaktadır. Günümüzdeki teknoloji ile güneş panelleri %20 verime sahipken güneş eğiminden dolayı bu neredeyse yarı yarıya düşmektedir. Fakat teknoloji geliştikçe PV panel verimlerinin de artacağı ve diğer enerji kaynaklarından daha cazip konuma geleceği beklenmektedir.

6.5. Minimum Kabul Edilebilir Güç Seviyesi

Sistem akü seviyesine göre maksimum güçten başlayarak günlük karşılayabileceği modu kendi seçebilecek durumdadır. Her halükarda yoğunluğa göre değişken olan 2 ve 4. modda ise akü seviyesi sürekli olarak kontrol edildiği için akü belirli bir seviyenin altına düştüğünde sistem geceyi çıkarmak için gerekli olan güç seviyesini hesaplayıp o güç seviyesine kendini ayarlayacaktır. Kabul edilir minimum güç seviyesi Dialux programı yardımı ile karayolları M2 standardı esas alınarak 2000Lm olarak hesaplanmıştır. Bu

sistem 7 metre genişliğinde bir yol için 4 metre lamba yüksekliği esas alınarak oluşturulmuştur. Resim 6.1’de Dialux simülasyon çıktısı görülmektedir.



Resim 6.1. M2 standardına uygun LED ışık dağılımı Dialux simülasyon görüntüsü

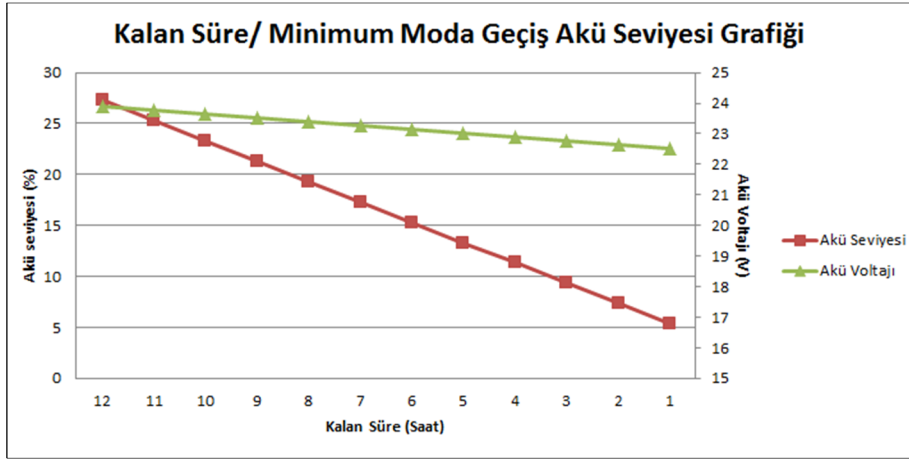
Kullanılan LED 180Lm/W ışık verimliliğine sahiptir. Kullandığımız mercek kaybı ise %5-%10 arasında değişkenlik göstermektedir. Mercek verimini 0,93 olarak alırsak gerekli güç değeri Eş. 6.15-Eş. 6.16’dan hesaplanır.

$$P = \frac{Lm}{Lm_{LED}} = \frac{2000}{0,93 \times 180} = 12W \quad (6.15)$$

$$yüzde = \frac{P_{min}}{P_t} = \frac{12}{60} = 0,20 \quad (6.16)$$

Minimum parlaklık %20 ve minimum güç seviyesi, kalan zaman ve akü güç kapasitesi de bilindiği için minimal moda geçiş akü seviyesi Eş. 6.17’den hesaplanır.

$$W_{min} = kalan\ süre \times P_{min} \quad (6.17)$$



Şekil 6.12. Gün doğumuna kalan süre/ gerekli akü seviyesi grafiği

Şekil 6.12’de akünün yetmesi gereken süre ile gerekli akü kapasitesi eğrisi ve akü seviyesi grafiği görülmektedir. Sistem lambanın kalan çalışma süresini hesaplayıp akü seviyesinin sabahı çıkarıp çıkaramayacağını kontrol eder. Eğer sistemin depolu enerjisi minimum parlaklık seviyesinde sabaha kadar yanacak enerji seviyesinin altına düşerse sistem minimum moda geçer. Bu seviye kalan süre ile ters orantılı değişir. Lamba çalışma süresi bitimine kalan süre ne kadar fazla ise gerekli olan akü seviyesi o kadar fazla olmalıdır.

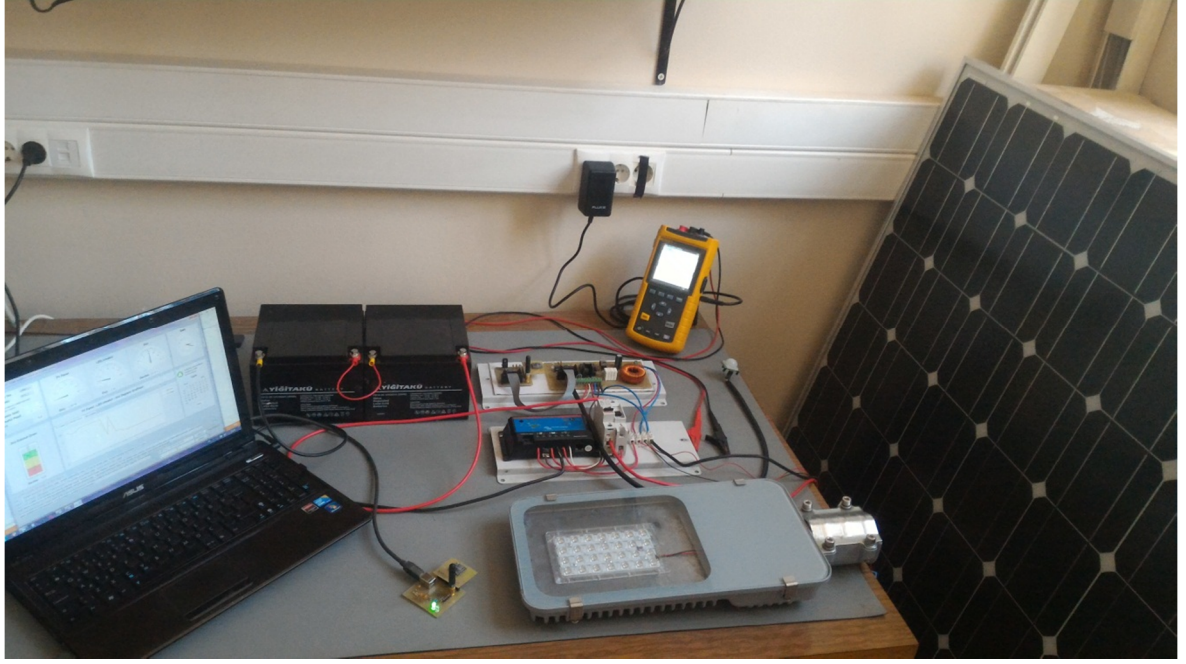
Akü tam dolu iken 28,4V, boş iken ise 22,2V değerindedir. Yani %100 kapasite değişimine karşılık gelen gerilim değişimi 6,2V’tur. Sabah olmasına 10 saat kala aküde depolu olması gereken enerji Eş. 6.18-Eş. 6.20’ye göre minimum %23 olmalıdır. Akü gerilim seviyesi ise 23,65V olmalıdır. Eş. 6.18’de eklenen 20 değeri tolerans değeridir.

$$kapasite = \frac{P \times \text{minimum parlaklık} \times h}{V_{in}} + \text{tölerans} = \frac{60 \times 0,20 \times 10}{24} + 20 = 5,8Ah \quad (6.18)$$

$$\%kapasite = \frac{kapasite}{\text{tam kapasite}} = \frac{5,8 Ah}{25 Ah} = 0,23 = \%23 \quad (6.19)$$

$$V = V_{min} + \%kapasite \times \Delta V = 22,2 + \%23 \times 6,2 = 23,65V \quad (6.20)$$

Tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilen sisteme ilişkin oluşturulan deney düzeneğinin görüntüsü Resim 6.2’de görülmektedir. Deneysel olarak laboratuvar ortamında çalıştırılan sistem, Teknoloji Fakültesi Elektrik- Elektronik mühendisliği bahçesine yerleştirilen güneş panelli aydınlatma direğinde de çalıştırılmıştır.



Resim 6.2. Bir merkezden kontrollü LED sokak aydınlatma sisteminin görüntüsü

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada güneş enerjisi kaynaklı 60W gücünde bir LED aydınlatma armatürü ve sürücüsü ile bilgisayar izleme programı haberleştirilerek LED lamba üzerinde enerji yönetimi ve kontrol uygulaması yapılmıştır. LED lamba, akü ve güneş panelinden elde edilen veriler yardımıyla sistem ve enerji verimliliği incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sırasında yol durumu ve trafik yoğunluğu gibi değişkenler incelenmiştir. Enerji yönetiminin verimliliğini araştırmak amacıyla da kontrollü bir sistem ile kontrolsüz bir sistem karşılaştırması yapılmıştır. Kontrolsüz uygulama için gerekli olan panel gücü yıllık ortalama güneşlenme değerine göre 154W iken merkezden kontrollü sistem için bu değer 89W'a kadar düşürülmüştür. Böylece sabit mod ile çalışan LED'li sokak aydınlatma sistemine göre %40'ın üzerinde tasarruf sağlandığı görülmüştür. Çoklu mod uygulama sayesinde aylık minimum koşullar esas alındığında ocak ayı gerekli olan panel gücü 286W ve akü kapasitesi 25Ah iken panel gücü 100W'a ve akü kapasitesi ise 8,75Ah'e düşürülebileceği gözlemlenmiştir. Temmuz ayı gerekli maksimum panel gücü ise 115W olarak belirlenmiştir. Böylece yaz ile kış aylarında gerekli olan panel gücü farkı düşürülmüştür (Bkz. Çizelge 6.2).

Tasarlanan aydınlatma sisteminde LED merceği kullanılarak daha düzgün bir aydınlatma yapılmıştır ve LED yüzeyinden çıkan ışığın tamamı aydınlatma alanına aktarılmıştır. LED lambanın izlemesi ve kontrolü yapılarak arızaların tespit edilmesine olanak sağlanmıştır. Sensörler vasıtası ile alınan ve kaydedilen bilgiler sayesinde günlere ya da aylara göre ortam yoğunluk ve güneşlenme şekilleri tespit edilebilecek hale getirilmiştir. Bu sayede ortama, koşullara ve değişimlere göre kendini ayarlayabilen adaptif bir sistem oluşturulmuştur. Son olarak ülkemizde çalışmaları yapılan ve yeni yeni uygulanmaya başlanan LED'li sokak aydınlatma çalışmalarına katkıda bulunacak verimli, pratik ve kolay uygulanabilir bir sistemin uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan sistemde uygulama sırasında karşılaşılan problemlerden birkaçı daha sonra bu konuda çalışacak araştırmacılar için yol gösterici olması açısından değerlendirildiğinde; Karşılaşılan problemlerden biri uygulamada kullanılan şarj kontrol sisteminin ortak anotlu ve kurulan sistemin ise ortak katotlu olmasından dolayı sistemlerin çakışmasıdır. Bu sebeple iki sistemin birbirinden yalıtılması gerekmiştir. Bu yalıtım sağlandığında ise akım

ve gerilim okuma problemi ortaya çıkmıştır. Bu problem ise OP-AMP'lı fark alıcı devre yardımı ile çözülmüştür.

Bir diğer problem ise hareket sensörü ile okuma yapıldıktan sonra aydınlatma armatürünün parlaklık ayarı yaparak aydınlık değerini düşürdüğü esnada oluşan hafif bir gerilim salınımından dolayı hareket sensörünün tetiklenme durumuna geçmesidir. Bu da parlaklığın azalmasıyla hareket olmadığı halde tekrar hareket varmış gibi parlaklığın artmasına neden olmuştur. Bu problem ise sensöre bağlanan bir kapasitör ile çözülmüştür.

Sistemin geliştirilmesi ve daha sonraki çalışmalara öncülük etmesi adına yapay sinir ağları, parçacık sürü optimizasyonu veya arı kolonisi gibi zeki algoritmalar kullanılarak sistemin karar verme algoritmaları ve belirli değişkenler vereceği tepkilerin seviyesi artırılabilir. Trafik yoğunluğu, çalışma modları ve ortam koşulları gibi tahminler daha doğru hesaplanabilir. Şebekeden bağımsız olan bu sistem, şebeke etkileşimli hale getirilerek, bu sayede şebekenin ya da sistemin gereksinimlerine göre çift yönlü olarak enerji akışı sağlanabilir ve alınan önlemlere rağmen akü bitmesi gibi durumlarda şebekeden destek sağlanabilir. Sistem farklı değişkenleri kontrol ederken aynı zamanda şebekeden çekilen akımı PFC devreleri ile düzeltebilir. Güneş panelinden alınan enerjinin ise maksimum güç takibi yapılarak depolanması sağlanabilir. Tüm bu işlemler tek bir sürücü üzerinden gerçekleştirilebilir. Ayrıca akıllı şebeke sistemi ve sokak aydınlatma sistemlerinin birlikte uygulanabileceği yeni tasarımlar öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Oğuz, H. H. (2012). *Hibrit Rüzgâr – Güneş Güç Üretim Ünitesinin Kurulumu ve Enerjinin Verimli Kullanılması için Genel Aydınlatma Sisteminin PIC16F877 Kontrolör ile Denetimi*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 9-12.
2. İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı LED Pilot Projeleri URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.eie.gov.tr%2Fduyurular_haberler%2Fh_2014_led_pilot_projeler.aspx&date=2016-11-14, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
3. Kaplan, O., Issi, F., and Ersan, M. (2013). *A high efficient driver design for LED lighting system*. POWERENG, Fourth International Conference, 1548-1552.
4. Lian, L., Li, L. (2012). *Wireless dimming system for LED Street lamp based on ZigBee and GPRS*. Informatization (ICSEM), 3rd International Conference, 100-102.
5. Zanjani, P.N., Ghods, V., and Bahadori, M. (2012). *Monitoring and remote sensing of the street lighting system using computer vision and image processing techniques for the purpose of mechanized blackouts*. Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP), 19th International Conference, 5-10.
6. De Melo, M.F., Vizzotto, W., Kirsten, A.L., Dalla Costa, M., and Garcia, J. (2013). *Photovoltaic grid-connected flyback micro-inverter and boost MPPT integrated to street lighting system based on LEDs*. New Concepts in Smart Cities. Fostering Public and Private Alliances (SmartMILE), International Conference, 1-7.
7. Yoshiura, N., Fujii, Y., and Ohta, N. (2013). *Smart street light system looking like usual streetlights based on sensor networks*. Communications and Information Technologies (ISCIT), 13th International Symposium, 633-637.
8. Huang, B. J., Chen, C.W., Hsu, P. C., Tseng, W., M., and Wu, M. S. (2012). Direct battery-driven solar LED lighting using constant-power control. *Solar Energy*, 86, 3250-3259.
9. Panguloori, R., Mishra, P., and Kumar, S. (2013). Power distribution architectures to improve system efficiency of centralized medium scale PV street lighting system. *Solar Energy*, 97, 405-413.
10. Pipattanasomporn, M., Rahman, S., Flory, I., and Teklu, Y. (2014). Engineering design and assessment of a demand-sensitive LED streetlighting system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 136-146.
11. Zhang, J., Qiao, G., Song, G., Sun, H., and Ge, J. (2013). Group decision making based autonomous control system for street lighting. *Measurement*, 46, 108-116.
12. Shen, C. L., and Ko, Y. X. (2014). Hybrid-input power supply with PFC (power factor corrector) and MPPT (maximum power point tracking) features for battery charging and HB-LED driving. *Energy*, 72, 501-509.

13. Huang, B. J., Chen, C. W., Ong, C. D., Du, B. H., and Hsu, P. C. (2013). Development of constant-power driving control for light-emitting-diode (LED) luminaire. *Applied Thermal Engineering*, 50, 645-651.
14. Fathi, M., Chikouche, A., and Abderrazak, M. (2011) Design and realization of LED Driver for solar street lighting applications. *Energy Procedia*, 6, 160-165.
15. Çolak, İ., Sefa, İ., ve Demirtaş, M. (2007). Güneş enerjisi kaynaklı LED armatür tasarımı. *Politeknik Dergisi*, 10(4), 347-352.
16. İnternet: LED Tarihsel Gelişimi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.fenbilimlernerindir.com%2Fsearch%3Fq%3DLED&date=2016-11-14>, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
17. Demirel, V. K. (2009). *Use of LED's as Future Light Sources*. Yüksek Lisans Tezi, Çankaya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4-9,15-17.
18. Kale, S. (2010). *Aydınlatma Amaçlı LED Matrisi Üretimi ve Isıl Özelliklerinin Çözümlemesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4-9.
19. İnternet: Nichia LED Kataloğu. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nichia.co.jp%2Fspecification%2Fproducts%2Fled%2FNVSL219C-E.pdf&date=2016-11-14>, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
20. Gürbüz, Y. (2012). *Güç Faktörü Düzeltmeli Güç LED Sürücü Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 13-18.
21. İnternet: Nichia Ömür Test Verileri. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ledeffect.ru%2Fimages%2Fdownload%2FNVSL219B_10000h_IF12001000700.pdf&date=2016-11-14, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
22. Yılmaz, H. (2012). *Design, Application and Comparison of Single Stage Flyback and Sepic PFC AC/DC Converters for Power LED Lighting Application*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 27-59.
23. Aktaş, İ. (2012). *Dinamik Aydınlatmanın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 39-40.
24. İnternet: Nichia orta güçlü LED Kataloğu. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.nichia.co.jp%2Fspecification%2Fproducts%2Fled%2FNF2W757G-V1F1-E.pdf&date=2016-11-22>, Son Erişim Tarihi: 22.11.2016.
25. İnternet: Mete, S., Onaygil S. Yüksek Güçlü LED Işık Kaynaklı Aydınlatma Armatürlerinin Soğutmasında Isı Borusu Kullanımı. URL:

- http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.emo.org.tr%2Fekler%2Faaecc00ee092db1_ek.pdf&date=2016-11-14, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
26. Kıyak, İ. (2010). *Rüzgar-Güneş Hibrid Güç Sistem Beslemeli Bir Mekanın Aydınlik Düzeyinin LED'li Armatürler Kullanılarak Kontrolü*. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 45-50,30-32.
 27. İnal, İ. (2012). *Optimization of Illumination Yields of Buck-Based Power LED Drivers*. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 14-15.
 28. Uysal, Ö. (2011). *Tarımsal Aydınlatmada LED Işık Kaynaklarının Kullanım Olanakları*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 5-7.
 29. Gündüz, N. (2012). *LED Işık Kaynaklı Enerji Verimli Endüstriyel Aydınlatma Armatürü Optik Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 20-24.
 30. Kılıç, A. (2013). *Kentsel Dış Mekânlarda LED Aydınlatma Sistemlerinin Değerlendirilmesi Üzerine Örnek Bir Çalışma*. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-28.
 31. Tutak, A. (2009). *LED Technologies in Energy Efficient Applications*. Yüksek Lisans Tez, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 12-15.
 32. İnternet: On Semiconductor. Constant Current Regulator and LED Driver. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.onsemi.com%2Fpub_li nk%2FCollateral%2FNSI45020-D.PDF&date=2016-11-14, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
 33. Şahin, E., Büyükkatırcı, O., ve Akın, B. (2014). *AC-DC dönüştürücü tabanlı güç faktörü düzeltme devresi tasarımı ve uygulaması*. Eleco Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 243-249.
 34. Abd El-Moniem, M. S., Azazi, H. Z., and Mahmoud, S. A. (2013). A single-stage voltage sensorless power factor correction converter for LED lamp driver. *Alexandria Engineering Journal*, 52, 643-653
 35. İnternet: Texas Instruments. Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ti.com%2Flit%2F an%2Fslva477b%2Fslva477b.pdf&date=2016-11-14>, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
 36. İnternet: European Commission. Photovoltaic Geographical Information System. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fre.jrc.ec.europa.eu%2F pvgis&date=2016-11-14>, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
 37. Şerefoğlu, Ş. (2014). *Solar Sistemler için Akıllı Evirici Tasarımı ve Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 13-20.

38. İnternet: OP-AMP Fark Alıcı İşlemsel Yükselteç Hesapları. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdiyt.net%2Ftemel-fark-alici-op-amp-difference-amplifier%2F&date=2016-11-14>, Son Erişim Tarihi: 14.10.2016.
39. İnternet: OP-AMP The Differential Amplifier URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.electronics-tutorials.ws%2Fopamp%2Fopamp_5.html&date=2016-11-14, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
40. İnternet: Sarnikon. Soğutucu Hesapları. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.sarnikon.com%2Fimg%2Fmc-content%2F20140623182850_2638soğutucu-nasil-secilir.pdf&date=2016-11-14, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
41. İnternet: PFC Converter and Controller. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.plexim.com%2Fsupport%2Fapplication-examples%2F283&date=2016-11-14>, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
42. İnternet: Silicon Labs. Si4432 Katalog Bilgileri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.silabs.com%2FSupport%2F2520Documents%2FTechnicalDocs%2FSi4430-31-32.pdf&date=2016-11-14>, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
43. İnternet: 320Volt. Soğutucu Hesabı Güç ve Isı. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F320volt.com%2Fsogutucu-hesabi-guc-ve-isi%2F&date=2016-11-14>, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
44. İnternet: Microchip. PIC16f1782 Katalog Bilgileri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww1.microchip.com%2Fdownload%2Fen%2FDeviceDoc%2F40001579E.pdf&date=2016-11-14>, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
45. İnternet: Magnetics. C055083A2 Nüve Katalog Bilgileri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.mag-inc.com%2FMedia%2FMagnetics%2FDatasheets%2FC055083A2.pdf&date=2016-11-14>, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
46. İnternet: Fairchild. MBR1560CT Katalog Bilgileri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.promelec.ru%2Fpdf%2FMBR1535CT.pdf&date=2016-11-14>, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
47. İnternet: ST microelectronics. ST75NF75 Katalog Bilgileri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.st.com%2Fcontent%2Fccc%2Fresource%2Ftechnical%2Fdocument%2Fdatasheet%2F99%2F6b%2Fcd%2F5a%2F84%2F8f%2F44%2F0c%2FCD00002771.pdf%2Ffiles%2FCD00002771.pdf%2Fjcr%3Acontent%2Ftranslations%2Fen.CD00002771.pdf&date=2016-11-14>, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.

48. İnternet: Electronicsbeliever. Power Losses in Boost Converter. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Felectronicsbeliever.com%2Fpower-losses-in-boost-converter%2F&date=2016-11-14>, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
49. İnternet: Nanotel tabanlı güneş pilleri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.elektrikport.com%2Fhaber-roportaj%2Fnanotel-tabanli-gunes-pillerinde-yeni-rekor%2F18679%23ad-image-0&date=2016-12-10>, Son Erişim Tarihi: 10.12.2016.
50. İnternet: Saydam güneş panelleri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.nationalgeographic.com.tr%2Fmakale%2Fkesfet%2Fsaydam-gunes-panelleri-cigir-acacak-mi%2F2545&date=2016-12-10>, Son Erişim Tarihi: 10.12.2016.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇELİK, Kemal
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 08.12.1989, Aydın
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (506) 446 01 83
 e-mail : celik.kemal@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi /Elektrik Öğretmenliği	2012
Lise	Söke Anadolu Teknik Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	2M Mühendislik	Ar-ge Görevlisi
2013-2014 İki Dönem	Gazi Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2012-Bir Dönem	Danış Tunalıgil Endüstri Meslek Lisesi	Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce (IELTS=4.5)

Yayınlar

1. Demirtaş, M., ve Çelik, K. (baskıda). PV Beslemeli LED Sokak Armatürünün Çoklu Modlu Çalışmasının Akü Ömrü Üzerine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, PartC*, 4(4),

Hobiler

Balık tutmak, Roman okumak, Gitar, Seyahat, Tenis.



GAZİ GELECEKTİR..