



**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**STM32 TABANLI MPPT KONTROLLÜ GÜNEŞ
PANELLİ AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMI**

Ali Mohammed Anwer SHAKARJI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Aralık-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

KABUL VE ONAY

Ali Mohammed Anwer SHAKARJI tarafından hazırlanan “STM32 Tabanlı Mppt Kontrollü Güneş Panelli Aydınlatma Sistemi Tasarımı” başlıklı bu tez çalışması, 28/12/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Murat SELEK

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hakan TERZİOĞLU

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Alpaslan KAZAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sait GEZGİN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ali Mohammed Anwer SHAKARJI

28.12.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

STM32 TABANLI MPPT KONTROLLÜ GÜNEŞ PANELLİ AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMI

Ali Mohammed Anwer SHAKARJI

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan TERZİOĞLU

2022, 108 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Murat SELEK
Dr. Öğr. Üyesi Hakan TERZİOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Fatih Alpaslan KAZAN**

Günümüzde, benzin vb. katı yakıt kaynaklarının giderek azalmaya başlaması ve zaman içinde de yok olacak olması, ayrıca, bu tür yakıtların çevreye ve dolayısıyla da insan sağlığına zararlarının ortaya çıkması alternatif çözüm yollarının aranmasına sebep olmuştur. Yapılan araştırmalar ihtiyaç duyulan enerji ihtiyacını karşılama potansiyeline sahip en iyi unsurun güneş olduğunu göstermektedir. Güneşten elde edilecek enerji türleri ise, ısı, ışık ve elektrik enerjisi şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Ancak, güneş enerjisini etkili ve verimli şekilde kullanabilmek için bazı araçlara gereksinim duyulmaktadır. (Abdelsalam,2011)

Bu kapsamda yapılan çalışmada, STM32 tabanlı bir mikrodenetleyici ile kontrol edilen fotovoltaiik güneş panelli bir aydınlatma sistemi geliştirilmesi incelenmiştir. Çalışmada mikrodenetleyici ünitesi olarak STM32F0308 Discovery kullanılmıştır. Sistemde, 23.50V / 50W'lık çıkış gücü bulunan bir mono kristal FV panel ile 12V / 7A jel tipi bir akü şarj edilmekte ve tam sinus bir inverter ünitesi ile de 220VAC çıkış gerilimi elde edilmektedir. Sistemde, FV panelden en yüksek gücü ve verimi elde etmek için Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) güç takip

algoritması kullanılmıştır. Ayrıca, akünün daha uzun ömürlü olması amacıyla üç kademeli şarj döngüsü kullanılmıştır.

Tasarlanan sistem öncelikle MATLAB/Simulink uygulaması ile simüle edilmiş ve yapılan benzetim sonuçlarına göre sistemin etkin ve verimli biçimde çalıştığı tespit edilmiştir. Daha sonra sistemin gerçek zamanlı akım, gerilim ve güç değerleri ile akü şarj döngü verimliliği ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde, sistemin yeterli çıkış güç değerleri üretebildiği ve aküyü tam olarak şarj edebildiği belirlenmiştir. Bu doğrultuda yapılan ölçümlerde özetle aşağıdaki değerler elde edilmiştir:

Fotovoltaik panel çıkış gerilimi; 0-14.25V

Fotovoltaik panel çıkış akımı; 0-1.689mA

Çalışmada ulaşılan sonuçlara göre, prototip olarak üretilen sistemin daha büyük ölçekli aydınlatma sistemleri geliştirilmesinde temel alınabileceği, sistemin akım, gerilim, güç ve sıcaklık değerlerinin kayıt altına alınması ve internet, GSM şebekeleri üzerinden bu bilgilerin uzak kullanıcılara iletilmesi gibi ilave geliştirmelere açık olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, Güneş Paneli, Maksimum Güç Noktası Takibi, STM32 Mikrodenetleyici Ünitesi

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

STM32 BASED MPPT CONTROLLED SOLAR PANEL LIGHTING SYSTEM DESIGN

Ali Mohammed Anwer SHAKARJI

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRIC-ELECTRONICS ENGINEERING**

Supervisor: Asst. Prof. Hakan TERZİOĞLU

2022, 108 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Murat SELEK

Asst. Prof. Dr. Hakan TERZİOĞLU

Asst. Prof. Dr. Fatih Alpaslan KAZAN

Today, the fact that solid fuel sources such as cloth are gradually decreasing and will disappear over time, and the harm of such fuels to the environment and therefore to human health, has led to the search for alternative solutions. Research shows that the best element with the potential to meet the energy needs is the sun. The types of energy to be obtained from the sun are in the form of heat, light and electrical energy. However, some tools are needed to use solar energy effectively and efficiently.

In this study, the development of a photovoltaic solar panel lighting system controlled by an STM32-based microcontroller was investigated. STM32F0308 Discovery unit was used as microcontroller unit in the study. In the system, 12V / 7A gel type battery is charged with a mono crystal PV panel with 23.50V / 50W output power, and 220VAC output voltage is obtained with a full sinus inverter unit. Maximum Power Point Tracking (MPPT) power tracking algorithm is used in the

system to obtain the highest power and efficiency from the PV panel. In addition, a 3-stage charging cycle is used to ensure a longer battery life.

The designed system was first simulated with the MATLAB/Simulink application and it was determined that the system works effectively and efficiently according to the simulation results. Then, the real-time current, voltage and power values of the system and the battery charge cycle efficiency were measured. In the measurements made, it has been determined that the system can produce sufficient output power values and fully charge the battery. In this direction, the following values were obtained in summary:

Photovoltaic panel output voltage; 0-14.25V

Photovoltaic panel output current; 0-1.689mA

According to the results obtained in the study, it has been evaluated that the system produced as a prototype can be used as a basis for the development of larger-scale lighting systems, and that the system is open to additional developments such as recording the current, voltage, power and temperature values and transmitting this information to remote users via internet and GSM networks.

Keywords: Photovoltaic, Solar Panel, Maximum Power Point Tracking, STM32 Microcontroller Unit

ÖNSÖZ

Çalışmalarım esnasında akademik bilgi ve tecrübelerinden fazlasıyla istifade ettiğim, benden hiçbir zaman ilgi ve alakasını esirgemeyen, benim için bir danışmandan daha fazlası olan saygıdeğer tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hakan TERZİOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın başından sonuna kadar benden maddi manevi desteklerini esirgemen üzerimdeki haklarını asla ödeyemeyeceğim pek kıymettar anne babama teşekkür ederim.

Ayrıca, bu süreçte göstermiş olduğu sabır, fedakârlık ve hoşgörü ile beni her daim motive eden sevgili eşime teşekkür ederim.

Ali Mohammed Anwer SHAKARJI

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Güneşten Elektrik Üretimi	3
2.2. Güneş Enerjili Aydınlatma Sistemleri	4
2.3. Güneş Enerjili Aydınlatma Sistemlerinde Kullanılan Malzemeler	6
2.3.1. Güneş Paneli/Pili.....	6
2.3.2. Akü.....	10
2.3.3. İnvertör Ünitesi	10
2.3.4. Sarj Regülatörü / DA-DA Dönüştürücü.....	10
2.3.5. Aydınlatma Ünitesi	14
2.4. Fotovoltaik Panel Güç Karakteristikleri	14
2.4.1. Düzenli Işınım Durumu	15
2.4.2. Parçalı Gölgeleme Durumu	15
2.5. Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemleri	16
2.5.1. Açık Devre Gerilim Algoritması	19
2.5.2. Kısa Devre Akım Algoritması	20
2.5.3. Değiştir ve Gözle (P&O) Algoritması	20
2.5.4. Artan İletkenlik Algoritması.....	22
2.5.5. Kısmi Gölgeleme Algoritması	23
2.5.6. Bulanık Mantık Yöntemi	24
2.5.7. Yapay Sinir Ağları Yöntemi	25
2.6. Literatür Özeti.....	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39

3.1. Sistemin Genel Yapısı	39
3.2. Sistem Bileşenleri	40
3.2.1. Fotovoltaik güneş paneli	40
3.2.2. STM32F0308 mikrodenetleyici ünitesi	41
3.2.3. Voltaj ve Akım Sensörleri	43
3.2.4. Düşürücü DA-DA Dönüştürücü Kartı	44
3.2.5. Akü.....	46
3.2.6. İnverter (DC- AC Evirici).....	48
3.3. MPTT Fonksiyonu.....	49
3.4. Sistem Yazılımı.....	52
4. ARAŞTIRMANIN DENEYSEL BULGULARI.....	53
4.1. Simülasyon/Benzetim Sonuçları.....	53
4.2. Deneysel Sonuçlar	55
4.3. Sistemin Avantajları ve Dezavantajları	60
4.3.1. Avantajlar.....	61
4.3.2. Dezavantajlar	62
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	64
5.1. Sonuçlar	64
5.2. Öneriler	66
KAYNAKLAR	69
EKLER	1
EK-1 Sistemde Kullanılan STM32 Yazılımı	1
ÖZGEÇMİŞ	20

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Güneş pili kullanılarak elektrik üretimi.....	4
Şekil 2.2. Güneş pillerinin yapısının şematik gösterimi	6
Şekil 2.3. (a) Mono-kristal silikon (b) poli-kristal silikon (c) amorf.....	7
Şekil 2.4. Fotovoltaik uygulama örnekleri	8
Şekil 2.5. Sabit FV panelli aydınlatma sistemi örneği	9
Şekil 2.6. Hareketli FV panelin eksen hareketleri	9
Şekil 2.7. Temel DA-DA dönüştürücü diagramı	11
Şekil 2.8. FV panel eşdeğer direncinin güneş ışınımına göre değişimi.....	11
Şekil 2.9. Düşürücü dönüştürücü devre şeması	12
Şekil 2.10. Yükseltici dönüştürücü devre şeması	12
Şekil 2.11. Düşürücü - Yükseltici dönüştürücü devre şeması	13
Şekil 2.12. Çuk türü DA-DA dönüştürücü devre şeması	13
Şekil 2.13. Tipik bir FV hücrenin tek diyotlu elektriksel eş değer devresi	14
Şekil 2.14. Tipik bir güç-gerilim karakteristik eğrisi	16
Şekil 2.15. Açık devre gerilimi algoritmasına ait akış diyagramı	17
Şekil 2.16. MPPT Sisteminin I-V eğrisi	18
Şekil 2.17. Açık devre gerilimi algoritmasına ait akış diyagramı	19
Şekil 2.18. Kısa devre akımı algoritmasına ait akış diyagramı	20
Şekil 2.19. Değiştir ve Gözle algoritmasının temel prensibi	21
Şekil 2.20. Değiştir ve Gözle algoritmasının akış diyagramı	22
Şekil 2.21. Artan iletkenlik algoritmasının akış diyagramı	23
Şekil 2.22. Bulanık mantıkta üyelik fonksiyonu grafiği.....	24
Şekil 2.23. Temel bir yapay sinir ağı grafiği	26
Şekil 3.1. STM32 MCU kontrollü güneş panelli aydınlatma sistemi blok diagramı	39

Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan FV güneş paneli	41
Şekil 3.3. STM32F0308 Discovery mikrodenetleyici ünitesi	42
Şekil 3.4. a) MAX741 Akım sensörü b) FV panel için c) Akü için gerilim bölücü direnç ünitesi.....	43
Şekil 3.5. Düşürücü DA-DA dönüştürücü.....	44
Şekil 3.6. Sistemde kullanılan akü.....	47
Şekil 3.7. Akünün 3 kademeli şarj döngüsü	47
Şekil 3.8. Sistemde kullanılan inverter ünitesi	48
Şekil 3.9. Tepeye tırmanma ve değiştir ve gözle (P&O) algoritmasının çalışma prensibi.....	49
Şekil 3.10. Tepeye tırmanma ve değiştir ve gözle (P&O) algoritması akış diyagramı	50
Şekil 4.1. Tasarımın MATLAB/Simulink uygulaması.....	53
Şekil 4.2. Güneş panelinin standart koşullardaki akım, gerilim ve güç değişimleri .	54
Şekil 4.3. Bir günlük günışığı ve sıcaklık değişimleri.....	54
Şekil 4.4. Benzetim sonuçları a) panel gücü, b) akım ve gerilim çıkış değerleri	55
Şekil 4.5. Panelin günışığına göre üretebildiği voltaj değeri ve akü şarj döngüsü uyumu	60
Şekil 4.6. Panelden akü şarj döngüsüne göre çekilebilen akım miktarı (mA).....	60
Şekil 4.7. Sistemin deneysel sonuçlarının grafiksel gösterimi	61
Şekil 4.8. Tasarlanan sistemin birleştirilmiş görüntüsü.....	62
Şekil 4.9. Sabit sistemlerin güneş açısına göre performans sonuçları.....	64
Şekil 4.10. FV güneş panellerinin farklı açılarla yerleştirilmesi	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

μF	: mikroFarad
μH	: mikroHenri
A	: Amper
AA	: Alternatif Akım (Alternative Current, AC)
DA	: Doğru Akım (Direct Current, DC)
FV	: Fotovoltaik
kHz	: kiloHertz
mA	: miliAmper
MPPT	: Maksimum Güç Noktası Takibi (Maximum Power Point Tracking)
MGNİ	: Maksimum Güç Noktası İzleme
mV	: miliVolt
PO	: Değiştir ve gözle algoritması (Perturb and Observe)
SEPIC	: Single-Ended Primary-Inductor
TF	: Dönüşüm fonksiyonu (Transfer Function)
V	: Volt

1. GİRİŞ

İnsanoğlu günlük yaşantının her alanında enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu enerjiyi karşılamak için başta petrol, kömür, odun ve hidroelektrik santraller olmak üzere elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Bazı gelişmiş ülkelerde ise her ne kadar büyük çevresel tehlikeler içerse de nükleer santrallerde atom enerjisi ile elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu enerji kaynaklarından petrol, kömür ve atom enerjisi yenilenebilmek için milyonlarca yıla ihtiyaç duyarlar. Yenilenme süresiyle kullanım miktarı arasındaki orantısızlık nedeniyle bu kaynaklar genel anlamda ‘yenilenemez enerji kaynakları’ olarak tanımlanmaktadır.

Ayrıca, kömür, petrol ve doğalgaz rezervlerinin yeryüzünde sınırlı miktarlarda olduğu ve giderek de tükenme ivmesi taşıdıkları bilinmektedir. Bu enerji kaynaklarının tüketimi sonucunda ortaya çıkan emisyonun çevreye oldukça olumsuz geri dönüş sağladığı uzmanlar tarafından tartışılan diğer önemli bir konudur. Özellikle hava ve çevre kirliliği bireyler için artık büyük riskler doğurmaya başlamış durumdadır.

Bu gibi olumsuz etkiler nedeniyle artık insanoğlunun enerji ihtiyacı karşılanırken çevreye de duyarlı olunması giderek önem kazanmaya başlamıştır. Sonuç olarak karbon emisyonu yapmayan (ya da çok az yapan) ve yenilenemez enerji kaynaklarına daha az bağımlılık sağlayan, daha çevreci ve daha ucuz alternatif enerji kaynaklarının kullanımına yönelik araştırmalar hız kazanmıştır. Bu alternatif ve yeni enerji kaynaklarına “yenilenebilir enerji kaynakları” denilmektedir.

Mevcut teknolojik gelişmeler çerçevesinde en önemli ve kullanılabilir yenilenebilir enerji kaynağı olarak ısı ve ışıınım enerjisi ile güneş enerjisi dikkat çekmektedir. Yeryüzündeki enerji oluşumlarının temelinde güneş enerjisinin bu özellikleri etkili olmaktadır. Dünyada oluşan rüzgârlar, deniz dalgaları, okyanuslardaki sıcaklık farkları ve biyokütle enerjiler, güneş enerjisinin tür dönüşümüne uğramış biçimleridir. Ancak, güneşin ısı enerji enerjisinden doğrudan yararlanılmasına karşın, elektrik üretimi sağlamak için karmaşık ve gelişmiş teknolojik araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Teknolojinin gelişmi ile birlikte

günümüzde güneş enerjisinden etkili ve verimli şekilde elektrik üretebilmek için yüksek teknolojili Fotovoltaik (FV) sistemlerin kullanımı giderek artmaktadır.

Bu kapsamda yapılan çalışmada, en dikkat çekici yenilenebilir enerji kaynağı durumundaki FV panel sistemlerinin kullanımı ve prototip bir panel sisteminin geliştirilmesi incelenmiştir.

Çalışmada, öncelikle, konuya ilişkin kavramlar açıklanmış ve genel bir çerçeve oluşturulmuştur. Bu bölümde, güneş enerjisine ilişkin bilgiler verilmiş, fotovoltaik sistemlerde kullanılan temel malzemeler ve algoritmalar açıklanmıştır. Ayrıca, literatürde yer alan benzer çalışmalar özetlenmiştir.

Çalışmanın uygulama aşamasında, ev, işyeri ve sokak gibi farklı alanlarda kullanılabilecek bir güneş enerjili aydınlatma sisteminin STM32 mikrodenetleyici (Microcontroller Unit, MCU) ile kontrolüne yönelik bir sistem tasarlanmış ve hayata geçirilmiştir. Bu doğrultuda, bölgenin güneşe göre optimum eğim açısı ile küçük ve efektif bir solar panel sistemi kurulmuştur. Güneş enerjisinin olmadığı zamanlarda ise sistemin elektrik ihtiyacının karşılanması için lityum tipi jel akü kullanılmaktadır. Sistemde, 12VDC LED ve 220 VAC armatür aydınlatma yapılacak şekilde invertör sistemi bulunmaktadır. Prototipi yapılan sistemde, havanın aydınlık karanlık durumuna göre lambanın açılıp kapanması, akünün şarj durumu, batarya gücüne göre LED veya ampül aydınlatma sistemi seçilmesi ve sistemde olası bir arızada sistemin korumaya alınması STM32 MCU tarafından kontrol edilmektedir.

Çalışma ile prototip olarak geliştirilecek sistemin, ülkemizin güneşten faydalanma oranı orta ve yüksek olan bölgelerde ev, işyeri ve sokak aydınlatmasında kullanılabileceği, bu sayede ucuz ve bakım gerektirmeyen bir aydınlatma ünitesi kurulabileceği ve daha gelişmiş bir aydınlatma sistemi için temel alınabileceği değerlendirilmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çalışmanın bu bölümünde, güneş enerjisi ile elektrik üretimi, güneş enerjili aydınlatma sistemlerinde kullanılan temel ekipman ve algoritmalar ile konuya ilişkin literatürde yer alan benzer çalışmalara yer verilmiştir.

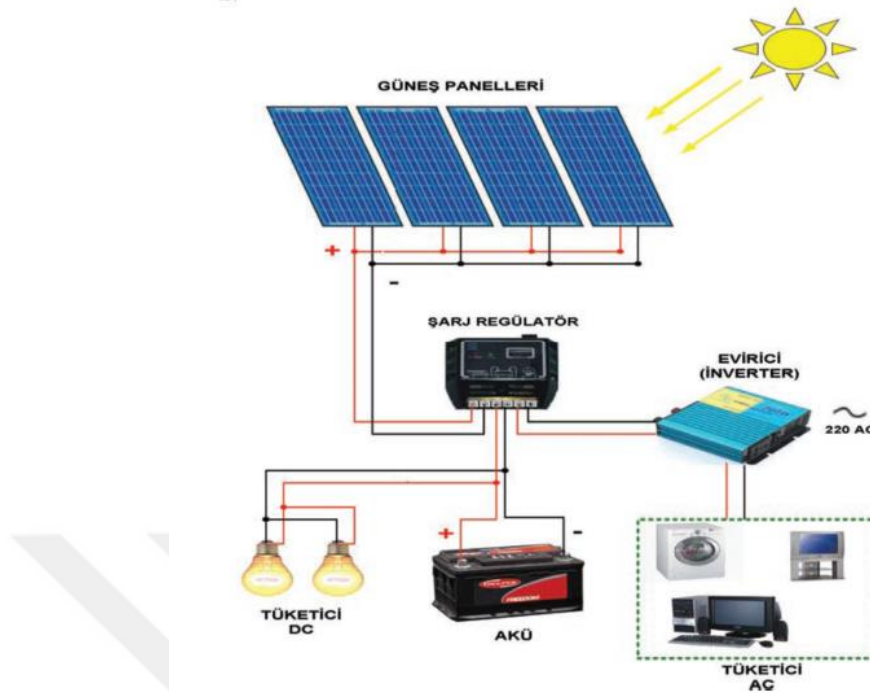
2.1. Güneşten Elektrik Üretimi

Günümüzde, katı yakıt kullanımı ile ortaya çıkan çevresel sorunları azaltmak ve amacıyla alternatif bir çözüm üretmek için güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemlere olan ilgi giderek artmaktadır. Ancak, sanayide, konutlarda ya da bireysel amaçlı elektrik kullanımında enerji ihtiyacının doğrudan güneşten sağlanması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle güneş enerjisinin farklı yöntem ve tekniklerle dönüştürülmesi gerekmektedir (Pandey ve diğ., 2015).

Güneş enerjisinden elektrik üretmek için gerekli olan temel teknolojik ürün güneş panelleri/pilleridir. Güneş panelleri sayesinde, mekanik olarak hareket eden parça gerektirmeksizin ve çevreye zararsız biçimde güneş ışınlarının elektrik enerjisine çevirilmesi mümkün olmaktadır. Bu bakımdan, güneş enerjisi temiz bir enerji kaynağı olmaktadır (Keskin, 2014).

Güneş enerjisi kullanılarak elektrik üretiminde, gece ve kapalı hava durumları gibi güneşin yetersiz olduğu zamanlarda elektrik enerjisi akülerde depolanmakta ve ihtiyaç duyulan zamanda kesintisiz olarak elektrik imkanı sağlanmaktadır. Akü kullanımında ise şarj ve deşarj döngüsünün aküye zarar vermesi veya kullanım ömrünün kısalması için denetim birimi kullanımı vb. bazı hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Gerektiğinde, evirici (invertör) sistemleri ile aküdeki gerilim, 220V 50 Hz gibi farklı özelliklerdeki çıkış gücüne dönüştürülebilmektedir (Koroğlu ve diğ., 2010).

Güneş panelleri kullanılarak elektrik enerjisi üretilebilen bir sisteme ait temel elemanlar Şekil 2.1’de gösterilmektedir (Keskin, 2014).



Şekil 2.1. Güneş pili kullanılarak elektrik üretimi

Güneş enerjili elektrik üretim sistemleri temelde, şebekeye bağımlı ve bağımsız sistemler şeklinde iki gruba ayrılır. Şebekeden bağımsız sistemlerde; elektrik enerjisi akülerde depolanmakta ve şebekeden bağımsız ortamlarda kullanılmaktadır. Şebekeye bağımlı sistemlerde ise; elektrik enerjisi akülere gerek duyulmaksızın şebekeye doğrudan verilmektedir. Bu sistemlerde ayrıca şebekeden de elektrik alınabilmektedir. Üretilen enerji depolanmaksızın anlık enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılır. Yasal düzenlemelerin gerektiği bu uygulamada, sistem sahibi üretilen enerji kadar gelir elde edebilmektedir (Keskin, 2014).

2.2. Güneş Enerjili Aydınlatma Sistemleri

Güneş enerjili aydınlatma sistemleri güneş panellerinin en çok uygulanan bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde, teknolojinin ilerlemesine paralel olarak panel fiyatları da düşüş göstermiştir. Bu sayede, güneş enerjili aydınlatma sistemleri trafik işaret ve levhaları, sokak aydınlatmaları gibi yaygın ve pratik uygulama alanları bulmuştur (<https://www.tekniksolar.com>, 2020).

Güneş enerjili aydınlatma sistemlerinin uygulama alanları ve sağladığı avantajlar aşağıda sıralanmıştır:

Uygulama alanları;

- Park ve bahçe aydınlatmaları,
- Cadde ve sokak aydınlatmaları,
- Fabrika, işyeri, alışveriş merkezi, üniversite bahçe ve otoparkları,
- Sinyalizasyon, güvenlik sistemleri,
- Totem, reklam panosu, otobüs durağı aydınlatmaları,
- Benzin istasyonları,
- Acil durum aydınlatmaları,
- Şehir içi dekoratif aydınlatmadır.

Avantajları;

- Sadece ilk yatırım maliyeti vardır,
- İşletme maliyeti düşüktür,
- Elektriksel kayıpları azdır,
- Montajı kolaydır,
- Dışa bağımlılık çok azdır,
- İhtiyaca göre AC/DC elektrik üretebilme imkanı bulunmaktadır.

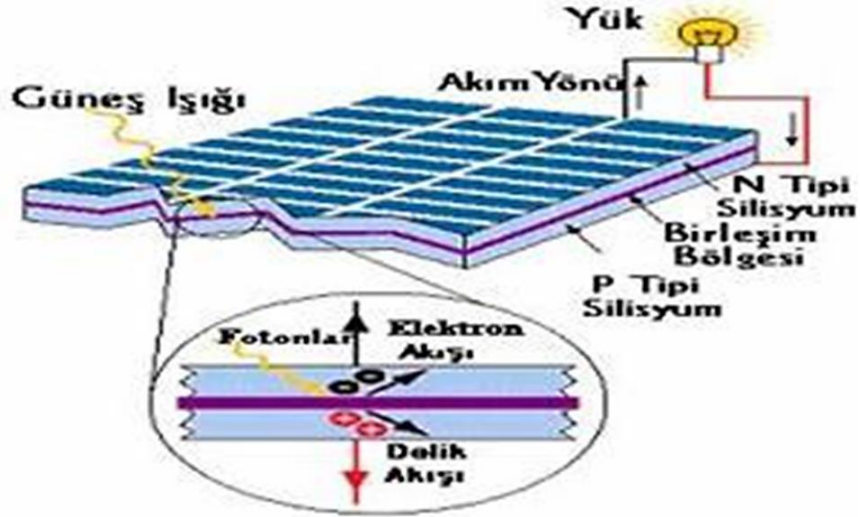
Fotovoltaik teknolojiler milyar dolarlık bir endüstridir. Yakıt kaynakları ve karbon emisyonları konusundaki endişeler, hükümetlerin ve bireylerin mevcut yüksek maliyetlerini göz ardı etmeye giderek daha fazla hazır olduğu anlamına geldiğinden, hızlı bir büyüme yaşamaktadır. Maliyetleri diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırılabilir olduğunda güneş enerjili elektrik üretim sistemleri temel elektrik enerjisi kaynağı haline gelme potansiyeline sahiptir (Bagnall ve Boreland, 2008).

2.3. Güneş Enerjili Aydınlatma Sistemlerinde Kullanılan Malzemeler

2.3.1. Güneş Paneli/Pili

Güneş panelleri literatürde güneş pili olarak da tanımlanmaktadır. Ancak, güneş pili nispeten daha küçük ölçekli sistemler için telaffuz edilmektedir. Güneş paneli temelde güneşin ışık (ışınım) enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaiik araçlardır. Güneş pillerinin geliştirilmesinde yarı iletken teknolojilerden yararlanılmıştır. Paneli oluşturan yarı iletken katmanlar N ve P tipi maddelerden oluşmaktadır. Güneş panellerinin üst tabakası ise fiziksel dayanaklılığı artırmak ve yansımayı önlemek üzere koruyucu bir tabaka ile kaplanmıştır (Adanur, 2014).

Güneş paneli teknolojilerinde, ağırlıklı olarak silisyum kristali kullanılmaktadır. Güneş pilinde çok elektrona sahip P tipi yarıiletken madde ve az elektrona sahip N tipi yarıiletken madde bulunur. Panelin çalışma mantığı, güneş ışığının fotovoltaiik hücre üzerine aktarılması ve P tipi yarıiletken maddeden elektron koparılarak enerji kazanılması ve bu elektronların N tipi yarıiletken maddeye doğru hareket etmesi ile elektrik enerjisinin ortaya çıkması şeklindedir. Bu durum, sabit ve tek yönlü bir elektron akışı yaratmakta ve nihai olarak da elektronlar P tipi yarıiletken maddeye geri dönmektedirler (Güneş, 1999).



Şekil 2.2. Güneş pillerinin yapısının şematik gösterimi

Silisyumdan n tipi yarıiletken elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubunda yer alan fosfor vb. bir madde eklenmektedir. Silisyum'un dış

yörüngesinde 4 ve fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olması nedeniyle, fosforun fazla elektronu kristal yapıya bir elektron vermektedir. 5. grup elementler n tipi katkı maddesi olarak adlandırılır. P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. grupta yer alan alüminyum, indiyum, bor gibi bir element eklenmektedir. Bu tür maddelere de p tipi katkı maddeleri denilir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksiktir. Elektron yokluğuna ‘hol’ ya da ‘boşluk’ denilir (Karamanav, 2007).

N ve P’den oluşan yarıiletken oluşumun güneş paneli olarak çalışabilmesi için eklem bölgesinde fotovoltaiik dönüşüm sağlanması gerekir. Bu dönüşüm, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulması ve bu holun bölgedeki elektrik alanı yardımıyla birbirlerinden ayrılması ile gerçekleşir (Özen, 2015).

Fotovoltaiik (FV) güneş panellerinde monokristal ve polikristal yarıiletken teknolojiler kullanılabilir. Monokristalin hücre verimliliği %19-20 arasında iken, polikristalde mükemmel birleşme sağlanamadığı için verimlilik %13-15’e düşmektedir (Sudhakar ve Srivastava, 2014).



Şekil 2.3. (a) Mono-kristal silikon (b) poli-kristal silikon (c) amorf

Güneş panelleri, aydınlatma sistemlerinde kullanıldığında güneşe olan konumunun doğru biçimde seçilmesi ve konumlandırılması gerekmektedir. Panel seçiminde gündüzün en kısa olduğu 21 Aralık tarihi referans alınmalıdır. Bunun için güneş ışıını temsil eden simülasyon sistemleri kullanılabilir. Panel boyutunun da hatalı seçilmesi sistemin kış aylarında verimli çalışmamasına neden olabilir. Birden fazla güneş paneli paralel ya da seri bağlanarak fotovoltaiik modül oluşturulmakta ve bahsedilen dezavantajlar giderilmeye çalışılmaktadır. Talebe bağlı olarak modüllerin

seri ya da paralel bağlanması sonucunda yüksek güçlü sistemler oluşturulabilir (<http://www.solarensa.com/sistem-bilesenleri.html>, 2020);



Kaynak: <https://www.ilbank.gov.tr/sayfa/gunes-enerjisi>, 15.10.2020

Şekil 2.4. Fotovoltaik uygulama örnekleri

Güneş pillerinin %98'i Si (silisyum)'dur. Silisyum dünyada saf halde olmayan bir biçimde bol miktarda bulunmaktadır. Si, dünyada genel olarak silisyum dioksit (SiO_2 , kuvars) halde bulunur. Bu kuvars kristalinin saflaştırma işlemi ise yüksek maliyet gerektirir. Bu yüzden güneş pillerinin maliyeti de yüksektir (Pandey ve diğ., 2015).

2.3.1.1. Sabit FV Panelli Sistemler

Bu tür FV aydınlatma sistemlerinde elektrik enerjisinin üretileceği güneş paneli, kullanılacak yerin coğrafi konumuna göre güneşe dik olarak en iyi açının hesaplanması ve sabit biçimde yerleştirilmesi şeklinde gerekmektedir. Sabit FV panelli aydınlatma sistemleri düşük maliyetleri ve enerji/maliyet performansları ile daha fazla tercih edilen sistemlerdir. Örnek bir sabit FV panelli aydınlatma sistemi Şekil 2.5'de gösterilmiştir.

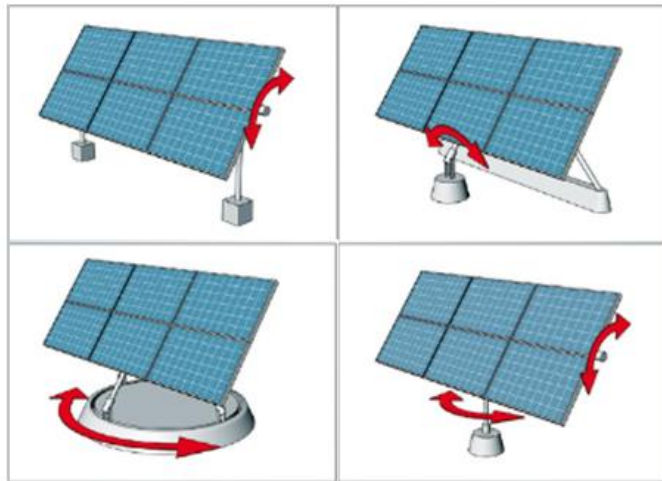


Kaynak: <https://www.tekniksolar.com/gunes-enerjili-aydinlatma-sistemi>, 15.10.2020

Şekil 2.5. Sabit FV panelli aydınlatma sistemi örneği

2.3.1.2. Hareketli FV Panelli Sistemler

Bu tür aydınlatma sistemlerinde FV paneller yatay ve dikey eksenlerde (X ve Y axis) hareket edebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Bu hareketler genellikle adım (step) motorlar kullanılarak gerçekleştirilir. FV paneller bazen tek eksen (genellikle dikey eksen) bazen de yatay ve dikey olmak üzere iki eksen (genellikle dikey eksen) hareket edebilmektedir. Bu tür sistemlerde genellikle bulanık mantık (fuzzy logic) tabanlı elektronik üniteler kullanılır. Hareketli panelli bir FV sistemin panel eksen hareketleri Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Kaynak: <http://www.keremcilli.com/solar-pv-tracker-vs-fixed-comparison>, 01.01.2021

Şekil 2.6. Hareketli FV panelin eksen hareketleri

2.3.2. Akü

Aküler, güneş enerjili sistemlerin en temel parçaları arasındadır. Aküler için sistemde ‘otonom süresi’ ön plana çıkan bir husustur. Otonom süresi güneşin olmadığı ya da yeterli düzeyde ışıyım sağlamadığı durumlarda enerjinin devamının sağlandığı gün sayısını ifade etmektedir. Ortalama ideal otonom süresi 3 gündür. Ayrıca, güneş enerjili sistemlerde akünün kullanım ömrünün tükenmemesi için akünün tamamen deşarj olmasını önlemek gerekmektedir (İşçan ve Ersanlı, 2016).

2.3.3. İnvertör Ünitesi

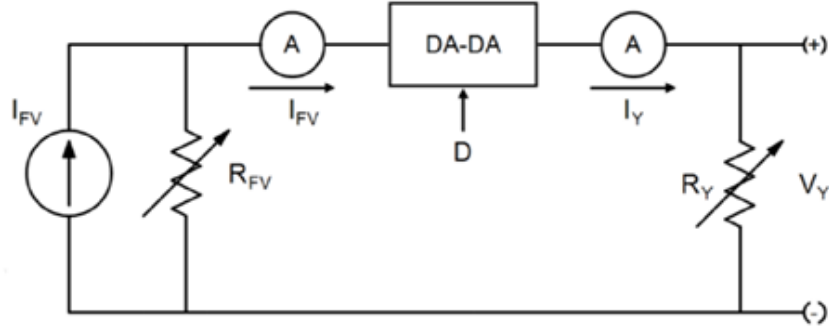
Güneş panelleri DC güç üretmektedir. DC gerilim ise her ne kadar akünün şarjı için uygun olsa da sistemin AC güç ile çalışan üniteleri de besleyebilmesi istenir. Bunun için sistemde DC/AC dönüştürücüler (invertör) kullanılmaktadır (<https://www.tekniksolar.com>, 2020).

2.3.4. Şarj Regülatörü / DA-DA Dönüştürücü

FV panellerin çalışma özellikleri göz önünde bulundurularak, daha etkin verimli ve uzun ömürlü kullanılmaları için bir güç dönüştürücü devresi üzerinden yüke bağlanması gerekmektedir. Şarj regülatörü panelden aküye gelen akımı kontrol eden ve akünün şarj ve deşarj döngüsünü kontrol altında tutan elektronik ünitelerdir (İşçan ve Ersanlı, 2016).

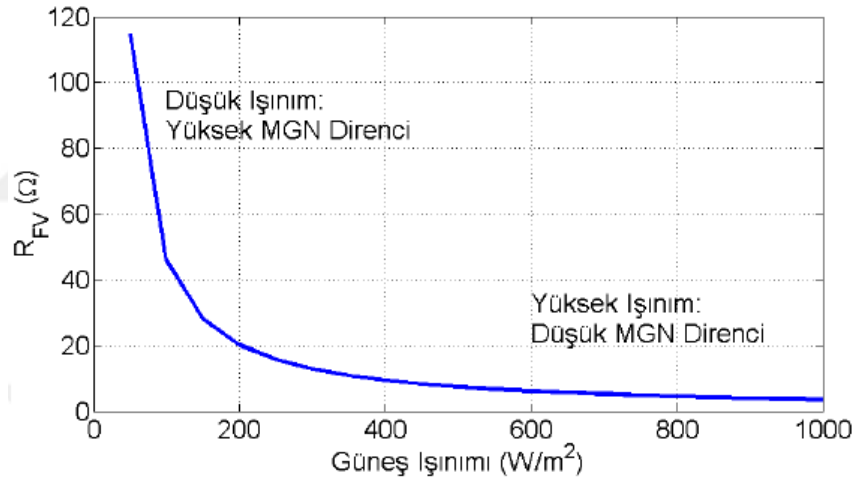
Şarj regülatörleri literatürde ‘DC-DC dönüştürücü’ ya da ‘DA-DA dönüştürücü’ olarak da adlandırılırlar. Dönüştürücüler, DC bir gerilimin yüksek veya düşük düzeydeki istenen bir seviyeye dönüştürülmesi amacıyla geliştirilmişlerdir. DC-DC dönüştürücülerde yaygın olarak yüksek çıkış gücü verebilen MOSFET transistörler Darbe Genilik Modülasyonu (Pulse Width Modulation, PWM) ile sürülmesi yöntemi tercih edilir (Keskin, 2014).

Temel bir DC-DC dönüştürücü devresi Şekil 2.7’deki gibi tasarlanabilir.



Şekil 2.7. Temel DA-DA dönüştürücü diagramı

Şekil 2.7’da gösterilen şemada; I_{FV} , güneş ışınımı ile doğru R_{FV} ile ters orantılıdır. Dolayısıyla güneş ışınımı artarsa R_{FV} azalmakta ve güneş ışınımı azalırsa R_{FV} artmaktadır. Şekil 2.8’de güneş ışınımına göre gözlenen eşdeğer panel direnci değişimi gösterilmektedir (Başoğlu, 2017).



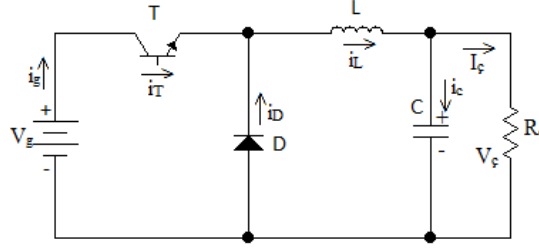
Şekil 2.8. FV panel eşdeğer direncinin güneş ışınımına göre değişimi

DC-DC dönüştürücü tasarımında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler aşağıdaki alt başlıklar halinde detaylı olarak açıklanmıştır.

2.3.4.1. Düşürücü Dönüştürücüler (Buck Converters)

Düşürücü dönüştürücünün temel devre şeması Şekil 2.9’da gösterilmiştir. Düşürücü dönüştürücü devresinde, birinci adımda transistör iletimdeyken endüktans akımı artmaktadır. İkinci adımda transistör kesimde olup, endüktans üzerindeki enerji boşalana kadar yükü beslenmekte, diğer bir ifadeyle çıkış gücü elde

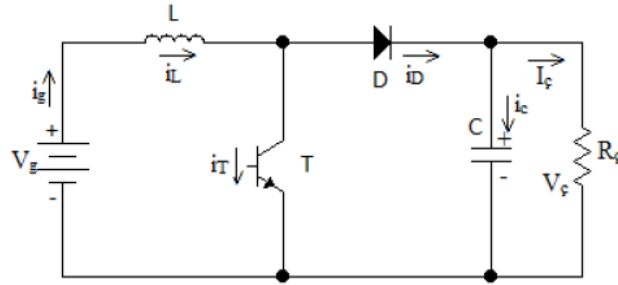
edilmektedir. Bu anda diyot da iletimde olduğu için endüktans akımı azalmaya başlamaktadır (Mohan ve diğ., 1995).



Şekil 2.9. Düşürücü dönüştürücü devre şeması

2.3.4.2. Yükseltici Dönüştürücüler (Boost Converters)

Yükseltici dönüştürücüleri temsil eden temel devre Şekil 2.10'da sunulmuştur. Birinci adımda transistör iletimde ve diyot kesimdedir. Bu anda, V_g kaynağı endüktansı besler ve akım artar ve endüktans enerjilenir. Dolayısıyla, yük, kondansatör tarafından beslenir. İkinci adımda, PWM sinyali kesilen transistör kesime gider ve endüktans enerjisi diyot üzerinden çıkışı besler. Zamanla endüktanstan geçen akım azalır. Transistör iletime geçince endüktans tekrar V_g gerilimi ile beslenir (Keskin, 2014).

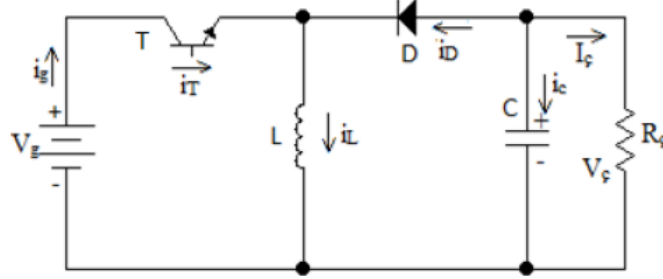


Şekil 2.10. Yükseltici dönüştürücü devre şeması

2.3.4.3. Düşürücü-Yükseltici Dönüştürücüler (Buck-Boost Converters)

Düşürücü- yükseltici dönüştürücü şeması Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Burada, çıkış geriliminin yönü giriş gerilimine göre terstir. Bundan dolayı ters çıkışlı dönüştürücü olarak da adlandırılır (Keskin, 2014). Birinci adımda, giriş gerilimi endüktansı besler ve akım doğrusal olarak artar. Transistörün iletimde olduğu aralıkta yük, kondansatör tarafından beslenir, ikinci adımda ise transistör kesime

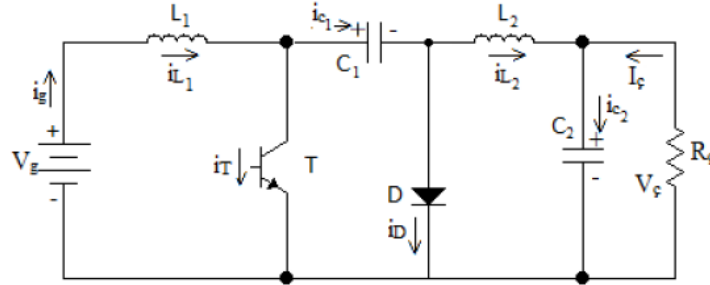
gider ve diyotun iletme geçer ve endüktans enerjisi ile beslenir. Bu adımda endüktans akımı azalmaya başlar ve enerji düzeyi azalır (Bodur, 2010).



Şekil 2.11. Düşürücü- Yükseltici dönüştürücü devre şeması

2.3.4.4. Cük Dönüştürücüler

Cük dönüştürücü şeması Şekil 2.12’de gösterilmiştir. Aynı zamanda düşürücü-yükseltici olarak da adlandırılan bu dönüştürücüler, düşürücü-yükselticilerin daha gelişmiş versiyonudur. Burada, düşürücü ve yükseltici üniteler eş zamanlı olarak çalışır. En büyük avantajı, giriş ve çıkışta yer alan endüktans ile akım dalgalanmalarının önlenmesidir (Keskin, 2014).



Şekil 2.12. Cük türü DA-DA dönüştürücü devre şeması

Cük türü dönüştürücüde, birinci adımda, yükseltici katta V_g kaynağı ile L_1 endüktansı beslenir ve düşürücü katta ise $VC1$ kaynağı ile L_2 endüktansı ve yük beslenir. İkinci adımda ise, yükseltici katta V_g kaynağı ile enerjili L_1 endüktansı ve $VC1$ kaynağı beslenirken düşürücü katta enerjili L_2 endüktansı yükü besler. Devrede, giriş akımı L_1 endüktans akımına, çıkış akımı ise L_2 endüktans akımına oldukça yakındır (Bodur, 2010).

Cük dönüştürücülerin Single-Ended Primary-Inductor (SEPIC) ve ZETA şeklinde iki farklı alt türü bulunmaktadır. SEPIC ve ZETA, Buck Boost’a benzer

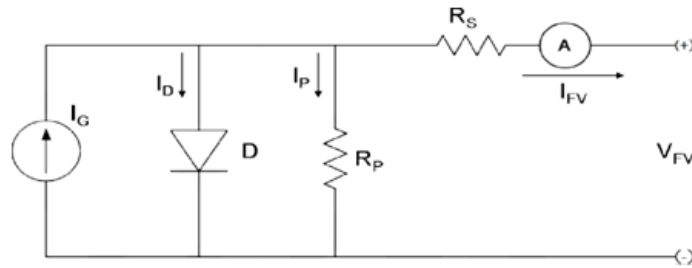
şekilde yukarı ve aşağı hareket edebilir ve aynı polariteyi korurken, Cük, Buck Boost'a benzer ve voltajı tersine çevirir. SEPIC sürekli bir giriş ve çıkış akımına sahiptir, bu nedenle daha az dalgalanma sağlar. Cuk, hassas kaynaklar ve radyo uygulamaları gibi hassas yükler için oldukça uygundur (<https://www.electronicweekly.com/blogs/engineer-in-wonderland/zeta-that-other-dc-dc-topology-2016-05>, 2022)

2.3.5. Aydınlatma Ünitesi

Sistemin aydınlatma ünitesinde kullanım amacına uygun ışık kaynakları tercih edilir. En çok tercih edilen ışık kaynakları tasarruflu flouresant lambalar, ledler ve SOX lambalardır. Akünün şarj ve güç durumuna göre enerji tasarrufu sağlamak amacıyla belirli saatlerde ünitenin aydınlatma seviyesi düşürülebilir (<https://www.tekniksolar.com>, 2020).

2.4. Fotovoltaik Panel Güç Karakteristikleri

Fotovoltaik hücreler, yüzeylerine düşen güneş ışınımına bağlı olarak DC güç üretirler. FV hücreleri oluşturan p-n maddeler, diyotların çalışma sistemine benzeyen bir elektronik karakteristiğe sahiptirler. FV hücreler için elektriksel eş değer devre şeması Şekil 2.13'te verilmiştir. Burada; I_G , güneş ışınımına bağlı akım; I_D , diyot akımı ve I_P , paralel direnç akımını temsil etmektedir. R_S ve R_P ise kontak ve parazitik dirençlerdir (Başoğlu, 2017).



Şekil 2.13. Tipik bir FV hücrenin tek diyotlu elektriksel eş değer devresi

Fotovoltaik teknolojiler, verimlilik ve etkinlik gibi karakteristik özellikler açısından sürekli olarak geliştirilmektedirler. FV paneller, teknolojik ve fiziksel özellikleri nedeniyle farklı voltaj, akım ve güç değerlerine sahiptirler. Güneş paneli, ile istenen güç çıkışı elde edebilmek için seri ve paralel kombinasyonlar

tasarlanmaktadır. Panel ile, ideal güneş ve sıcaklık koşullarına bağlı olarak watt cinsinden güç çıkışı hesaplanabilir (Keskin, 2014).

2.4.1. Düzenli Işınım Durumu

FV panel yüzeyi eşit ışınlıma maruz kalmışsa, güç-gerilim eğrisi üzerinde tek bir Maksimum Güç Noktası (MGN) oluşur. Düzenli ışınlım durumunda panel üzerinde oluşan IFV hücre akımı Denklem (2.1) ve Denklem (2.2) kullanılarak matematiksel olarak hesaplanabilir.

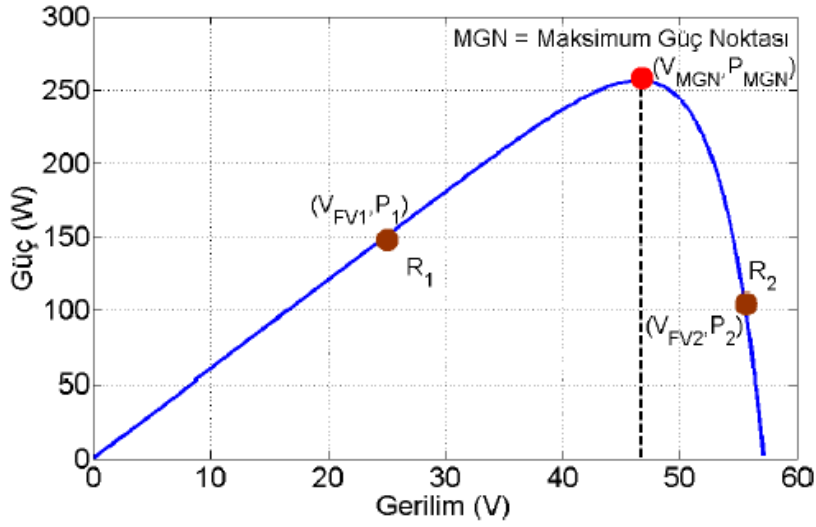
$$I_{FV} = I_G - I_D - I_P \quad (2.1)$$

$$I_{FV} = I_{KD} \frac{Q_A}{Q_R} - K_I (T_H - T_R) - I_{RS} (e^{\frac{q}{kT_H}} - 1) - \frac{V_{FV} + I_{FV} R_S}{R_P} \quad (2.2)$$

Denklemden; Q_A , FV panel yüzeyine düşen güneş ışınlımı değeri (kW/m^2), Q_R , standart test koşulları için ışınlım değeri (kW/m^2), K_I , akım - sıcaklık düzeltme katsayısı, T_H , FV hücre çalışma sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), T_R , standart test koşulları için sıcaklık değeri ($^{\circ}\text{C}$), I_{RS} , ters diyot akımı (A), q , elektron yükü (C), k , Boltzmann sabiti, I_{KD} , kısa devre akımı (A), R_S ve R_P ise seri ve paralel direnç değerlerini, diğer bir ifadeyle yaşanan kayıpları ve kontak direncini ifade eder (Villalva, Gazoli ve Filho, 2009).

2.4.2. Parçalı Gölgeleme Durumu

FV paneller gün içerisinde farklı ışınlım değerlerine maruz kalmaktadır. Bu durumun doğal bir sonucu olarak FV paneller değişen düzeylerde güç üretirler. Temelde FV panellerin akım ve gerilim değerleri ters orantılıdır. Bu sebeple, panel akım-gerilim veya güç-gerilim eğrisi üzerinde sadece bir noktada en yüksek verim (V_{MGN} , I_{MGN}) elde edilebilir. Elde edilen bu verim düzeyine ‘Maksimum Güç Noktası (MGN)’ denilir. Şekil 2.14’te yüzeyi eşit ışınlım alan bir FV panelin güç-gerilim eğrisi ve MGN gösterilmiştir. FV panel doğrudan R1 değerli bir yüke bağlanırsa MGN’den uzakta ve düşük verimli bir çalışma gerçekleşir. Aynı durum R2 değerli yük için de geçerlidir. Dolayısıyla, FV paneller direnç, batarya veya şebeke gibi bir yüke güç dönüştürücüsü ünitesi aracılığıyla bağlanmalıdır (Başoğlu, 2017).



Şekil 2.14. Tipik bir güç-gerilim karakteristik eğrisi

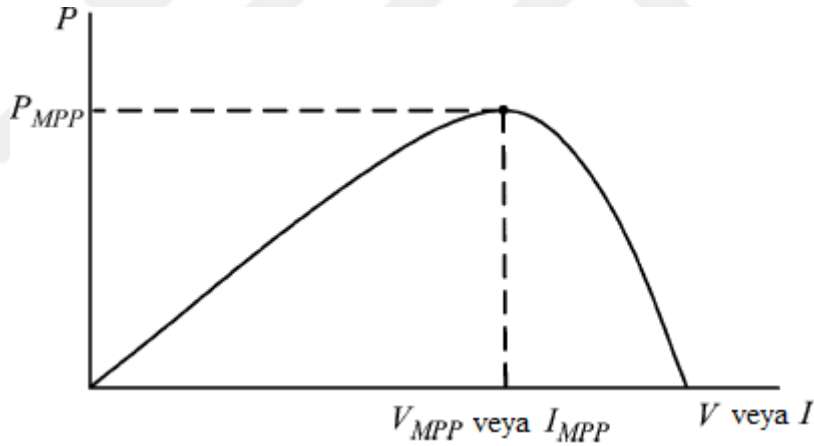
Güneş enerjisinden daha fazla verim elde etmek için FV paneller seri olarak birbirlerine bağlanabilir. Seri bağlı modüllerde düşük ışınım sebebiyle düşük düzeyde akım üretilir ve bu durum ise verimsiz çalışmaya yol açar. Bu durumun ortaya çıkardığı dezavantajın giderilmesi için panellere paralel diyot ilave edilmeli ve gölgelenme durumunda daha yüksek verime ulaşılmaya çalışılmalıdır. Diyot bağlanmaz ise ortaya çıkan gerilim farkları sebebiyle, modüller yüksek ışıma maruz kalma etkisi göstererek yük gibi davranmakta ve güç harcamaya başlamaktadır. Ayrıca, ilgili modülün sıcaklığı da artış göstermektedir. Sıcaklığın aşırı artma durumu panele zarar veren “hotspot” olarak tanımlanmaktadır (Başoğlu, 2017).

2.5. Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemleri

FV paneller düşük güç verimine sahiptirler. Bu sebeple, Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNİ) algoritmaları güç dönüştürücüler ile birlikte kullanılmaları gerekmektedir (Fernia ve diğ., 2005). FV panel yüzeyine gelen güneş ışınımı düzenli veya eşit dağılımlı ise ‘tepe tırmanma’ ve ‘değiştir gözle’ algoritmaları kullanılarak MGNİ gerçekleştirilebilir (Safari ve Mekhilef, 2011). Bu algoritmalar, tek bir maksimum güç noktası olan sistemler için oldukça uygundur (Esrar ve Chapman, 2007).

MGN'na erişmek için belirlenen adım miktarının küçük olması MGNİ süresini arttırmakta ve güç salınımını azaltmaktadır. Adım miktarının büyük olması ise tam tersi etki yaratmaktadır. Bu ikilemi ortadan kaldırmak için uyarlanabilir adım aralıklı değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmaları önerilmektedir (Liu, 2008). MGNİ algoritmalarında temel olarak gücün gerilime göre değişimi ($\Delta P/\Delta V$) izlenir ve oranın büyük olduğu durumlarda büyük, oranın sıfıra yakın olduğu durumlarda ise küçük adım aralığı seçilmelidir. Bu sayede, en uygun MGNİ süresi elde edilerek kararlı hal dalgalanma seviyesi minimize edilir (Mei ve diğ., 2011).

FV panel ile elektrik üretimini doğrudan etkileyen en önemli üç etken; ışıınım, sıcaklık ve panel gerilimidir. Eğer panel üzerinde yüke transfer edilen güç optimum değilse elde edilen güç verimsiz olmaktadır. Şekil 2.15'de güç-gerilim ya da güç-akım grafiği gösterilmiştir. Buna göre; gücün (PMPP) en yüksek olduğu noktada gerilim (VMPP) ve akım (IMPP) en yüksek seviyededir (Keskin, 2014).



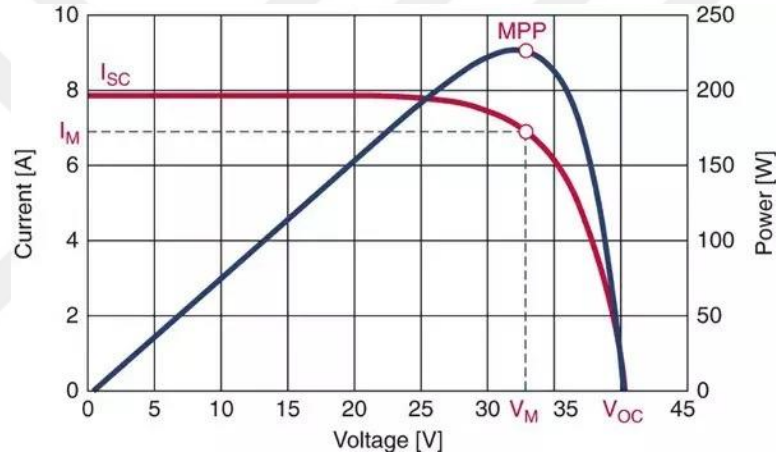
Şekil 2.15. Açık devre gerilimi algoritmasına ait akış diyagramı

PV sistemleri nispeten düşük bir dönüştürme verimliliğine sahiptir. Bu nedenle, bir PV sisteminde güneş pili dizisi için maksimum güç noktası takibi (MPPT) esastır. PV sistemlerinin doğrusal olmayan davranışı ve ayrıca maksimum güç noktasının güneş ışıınım seviyesi ve sıcaklık ile değişimleri, maksimum güç noktasının izlenmesini zorlaştırır (Reisi, Moradi ve Jamasb , 2013).

FV panel karakteristik eğrileri parçalı gölgelenme koşulunda incelendiğinde, güç-gerilim eğrisi üzerinde kaç adet MGN oluşacağı panel yüzeyine düşen farklı

ışınım durumuna göre tespit edilebilir. Sonuçta, güç taraması yapılmaksızın, hızlı ve yüksek verimli MGNİ gerçekleştirilebilir (Chen ve diğ., 2014).

Güneş panelli elektrik üretim sistemlerinde yaygın olarak kullanılan maksimum güç takip tekniği Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT) [Maximum Power Point Tracking, MPPT]'dir. MPPT sistemleri güneş panellerinden elde edilen gücün belirli periyotlarda peak yaptığı değerlerin yani tepe değerinin takip edilerek yük ünitesine yollanmasını sağlamaktadır. Yöntem sayesinde bataryaların ömrü diğer yöntemlere nazaran daha uzundur. Bu sayede sistemin idame ve işletme maliyetleri de daha ekonomik olmaktadır. MMPT ile elde edilen I-V güç dengesi Şekil 2.16'da gösterilmiştir (Eltamaly ve diğ., 2020).



Şekil 2.16. MPPT Sisteminin I-V eğrisi

MGN'nın nerede ve hangi düzeyde oluşacağına, yük, ışınım, sıcaklık vb. değişik faktörler etki etmektedir. Panelden ideal verimi almak için sistemin maksimum güç noktasında çalışması sağlanmalıdır. Bunun için; PV akımı, PV gerilimi, Işınım şiddeti, PV yüzey sıcaklığı, yük akımı, yük gerilimi vb. değişkenler sürekli takip edilmeli ve MGN güncellenmelidir (Bakım, 2016).

Literatürde öne çıkan maksimum güç noktası izleme yöntemleri aşağıdaki alt başlıklarda incelenmiştir.

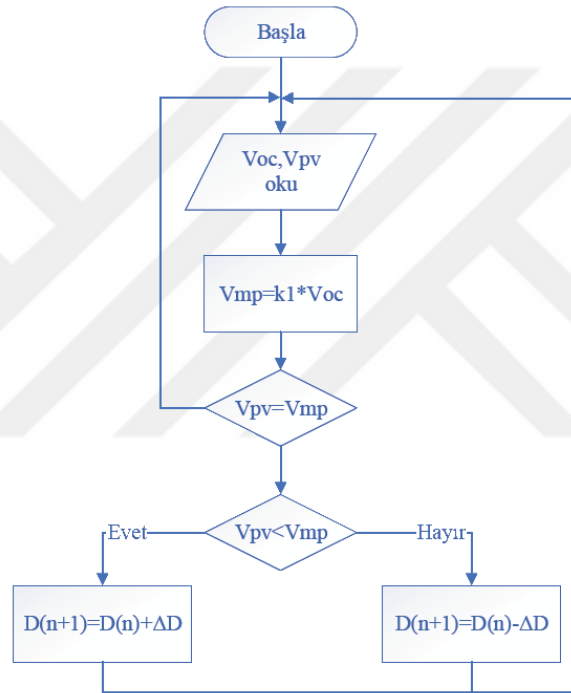
2.5.1. Açık Devre Gerilim Algoritması

Bu algoritma, maksimum gücün panelin açık devre gerilimiyle kontrolüne dayanır. Panelin açık devre geriliminin k_1 katsayısı ile çarpılarak maksimum güç noktasındaki gerilim bulunabilir (Das, 2015).

Çıkış gerilimi, Denklem (2.3) ile elde edilmektedir.

$$V_{mp} = k_1.V_{oc} \quad (2.3)$$

Algoritmaya ilişkin akış diyagramı aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Açık devre gerilimi algoritması akış diyagramı

Akış diagramında göre, öncelikle panelin uçları açık iken ölçülen değerler ile panelin yükte bağlı iken ürettiği gerilim okunur ve maksimum güç noktası hesaplanır. Hesaplanan değer ile panelin ürettiği gerilim karşılaştırılarak, üretilen gerilim, hesaplanan değerden büyük ise anahtar görev oranı (duty cycle) azaltılır, küçük ise artırılır. Aradaki fark sıfır ise algorithmada başa dönülür (Das, 2015).

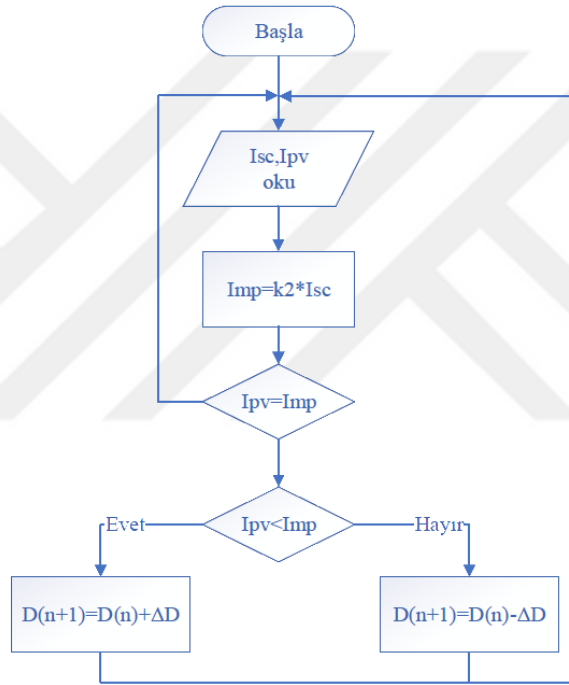
2.5.2. Kısa Devre Akım Algoritması

Bu algoritma, maksimum gücün panelin kısa devre akımıyla kontrolüne dayanır. Panelin kısa devre akımı k_2 gibi bir katsayı ile çarpılarak maksimum güç noktasındaki akım bulunabilir (Das, 2015).

Bu durum, Denklem (2.4) ile ifade edilebilir.

$$I_{mp} = k_2 \cdot I_{oc} \quad (2.4)$$

Algoritmaya ilişkin akış diyagramı aşağıda gösterilmiştir.



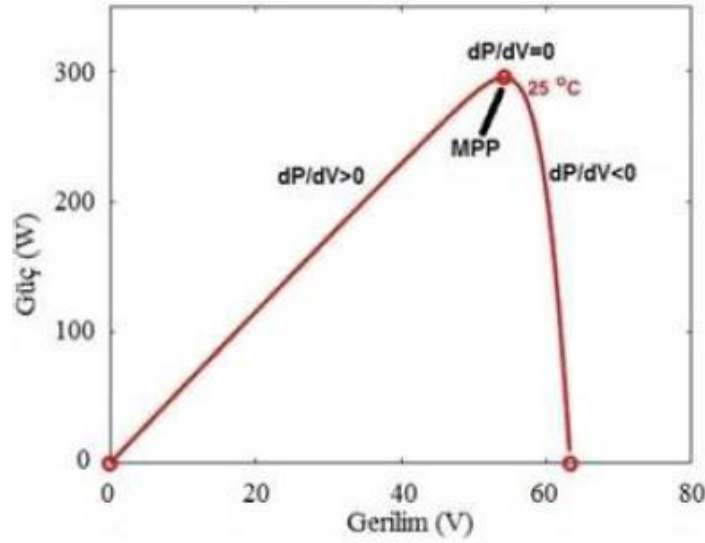
Şekil 2.18. Kısa devre akımı algoritması akış diyagramı

Akış diyagramında göre, öncelikle panelin uçları açık iken ve panel yüke bağlı iken ürettiği akım değerleri ölçülür ve maksimum güç noktası hesaplanır. Ölçülen değer ile panelin ürettiği akım karşılaştırılır. Üretilen akım, hesaplanan değerden büyük ise duty cycle azaltılır, küçük ise arttırılır. Aradaki fark sıfır ise algoritmada başa dönülür (Das, 2015).

2.5.3. Değiştir ve Gözle (P&O) Algoritması

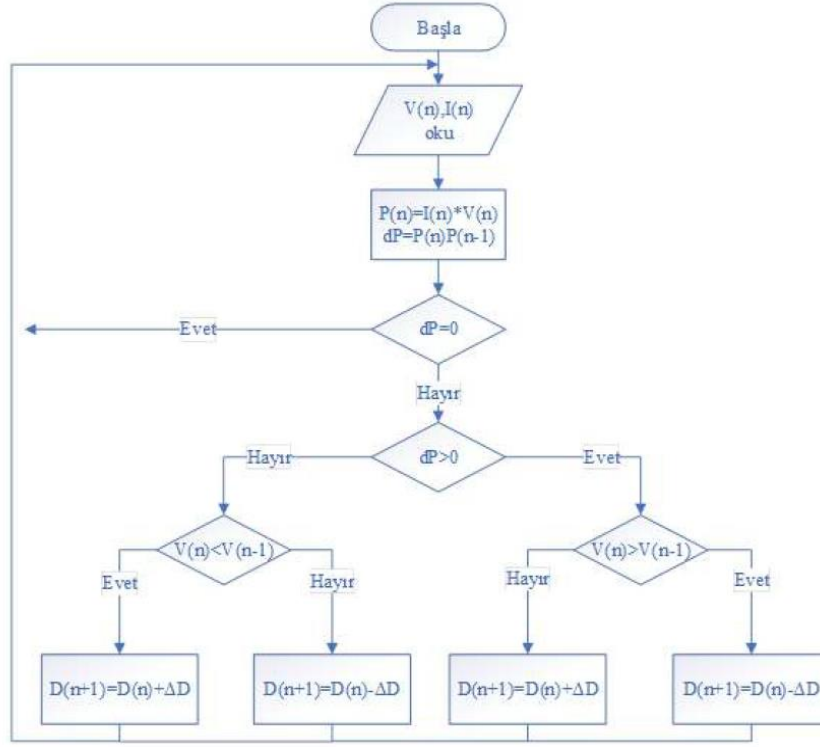
Değiştir ve gözle (P&O) algoritması en çok kullanılan yöntemdir. Yöntemde iterasyon yapılarak maksimum güç noktasına yaklaşılmaya çalışılır. Burada ilk önce

panelin akım ve gerilim değerleri ölçülür ve panel gücü hesaplanır. Panelin bir önceki güç değerleri ile son ölçülen güç değerleri karşılaştırılır (dP). Güçteki değişimin yönüne göre gerilim değerleri (dV) karşılaştırılır. Gerilimdeki değişim yönüne göre ise duty cycle oranı belirlenir. Bu işlem sürekli olarak tekrar edilir. (Abdelsalam, 2011). Değiştir ve gözle algoritmasının çalışma prensibi Şekil 2.19’da gösterilmiştir (Verma ve diğ., 2015).



Şekil 2.19. Değiştir ve gözle algoritması çalışma prensibi

P&O sisteminin temeli anlık çalışma noktasının belirlenmesine dayanır. Eğer güç-gerilim maksimum güç noktasının solunda ise $dP/dV>0$; sağında ise $dP/dV<0$ ve maksimum güç noktası üzerinde ise $dP/dV=0$ olduğu anlaşılır. Anahtar görev oranı ayarlanarak çalışma noktasının sistemin maksimum güç noktasına doğru kayması sağlanabilir. Algoritmaya ilişkin akış diyagramı Şekil 2.20’de sunulmuştur.



Şekil 2.20. Değiştir ve Gözle algoritmasının akış diyagramı

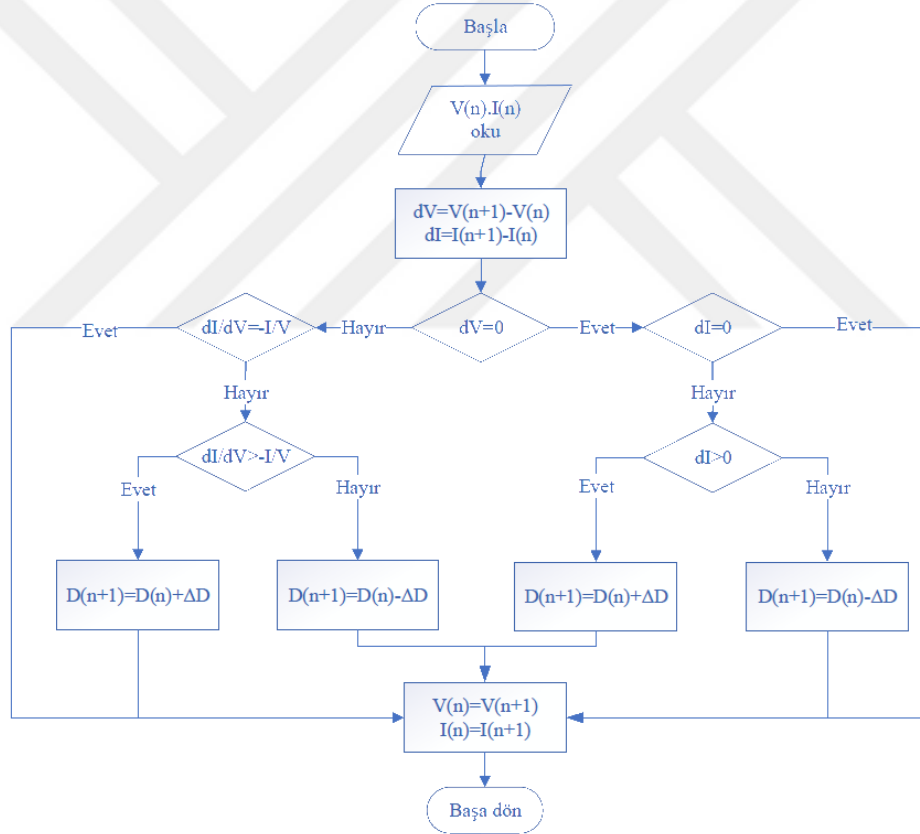
Akış diagramına göre, öncelikle sensörler vasıtasıyla akım ve gerilim değerleri ölçülür ve sistem çıkış güç değeri hesaplanır. Bir önceki güç ile son güç farkı (dP) belirlenir. $dP=0$ ise algoritmada başa dönülür. Güç değişimi sıfırdan küçük ise gerilim değerlerine bakılır. Gerilim değeri ile bir önceki gerilim değeri arasındaki fark sıfırdan küçük ise anahtar oranı arttırılır, sıfırdan büyük ise anahtar oranı azaltılır. Güç değişiminin sıfırdan büyük olması durumunda gerilim değerleri kontrol edilir. Gerilim değerleri arasındaki fark sıfırdan küçük ise anahtar oranı arttırılır, sıfırdan büyük ise azaltılır (Ahmed ve Salam, 2015).

2.5.4. Artan İletkenlik Algoritması

Artan iletkenlik algoritmasının çalışma mantığı, çıkış gücünün gerilime göre türevinin hesaplanmasına dayanır. Çıkış gücünün gerilime göre türevi aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilmektedir.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \cdot \frac{dI}{dV} = I + V \cdot \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (2.5)$$

Denklem (2.5)'e göre, türev değerinin; maksimum güç noktasında sıfıra eşit, pozitif değerlerde maksimum güç noktasının solunda, negatif değerlerde ise maksimum güç noktasının sağında olması öngörülür. Öncelikle, sensörlerden elde edilen akım ve gerilim değerleri ile akım ve gerilimdeki değişimler hesaplanır. Değişim pozitif ise anahtar görev oranı artırılır, negatif ise azaltılır. Eğer gerilim sıfırdan farklı ise, akımdaki değişimin gerilimdeki değişime oranı $-I/V$ ye eşit ise algoritma başa döner. Eşit değilse $-I/V$ ile karşılaştırılır. Akımdaki değişimin gerilimdeki değişime oranı $-I/V$ den büyük ise anahtar görev oranı artırılır, küçük ise azaltılır. Yönteme ait akış diyagramı Şekil 2.21'de gösterilmiştir (Ishaque ve Salam, 2012).



Şekil 2.21. Artan iletkenlik algoritmasının akış diyagramı

2.5.5. Kısmi Gölgeleme Algoritması

FV panel üzerinde, toz, çamur, yaprak gibi nesneler ile bina, bulut gölgesi gibi olumsuz etkenler nedeniyle kısmi gölgeleme durumu meydana gelebilir. Bu durumda panel verimi düşer. Kısmi gölgeleme durumunda, iç dirençler üzerinde

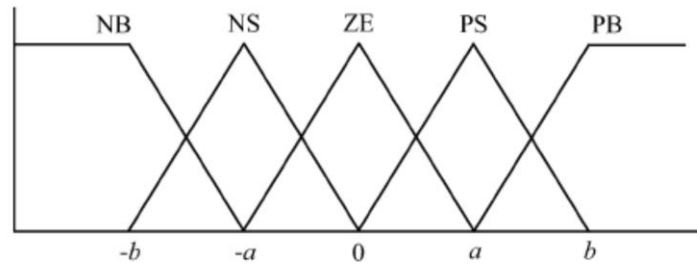
güç kaybı olmaması ve gerilim düşmesinin önlenmesi için köprü diyotları kullanılmaktadır. Diyotlar kullanıldığında iç dirençler üzerinden akım akabilir. Böylece FV panel dizisine ilişkin güç eğrisinde birçok maksimum güç noktası oluşmaktadır. Bu noktalara Lokal Maksimum Güç Noktası, noktaların en büyüğüne ise Global Maksimum Güç Noktası denilmektedir (Özdemir ve Pamuk, 2021).

2.5.6. Bulanık Mantık Yöntemi

Bulanık mantık yönteminde, öncelikle, FV panelin maksimum güç noktası/noktaları belirlenir ve bu noktalar hafıza ünitesine yüklenir. Sisteme entegre edilen sensörler yardımıyla uygun maksimum güç noktasına karar verilir ve yürülüğe konulur (Subudhi ve Pradhan, 2013).

Bulanık mantık yönteminde, mikrodenetleyici üniteleri bulunmalıdır. Bulanık mantık kontrolünün avantajları, kesin matematiksel yöntem içermemeleri, hızlı reaksiyon göstermeleri ve sıcaklık ve ışıyım değişimlerinde daha az kararlı duruma geçme salınımları göstermeleridir (Esrar ve Chapman, 2007).

Bulanık mantık kontrolünün aşamaları; bulanıklaştırma, kural tablosu oluşturma ve durulaştırmadır. Bulanıklaştırma aşamasında, sayısal girişler, Negatif Büyük (NB), Negatif Küçük (NS), Sıfır (ZE), Pozitif Küçük (PS) ve Pozitif Büyük (PB) dilsel değişkenlerine çevirilmektedir. Dilsel dönüşüm grafiği Şekil 2.22’de gösterilmektedir (Kumar ve Kumar, 2015).



Şekil 2.22. Bulanık mantıkta üyelik fonksiyonu grafiği

Şekil 2.22’de gösterilen grafikte; a ve b noktaları sayısal değişkenin değer aralığına göre belirlenir. Bulanık mantıkta, giriş verisi hatası (E) ve hata değişimi (ΔE) ile sembolize edilir. Kullanıcı E ve ΔE ’yi nasıl hesaplayacağına kendi karar verebilir. Maksimum güç noktasında, diğer bir ifadeyle dP/dV sıfıra eşit olduğunda,

aşağıdaki denklem çifti ile hata ve hata değişim düzeyi hesaplanabilir (Robles ve diğ., 2017).

$$E(n) = \frac{P(n) - P(n-1)}{V(n) - V(n-1)}$$

$$\Delta E(n) = E(n) - E(n-1) \quad (1.6)$$

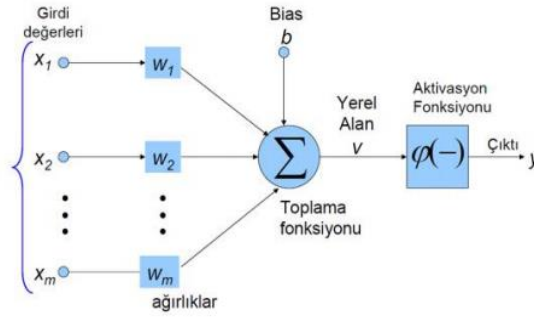
E ve ΔE hesaplanarak üyelik fonksiyonu dönüşümü yapılır ve sonuçta da bulanık mantık kontrolörün çıkışına gönderilecek olan kural tablosu oluşturulur. Örnek kural tablosu Çizelge 2.1’de gösterilmiştir. Durulaştırma aşamasında ise üyelik fonksiyonundan yararlanılarak dilsel değişkenler tekrar nümerik değişkenlere dönüştürülür ve elde edilen çıkış değeri bulanık mantık kontrolünün çıkış ünitesine gönderilir (Keskin, 2014).

Çizelge 2.1. Bulanık mantık kural tablosu

$\Delta E \rightarrow$	NB	NS	ZE	PS	PB
$E \downarrow$					
NB	ZE	ZE	NB	NB	NB
NS	ZE	ZE	NS	NS	NS
ZE	NS	ZE	ZE	ZE	PS
PS	PS	PS	PS	ZE	ZE
PB	PB	PB	PB	ZE	ZE

2.5.7. Yapay Sinir Ağları Yöntemi

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin en temel özelliği olan öğrenme fonksiyonundan esinlenerek geliştirilmiştir. YSA, kendisine girdi olarak verilen örnekler yardımı ile öğrenme işlemini gerçekleştirmektedir. Bu ağlar birbirlerine bağlı yapay hücrelerden (nöronlardan) oluşurlar. Her bağlantının bir ağırlık değeri vardır. Temel bir YSA Şekil 2.23’deki gibi gösterilebilir (Kayabaşı, Yıldız ve Balcı, 2018).



Şekil 2.23. Temel bir yapay sinir ağı grafiği

Önemli bir yapay zekâ tekniği olan YSA, 3 temel katmandan oluşmaktadır. Bunlar giriş katmanı, gizli katman ve çıktı katmanıdır. Giriş verileri doğrudan giriş katmanına uygulanır, böylece giriş katmanındaki nöron sayısı, aynı anda farklı olan her giriş numunesinin sayısına eşittir. Daha sonra bu veriler, çıktı katmanına ulaşana kadar toplama, çarpma ve aktivasyon fonksiyonları gibi işlemlerden geçer. Son olarak, bu veriler doğrudan çıktı katmanına verilir. İşlem karmaşıklığına bağlı olarak birden fazla gizli katman YSA’da kullanılabilir. Katmanlar arasında farklı aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. YSA, örnekler hakkında bilgi toplayabilir, genellemeler yapabilir ve daha önce hiç bilmediği bilgiler hakkında bu örneklerle dayanarak kararlar verebilir. Bu öğrenme ve genellemelerden ötürü, YSA birçok bilimsel alanda geniş bir uygulama bulmaktadır ve karmaşık problemleri başarılı bir şekilde çözme yeteneklerini ortaya koymaktadır (Ergezer, Dikmen ve Özdemir, 2003).

Güneş enerjili MPPT sistemlerinde, rüzgâr hızı, nem, sıcaklık ve aydınlık (ışınım) gibi veriler YSA’na girdi olarak verilmekte, aktivasyon fonksiyonları kullanılarak işlenmekte ve güneş paneli gücü olarak çıkış katmanına iletilmektedir. Bu analizler sonucunda, ışık şiddeti ve diğer girdilere bağlı olarak güneş panelinin daha verimli çalışması sağlanmaktadır (Kayabaşı, Yıldız ve Balcı, 2018).

2.6. Literatür Özeti

Adanur (2014), ‘PIC Kontrollü Solar Aydınlatma Sistemi Tasarımı ve Uygulaması’ adlı çalışmada, güneş enerjisinden elektrik üretiminin günlük hayattaki kullanımını incelenmiş ve ev/işyerlerinde kullanılabilecek bir solar aydınlatma sisteminin PIC ile kontrol edilmesine yönelik uygulama

gerçekleştirmiştir. Çalışmada, elektrik kesintisi durumunda ihtiyaç duyulan kaynak değiştirme işleminin güç kontaktörleri kullanımına göre PIC denetleyicisi ile daha hızlı ve etkili şekilde yapılabildiği ifade edilmiştir.

İşcan ve Ersanlı (2016), 'Fotovoltaik Güneş Paneli Destekli Batarya Şarj ve Led Aydınlatma Sistemi Uygulaması' adlı çalışmalarında, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik güneş pilleri ile enerji üretiminin yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı açısından en etkili yöntemlerden birisi olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada, bir şarj kontrol ünitesi ve batarya kullanılarak 20W'lık LED aydınlatma ekipmanlarını besleyebilecek bir protoip geliştirilmiş ve bataryanın şarj ve güç tüketim esnasındaki akım, gerilim ve güç değerleri analiz edilmiştir.

Patel ve Agarwal (2008) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, FV panel akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristik eğrilerini detaylı bir şekilde incelemiş ve parçalı gölgelenme durumunda maksimum güç noktalarının belirli gerilim değerlerinde oluştuğu belirlenmiştir. Çalışmada, iki MGN gerilimi arasında en az 0,8VAD fark oluştuğu ve güç-gerilim eğrisinin taranmasına gerek kalmaksızın, hızlı ve yüksek verimli MGNİ elde edildiği belirtilmiştir.

Bayram (2007) tarafından yapılan çalışmada, elektronik cihazları şehir şebekesini zarar verici kirliliklerinden koruyan ve enerji kesilmesi halinde sistemi besleyen bir kesintisiz güç kaynağı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kontrol ünitesi olarak 8 bitlik PIC tabanlı mikrodenetleyici kullanılmış ve kullanılan mikrodenetleyici ünitesi sayesinde sistemin donanımsal kısmının azaldığı, maliyetinin ucuzladığı ve şebekeden bataryaya güç geçişi sırasında etkin bir kontrol işlemi gerçekleştirilebildiği belirtilmiştir.

Akyazı ve diğ., (2019), 'Fotovoltaik Panel ve Şebeke Entegrasyonlu Akıllı Sokak Lambası Tasarımı ve Uygulaması' adlı çalışmalarında, enerjinin ülkeler için stratejik bir öneme sahip olduğu, ülkemizin enerji bakımından dışa bağımlı olup bu bağımlılığın ekonomik ve politik riskleri beraberinde getirdiği, bu bakımdan üretilen enerjinin verimli kullanılmasının, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin ve enerjinin tüketilmesinde akılcı yolları kullanılarak tasarruf edilmesinin önem arz

ettiği vurgulanmıştır. Çalışmanın uygulama bölümünde, şebeke ile tümleşik FV panel kullanılarak akıllı sokak aydınlatması tasarlanmış, geliştirilen sistemin yazılımsal ve donanımsal açıdan hedeflenen sonuçlara ulaşıldığı belirtilmiştir.

Şenol ve Aksoy (2019) tarafından yapılan ‘STM32F407 İle Bulanık Mantık Kontrollü Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi’ adlı çalışmada, FV paneller ile maksimum verim elde edilmesi için bulanık mantık kontrollü çift eksenli güneş takip sistemi tasarlanmıştır. Sistemde, STM32F407 mikrokontrol ünitesi, 4 adet LDR, 2 adet DC motor, sürücü ve gerilim yükseltici ile kontrol sağlanmıştır. Bulanık mantık ve takip işlemleri için MATLAB Waijung ve Fuzzy simülasyon setlerinden faydalanılmıştır. Çalışmanın sonunda sistemin etkin ve verimli şekilde çalıştığı ifade edilmiştir.

Mozumder ve diğ., (2019), “Güneş paneli uygulamaları için çok işlevli kaplamalardaki son gelişmeler: Bir inceleme” adlı çalışmalarında, fosil yakıtların yakılmasıyla elde edilen geleneksel enerji üretimi kaynaklarının dünya atmosferine zararlı olduğu ve küresel ısınma ve asit yağmuru gibi ciddi sorunlara yol açtığı ifade edilmiştir. Bu kapsamda, yenilenebilir ve yeşil enerji teknolojilerinin son yıllarda büyük ilgi gördüğü, özellikle, güneş enerjisi üretimi için verimli bir şekilde kullanılabilen güneşin yıl boyunca mevcut enerji kaynağı olduğundan, güneş paneli verimliliğinin iyileştirilmesinin araştırmacıların ilgisini çeken önemli bir alan olduğu vurgulanmıştır. Bu doğrultuda yapılan çalışmada, güneş paneli kaplamalarının mevcut imalat durumu ve yüzey morfolojisi, ıslanabilirlik, elektriksel iletkenlik ve ışık geçirgenlik özellikleri dahil özellikleri tartışılmıştır. İncelemede, kendi kendini temizleme (süperhidrofobik/süperhidrofilisite) ve yansıma önleyici (şeffaflık) özelliklerine ilişkin temel kavramlar açıklanmış ve kullanılan son yöntem ve teknolojiler incelenmiştir.

Midya ve diğ., (1996) çalışmalarında, güneş pili gibi değişken bir güç kaynağının maksimum güç noktasına ulaşması için dinamik süreçler tanıtılmıştır. Buna göre, süreç, geçişler sırasında döngü döngü maksimum gücün izlenmesi şeklindedir. Maksimize etme sürecini desteklemek için harici karışıklık yerine doğal anahtarlama dalgasından gelen bilgiler kullanılmaktadır. Yöntem, bir anahtarlama eyleminin mevcut olması koşuluyla, DC-DC güç dönüştürücüler için küresel olarak

kararlıdır. Kontrol için bu yöntemi kullanan prototip bir güç dönüştürücü, birkaç milisaniyelik zaman ölçeklerinde güç geçişlerini takip edebilir. Çalışmada, minimum kayıpla güç işlemeyi destekleyen basit bir analog kontrol yapısı ile elde edilen iyi bir performans elde edilebileceğini gösteren bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Bentaher ve diğ., (2014) çalışmalarında, solar FV panellerini izlemek için basit bir izleme sistemi kurulumu incelenmiştir. Çalışmada, Bir fotovoltaiik güneş paneli üzerindeki güneş ışınlarının sapmasının, güç çıkışını %50'ye kadar azaltılabileceği ve bu nedenle yoğunlaştırıcıların güneş izleyici sistemlerin ana parçaları olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada, ışığa duyarlı dirençlere dayalı basit bir izleme sistemi yerel olarak inşa edilmiş, enerji performansları test edilerek optimizasyon uygulanmıştır. Sayısal optimizasyon sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum kaydedildi. Bu sonuçların, yeni güneş izleyicilerinin tasarımı ve yapımı için kullanışlı olduğu belirlenmiştir.

Ning ve diğ., (2013), “STM32 denetleyicisine dayalı güneş ışığı konveyör izleme sisteminin tasarımı ve uygulaması” adlı çalışmalarında, güneş ışığı konveyörünün performansını artırmak için, ana yonga olarak STM32 denetleyicisine dayalı olarak açık ve kapalı döngü modunu birleştiren yeni bir izleme sistemi önerilmiştir. Sistem, hava durumunu analiz ettikten sonra, uygun olan modu seçip kullanabilmektedir. Geliştirilen sisteminin hatası $\pm 0,1^\circ$ 'den azdır. Çalışmanın sonunda, güneş ışığı konveyörünün karmaşık hava koşullarında kararlı ve güvenilir bir şekilde çalışabildiği belirlenmiştir.

Tianyi (2016) tarafından yapılan çalışmada, temiz güneş enerjisi gereksinimlerinin verimli kullanımı için, saat modülü, kademeli motor sürücü devresi, güneş pili kartı ve altı eksenli bir açı sensöründen oluşan yüksek verimli bir fotovoltaiik panel denetleyicisi tasarlanmıştır. Sistemde STM32'nin kendi RTC gerçek zamanlı saat modülü kullanılmıştır. Motor sürücü devresi SH-20403 dijital step motor sürücüsüdür. Güneş panelleri, tek kristal 100W güneş panellerinin %18'inden fazlasının dönüşüm oranına sahiptir. Altı eksenli açı sensörü, yüksek hassasiyetli ivmeölçer göstergesi MPU6050'dir. Çalışmada yapılan donanım testi, tüm sistem aydınlatma verimliliğinin geleneksel sabit güneş panellerinden en az %30 daha fazla olduğunu göstermiştir.

Zongzhou ve diğ., (2016) çalışmalarında, aydınlatma sisteminde kurşun-asit bataryayı şarj etmek için fotovoltaiik bir sistem kullanmışlardır. Sistemde kontrol ünitesi olarak STM32F407 mikrodnetleyici kullanılmıştır. Çalışmada, pil ve fotovoltaiik dizinin özellikleri incelenmiş, pil kapasite testi ve MPPT (maksimum güç noktası izleme) teknolojileri kullanılmıştır. Deney sonuçları, kontrolörün pil şarjını kontrol edebileceğini göstermiştir. Ayrıca, fotovoltaiik güç ve aydınlatma sisteminin kullanım oranını artıran deşarj işlemi etkili, kararlı ve verimli çalışma koşuluna ulaşmıştır.

Yan ve diğ., (2014) yaptıkları çalışmada, fotovoltaiik enerji üretiminin, elektriğe erişimi olmayan çoğu bölgede elektrik temini sorununu çözmek için kullanılabildiği ifade edilmiştir. Fotovoltaiik gücü elektrik aydınlatmasının temel sorununu çözebileceği, ancak, büyük güçte elektrik beslemesinin gerekli olduğu bazı durumlarda, bu tür bir gücün kullanılamayacağı, bunun da uygulama kapsamının sınırlı olduğu anlamına geldiği vurgulanmıştır. Yapılan çalışmada, depolama pillerinin ve fotovoltaiik modüllerin parametrelerini ve özelliklerini toplamak için STM32 mikroişlemci tabanlı bir kontrol yöntemi kullanılmıştır. Sistem, fotovoltaiik aydınlatmada kapasiteyi ve çıktı gücünü otomatik olarak artırabilmiştir.

Yuan ve diğ., (2020) çalışmalarında, birden çok alana uygulanabilecek bir iç mekan uyarlamalı hassas ışık sistemi önerilmiştir. Sistem, ışık takip sistemi, ışık tamamlama sistemi ve uzaktan izlemeden oluşmaktadır. Sistem ile iç mekân aydınlatmasının doğruluğu ve verimliliği önemli ölçüde artırılmış ve kullanıcılar ile sistem arasındaki bilgi etkileşimi doğrulukla gerçekleştirilmiştir.

Parida ve diğ., (2011) tarafından yapılan çalışmada, fotovoltaiik teknolojisi, onun güç üretme kapasitesi, kullanılan farklı mevcut ışık soğurma malzemelerinin çevresel yönü ve çeşitli uygulamaları gözden geçirilmiştir. Mevcut farklı performans ve güvenilirlik değerlendirme modelleri ile boyutlandırma, kontrol, şebeke bağlantısı ve dağıtımı da tartışılmıştır.

Siecker ve diğ., (2017) tarafından yapılan araştırmada, standart test koşullarının ötesinde çalışan fotovoltaiik güneş panellerinin verimliliğini artırma ve artan sıcaklığın olumsuz etkilerini en aza indirmek için kullanılabilecek çeşitli

yöntemler incelenmiştir. Bu kapsamda çalışmada, Yüzer İzlemeli Konsantre Soğutma Sistemi, su püskürtme, ısı emici, su ve hava sirkülasyonu, faz değiştiren malzeme kullanımı ve şeffaf kaplama gibi farklı soğutma teknolojileri ile soğutulan hibrit güneş sistemlerinin performansları gözden geçirilmiştir.

Lupu ve diğ., (2018) tarafından yapılan bir araştırmada, küresel enerji ihtiyacının, insanlığın evrimi ve çoğalmasıyla arttığı, fosil yakıt kaynaklarının hızla azalması ve kirliliğin artması, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik araştırmaları tetiklediği ifade edilmiştir. Bu çalışmada, güneş enerjisi dönüşüm uygulamaları hakkında bugüne kadar literatürde yayınlanmış çok sayıda makale gözden geçirilmiş ve Fotovoltaik paneller için çeşitli soğutma teknikleri sınıflandırılmıştır.

Wang (2021) araştırmasında, fotovoltaik modül yüzeyinin kirlenmesinin güç üretim verimliliği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, fotovoltaik modüllerin gözetimsiz periyodik temizliği, akıllı toz giderme ve kar temizleme işlemlerinin düşük maliyet ve yüksek güvenilirlik ile gerçekleştirilmesi ve akıllı temizlik robotları kullanılarak fotovoltaik panellerin yüzeyindeki toz temizleme verimliliğinin artırılması ve elektrik üretim verimliliğini artırmak için fotovoltaik panellerin yüzeyindeki toz ve kiri iyice temizleyen bir robotik sistem geliştirilmiştir. Bu sayede fotovoltaik güç istasyonunun hizmet ömrü uzatılmıştır.

El Chaar ve El Zein (2011) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, fotovoltaik teknolojilerde yaşanan gelişmeler incelenmiştir. Bu doğrultuda, kristal, ince film, bileşik ve nanoteknoloji şeklindeki dört ana PV türü değerlendirilmiştir. Çalışmada, PV teknolojisinin sürekli geliştirilmesinin amacının, yalnızca hücrelerin verimliliğini artırmak değil, aynı zamanda modüllerin üretim maliyetini azaltmak, dolayısıyla çeşitli uygulamalar için daha uygun hale getirmek olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, daha yeşil ve daha temiz bir çevre için güneş enerjisinin kullanımını geliştirmek için teknolojik çeşitliliğe ihtiyaç olduğu ifade edilmiştir.

Sharma ve diğ., (2013), Hindistan iklim koşulları altında farklı PV teknolojilerinin uygunluğunu incelemişlerdir. Bu kapsamda, Hindistan'daki Güneş Enerjisi Merkezi'ndeki bir test tesisinde, polikristal silikon, içsel ince katmanlı silikonlu hetero-bağlantı ve amorf tek bağlantılı silikondan oluşan fotovoltaik

teknoloji dizilerinin performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Performans karşılaştırması sonucunda, HIT ve a-Si dizilerinin bu konuda p-Si dizisinden daha iyi gsterdiği belirlenmiştir. a-Si modüllerinin enerji verimi, p-Si modüllerine göre yaz aylarında %14 daha fazla, kiş aylarında ise %6 daha az bulunmuştur. HIT modüllerinin, p-Si modüllerinden tutarlı bir şekilde %4-12 daha fazla enerji ürettiği tespit edilmiştir.

Ndiaye ve diğ., (2013) tarafından PV modüllerinin arızalanmasına yönelik bir çalışma ortaya koymuşlardır. Yapılan araştırmada, gerçek koşullar altında PV modüllerinin bozulmasını incelemek için uzun vadeli deney engelinin üstesinden gelmeye yardımcı olabileceği ifade edilmiştir. PV modüller ortalama 25 yıla kadar garanti süresine sahiptir. Bir PV sistemindeki tek bir modülün gücünü lemenin zorluğu ve PV modüllerinin çeşitli bozulma modları hakkında geri bildirim eksikliği nedeniyle, modül bozulmasıyla sonuçlanan arızalar genellikle dikkate alınmamaktadır. Tüketicilerin, ekonomik sorunları gözönünde bulundurarak, PV sistemlerinin güvenilirliği ve ömrü ile giderek daha fazla ilgilenmeye başlanmıştır. Bir PV sisteminin güvenilirliği ve ömrü, esas olarak modüllerin enerji performansına ve farklı bozulma modlarına bağlıdır.

Swiegers ve Enslin (1998), bir fotovoltatik panel için üretim sırasında panele entegre edilecek bir maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) geliştirmeye çalışmışlardır. MPPT’ler ucuz ve verimlidir, Ayrıca, MPPT’nin arızalar arasındaki ortalama süreyi artırmaya yarayan bileşenlere sahiptir. Çalışmada, MPPT’leri olmayan güneş panellerine kıyasla %26’ya varan enerji transferi iyileştiresi elde edilmiştir.

Brunton ve diğ., (2009) tarafından yapılan çalışmada, hızla değişen hava koşullarına dayanıklı güneş enerjisi dizisi performansını optimize etmek için bir MPPT algoritması geliştirilmesi amaçlanmıştır. Özellikle, inverter dalgalanmasını kullanan yeni bir ekstremum arayan kontrolör, şebeke bağlantılı inverterli simüle edilmiş bir dizi üzerinde tasarlanmış ve test edilmiştir. Yeni algoritma, değiştir ve gözle (perturb & observe, PO) yöntemiyle kıyaslanmıştır. Maksimum veya minimum değeri arayan bir fonksiyon kullanan sistem ile %99,7’lik verimlilik ve PO

algoritmasından daha hızlı olmak üzere 1 saniyelik MPP'ye geçiş süresi elde edilmiştir.

Kermadi & Berkouk (2015), Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) tekniğine dayalı bir MPPT algoritması üzerinde çalışma yapmışlardır. Algoritma, kısmi gölgeleme koşulu altında Lityum-iyon pilli bir fotovoltaiik sistemden çıkarılan gücü maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Önerilen algoritma, değişken bir örnekleme zamanı kullanarak keşif aşamasında boşa harcanan zamanı azaltmaktadır. Bunu yapmak için, belirlenen referans voltajı ile PV çıkış voltajı arasına bir karşılaştırıcı entegre edilmiştir. PV voltajı referans değere ulaştığında, karşılık gelen güç depolanmakta ve dönüştürücü için yeni bir referans voltajı olarak kabul edilmektedir. Tüm sistem Matlab/SIMULINK ortamında modellenmiştir. Simülasyon sonuçları algoritmanın tepe noktasını 500 ms'den daha kısa sürede izleyebildiğini göstermiştir.

Phimmasone ve diğ., (2009) araştırmalarında, fotovoltaiik jeneratörlerin MPPT kontrolünü incelemişlerdir. Çalışmada, MPPT için Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) tekniği kullanılmıştır. Bu sayede daha düşük maliyet, daha yüksek verimlilik elde edilebilir. Ayrıca algoritma oldukça basittir. Geliştirilmiş PSO-MPPT algoritması, simülatif ve deneysel çalışmalarla doğrulanmıştır. Üretilen güç ve elektrik enerjisi değerlendirilerek algoritmanın orijinal PSO-MPPT yöntemlerinden üstün olduğu kanıtlanmıştır.

Murtaza ve diğ., (2013) yaptıkları araştırmalarında, Dağıtılmış PV (DPV) tesisi ile ilgili olarak P&O'yu optimize edecek yeni bir MPPT tekniği önermişlerdir. Model, önerilen tekniğin verimliliğinin P&O'dan daha iyi olduğunu göstermiştir. Önerilen teknik Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Teknik, çeşitli hava koşulları altında test edilmiş ve simülasyon sonuçlarıyla da kanıtlanmıştır.

Kordestani ve diğ., (2018) çalışmalarında, PV paneller için MPPT hakkında literatür incelemesi yapmışlardır. Bu amaçla PV devre yapısı matematiksel modeli ile birlikte sunulmuştur. Ardından, çeşitli tasarım metodları üzerine yapılan yayınlar gözden geçirilmiştir.

Kjær (2012) araştırmasında, tek diyot modeline dayalı olarak farklı MPPT algoritmalarının çalışma koşullarındaki bozulmasını incelemiştir. Çalışmada, belirli

dinamik koşullar altında farklı algoritmaların 16 günlük eş zamanlı çalışma sonuçları test edilmiştir. Temel istatistiksel prosedürler iki algoritmanın eşit derecede iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Kermadi ve diğ., (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, hızla değişen kısmi gölgeleme koşulları altında fotovoltaiik sistemler için hızlı ve verimli bir MPPT algoritması önerilmiştir. Sonuç olarak, voltaj izi, yani çalışma noktasının eğrinin voltaj eksenini boyunca geçtiği yol uzunluğu tepe noktaya yakınsayana kadar azaltılır. Sonuçlar, MATLAB simülasyonu ve bir buck-boost dönüştürücü ile birlikte PV dizi simülatörü kullanılarak deneysel olarak doğrulanmıştır. MPPT algoritması, dSPACE DS1104 ortamında TMS320F240 ünitesi kullanılarak uygulanmıştır. Sonuçlar, aynı çalışma ve gölgeleme koşulları altında, önerilen şemanın en hızlı ve en güvenilir olduğunu ve en yüksek genel geçiş verimini sergilediğini göstermiştir.

Kurak, Erdemir ve Dursun (2016) tarafından yapılan araştırmada, DC-DC alçaltıcı çevirici (Buck Converter) yapısı MPPT yöntemi ile kontrol edilerek, PV sistem çıkışında doğrusal akım kaynağı oluşturulmuştur. Böylece, PV sistemden elde edilen gücün maksimum seviyede kullanımı sağlanmaktadır. Gerçekleştirilen devre, PV sistemin gerilim ve akım değerlerini döngüsel olarak analog dijital dönüşüm sistemi kullanılarak ölçmektedir.

Mroczka ve Ostrrowski (2019) çalışmalarında, düşük maliyetli bir MMPT algoritması geliştirmeyi ve simülasyonda test edilmesini incelemişlerdir. Cihaz, entegre bir DC-DC dönüştürücü ve MSP430 mikrodenetleyiciden oluşmaktadır. Algoritma, izleme hızını artırmak için sıcaklık ölçümü kullanır ve kısmi gölgeleme koşullarında küresel maksimum güç noktasının izlenmesini sağlar. Ayrıca, uygulanan yöntem, herhangi bir güneş panelinin kullanılmasına izin veren ve güneş parametrelerinin değişimi ile doğru izleme özelliği sağlayan uyarlanabilir bir yöntemdir.

Chakma ve diğ., (2015) çalışamalarında, ekonomik ve kompakt bir MPPT tasarımını analiz etmişlerdir. Sistemde, Single-Ended Primary-Inductor (SEPIC) türü bir DC-DC dönüştürücü kullanılmıştır. Bu dönüştürücünün verimliliği, geleneksel olarak kullanılan Buck-Boost dönüştürücüsünden daha iyidir. Önerilen sistem aynı

zamanda görev döngüsü modifikasyonu için PI kontrolörünün ortadan kaldırılmasını, akımı algılamak için karmaşık devrenin ortadan kaldırılmasını ve voltaj ve akımların doğru analogdan dijitale dönüştürülmesi için filtrelerin ortadan kaldırılmasını içerir. Bu sistem, değişen güneşlenme seviyelerinde 135Wp güneş paneli ile deneysel olarak test edilmiş ve doğrulanmıştır.

Pietruszko ve diğ., (2009) çalışmalarında, şebeke bağlantılı 1kW'lık bir PV sisteminin sekiz yıllık işletimden sonraki performansını incelemişlerdir. Sistem, 20 adet a-Si PV modül içermektedir. Sistem, sekiz yıllık işletim süresince toplam 4.430 kWh enerji üretmiştir. Amorf silikon modüllerin elektriksel parametrelerinin stabilizasyon sürecinden dolayı sistem çalışmasının ilk üç yılında PR değerleri düşmüştür. Bu sürecin bitiminden sonra PR 0,52 ile 0,6 aralığında olmuştur

Midya ve diğ., (1996) tarafından yapılan, “Fotovoltaik uygulamalar için dinamik maksimum güç noktası izleyici” adlı çalışmada, bir anahtarlama eyleminin mevcut olması koşuluyla, kararlı bir DC-DC güç dönüştürücüsü geliştirilmesi incelenmiştir. Kontrol için bu yöntemi kullanan bir prototip boost dönüştürücü, güç geçişlerini birkaç milisaniyelik zaman ölçeklerinde takip edebilmiştir. Bu performans, minimum kayıpla güç işlemeyi destekleyen basit bir analog kontrol yapısı ile elde edilebilir.

Masoum ve diğ., (2002), fotovoltaik sistemler için basit, hızlı ve MPPT algoritması geliştirilmiş, teorik ve deneysel analizler sunmuşlardır. Bunlar; Voltaj Tabanlı (VMPPT) ve Akım Tabanlı (CMPPT) yaklaşımdır. Online voltaj ve akım ölçümü yapabilen, VMPPT ve CMPPT algoritmaları ile programlanmış mikroişlemci kontrollü ile izlenmiştir. Bu yeni MPPT'nin ana avantajı, daha verimli, daha ucuz ve daha güvenilir bir PV sistemi kurulmasıdır.

Chung ve diğ., (2003), “SEPIC veya Cuk dönüştürücü kullanan güneş panelleri için yeni bir maksimum güç noktası izleme tekniği” adlı araştırmalarında, değişen meteorolojik koşullar altında bir güneş panelinden maksimum çıkış gücünü verimli bir şekilde çıkarmak için yeni bir teknik geliştirmişlerdir. Çalışmanın metodu; darbe genişliği modülasyonlu (PWM) DC/DC SEPIC veya Cuk dönüştürücünün bir güneş paneli ile bir yük veya pil veriyolu arasına bağlanmasına

dayanır. Önerilen tekniğin takip kabiliyeti, farklı güneşlenme seviyelerinde ve büyük güneşlenme seviyesi değişimlerinde 10 W'lık bir güneş paneli ile deneysel olarak doğrulanmıştır.

Bodur ve Ermis (1994) yaptıkları çalışmada, fotovoltaiik panellerin akülere ve kontrollü bir DC-DC güç dönüştürücüsü aracılığıyla yüke optimum şekilde bağlanması için bir MPPT ünitesi geliştirmişlerdir. Geliştirilen ünite, kontrol modunda panel çıkış voltajını optimum değerde düzenlemektedir. Modlar bir zamanlama devresi tarafından değiştirilir. Uyku modu, mevcut aydınlatma seviyesinin maksimum çıkış gücü, kısıyıcı kayıpları ve MPP izleme biriminin tüketimini dengeleyemeyen önceden ayarlanmış bir değere düştüğünde başlatılmaktadır.

Reisi ve diğ., (2013) araştırmalarında, MPPT yöntemleri için üç kategoriye dayalı bir sınıflandırma şeması ortaya koymuşlardır. Bunlar: çevrimdışı, çevrimiçi ve hibrit yöntemlerdir. PV güç üretiminde gelecekteki çalışmalar için uygun bir referans sağlayabilen bu sınıflandırma, kontrol sinyalinin üretilme şekline ve kararlı durum koşullarına yaklaştıkça PV güç sistemi davranışına dayanmaktadır. Her sınıftan bazı yöntemler, performanslarını karşılaştırmak için Matlab/Simulink ortamında simüle edilmiştir. Ayrıca, sıcaklık ve ışıınımdaki değişimlere PV sisteminin dinamik tepkisi, ulaşılabilir verimlilik ve uygulama açısından farklı MPPT yöntemleri tartışılmıştır.

Gautam ve diğ., (2016), artımlı iletkenlik MPPT algoritmasını MATLAB/SIMULINK ortamında incelemiştir. Algoritma, güneş paneline bağlı dönüştürücünün görev döngüsünü otomatik olarak değiştirir, böylece panel voltajı, herhangi bir güneşlenme, sıcaklık veya yük koşulu seviyesinde maksimum güç noktasına eşdeğer voltaja eşit olur. Yazılım modeli MPPT algoritmasının, donanım uygulamasında %33 iken PV çıkışını %38 artırdığını göstermiştir.

Moradi ve Reisi (2011), “Fotovoltaiik sistemler için hibrit bir maksimum güç noktası izleme yöntemi” adlı çalışmalarında, güneş panellerinde maksimum güç noktası takibi performansını iyileştirmek için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Önerilen algoritma, iki döngü, ayar noktası hesaplama ve ince ayar döngülerinin bir kombinasyonudur. İlk olarak, ayar noktası döngüsü, açık devre voltajının çevrimdışı

hesaplamasını kullanarak maksimum güce yaklaşır. Maksimum gücün tam miktarı, daha sonra, değiştir ve gözle (P&O) yöntemine dayanan ince ayar döngüsü tarafından izlenmektedir. Önerilen yöntem Matlab/Simulink ortamında simüle edilmiş ve bir laboratuvar prototipi kullanılarak deneysel olarak doğrulanmıştır.

Tsang ve Chan (2005) yaptıkları çalışmada, DC/DC dönüştürücülerin iyi yük ve besleme gerilimi düzenlemesine yönelik artan talebin üstesinden gelmek için yeni bir kademeli denetleyici önermişlerdir. DC/DC buck dönüştürücünün kontrolü, ilk önce bir birincil voltaj kontrol döngüsüne ve bir ikincil akım kontrol döngüsüne ayrıştırılır. Kademeli kontrolör daha sonra ikincil döngünün dinamikleri ile birincil döngünün dinamiklerinden çok daha hızlı olan buck dönüştürücü ayarlarına dayalı olarak uygulanır. Kaskad kontrolörünün yük değişikliklerine ve tedarik değişikliklerine karşı sağlamlık analizi sunulmaktadır. Önerilen kontrol şemasının geleneksel tek döngülü PI kontrolörü üzerindeki etkinliğini göstermek için deneysel sonuçlar dahil edilmiştir. Önerilen denetleyici, geleneksel bir tek döngü denetleyiciye düşük maliyetli bir eklenti olarak uygulanabilir.

Narasimharaju ve diğ., (2012) araştırmalarında, hem geleneksel buck/boost izole edilmemiş hem de izole edilmiş BDC dönüştürücülerin yüksek voltaj/akım stresi, yüksek maliyetler ve daha az verimlilik açısından dezavantajlarını ortadan kaldırabilen bir dönüştürücü geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonuçları, Matlab/Simulink ortamında analiz edilmiş ve 400W güce sahip bir prototip dönüştürücünün deneysel sonuçları ile doğrulanmıştır.

Kuwabara ve Hiyachika (1988) yaptıkları araştırmada, Anahtarlama Kapasitör DC-DC dönüştürücüleri incelenmişlerdir. Bu dönüştürücüler, geleneksel anahtarlama düzenleyicilerinde (buck, boost ve buck-boost) bulunmayan özelliklere sahiptir. Bu dönüştürücülerin; (1) titreşimsiz giriş akımı (2) aşırı akım koruması (3) çıkış devrelerinin çok aşamalı bağlantı sağlaması nedeniyle küçük boyutlu güç üniteleri için yaygın olarak kullanılması beklenmektedir.

Dobbs ve Chapman (2003), “Çok girişli DC-DC dönüştürücü topolojisi” adlı çalışmalarında, çoklu enerji kaynağı dönüşümü için yeni bir topoloji ortaya koymuşlardır. Geliştirilen topoloji, düşük parça sayısı elde ederken farklı voltaj-akım

özelliklerine sahip kaynakları ortak bir yüke bağlayabilmektedir. Sabit bir frekans anahtarlama stratejisine göre çalışma modları analiz edilmiştir. Analiz deneylerle doğrulanmıştır. Sonuçlar, dönüştürücünün güç çeşitlendirmesi ve optimizasyonu için kolaylaştırıcı bir teknoloji olduğunu göstermiştir.

Kazimierczuk (1992), faz modülasyonlu rezonant DC/AC invertörlerin ve DC/DC dönüştürücülerin analitik yöntemlerle incelemesini içeren bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, faz modülasyonlu evirici ve dönüştürücülerin temel ilkeleri tanıtılmıştır. Faz modülasyonlu eviricinin temeli, bir AC yüküyle paralel veya seri bağlanmış iki geleneksel rezonanslı DC/AC eviriciden oluşmaktadır. Bu sayede hem faz modülasyonlu invertörler hem de dönüştürücüler sabit bir anahtarlama frekansında çalışabilmektedir.

Chhawchharia ve diğ., (1997) araştırmalarında, çok kademeli bir anahtar ve kapasitör yapısı kullanan kademeli DC/DC anahtarlama kapasitör güç dönüştürücüleri için yeni bir değiştirilmiş topoloji önermişlerdir. Çeşitli tasarımlar için bileşen sayısının üçte bir veya daha fazla azaltılabileceği ileri sürülmüştür. Bu sayede, dalgalanma çıkışı ve ani akım da azaltılabilmektedir. Simülasyon sonuçları ve analizleri araştırma bulgularını desteklemiştir.

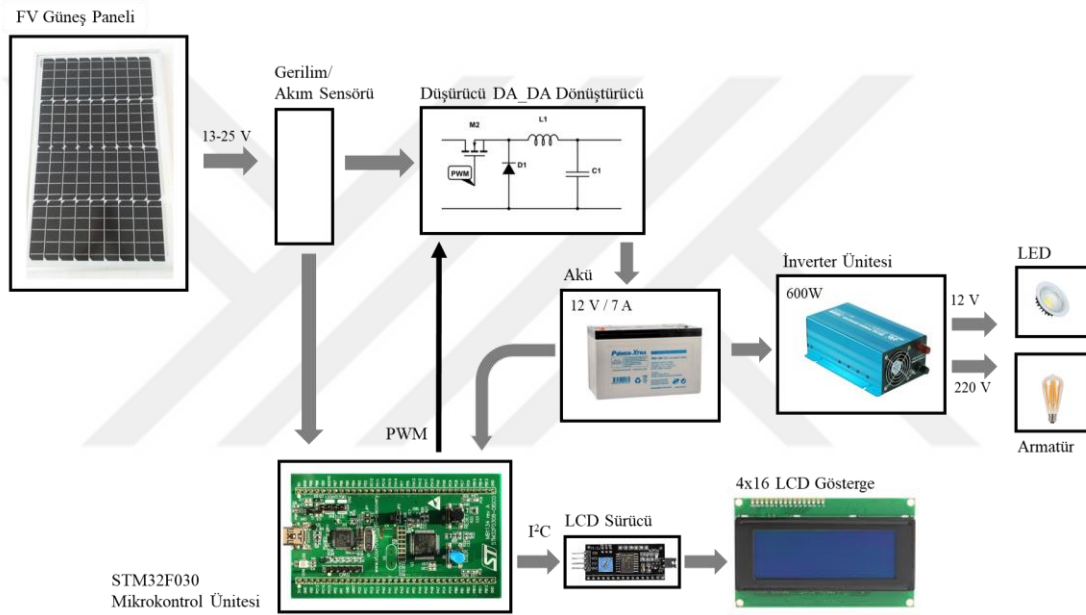
Jain, Daniele ve Jain (2000) yaptıkları çalışmada, düşük güç uygulamalarında çift yönlü bir DC-DC dönüştürücünün analizini gerçekleştirmişlerdir. Önerilen teknik, bir yüksek frekanslı izolasyon transformatörünün birincil tarafında bir yarım köprüye ve ikincil tarafında ise bir akım beslemeli itme-çekmeye dayanmaktadır. Bu sayede, akü şarj/deşarj devrelerinde kullanım için basit, verimli ve galvanik olarak yalıtılmış bir topoloji ortaya konmuştur. Prototipten elde edilen deneysel sonuçlar, farklı çalışma koşulları altında, önerilen sistemi doğrulamaktadır. Akü şarj modunda %86,6, akü yük gücü sağladığında ise %90 verim elde edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde, STM32 MCU kontrollü güneş panelli aydınlatma sisteminin genel yapısı, ana bileşenleri ve işleyişi açıklanmıştır.

3.1. Sistemin Genel Yapısı

Çalışma kapsamında geliştirilen STM32 MCU kontrollü güneş panelli aydınlatma sisteminin genel yapısı Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. STM32 MCU kontrollü güneş panelli aydınlatma sistemi blok diagramı

Yapılan çalışmada, 50W tepe gücüne sahip bir mono kristal solar panel ile 12V / 7 Ah’lık bir akünün şarj edilmesi ve akü gücünün 600 W’lık bir inverter cihazı kullanılarak 220V çıkış gerilimi elde edilmesine yönelik bir tasarım oluşturulmuştur. FV panel elektrik gücünün yeterli olup olmadığının ve akünün doluluk oranı ile çıkış gücünün takip ve kontrol edilmesi için sistemde 1 ad. STM32F0308 Discovery mikrokontrol ünitesi kullanılmıştır. MCU ile ayrıca, FV panel ve akü çıkış gücüne göre akünün yeniden şarj edilmesi amacıyla, düşürücü DA-DA dönüştürücü ünitesi için gerekli olan Darbe Genişliği Modülasyonu (Pulse Width Modulation, PWM) sinyali de üretilmektedir.

STM32F0308 ünitesinin programlaması için STM32Cube IDE yazılımı ve C programlama dili kullanılmıştır. Geliştirilen sistem yazılımı STLink Utility veri aktarma uygulaması ile MCU kartına yüklenmiştir.

3.2. Sistem Bileşenleri

Tasarlanan aydınlatma sisteminin temel bileşenleri aşağıda listelenmiştir:

- Fotovoltaik (FV) güneş paneli,
- STM32F0308 mikrodenetleyici ünitesi,
- Düşürücü DA-DA Dönüştürücü (Buck Converter),
- Akü,
- İnverter (DA- AC evirici) Ünitesi,
- Gerilim/Akım Sensörleri
- Aydınlatma Ünitesi.

Aşağıdaki başlıklarda sistemi oluşturan temel bileşenler ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.2.1. Fotovoltaik güneş paneli

Fotovoltaik güneş paneli sistemin en temel bileşenleri arasındadır. Enerji dönüşümü için yarı iletken bir diyot olan FV eleman, güneş ışığının taşıdığı enerjiyi iç fotoelektrik olaydan faydalanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Çalışmada kullanılan fotovoltaik panelin özellikleri aşağıdaki gibidir:



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan FV güneş paneli

- Maksimum güç: 50W %5
- Maksimum voltaj: 23.50V
- Maksimum akım: 2,54 A
- Kısa devre akımı: 10 A
- Çalışma sıcaklık aralığı: -45°C +80°C
- Maksimum sistem voltajı: 1000V
- Modül ebatları: 470x675x22 mm
- Ağırlığı 3Kg.

3.2.2. STM32F0308 mikrodenetleyici ünitesi

STM32F0308 denetleyici kartı 32-bit Arm Cortex-M0 mikroişlemci ve ona bağlı birimlerin bir arada bulunduğu entegre bir elektronik ünedir. Mikrodenetleyici bir bilgisayar sisteminin içerisinde bulunması gereken tüm birimleri tek bir tümleşik devre içerisinde birleştiren elemandır. Otomasyon ve kontrol sistemleri için çok kullanışlıdır. STM32 MCU ünitelerinin genel özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Programlanabilir paralel giriş/çıkış
- Programlanabilir analog giriş/çıkış
- Seri giriş/çıkış (I2C, SPI, USART)
- Pulse Width Modulation (PWM)
- Kesme (Interrupt)
- RAM, ROM tipi bellek üniteleri

- Harici bellek arabirimi
- Zamanlayıcı (Timer)

Çalışmada kullanılan STM32F0308 Discovery ünitesi Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.3. STM32F0308 Discovery mikrodnetleyici ünitesi

STM32F0308 mikrodnetleyici ünitesinin özellikleri aşağıda listelenmiştir;

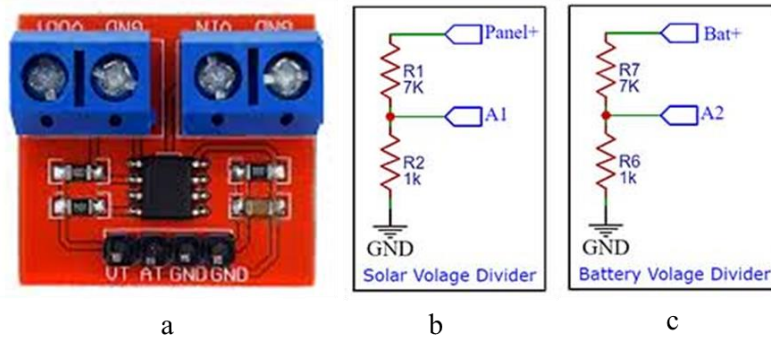
- ARM Cortex™-M0 32-bit RISC CPU
- 64 KB Flash, 8 KB RAM
- 64 Pin LQFP100 paketi
- On-board ST-LINK/V2
- Mini-B USB
- Gösterge LED’leri
 - LD1 (kırmızı) 3.3 V power on
 - LD2 (kırmızı/yeşil) USB bağlantı
 - LD3 (yeşil) PC9 çıkışı
 - LD4 (mavi) PC8 çıkışı
- Güç kaynağı
 - USB ile 5V
 - Harici güç kaynağı ile 3V-5V

- 12-bit ADC,
- 4 x 16Bit Dijital Input/Output (GPIO),
- 6 General-purpose 16-bit timers
- Advanced-control PWM
- Çalışma sıcaklığı: -40; +85 °C

3.2.3. Voltaj ve Akım Sensörleri

Geliştirilen tasarımda, FV panel ve akü çıkışındaki voltaj değerinin ölçülebilmesi için STM32 entegresinin Analog-Dijital Dönüştürücü (Analog Digital Converter, ADC) pinleri kullanılmıştır. STM32 türü mikrokontrollerin ADC pinlerinin max. 3.6V tolerans değeri bulunduğundan, FV panel ve akü voltaj değerleri, 12V/3V'luk bir seviye dönüştürücü (level Shifter) ile STM32 girişine iletilmektedir. Gerilim bölücü seri dirençlerle yapılan bu dönüştürme işleminde, kayıpların en aza indirilmesi için dijital multimetre kullanılarak hassas ölçüm yapılmış ve gerekli düzeltici hesaplamalar sistem yazılımında yapılarak STM32 ünitesinin en doğru sonuçları vermesi sağlanmıştır. Akünün şarj edilmesinde FV panelden çekilen akımın hesaplanması için ise MAX471 gerilim/akım sensörü kullanılmıştır.

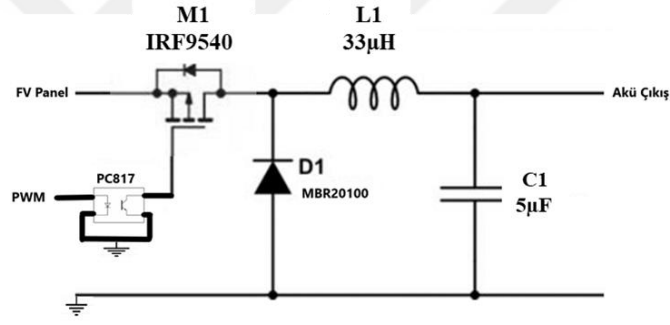
Çalışmada kullanılan gerilim bölücü direnç devresi Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. a) MAX741 Akım sensörü b) FV panel için c) Akü için gerilim bölücü direnç ünitesi

3.2.4. Düşürücü DA-DA Dönüştürücü Kartı

FV güneş paneli ile üretilen elektrik enerjisinin doğrudan kullanılması FV panele zarar verebilmektedir. Bu nedenle panelden elde edilen enerjinin bazı DA-DA dönüştürücü işlemlerinden geçirilmesi gerekmektedir. Çalışmada bu doğrultuda düşürücü dönüştürücü (buck converter) ünitesi kullanılmıştır. Buck converterde anahtarlama işlemi ise devrede bulunana IRF9540 MOSFET ile yapılmaktadır. MOSFET'in sürülmesi için ihtiyaç duyulan PWM sinyali, FV panel gücü ve akü tarafından çekilen akım hesaplanarak STM32 ünitesi tarafından üretilmektedir. Ayrıca, MOSFET'in sürülmesi için sistemde 1 ad. PC817 Optokupler entegresi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan düşürücü DA-DA dönüştürücü ünitesi Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Düşürücü DA-DA dönüştürücü

Bu çalışmada, Kazimierczuk (2015) tarafından önerilen yöntem izlenerek düşürücü DA-DA dönüştürücü tasarımı yapılmıştır. Düşürücü DA-DA dönüştürücü devresindeki L1 endüktans ve C1 kondansatörünün hesaplanmasında aşağıdaki işlem adımları takip edilmiştir.

Öncelikle minimum, nominal ve maksimum DA gerilim transfer fonksiyonları aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$TF_{DCmin} = \frac{V_0}{V_{giriş_{max}}} = \frac{V_{0min}}{V_{giriş}} = \frac{13,7}{20,7} = 0,661$$

$$TF_{DCnom} = \frac{V_o}{V_{giriş_{nom}}} = \frac{V_{0nom}}{V_{giriş}} = \frac{14,7}{20,7} = 0,690$$

$$TF_{DCmax} = \frac{V_o}{V_{giriş_{max}}} = \frac{V_{0max}}{V_{giriş}} = \frac{14,9}{20,7} = 0,719$$

Ardından dönüştürücü verimi %85 olarak kabul edilip, minimum, nominal ve maksimum doluluk oranları bulunur.

$$\lambda_{min} = \frac{TF_{min}}{\eta} = \frac{0,690}{0,85} = 0,811$$

$$\lambda_{nom} = \frac{TF_{nom}}{\eta} = \frac{0,690}{0,85} = 0,811$$

$$\lambda_{max} = \frac{TF_{max}}{\eta} = \frac{0,719}{0,85} = 0,845$$

Devrede kullanılacak olan minimum endüktans değeri aşağıdaki işlemde bulunur;

$$L_{min} = \frac{R_{L_{max}} (1 - \lambda_{min})}{2 \times F_s} = \frac{10 (1 - 0,777)}{2 \times 33,000} \cong 33 \mu H$$

Burada RL eşdeğer yük direncini simgelemektedir ve 10Ω olarak hesaplanmıştır. Denklemden de görüldüğü üzere, düşük çıkış akımlarında dahi devreyi sürekli akım modunda çalıştırabilmek için endüktansın artması gerektirmektedir. Dolayısıyla çıkış akımının minimum değeri devredeki endüktans değerini belirlemekte etkilidir. Bu durumda endüktans üzerindeki maksimum akım miktarı şu şekilde bulunur;

$$\Delta i_{L_{max}} = \frac{V_o (1 - \lambda_{min})}{L \times F_s} = \frac{14,3 (1 - 0,777)}{0,00033 \times 33,000} \cong 2,92 A$$

Devrede çıkış geriliminin belirtilen kriterler arasında salınım yapabilmesi için kondansatör kullanılarak gerilim filtre edilmelidir. %5 olarak belirlenen çıkış gerilim

dalgallılığı durumunda çıkış gerilimindeki dalgallılık miktarı $V_r=0,715V$ olarak bulunur. Kullanılacak olan filtre kondansatörünün maksimum eşdeğer seri direnci için aşağıdaki işlem uygulanır;

$$r_{c \max} = \frac{V_r}{\Delta i_{L \max}} = \frac{0,715}{2,92} \cong 0,25 \Omega$$

Minimum kondansatör değeri için ise aşağıdaki işlem sonucu hesaplanır;

$$C_{\min} = \left[\frac{\lambda_{\max}}{2f_s r_c} + \frac{1 - \lambda_{\min}}{2f_s r_c} \right] \cong 5 \mu H$$

Bu durumda devre çıkışında bulunan LC elemanlarının oluşturduğu alçak geçiren filtrenin köşe frekansı ise şu şekilde hesaplanmıştır;

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \cong 12,4 kHz$$

3.2.5. Akü

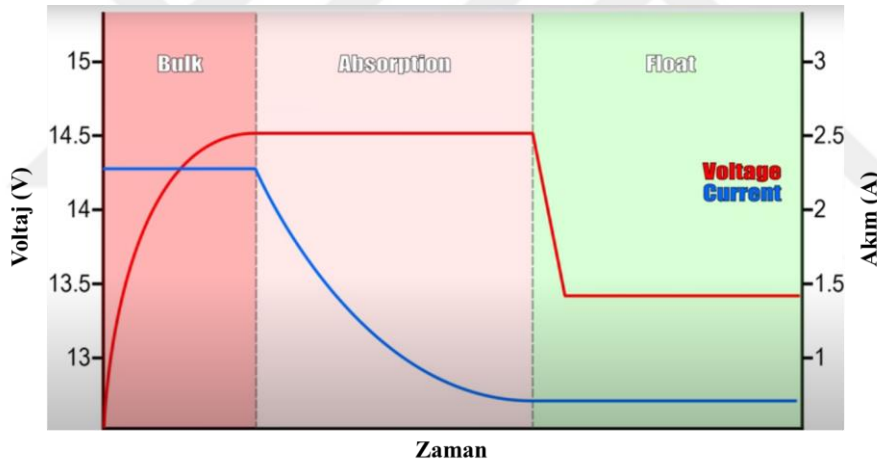
FV sistemlerde aküler, sistemde yeterli ya da hiç güç üretilmediği zamanlarda kullanılmak üzere enerjinin depolanmasında kullanılır. Sistemde, akünün uygun özelliklerde belirlenmesi ve şarj ve deşarj döngüsünün etkili şekilde yürütülmesi aydınlatma sisteminin de etkili ve verimli çalışmasını sağlamaktadır. Akü hücrelerinin kapasiteleri amper/saat cinsinden hesaplanır. Bu durum, tam şarjlı bir aküden belirli bir deşarj oranı ve elektrolit sıcaklığı altında çekilebilen gerilimi ifade etmektedir. Bu çalışmada kullanılan akünün özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Batarya gücü: 12V/7AH
- Şarj parametreleri:
 - Tam şarj (Bulk), 14,7-14,9 (25°C)
 - Yüzen şarj (Floatig), 13,7-13,9 (25°C)
 - Max şarj akımı 3A
- Batarya boyutları: 60x148x93mm,
- Batarya türü: Bakımsız jel akü,



Şekil 3.6. Sistemde kullanılan akü

Akülerle ilgili önemli husus akülerin şarj süreçleridir. Normal koşullarda aküler tek bir şarj voltajı ve akımı ile yeniden doluma ulaştırılabilirse de, akülerin kullanım ömürlerinin ve etkinliklerinin artırılması için ideal bir şarj döngüsü söz konusudur. Bu döngü; tam şarj, emilim ve yüzen (bulk, absorption ve float) şeklinde 3 kademeden oluşmaktadır. Söz konusu döngü Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Akünün 3 kademeli şarj döngüsü

Şekil 3.7’de gösterilen akü şarj döngüsünde; tam şarj (bulk) fazında sabit bir akım uygulanmakta voltaj ise ihmal edilmekte ve FV elektriksel gücü aküye yönlendirilmektedir. Emilim (absorption) fazı sırasında, akünün makul bir süre içinde tamamen şarj edilebilmesi için şarj voltajı nispeten yüksek bir seviyede tutulur. Üçüncü ve son faz yüzen (float) fazıdır. Bu faz esnasında voltaj, akünün kendi kendine deşarjının dengelenmesine yetecek seviye olan bekleme seviyesine düşürülür. Burada amaç akünün şarjlı şekilde kalmasını sağlamaya çalışmaktır.

Çalışmada, 12V'luk bir akü kullanılmıştır. Bu akü türü için maksimum 14.7-14.9V ve 3A şarj akımı gereklidir. 14.7V'a ulaşıldığında absorpsiyon moduna girilmekte ve akım 100mA'nın altına düşene kadar bu değer korunmaktadır. Ardından float moduna girilmekte ve akü 13.7V-13.9V ve çok düşük bir akım akışında tutulmaktadır.

3.2.6. İnverter (DC- AC Evirici)

İnverterler (evirici) aküdeki DC gerilimi daha yüksek seviyedeki alternatif gerilime çeviren cihazlardır. Başka bir deyişle, 12VDC akü voltajı, 220VAC 50Hz voltaja çevirmede kullanılırlar. Bu sayede, TV, aydınlatma ünitesi, bilgisayarlar veya elektrikli el aletleri çalıştırılabilir. Genel olarak eviriciler çıkış dalga şekilleri bakımından ikiye ayrılır. Modifiye Sinüs Eviriciler ve Tam Sinüs eviriciler. İki dalga şekli arasındaki farkı ayırt etmek güçtür, fakat çalıştırdıkları cihazlar açısından performans artışı sağlarlar. Yük olarak motor, klima, buzdolabı çalıştırılması durumunda ya da endüstriyel cihaz ve uygulamalar için tam sinüs evirici tavsiye edilmektedir.

Bazı akıllı inverter sistemleri, aşırı yük, çıkış kısa devre, aşırı sıcaklık akü düşük ve yüksek voltajda kullanıcıyı sesle uyararak kendisini otomatik olarak korurlar. İnverter tasarımları Switch mode sistemiyle %90-95 verimli çalışabilmektedirler.

Çalışmada, 600W /220VAC tam sinüs bir inverter ünitesi kullanılmıştır (Şekil 3.8).



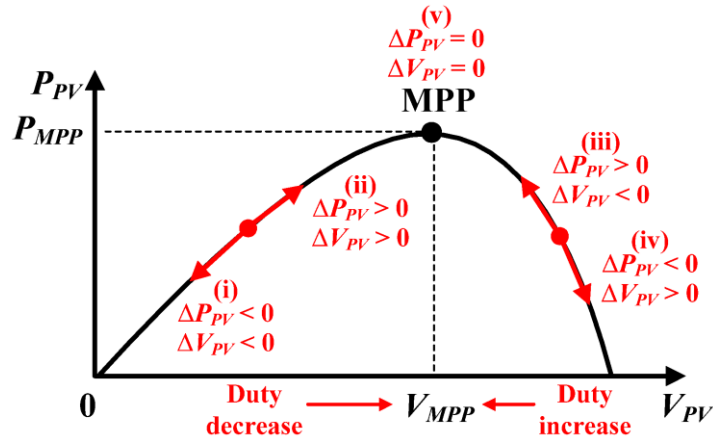
Şekil 3.8. Sistemde kullanılan inverter ünitesi

Sistemde kullanılan inverter ünitesinin özellikleri şu şekildedir:

- Sürekli çıkış gücü: 600 W
- Nominal giriş voltajı: 12V DC
- Nominal çıkış voltajı: 220V AC
- Frekans: 50 HZ
- Çıkış düzeni: + /- %5
- Çıkış şekli: Tam sinüs
- Voltaj alarm: 10.5 + /- 0.5 volt
- Kesme voltajı: 10.5 + /- 0.5 volt
- Verimlilik: 85- 90 %
- Isıl koruma: 65 C° + /-5 C°
- Kısa devre korumalı
- Aşırı yük ve ısınma durumunda sesli ikaz

3.3. MPTT Fonksiyonu

Tasarlanan sistemde Değiştir ve Gözle (Perturb and Observe) algoritması kullanılmıştır. Kullanılan algoritmanın çalışma prensibine ilişkin grafiksel gösterim Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Tepeye tırmanma ve değiştir ve gözle (P&O) algoritmasının çalışma prensibi

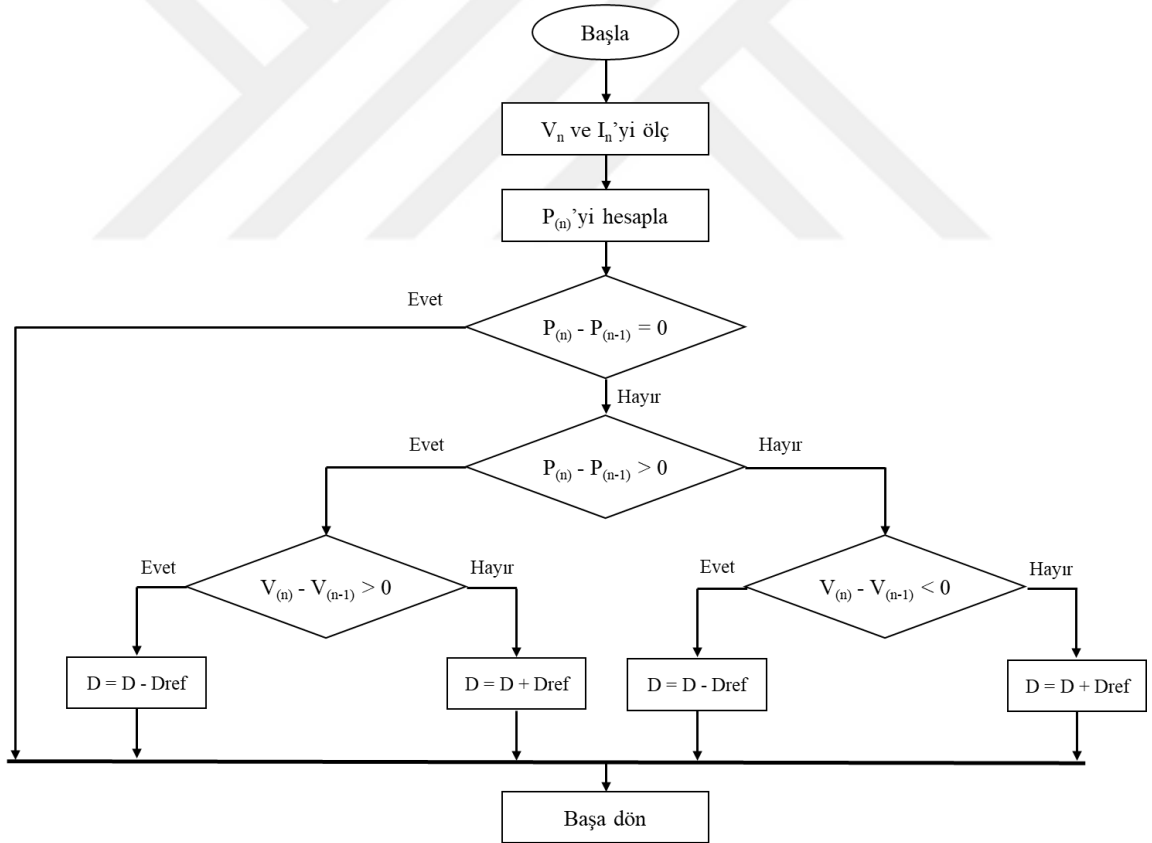
Algoritmada, ΔV_{PV} güneş panelinin üretebildiği gerilimi, ΔP_{PV} panelden çekilen gücü ($V \times I$) ve V_{MPP} güneş panelinin ideal koşullarda üretebildiği max.

gerilimi temsil etmektedir. Tepeye tırmanma ve P&O algoritmalarına ilişkin işlem basamakları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Tepeye tırmanma ve P&O algoritmalarının işlem basamakları

Durum Nu	Durum	İşlem
i	$\Delta P_{PV} < 0$ ve $\Delta V_{PV} < 0$	Görev azalması (Duty decrease)
ii	$\Delta P_{PV} > 0$ ve $\Delta V_{PV} > 0$	Görev azalması (Duty decrease)
iii	$\Delta P_{PV} > 0$ ve $\Delta V_{PV} < 0$	Görev artışı (Duty increase)
v	$\Delta P_{PV} < 0$ ve $\Delta V_{PV} > 0$	Görev artışı (Duty increase)
vi	$\Delta P_{PV} = 0$ ve $\Delta V_{PV} = 0$	İşlem yok

P&O algoritmasının akış diagramı Şekil 3.10’da yer almaktadır.



Şekil 3.10. Tepeye tırmanma ve değiştir ve gözle (P&O) algoritması akış diagramı

Akış diagramındaki işlem basamakları aşağıda açıklanmıştır:

1. İlk önce FV panel tarafından üretilebilen en yüksek çıkış gerilimi ve akımı ölçülür (V_n , I_n).
2. FV panel gücü hesaplanır ($P_n = V_n \times I_n$).
3. Son ölçülen panel gücü ile bir önceki panel gücü mukayese edilir ve aradaki farkın 0 olup olmadığı belirlenir. Eğer her iki güç değişimi arasındaki fark 0'a eşit ise bu durumda FV güneş panelinin maximum güç üretme noktasında (V_{MPP}) olduğu tespit edilir ve döngünün başına dönülür.
4. Eğer, son ve bir önceki panel gücü arasındaki fark 0'a eşit değilse, değişimin 0'dan büyük veya 0'dan küçük olup olmadığına bakılır.
5. Eğer, güç değişimi pozitifse ($\Delta P > 0$) , bu sefer panel çıkış voltajındaki değişime bakılır. Eğer buradaki farklılık da pozitifse ($\Delta V > 0$), başlangıçta maximum olarak belirlenen PWM sinyal görev döngü süresi (duty cycle) bir refereans değeri kadar azaltılır. Panel çıkış voltajındaki değişim negatifse ($\Delta V < 0$) PWM görev döngü süresi referans değeri kadar artırılır.
6. Güç değişiminin negatif ($\Delta P < 0$) olduğu durumda ise, panel çıkış voltajındaki değişimin negatif ($\Delta V < 0$) olması durumunda PWM görev döngü süresi referans değer kadar artırılırken, panel çıkış voltajındaki değişim pozitif ($\Delta V > 0$) ise PWM görev döngü süresi referans değeri kadar azaltılmaktadır.
7. Akış diagramı en son aşamada başa dönerek yapılan işlemleri tekrar edecek şekilde programlanmıştır.

P&O akış diagramında özetle, FV güneş paneli tarafından üretilebilen en yüksek çıkış geriliminin (V_{MPP}) belirlenmesine çalışılmaktadır. Bu amaçla, Şekil 3.9'da gösterilen güç eğrisi üzerinde ileri ve geri hareket edilerek Maksimum Güç Takip Noktasına (MPPT) ulaşılmaktadır.

3.4. Sistem Yazılımı

Tasarlanan aydınlatma sisteminin STM32F0308 MCU ünitesi ile yapılan kontrolüne ilişkin işlem basamakları aşağıda açıklanmıştır:

1) Güneş paneli tarafından üretilen çıkış gerilimi ile akü üzerindeki çıkış gerilimi, gerilim bölücü dirençler üzerinden STM32 MCU ünitesine iletilir. Aynı anda, aküden çekilen akım değeri de MAX741 akım/gerilim sensör ünitesi tarafından ölçülerek STM32 MCU ünitesine iletilir.

2) Akünün, şarj veya doluluk durumuna göre; tam şarj, emilim ve yüzen (bulk, absorption ve float) şarj kademeleri için ihtiyaç duyulan PWM sinyali STM32 ünitesi tarafından üretilir ve optokuplör vasıtasıyla düşürücü DA-DA dönüştürücü ünitesinde bulunan MOEFET sürülür.

3) STM32F0308 tarafından 33KHz'lik PWM sinyali üretilmektedir. FV panelin çıkış gücüne göre MPPT algoritması tarafından belirlenen (artırılarak veya azaltılarak) görev döngü süresi (duty cycle) STM32 ünitesi tarafından yeniden hesaplanır ve MOSFET sürücü ünitesine aktarılır.

4) STM32 ünitesi tarafından ayrıca, akünün şarj döngüsüne göre çıkış gerilim değeri kontrol altında tutulur.

- a. Tam şarj modu (bulk mode) için 14.7-14.9V ve 3A
- b. Emilim modu (absorpsiyon mode) için 14.7V ve 100mA
- c. Yüzen mod (float mode) için 13.7V-13.9V 100mA.

5) STM32 denetleyici ünitesi, akünün şarj döngüsü için gerekli voltaj değerlerini sürekli olarak kontrol eder ve anlık olarak ölçülen değerleri 4x20 karakterli LCD gösterge ünitesine aktararak kullanıcıya gösterir. STM32 denetleyici ünitesi LCD ile haberleşmek için I²C seri veri iletişim protokolünü kullanır.

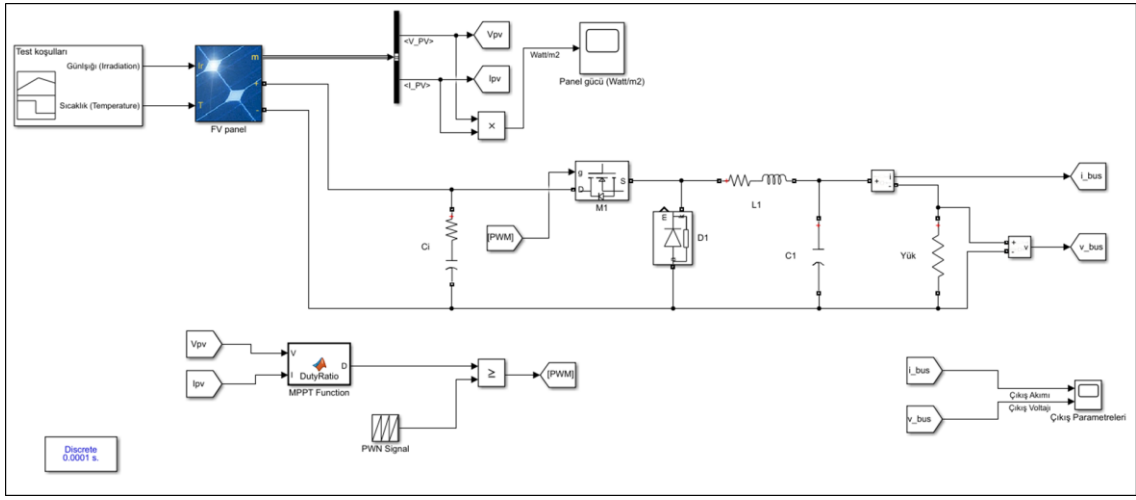
6) Kontrol ünitesi, ayrıca, herhangi bir hata durumunda sistemin çalışmasını durdurur ve kullanıcı için bilgilendirici uyarılarda bulunur.

4. ARAŞTIRMANIN DENEYSEL BULGULARI

Bu bölümünde, STM32 MCU kontrollü güneş panelli aydınlatma sisteminin deneysel bulguları ve yapılan yorumlar yer almaktadır.

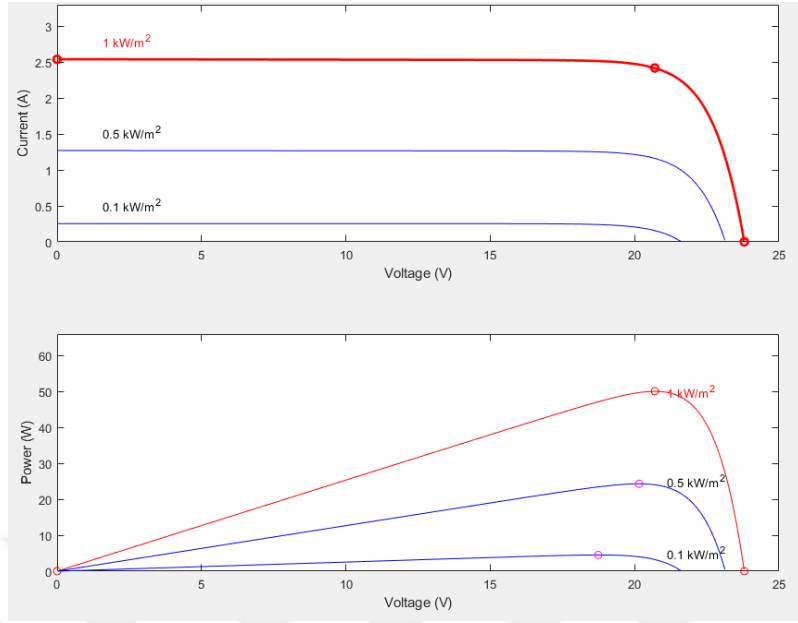
4.1. Simülasyon/Benzetim Sonuçları

Çalışma kapsamında geliştirilen sistemin, simülasyon/benzetim denemeleri MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Benzetim uygulamasına ait görüntü Şekil 4.1’de yer almaktadır.



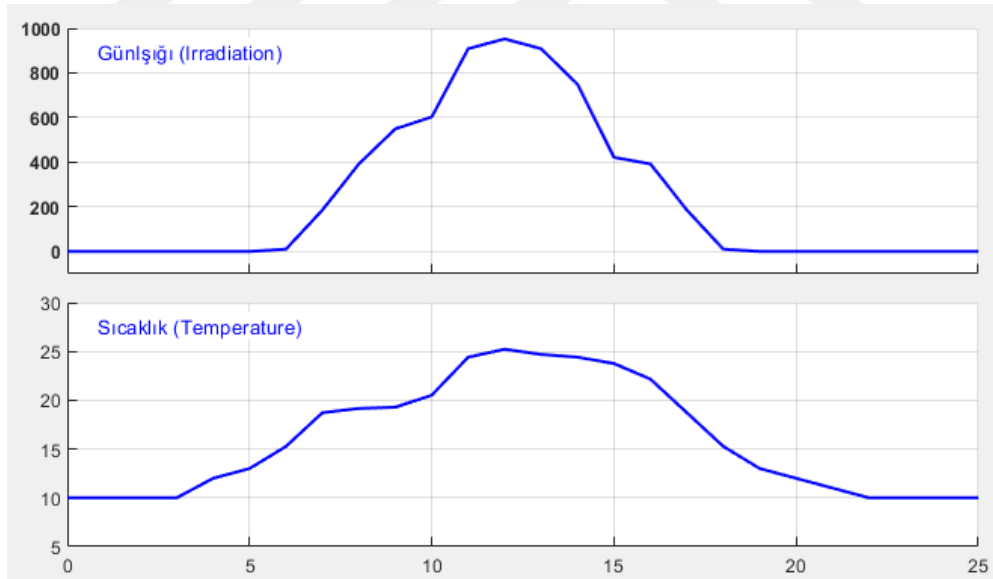
Şekil 4.1. Tasarımın MATLAB/Simulink uygulaması

Simülasyon uygulamasında kullanılan güneş panelinin standart koşullardaki (güneş ışığı yayılımı: 1000 Watt/m^2 ; ısı: 25^0C) akım, gerilim ve güç parametreleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



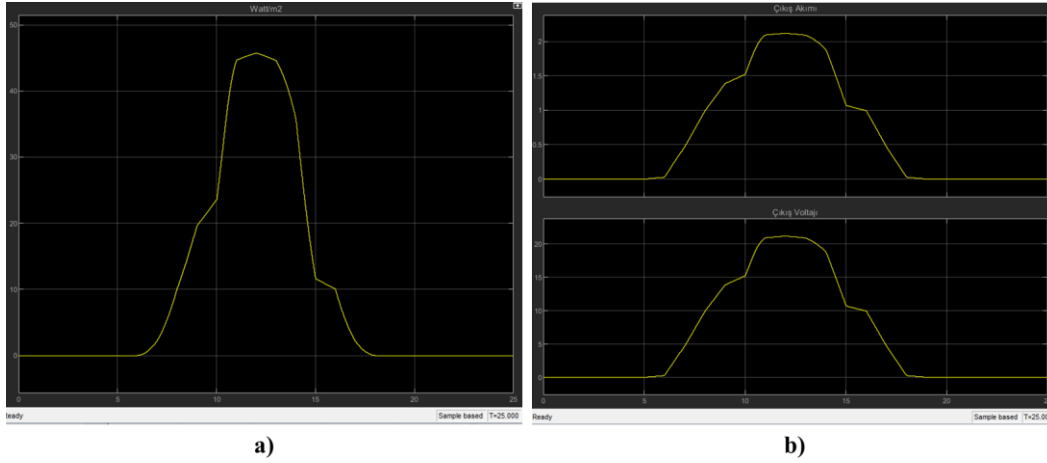
Şekil 4.2. Güneş panelinin standart koşullardaki akım, gerilim ve güç değişimleri

Simülasyonda, test koşulları olarak Şekil 4.3’de gösterilen bir günlük günışığı yayılımı ve sıcaklık değişimleri kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Bir günlük günışığı ve sıcaklık değişimleri

Tasarlanan sistemin MATLAB/Simulink uygulamasında çalıştırılması ile Şekil 4.4’de gösterilen benzetim sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Benzetim sonuçları a) panel gücü, b) akım ve gerilim çıkış değerleri

Şekil 4.4’de yer alan MATLAB/Simulink benzetim sonuçları incelendiğinde, bir günlük güneşliği ve sıcaklık değerlerine göre FV panelden elde edilen çıkış gücünden maksimum düzeyde yararlanıldığı ve düşürücü dönüştürücü DA-DA çıkış akımı ve çıkış gerilimi değerlerinin bunu ideal şekilde yansıttığı görülmektedir. Dolayısıyla, tasarlanan sistemin ve geliştirilen MPPT algoritmasının, FV panel gücünün maksimum düzeyde takip edilmesinde başarılı olduğu belirlenmiştir.

4.2. Deneysel Sonuçlar

Geliştirilen sistemin, gerçek zamanlı uygulama sonuçları Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Sistemin gerçek zamanlı deneysel sonuçları (Birinci gün)

S/N	ZAMAN	MOD	PANEL V (Volt)	PANEL I (mA)	AKÜ V (Volt)
1	08:00	FLOAT	12,52	85	11,80
2	09:00	BULK	13,00	110	12,45
3	10:00	BULK	13,22	450	12,45
4	11:00	BULK	13,35	712	12,50
5	12:00	BULK	13,56	1100	12,72
6	13:00	BULK	13,66	1323	12,79
7	14:00	BULK	13,69	1556	12,75
8	15:00	BULK	13,70	1689	12,80
9	16:00	ABSORBTION	13,44	617	12,79
10	17:00	ABSORBTION	13,30	285	12,72
11	18:00	ABSORBTION	13,26	114	12,45

12	19:00	FLOAT	14,25	15	11,75
13	20:00	OFF	0,00	0	12,79
14	21:00	OFF	0,00	0	12,70
15	22:00	OFF	0,00	0	12,56
16	23:00	OFF	0,00	0	12,24
17	00:00	OFF	0,00	0	12,10
18	01:00	OFF	0,00	0	12,03
19	02:00	OFF	0,00	0	12,00
20	03:00	OFF	0,00	0	11,95
21	04:00	OFF	0,00	0	11,92
22	05:00	OFF	0,00	0	11,90
23	06:00	OFF	0,00	0	11,85
24	07:00	FLOAT	12,00	11	11,82

(İkinci gün)

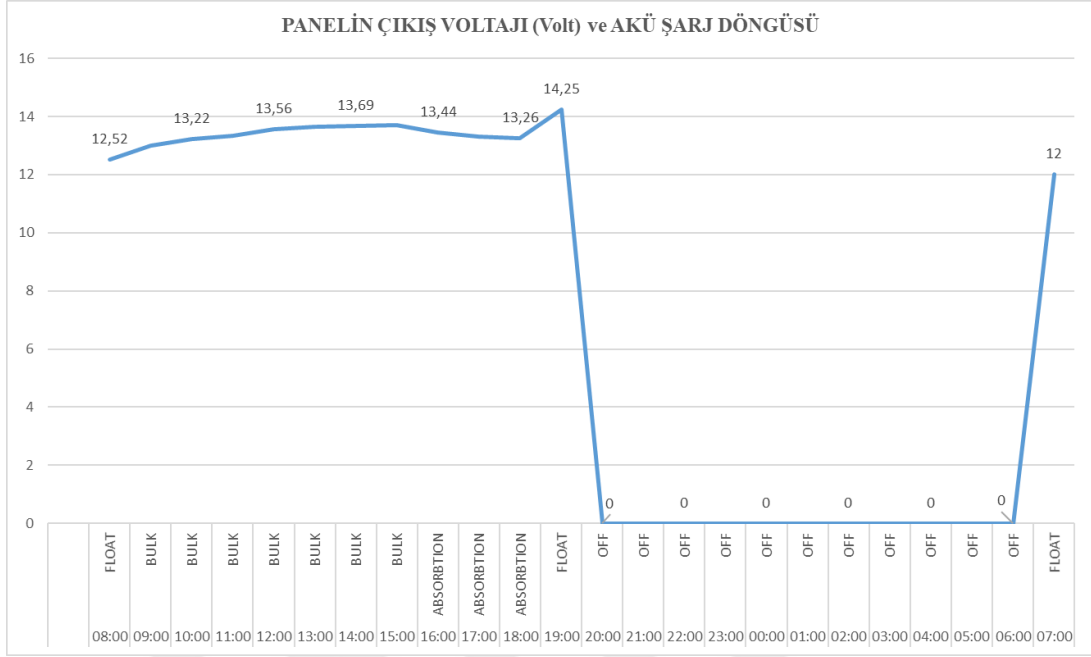
S/N	ZAMAN	MOD	PANEL V (Volt)	PANEL I (mA)	AKÜ V (Volt)
1	08:00	FLOAT	12,40	90	11,95
2	09:00	BULK	13,10	120	12,55
3	10:00	BULK	13,28	470	12,55
4	11:00	BULK	13,39	735	12,60
5	12:00	BULK	13,59	1130	12,67
6	13:00	BULK	13,66	1323	12,79
7	14:00	BULK	13,73	1566	12,78
8	15:00	BULK	13,65	1589	12,80
9	16:00	ABSORBTION	13,40	600	12,75
10	17:00	ABSORBTION	13,30	275	12,65
11	18:00	ABSORBTION	13,20	110	12,40
12	19:00	FLOAT	14,00	12	11,70
13	20:00	OFF	0,00	0	12,76
14	21:00	OFF	0,00	0	12,70
15	22:00	OFF	0,00	0	12,59
16	23:00	OFF	0,00	0	12,28
17	00:00	OFF	0,00	0	12,13
18	01:00	OFF	0,00	0	12,06
19	02:00	OFF	0,00	0	12,02
20	03:00	OFF	0,00	0	11,94
21	04:00	OFF	0,00	0	11,91
22	05:00	OFF	0,00	0	11,90
23	06:00	OFF	0,00	0	11,84
24	07:00	FLOAT	12,00	08	11,81

(Üçüncü gün)

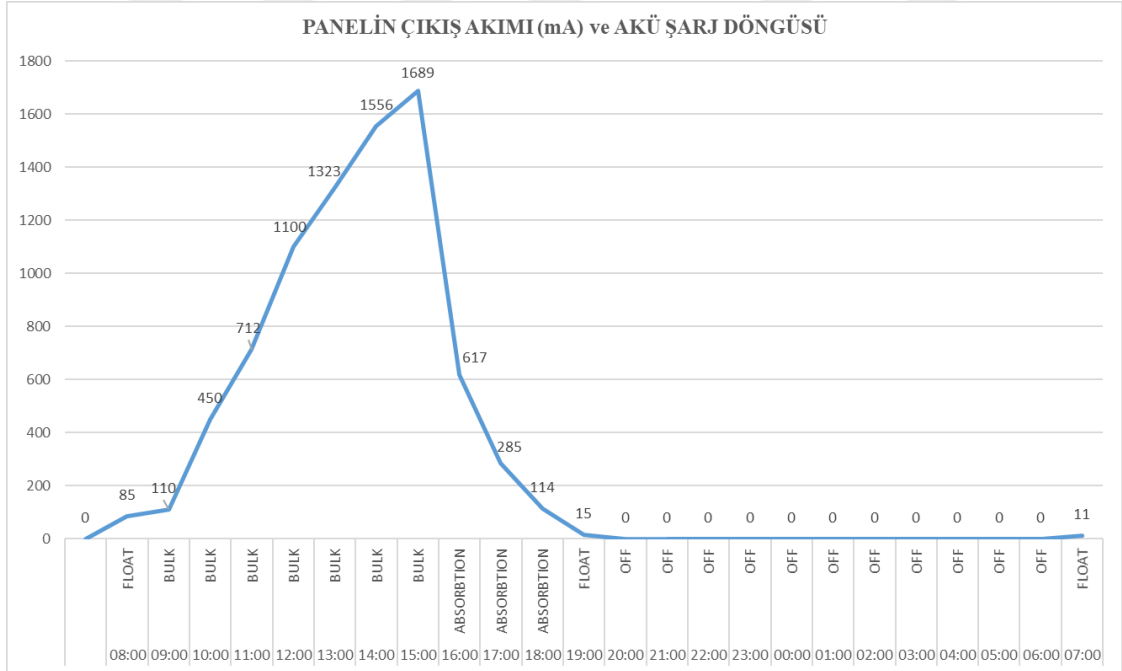
S/N	ZAMAN	MOD	PANEL V (Volt)	PANEL I (mA)	AKÜ V (Volt)
1	08:00	FLOAT	12,00	55	11,10
2	09:00	BULK	12,20	90	12,15
3	10:00	BULK	12,80	350	12,66
4	11:00	BULK	13,25	616	12,73
5	12:00	BULK	13,45	995	12,78
6	13:00	BULK	13,66	1113	12,83
7	14:00	BULK	13,73	1358	12,88
8	15:00	BULK	13,76	1545	12,93
9	16:00	ABSORBTION	13,34	512	12,71
10	17:00	ABSORBTION	13,26	375	12,56
11	18:00	ABSORBTION	13,16	103	12,43
12	19:00	FLOAT	14,25	15	11,85
13	20:00	OFF	0,00	0	12,77
14	21:00	OFF	0,00	0	12,71
15	22:00	OFF	0,00	0	12,63
16	23:00	OFF	0,00	0	12,34
17	00:00	OFF	0,00	0	12,14
18	01:00	OFF	0,00	0	12,03
19	02:00	OFF	0,00	0	12,02
20	03:00	OFF	0,00	0	11,98
21	04:00	OFF	0,00	0	11,91
22	05:00	OFF	0,00	0	11,88
23	06:00	OFF	0,00	0	11,83
24	07:00	FLOAT	12,00	11	11,82

*Tablo değerleri, 5dk. lık zaman aralığında yapılan ölçümlerin saatlik gösterimini içermektedir.

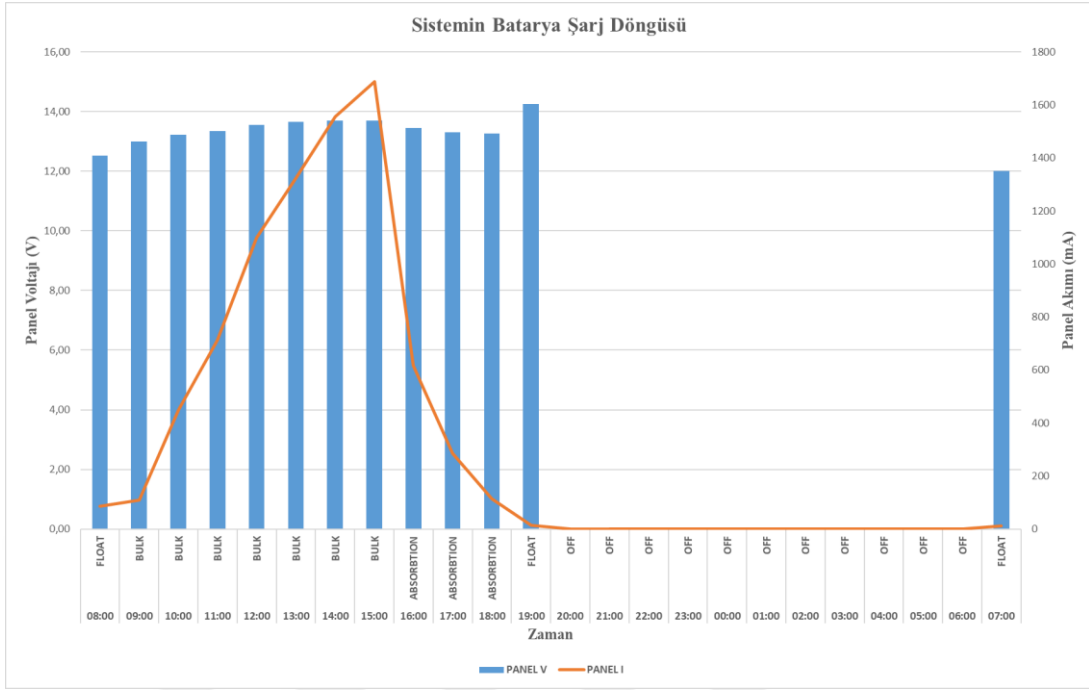
Sistemin gerçek zamanlı olarak çalıştırılması neticesinde elde edilen uygulama sonuçları aşağıda sunulan şekillerde grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Panelin günışığına göre üretebildiği voltaj değeri ve akü şarj döngüsü uyumu



Şekil 4.6. Panelden akü şarj döngüsüne göre çekilebilen akım miktarı (mA)



Şekil 4.7. Sistemin deneysel sonuçlarının grafiksel gösterimi

Şekillerle gösterilen deneysel sonuçlar yakından incelendiğinde, geliştirilen sistemin MATLAB uygulaması tarafından üretilen benzetim sonuçları ile benzer özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Buna göre; panel yüksüz durumda teknik özelliklerinde ifade edilen değerlere yakın olarak 23V çıkış gerilimi üretebilmiştir. Yük altında ise panel, günışığı durumuna göre 0 ila 14.25V arasında gerilim değeri üretebilmiştir. Panelden çekilebilen akım değerine gelince, sistem akünün şarj süresince 0 ila 1.689mA arasında akım üretebilmiştir. Bunun akünün yeterli şarj seviyesinden kaynaklandığı ve gerektiğinde FV panelin teknik özelliklerinde ifade edilen 2540mA çıkış akım değerine ulaşabileceği değerlendirilmektedir.

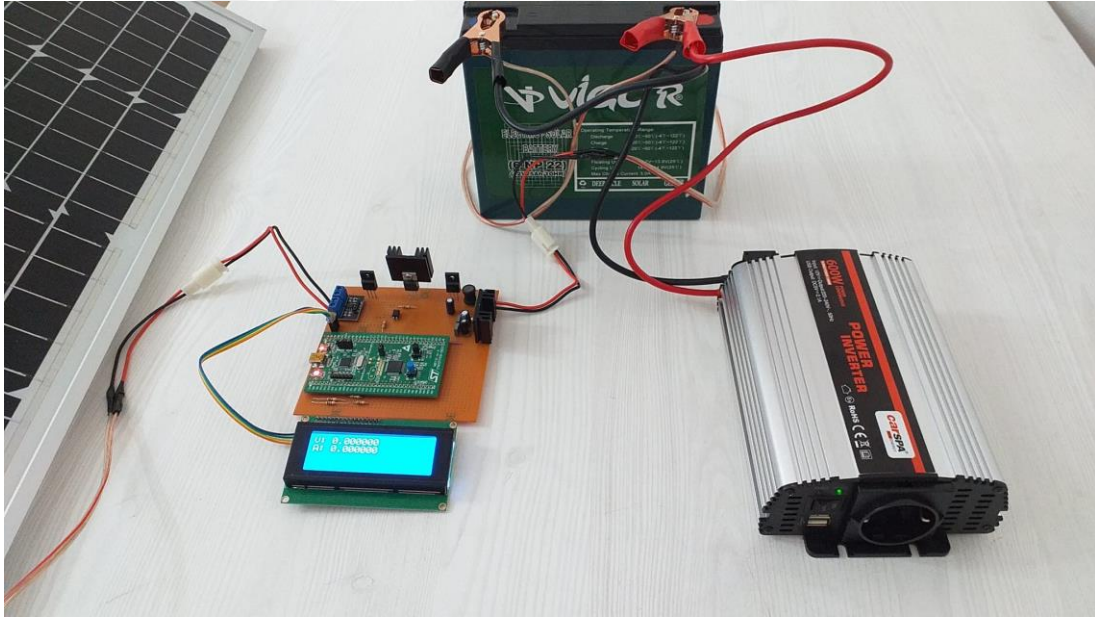
Gerçek zamanlı uygulama sonuçları incelendiğinde, sistemin çıkış voltaj değeri ile akünün tam şarj (bulk), emilim (absorption) ve yüzen (float) faz döngülerini takip ettiği görülmektedir. Fakat, elde edilen verilerden hareketle, panelin yük altında üretebildiği çıkış voltaj değerinin, akünün tam şarjı için gerekli olan voltaj değerlerine yakın düzeyde olduğu ve bu seviyenin buck konvertörün kararlı çalışmasına etki edebilecek düzeyde olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, sisteme paralel olarak ikinci bir FV panel ilave edilmesi ya da buck konvertör yerine

buck-bust konvertör kullanılması sistemin daha etkili çalışmasını sağlayacağı ifade edilebilir.

Gerçek zamanlı uygulama sonuçları ile benzetim sonuçları karşılaştırıldığında, geliştirilen sistemde bataryanın maximum şarj akımı olan 2.54 amper değerlerine ulaşamadığı görülmüştür. Bu durumun, sistemde kullanılan akünün çok yeni olmasından ve yüksek çıkış gücünün bulunmasından (24A) kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Daha yüksek çıkış gücü elde etmek için birden fazla güneş paneli kullanılması gerektiği söylenebilir.

4.3. Sistemin Avantajları ve Dezavantajları

Çalışma kapsamında tasarlanan sistemin birleştirilmiş haldeki görüntüsü Şekil 4.8’de sunulmuştur.



Şekil 4.8. Tasarlanan sistemin birleştirilmiş görüntüsü

Çalışmada geliştirilen sistemin hedeflenen amaçlarına ulaştığı ve etkili bir performans elde edildiği tespit edilmiştir. Geliştirilen sistemden elde edilen bulgulardan yola çıkılarak, sistemin öne çıkan yönleri (avantajları) ve sistemde geliştirilmesine ihtiyaç duyulan hususlar (dezavantajlar) başlıklar halinde incelenmiştir.

4.3.1. Avantajlar

FV teknolojisi, küresel ısınmaya çözüm sağlayan en güçlü elektrik üretim teknolojisidir. Ülkemizin hemen hemen her bölgesi bu teknolojiyi kullanmak için elverişlidir. FV enerjisi, otonom güç paketleri ve şebekeye entegre sistemler olarak farklı dönüşüm teknolojileriyle dünya genelinde kullanılmaktadır. Konvertör tipi ve yük uygulamaya bağlı olarak belirlenmektedir. Çalışma, güneş enerjisiyle çalışan ev aydınlatma sistemlerinin pratikte bir analizini sunmaktadır. Bu açıdan güvenilir ve optimum performans sağlayan bir enerji üretim sistemidir.

Tasarlanan fotovoltaiik aydınlatma sisteminin bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Öncelikle, sistemin STM32 MCU tabanlı mikro denetleyici ile kontrol edilecek olması sisteme etkin ve kararlı bir çalışma performansı kazandırmaktadır. Bunun yanında sistem yazılımının milli imkanlarla yapılması ilerde sistem üzerinde ihtiyaca göre yeni özellikler kazandırma olanağı getirmektedir. Örneğin sistem, çalışma performansına ilişkin bilgilerin mobil ağlar veya internet üzerinden kullanıcılarına gönderilmesi şeklinde yapılacak bir gelişime yönelik uygun bir alt yapıya sahiptir.

Sistemin bir diğer avantajı herhangi bir bakıma ve işletme yönetimine ihtiyaç göstermemesidir. Sistem kapalı çevrimde çalıştığından sadece arıza durumunda sisteme müdahale edilmektedir. Ayrıca, STM32 MCU ile sistemin akım, gerilim, güç ve sıcaklık değerleri takip edilecek ve kayıt altına alınabilmektedir. Bu sayede, sistemin performansının zaman içindeki değişimleri bilgisayar ortamında daha etkin olarak değerlendirilebilecektir.

Fotovoltaiik sistem ile günde 5 ila 7 saat boyunca elde edilen ışık enerjisi ile ihtiyaç duyulan güç sağlanabilir. Akünün çıkış gücü 12VDC olarak kullanılabilirdiği gibi, invertör kullanarak 220VAC güç de elde edilebilmektedir.

Sistem küçük ve mobil bir sistem olarak geliştirilmiştir. Bu sayede istenilen yerde hızlı ve kolay montaj sağlanabilecektir. Sistemin kurulumu için herhangi bir uzmanlık ihtiyacı bulunmamaktadır. Bu haliyle sistem geniş bir kullanıcı kitlesine hitap etmektedir.

Fotovoltaik güneş paneli bulunan aydınlatma sisteminde etkin bir MPPT güç izleme algoritması kullanılmıştır. Bu sayede, FV panelin çıkış gücünden maksimum düzeyde faydalanılmaktadır.

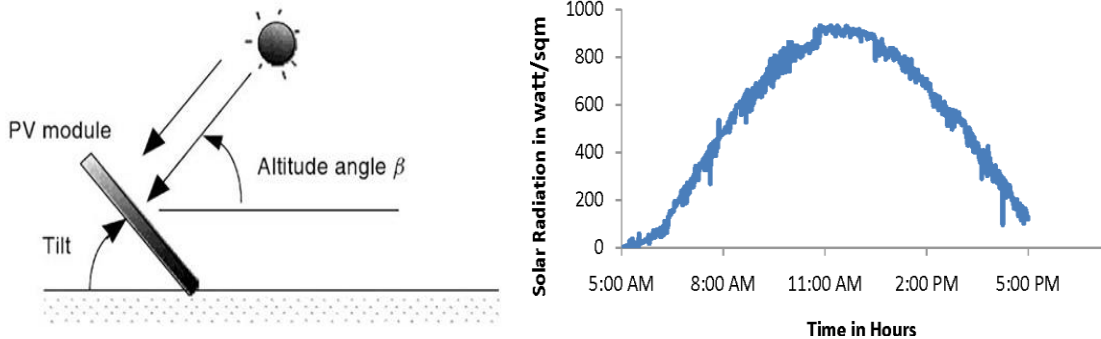
STM32 MCU mikrodnetleyici içeren sistemde akünün 3 kademeli şarj döngüsü tam olarak uygulanabilmektedir. Bu sayede, akünün daha uzun ömürlü ve verimli olması sağlanmıştır.

4.3.2. Dezavantajlar

STM32 tabanlı mikrodnetleyici ile kontrol edilen FV aydınlatma sisteminin etkin ve efektif bir çalışma gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak, geliştirilen sistemin bazı eksikliklerinin ya da dezavantajlarının bulunduğu belirlenmiştir.

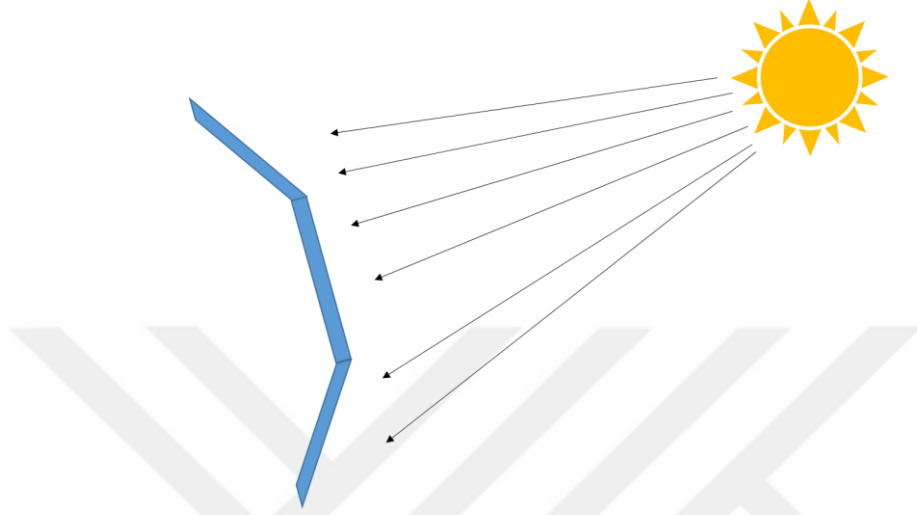
Öncelikle FV sistemin besleme gücü 50W/2.54A ile sınırlıdır. Bu sebeple, akünün şarj süresi uzamaktadır ve sistem küçük ölçekli uygulamalarda kullanılabilir. Buna göre sistemde kullanılan akünün şarj süresinin tam güçte yaklaşık 10 saat olması öngörülmektedir. Sürenin uzatılması için FV panel sayısının ve kullanılan akü sayısının 3'e çıkarılması gerekmektedir. Ancak, bu işlem hem projenin maliyetini artıracak hem de taşınabilirliğini azaltacaktır.

Sistemin bir diğer dezavantajı sabit FV panel kullanılması nedeniyle, sistemin kurulu bölgesindeki yıl içi en kötü güneşlenme değerinin elde edilecek olmasıdır. Bu nedenle sistemin enerji ve güç performansında değişiklikler yaşanması kaçınılmazdır (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. Sabit sistemlerin güneş açısına göre performans sonuçları

Bu sorunun giderilmesi için sistemde farklı açılarda yerleştirilmiş Şekil 4.10'da görüldüğü gibi 3 ad. güneş paneli kullanılabilir ya da X ve Y eksenlerinde hareket edebilen hareketli bir modül tasarlanabilir.



Şekil 4.10. FV güneş panellerinin farklı açılarla yerleştirilmesi

Bu sayede, güneşe olan açısal konum dezavantajının etkisi giderilecek ve sistemden elde edilen enerji kaybı minimuma indirilecektir. Ancak, bu uygulama sistemin taşınabilirliğini azaltacağı gibi kurulum maliyetini de artıracaktır.

Sistemin gerçek zamanlı uygulama sonuçlarında panelin yük altındaki çıkış voltaj değerinin buck konvertörün kararlı çalışması için gerekli olan seviyeye yakın olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, akünün şarjı esnasında panelin teknik özelliklerinde ifade edilen seviyede bir akım çekişi elde edilememiştir. Bu nedenle, sisteme paralel ikinci bir FV panel ilave edilmesi ya da buck convertör yerine buck-bust convertör kullanılmasının sistemin daha etkili çalışmasını sağlayacağı düşünülmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli bakımından iyi durumda olmasına rağmen ne yazık ki bu potansiyeli yeterince etkin ve yaygın kullanamamaktadır. Ancak buna rağmen ülkemizde Güneş enerjisi hakkındaki çalışmalar oldukça uzun zamandır yapılmaktadır. Kamu kurum ve kuruluşlarında, üniversitelerimizde, konu ile ilgili kurulmuş vakıf ve derneklerde güneş enerjisinden etkin biçimde faydalanmak için çalışmalar sürdürülmektedir.

İlk yatırım giderleri yüksek olan, ancak yakıt masraflarının olmaması nedeniyle işletme masrafları bulunmayan çevre ile uyumlu, güneş kaynaklı enerji üretim sistemlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli uzun vadeli finansman imkânı sağlandığında bu teknolojiler gelişecek ve ülkemizde bu kaynaktan en üst seviyede faydalanmanın yolu açılmış olacaktır. Devletçe, sadece güneş pillerinin değil diğer güneş enerjisinden faydalanma yöntemlerinin de tanıtılması, teşvik edilmesi ve gerekli kanuni düzenlemelerin yapılmasına ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca, küçük tüketim merkezlerindeki

güneş potansiyeli elektrik enerjisine dönüştürülerek cihazların beslenmesinde kullanılabilecek ve ihtiyaç fazlası elektrik üretim de ana şebekeye aktarılarak ülke ekonomisine katkı sağlanabilecektir.

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasının uygulama aşamasında, 1 adet FV solar panel ve 1 adet jel tip akü birlikte kullanılarak DC ve AC voltaj ile çalışan aydınlatma sistemi tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Prototip sistemde, havanın aydınlık karanlık durumuna göre lambanın açılıp kapanması, akünün şarj durumuna göre şarj döngüsü dahilinde şarj edilip edilmeyeceğine STM32F0308 mikrodenetleyici ünitesi karar vermektedir.

Sistemin tasarımı öncelikle MATLAB programında simüle edilmiş, daha sonrasında ise elektronik devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. STM32 tabanlı mikro denetleyicinin kodlanmasında STM32Cube IDE uygulaması ve C programlama dili

kullanılmıştır. Bu sayede sistemin birçok işlevinin iyileştirilmesi mümkün olabilecektir. Geliştirilen sistem kontrol yazılımı STLink Utility veri aktarma uygulaması ile STM32F0308 Discovery MCU kartına yüklenmiştir.

FV güneş paneli ile üretilen elektrik enerjisinin doğrudan kullanılması FV panele zarar verebilmektedir. Bu nedenle panelden elde edilen enerjinin bazı DA-DA dönüştürücü işlemlerinden geçirilmesi gerekmektedir. Çalışmada bu doğrultuda düşürücü dönüştürücü (buck converter) ünitesi kullanılmıştır. Buck converterde anahtarlama işlemi ise devrede bulunana IRF9540 MOSFET ile yapılmaktadır. MOSFET'in sürülmesi için ihtiyaç duyulan PWM sinyali, FV panel gücü ve akü tarafından çekilen akım hesaplanarak STM32 ünitesi tarafından üretilmektedir. Ayrıca, MOSFET'in sürülmesi için sistemde PC817 Optokupler entegresi kullanılmıştır.

Sistemde kullanılan akünün şarj döngüsünde; tam şarj (bulk) fazında sabit bir akım uygulanmakta voltaj ise ihmal edilmekte ve FV elektriksel gücü aküye yönlendirilmektedir. Emilim (absorption) fazı sırasında, akünün makul bir süre içinde tamamen şarj edilebilmesi için şarj voltajı nispeten yüksek bir seviyede tutulur. Üçüncü ve son faz yüzen (float) fazıdır. Bu faz esnasında voltaj, akünün kendi kendine deşarjının dengelenmesine yetecek seviye olan bekleme seviyesine düşürülür. Burada amaç akünün şarjlı şekilde kalmasını sağlamaya çalışmaktır. Çalışmada, 12V'luk bir akü kullanılmıştır. Bu akü türü için maksimum 14.7-14.9V ve 3A şarj akımı gereklidir. 14.7V'a ulaşıldığında absorpsiyon moduna girilmekte ve akım 100mA'nın altına düşene kadar bu değer korunmaktadır. Ardından float moduna girilmekte ve akü 13.7V-13.9V ve çok düşük bir akım akışında tutulmaktadır.

Sistemin en önemli bileşenlerinden birisi durumundaki STM32F0308 denetleyici ünitesi, akünü şarj döngüsü için gerekli voltaj değerlerini sürekli olarak kontrol etmekte ve anlık olarak ölçülen değerleri kullanıcıya göstermektedir. MCU ünitesi bu amaçla I²C seri veri iletişimi kullanmakta ve kullanıcı bilgilendirme uyarıları 4x20 karakterli LCD ekranda kullanıcıya gösterilmektedir. Kontrol ünitesi, ayrıca, herhangi bir hata durumunda sistemin çalışmasını durdurmaktadır.

Yapılan literatür incelemesinde, daha önce yapılan solar sistem aydınlatma çalışmalarında kaynak (enerji) seçimi gibi otomasyon ve kontrollerin kontaktörler ile yapıldığı görülmektedir. STM32 MCU kontrollü solar sistemin kontaktör kontrollü solar sisteme göre daha hızlı, daha ekonomik, boyut ve ebat olarak daha az yer kaplayan, daha hafif ve daha estetik bir sistem olacaktır. Sistemin en önemli özelliği STM32 kontrollünün kontaktör kontrolüne göre daha hızlı olmasıdır. Örneğin kontaktörlerin açma kapama süresi yaklaşık 10 ms iken STM32 MCU denetleyicisinin açma-kapama komut süresi 200 ns'dir. Böylece solar sistemlerde STM32 kontrolü ile kaynak değiştirme hissedilmeyecek kadar hızlı yapılmaktadır. Aydınlatma sisteminde güneş paneli ve normal şebeke seçimi STM32 denetleyicisi ile yapıldığında kaynak değişiminde ampulün yanıp sönmeme gibi sorunların giderileceği ve sistemde hissedilir bir dalgalanma olmayacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada prototipi geliştirilen sistemin, ülkemizde güneşlenme oranı yüksek bölgelerde bina içi/dışı aydınlatmada, yerleşim yerlerinden uzak evlerde elektrikli cihazların çalıştırılmasında, zirai sulama ya da su pompasında, ilkyardım, alarm ve güvenlik sistemlerinde, meteoroloji gözetleme istasyonları, haberleşme istasyonları, radyo, telsiz ve telefon sistemlerinde, petrol boru hatları ve metal yapıların (köprüler, kuleler vb.) korozyondan korunmasında, elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan tele metrik ölçülerde, orman gözetleme kuleleri, deniz fenerleri, ilaç ve aşı soğutma merkezlerinde, ucuz ve bakım gerektirmeyen bir FV güneş enerjisi üretim sistemi olarak kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Bu çalışma şekliyle geliştirilen sistem hem bir aydınlatma sistemi hem de kesintisiz bir güç kaynağı olarak kullanılabilmektedir.

5.2. Öneriler

Araştırma kapsamında geliştirilen sistemin çalıştırılması sonucunda elde edilen bulgulardan hareketle konuyla ilgilenen girişimci, akademisyen ve öğrencilere aşağıda ifade edilen önerilerde bulunulabilir:

- Geliştirilen FV sisteme, havanın aydınlık karanlık olmasına göre aydınlatma sistemlerinin açılıp kapanmasına (On/Off) yönelik bir kontrol işlemi eklenebilir.

- Çalışmada ulaşılan bulgulardan hareketle, sistemin akü şarj döngüsünü tam olarak gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Ancak, akünün çıkış gerilimi izlenerek, dolu-boş durumu tespit edilebilir ve örneğin, akü %30 oranında boş ise şarj, %125 oranında dolu ise şarj kesme komutlarının eklenmesi denenebilir. Bu doğrultuda, sistem bulanık mantık ya da yapay sinir sinir ağı sistemleri ile geliştirilebilir. Bunun için, sistemde STM32 tabanlı mikrodenetleyici yerine Raspberry Pi tabanlı kontrol ünitesi kullanılması önerilebilir.

- Geliştirilen sistemde aydınlatma amacı ile invertör çıkışından elde edilen gerilime 220VAC aydınlatma ünitesi bağlanmıştır. Sisteme, 12VDC LED aydınlatma ünitelerinin bağlanması ve MCU ünitesinin uygun aydınlatma aparatının seçmesine yönelik bir geliştirme yapılabilir.

- Gerektiğinde (akü bittiğinde veya FV panelden enerji alınamadığında) şebekeden enerji alımına imkan tanınmasına yönelik bir iyileştirme yapılabilir. Şebekenin devreye girip girmeyeceği kararı yine STM32 MCU kontrol kartı ile takip edilebilir.

- STM32 MCU ile sistemin akım, gerilim, güç ve sıcaklık değerleri takip edilebilir ve kayıt altına alınabilir. Hatta, sistem üzerinden elde edilen bu tür bilgiler internet, GSM şebekeleri üzerinden uzak kullanıcılara iletilebilir.

- Çalışmada ulaşılan gerçek zamanlı uygulama sonuçlarında panelin yük altındaki çıkış voltaj değerinin buck convertörün kararlı çalışması için gerekli olan seviyeye yakın olduğu, panelden çekilebilen akım seviyesinin ise panelin teknik özelliklerinde ifade edilen seviyeden düşük olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, sisteme paralel ikinci bir FV panel ilave edilmesi ya da buck convertör yerine buck-bust convertör kullanılması önerilmektedir. Bu sayede, sistemin daha etkili ve verimli çalışması sağlanacaktır.

Sonuç olarak, yapılan çalışmada geliştirilen FV aydınlatma sistemi prototipi ile istenilen sonuçlara ulaşıldığı, ayrıca, sistemin ilerde yapılacak geliştirmelere açık

bir alt yapısının bulunduğu değerlendirilmektedir. Buradan hareketle konuyla ilgilenen akademisyen ve ğrencilere FV güneş panelli aydınlatma sistemlerinin gelecek vaat eden bir teknoloji olduğu ve bu kapsamda ilerde yeni çalışmalar yapılması önerilmektedir. Böylece, günümüzün önemli bir teknolojik unsuru olan ancak, yeterli düzeyde araştırma yapılmadığı düşünülen FV güneş paneli kullanımı hakkındaki literatürde yer alan boşluğun doldurulmasına katkı sağlanacağı değerlendirilmektedir.



KAYNAKLAR

- Abdelsalam, A. K., Massoud, A.M., Ahmed, S., & Enjeti, P.N. (2011). High-Performance Adaptive Perturb and Observe MPPT Technique for Photovoltaic-Based Microgrids. *IEEE transactions on power electronics*, 26(4), 1010-1021.
- Adanur, S. (2014). *STM32 Kontrollü Solar Aydınlatma Sistemi Tasarımı ve Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Ahmed, J., & Salam, Z. (2015). An improved perturb and observe (P&O) maximum power point tracking (MPPT) algorithm for higher efficiency. *Applied Energy*, 150, 97-108.
- Akyazı, Ö., Şahin, E., & Kahveci, D.C. (2019). Fotovoltaik Panel ve Şebeke Entegrasyonlu Akıllı Sokak Lambası Tasarımı ve Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 356-360.
- Bagnall, D. M., & Boreland, M. (2008). Photovoltaic technologies. *Energy Policy*, 36(12), 4390-4396.
- Bakım, S. (2016). *Yeni Bir P&O Tabanlı MPPT Algoritması Tasarımı ve Performansının Testi* Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Başoğlu, M. E. (2017). *Fotovoltaik Sistemler İçin Yeni Bir Maksimum Güç Noktası İzleme Yönteminin Geliştirilmesi ve Uygulanması*. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Bayram, Y. (2007). *PIC Kontrollü Kesintisiz Güç Kaynağı Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Bentaher, H., Kaich, H., Ayadi, N., Hmouda, M.B., Maalej, A., & Lemmer, U. (2014). A simple tracking system to monitor solar FV panels. *Energy conversion and management*, -.
- Bodur, H. (2010). *Güç Elektronikleri Temel Analiz ve Sayısal Uygulamalar*: İstanbul: Birsan Yayınevi.
- Bodur, M., & Ermis, M. (1994). *Maximum power point tracking for low power photovoltaic solar panels*. Paper presented at the MELECON'94 Mediterranean Electrotechnical Conference.
- Brunton, S. L., Rowley, C.W., Kulkarni, S.R., & Clarkson, C. (2009). *Maximum power point tracking for photovoltaic optimization using extremum seeking*. Paper presented at the 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC).
- Chakma, S., Sikder, N.K., Khan, S.I., & Akhter, S. (2015). *Implementation of microcontroller based Maximum Power Point Tracker (MPPT) using SEPIC*

- converter. Paper presented at the IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE).
- Chen, K., Tian, S., Cheng, Y., & Bai, L. (2014). An improved MPPT controller for photovoltaic system under partial shading condition. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 5(3), 978-985.
- Chhawchharia, P., Cheng, D.K.W., & Lee, Y.S. (1997). *On the reduction of component count in switched capacitor DC/DC convertors*. Paper presented at the 28th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC97). Formerly Power Conditioning Specialists Conference 1970-71. Power Processing and Electronic Specialists Conference 1972.
- Chung, H. H., Tse, K.K., Hui, S.R., Mok, C.M., & Ho, M.T. (2003). A novel maximum power point tracking technique for solar panels using a SEPIC or Cuk converter. *IEEE transactions on power electronics*, 18(3), 717-724.
- Das, P. (2015). *Maximum Power Tracking Based Open Circuit Voltage Method for FV System*. Paper presented at the 5th International Conference on Advances in Energy Research (ICAER), Mumbai, India.
- Dobbs, B. G., & Chapman, P.L. (2003). A multiple-input DC-DC converter topology. *IEEE Power Electronics Letters*, 1(1).
- El Chaar, L., & El Zein, N. (2011). Review of photovoltaic technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(5), 2165-2175.
- Eltamaly, A. M., Al-Saud, M.S., & Abokhalil, A.G. (2020). A novel bat algorithm strategy for maximum power point tracker of photovoltaic energy systems under dynamic partial shading. *IEEE Access*, 8, 10048-10060.
- Ergezer, H., Dikmen, M. ve Özdemir, E. (2003). Yapay Sinir Ağları Ve Tanıma Sistemleri. *PiVOLKA*, 2(6), 14-17.
- Esrām, T., & Chapman, P.L. (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22(2), 439-449.
- Fernia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G., & Vitelli, M. (2005). Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 20(4), 963-973.
- Gautam, S., Raut, D.B., Neupane, P., Ghale, D.P., & Dhakal, R. (2016). *Maximum power point tracker with solar prioritizer in photovoltaic application*. Paper presented at the IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA).
- Güneş, M. (1999). *Fotovoltaik Sistemin Sağladığı Elektrik Enerjisi İle Çalışan Bir Uygulama Sisteminin Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- <http://www.solarensa.com/sistem-bilesenleri.html>. (2020).
- <https://www.direnc.net/stm32f4-discovery-gelistirme-kiti>. (2020).

<https://www.electronicweekly.com/blogs/engineer-in-wonderland/zeta-that-other-dc-dc-topology-2016-05>. (2022).

<https://www.tekniksolar.com>. (2020). Güneş Enerjisi.

Ishaque K., S., Z. (2012). A review of maximum power point tracking techniques of FV system for uniform insolation and partial shading condition. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 19, 475-488.

İşçan, S., & Ersanlı, C.C. (2016). Fotovoltaik Güneş Paneli Destekli Batarya şarj ve Led Aydınlatma Sistemi Uygulaması. *Organizing Committee Members*, 108.

Jain, M., Daniele, M., & Jain, P.K. (2000). A bidirectional DC-DC converter topology for low power application. *IEEE transactions on power electronics*, 15(4), 595-606.

Karamanav, M. (2007). *Güneş enerjisi ve güneş pilleri*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Kayabaşı, A., Yıldız, B., & Balcı, S. (2018). *Güneş Paneli Uygulamalarında Hava Şartlarının Verimliliğe Etkilerinin Yapay Sinir Ağları İle Belirlenmesi*. Paper presented at the VI. KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu-KOPBK, 26-28 Ekim 2018-Konya.

Kazimierzczuk, M. K. (1992). Synthesis of phase-modulated resonant DC/AC inverters and DC/DC convertors. *IEE proceedings B (Electric Power Applications)*. IET Digital Library, 139(4), 387-394.

Kermadi, M., & Berkouk, E.M. (2015). *A maximum power point tracker based on particle swarm optimization for pv-battery energy system under partial shading conditions*. Paper presented at the 3rd International Conference on Control, Engineering & Information Technology (CEIT).

Kermadi, M., Salam, Z., Ahmed, J., & Berkouk, E.M. (2020). A high-performance global maximum power point tracker of PV system for rapidly changing partial shading conditions. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 68(3), 2236-2245.

Keskin, Y. E. (2014). *Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Kjær, S. B. (2012). Evaluation of the “hill climbing” and the “incremental conductance” maximum power point trackers for photovoltaic power systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 27(4), 922-929.

Kordestani, M., Mirzaee, A., Safavi, A.A., & Saif, M. (2018). *Maximum power point tracker (MPPT) for photovoltaic power systems-a systematic literature review*. Paper presented at the European Control Conference (ECC).

Köroğlu, T., Teke, A., Bayındır, K.Ç., ve Tümay, M. (2010). Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı. *Çukurova Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 439, 98-104.

- Kumar, A., & Kumar, S. (2015). Study and Comparison of Various MPPT Algorithms in Solar Power System. *IJISSET*, 2(12), 881-889.
- Kurak, E., Erdemir, V., & Dursun, B. (2016). PV sistemin için maksimum güç noktası izleyicisi tasarımı ve uygulaması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2016), 581-592.
- Kuwabara, K., & Hiyachika, E. (1988). *Switched-capacitor DC-DC converters*. Paper presented at the 10th International Telecommunications Energy Conference.
- Liu, F., Duan, S., Liu, F., Liu, B., & Kang, Y. (2008). A variable step size INC MPPT method for PV systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(7), 772-778.
- Lupu, A. G., Homutescu, V.M., Balanescu, D.T., & Popescu, E.A. (2018). *A review of solar photovoltaic systems cooling technologies*. Paper presented at the IOP Conference Series, Materials Science and Engineering.
- Masoum, M. A., Dehbonei, H., & Fuchs, E.F. (2002). Theoretical and experimental analyses of photovoltaic systems with voltage and current-based maximum power-point tracking. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 17(4), 514-522.
- Mei, Q., Shan, M., Liu, L., & Guerrero, M. (2011). A novel improved variable step size incremental resistance MPPT method for PV systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(6), 2427-2434.
- Midya, P., Krein, P.T., Turnbull, R.J., Reppa, R., & Kimball, J. (1996). *Dynamic maximum power point tracker for photovoltaic applications*. Paper presented at the PESC Record. 27th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference.
- Mohan, N., Undeland, T.M., & Robbins, P.W. (1995). *Converters Applications and Design Second Edition*: John Wiley High Education, USA.
- Moradi, M. H., & Reisi, A.R. (2011). A hybrid maximum power point tracking method for photovoltaic systems. *Solar Energy*, 85(11), 2995-2996.
- Mozumder, M. S., Mourad, A.H.I., Pervez, H., & Surkatti, R. (2019). Recent developments in multifunctional coatings for solar panel applications: A review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 189, 75-102.
- Mroczka, J., & Ostrowski, M. (2019). *A low cost maximum power point tracker with the hybrid algorithm that uses temperature measurement*. Paper presented at the 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA).
- Murtaza, A. F., Sher, H.A., Chiaberge, M., Boero, D., De Giuseppe, M., & Addoweesh, K.E. (2013). Optimization of the perturb and observe maximum power point tracker for a distributed photovoltaic system. *INMIC*, 77-82.
- Narasimharaju, B. L., Dubey, S.P., & Singh, S.P. (2012). Design and analysis of coupled inductor bidirectional DC-DC convertor for high-voltage diversity applications. *IET Power Electronics*, 5(7), 998-1007.

- Ndiaye, A., Charki, A., Kobi, A., Kéb , C.M., Ndiaye, P.A., & Sambou, V. (2013). Degradations of silicon photovoltaic modules: A literature review. *Solar Energy*, 96, 140-151.
- Ning, D., Li, B., Zhang, T., & Zhang, J.L. (2013). Design and application of sunlight conveyer tracking system based on the STM 32 controller. *Journal of Yunnan University Natural Sciences Edition*, 35(1), 21-25.
-  zdemir, A. v. P., N. (2021). Kısmi Gölgelenme  artları Altındaki Kompleks Yapılı Fotovoltaik Enerji Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası Takibinin Metasezgisel Algoritmalar Kullanılarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(31), 157-164.
-  zen, Y. (2015). *III-V Grubu Güneş Hücresi Geliştirilmesi ve Prototip Yo unla tırıcılı Fotovoltaik Modül  retimi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pandey, A. K., Pant , P.C., Sastry, O.S., Kumar, A., & Tyagi, S.K. (2015). Energy and exergy performance evaluation of a STM32 solar photovoltaic module. *Thermal Science*, 19, 625-636.
- Parida, B., Iniyani, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(3), 1625-1636.
- Patel, H., & Agarwal, V. (2008). Maximum power point tracking scheme for PV systems operating under partially shaded conditions. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(4), 1689-1698.
- Phimmasone, V., Endo, T., Kondo, Y., & Miyatake, M. (2009). *Improvement of the maximum power point tracker for photovoltaic generators with particle swarm optimization technique by adding repulsive force among agents*. Paper presented at the International Conference on Electrical Machines and Systems.
- Pietruszko, S. M., Fetlinski, B., & Bialecki, M. (2009). *Analysis of the performance of grid connected photovoltaic system*. Paper presented at the 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC).
- Reisi, A. R., Moradi, M.H., & Jamasb, S. (2013). Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 19, 433-443.
- Robles, A. C., Taborda, G.J., & Rodriguez, A. O. (2017). Fuzzy logic based MPPT controller for a PV system. *Energies*, 10(12), 2036.
- Safari, A., & Mekhilef, S. (2011). Simulation and hardware implementation of incremental conductance MPPT with direct control method using C c converter,. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(4), 1154-1161.
- Sharma, V., Kumar, A., Sastry, O.S., & Chandel, S.S. (2013). Performance assessment of different solar photovoltaic technologies under similar outdoor conditions. *Energy conversion and management*, 58, 511-518.

- Siecker, J., Kusakana, K., & Numbi, E.B. (2017). A review of solar photovoltaic systems cooling technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 79, 192-203.
- Subudhi, B., & Pradhan, R. (2013). A comparative study on maximum power point tracking techniques for photovoltaic power systems. *Sustainable Energy*, 4, 89-98.
- Sudhakar, K., & Srivastava, T. (2014). Energy and exergy analysis of 36 W solar photovoltaic module. *International Journal of Ambient Energy*, 35, 51-57.
- Swiegers, W., & Enslin, J.H. (1998). *An integrated maximum power point tracker for photovoltaic panels*. Paper presented at the IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Proceedings.
- Şenol, R., & Aksoy, B. (2019). *STM32F407 İle Bulanık Mantık Kontrollü Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi*. Paper presented at the 2. Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, Antalya.
- Tianyi, Z. (2016). Design of a high efficiency solar cell panel controller. *Automation & Instrumentation*, 8.
- Tsang, K. M., & Chan, W.L. (2005). Cascade controller for DC/DC buck convertor. *IEE Proceedings-Electric Power Applications*, 152(4), 827-831.
- Verma, D., Nema, S., Shandilya, A.M., Dash, S.K. (2015). Comprehensive analysis of maximum power point tracking techniques in solar photovoltaic systems under uniform insolation and partial shaded condition. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 7, 1-27.
- Villalva, M. G. G., J.R., & Filho, E.R. (2009). Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. *IEEE transactions on power electronics*, 24(5), 1198-1208.
- Wang, D. (2021). Research and Development of Photovoltaic Module Intelligent Cleaning Robot. *Journal of Physics: Conference Series*, 1744(2), 22024.
- Yan, G. L., Ma, J., Xie, H.W., Lu, J.T., & Cheng, F.Y. (2014). The Design of the Household Photovoltaic Power-Supply System with Intelligent Expansion Capacity Based on STM32. *Advanced Materials Research*, 1044, 541-544.
- Yuan, F., Zhao, X., Chen, H., Ming, Y., & Zhang, J. (2020). Design and Implementation of an Indoor light supplement control system based on STM32 microcontroller. *Journal of Physics: Conference Series*, 1601(2), 22-53.
- Zongzhou, W., Tengjiao, F., Junrui, D., Jianxin, Z., Chao, L., & Nini, Y. (2016). Photovoltaic Charge and Discharge Controller Based on STM32. *Microcontrollers & Embedded Systems*, 10.

EKLER

EK-1 Sistemde Kullanılan STM32 Yazılımı

Ana Programın Header Dosyası:

```
/* USER CODE END Header */
*****
* @file      : main.h
* @brief     : Header for main.c file.
*            : This file contains the common defines of the application.
*****
* @attention
* <h2><center>&copy; Copyright (c) 2021 STMicroelectronics.
* All rights reserved.</center></h2>
* This software component is licensed by ST under BSD 3-Clause license,
* the "License"; You may not use this file except in compliance with the
* License. You may obtain a copy of the License at:
*            opensource.org/licenses/BSD-3-Clause
*****
/* USER CODE END Header */

/* Define to prevent recursive inclusion -----*/
#ifndef __MAIN_H
#define __MAIN_H

#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif

/* Includes -----*/
#include "stm32f0xx_hal.h"

/* Private includes -----*/
/* USER CODE BEGIN Includes */

/* USER CODE END Includes */

/* Exported types -----*/
/* USER CODE BEGIN ET */

/* USER CODE END ET */

/* Exported constants -----*/
/* USER CODE BEGIN EC */
```



```

/* USER CODE END EC */

/* Exported macro -----*/
/* USER CODE BEGIN EM */

/* USER CODE END EM */

void HAL_TIM_MspPostInit(TIM_HandleTypeDef *htim);

/* Exported functions prototypes -----*/
void Error_Handler(void);

/* USER CODE BEGIN EFP */

/* USER CODE END EFP */

/* Private defines -----*/
#define B1_Pin GPIO_PIN_0
#define B1_GPIO_Port GPIOA
#define LD4_Pin GPIO_PIN_8
#define LD4_GPIO_Port GPIOC
#define LD3_Pin GPIO_PIN_9
#define LD3_GPIO_Port GPIOC
#define SWDIO_Pin GPIO_PIN_13
#define SWDIO_GPIO_Port GPIOA
#define SWCLK_Pin GPIO_PIN_14
#define SWCLK_GPIO_Port GPIOA
/* USER CODE BEGIN Private defines */

/* USER CODE END Private defines */

#ifdef __cplusplus
}
#endif

#endif /* __MAIN_H */
/***** (C) COPYRIGHT STMicroelectronics *****/
OF FILE*****/

```

LCD Ekranın Header Dosyası:

```

#include "stm32f0xx_hal.h"
void lcd_init (void); // initialize lcd
void lcd_send_cmd (char cmd); // send command to the lcd
void lcd_send_data (char data); // send data to the lcd
void lcd_send_string (char *str); // send string to the lcd
void lcd_clear (void);

```

Ana programın Source Dosyası:

```
/* USER CODE BEGIN Header */
*****

* @file      : main.c
* @brief     : Main program body
* @yazar     : Ali Muhammed

*****

* @attention
* <h2><center>&copy; Copyright (c) 2021 STMicroelectronics.
* All rights reserved.</center></h2>
* This software component is licensed by ST under BSD 3-Clause license,
* the "License"; You may not use this file except in compliance with the
* License. You may obtain a copy of the License at:
*          opensource.org/licenses/BSD-3-Clause
*****
/* USER CODE END Header */

/* Includes -----*/
#include "main.h"

/* Private includes -----*/
/* USER CODE BEGIN Includes */

#include <string.h>
#include <stdio.h>

#include "i2c-lcd.h" //LCD display driver kutuphanesi

/* USER CODE END Includes */

/* Private typedef -----*/
/* USER CODE BEGIN PTD */

/* USER CODE END PTD */

/* Private define -----*/
/* USER CODE BEGIN PD */

#define VREFINT_CAL_ADDR ((uint16_t*)((uint32_t)0x1FFF7BA)) //Analog
ölçüm için kalibrasyon

//V
#define bulk_voltage_max 14.9
#define bulk_voltage_min 14.7
#define float_voltage_max 13.9
#define float_voltage_min 13.7
```

```

#define absorption_voltage 13.7

//V
#define solar_min_voltage 19
#define battery_min_voltage 10

//mA
#define charging_current 2000
#define absorption_max_current 2000
#define absorption_min_current 100
#define float_current 100

#define n_samples 10          //10 ölçümün ortalamasını al

/* USER CODE END PD */

/* Private macro -----*/
/* USER CODE BEGIN PM */

/* USER CODE END PM */

/* Private variables -----*/
ADC_HandleTypeDef hadc;
I2C_HandleTypeDef hi2c1;
TIM_HandleTypeDef htim1;

uint8_t OFF = 0;
uint8_t BULK = 1;
uint8_t ABSORPTION = 2;
uint8_t FLOAT = 3;
uint8_t mode = 0;      //Baslangic modu OFF

uint16_t raw[3];

float Vdd = 0;          // ADC için CPU Valibrasyon voltajı
float ADCinput1 = 0; // Birinci Analog Giriş, Aku gerilimi
float ADCinput2 = 0; // İkinci Analog Giriş, FV panel gerilimi
float ADCinput3 = 0; // Üçüncü Analog Giriş, FV panel akımı

float solar_current = 0;
float solar_voltage = 0;
float solar_power = 0;
float bat_voltage = 0;

float solar_power_now=0;
float solar_power_old=0;
float solar_voltage_old=0;

```

```

float Dold=0;

float R1 = 9.98;
float R2 = 1.479;
float R3 = 9.79;
float R4 = 1.474;

int pwm = 110;
float delta = 3;
uint32_t delaytime=3000;    // 100 absorb islemi sonunda ADC olcumunu 5 dk da
bir yap
int counter =0;
char msg1[20]="";
char msg2[20]="";
char msg3[20]="";
char msg4[20]="";
char mod[6]="";

/* USER CODE BEGIN PV */

/* USER CODE END PV */

/* Private function prototypes -----*/
void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_I2C1_Init(void);
static void MX_ADC_Init(void);
static void MX_TIM1_Init(void);

/* USER CODE BEGIN PFP */

/* USER CODE END PFP */

/* Private user code -----*/
/* USER CODE BEGIN 0 */

/* USER CODE END 0 */

/**
 * @brief The application entry point.
 * @retval int
 */

int main(void)

```

```

{
/* USER CODE BEGIN 1 */
    /* USER CODE END 1 */

/* MCU Configuration-----*/

/* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface and the Systick. */
HAL_Init();

/* USER CODE BEGIN Init */

/* USER CODE END Init */

/* Configure the system clock */
SystemClock_Config();

/* USER CODE BEGIN SysInit */

/* USER CODE END SysInit */

/* Initialize all configured peripherals */

MX_GPIO_Init();
MX_I2C1_Init();
MX_ADC_Init();
MX_TIM1_Init();

/* USER CODE BEGIN 2 */

lcd_init();    // LCD ekranını hazırla

//Get ADC Value (Analog Girişleri Ölç)
HAL_ADC_Start(&hadc);
HAL_ADC_PollForConversion(&hadc, 1000);    // Batarya voltaj
raw[0] = HAL_ADC_GetValue(&hadc);
HAL_ADC_PollForConversion(&hadc, 1000);    // FV panel voltaj
raw[1] = HAL_ADC_GetValue(&hadc);
HAL_ADC_PollForConversion(&hadc, 1000);    // FV panel akım
raw[2] = HAL_ADC_GetValue(&hadc);
HAL_ADC_PollForConversion(&hadc, 1000);    // CPU ADC kalibrasyon voltajı
raw[3] = HAL_ADC_GetValue(&hadc);
HAL_ADC_Stop(&hadc);

Vdd = 3.3 * (*VREFINT_CAL_ADDR) / raw[3]; // CPU kalibrasyon voltajını girşe
uyarla

/* LCD ACILIS EKRANI BASLANGIC */

```

```

        //LCD ekran mesajları hazırla
        sprintf(msg1, "CPU KALIBRASYONU");
        sprintf(msg2, "");
        sprintf(msg3, "VREFINT_CAL VOLTAJI");
        sprintf(msg4, "Vdd: %.2f V", Vdd);

//Mesajları LCD ekrana gönder
lcd_send_cmd (0x80|0x00);
lcd_send_string(msg1);
lcd_send_cmd (0x80|0x40);
lcd_send_string(msg2);
lcd_send_cmd (0x80|0x14);
lcd_send_string(msg3);
lcd_send_cmd (0x80|0x54);
lcd_send_string(msg4);

//5 sn. lik gecikme ayarla
HAL_Delay(5000);

lcd_clear(); // LCD'yi temizle

HAL_TIM_PWM_Start(&htim1, TIM_CHANNEL_1);

/* LCD ACILIS EKRANI SONU */

/* USER CODE END 2 */

/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */

while (https://www.electronicsworld.com/blogs/engineer-in-wonderland/zeta-that-other-dc-dc-topology-2016-05) // Ana program döngüsü
{
    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */

        //Get ADC Value (Analog girişleri ölç)
        HAL_ADC_Start(&hadc);
        HAL_ADC_PollForConversion(&hadc, 1000); // Batarya voltaj
        raw[0] = HAL_ADC_GetValue(&hadc);
        HAL_ADC_PollForConversion(&hadc, 1000); // FV panel voltaj
        raw[1] = HAL_ADC_GetValue(&hadc);
        HAL_ADC_PollForConversion(&hadc, 1000); // FV panel akım

```

```

raw[2] = HAL_ADC_GetValue(&hadc);
HAL_ADC_PollForConversion(&hadc, 1000);    // CPU ADC kalibrasyon
voltage1
raw[3] = HAL_ADC_GetValue(&hadc);
HAL_ADC_Stop(&hadc);

//Analog girişleri GPIO için uyarla
ADCinput1=raw[0]*(Vdd/4095.0);           // Batarya voltaj giriş
ADCinput2=(raw[1]*(Vdd/4095.0));        // FV panel voltaj giriş
ADCinput3=(raw[2]*(Vdd/4095.0));        // FV panel akım giriş

//Analog girişlerin 10/1 ortalamasını al basla
float voltage1 = 0;
for(int i=0; i < n_samples; i++)
{
    voltage1 += ADCinput1;
}

voltage1 = voltage1/n_samples;

if(voltage1 < 0)
{
    voltage1 = 0;
}

float voltage2 = 0;
for(int i=0; i < n_samples; i++)
{
    voltage2 += ADCinput2;
}

voltage2 = voltage2/n_samples;

if(voltage2 < 0)
{
    voltage2 = 0;
}

float voltage3 = 0;
for(int i=0; i < n_samples; i++)
{
    voltage3 += ADCinput3;
}

voltage3 = voltage3/n_samples;

```

```

        if(voltage3 < 0){
            voltage3 = 0;
        }
        //Analog girişlerin 10/1 ortalamasını al bitis

        //Ölçülen gerilim değerlerini bölücü dirençlerle GPIO girişi için uygun hale
getir
        bat_voltage = (voltage1) / (R2/(R1+R2)); // 5 V to 3,3 V
        solar_voltage = (voltage2) / (R4/(R3+R4)); // 5 V to 3,3 V
        solar_current = voltage3*1000; //mA'a dönder

        solar_power_now = solar_voltage * (solar_current /1000);

        if (solar_power_now==0){

            sprintf(mod, "%s", "OFF ");

        }
        else{

            if (solar_current>=charging_current){

                if (solar_power_now > solar_power_old){
                    if (solar_voltage > solar_voltage_old)
                        pwm = pwm - delta;
                    else
                        pwm = pwm + delta;
                }
            }
            else{
                if (solar_voltage > solar_voltage_old)
                    pwm = pwm + delta;
                else
                    pwm = pwm - delta;
            }

            solar_power_old = solar_power_now;
            solar_voltage_old = solar_voltage;

            if (pwm < 10)
                pwm = 10;

            if (pwm > 110)
                pwm = 110;

            sprintf(mod, "%s", "BULK ");

        }

```



```

        if (solar_current<charging_current |solar_current>float_current){
            sprintf(mod, "%s", "ABSORP");
            counter++;
            if(counter>=100){
                delaytime=600000;

            }
        }

        if (solar_current<=float_current){
            sprintf(mod, "%s", "FLOAT ");
        }

    }

    htim1.Instance->CCR1=pwm;
    //__HAL_TIM_SetCompare(&htim1, TIM_CHANNEL_1, value);

    //LCD ekran mesajları hazırla
    sprintf(msg1, "Panel V: %.2f V ", solar_voltage);
    sprintf(msg2, "Panel I: %.2f mA ", solar_current);
    sprintf(msg3, "Bat V: %.2f V ", bat_voltage);
    sprintf(msg4, "Sarj Modu: %s", mod);

    //Mesajları LCD ekrana gönder
    lcd_send_cmd (0x80|0x00);
    lcd_send_string(msg1);
    lcd_send_cmd (0x80|0x40);
    lcd_send_string(msg2);
    lcd_send_cmd (0x80|0x14);
    lcd_send_string(msg3);
    lcd_send_cmd (0x80|0x54);
    lcd_send_string(msg4);
    // ADC olcumu icin bekleme suresi
    HAL_Delay(delaytime);

}
/* USER CODE END 3 */
}

/**
 * @brief System Clock Configuration
 * @retval None
 */
void SystemClock_Config(void)
{
    RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct = {0};

```

```

RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct = {0};
RCC_PeriphCLKInitTypeDef PeriphClkInit = {0};

/** Initializes the RCC Oscillators according to the specified parameters
 * in the RCC_OscInitTypeDef structure.
 */
RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSI;
RCC_OscInitStruct.HSISState = RCC_HSI_ON;
RCC_OscInitStruct.HSICalibrationValue =
RCC_HSICALIBRATION_DEFAULT;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSI;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLMUL = RCC_PLL_MUL12;
RCC_OscInitStruct.PLL.PREDIV = RCC_PREDIV_DIV1;
if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
/** Initializes the CPU, AHB and APB buses clocks
 */
RCC_ClkInitStruct.ClockType =
RCC_CLOCKTYPE_HCLK|RCC_CLOCKTYPE_SYSCLK
    |RCC_CLOCKTYPE_PCLK1;
RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV1;
RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;

if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_LATENCY_1) !=
HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
PeriphClkInit.PeriphClockSelection = RCC_PERIPHCLK_I2C1;
PeriphClkInit.I2c1ClockSelection = RCC_I2C1CLKSOURCE_HSI;
if (HAL_RCCEX_PeriphCLKConfig(&PeriphClkInit) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
}

/**
 * @brief ADC Initialization Function
 * @param None
 * @retval None
 */
static void MX_ADC_Init(void)
{

```

```

/* USER CODE BEGIN ADC_Init 0 */

/* USER CODE END ADC_Init 0 */

ADC_ChannelConfTypeDef sConfig = {0};

/* USER CODE BEGIN ADC_Init 1 */

/* USER CODE END ADC_Init 1 */
/** Configure the global features of the ADC (Clock, Resolution, Data Alignment
and number of conversion)
*/
hadc.Instance = ADC1;
hadc.Init.ClockPrescaler = ADC_CLOCK_SYNC_PCLK_DIV4;
hadc.Init.Resolution = ADC_RESOLUTION_12B;
hadc.Init.DataAlign = ADC_DATAALIGN_RIGHT;
hadc.Init.ScanConvMode = ADC_SCAN_DIRECTION_FORWARD;
hadc.Init.EOCSelection = ADC_EOC_SINGLE_CONV;
hadc.Init.LowPowerAutoWait = DISABLE;
hadc.Init.LowPowerAutoPowerOff = DISABLE;
hadc.Init.ContinuousConvMode = DISABLE;
hadc.Init.DiscontinuousConvMode = DISABLE;
hadc.Init.ExternalTrigConv = ADC_SOFTWARE_START;
hadc.Init.ExternalTrigConvEdge = ADC_EXTERNALTRIGCONVEDGE_NONE;
hadc.Init.DMAContinuousRequests = DISABLE;
hadc.Init.Overrun = ADC_OVR_DATA_PRESERVED;
if (HAL_ADC_Init(&hadc) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
/** Configure for the selected ADC regular channel to be converted.
*/
sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_10;
sConfig.Rank = ADC_RANK_CHANNEL_NUMBER;
sConfig.SamplingTime = ADC_SAMPLETIME_71CYCLES_5;
if (HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc, &sConfig) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
/** Configure for the selected ADC regular channel to be converted.
*/
sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_11;
if (HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc, &sConfig) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}

```

```

/** Configure for the selected ADC regular channel to be converted.
 */
sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_12;
if (HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc, &sConfig) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
/** Configure for the selected ADC regular channel to be converted.
 */
sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_VREFINT;
if (HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc, &sConfig) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
/* USER CODE BEGIN ADC_Init 2 */

/* USER CODE END ADC_Init 2 */

}

/**
 * @brief I2C1 Initialization Function
 * @param None
 * @retval None
 */
static void MX_I2C1_Init(void)
{
    /* USER CODE BEGIN I2C1_Init 0 */

    /* USER CODE END I2C1_Init 0 */

    /* USER CODE BEGIN I2C1_Init 1 */

    /* USER CODE END I2C1_Init 1 */
    hi2c1.Instance = I2C1;
    hi2c1.Init.Timing = 0x2000090E;
    hi2c1.Init.OwnAddress1 = 0;
    hi2c1.Init.AddressingMode = I2C_ADDRESSINGMODE_7BIT;
    hi2c1.Init.DualAddressMode = I2C_DUALADDRESS_DISABLE;
    hi2c1.Init.OwnAddress2 = 0;
    hi2c1.Init.OwnAddress2Masks = I2C_OA2_NOMASK;
    hi2c1.Init.GeneralCallMode = I2C_GENERALCALL_DISABLE;
    hi2c1.Init.NoStretchMode = I2C_NOSTRETCH_DISABLE;
    if (HAL_I2C_Init(&hi2c1) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }

```

```

    }
    /** Configure Analogue filter
    */
    if (HAL_I2CEx_ConfigAnalogFilter(&hi2c1, I2C_ANALOGFILTER_ENABLE)
    != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    /** Configure Digital filter
    */
    if (HAL_I2CEx_ConfigDigitalFilter(&hi2c1, 0) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    /* USER CODE BEGIN I2C1_Init 2 */

    /* USER CODE END I2C1_Init 2 */

}

/**
 * @brief TIM1 Initialization Function
 * @param None
 * @retval None
 */
static void MX_TIM1_Init(void)
{

    /* USER CODE BEGIN TIM1_Init 0 */

    /* USER CODE END TIM1_Init 0 */

    TIM_ClockConfigTypeDef sClockSourceConfig = {0};
    TIM_MasterConfigTypeDef sMasterConfig = {0};
    TIM_OC_InitTypeDef sConfigOC = {0};
    TIM_BreakDeadTimeConfigTypeDef sBreakDeadTimeConfig = {0};

    /* USER CODE BEGIN TIM1_Init 1 */

    /* USER CODE END TIM1_Init 1 */
    htim1.Instance = TIM1;
    htim1.Init.Prescaler = 12;
    htim1.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
    htim1.Init.Period = 110;
    htim1.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
    htim1.Init.RepetitionCounter = 0;
    htim1.Init.AutoReloadPreload = TIM_AUTORELOAD_PRELOAD_ENABLE;

```

```

if (HAL_TIM_Base_Init(&htim1) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
sClockSourceConfig.ClockSource = TIM_CLOCKSOURCE_INTERNAL;
if (HAL_TIM_ConfigClockSource(&htim1, &sClockSourceConfig) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
if (HAL_TIM_PWM_Init(&htim1) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
sMasterConfig.MasterOutputTrigger = TIM_TRGO_RESET;
sMasterConfig.MasterSlaveMode = TIM_MASTERSLAVEMODE_DISABLE;
if (HAL_TIMEx_MasterConfigSynchronization(&htim1, &sMasterConfig) !=
HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
sConfigOC.OCMode = TIM_OCMODE_PWM1;
sConfigOC.Pulse = 0;
sConfigOC.OCpolarity = TIM_OCPOLARITY_HIGH;
sConfigOC.OCNPolarity = TIM_OCNPOLARITY_HIGH;
sConfigOC.OCFastMode = TIM_OCFAST_DISABLE;
sConfigOC.OCIdleState = TIM_OCIDLESTATE_RESET;
sConfigOC.OCNIdleState = TIM_OCNIDLESTATE_RESET;
if (HAL_TIM_PWM_ConfigChannel(&htim1, &sConfigOC, TIM_CHANNEL_1)
!= HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
sBreakDeadTimeConfig.OffStateRunMode = TIM_OSSR_DISABLE;
sBreakDeadTimeConfig.OffStateIDLEMode = TIM_OSSI_DISABLE;
sBreakDeadTimeConfig.LockLevel = TIM_LOCKLEVEL_OFF;
sBreakDeadTimeConfig.DeadTime = 0;
sBreakDeadTimeConfig.BreakState = TIM_BREAK_DISABLE;
sBreakDeadTimeConfig.BreakPolarity = TIM_BREAKPOLARITY_HIGH;
sBreakDeadTimeConfigAutomaticOutput =
TIM_AUTOMATICOUTPUT_DISABLE;
if (HAL_TIMEx_ConfigBreakDeadTime(&htim1, &sBreakDeadTimeConfig) !=
HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
/* USER CODE BEGIN TIM1_Init 2 */

```

```

/* USER CODE END TIM1_Init 2 */
HAL_TIM_MspPostInit(&htim1);

}

/**
 * @brief GPIO Initialization Function
 * @param None
 * @retval None
 */
static void MX_GPIO_Init(void)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};

    /* GPIO Ports Clock Enable */
    __HAL_RCC_GPIOC_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();

    /*Configure GPIO pin Output Level */
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, LD4_Pin|LD3_Pin, GPIO_PIN_RESET);

    /*Configure GPIO pin : B1_Pin */
    GPIO_InitStruct.Pin = B1_Pin;
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_EVT_RISING;
    GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
    HAL_GPIO_Init(B1_GPIO_Port, &GPIO_InitStruct);

    /*Configure GPIO pin : PA6 */
    GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_6;
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_IT_RISING;
    GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
    HAL_GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStruct);

    /*Configure GPIO pins : LD4_Pin LD3_Pin */
    GPIO_InitStruct.Pin = LD4_Pin|LD3_Pin;
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
    GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
    GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
    HAL_GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStruct);
}

/**
 * @brief This function is executed in case of error occurrence.
 * @retval None
 */
void Error_Handler(void)

```

```

{
    /* USER CODE BEGIN Error_Handler_Debug */
    /* User can add his own implementation to report the HAL error return state */
    __disable_irq();
    while (https://www.electronicsworld.com/blogs/engineer-in-wonderland/zeta-that-
other-dc-dc-topology-2016-05)
    {
    }
    /* USER CODE END Error_Handler_Debug */
}

#ifdef USE_FULL_ASSERT
/**
 * @brief Reports the name of the source file and the source line number
 *        where the assert_param error has occurred.
 * @param file: pointer to the source file name
 * @param line: assert_param error line source number
 * @retval None
 */
void assert_failed(uint8_t *file, uint32_t line)
{
    /* USER CODE BEGIN 6 */
    /* User can add his own implementation to report the file name and line number,
ex: printf("Wrong parameters value: file %s on line %d\r\n", file, line) */
    /* USER CODE END 6 */
}
#endif /* USE_FULL_ASSERT */

/***** (C) COPYRIGHT STMicroelectronics *****/
OF FILE*****/

```


LCD Ekranın Source Dosyası:

```
/** Put this in the src folder */
#include "i2c-lcd.h"
extern I2C_HandleTypeDef hi2c1; // change your handler here accordingly
#define SLAVE_ADDRESS_LCD 0x4E // change this according to ur setup

void lcd_send_cmd (char cmd)
{
    char data_u, data_l;
    uint8_t data_t[4];
    data_u = (cmd&0xf0);
    data_l = ((cmd<<4)&0xf0);
    data_t[0] = data_u|0x0C; //en=1, rs=0
    data_t[1] = data_u|0x08; //en=0, rs=0
    data_t[2] = data_l|0x0C; //en=1, rs=0
    data_t[3] = data_l|0x08; //en=0, rs=0
    HAL_I2C_Master_Transmit (&hi2c1, SLAVE_ADDRESS_LCD,(uint8_t *)
data_t, 4, 100);
}

void lcd_send_data (char data)
{
    char data_u, data_l;
    uint8_t data_t[4];
    data_u = (data&0xf0);
    data_l = ((data<<4)&0xf0);
    data_t[0] = data_u|0x0D; //en=1, rs=1
    data_t[1] = data_u|0x09; //en=0, rs=1
    data_t[2] = data_l|0x0D; //en=1, rs=1
    data_t[3] = data_l|0x09; //en=0, rs=1
    HAL_I2C_Master_Transmit (&hi2c1, SLAVE_ADDRESS_LCD,(uint8_t *)
data_t, 4, 100);
}

void lcd_clear (void)
{
    lcd_send_cmd (0x00);
    for (int i=0; i<100; i++)
    {
        lcd_send_data (' ');
    }
}

void lcd_init (void)
{
    // 4 bit initialisation
```

```

    HAL_Delay(50); // wait for >40ms
    lcd_send_cmd (0x30);
    HAL_Delay(https://www.electronicsworld.com/blogs/engineer-in-wonderland/zeta-that-other-dc-dc-topology-2016-05); // wait for >4.1ms
    lcd_send_cmd (0x30);
    HAL_Delay(https://www.electronicsworld.com/blogs/engineer-in-wonderland/zeta-that-other-dc-dc-topology-2016-05); // wait for >100us
    lcd_send_cmd (0x30);
    HAL_Delay(10);
    lcd_send_cmd (0x20); // 4bit mode
    HAL_Delay(10);

// display initialisation
    lcd_send_cmd (0x28); // Function set --> DL=0 (4 bit mode), N = 1 (2 line display) F = 0 (5x8 characters)
    HAL_Delay(https://www.electronicsworld.com/blogs/engineer-in-wonderland/zeta-that-other-dc-dc-topology-2016-05);
    lcd_send_cmd (0x08); //Display on/off control --> D=0,C=0, B=0 ---> display off
    HAL_Delay(https://www.electronicsworld.com/blogs/engineer-in-wonderland/zeta-that-other-dc-dc-topology-2016-05);
    lcd_send_cmd (0x01); // clear display
    HAL_Delay(https://www.electronicsworld.com/blogs/engineer-in-wonderland/zeta-that-other-dc-dc-topology-2016-05);
    HAL_Delay(https://www.electronicsworld.com/blogs/engineer-in-wonderland/zeta-that-other-dc-dc-topology-2016-05);
    lcd_send_cmd (0x06); //Entry mode set --> I/D = 1 (increment cursor) & S = 0 (no shift)
    HAL_Delay(https://www.electronicsworld.com/blogs/engineer-in-wonderland/zeta-that-other-dc-dc-topology-2016-05);
    lcd_send_cmd (0x0C); //Display on/off control --> D = 1, C and B = 0. (Cursor and blink, last two bits)
}

void lcd_send_string (char *str)
{
    while (*str) lcd_send_data (*str++);
}

```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :

Uyruğu :

Doğum Yeri ve Tarihi :

Telefon :

Faks :

e-mail :

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Kerkük Erkek Lisesi	1998
Üniversite	: Kirkuk-College of Teohnology	2003
Yüksek Lisans:	Selçuk Üniversitesi	2022
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

UZMANLIK ALANI: Elektrik Elektronik Müh.- Kontrol

YABANCI DİLLER: Türkçe, Arapça, İngilizce