



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**Maksimum Güç Noktası İzleyicili Fotovoltaik
Sistemin Labview Tabanlı Kontrolü ve İzlenmesi**

ABDULKADİR MÜHENDİS
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
Anabilim Dalı

Temmuz-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdulkadir MÜHENDİS tarafından hazırlanan “Maximum Güç Noktası İzleyicili Fotovoltaik Sistemin Labview Tabanlı Kontrolü ve İzlenmesi” adlı tez çalışması 08/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Unvanı Adı SOYADI

.....

Danışman

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü 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.

İmza



ABDULKADİR MÜHENDİS

Tarih: 08-07-2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maksimum Güç Noktası İzleyicili Fotovoltaik Sistemin Labview Tabanlı Kontrolü ve İzlenmesi

ABDULKADİR MÜHENDİS

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
Anabilim Dalı**

Danışman: Prof.Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

2020, 85 Sayfa

Jüri

**Prof.Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ
Prof.Dr. Ömer AYDOĞDU
Dr.Öğr.Üyesi Hulusi KARACA**

Fotovoltaik, güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürme işlemidir. İlk yatırım maliyeti yüksek olsa da güneş enerjisi temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı sunar. Fotovoltaik sistem kullanılarak elektrik enerjisi üretmek için; sistemin bulunduğu konum, ortam sıcaklığı ve dönüşüm sisteminin verimliliği gibi parametrelerin bilinmesi sistemin optimum çalışabilmesi için önemlidir. Bu sistemler tek panel ile kullanılabildiği gibi büyük enerji santrallerinde çok sayıda panelin birbirine bağlanması ile de kullanılabilir. Bu tarz bir sistem oluşturulurken hücrelerin güneşten aldığı enerjiye göre ürettiği gerilim ve akım değerleri kritik derecede önemlidir. Bu sistemlerin maksimum verimde çalışabilmesi için, sistem performansının analiz edilebildiği bir izleme sistemi kullanmak, fotovoltaik sistem tarafından üretilen enerji miktarını gerçek zamanlı olarak takip edebilmek ve öngörülen dönüşüm verimliliğinin, maksimum güç noktasını belirlemek son derece önemlidir. Bu tezde LabVIEW programı kullanılarak fotovoltaik hücrelerin karakteristikleri, sistemin ürettiği elektrik enerjisi ve maksimum güç noktasının belirlenmesi için gerçek zamanlı ölçümlerin laboratuvar ortamında yapılması amacıyla kullanılacak bir donanım ve yazılım geliştirilmiştir. LabVIEW, endüstriyel olarak veri toplama sistemleri, test ve ölçüm cihazları gibi ihtiyaçları karşılamak için sıklıkla kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan sensörlerden gelen bilgi, maksimum güç noktası izleme (MPPT) cihazı olarak kullanılan DC-DC dönüştürücüsünden okunmuştur. Elde edilen tüm veriler LabVIEW'ın arayüzünde, donanımda kullanılan mikrodenetleyiciye bağlı sensörlerden ve toplanan verilerin analiz edilebilmesi için LabVIEW ortamında hazırlanan görsel arayüz programı vasıtasıyla izlenmiştir. Önerilen sistem analiz ve veri toplama uygulamalarında kabul edilebilir bir performansa sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, LabVIEW, Mikrodenetleyici, MPPT, Gerçek Zamanlı Ölçüm

ABSTRACT

MS THESIS

LabVIEW Based Monitoring System for Maximum Power Point Tracking Characteristics of Photovoltaic Modules

ABDULKADİR MÜHENDİS

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

2020, 85 Pages

**Jury
Prof.Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ
Prof.Dr. Ömer AYDOĞDU
Asst.Prof.Dr. Hulusi KARACA**

Photovoltaics is the process of converting sunlight directly into electricity. Though expensive to implement, solar energy offers a clean and renewable energy source. When contemplating to use the produced energy from the solar photovoltaic system, it is important to know how much energy can be produced according to the location, temperature and conversion efficiency. Those kind of systems can be implemented by using only one solar panel in the small systems or might be reached to thousands of panels by connecting them together in the large power plants. The delivered energy from the photovoltaic system which consists of one or more photovoltaic panels is dependent on its characteristics. The electrical characteristics (voltage, current) for those systems will be produced according to the received energy from the sun which is the most important factor to evaluate its performance. Using a monitoring system to analyze the performance of the system has the main role to be able to track the amount of energy which is produced by the photovoltaic system in real-time, and to ensure the forecasted conversion efficiency can continue tracking the maximum power point most of the time. In this thesis, the proposed monitoring system is designed and implemented to simulate photovoltaic panel characteristics based on LabVIEW environment (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) using data acquisition circuit to get the maximum power point of the system. LabVIEW environment has supportive tools which are used to create a multitude of the application in much less time using parallel programming language platform. All data have been presented in LabVIEW's interface which is provided from the sensors connected to a microcontroller unit from the designed circuit to analyze the collected data according to the drawn curves. The results shows that the proposed system has acceptable performance for analysis and data acquisition applications.

Keywords: LabVIEW, Microcontroller, MPPT, Photovoltaic, Real Time Measurement

ÖNSÖZ

Fotovoltaik enerji gibi yenilenebilir kaynaklar, daha çevre dostu enerji üretimine odaklanmak için kullanılmaktadır. Bugün, bu doğal kaynakları mümkün olan en iyi şekilde kullanmak için maliyetinin nasıl düşürüleceği ve verimliliğin iyileştirilmesi konusu dünya genelinde önem verilen bir meseledir. Bu nedenle, temel olarak şarj kontrolörleri kullanılan sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) metodu ortaya çıkmıştır. Bu Tez, MPPT mekanizmasını kullanarak kontrollü bir fotovoltaik güç elde etmek için bu tür bir sistemin kullanımı ile ilgilidir. Bu projenin temel amacı, fotovoltaik modülün maksimum güç noktasını takip etmek ve böylece algoritma ve sistemin kurulumu aşamasındaki bazı koşulları değiştirerek fotovoltaik sistemlerden mümkün olan maksimum gücün LabVIEW kullanarak elde edilmesidir. Son olarak, bu projeden elde edilen çıktı, daha iyi bir MPPT sistemi elde etmek için geliştirilmiş ve önerilen sistem MPPT algoritmasını kullanan fotovoltaik sistem üzerinde çalışma esnasında gerçek zamanlı verilerin elde edilebilmesi için faydalı bir yapıda deneysel olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu tezin hazırlanmasının her aşamasında çalışmalarımı büyük bir titizlikle yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ'a, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım bölümümüz değerli öğretim üyeleri ve elemanlarına teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım boyunca gösterdiği sabır ve anlayıştan dolayı eşim'e, ve her türlü destekleriyle yanımda olan aileme tesekkürü borç bilirim.

ABDULKADİR MÜHENDİS
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Konunun Tanımı	1
1.2. Tezin Amacı ve Önemi	3
1.3. Tezin Organizasyonu	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. TEORİK ARAŞTIRMASI	9
3.1. Fotovoltaik Sistemleri.....	9
3.1.1. Fotovoltaik Malzemelerin Yapısı	10
3.1.2. P-N tek eklemlı diyot	12
3.1.3. Güneş Hücresinin Çalışması	13
3.1.4. Güneş Hücre Parametreleri.....	15
3.1.4.1. I-V Eğrisi	15
3.1.4.2. Kısa devre akımı	16
3.1.4.3. Açık devre voltajı	16
3.1.4.4. Doluluk Faktörü (FF).....	17
3.1.4.5. Güneş Hücre Verimliliği.....	18
3.1.5. Sıcaklık ve Işık Şiddeti Etkisi.....	19
3.1.6. Güneş Modülleri Tasarım ve Üretimi.....	20
3.1.7. Güneş Modülü Yapısı	22
3.1.8. Fotovoltaik hücrenin karakteristikleri	23
3.1.9. Fotovoltaik Hücreler ve Modüllerin Modellemesi	24
3.2. Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT)	27
3.2.1. MPPT Kavramları	28
3.2.2. MPPT Modellenmesi	30
3.2.3. MPPT Seçim Kriterleri	31
3.2.4. MPPT Yöntemlerinin İncelenmesi	32
3.2.4.1. Sabit Gerilim Yöntemi	32
3.2.4.2. Sabit Akım Yöntemi	33
3.2.4.3. Değıştir-Gözle (P&O) Yöntemi	34
3.2.4.4. Artan iletkenlik (IC) Yöntemi	36

3.3. DC-DC Dönüştürücüler	38
3.3.1. Düşüren Dönüştürücüler	38
3.3.2. Yükselten Dönüştürücüler	39
3.4. LabVIEW Programı	40
3.4.1. LabVIEW Ortamı Giriş	40
3.4.2. Program Yapı ve Yazılım Olay Türleri	42
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	45
4.1. Sistem Donanımı	45
4.1.1. Fotovoltaik Panel	47
4.1.2. XL4016 Düşüren Dönüştürücü	47
4.1.3. ACS712 Akım Sensörü	48
4.1.4. Gerilim Bölücü Devresi	49
4.1.5. MAX471 Modülü	50
4.1.6. Mosfet PWM Anahtarlama Tetikleme Modülü	50
4.1.7. Güneş Simülatörü kullanımı	52
4.2. Sistem Yazılımı.....	53
4.2.1. Atmega328P Mikrodenetleyicinin Uygulaması.....	53
4.2.2. NI-LINX Kütüphanesi	53
4.2.3. Veri Akışı (Dataflow)	54
4.2.4. MPPT İşleminin Blok Diyagramda Gerçekleştirilmesi	55
4.2.5. Kullanıcı Arayüzü (Ön Panel) Tasarımı	58
4.2.6. DeneySEL sonuçlar	58
4.2.6.1. Senaryo 1	60
4.2.6.2. Senaryo 2	64
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	69
5.1. Sonuçlar	69
5.2. Öneriler	70
KAYNAKLAR	71
EKLER	74
EK I. ATMEGA328P MİKRODENETLEYİCİNİN PROGRAMI	74
EK II. LABVIEW Kütüphanesi	79
ÖZGEÇMİŞ	85

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Amper
C	: Kondansatör
e	: Elektron yükü
F	: Frekans (Hz)
G	: Solar ışık şiddeti (W/m^2)
I_{sc}	: PV panel kısa devre akımı (A)
I	: Fotovoltaik akım (A)
I_0	: PV panel sızıntı akımı (A)
I_{MPP}	: Maksimum güç noktasındaki akım değeri (A)
I_p	: Paralel kol akımı (A)
I_{PV}	: PV panel çıkış akımı (A)
I_{sat}	: Diyot ters doyma akımı (A)
L	: Bobin (H)
P	: Güç(W)
P_{max}	: Maksimum güç (W)
R	: Direnç(Ω)
R_p	: Eşdeğer model paralel direnci (Ω)
R_s	: Eşdeğer model seri direnci (Ω)
T	: Solar hücre sıcaklığı (K)
V	: Fotovoltaik gerilim (V)
V_{oc}	: PV panel açık devre gerilimi (V)
V_d	: DC kaynak gerilimi (V)
V_{MPP}	: Maksimum güç noktasındaki gerilim değeri (V)
V_{PV}	: PV panel çıkış gerilimi (V)
V_{ref}	: Referans gerilimi (V)
V_T	: Taşıyıcı dalgaının tepe değeri (V)
FF	: Doluluk faktörü

Kısaltmalar

AC, DC	: Alternatif akım, doğru akım
ADC	: Analog-Dijital dönüştürücü
I/O	: Giriş/Çıkış
MOSFET	: Metal oksit yarı iletken alan etkili transistör
MPP	: Maksimum güç noktası
MPPT	: Maksimum güç noktası izleyici
P&O	: Değiştir ve gözle (Perturbation and observation)
PV	: Fotovoltaik
PWM	: Darbe genişlik modülasyonu
UART	: Evrensel asenkron alıcı verici
USB	: Evrensel seri yol

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 3.1 Genel fotovoltaik sistemi yapısı	9
Şekil 3.2 Fotovoltaik hücrenin temel çalışması	10
Şekil 3.3 Kristal silikon atomların yapısı	11
Şekil 3.4 P-N bağlantı yapısı	12
Şekil 3.5 Güneş fotovoltaik hücrelerinin eğrisi	13
Şekil 3.6 Güneş hücre katmanlarının ayrıntıları	14
Şekil 3.7 I-V ve P-V karakteristikleri	15
Şekil 3.8 Kısa devre akımı (I_{sc})	16
Şekil 3.9 Doluluk faktörü (FF)	17
Şekil 3.10 Güneş hücre verimliliği	18
Şekil 3.11 Sıcaklık ve ışık şiddeti etkisi	20
Şekil 3.12 Geleneksel bir güneş panelinin bileşimi	21
Şekil 3.13 Akıllı görüntü sistemi	22
Şekil 3.14 36 Hücre'lik bir güneş modülü	23
Şekil 3.15 Güneş hücresi şeması	23
Şekil 3.16 Güneş pilinin eşdeğer devresi	24
Şekil 3.17 I-V eğrilerinin ve güç eğrilerinin varyasyonu	25
Şekil 3.18 Güneş modülünün eşdeğer devresi	26
Şekil 3.19 Güneş modülünün MPP noktası	27
Şekil 3.20 MPP'de dV_{pv}/dI_{pv} ve V_{pv}/I_{pv} 'nin kesişimi	31
Şekil 3.21 MPPT genel blok diyagramı	32
Şekil 3.22 Sabit gerilim veya sabit akım MPPT blok şeması	32
Şekil 3.23 Sabit gerilim yöntemi için akış diyagramı	33
Şekil 3.24 P_{pv} - V_{pv} karakteristiğinde çalışma bölgeleri	34
Şekil 3.25 Değiştir-Gözle Yöntemi (P&O) akış diyagramı	35
Şekil 3.26 Geleneksel P&O'nun blok diyagramı	36
Şekil 3.27 Artan iletkenlik algoritmasının akış diyagramı	37
Şekil 3.28 Düşüren dönüştürücü devre şeması	38
Şekil 3.29 Yükselten dönüştürücü devre şeması	39
Şekil 3.30 LabVIEW modelleri	41
Şekil 3.31 LabVIEW ortamının tanıtılması	42
Şekil 3.32 Open Fonksiyonu	43
Şekil 3.33 Close Fonksiyonu	43
Şekil 3.34 Digital Write Fonksiyonu	43
Şekil 3.35 Loop Frequency	44
Şekil 3.36 Analog Read fonksiyonu	44
Şekil 3.37 Build Table fonksiyonu	44
Şekil 3.38 Set Duty Cycle fonksiyonu	44
Şekil 4.1 Sistemin birinci yöntemi blok diyagramı	45
Şekil 4.2 Pratik olarak gerçekleştirilen sistemin görünümü	45
Şekil 4.3 Gerçekleştirilen veri toplama kartı	46
Şekil 4.4 XL4016 Düşüren dönüştürücü	47
Şekil 4.5 XL4016 Sistemin verimlilik eğrisi	47
Şekil 4.6 Sistemin ikinci yöntemi blok diyagramı	48
Şekil 4.7 ACS712 Akım sensörü	48
Şekil 4.8 Sensörün akım artışına bağlı gerilim değişimi grafiği	49
Şekil 4.9 MAX471 modülün şeması	50
Şekil 4.10 Anahtarlama tetikli DC-DC dönüştürücü	51
Şekil 4.11 Gerçek osiloskop ile gerçek zamanlı elde edilen sonuçları	51

Şekil 4.12 Sistemin üçüncü yöntemi blok diyagramı	52
Şekil 4.13 Güneş simülatörü kullanarak sistemin blok diyagramı	52
Şekil 4.14 Laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar	53
Şekil 4.15 LINX kütüphanesinin arayüzü	53
Şekil 4.16 VI Paket Yöneticisi	54
Şekil 4.17 Farklı işler görebilen blok diyagramı	54
Şekil 4.18 Düşüren dönüştürücü çıkışından hesaplanan güç	55
Şekil 4.19 Çevrilmiş akım sensörü denklemi	55
Şekil 4.20 P&O yöntem ile tasarlanan blok diyagramı	56
Şekil 4.21 PWM sinyali için tasarlanan blok diyagramı kontrolü	56
Şekil 4.22 Tasarlanan ana blok diyagramı	57
Şekil 4.23 Tasarlanan MPPT ön paneli	58
Şekil 4.24 Laboratuvar ortamında ayarlanabilir ışık ünitesi uygulama	59
Şekil 4.25 QuickSun 540LA PV Yazılım arayüzü	59
Şekil 4.26 Şarj edilen lityum iyon pil üniteleri	60
Şekil 4.27 Laboratuvar ortamında alınan uygulama resmi	60
Şekil 4.28 (25°C, 1000 W/m ²) uygulandığında (12V) için sistemin ürettiği eğrisi	61
Şekil 4.29 (25°C, 1000 W/m ²) uygulandığında (6V) için sistemin ürettiği eğrisi	61
Şekil 4.30 (25°C, 500 W/m ²) uygulandığında (12V) için sistemin ürettiği eğrisi	62
Şekil 4.31 (25°C, 500 W/m ²) uygulandığında (6V) için sistemin ürettiği eğrisi	62
Şekil 4.32 Test platformunun blok şeması	63
Şekil 4.33 LabVIEW' den alınan tüm veriler excel'e aktarılması	63
Şekil 4.34 Birinci senaryonun sonuçları	64
Şekil 4.35 (35°C, 1000 W/m ²) uygulandığında (12V) için sistemin ürettiği eğrisi	65
Şekil 4.36 (35°C, 1000 W/m ²) uygulandığında (6V) için sistemin ürettiği eğrisi	65
Şekil 4.37 Senaryo-2 sonuçları	66
Şekil 4.38 (500 W/m ² 'den 1000 W/m ² 'ye) için maksimum güç değişim eğrileri ...	67
Şekil 4.39 (1000 W/m ² 'den 500 W/m ² 'ye) için maksimum güç değişim eğrileri ...	68

1. GİRİŞ

1.1. Konunun Tanımı

Gelişen teknoloji ve sanayileşme, enerji ihtiyacını her geçen gün arttırmaktadır. Fosil yakıtlar enerji üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu kaynakların çevre dostu olmaması ve yakında tükenecek olması yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacı arttırmaktadır. Bu kaynaklardan biri de güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş ışınlarından fotovoltaik (PV) etki ile faydalanmak için kullanılan teknolojidir. Fotovoltaik etki, güneş ışınlarını dünyanın her yerinde en güvenilir enerji kaynaklarından biri olan güneş panellerini kullanarak doğrudan elektriğe dönüştürme işlemidir. Güneş ışığını almak için herhangi bir motora veya başka bir donanıma ihtiyaç duyulmaz. Fotovoltaik modüller sabit güneş panelinde bulunan hücrelerden oluşur, bu nedenle minimum bakım süreci ile uzun bir ömre sahiptirler. Bu sistemler, güneş ışığını emisyon gazları, gürültü vb. etkenlerle çevreyi olumsuz etkilemeyecek şekilde elektriğe dönüştürürler. PV sistemleri çok çeşitli boyutlarda tasarlanabilir. Bu da birkaç miliwatt'tan birkaç gigawatt'a kadar inşa edilebileceği anlamına gelir. Fotovoltaik tesisler bir dizi güneş modüllerinden oluşur, yani sisteme daha fazla güneş modülü ekleyerek çıkış gücü artırılır ve daha büyük sistemler elde edebilir. Ayrıca şebekeden bağımsız sistemler olarak da kurulabilirler.

Önceki yıllarda güneş modüllerinin verimliliği, sistemin ömrü boyunca yenilenebilir bir enerji elde etmek için yeterli değildi. Bu da bir fotovoltaik modül üretmek için gereken elektrik gücünün, modülün o süre içerisinde üretebileceği güçten daha fazla olduğu anlamına geliyordu. Bu nedenle, modern yenilenebilir enerji araştırmalarının çoğu, güneş pili dönüşüm verimliliğini artırmaya ve güneş pillerinin maliyetini düşürmeye odaklanmıştır. Çünkü fotovoltaik bileşenlerin ve sistemlerin güvenilirliğini artırmayı sağlayan pahalı bir işlem vardır. Fotovoltaik sistemler, fotovoltaik modüller ve rüzgar türbinlerinden oluşan sistemler gibi hibrit bir enerji kaynağı oluşturmak için diğer elektrik güç kaynaklarıyla entegre edilebilir.

Fotovoltaik sistemlerinden üretilen enerjiyi kullanmayı düşünürken, konuma, sıcaklığa ve dönüşüm verimliliğine göre ne kadar enerji üretilebileceğini bilmek önemlidir. Bir veya daha fazla fotovoltaik modülden oluşan fotovoltaik sistemden iletilen enerji, özelliklerine ve güneş hücrelerinden çekilen akıma bağlıdır. Bu nedenle, kararlı bir fotovoltaik sistem için en önemli faktörlerden biri, uzaktan izleme sistemi

kullanmaktır. Performansı analiz etmek için izleme sistemini kullanmak, fotovoltaik sistem tarafından üretilen enerji miktarını gerçek zamanlı olarak izleyebilmek ve öngörülen dönüşüm verimliliğinin en yüksek güç noktasını izlemeye devam edebilmesini sağlamak için ana role sahiptir. Gündüz saatlerinde, fotovoltaik sistemden çıkış gücü, fotovoltaik modüllerin elektriği üretmeye başlamasına izin veren ana kaynak olan güneşin ışınlamına, sıcaklığına ve konumuna göre değişecektir. Küçük sistemlerde güneş izleme için bir mekanik yapı yoktur, ancak buradaki en önemli nokta, maksimum güç noktası izlemenin modüllerin fiziksel hareketi olmadığını belirtmektir. Bu sistemde, tartışacağımız bazı kriterlere göre fotovoltaik modüllerin performansının maksimum güç noktasında sabit kalmasını sağlamak için bazı akıllı yöntemler kullanılarak PV sistemlerinin çoğunda elektronik cihaz olarak maksimum güç noktası izleme uygulanacaktır.

Güneş fotovoltaik modülleri için maksimum güç noktası izlemenin uygulanması, bu modüllerin mümkün olan maksimum gücü üretebileceği anlamına gelir. Bu tezde, gerçek güneş pilleri üzerinde bazı elektronik ölçümler yaparak maksimum güç noktasının bir yöntemini uygulamak için en gelişmiş grafik programlama dillerinden biri kullanılacak ve bu okumaları LabVIEW'in arayüzünde gerilim-akım ve gerilim-güç eğrileri olacak şekilde işlenecektir. LabVIEW, veri toplama sistemleri, sanal ölçümler ve sinyal işleme gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılan en iyi bilinen ortamlardan biridir. LabVIEW, bu tezde gerçek zamanlı olarak daha doğru sonuçlar almak için üst düzey grafik programlama diline bağlı olduğu için kullanılmıştır. Çoğu durumda LabVIEW'in kullanılması için donanım ekipmanları ile yazılım ortamı arasında bir modülasyon kartı olan veri toplama kartları (DAQ) olarak bilinen özel elektronik üniteler gerekir. Bu tezde, çalışmamız, tüm sensör okumalarını almak ve bu sinyalleri LabVIEW platformunda çevrilecek sayısal verilere dönüştürmek için gömülü bir mikroişlemciye sahip hazır elektronik kitler kullanılacaktır. Bu çalışma LabVIEW ile güçlü ve güvenilir, bu nedenle seçilen maksimum güç noktası izleme yöntemi, bu gelişmiş grafik programlama dili kullanılarak VI (Virtual Instrument) alt grubu olarak oluşturulmuştur.

Fotovoltaik paneller güneş ışınlamından elektrik enerjisi sağlar. Fotovoltaik panellerden gelen enerji, ısınlım, sıcaklık ve kontaminasyon gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Bu nedenle, şebekeden bağımsız sistemlerde, panelin pili doğrudan şarj etmesi uygun değildir. Fotovoltaik sistemlerde, akım ve gerilim doğrusal olmayan bir şekilde artar ve gücün maksimum olduğu bir nokta vardır. Bu maksimum güç noktası çeşitli

yöntemlerle izlenir ve enerji minimum kayıpla depolanır. Şarj kontrol devreleri, pilin tamamen boşalmasını veya aşırı şarj edilmesini önlemek için kullanılır. Kontrollü şarj, daha uzun pil ömrü sağlar. Bu işlemi gerçekleştirmek için MPPT ve PWM şarj kontrolörleri kullanılır. PWM kontrolörleri çok düşük verimliliğe sahiptir. MPPT kontrolörleri panelden çekebilecekleri maksimum enerjiyi almaya çalışır. Bu tezde, maksimum güç noktası izleyici solar şarj kontrolörü devresi tasarlandı, devre pratik olarak gerçekleştirildi ve deneysel çalışmaların sonuçları incelendi. Tezin temel katkısı fotovoltaik panellerden elde edilen enerjinin verimliliğinin artırılması olmuştur.

1.2. Tezin Amacı ve Önemi

Bu tezde sunulan çalışma, veri toplama cihazlarına bağlı olarak fotovoltaik etki özelliklerini analiz etmek için grafiksel programlama dilinin kullanımını göstermektedir. Bu tezde LabVIEW tarafından uygulanacak ilave maksimum güç noktası izleme yöntemleri sunulmuştur. Sunulan maksimum güç noktası izleme yöntemleri, mühendislik laboratuvarlarında sanal öğrenme ortamı platformu olarak uygulanabilecektir. Proje eğitim odaklı farklı uygulamalar için de kullanılabilir. Elde edilen veri türlerini dizilerde kullanmak ve sunulan matematiksel denklemleri farklı dijital platformlar kullanarak uygulamak, maksimum güç noktası izlemenin, daha kararlı bir yapıya sahip olmasını ve elde edilen eğrileri doğru bir şekilde oluşturmaya yardımcı olmasını sağlamıştır.

1.3. Tezin Organizasyonu

Bu bölümde giriş sunulmuştur. Kaynak araştırması ikinci bölümde sunulacaktır. Fotovoltaik sistemler ve maksimum güç noktası izleme kavramlarının teorik prensipleri, LabVIEW ortamı kullanılarak sunulan grafik programlama diline odaklanma, LabVIEW platform yapıları hakkında bazı temel bilgiler üçüncü bölümde sunulacaktır. Tasarım değerlendirmesi ve sistem mimarisi, sistem çalışması ve deneysel sonuçlar ise dördüncü bölümde sunulacaktır. Son olarak, beşinci bölümde sonuçlar ve öneriler sunulacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde sunulan birçok PV güç sisteminde maksimum güç noktası izleme (MPPT) metodu kullanılmıştır. Bu kısımda geleneksel MPPT algoritmalarını içeren bazı önemli çalışmalar özet olarak verilmiştir. Öncelikle geleneksel ve LabVIEW tabanlı MPPT algoritmalarını içeren çalışmalar verilmiş, tek fazlı yüklere sahip PV sistemler ve bu sistemlerde işlemci uygulamalarını içeren çalışmaların verilmesinin ardından MPPT hakkında literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir.

(Kulaksız ve Akkaya, 2003), maksimum güç noktası izleyicili bir PV güç sisteminin mikrodenetleyici tabanlı kontrolünü sunmuşlardır. Sistemde güneş paneline gelen ışık miktarından maksimum seviyede faydalanmak amacıyla güneş izleyici sistem gerçekleştirilmiş, panellerden alınan enerji değiştir ve gözle (P&O) algoritmasıyla çalışan maksimum güç noktası izleyici üzerinden akülerde depolanmıştır. DC formdaki bu enerji, seçilmiş harmoniklerin elimine edildiği darbe genişlik modülasyonu (SHE-PWM) metoduyla kontrolü sağlanan bir gerilim beslemeli inverter ile AC forma dönüştürülmüştür.

(Akkaya ve Kulaksız, 2004) mikrodenetleyici tabanlı bağımsız bir PV güç sisteminin uygulanmasını sunmuştur. Uygulanan dijital kontrollü SHE-PWM inverter, sistemin performansı ve etkinliği için komple bir çözüm sağlamıştır. Bu çalışmada sistem, hem simüle edilmiş hem de deneysel sonuçlar, bu teknikle yüksek kaliteli bir AC çıkışının elde edilebileceğini göstermiştir. İnverter anahtarlama sayısındaki azalma nedeniyle, anahtarlama kayıpları azaltılmış ve sistemin verimliliği artırılmıştır. Güneş izleyici ve şarj kontrol sistemleri çalışmada açıklandığı gibi başarıyla uygulanmıştır.

(Younas ve ark.) tarafından gerçekleştirilen çalışmanın temel amacı, değişen çevresel koşulların etkisi altında PV sisteminin performansını analiz etmektir. Şebekeye bağlı PV sisteminin temel bileşenleri ve çalışması açıklanmış, ardından sistemin simülasyonu SunPower SPR 400E-WHT-D PV dizisindeki MATLAB/Simulink dizisinde gerçekleştirmiştir. Simülasyon çalışmasında, uygulanan güneş ışıınımı ile PV dizisinin kurulumuna yardımcı olup, hızlı hava değişimi koşulları sırasında maksimum güç dalgalanmalarını azaltmıştır. Sonuçların analizinden kaynaklanan diğer katkılar, şebekeye bağlı PV sisteminin şebeke senkronizasyonu iyileştirilmiş, güç kalitesini iyileştirmek ve anahtarlama kayıplarını azaltmak için inverter seviyeleri arttırılmıştır.

(Chehouri ve ark., 2014), bir fotovoltaiik hücrenin maksimum güç noktası izleme verimliliğinin deneysel bir uygulamasını sunmuştur. Çalışmanın kapsamı, mevcut

donanım ile düşük maliyetli uygulamalarda kullanılabilir en iyi çözüm olduğu düşünülen artımlı iletkenlik yöntemi ile sınırlıdır. Sonuç olarak, maksimum güç noktası izleme verimliliğine dayanarak artımlı iletkenliğin iyi performansa sahip olduğu gösterilmiş, ancak sonuçları küresel verimlilikler açısından yeterli göstermek için artımlı iletkenlik (IC) yöntemi ve P&O yöntemi ile parazitik kapasitans arasında bir karşılaştırma çalışması sunulmuştur.

(Gaga ve ark., 2014) tarafından PV sistemlerinde maksimum güç noktası izlemeyi iyileştirmek için gelişmiş bir P&O algoritması önerilmiştir. Önerilen sistem, iyi izleme verimliliği, yüksek yanıt, basit kullanıcı arayüzü, gelişmiş kontrol, yüksek işlem hızı, gerçek zamanlı izleme ve çıkarılan güç için iyi kontrol gibi güçlü yetenekleri ön plana çıkartılmıştır. Önerilen MPPT stratejisi simülasyonlarda test edilmiş ve geliştirilen güneş regülatöründe uygulanmış ve standart P&O stratejisinden çok daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

(Hemza ve ark., 2015), bu makalede, fotovoltaiik bir panelin voltaj, akım, ve güç özelliklerini ölçmek için otomatik bir veri toplama sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan elektronik devre, kullanıcının gerekli parametre değerlerini çıkarmasını sağlamak için uygulanmıştır. Dış ortam koşullarında, LabVIEW yazılımına dayanan açık kaynaklı Arduino Uno tasarlanan sistemde kullanılmıştır. Arduino tarafından kontrol edilen hızlı değişken yük olarak MOSFET kullanmış, çalışma aralığını göz önünde bulundurarak, sistem PV modüllerini veya dizelerini izlemiştir.

(Büyükgüzel ve Aksoy, 2016), çalışmalarında analog devre tabanlı MPPT sistemini önermiştir. Önerilen sistemde, ana PV panelinin optimum yük direncini ayarlamak için referans girişi olarak bir pilot PV panel kullanılmıştır. Önerilen MPPT sisteminin MPP'yi izleyebildiğini göstermiştir. Önerilen sistemde karmaşık herhangi bir akım algılama devresine ihtiyaç duyulmamıştır. Çok küçük bir pilot PV kullanan sistem sayesinde istenmeyen koşullar ortadan kaldırılmıştır. P&O yönteminin MPP etrafında bir salınım sorunu olsa da, önerilen yöntemin herhangi bir salınımı yoktur. Bu salınım nedeniyle, P&O yöntemlerinde bir miktar enerji kaybı meydana gelir. MPPT sisteminin devresi çok basit bir analog mimariye sahiptir ve düşük maliyetli bileşenlerle kolayca uygulanabilir. Önerilen sistemde kullanılan pilot PV'nin boyutları, ana PV'ninkine kıyasla çok küçüktür. Pilot PV'nin küçük boyutları nedeniyle, her iki PV paneli tek bir panel olarak birleştirilebilir. Vurgulanması gereken bir diğer önemli nokta, önerilen sistemin bir PWM kontrolörü dahil tek bir ticari entegre devre olarak kolayca üretilmesidir.

(Naidu, 2016), PV sistemlerinde maksimum güç noktası izlemeyi iyileştirmek için standart P&O algoritmasını uygulamıştır. Referans gerilime dayalı P&O yöntemi kullanılarak, uygulanan teknik gösterilmiştir. Önerilen sistem, verimli bir izleme yeteneği, yüksek tepki hızı, basit kullanıcı arayüzü, ve gelişmiş kontrol yeteneği gibi güçlü özelliklere sahiptir.

(Motahhir ve ark., 2017), yaptıkları çalışmada fotovoltaiik panel için bir Proteus Spice modeli tasarlamış ve verileri deneysel verilerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Enerji ölçüm sistemi, algoritmanın uygulandığı ve test edildiği Proteus (Arduino UNO) tarafından sağlanan elektronik kart kullanılarak yapılmıştır. Sistemin performansını doğrulamak için gerçek bileşenleri kullanan bir Prototip geliştirilmiş ve deneyde Proteus'tan da faydalanılarak aynı Arduino kodu kullanılmıştır.

(El Hammoumi ve ark., 2018), yayımladıkları makalede, Arduino ve Excel tabanlı PV paneli özelliklerini barındıran düşük maliyetli bir sanal aygıtı irdelemiştir. Önerilen enstrümantasyon sistemi, PV sisteminin verilerini gerçek zamanlı olarak izleme ve saklama işlevlerine sahiptir. Deneysel verilerini, çalışmalarında çeşitli araştırmacılar tarafından doğrulanan bir PSIM PV panel modeli ile elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları, sanal enstrümanı tarafından elde edilen PV özelliklerinin PSIM altında yüksek doğrulukta elde edilenlere uygun olduğunu göstermiştir. Önerilen sanal enstrümantasyon ile multimetreler kullanılarak geleneksel enstrümantasyon arasında bir karşılaştırma yapılmış ve geleneksel çözümlere göre gerçek zamanlı olarak grafik şeklinde sunulabileceği gibi birçok fayda sağladığı bulunmuştur.

(Chalh ve ark., 2018), bu makalede, PV uygulamaları için MPPT algoritmalarının gerçek uygulamasını test etmek amacıyla bir PV panelinin yerini aldığı düşük maliyetli bir PV emülatörü açıklanmıştır. Deney sonuçları, PV emülatörünün maksimum güç noktası sunduğu bir P-V eğrisi sağlayabileceği ve bunu MPPT algoritmasının izleyebileceği gösterilmiştir. PV emülatöründe hızlı ışıınım ve sıcaklık değişiminin sonuçları, PV emülatör sisteminin etkinliğini doğrulamış, daha az karmaşıklık olması gibi mevcut olanlara göre çeşitli avantajlara sahip olduğunu ve kullanıcıların test etmeleri için basit bir yol sağlayabildiğini göstermiş ve MPPT algoritmalarını doğrulamıştır.

(Motahhir ve ark., 2018), yaptıkları çalışmada onaylanmış bir Proteus PV panel modeli geliştirmiş ve sunmuştur. Daha sonra, bu PV modeli ve Proteus'ta bulunan donanım bileşenleri, fiziksel prototip mevcut olmadığında MPPT algoritmalarının

performansını değerlendirmek ve doğrulamak için düşük maliyetli bir PV simülatörü olarak kullanılmıştır. Bu simülatör, modifiye edilmiş bir IC algoritması, geleneksel IC yönteminde meydana gelen tüm bölme hesaplamalarının ortadan kaldırılmasıyla sunulmuştur. Sistem maliyetini en aza indirirken düşük maliyetli mikrodenetleyicilerin uygulanmasını kolaylaştıran daha basit bir yapı elde edilmiştir. Simülasyon ve deneysel sonuçlara dayanarak modifiye edilmiş yöntemin, geleneksel IC algoritmalarına kıyasla ani değişim altında daha hızlı tepki ve düşük kararlı durum salınımları ile MPP'yi doğru bir şekilde izleyebileceği sonucuna varılabilir. Bu nedenle, önerilen sistem PV güç üretim sistemleri için uygun düşük maliyetli bir çözüm oluşturabilir. Proteus simülasyonu ile elde edilen sonucun deneysel çalışma ile elde edilenle hemen hemen aynı olduğu vurgulanmıştır.

(MÜHENDİS ve KULAKSIZ, 2019), tarafından önerilen yaklaşımda güneş paneli malzemesi ve üretim özellikleri hakkında detaylı bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Mühendislik laboratuvarlarında sanal eğitim platformu olarak fotovoltaiik panel karakteristikleri için sanal ortamda çalışan bir cihaz önermiştir. Önerilen sistem, analiz ve veri işleme uygulamalarında yüksek performansa sahip NI-LabVIEW ortamına dayalıdır. Benzetim işleminin istenen eğitim analitiğine uygun olarak sanal eğitim platformu ile gerçekleştirilmesi için alt sanal cihazlar yoluyla tüm veriler LabVIEW arayüzüne girilmiştir. Önerilen çalışma, LabVIEW ile projeye yönelik mühendislik eğitimini desteklemek için dijital becerilere dayanan temel kavramları kullanarak fotovoltaiik panel karakteristiklerinin eksiksiz şekilde anlaşılmasına yönelik bir tasarım sunulmuştur.

(Kulaksiz ve ark., 2019) tarafından yapılan çalışmada, değişken hava koşullarında küçük ölçekli güneş enerjisi sistemi çözümlerinin kullanımını optimize etmek için yeni elektrik üretim araçlarına ihtiyaç duyan bölgeler için ucuz, uygulaması kolay, yüksek verimli ve yüksek performanslı bir MPPT sistemi üretme ihtiyacına cevap verilmiştir. STMicroelectronics 32-bit ARM işlemciyi kullanarak tasarlanan MPPT denetleyicisi ucuz, yüksek performanslı ve yüksek işlem hızına sahip olduğu için potansiyel bir çözüm olarak sunulmuştur. Ayrıca, Matlab tarafından desteklendiği için herhangi bir kontrol kodu yazılmasına gerek yoktur. Simülasyon ve pratik testler, en uygun algoritmayı belirlemek için P&O, IC ve FL MPPT algoritmalarının performansını doğrulamak için oluşturulmuştur. Sonuçların karşılaştırılmasına ek olarak, hızlı prototipleme yoluyla tasarım süreci daha hızlı olabilir ve tatmin edici sonuçlar elde etmek için her algoritma üzerinde hızlı ayarlamalar yapılabilir. Kod

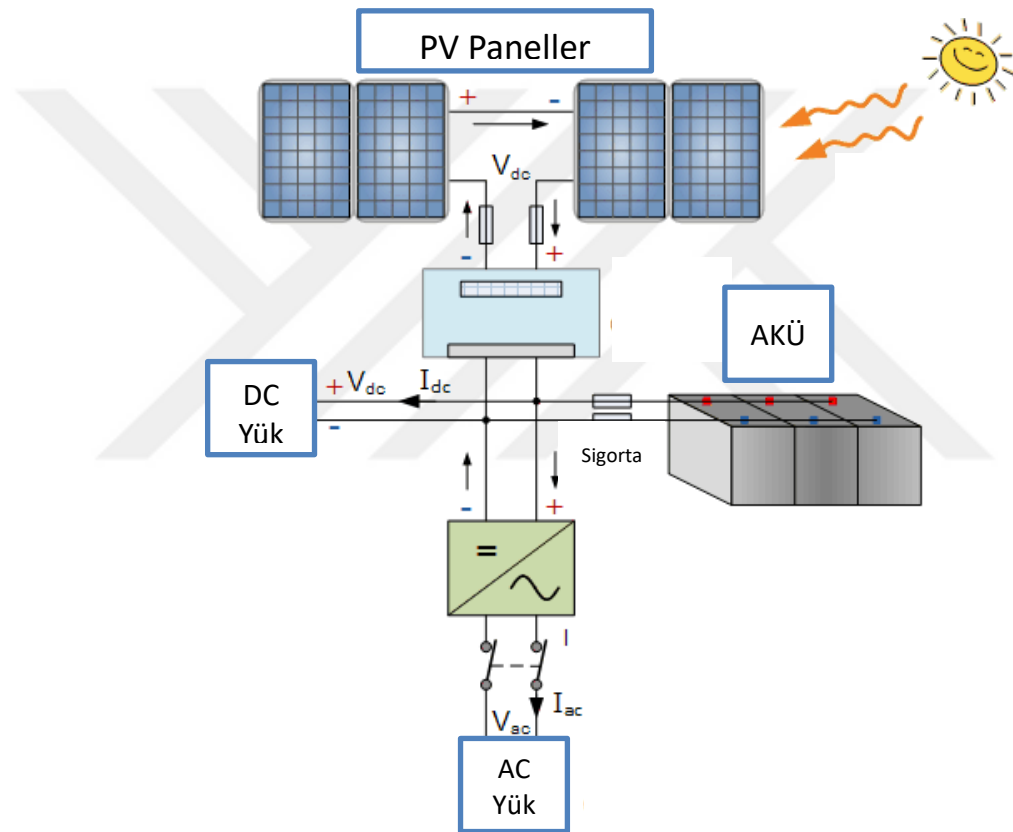
oluşturma sürecinin basitleştirilmesi, zaman alan programlama sürecini kısa olması tasarım ve teste odaklı bir çalışma gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Sonuç olarak, simülasyon ve gerçek zamanlı uygulama sonuçları uyum içinde elde edilmiş ve sonuçlar doğru ve güvenilir bir çözüm olduğunu göstermiştir. Bulgular, Bulanık mantık algoritmasının geleneksel tekniklere tercih edilebileceğini ortaya koydu. Daha iyi bir izleme başarısına sahip olduğunu ve değişken ışınım/değişken sıcaklık açısından maksimum güç elde edilmesinin mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Ek olarak, Bulanık Mantık algoritması MPP'deki kararlı durum salınımlarını da azaltarak güç kayıplarını azaltmıştır.

(oramık ve ark.) tarafından yapılan çalışmada, LabVIEW programı kullanarak, farklı sensörlerden elde edilen verilerin Arduino üzerinden bilgisayar ortamına alınması ve kartın çıkış pinlerinin kontrol edilmesi sağlanmış. Bu amaçla çalışmada öncelikle Arduino, Linx ve LabVIEW arasındaki bağlantının sağlanabilmesi için gerçekleştirilmesi gereken adımlar anlatılmış. Ardından mesafe ölçümü ve uyarı ile sıcaklık ölçümü ve fan kontrolü programları yazılarak gerekli devreler kurularak çalışma durumları denenmiştir. Öğrencilerin dış dünyadan bilgisayara veri alma ya da elektronik kartlar ile farklı bileşenleri kontrol etme çalışmalarında son yıllarda ortaya çıkan artış göz önüne alındığında, bu tip projelerin kullanım alanı dar olan ve gelecekte öğrencilerin kullanma ihtimalleri az olan programlama dilleri yerine aynı altyapıyı kullanan ve profesyonel anlamda kullanım alanı bulunan diller ile gerçekleştirilmesinin daha anlamlı olacağı düşünülebilir.

3. TEORİK ARAŞTIRMA

3.1. Fotovoltaik Sistemleri

Fotovoltaik sistemden sağlanan elektrik enerjisi, küçük tüketici ürünlerinden, şebekeyi besleyen büyük güç istasyonlarına kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Fotovoltaik hücrenin karakteristiklerinin değişken olmasından dolayı bu sistemlerde güç elektroniği devrelerinin önemli bir yeri vardır. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, verilen genel bir fotovoltaik sistem yapısında PV panel, aküler, akü şarj cihazı, inverter ve belirli amaca yönelik elektrik yükleri gösterilmiştir.



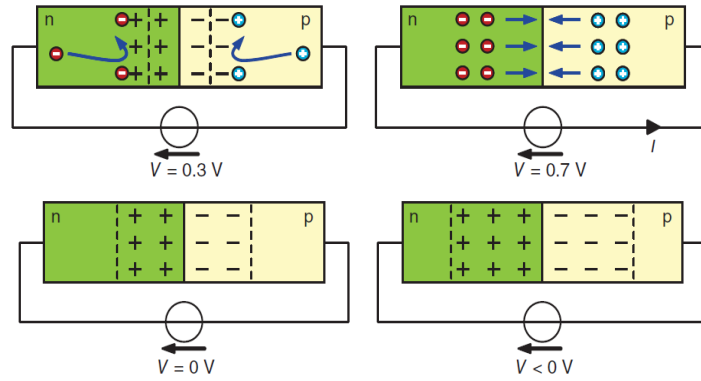
Şekil 3.1 Genel fotovoltaik sistemi yapısı

PV sistemler temel olarak şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız sistemler olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Şebekeden bağımsız PV sistemler, elektrik şebekesinden bağımsız çalışacak şekilde dizayn edilip, elektrik hattının ulaşmadığı yerlerde kullanılabilir. Şebekeden bağımsız PV sistemler, elektrik şebekesinden bağımsız çalışacak şekilde dizayn edilip, elektrik hattının ulaşmadığı yerlerde kullanılabilir.

Güneşten gelen enerji PV panellerde DC akımına çevrilir. Bu çalışmada, gelen enerjiye göre tasarlanacak sistem, şebekeden ayrık olarak çalışacaktır. Enerji üretimi kullanımı kısıtlı seviyede olup en gerekli yapıların enerjilerini sağlayacak şekilde boyutlandırılır.

3.1.1. Fotovoltaik Malzemelerin Yapısı

Fotovoltaik paneller, genellikle birkaç santimetrekare boyutunda yarı iletken hücrelerden meydana gelir. Hücrenin katı hal yapısı, temel olarak eklem bölgesi üst yüzeye yakın bulunan geniş alanlı bir p-n diyotudur. Şekil 3.2’de görülen temel yapıda güneş ışığı, PV hücrede doğrudan DC akıma dönüştürülür. Çok sayıda hücre, gerekli gücün üretilmesi amacıyla birbirine eklenerek panel yapısı oluşturulur (Kulaksız, 2007).

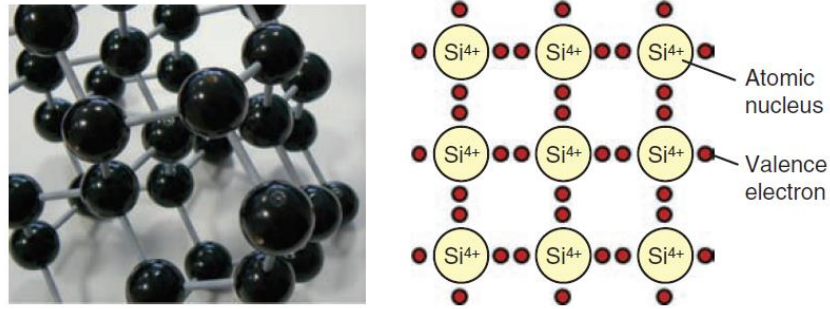


Şekil 3.2 Fotovoltaik hücrenin temel çalışması (Mertens, 2018)

Fotovoltaik hücreler, ışığı direkt olarak elektrik enerjisine çeviren yarı iletkenlerden üretilmiş malzemelerdir. Piyasada en yaygın olan fotovoltaik hücreler kristal tipte olan yarı iletkenlerden oluşturulmuş hücrelerdir. Elektriksel ve termal iletim başta olmak üzere iletkenlik ve iletim kavramlarını bilmek fotovoltaik sistemin çalışma prensiplerinin anlaşılmasında büyük kolaylık sağlar. Elektriksel ve termal iletkenlik konusunda malzemelerin gösterdiği tepkiler farklılıklar göstermektedir. Kristal yapıdaki fotovoltaik hücreler n ve p tipi yarı iletkenlerin bir araya getirilmesi ile elde edilen yapılardır. n ve p tipi yarı iletkenler bir araya getirildiklerinde bağlantı noktasında yükten arındırılmış geçiş bağlantı bölgesi oluştururlar. Birleşme ile birlikte n tipi yarı iletkendeki elektronların bir kısmı p tipi yarı iletkendeki boşluklara doğru, p tipi yarı iletkendeki boşlukların bir kısmı ise n tipi yarı iletkene doğru akarlar. Geçiş bölgesindeki n'nin birleşme yüzeyi (+) ve p'nin birleşme yüzeyi (-) olur ve bir ters gerilim bloğu meydana gelir. Elektron ve boşluk difüzyonu belirli bir süre gerçekleşir ve geçiş bölgesindeki elektriksel potansiyelin artması ile difüzyon sonlanır.

Ticari fotovoltaik güneş hücrelerinin çoğu, kristalli silikon külçesinden kesilen yarı iletken malzemelerden yapılmıştır. Yarı iletken malzemelerin uygulamalara göre iletkenliği her zaman değiştirebilir olması, bu malzemeleri çok çeşitli elektronik cihazlarda kullanmak için çok yardımcı olmaktadır. Bu tür yarı iletken malzemelerin

iletkenliği, bazı safsızlıklar (katkı maddeleri) eklenerek veya diğer parçaların iletkenliğini değiştiren malzemelerin bir kısmındaki voltaj değiştirilerek değiştirilebilir. Fotovoltaik güneş pilleri için ana yapı, güneş ışığını elektriğe dönüştürmek için optimize edilmiş diyotlar oluşturan P-N bağlantılarına bağlıdır. Bu tezde, hesaplamalar için fotovoltaik hücre kalınlığı cm'ye dönüştürülecek, bu da gofret kalınlığı olarak 0.016 cm alınacağı anlamına gelecektir. Güneş hücreleri birbirine bağlı silikon atomlarından oluşan tek tip bir yapıya sahiptir. Her silikon atomundaki dört paylaşılan elektron, diğer dört silikon atomuyla birleştirilecek kovalent bağları oluşturur. İyi bilindiği gibi, tek tek silikon atomunda proton ve elektron sayısı her zaman eşittir. Pozitif yüklü moleküller atomun çekirdeğini oluşturur, ancak nötronlar yüksüzdür, silikon atomlarını elektriksel olarak nötr yapan elektronlar ile çevrilidir. Her yarı iletken malzeme atomu, bir çift elektrondan oluşan kovalent bağa çevrilidir, yani her atom için 4 kovalent bağa vardır. şekil 3.3, kristal silikon materyali için paylaşılan atomları göstermektedir (Mertens, 2018).



şekil 3.3 Kristal silikon atomlarının yapısı (Mertens, 2018)

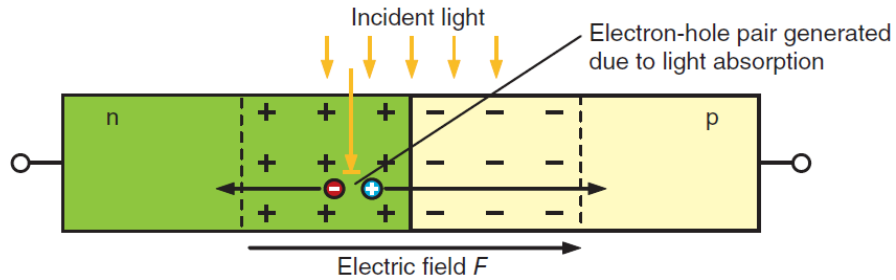
Bu atomlar düşük sıcaklıkta yalıtkan malzemeler oluşan yarı iletken moleküller oluşturacaktır. Yüksek sıcaklıkta, atomların etrafındaki serbest elektronlar bağlantılarını koparak iletken materyaller oluştururlar. Bu nedenle, yarı iletken malzeme özellikleri bağın yapısına göre belirlenir.

Fotovoltaik güneş hücrelerinin çalışma sıcaklığında, güneş ışığından elde edilen enerji, elektronların bağlarından kopması için yeterlidir. Serbest elektronlar, yüksek enerji durumunda güneş ışığından elde edilen enerji, yüksek enerji durumundayken iletkenliğe katılabilir, oysa düşük enerji durumunda elektronlar iletme katılmaz ve bu durumda elektron bağlanır. Bu nedenle, elektron pozisyonu ya düşük enerji durumunda bağlı olacaktır ya da enerjisi atomundan ayrılmak için yeterli olduğuunda serbest olacaktır. Elektronun atomunu bırakmasına izin veren minimum enerji miktarı, malzemenin “bant aralığı” olarak adlandırılır. Ardından, kovalent bağa "delik" adı

verilen pozitif bir yük oluşturan elektronlar arasında hareket etmeye başlayacaktır. Bu delikler elektronlara benzer ancak pozitif bir yüke sahiptir.

3.1.2. P-N Tek eklemli diyot

Fotovoltaik güneş pilleri, voltajı oluşturan P-N birleşimini oluşturan elektronlar ve delik taşıyıcılar için iki ayrı alana sahiptir. p tipi malzeme ile n tipi malzeme arasındaki bağlantı, elektronları n tipi tarafa doğru iterken, delikler p tipi taraftan n tipi tarafa doğru hareket ederler. Bu deliklerin n-tipi tarafa doğru hareketi, p-tarafı malzemesinde negatif iyon çekirdeği oluşmasına yol açarken elektronların p-tipi tarafa doğru hareketi n-taraf malzemesinde pozitif bir iyon çekirdeği yaratır. Elektronlar ve delikler için bu tür faaliyetler, kavşaktaki elektrik alanından gelen bir voltajı oluşturan boşaltılmış bölgeyi oluşturur. n tipi malzemeler yüksek elektron konsantrasyonuna ve düşük delik konsantrasyonuna sahipken, p tipi malzemeler yüksek delik konsantrasyonuna ve düşük elektron konsantrasyonuna sahiptir. Bu nedenle, elektronların ve deliklerin difüzyonla hareketi, sırasıyla n ve p tipi malzemelerdeki her birinin konsantrasyonuna göre gerçekleşir. Bu durumda, pozitif iyon çekirdekleri n tipi tarafın içinde, negatif iyon çekirdekleri ise p tipi malzeme tarafının içinde açıklanacaktır. Bu iyon çekirdekleri arasında, n-tipi taraf ile tükenme bölgesini oluşturan p-tipi taraf arasında bir elektrik alanı (E) oluşturulacaktır. Şekil 3.4'te p-n bağlantı yapısı görülmektedir (Mertens, 2018).



Şekil 3.4 P-N bağlantı yapısı (Mertens, 2018)

P-N diyonu temel olarak mevcut yönleri, korumayı, ve rekombinasyonu yönetmek için elektronik cihazların çoğunda bulunur. Yük taşıyıcılar, oluşturulan elektrik alanından gelen darbelere rağmen p-n kavşağının tükenme bölgesine yayılabilir. Bu tür diyotlar, sadece fotovoltaik güneş pillerinde değil LEDler, BJT transistörler ve lazerler gibi birçok elektronik cihazda kullanılır. Bu nedenle p-n diyotları, üretim, sürüklenme, difüzyon ve rekombinasyon etkileri gibi birçok işlemi birlikte kullanırlar.

Fotovoltaik güneş pillerinin uygulanan voltaj değişim hızına göre kısa bir gecikme süresi vardır. Bu nedenle, p-tipi tarafa uygulanan voltaj pozitifse, boşaltılmış bölge içinde yaratılan elektrik alanı zıt yöne sahip olacaktır. Aşağıdaki ifade ideal diyot denklemi için akımı temsil eder:

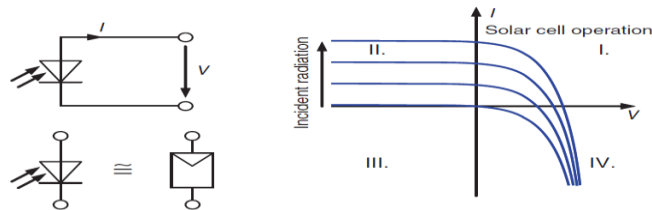
$$I = I_0 (e^{\frac{qV}{kT}} - 1) \quad (3.1)$$

- I : Diyotun akımı
 I_0 : Doygunluk akımı
 V : p-n eklem uçları arasındaki gerilim
 q : Elektronun şarjı
 k : Boltzmann sabiti
 T : Sıcaklık

Bu çalışmada, en önemli parametrelerden biri diyotların özelliklerini ayıran karanlık doyumluk akımıdır (I_0). Bu tezdeki uygulama, daha önce belirtildiği gibi temelde yarı iletken malzemelerden oluşan fotovoltaik cihazlara yoğunlaşacağından, fotovoltaik güneş pili üzerinde uygulanacak voltaj ve akım karakteristiklerini elde etmek için matematiksel olarak türetilen ideal diyot denklemi temsil edilecektir. Akımın, voltajın bir fonksiyonu olarak alınmasıyla yapılmaktadır.

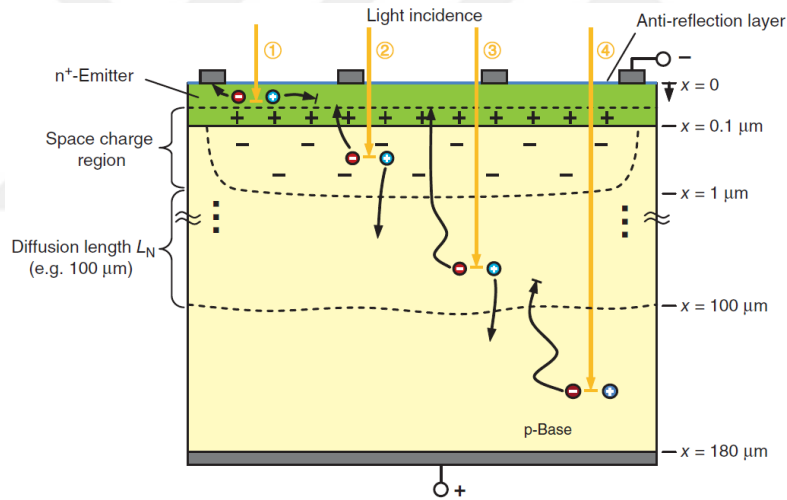
3.1.3. Güneş hücresinin çalışması

Güneş pilleri n-tipi ve p-tipi yarı iletken malzemelerin birleşiminden oluşur. Güneş pillerinin ön tarafı n tipi yarı iletken malzemelere sahip negatif taraf iken, arka taraf p tipi yarı iletken malzemelere sahip pozitif taraftır. Güneş ışığından fotovoltaik modüller üzerine gelen fotonlar emilebilir, yansıtılabilir veya iletilir. Değerlik elektronları tarafından emilen fotonlar elektronun enerjisini artıracak ve elektronların atomunu terk etmesine neden olacaktır. Fotovoltaik malzemeler, bu tür elektronları, p-n bileşimi nedeniyle oluşan bir elektrik alanından uzaklaştıracaktır. Oluşturulan alan bu elektronları akımı oluşturan atomla yeniden birleştirir. Şekil 3.5'te güneş fotovoltaik hücrelerinin eğrisi görülmektedir.



Şekil 3.5 Güneş fotovoltaik hücrelerinin eğrisi (Mertens, 2018)

Elektrik alanı, fotovoltaik malzemelerdeki p-n birleşimindeki elektronların ve deliklerin hareketi nedeniyle ortaya çıkmıştır. Güneş pillerinin yapısı, yansımayı önlemek ve güneş ışığını olabildiğince absorbe etmek için güneş pillerinin negatif tarafında (ön taraf) yansıma önleyici kaplamalar içerir. Güneş pillerinin, güneş hücrelerinin her iki tarafı için akımın toplanmasını artırmak için metal bir ızgarası da vardır. Fotovoltaik hücreler silikon yarı iletken malzemelerden yapıldığı için, bu hücrelerin bazıları, poli-kristal silikon malzemelerden oluştuğunda ön taraf için mavi bir renge sahiptir, mono-kristal silikon hücreler için ise, siyah bir renge sahiptir. Güneş pili ve aynı zamanda bir p-n eklemi olan geleneksel diyot arasında fark vardır. p-tipi ve n-tipi yarı iletken malzemelerin kalınlığı, güneş pilinin ön tarafının yanı sıra, güneş ışığının p-tipi katmana ulaşmasına yardımcı olan birkaç daha ince elektrotun yanı sıra farklıdır. Güneş pillerinin ön taraflarına lehimlenen güneş şeridi (bara) sayısının artırılması, güneş modülleri için verimliliğin artmasına neden olur. Şekil 3.6'da güneş hücre katmanlarının ayrıntıları ve çoklu bara teknolojisi yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Güneş hücre katmanlarının ayrıntıları (Mertens, 2018)

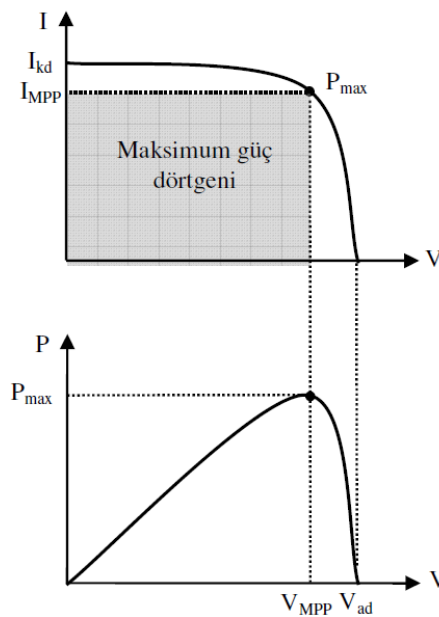
Güneş pili içinde bant boşluğu (1-1.8) eV arasında olması gerektiği gibi kullanılacak yarı iletken malzemelerin bazı kriterleri vardır. Yarı iletken malzeme de yüksek optik emilim ve yüksek elektrik iletkenliğine sahip olmalıdır. İleri teknoloji, güneş pillerinin dezavantajlarının üstesinden gelmeyi beklerken, birçok araştırma imalat ve kurulum maliyetlerini azaltmaya büyük önem vermektedir. Polikristal olarak adlandırılan güneş hücreleri mono kristal güneş hücrelerine göre daha az verimlidirler. Çıkış güçleri dış kristal yapının elektron akışını engellemesi sebebi ile düşüktür ve verimleri % 10-14 civarındadır (Bakım, 2016).

3.1.4. Güneş hücresi parametreleri

3.1.4.1. I-V Eğrisi

Bir fotovoltaik güneş pili için IV eğrisi, güneş pili boyunca değişken bir direnç değiştirilerek ve hücrenin çıkışından akım ve gerilim değerleri alınarak çizilebilir. IV eğrisini izlemek basit olsa da, bu işlem zaman alıcıdır. IV eğrisini izlemek için iyi bilinen yöntemlerden biri, aynı zamanda gerekli akımı da sağlayabilmesi gereken değişken voltajlı bir kaynak kullanmaktır. Açık devre voltajı V_{oc} ve kısa devre akımı I_{sc} için doğru bir okuma yapmak amacıyla, V_{oc} değeri için okuma I_{sc} sıfır iken, I_{sc} okumaları V_{oc} sıfıra eşitken olacaktır. IV eğrisini çizerken, problemlerin çoğu eğrinin değişen eğimi nedeniyle ortaya çıkar. IV eğrisinin doğruluğunu artırmak için voltaj ölçümü iki adımda yapılmalıdır. İlk adım açık devre voltaj değerinin %70'ini kapsar, ikinci adım ise V_{oc} değerine ulaşan MPPT'yi içerir. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi karakteristik akım-gerilim eğrisinde yüke bağlı olarak herhangi bir noktada çalıştırılması mümkündür (Kulaksız, 2007).

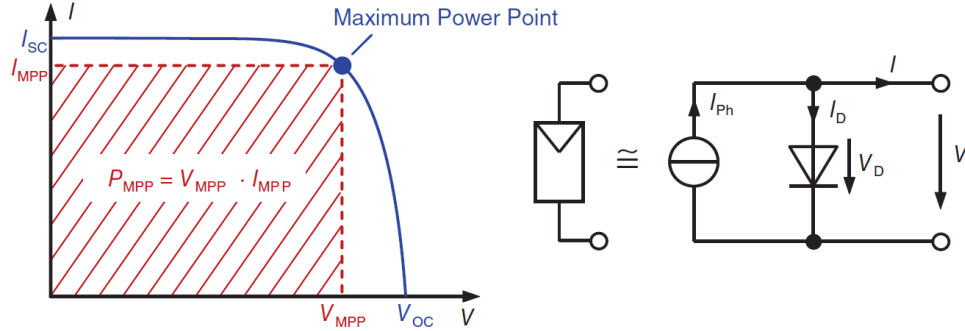
Fotovoltaik güneş pili karanlıkta aktif olmaz, o zaman güneş pili hiçbir güç üretmeyen p-n bağlantı diyodu olarak çalışır. Bununla birlikte, büyük bir voltaj kaynağına bağlandığında akım (karanlık akımı) üretecektir. Eğrideki iki önemli nokta, fotovoltaik hücrenin elektriksel performansını belirlemekte de kullanılan iki parametre olan açık devre gerilimi V_{oc} ve kısa devre akımı I_{sc} 'dir. Kısa devre akımı, çıkış uçları kısa devre edilerek ve tam aydınlatma altında çıkış akımı ölçülerek belirlenir (Kulaksız, 2007).



Şekil 3.7 I-V ve P-V karakteristikleri (Kulaksız, 2007)

3.1.4.2. Kısa devre akımı

Fotovoltaik güneş pili üzerindeki voltaj sıfır olduğunda, bu hücreden geçen akım kısa devre akımı (I_{sc}) olarak tanımlanır. Şekil 3.8’de I-V eğrisinin kısa devre akımı gösterilmektedir (Mertens, 2018).



Şekil 3.8 Kısa devre akımı (I_{sc}) (Mertens, 2018)

Fotovoltaik güneş pili için en büyük akım, PV güneş pili alanına, güneş ışığı yoğunluğuna (foton sayısı), emilim hızına ve yansıma hızına bağlı olan kısa devre akımıdır (I_{sc}). Fotovoltaik güneş pili için pasifleştirilmiş bir yüzeydeki kısa devre akımı ifadesi aşağıdadır.

$$I_{sc} = qG (L_n + L_p) \quad (3.2)$$

G: güneş ışığından enerji üretim oranı

L_n : Elektron difüzyon uzunluğu

L_p : Delik difüzyon uzunluğu

3.1.4.3. Açık devre voltajı

Fotovoltaik güneş pili boyunca akım olmadığında, bu hücre için mevcut maksimum voltaj açık devre voltajı (V_{oc}) olarak tanımlanır. Üretilen güneş ışığına göre fotovoltaik güneş pili üzerindeki ileri sapma, tipik olarak Şekil 3.8’de gösterilen açık devre voltajıyla (V_{oc}) eşleşir. Bir fotovoltaik güneş pilinin açık devre voltajı için ifade, aşağıdaki denkleme göre akım sıfıra eşit olduğunda verilir:

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (3.3)$$

Bu denklem, artan sıcaklığın sırasıyla açık devre voltajının düşmesine ve kısa devre akımının artmasına yol açtığını göstermektedir. Bu nedenle, açık devre voltajı (V_{oc}), fotovoltaik güneş pillerinin güneş ışığına bağlı akımına güçlü bir şekilde bağlıdır, oysa kısa devre akımı (I_{sc}) daha küçük bir varyasyona sahiptir. Açık devre voltajı, denklem 3.4’te verilen taşıyıcıların konsantrasyonuna da bağlı olabilir:

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left[\frac{(N_A + \Delta n) \cdot \Delta n}{n_i^2} \right] \quad (3.4)$$

$\frac{kT}{q}$ termal voltaj

N_A doping konsantrasyonu

Δn aşırı taşıyıcı konsantrasyonu

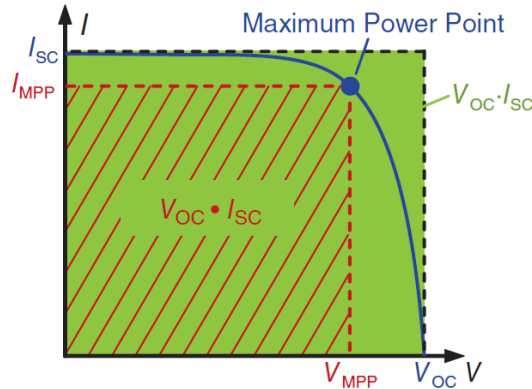
n_i gerçek taşıyıcı konsantrasyonu

3.1.4.4. Doluluk Faktörü (FF)

Fotovoltaik güneş modüllerinde, maksimum voltaj açık devre voltajı olarak ifade edilirken, maksimum akım kısa devre akımı olarak temsil edilir. Öte yandan, doluluk faktörü olarak gösterilen fotovoltaik güneş modülleri için maksimum güç noktasının oranı:

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (3.5)$$

Şekil 3.9'da doluluk faktörünün maksimum güç noktası pozisyonuna göre büyüyerek dikdörtgen alan olarak belirlendiğini göstermektedir.



Şekil 3.9 Doldurma faktörü (FF) (Mertens, 2018)

Fotovoltaik hücreler için doluluk faktörü, güç ve voltaj arasındaki aşağıdaki farklılaştırıcı denklem ile belirlenebilir:

$$\frac{d(I \cdot V)}{dV} = 0 \quad (3.6)$$

$$V_m = V_{oc} - \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{q \cdot V_m}{nkT} + 1 \right) \quad (3.7)$$

Önceki denklem, voltaj için daha yüksek bir değerin fotovoltaik hücreler için daha büyük olası doluluk faktörüne yol açacağını gösterir. Ayrıca fotovoltaik

malzemelerdeki birleşme ve rekombinasyon tipine göre ölçülebilen idealite faktörü rolünü gösterir.

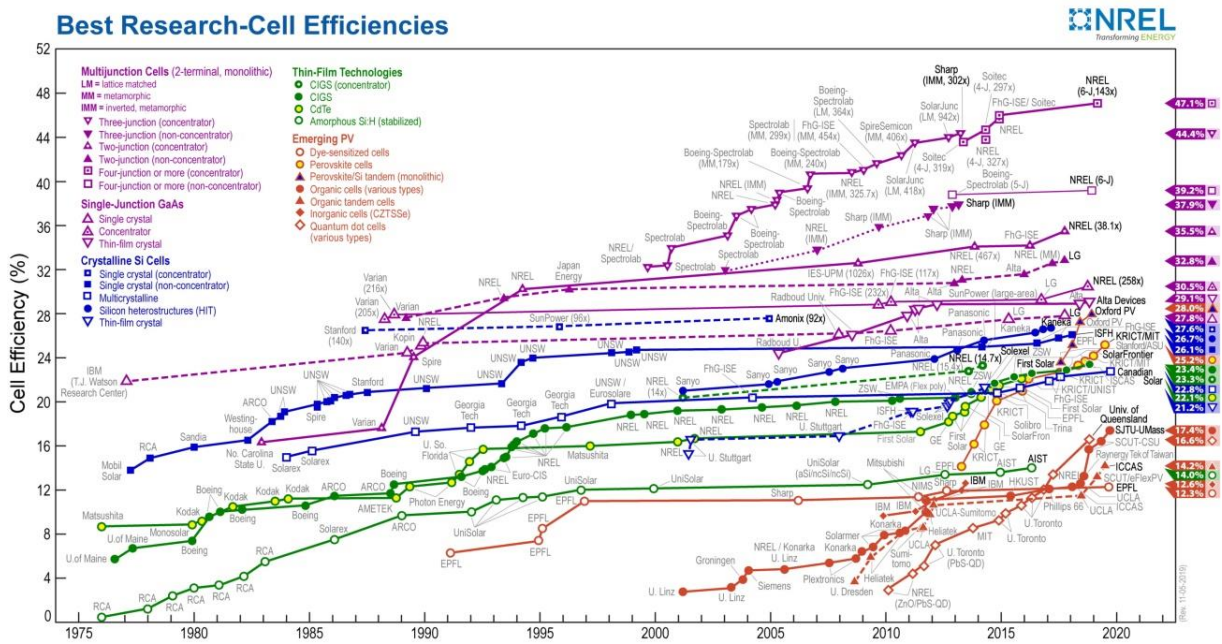
3.1.4.5 Güneş hücresi verimliliği

Fotovoltaik güneş pillerinin verimliliği, performansını belirlemek için en önemli parametrelerden biridir. Fotovoltaik güneş modüllerinin çıkış gücü ile güneş ışığından elde edilen giriş enerjisi arasındaki oran olarak belirlenebilir. Öte yandan, hücrelerin verimliliği temel olarak ışınım yoğunluğuna ve hücrelerin sıcaklığına bağlıdır. Bu nedenle, güneş pilinin verimliliği (η), güneş ışığından elektriğe dönüştürülen gerçek gücün aşağıdaki denkleme göre bir yüzdesi olarak belirlenebilir:

$$P_{max} = V_{oc} * I_{sc} * FF \quad (3.8)$$

$$\eta = \frac{V_{oc} * I_{sc} * FF}{P_{in}} \quad (3.9)$$

Güneş ışığı enerjisinin doğrudan bant boşluk enerjisine göre yoğun olmasına rağmen, fotovoltaik hücrelerin düşük verimliliği, güneş ışığının etkisinin sadece bir elektronun serbest kalmasına yol açmasıdır. Şarj taşıyıcılarının toplam verimliliği ile ilgili parametreleri doğrudan ölçemediğimiz için, kayıp değerini belirlemek için doluluk faktörü ve açık devre voltajı ölçülebilir. Fotovoltaik modüllerin verimliliği %20 civarındadır, en verimli fotovoltaik modüller ise performansı %44'e ulaşabilen çok eklemlili yoğunlaştırıcıda elde edilebilmektedir.

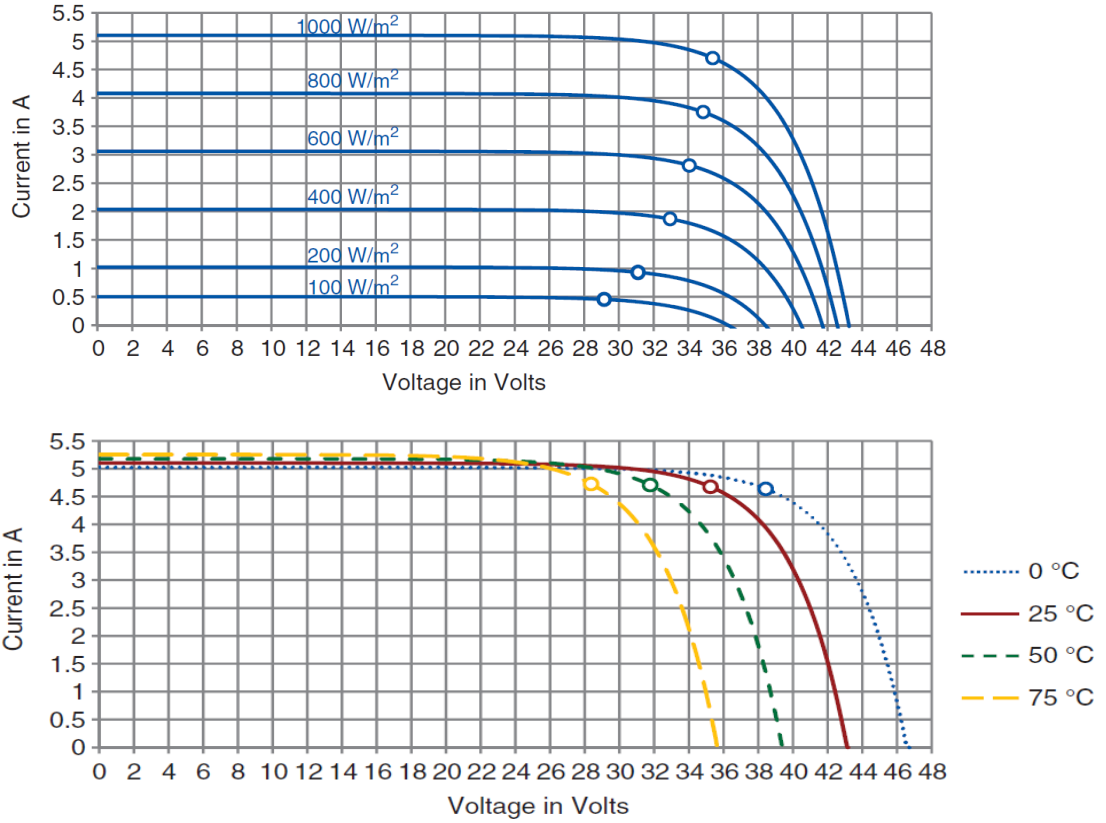


Şekil 3.10 Güneş hücresi verimliliği (Yamaguchi ve ark., 2008)

NREL tarafından verilen detay incelendiğinde hücre verimlerinin %44 seviyelerine çıktığı görülmektedir. Verim değerleri çok yüksek olan bu hücreleri piyasada bulmak mümkün değildir. Bu hücreler genelde uzay çalışmalarında kullanılan ve çok yüksek maliyetli ürünlerdir. Üretim kapasiteleri de oldukça kısıtlıdır. Evlerde ve endüstride kullanılabilecek ekonomik değerdeki hücreler %18 ve daha düşük verime sahip olanlardır.

3.1.5 Sıcaklık ve ışık şiddeti etkisi

Güneş pilinin sıcaklığı, hücrenin performansı için ana rollerden birini oynar. Güneş pili, absorbe edilen enerjinin çoğunu güneş ışığından elektriğe dönüştürmeye çalışır, ancak kalan enerji, hücre performansını düşüren ısı etkisine dönüştürülecektir. Hibrit termal fotovoltaik ünitelerde (PVT) olduğu gibi ısı dağılımı mevcut olduğunda, performans fotovoltaik ünite alanının enerji dengesine göre artacaktır. Artan sıcaklığın etkisi, voltajı düşürerek fotovoltaik modüller üzerinde net bir etkiye sahiptir ve bu da çıkış gücünü azaltır. Bu nedenle, fotovoltaik modüller için arıza durumlarının çoğu sıcaklık durumunda rol oynar. Her fotovoltaik modül, modülün kendisi ile ortamda kaybedilen ısı arasında üretim yaparken sıcaklık değişimine göre belirlenen bir çalışma sıcaklığına sahiptir. Fotovoltaik modüller için ortamla değiştirilen ısı, iletim faktörüne, konveksiyon yüküne ve radyasyon hızına bağlıdır. Bu faktörler, fotovoltaik modüllerin termal malzemelerinin özelliklerine ve rüzgar hızı gibi ortam koşullarına bağlıdır. Standart ticari fotovoltaik paneller için, modül maksimum güç noktasında çalışırken güneş ışığının % 15'i elektrik enerjisine dönüştürülecektir, bu da kalan oranın ısıya dönüştürüldüğü anlamına gelir. Fotovoltaik modüllerin ısınmasında en etkili faktörlerden biri, modülün ön yüzeyinin yansımadır. Bu nedenle, güneş modülünden yansıyan ışık ne üretilen enerjiye ne de fotovoltaik panellerin ısıtılmasına katkıda bulunmaz. Öte yandan, güneş pillerinin verimliliği, güneş ışığının fotovoltaik modül tarafından emilen ve enerjiye dönüştürülen kısmını belirler. Şekil 3.11'de sıcaklık ve ışık şiddeti etkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Sıcaklık ve ışık şiddeti şiddeti etkisi (Mertens, 2018)

Güneş hücresi sıcaklığını hesaplamak için aşağıdaki ifade kullanılır:

$$T_{cell} = T_{air} + \frac{NOCT-20}{80} S \quad (3.10)$$

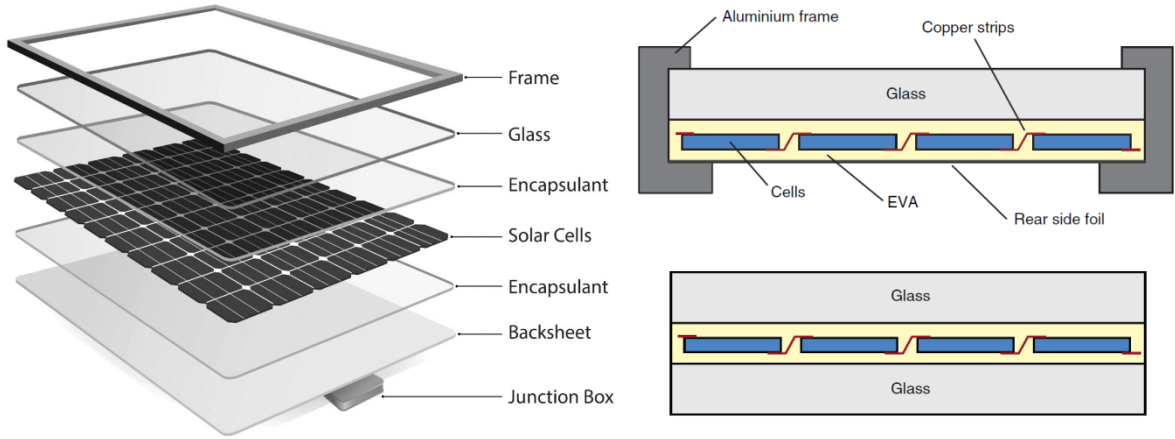
S: ışık şiddeti mW/cm^2

Nominal çalışmada hücre sıcaklığı (NOCT) için standart parametreler, güneş pili yüzeyindeki ışıınım için $800 W/m^2$, ortam sıcaklığı için $20^\circ C$ ve $1 m/s$ rüzgar hızı olarak verilir.

3.1.6 Güneş modülleri tasarımı ve üretimi

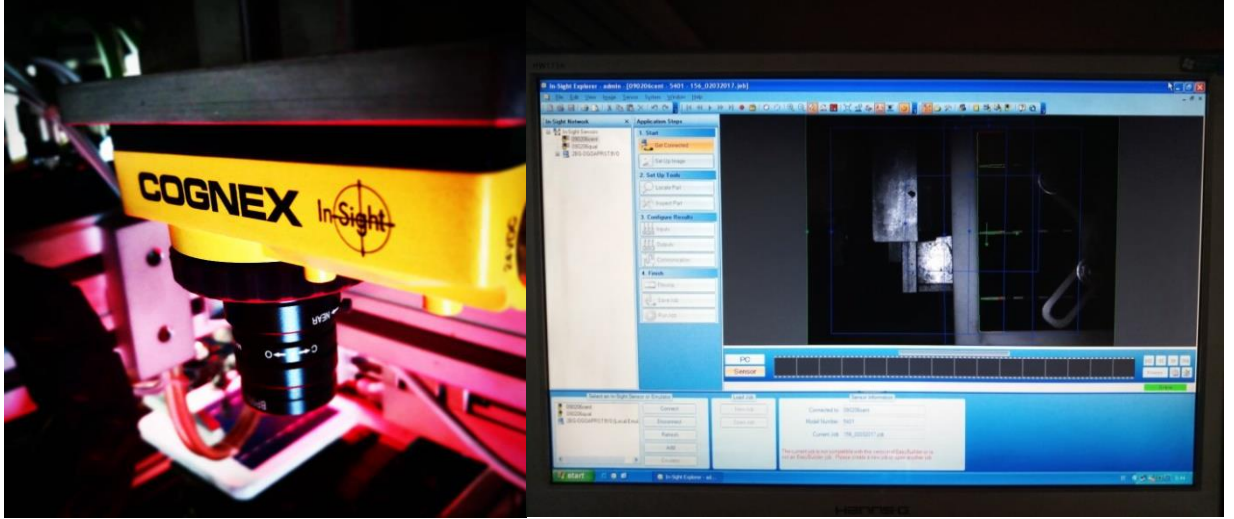
Fotovoltaik hücreler seri ve paralel bağlanarak uygun akım ve gerilim seviyelerinin elde edilmesi sağlanır. Ayrıca fotovoltaik hücreler, çevre şartlarından, özellikle de nemden etkilenmemeleri için korunmalıdırlar. Böylece, elektriksel bağlantısı yapılan ve çevre şartlarından korunan bu birim, fotovoltaik panel olarak adlandırılır. Tipik bir panel, 36 adet seri bağlı hücre içerir (Kulaksız, 2007). Güneş modülleri için üretim süreci, temiz odalar içindeki tam otomatik teknolojilere bağlı

olarak son birkaç yılda çok gelişmiştir. Üretim sürecinde en önemli faktörlerden biri, güneş modülleri katmanlarını lamine etmeden önce güneş pillerini herhangi bir toz kaynağından uzak tutmaktır. Güneş modülleri 125°C 'ye ulaşabilen yüksek sıcaklık kullanılarak lamine edildikten ve laminatör ekipmanı içindeki bu katmanlar arasındaki havayı vakumladıktan sonra bir katmana dönüştürülecek olan yedi katmandan oluşur. Bu katmanlar şunlardır: çerçeve, cam, EVA-1, güneş pilleri, EVA-2, alt tabaka ve bağlantı kutusu. Güneş pilleri, 125°C'de laminatörün içinde eritilecek olan EVA malzemesi (Etilen Vinil Asetat) kullanılarak şeffaf bir cama yapıştırılacaktır. Güneş modülleri, temel olarak içteki kombine güneş pillerinin sayısına bağlı olan geniş bir aralıkta güce sahiptir. Bu gerçeğe rağmen, tüm güneş modülleri boyutları için üretim süreci aynı prosedürlere sahiptir. Güneş pilleri arasındaki elektriksel bağlantı imalat sürecindeki en önemli adımdır. Güneş pillerinin özel bir şerit kullanılarak birbirine bağlanması, hücreler kırışın içine seri olarak bağlandığından hücrelerin daha yüksek voltaj üretmesine izin verir. Stringer ekipmanı, seri olarak bağlanan bir dize olarak on güneş hücresi oluşturmak için şeritleri lehimlemektedir. Güneş pili hizalama, güneş şeridi lehimleme ve güneş string boşaltma yapılandırması bu ekipmanın ana işlevidir. Şekil 3.12 klasik bir güneş panelinin bileşimini göstermektedir.



Şekil 3.12 Geleneksel bir güneş panelinin bileşimi (Mertens, 2018)

Çoğu durumda güneş pilleri için hizalama işlemi, hücre kenarlarını kontrol ederek, hücrelerin ön tarafındaki şerit konumlarını ve güneş pili renklerini referans alır. Şekil 3.13, Konya'da güneş modülleri fabrikalarından birinde kullanılan akıllı görüş teknolojisini göstermektedir.



Şekil 3.13 Akıllı görüntü sistemi

3.1.7. Güneş Modülü Yapısı

Fotovoltaik hücrelerin seri ve paralel bağlanması ve dış etkenlere karşı korumalı bir çerçeve içine yerleştirilmesi ile fotovoltaik paneller oluşturulur. Fotovoltaik paneller elektriksel ve mekaniksel dizayn koşullarına bağlı olarak farklı tiplerde üretilirler. Sistem parçalarının uyumlu bir şekilde seçilmiş olması sistem verimini, güvenilirliğini ve ömrünü artıracaktır. Bu tezde, güneş modüllerinin performansını ve ömrünü etkileyen fotovoltaik panel tasarımının birkaç yönünün belirlenmesi istenmektedir. Güneş pilleri için ara bağlantı süreci ve kapsülleme üretimi sırasında modüllerin çok iyi incelenmesi gerekir. Birbirine bağlı güneş pilleri, güneş modülünü oluşturmak üzere kapsüllenecektir. Standart güneş modüllerinin çoğu ya seksen güneş hücresinden ya da yetmiş iki güneş hücresinden oluşur. Tasarlanan güneş modüllerinin boyutu da uygulama ihtiyaçlarına ve proje kapasitesine göre olacaktır. Ancak, voltaj ve akım değerleri için hesaplamalar yaptıktan sonra farklı boyutlarda güneş modülleri kullanmak oldukça mümkündür. Şebekeden bağımsız güneş sistemleri için, fotovoltaik modül voltajı genellikle 12V aküler için seçilir. Seri olarak otuz altı hücreden oluşan modüller, STC (standart test koşulları) altında açık devre voltajı olarak yaklaşık 21 V verirken, maksimum voltaj 18 V civarında olacaktır.

Şekil 3.14'te 36 hücrelik bir güneş modülü görülmektedir. Çizelge 3.1'de ise fotovoltaik modüllerin elektriksel özellikleri gösterilmektedir. I_{mp} ve I_{sc} görüldüğü gibi çok fazla değişmez (Acharya ve ark., 2016).

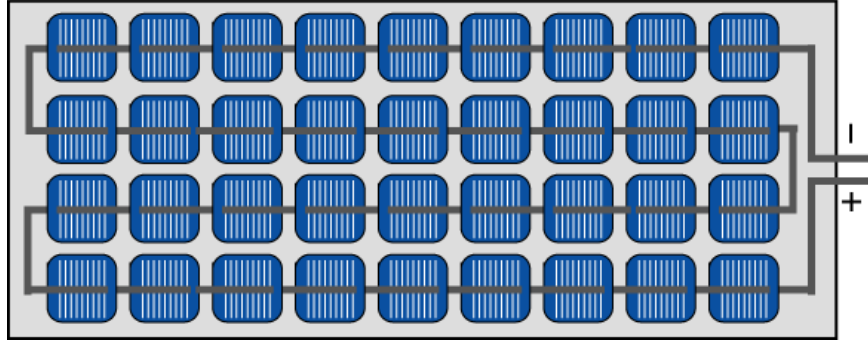


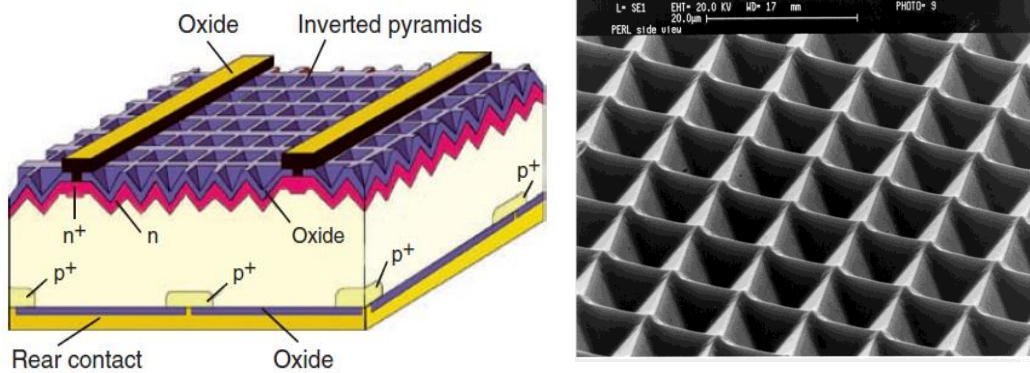
Figure 3.14 36 hücre'lik bir güneş modülü

Çizelge 3.1 Fotovoltaik modüllerin elektriksel özellikleri (Acharya ve ark., 2016)

Hücre sayısı	P_{MAX}	V_{MPP}	I_{MPP}	V_{OC}	I_{SC}	Verim
72	340 Wp	37.9 V	8.97 A	47.3 V	9.35 A	17.5%
60	280 Wp	31.4 V	8.91 A	39.3 V	9.38 A	17.1%
36	170 Wp	19.2 V	8.85 A	23.4 V	9.35 A	17%

3.1.8. Fotovoltaik hücrenin karakteristikleri

Günümüzde fotovoltaik modüllerin çoğunda kullanılan güneş pilleri, transistörlerde de kullanılan kristalin silikon hücrelerdir. Silisyumun bant boşluğunun düşük olmasına rağmen, yarı iletken üretiminde silikon en çok kullanılan malzemedir. Güneş pilinin kalınlığı (100-500) μm arasındadır. Daha önce de belirtildiği gibi, güneş pillerinin temel tasarımının taşıyıcı toplama yolları, şerit yolları, yüzey için yansıma oranı ve dirençler gibi bazı sonuçları vardır ve bu, hücre verimliliğinin yaklaşık % 25'ini oluşturacaktır. Şekil 3.15 mikroskop kullanarak gözlenebilen optimum bir güneş pilinin şemasını göstermektedir.



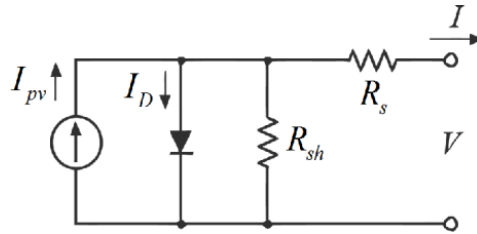
Şekil 3.15 Güneş hücresi şeması (Mertens, 2018)

Güneş pilinin ön tarafı, hücrenin içinde daha fazla miktarda güneş ışığı almasına yardımcı olmak için dokuludur. Güneş pilinin ön tarafının negatif terminale sahip olmasının nedeni, n tipi silikon yarı iletken malzemelerin p tipi yarı iletken

malzemelerden daha iyi yüzey kalitesine sahip olmasıdır. Bu nedenle, hücrenin arka tarafı pozitif terminale (p-tipi) sahiptir. Öte yandan, gelen ışığın taşıyıcıların büyük bir kısmını oluşturmaya yardımcı olmak için güneş pilinin ön tarafının ince olması gerektiğinden, yayıcı kalınlığı $1\ \mu\text{m}$ 'den azdır. Şekil 3.15'te görülen temel yapıda güneş ışığı, PV hücrede doğrudan DC akıma dönüştürülür. Çok sayıda hücre, gerekli gücün üretilmesi amacıyla birbirine eklenerek panel yapısı oluşturulur. Güneş hücresinin yüzeyi üzerindeki ızgara deseni, silikon yarı iletken malzemenin üretilen akıma direnebilecek çok yüksek dirence sahip olması nedeniyle üretilen akımı desteklemek için ana role sahiptir. Bu nedenle, gösterilen metal parmaklar olarak bir metal ızgara kullanılması, hücrelerin güneş ışığı için üretilen akımı iletmesine yardımcı olur. Güneş pillerinin arka tarafı (pozitif taraf), güneş ışığını almayacağı için yüzeyden çok daha az önemlidir, ancak son zamanlarda arka temasın tasarımı, modern araştırmalarda daha önemli hale gelmektedir.

3.1.9. Fotovoltaik Hücreler ve Modüllerin Modellemesi

Bir fotovoltaik hücrenin elektronik davranışının anlaşılabilmesi için, davranışları iyi bilinen ayırık elektriksel bileşenler kullanılarak elektriksel eşdeğer devresinin elde edilmesi gerekir (Kulaksız, 2007). Fotovoltaik güneş pili, normal diyotun eşdeğer bir elektronik elemanını oluşturmak için P-N bağlantısı olarak birbirine bağlanan çift taraflı yarı iletken malzemelerden oluşan elektronik bir devredir. Pozitif olan gri tarafı ve daha önce gösterildiği gibi negatif tarafı olan mavi tarafı vardır. Güneş pillerinin ana konsepti, modül için maksimum voltaj olarak 30 V a ulaşan gerilimi arttırmak için bunları seri olarak bağlamaktır. Şekil 3.16'da diyot, fotovoltaik hücrenin p-n geçiş bölgesini temsil etmektedir.



Şekil 3.16 Güneş pilinin eşdeğer devresi (Kulaksız, 2007)

I	: Hücresinin akımı,
V	: Hücresinin voltajı,
N	: p-n bileşiminin idealite faktörü,
T_c	: Hücresinin çalışma sıcaklığıdır (K),

$$q = 1.6 * 10^{-19} \quad : \text{Elektron yükü,}$$

$$k = 1.38 * 10^{-23} \quad : \text{J / K Boltzmann sabitidir.}$$

Seri direnç “ R_s ”, bir dizi eşdeğer hücreden oluşan güneş pili veya güneş modülü ile koordine edilir. Denklem (3.11) ve I-V ölçümlerine bağlı olarak seri direncin (R_s) değeri hesaplanabilir.

$$I = I_{ph} - I_0 * \left(e^{\frac{q*(V+I.R_s)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V+I.R_s}{R_p} \quad (3.11)$$

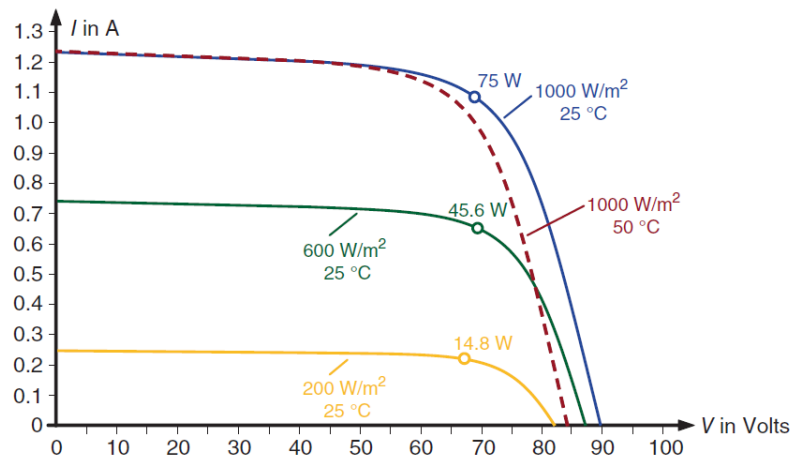
Paralel sızıntı direnci (R_p) çoğu güneş pili tipinde 100 k Ω 'dan daha büyüktür. Birçok uygulamada bu direncin değerini göz ardı edebiliriz. Bu güneş pilinin “eşdeğer diyotu” ndaki mevcut değer aşağıdaki denklemle temsil edilir:

$$I = I_0 * \left(e^{\frac{q*(V+I.R_s)}{nkT}} - 1 \right) \quad (3.12)$$

Uygun güneş modülünü seçerken, aşağıdaki parametreler bu modülün performansını ve maksimum gücünü temsil edecektir.

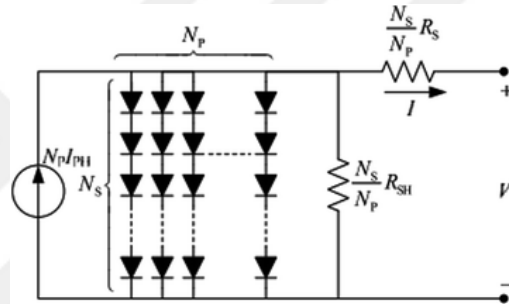
- V_{oc} : Açık devre voltajı
- I_{sc} : Kısa devre akımı
- V_{mpp} : Maksimum güç noktasında çıkış voltajı
- I_{mpp} : Maksimum güçte çıkış akımı

Bu değerler 25 °C ve 1000 W/m² 'de standart test koşullarına (STC) göre test edilmiştir. Şekil 3.17, farklı ışıma değerleri için I-V eğrilerinin ve güç eğrilerinin değişimlerini göstermektedir.



Şekil 3.17 Farklı ışıma değerleri için I-V eğrilerinin ve güç eğrilerinin değişimi

Fotovoltaik modüller, sistemin voltaj ve akım gereksinimlerine göre belirlenebilen seri ve paralel bağlı çoklu güneş pillerinden oluşur. Şekil 3.18'de gösterilen (N_p) paralel ve (N_s) seri özdeş hücrelerden oluşan güneş modülünün eşdeğer devresi görülmektedir. Bir veya daha fazla fotovoltaik hücrenin bir PV sistemi tarafından sağlanan güç, ışık şiddeti, sıcaklık ve hücrelerden çekilen yük akımı tarafından belirlenir. Güneş pillerini paralel bağlamak, toplam voltaj değerini bir güneş pilinin voltajına eşit tutar, bu da her bir güneş pili akımının değerlerinin toplamı olan çıkış akımını artırır. Silikon güneş pillerinin çoğu, her bir hücre için yaklaşık 4 A'nın geçmesine izin veren yaklaşık 0.7 V olan voltaj ve akım için yakın değerlere sahiptir. Güneş modüllerinin çoğunda, voltajı arttırmak için hücrelerin seri bağlantısı vardır ve akım her hücre için aynı kalır.



Şekil 3.18 Güneş modülünün eşdeğer devresi (Kulaksız, 2007)

$$I = N_p \cdot I_{ph} - N_p \cdot I_0 \left(e^{\frac{q \left(\frac{V}{N_s} + \frac{I R_s}{N_p} \right)}{k T c n}} - 1 \right) - \frac{N_p V}{N_s R_p} + \frac{I R_s}{R_p} \quad (3.13)$$

$$R_s(T) = \frac{N_s}{N_p} \cdot R_s \quad R_p(T) = \frac{N_p}{N_s} \cdot R_p \quad (3.14)$$

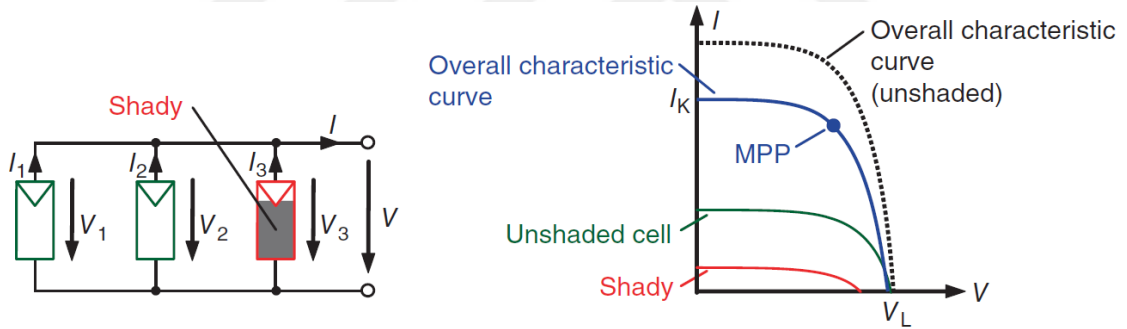
Denklem (3.13) analitik bir çözüme sahip olmadığından, çözüm için Newton-Raphson yöntemi gibi sayısal yöntemler büyük ölçüde benimsenmiştir. Açık bir denklem biçimi oluşturmak için farklı bir yaklaşım benimsenmiştir (Velkovski ve Pejovski, 2016). Bir güç serisi olarak $f(x) = e^x$ fonksiyonunu temsil etmek için bir Taylor serisi kullanıldığında, yaklaşım aşağıdaki denklemle verilir:

$$f(x) = e^x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots \quad (3.15)$$

Denklem (3.13) için aynı Taylor serisi temsili kullanılırsa, serinin sadece ilk iki kısmı dikkate alındığında (birinci dereceden yaklaşım - FOA), PV modülü çıkış akımı doğrusal denklem (3.13) çözülerek belirlenebilir. Burada R_s 'nin PV modülü üreticisi tarafından verildiği veya daha önce başka bir şekilde belirlendiği $R_p = \infty$ olduğu varsayılır.

3.2. Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT)

PV panellerden çekilen gücün; ışık şiddeti, sıcaklık gibi çalışma şartlarından bağımsız olarak maksimum yapılabilmesi için uygun bir kontrol algoritmasının gerçekleştirilmesi gerekir. Yüke sağlanan gücün maksimum yapılması amacıyla PV panellerden çekilen akım veya PV panel uçlarındaki gerilim, maksimum güç noktası civarında sabit tutulur. Bunun için, DC-DC dönüştürücü ve/veya inverter gibi güç elektroniği dönüştürücüleri MPPT algoritmaları ile kontrol edilmelidir (Kulaksız, 2007). Fotovoltaik sistemlerin tasarımında ilk yatırım maliyetleri ve verim önemli hususlardandır. Bu sistemler genel olarak güneş pilleri, depolama üniteleri, bağlantı kabloları ve koruma elemanlarından oluşmaktadır. Sistemden elde edilmek istenen enerjinin miktarı ve güneş pilinin özellikleri, diğer elemanların nitelik ve niceliğinin tespit edilmesinde ve maliyetin ortaya çıkmasında referans öğelerdir (ONAT ve ERSÖZ). Şekil 3.19'da gösterilen PV panelinin IV eğrisinde görüldüğü gibi PV panelinin maksimum güç çıkışı ile ilişkili voltaj değeri ve akım değerinin spesifik koordinatları kullanılarak gösterilmiştir (Mertens, 2018).



Şekil 3.19 Güneş modülünün MPP noktası (Mertens, 2018)

Akım ve çıkış voltajı en yüksek maksimum güç noktası (MPP) olarak belirlenmiştir. Bir PV panelinden maksimum güç miktarını çıkarırken göz önünde bulundurulması gereken üç önemli faktör vardır:

- Işık şiddeti: PV panelin geçerli çalışma noktasını değiştirir,
- Sıcaklık: PV panelin voltaj çalışma noktasını değiştirir,
- Yük: akım ve voltaj için referans olarak kullanılır.

Maksimum panel verimliliği elde etmek için PV paneli ile pil arasındaki voltaj girişini ve voltaj çıkışı eşleştirmesini optimize eden bir sistem olarak bir maksimum güç noktası izleyici (MPPT) tanımlayabiliriz. PV panelin çalışma koşullarını tespit etmek için akım sensörleri ve voltaj sensörleri kullanarak, MPP'yi hesaplamak için çeşitli

örnekleme algoritmaları kullanılabilir. Birçok basit MPPT algoritması gerçekleştirmek için, aşağıdaki dört parametre denetleyicileri çalıştırmak üzere ölçülür ve genellikle PV kataloglarında verilir:

- V_{oc} : Açık devre gerilimi
- I_{sc} : Kısa devre akımı
- V_{mpp} : Maksimum güç noktası voltajı
- I_{mpp} : Maksimum güç noktası akımı

Açık devre voltajı, akım çekilmediği durumdaki panelin maksimum çıkış voltajıdır. Kısa devre akımı, panel tarafından sağlanan mutlak maksimum akımdır. Bu iki değer, mikrodenetleyici olmadan ilgili MPPT değerlerini hesaplamak için kullanılabilir. Maksimum güç noktası voltajı V_{mpp} , değişen ışık şiddeti ve sıcaklık koşulları altında açık devre voltajına doğrusal olarak bağlıdır (Yahfdhou ve ark., 2013).

3.2.1. MPPT Kavramları

Güneş panelleri doğrusal olmayan (non-linear) bir yapıya sahiptir. Bu nedenle PV çıkışından sürekli aynı güç değerini almak zordur. Bunun için maksimum güç noktası takibi yöntemleri kullanılarak maksimum güç noktası izlemesi yapılmalıdır. Güneş panellerinin maksimum güç noktası, çalışma şartlarına göre; yük değişimi, ışık şiddeti değişimi, sıcaklık değişimi vb. değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla eğer panelden maksimum verim alınmak isteniyorsa sürekli maksimum güç noktasında çalışması temin edilmelidir. Bu işlem MPPT olarak bilinen bir yöntemle gerçekleştirilir (Bakım, 2016). Maksimum güç noktası izleme algoritmalarını kullanmanın amacı, fotovoltaik güneş modüllerinden maksimum kullanılabilir gücü elde etmektir. Bu algoritmalar şebekeden bağımsız PV sistemleri ve şebekeye bağlı PV sistemleri için de uygulanabilir. Maksimum güç noktası izleyicisi, PV sisteminin mümkün olan maksimum gücü üretmesine izin vermek için bazı akıllı yöntemler kullanarak PV panellerini çalıştıran elektronik bir cihazdır. Maksimum güç noktası izleme süreci, izleme sisteminin, güneş panellerini doğrudan güneşe daha fazla yönlendirecek şekilde fiziksel olarak hareket ettiren bir mekanik olduğu anlamına gelmez.

Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan artımlı iletkenlik (IC) yöntemi sunulmuş ve MPPT uygulaması için çeşitli yöntemler temsil edilmiştir. Çizelge 3.2, bu 40 öneriyi göstermektedir (Karami ve ark., 2017).

Çizelge 3.2 MPPT metodları (Karami ve ark., 2017)

#	İzleme yöntemleri	A/D	Sensörler	Hız	İstikrar
1	Sabit voltaj yöntemi	A	V	Hızlı	Kararlı değil
2	Açık devre voltajı yöntemi	A	V	Hızlı	Kararlı değil
3	Kısa devre akımı yöntemi	A	C	Hızlı	Kararlı değil
4	Açık devre voltajı pilot PV hücre yöntemi	A	V	Hızlı	Kararlı değil
5	Sıcaklık Eğimi (TG) Algoritması	A	V	Hızlı	Kararlı değil
6	Sıcaklık Parametrik (TP) Yöntemi	A	V	Hızlı	Kararlı değil
7	Geri besleme voltajı veya akımı yöntemi	A	V veya C	Yavaş	Kararlı değil
8	P-N buat düşme gerilimi izleme tekniği	A	V	Hızlı	Kararlı değil
9	Arama çizelgesi yöntemi	D	I & T	Hızlı	Belleğe Bağlıdır
10	Yük akımı veya yük voltajı maksimizasyonu	A	V or C	Yavaş	Kararlı değil
11	Doğrusal akım kontrol yöntemi	D	V & C	Yavaş	Kararlı
12	Tek akım fotovoltaiik yöntem	A	C	Yavaş	Kararlı değil
13	PV Çıkışı (POS) kontrol yöntemi	D	C	Yavaş	Kararlı değil
14	Değiştir-gözle (P & O) yöntemi	D/A	V & C	Yavaş	Kararlı değil
15	Sabit pertürbasyon adımı ile modifiye P & O	D	V & C	Yavaş	Kararlı
16	Uyarlanabilir pertürbasyonlu geleneksel P & O	D	V & C	Hızlı	Kararlı değil
17	Uyarlanabilir pertürbasyon ile modifiye P & O	D	V & C	Hızlı	Kararlı
18	Üç nokta ağırlık karşılaştırma yöntemi	D	V & C	Hızlı	Kararlı
19	Çevrimiçi MPP arama algoritması	D	V & C	Yavaş	Kararlı
20	DC-Link kapasitör düşüş kontrolü	D	V & C	Yavaş	Kararlı
21	Dizi Yeniden Yapılandırma Yöntemi	D	V & C	Yavaş	Kararlı
22	Değişken indüktörlü MPPT	D	V & C	Yavaş	Kararlı
23	Durum tabanlı MPPT yöntemi	D	V	Hızlı	Kararlı değil
24	Doğrusal yeniden yönlendirilmiş koordinatlar yöntemi	D	V & C	Yavaş	Kararlı
25	Eğri uydurma yöntemi	D	V & C	Çok Hızlı	Kararlı
26	Farklılaşma yöntemi	D	V & C	Yavaş	Kararlı
27	Kayan kipli kontrol yöntemi	D	V & C	Yavaş	Kararlı
28	Mevcut tarama yöntemi	D	V & C	Yavaş	Kararlı
29	dP / dV veya dP / dI geri besleme kontrolü	D	V & C	Hızlı	Kararlı
30	Artımlı İletkenlik yöntemi	D	V & C	Hızlı	Kararlı
31	Değişken kademeli artımlı iletkenlik yöntemi	D	V & C	Hızlı	Kararlı
32	Değişken adım boyutlu artım direnci yöntemi	D	V & C	Yavaş	Kararlı
33	Parazitik kapasitans (PC) yöntemi	D	I & T	Hızlı	Kararlı değil
34	β yöntemi	D	V & C	Yavaş	Çok Kararlı
35	I_{MPP} ve V_{MPP} hesaplama yöntemi	D	V & C	Yavaş	Çok Kararlı
36	Modülasyon yöntemleri	D	V & C	çokHızlı	Çok Kararlı
37	Dalgalanma korelasyon kontrolü	D	V & C	çokHızlı	Çok Kararlı
38	Bulanık mantık kontrolü	D	V & C	çokHızlı	Çok Kararlı
39	Sinir ağı	D	V & C	Hızlı	Kararlı
40	Veri takip algoritması	D	V & C	Hızlı	Kararlı

3.2.2. MPPT Modellenmesi

Fotovoltaik güneş modüllerinin çıkış gücü, gün boyunca sabit olmayacak sıcaklık ve ışık şiddeti seviyesinden etkilenecektir. Bu tür etkiler, atmosfer koşullarına bağlı olarak maksimum güç noktasını taşımak için ana rol oynayacaktır. Çalışma noktası, modülün maksimum güç noktasından uzak olduğunda, bu çok fazla güç kaybı olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, fotovoltaik güneş modülünden maksimum gücü kullandığımızdan emin olmak için maksimum güç noktası izleme yöntemini kullanmak önemlidir. Güneş modülü için güç eğrisinin üzerindeki maksimum güç noktasının yeri bilinmemektedir. Arama algoritmasını kullanarak veya hesaplama yöntemlerine bağlı olarak MPP konumunu tespit edebiliriz. Fotovoltaik güneş modülünden elde edilen maksimum güç, giriş faktörleri (ışık şiddeti, sıcaklık) için farklı koşullarda fotovoltaik modülün çıkış voltajını ayarlayarak çıkarılabilir. Maksimum güç noktası takibi temel olarak çıkış gücünün çıkış voltajına olan türevinin maksimum güç noktasında sıfıra, sağ tarafta negatif ve maksimum güç noktasının sol tarafında pozitif değere sahip olmasına bağlıdır:

- $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = 0$: $V_{pv} = V_{mpp}$
- $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} > 0$: $V_{pv} < V_{mpp}$
- $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} < 0$: $V_{pv} > V_{mpp}$

Maksimum güç noktası izleyicisi aşağıdaki strateji kuralına sahiptir:

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} * \frac{dV_{pv}}{dt} > 0$$

Fotovoltaik modülün çıkış gücünün modülün çıkış voltajına göre türetilmesi:

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = \frac{d(V_{pv} * I_{pv})}{dV_{pv}} = I_{pv} + V_{pv} * \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \quad (3.16)$$

Maksimum güç noktasında, güç türevinin voltaj türevine bölümü sıfıra eşittir, yani:

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = 0 \Rightarrow \frac{V_{pv}}{I_{pv}} = - \frac{dP_{pv}}{dI_{pv}} \quad (3.17)$$

Türev değerleri ile anlık değerler arasındaki fark:

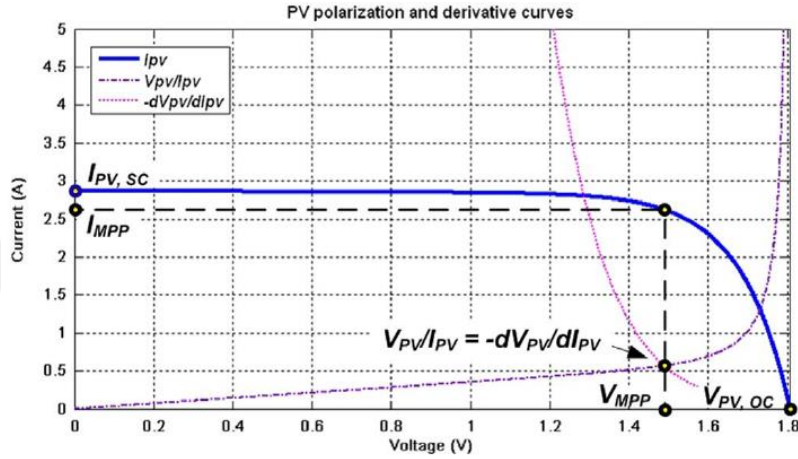
$$\varepsilon = \frac{V_{pv}}{I_{pv}} + \frac{dV_{pv}}{dI_{pv}} \quad (3.18)$$

$\frac{V_{pv}}{I_{pv}}$ ile $\frac{dV_{pv}}{dI_{pv}}$ değerlerini karşılaştırarak maksimum güç noktasını takip edebiliriz. Türev

değerleri ile anlık değerler arasındaki hatayı göz ardı ederek ($\varepsilon = 0$):

- $\varepsilon = 0$: $\frac{V_{pv}}{I_{pv}} = -\frac{dV_{pv}}{dI_{pv}}$ (Maksimum güç noktasında)
- $\varepsilon > 0$: $\frac{V_{pv}}{I_{pv}} > -\frac{dV_{pv}}{dI_{pv}}$ (Maksimum güç noktasının sol tarafında)
- $\varepsilon < 0$: $\frac{V_{pv}}{I_{pv}} < -\frac{dV_{pv}}{dI_{pv}}$ (Maksimum güç noktasının sağ tarafında)

Açıklanan bu denklemler Şekil 3.20’de görülmektedir. Maksimum güç noktası, dP_{pv}/dV_{pv} eğrilerinin akımla kesişmesine ve V_{pv}/I_{pv} ’nin dV_{pv}/dI_{pv} eğrisiyle kesişmesine tepki veren ($I_{pv} = I_{mpp}$) güç eğrisinin zirvesinde bulunur (Karami ve ark., 2017).

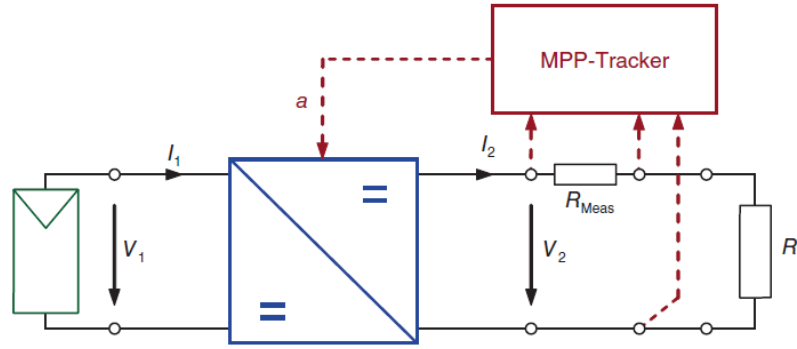


Şekil 3.20 MPP’de dV_{pv}/dI_{pv} ve V_{pv}/I_{pv} ’nin kesişimi (Karami ve ark., 2017)

3.2.3. MPPT Seçim Kriterleri

Fotovoltaik sistemlerde, maksimum güç noktası izleme algoritmasını uygulamak için çok çeşitli yöntemler vardır. Bazı izleme yöntemleri, sahada bazı ayarlamalar gerektiren veya karmaşık kalibrasyon tekniklerine sahip olabilecek bir uygulama güçlüğüne sahiptir. Bu nedenle, izleme yöntemini seçmek için önemli özelliklerden biri, iklim şartlarına göre ayarlama koşullarının kolaylığına bağlıdır. Bu tezde, maksimum güç noktası izlemesini uygulamak için gerekli sensörler kullanılarak artımlı iletkenlik yöntemi sunulmuştur. İzleme yöntemlerinin çoğu, gereksinim sürecini etkileyen farklı sayıda sensöre ihtiyaç duyar. Bu nedenle, maksimum güç noktası izleme sistemini tasarlamak için izleme cihazının fotovoltaik modül girişlerinden sıcaklık ve ışık şiddetini alması önemlidir; akım ve voltaj değerlerini de fotovoltaik modül çıkışlarından alması gerekir. Bu nedenle, bu işlemin fotovoltaik modülün özelliklerini okumak için dört ana sensöre ihtiyacı vardır. Ancak, maksimum güç noktası izleme sisteminin bazı teknikleri değiştirilerek sensör sayısı azaltılabilir. Şekil 3.21’de maksimum güç noktası

izleme sistemine sahip bir fotovoltaik tasarım için genel bir blok diyagramı gösterilmektedir (Mertens, 2018).



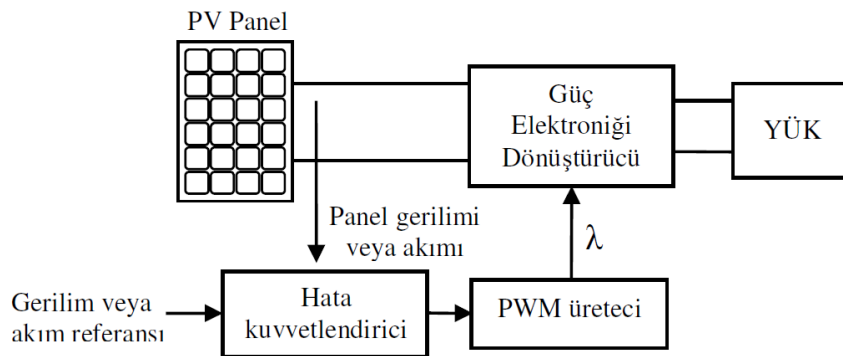
Şekil 3.21 MPPT genel blok diyagramı (Mertens, 2018)

Bu kısımda, literatürde yaygın olarak araştırılan MPPT algoritmalarından bazıları açıklanmıştır. Bunlar; değiştir-gözle (P&O) algoritması, artan iletkenlik (Incremental Conductance) algoritması, sabit gerilim yöntemi, ve sabit akım yöntemleridir.

3.2.4. MPPT Yöntemlerinin İncelenmesi

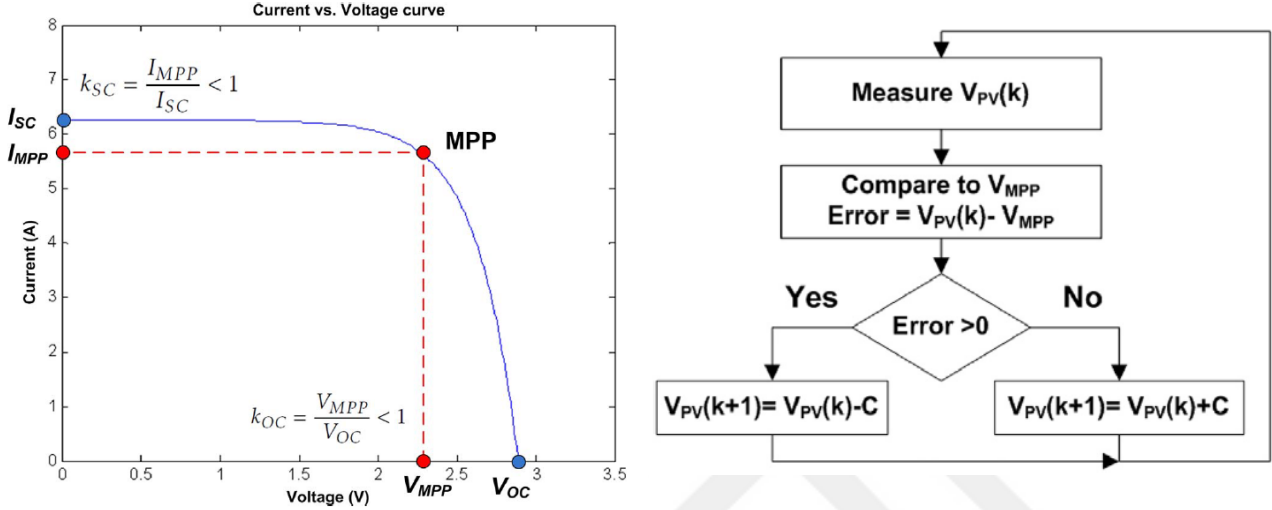
3.2.4.1. Sabit Gerilim Yöntemi

Sabit gerilim yöntemi, fotovoltaik panellerden maksimum gücün elde edildiği çalışma noktasının açık devre geriliminin sabit bir yüzdesine karşılık gelmesi prensibine dayanır (Masoum ve ark., 2002). Bu yöntemde, fotovoltaik panellerin akımı kısa bir süre sıfır yapılarak panellerin açık devre gerilimi ölçülür. Alternatif olarak panellerin açık devre geriliminin ölçülmesi için ek bir PV panel kullanılabilir (Tariq ve Asghar, 2006). Bu yöntemde, kullanan MPPT algoritması için blok şema Şekil 3.22'de verilmiştir (Kulaksız, 2007).



Şekil 3.22 Sabit gerilim veya sabit akım MPPT blok şeması (Kulaksız, 2007)

Sabit gerilim yöntemi için çalışma adımları Şekil 3.23'teki akış diyagramında gösterilmiştir. Akış diyagramında görüldüğü gibi, öncelikle fotovoltaiik panelin açık devre gerilimi ölçülmekte ve açık devre geriliminin belli bir yüzdesine göre referans gerilim V_{ref} hesaplanmaktadır. Şekil 3.23'te görüldüğü gibi elde edilen (gerilim-akım) eğrisi, ve referans gerilim bir hata kuvvetlendirici üzerinden PWM üreticine uygulanmaktadır (Kulaksız, 2007).



Şekil 3.23 Sabit gerilim yöntemi için akış diyagramı (Karami ve ark., 2017)

3.2.4.2. Sabit Akım Yöntemi

Sabit akım yöntemi, sabit gerilim yönteminde olduğu gibi farklı ortam şartlarında maksimum güç noktasının yaklaşık olarak kısa devre akımıyla orantılı olması prensibine dayanır (Mutoh ve ark., 2002). Kısa devre akımı, PV paneller kısa bir süre için kısa devre edilerek ölçülür. PV panellerin maksimum güç noktasındaki akımı, k sabitine bağlı olarak kısa devre akımı ile orantılı olarak değişir (Kulaksız, 2007).

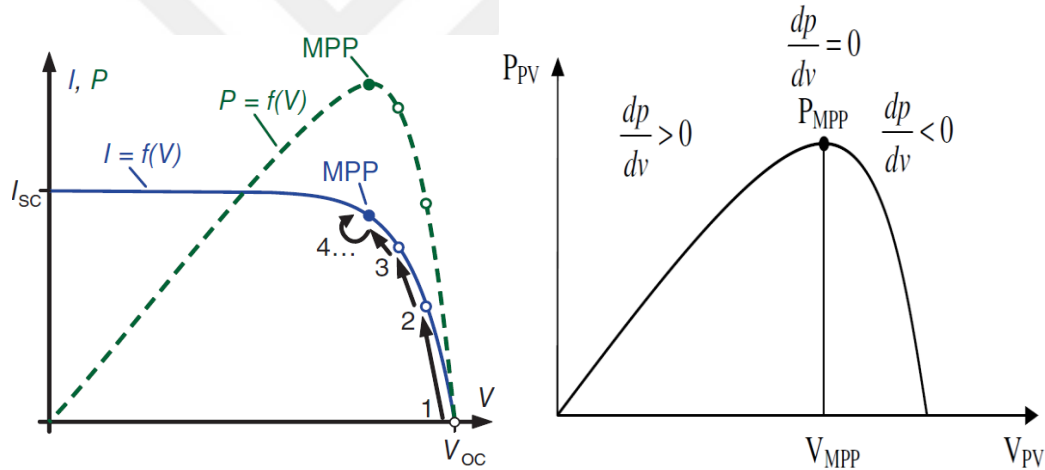
$$I_{mpp} = k * I_{kd} \quad (3.19)$$

Kısa devre akımı anlık olarak belirlenir ve sistemde referans akım (I_{ref}) maksimum güç noktasındaki akıma (I_{mpp}) eşitlenecek şekilde akım kontrollü güç dönüştürücüsü ile kontrol işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntem için de Şekil 3.22'de verilen sistem kullanılabilir ve sabit gerilim yöntemine benzer şekilde çalışma sağlanır (Kulaksız, 2007).

3.2.4.3. Değiştir-Gözle Yöntemi (P&O)

Kullanılan en yaygın MPPT algoritmalarından biri olan P&O algoritması, fotovoltaik panellerin çalışma noktasının değiştirilmesi sonucunda meydana gelecek olan değişimin gözlenmesi ve böylece maksimum güç noktasına doğru sonraki değişimin belirlenmesi prensibine dayanır. P&O algoritması basit yapısı ve kolay şekilde gerçekleştirilebilmesinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (Kulaksız ve Akkaya, 2003).

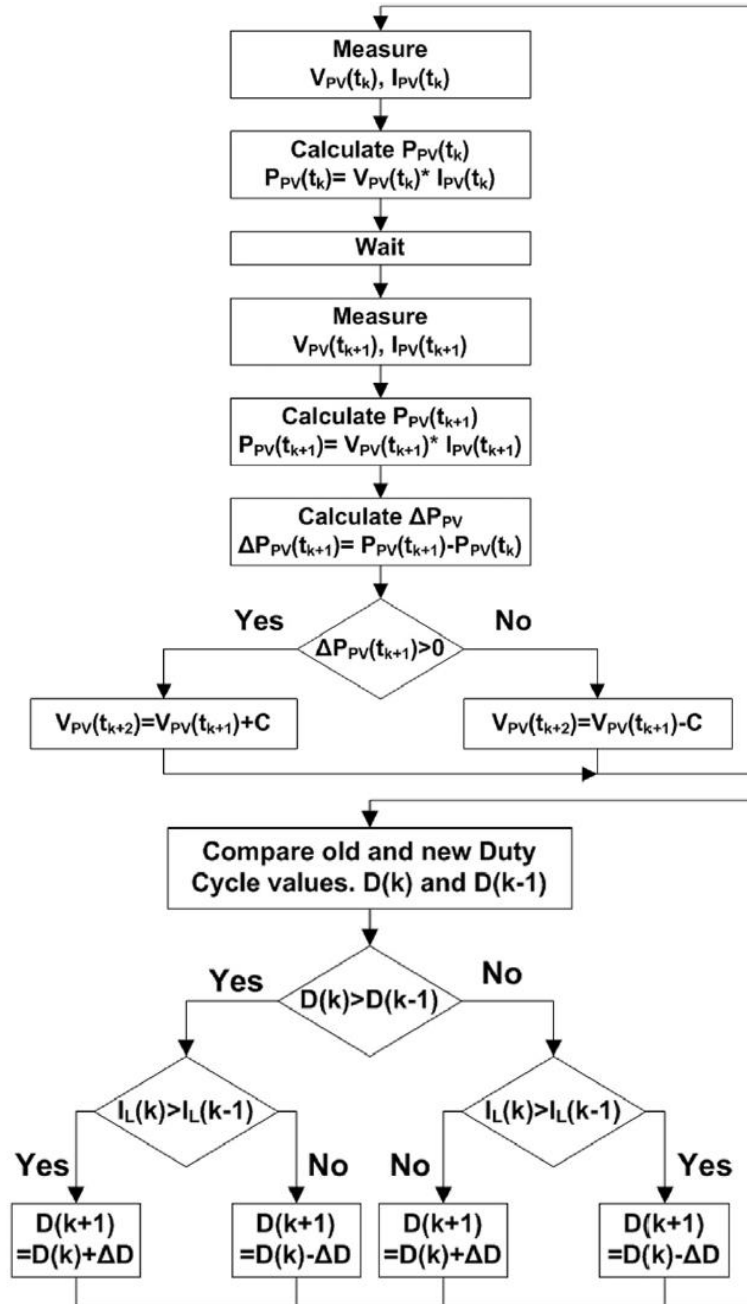
Bu metotta, Şekil 3.24'te görüldüğü gibi fotovoltaik panellerin çıkış gerilimi izlenir, eğer $dp/dv > 0$ olarak bulunursa, çalışma noktası maksimum güç noktasının solundadır. Bu durumda P&O algoritması, PV panel referans gerilimini maksimum güç noktasına doğru artırır. Eğer $dp/dv < 0$ ise, çalışma noktası maksimum güç noktasının sağındadır ve fotovoltaik panelin referans gerilimi azaltılır (Xiao ve Dunford, 2004).



Şekil 3.24 P_{pv} - V_{pv} karakteristiğinde çalışma bölgeleri (Kulaksız, 2007)

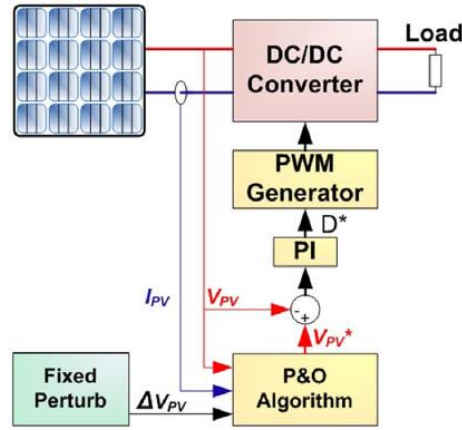
Bu yöntemde, MPP'nin bulunması ve izlenmesi, deneme yanılma sürecine dayanmaktadır. Her döngüde, izleme kontrolörü PV akımını ve voltajını ölçer ve gerçek PV gücünü çıkarır, ardından çalışma voltajını tarayarak ve güç değişimini izleyerek çalışma noktasını bozar. Güç artarsa, çalışma voltajının bir sonraki bozulması aynı yönde olmalıdır. Ancak, güç azalır, çalışma voltajı ters yönde bozulur. Bu senaryo MPP'ye ulaşana kadar tekrarlanır. Maksimum noktaya, $dP_{pv}/dV_{pv}=0$ olduğu anda ulaşılır. P&O algoritmasının temel akış şeması Şekil 3.25'te gösterilmektedir. Bu yöntemin en büyük avantajlarından biri, PV karakteristik bilgisinin gerekli olmaması ve tüm PV modüllerine uygulanmasıdır. Ancak, bu yöntemin birkaç dezavantajı vardır. İzleme algoritması iki ana kritere bağlıdır: izleme hızı ve pertürbasyon adımı. Sabit

pertürbasyon değerleri için, kararlı durum salınımları adım değeri ile orantılıdır. Büyük basamak değerleri daha yüksek salınımlara neden olur. Ancak daha küçük adım değerleri daha yavaş yanıt verir. Bu nedenle, daha hızlı tepki ile istikrarlı durum salınımları arasında bir orta noktanın bulunmasının gerekli olduğu açıktır. Ayrıca, pertürbasyon adımı belirli bir değere sahip değildir. Geliştirilmiş performans için değişken bir pertürbasyon adımı kullanılır. Çıkış gücüne bağlı olarak değişken pertürbasyon değerlerinin kullanıldığı bu teknikler tam olarak uyarlanabilir olmasa da, sabit pertürbasyon muadillerine göre gelişmiş davranış gösterirler.



Şekil 3.25 Değiştir-Gözle Yöntemi (P&O) akış diyagramı (Karami ve ark., 2017)

P&O algoritmasının dezavantajlarından birisi maksimum güç noktası etrafında salınımlar oluşmasıdır. Salınımlar, kontrol edilen parametre için kullanılan adım büyüklüğünün azaltılmasıyla minimize edilebilir. Ancak daha düşük adım büyüklüğü maksimum güç noktası izlemeyi yavaşlatabilir. Bu problem için çözüm yollarından birisi, değişken bir adım büyüklüğünün kullanılmasıdır. Geliştirilmiş P&O algoritması olarak adlandırılan bu yöntemde maksimum güç noktası etrafında adım büyüklüğü küçültülür (Xiao ve Dunford, 2004). Geleneksel P&O'nun blok diyagramı Şekil 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.26 Geleneksel P&O'nun blok diyagramı (Karami ve ark., 2017)

3.2.4.4. Artan İletkenlik (IC) Yöntemi

Artan iletkenlik (IC) yöntemi, PV gücünün voltaja göre ayrılmasını içerir. MPP, farklılaşma sonucu sıfır olduğunda bulunur. Bu nedenle, PV panellerin akım ve gerilimlerine bağlı olarak denklem (3.20) ve (3.21) yazılabilir.

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = \frac{d(V_{pv} \cdot I_{pv})}{dV_{pv}} = I_{pv} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} = 0 \quad (3.20)$$

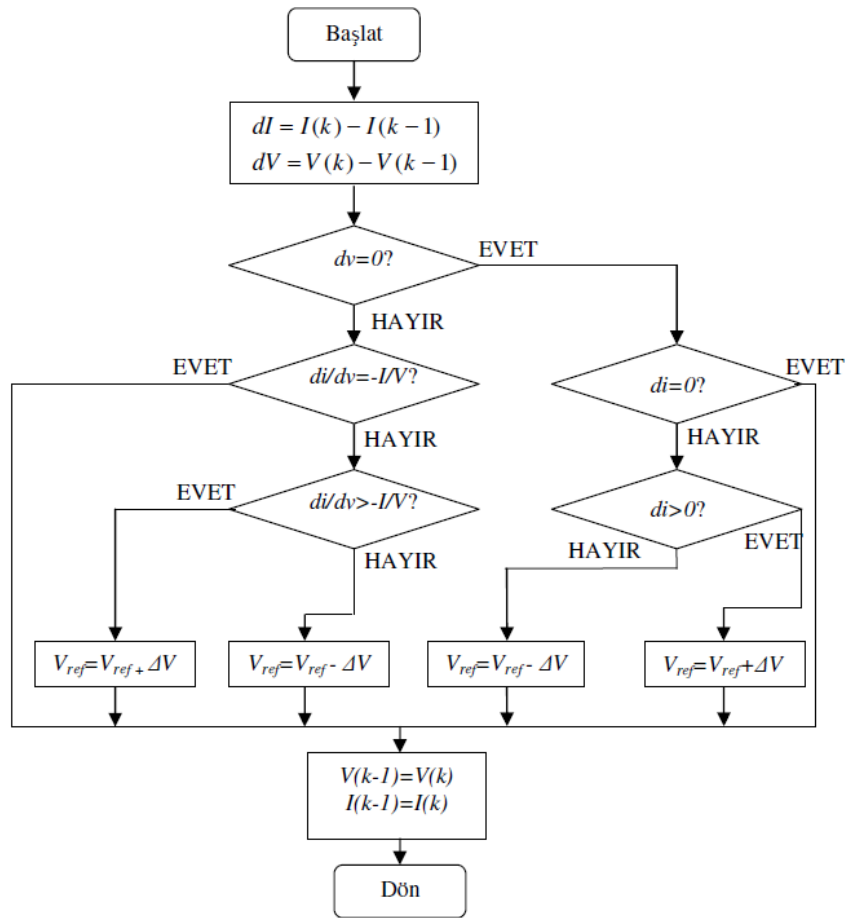
$$\frac{I_{pv}}{V_{pv}} = - \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \quad (3.21)$$

Denklem (3.21)'in sol tarafı anlık iletkenliği temsil ederken, sağ taraf artımlı iletkenliğinin tersini temsil etmektedir. Öte yandan, artımlı varyasyonlar, dV_{pv} ve dI_{pv} , farklı anlarda ölçülen V_{pv} ve I_{pv} değerleri kullanılarak ΔV_{pv} ve ΔI_{pv} parametrelerinin her ikisinin artımlarıyla yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Bu nedenle, parametreler şu şekilde ifade edilebilir:

$$dV_{pv}(t_2) \approx \Delta V_{pv}(t_2) = V_{pv}(t_2) - V_{pv}(t_1) \quad (3.22)$$

$$dI_{pv}(t_2) \approx \Delta I_{pv}(t_2) = I_{pv}(t_2) - I_{pv}(t_1) \quad (3.23)$$

Şekil 3.27’de artan iletkenlik algoritmasının akış diyagramı verilmiştir (Hussein ve ark., 1995). Algoritma, $I(k)$ ve $V(k)$ değerlerinin ölçülmesiyle başlar ve daha sonra bir önceki çevrimden saklanan $I(k-1)$ ve $V(k-1)$ değerleri kullanılarak farklar için $di \approx I(k) - I(k-1)$ ve $dv \approx V(k) - V(k-1)$ yaklaşımları elde edilir. Öncelikle di/dv ile $-I/V$ karşılaştırılır ve bu kontrolün sonucuna göre kontrol referans sinyali V_{ref} , panelin gerilimi maksimum güç noktasına doğru kaydırılacak şekilde ayarlanır. Maksimum güç noktasında $di/dv = -I/V$ olduğundan her hangi bir ayara gerek duyulmaz ve referans değişmediğinden çalışma noktası maksimum güç noktasında kalır (Kulaksız, 2007).



Şekil 3.27 Artan iletkenlik algoritmasının akış diyagramı (Kulaksız, 2007)

Bu algoritmanın temel avantajı, hızla değişen atmosfer koşullarında iyi bir verime sahip olmasıdır. Ayrıca, P&O yöntemi optimize edildiğinde, IC ve P&O MPPT algoritmalarının esas olarak aynı olmasına rağmen, MPP çevresinde P&O yönteminden daha düşük salınımlar elde eder.

3.3. DC-DC Dönüştürücüler

Anahtarlama güç kaynakları, DC-DC dönüştürücüler dahil olmak üzere birçok amaç için kullanılan sistemlerdir. Günümüz enerji sistemlerinde çoğu zaman DC gerilim üreten güç kaynakları mevcut olmasına rağmen bu kaynakların sağladığı gerilim değerleri bazı yapılarda yeterli olamamaktadır. Yüksek seviyelerde gerilimlerin gerekli olduğu DC devrelerde batarya bankaları oluşturularak istenen gerilim değeri sağlanabilir fakat bu teorik olarak yeterli parametreleri sağlayan bir çözüm olsa bile oluşturulacak yapı malzeme, kullanım alanı ve ağırlık gibi birçok bakımdan dezavantaj sağlamaktadır. Bu noktada istenen gerilim değerlerini elde edebilmek amacıyla DC-DC dönüştürücüler tasarlanmıştır.

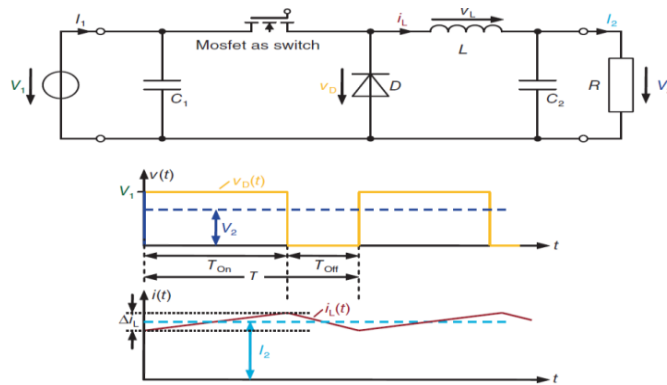
3.3.1. Düşüren Dönüştürücüler

Düşüren dönüştürücüler girişindeki voltajı düşürürken akımı arttıran DC-DC güç dönüştürücüsüdür. Düşüren dönüştürücü; MOSFET, diyot, bobin ve kondansatörlerden oluşmaktadır. Şekil 3.28'deki düşüren dönüştürücü devresinde, L ve C2 alçak geçiren bir filtre oluşturur. MOSFET anahtarı kapatıldığında, C2 kapasitörü L boyunca şarj olurken yük üzerindeki voltaj yavaşça artar. Daha sonra MOSFET açılırsa, indüktörün manyetik alanında depolanan enerjinin, D diyotu ile indüktörün anahtar ucunda 0V'ye bağlanır, böylece enerjinin kapasitöre ve yüke deşarj olmaktan başka alternatifi yoktur. Böylece, elde edilen gerilim düşüşe geçer. Ortalama çıkış voltajı, PWM kontrol sinyalinin giriş voltajı ile çarpımı oranıdır (Akdeniz, 2019).

$$V_L = V_D - V_2 = V_1 - V_2 \quad (3.24)$$

$$V_L(t) = L \frac{di_L}{dt} \quad (3.25)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_L}{L} = - \frac{V_2}{L} \quad (3.26)$$



Şekil 3.28 Düşüren dönüştürücü devre şeması (Mertens, 2018)

Doluluk oranı (k) sıfır değildir, ancak bir miktar pozitif değere sahiptir. Böylece çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki oran azalır ve çıkış voltajının giriş voltajından daha düşük olduğu gözlemlenebilir. Ayrıca, gerilim farkı oranı arttıkça ortalama çıkış voltajı da artar. Böylece, sabit bir DC giriş geriliminden değişken bir DC çıkış gerilimi elde edilir.

3.3.2. Yükselten Dönüştürücüler

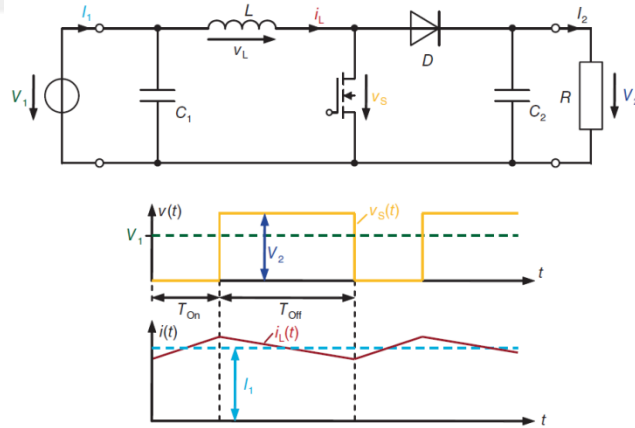
Giriş voltajından daha yüksek voltajlara ihtiyaç duyulan devredir. Yükselten (boost) dönüştürücü, daha düşük bir giriş voltajını stabilize edilmiş daha yüksek bir çıkış voltajına dönüştürür. Basitleştirilmiş bir devre şeması ile ana akım ve gerilim dalga şekilleri Şekil 3.29'da gösterilmektedir.

$$V_L = V_1 - V_2 \quad (3.27)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_L}{L} = \frac{V_1 - V_2}{L} \quad (3.28)$$

$$V_2 \cdot T_{off} = V_1 \cdot T \quad (3.29)$$

$$V_2 = \frac{T}{T_{off}} V_1 = \frac{T}{T - T_{on}} \cdot V_1 = \frac{1}{1 - \alpha} \cdot V_1 \quad (3.30)$$



Şekil 3.29 Yükselten dönüştürücü devre şeması (Mertens, 2018)

Devrenin çalışması, anahtarın iletimde ve kesimde olmasına bağlı olarak iki şekilde incelenir. Anahtar (MOSFET) kapatıldığında, akım bobinin ve anahtarın üzerinden geçer ve devresini tamamlar. Bu arada, akım bobin üzerinde manyetik bir alan oluşturur ve enerji bu manyetik alanda depolanır. Anahtar kesildiğinde, bobin üzerinde depolanan enerjinin neden olduğu voltaj indüklenir. Bu voltaj giriş voltajına eklenir ve çıkış voltajı olarak aktarılır. Bu şekilde çıkış voltajının giriş voltajından daha büyük olması sağlanır. Yükselten dönüştürücü

devrelerinde bobinin yapısı gereği üzerindeki akım tek yönlü olabileceğinden dolayı iki mod arasında bobinin uçları arasındaki gerilim iki farklı polaritede indüklenir. Kondansatörün gerilimi ise bu devrede kondansatörün yapısı gereği ters indüklenemeyeceğinden kondansatör üzerinden akım iki modda iki farklı yönde akar. Böylelikle devrede sürekli halde bobinin ortalama gerilimi ve kondansatörün ortalama akımı sıfır olmuş olur.

3.4. LabVIEW Programı

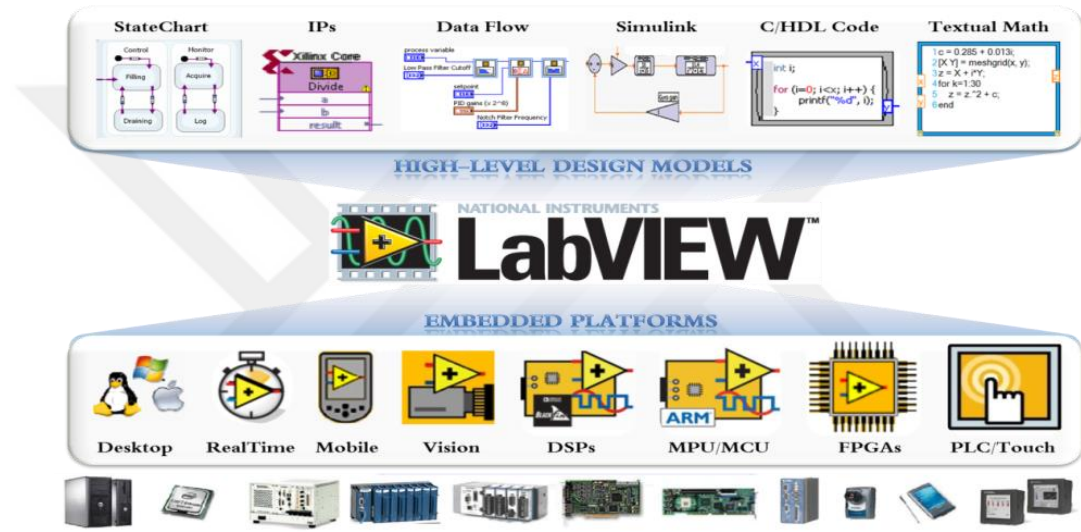
3.4.1. LabVIEW Ortamı Giriş

Programcılar, çeşitli durumlarda verimliliği ve üretkenliği artırmak için her geçen gün yeni yazılım uygulamaları geliştirmektedir. LabVIEW, özgün görsel programlama dili olarak, bu hedeflere ulaşmak için kullanılabilecek güçlü bir araçtır. LabVIEW (Laboratuvar Sanal Enstrüman Mühendisliği Tezgahtı) National Instruments tarafından geliştirilen grafik tabanlı bir programlama dilidir. Grafiksel yapısı onu test ve ölçüm (T&M), otomasyon, cihaz kontrolü, veri toplama ve veri analizi uygulamaları için ideal kılar. Bu, geleneksel programlama dillerine göre önemli verimlilik artışları sağlar. National Instruments, test ve ölçüm sistemlerine odaklanarak bu tip sistemleri geliştiren kullanıcılara iyi bir çözüm ortaklığı sunar. İlk olarak VI'lar (Virtual Instrument) ve bileşenleri tartışılacak, ardından LabVIEW'in veri akışı programlama paradigması gelecektir. Ardından, ön panel ve blok diyagramı açıklanarak VI oluşturma ile ilgili çeşitli konular ele alınacaktır. Bölüm, simgelerin açıklamaları ve ayar tercihleriyle sona erecektir.

Basitçe söylemek gerekirse, VI bir LabVIEW programlama elemanıdır. VI, bir ön panel, blok diyagram ve programı temsil eden bir ikondan oluşur. Ön panel, kullanıcı için kontrolleri ve göstergeleri görüntülemek için kullanılır ve blok şeması VI kodunu içerir. VI'nın görsel bir temsili olan ikonlar, program girişleri ve çıkışları için bağlantılara sahiptir. C ve BASIC gibi programlama dilleri programlama elemanları olarak fonksiyonları kullanır. VI'nın ön paneli işlev giriş ve çıkışlarını gösterir ve kod şeması VI'nın çalışmasını gerçekleştirir. Büyük ölçekli uygulamalar oluşturmak için birden fazla VI kullanılabilir, aslında büyük ölçekli uygulamalar birkaç yüz VI'ye sahip olabilir. Bir VI, kullanıcı arayüzü olarak veya bir uygulamada kütüphane olarak kullanılabilir. LabVIEW'de sürükleyip bırakma birimleri olarak grafikler gibi kullanıcı arabirimi öğelerine kolayca erişilebilir.

LabVIEW derlenmiş bir dil değildir; LabVIEW'in derleyicileri tarafından perde arkasında derlenir. Java'ya benzer şekilde, VI'lar LabVIEW'in derleyicileri tarafından

çalışma zamanında işlediği yürütülebilir bir kodda derlenir. VI'da her değişiklik yapıldığında, LabVIEW VI için bir veri çizelgesi oluşturur. Bu veri çizelgesi, blok diyagramdaki o ögenin çalışması için gereken girdilere sahip öğeleri tanımlar. Elemanlar, ekleme gibi ilkel operatörler veya bir subVI gibi daha karmaşık olabilir. LabVIEW tüm veri çizelgelerini başarıyla oluşturuyorsa, VI'ların yürütülebileceğini gösteren bir onay sunulur. Veri çizelgesi oluşturulamıyorsa, sorunlu VI'lar için ve ayrıca VI için yürütülmesi gereken bellekte yüklü her VI için red sunulur. LabVIEW programcılarının derleme işlemi için beklemeye gerek kalmadan kod yazmasına ve test etmesine olanak tanır ve programcılarının dil derlenmediği için yürütme hızı konusunda endişelenmeleri gerekmez. Bu durum Şekil 3.30'da gösterilmiştir.



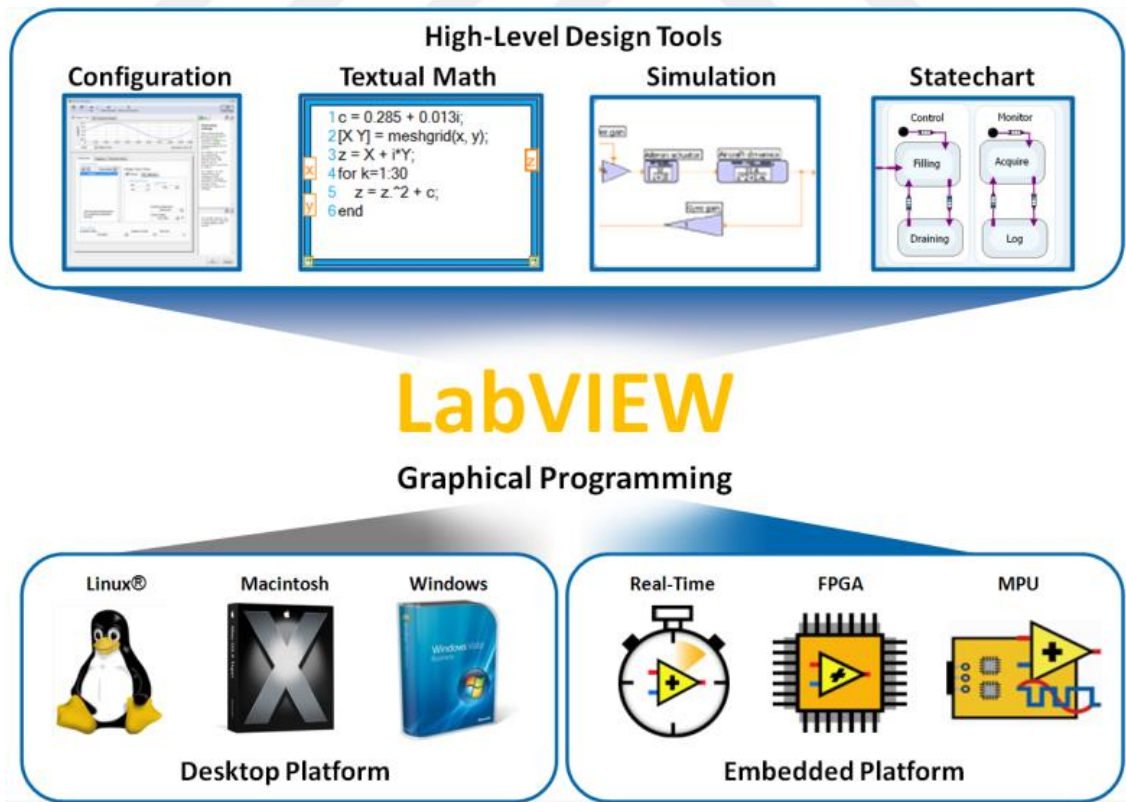
Şekil 3.30 LabVIEW modelleri (Bitter ve ark., 2017)

LabVIEW'in grafik programlamanın temel özelliği, LabVIEW'in paralel işlemleri programlamanın kolaylığıdır. LabVIEW'in ön paneli, iyi bir grafik kullanıcı arayüzüne sahip olduğundan program oluşturmak için çok uygundur. LabVIEW'daki tüm programlama çalışmaları için, programcının tasarım öğelerinin ek açıklamaları dışında herhangi bir metin kodu girmesine gerek yoktur. Program akışının grafik gösterimi, en azından çok kapsamlı olmayan projeler için okunabilirliği artırır. Bu çalışmada, çeşitli VI türlerini ve Sub-VI'ı birleştirmek sistemi çok popüler kılmaktadır. Önerilen sistemde, NI yazılımının avantajları, PV modülleri için sanal öğrenme ortamı platformu sunmak için sağlam ve güvenilir yöntemle birleştirilmiştir. LabVIEW ortam platformu CPU ve I/O modülleri arasındaki iletişimi yönetir. LabVIEW, bağlantılar, fonksiyonlar, arayüzler, ölçekler ve VI oluşturmak için akıllı araçlara sahiptir. Seri iletişim protokolü için yazılım yardımcı programları, donanım sürücüler ve cihazın haberleşme parametre ile alakalı verileri içermektedir.

LabVIEW ortamında, bilgisayarın işlemcisi, ikonlar birbirine bağlandıkça blok şeması tarafına ait senaryoyu derleyebilir ve daha sonra makine koduna dönüştürülür.

3.4.2. Program Yapı ve Yazılım Olay Türleri

LabVIEW, Laboratuvar Sanal Enstrüman Mühendisliği Tezgahtı kısaltmasından gelen ve programlama ortamını tanımlayan bir isimdir. Bu programda, fonksiyonel noktaları verilerin içinden geçtiği hatların yardımı ile birleştirilerek grafiksel bir gösterim programı oluşturulmuştur. LabVIEW bir programlama dilinden daha fazlasını vaat eder. LabVIEW uygulamaları Windows, Mac OSX veya Linux'ta çalışır. LabVIEW çok güçlü bir programlama dili kullanır ve birçok LabVIEW kullanıcısına “G” adı verilir (Grafiksel). Geleneksel programlama dilleri kullanılarak haftalar veya aylar içerisinde yazılabilen programlar LabVIEW kullanılarak saatler içinde tamamlanır. LabVIEW, verileri analiz etmek, ölçmek ve sonuçları kullanıcıya sunmak için özel olarak tasarlanmıştır. LabVIEW ayrıca gelişmiş bir grafik kullanıcı arayüzüne sahiptir. Standart laboratuvar araçlarına göre daha fazla esneklik sağlar çünkü yazılıma dayanır. Şekil 3.31’de verilen LabVIEW ortamının tanıtılması gösterilmiştir (Bishop, 2007).



Şekil 3.31 LabVIEW ortamının tanıtılması (Bishop, 2007)

National Instrument Firması tarafından üretilmiş ve LabVIEW ile entegre çalışabilen çeşitli donanımlar bir çok mühendislik uygulamalarında veri toplama, analiz ve sunum aşamalarında çok hassas ölçümler yapmayı sağlar. Ayrıca birçok donanım üreticisi de LabVIEW sürücülerini ürünle birlikte vermektedir (Karaköse ve Akın).

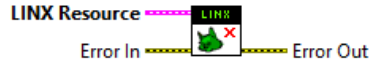
LabVIEW grafiksel programlama dili teknolojisi (GPL) ile programlamada yeni bir dönemi başlatmıştır. GPL metin tabanlı kodlama yerine tamamen sembolleştirilmiş komut setine sahiptir. Dolayısı ile komut ezberleme zorluğunu ortadan kaldırmıştır (Sumathi ve ark., 2007). Bu çalışmada, blok diyagramındaki birimlerin ana fonksiyonlarının kullanımı aşağıda verilen fonksiyonlar gibidir:

- **While döngüsü;** Bu metin tabanlı programlama dillerinde bir süre döngüsüne benzer. Koşul karşılandığında döngü sona erer. Kontrol ucunun yapısı for döngüsü ile aynıdır. Biri çıkış isteğine göre doğru veya yanlış olarak seçilir.
- **Open Fonksiyonu;** İletişimi ilk olarak başlatmaktadır, Bu alanda her programın değişik açma pozisyonları ile başlaması gerekmektedir.



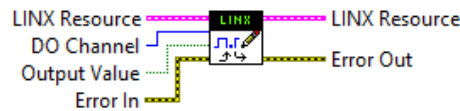
Şekil 3.32 Open Fonksiyonu

- **Close Fonksiyonu;** programa ilişkin sonlandırmayı takip etmekte ve her programın mutlaka Close fonksiyonları ile sonlanması gerekmektedir.



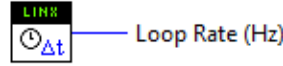
Şekil 3.33 Close Fonksiyonu

- **Digital Write Fonksiyonu;** Arduino'da kullanılacak sayısal girişin adresini belirlememizi sağlar. Çıkış değerinin girilmesi bağlı veya iletilen değer tarafından etkinleştirilir.



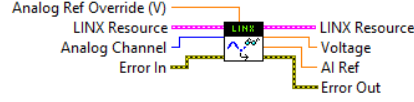
Şekil 3.34 Digital Write Fonksiyonu

- **Loop Frequency;** Fonksiyon alanına ilişkin HZ alanını açık şekilde görebilmektedir.



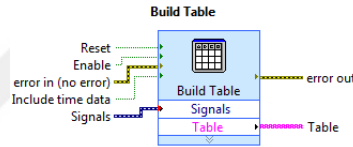
Şekil 3.35 Loop Frequency

- **Analog Read fonksiyonu;** seçilen analog giriş kanalının değerini okuyabilmektedir.



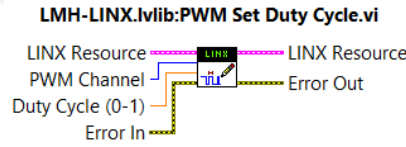
Şekil 3.36 Analog Read fonksiyonu

- **Build Table fonksiyonu;** Bir sinyali veya sinyalleri bir veri tablosuna dönüştürür.



Şekil 3.37 Build Table fonksiyonu

- **PWM Set Duty Cycle fonksiyonu;** Duty Cycle 0-1 arasında değer üretmektedir. Böylece, 255 değerine bölerek 0-5 V aralığına karşılık gelecek şekilde oranlanmıştır.

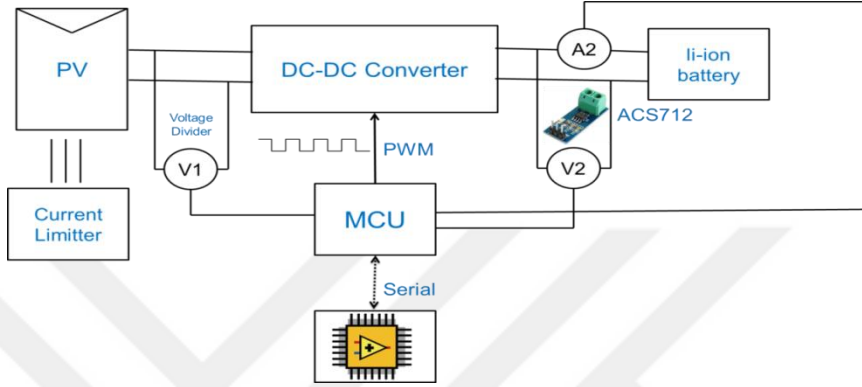


Şekil 3.38 Set Duty Cycle fonksiyonu

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

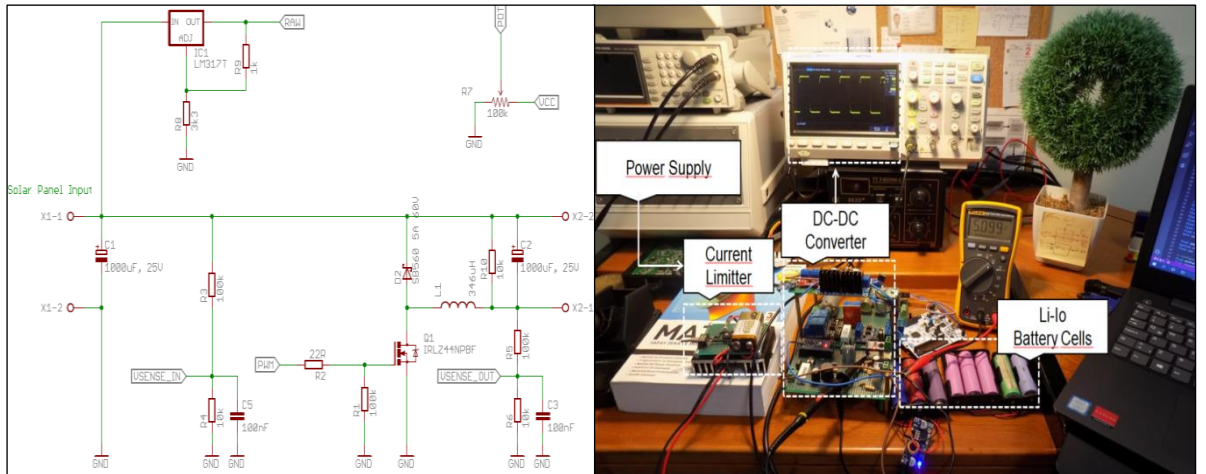
4.1. Sistem Donanımı

Verilen maksimum güç noktası izleyicisi üç farklı yöntem ile tasarlanmıştır. Şekil 4.1'deki blok diyagramda görüldüğü gibi, sistemin ana bileşenleri; fotovoltaik panel, düşüren dönüştürücü devresi, gerilim bölücü devresi, akım sensörü, mikrodenetleyici, ve li-ion pillerdir.



Şekil 4.1 Sistemin birinci yöntemi blok diyagramı

Verilen sistem, laboratuvar ortamında Şekil 4.2'de görüldüğü gibi pratik olarak gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistemin işleyişi ve elektronik devre elemanlarının kullanımı dikkate alınarak devre şeması çizilmiştir.



Şekil 4.2 Pratik olarak gerçekleştirilen sistemin görünümü

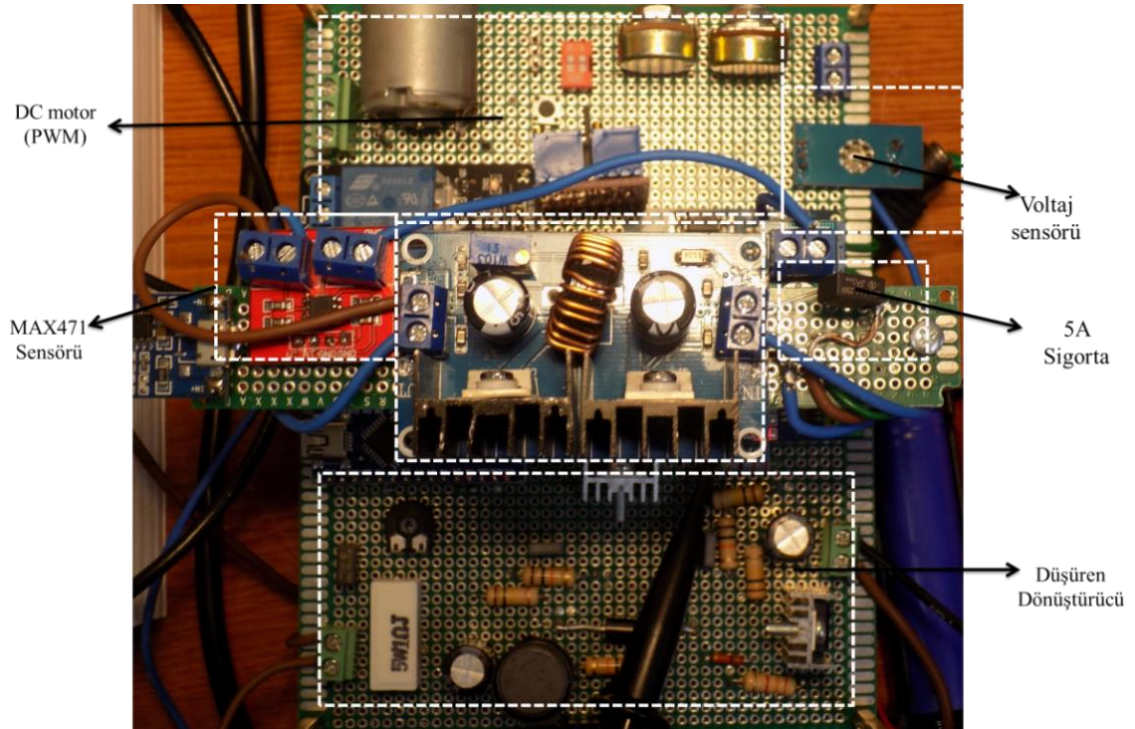
Tasarlanan devre şeması çizimi Proteus programı kullanarak ilk etapta gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan devrenin benzetimi gerçekleştirilmiş, elde edilen benzetim sonuçlarına göre devre elemanlarının değerleri üzerinde düzenlemeler yapıp,

ikinci olarak Autodesk Eagle programı kullanarak yukarıda verilen devrenin şeması çizilmiştir. Çizelge 4.1’de, kullanılan elektronik devre elemanları verilmiştir.

Çizelge 4.1 Kullanılan elektronik devrenin elemanları

Devre elemanının adı	Elektronik devre elemanları	Elemanların değerleri
Soğutucu	SK68-37,5-SA	5,5 C/W
R1	Direnç	1K
R2, R6	Direnç	10 k Ω
R3, R7	Direnç	2,2 k Ω
R4	Direnç	470 k Ω
R5	Direnç	200 Ω
R8, R9, R10, R11	Direnç	330 Ω
R12	Direnç	100 k Ω
C1, C5, C6	kondansatör	0,1 μ F
C4	kondansatör	100 μ F
C8	kondansatör	220 μ F
Q	IRFIZ44NPBF	55 V, 31 A
D1, D2	1N4148 A0	0.7 V
D3	1N4007RLG	0.7 V
L1	2107-H-RC	33 μ H, 5 A
U2	IR2104PBF	20 V
F1, F2	Sigorta	5A
Mikrodenetleyici	Arduino Nano	8-bit

Kitlerin bir araya getirilerek tamamlanmış olan devrenin fiziki yapısı Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.3 Gerçekleştirilen veri toplama kartı

4.1.1. Fotovoltaik Panel

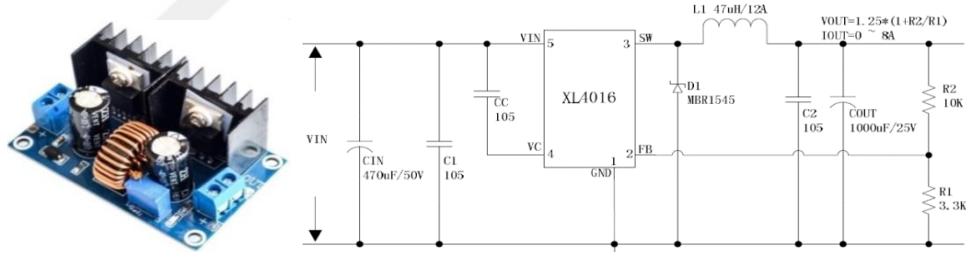
Tasarlanan sistemde, STC şartları altında gösterdiği (25°C ve $1000\text{W}/\text{m}^2$) karakteristik özellikleri Çizelge 4.2’de verilen, 60 W tepe gücüne sahip Sol60P-36 model 36 hücrelik bir fotovoltaik panel kullanılmıştır.

Çizelge 4.2 Kullanılan fotovoltaik panel parametreleri

Parametreler	Değer
$P_{\max}$	60 W
I_{mpp}	3.33 A
V_{mpp}	18.0 V
I_{sc}	3.68 A
V_{oc}	21.5 V

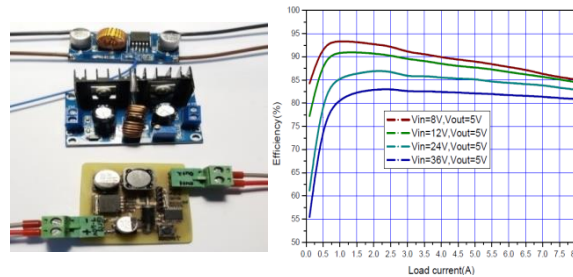
4.1.2. XL4016 Düşüren Dönüştürücü

Tasarlanan gerilim düşürücü devresinin performansını değerlendirmek için Şekil 4.4’te verilen 180Khz, 1.25-36V ayarlanabilir çıkış gerilimine sahip olan XL4016 modülü kullanılmıştır.



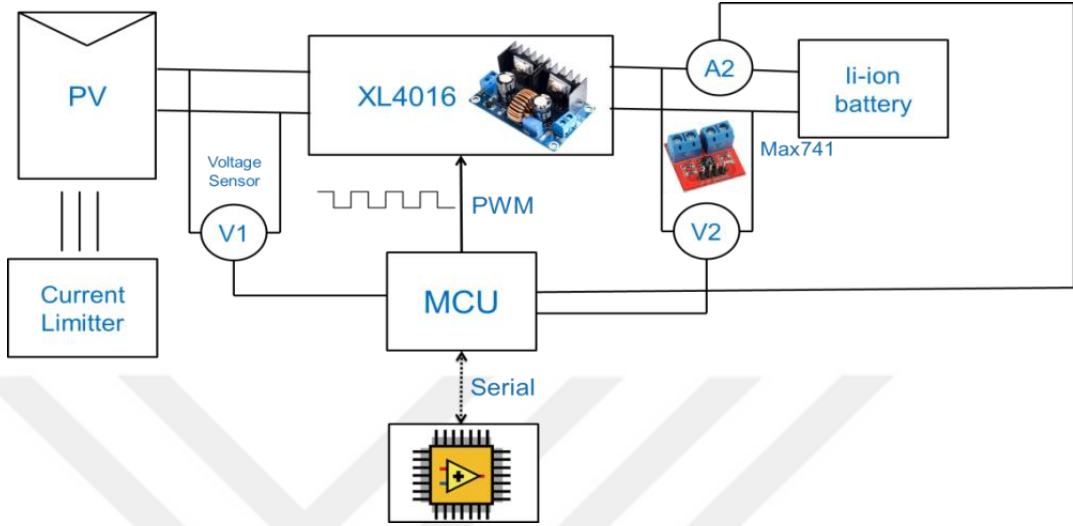
Şekil 4.4 XL4016 Düşüren dönüştürücü

Önceden belirtildiği gibi, devrenin temelinde XL4016 devresinin açık ve kapalı konumuna göre çıkışta ortalama bir gerilim elde edilir. Devrede L bobininin görevi, akımı sürekli hale getirmek ve başlangıç anında sistemin çektiği akımı kontrol edip sınırlandırmaktır. XL4016 modülü %96'ya erişen verimliliğe sahiptir. Şekil 4.5’te tasarlanan dönüştürücü ve yük akımı ile verimlilik arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 4.5 XL4016 Sistemin verimlilik eğrisi

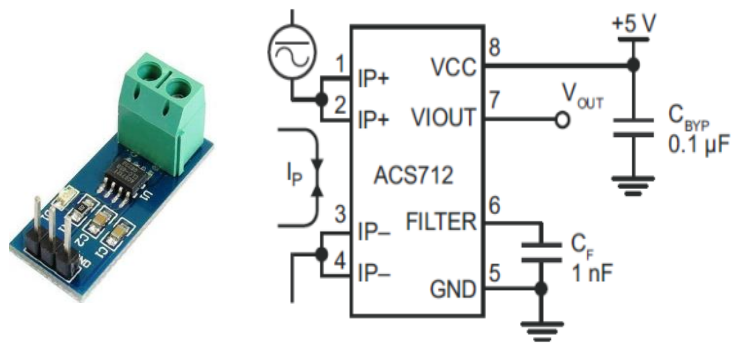
Bu çalışmada, düşüren dönüştürücü çıkışından alınan akımın değerini ölçebilmek için MAX471 modülü kullanılmış olup uzun süreli çalışmada elde edilebilecek enerji verimliliği incelenmiştir. Sistemin ikinci kısmı için blok diyagramı Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6 Sistemin ikinci kısmı için blok diyagramı

4.1.3. ACS712 Akım Sensörü

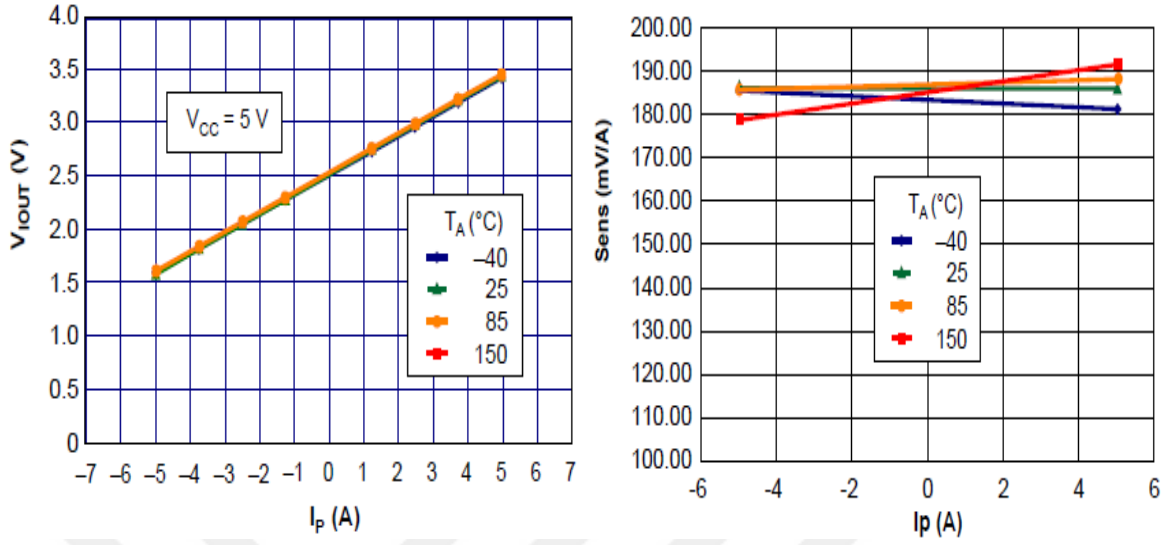
Düşüren dönüştürücü çıkışından alınan akımın değerini ölçebilmek için ACS712 akım sensörü kullanılmaktadır. ACS712, hall etkisi yöntemi ile elektrik akımını yüksek hassasiyetle ölçebilen bir sensördür (Akdeniz, 2019). ACS712 akım sensörü Şekil 4.7’de görülmektedir.



Şekil 4.7 ACS712 Akım sensörü

Ölçülen akım değerine orantılı bir çıkış voltajı, akım sensörü tarafından üretilir. ACS712 akım sensörünün çıkış ucunda artan ve azalan her akım değeri için gerilim değişimi olmaktadır. Akım değeri, bu gerilim değeri kullanılarak mikrodenetleyici tarafından hesaplanmaktadır. ACS712 modülünün ± 5 , ± 20 ve ± 30 A akım ölçebilen

çeşitleri bulunmaktadır (Akdeniz, 2019). Bu modelin akım-gerilim ilişkisini gösteren grafik Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 Sensörün akım artışına bağlı gerilim değişimi grafiği

ACS712 akım sensörü, kullanım kolaylığı ve ekonomik olması nedeniyle alternatif akım ve doğru akım algılama uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Yük algılama ve yönetimi, aşırı akım koruması bu uygulamalardan bazılarıdır (Akdeniz, 2019).

Gerçekleştirilen sistemde, ACS712 fotovoltajik panelin gücünün anlık olarak belirlenebilmesi için gerekli olan akım değerinin tespit edilmesinde kullanılmıştır.

4.1.4. Gerilim Bölücü Devresi

Bu çalışmada, kullandığımız maksimum güç noktası izleme metodunda fotovoltajik panelden voltaj ve akım değerlerinin sürekli okunması gerekmektedir. ACS712 gereksinim duyulan akım değerinin okunmasına imkan verirken, mikrodenetleyici voltaj değerlerini okurken 5 V ve üstü değerlerde donanımsal olarak sorun oluşturmaktadır. Bu yüzden en kolay ve ucuz çözüm olarak gerilim bölücü devresi tercih edilebilir.

Gerilim bölücü sistemi temel olarak gelen yüksek voltaj değerlerini okumak için seri bağlanmış 2 direnç ile oluşturulur. Bu dirençler R1 ve R2 olarak adlandırılacak olursa ve R2 üzerinden ölçüm yapılırsa dirençler üzerine düşen gerilim aşağıdaki formülasyondaki gibi hesaplanabilir.

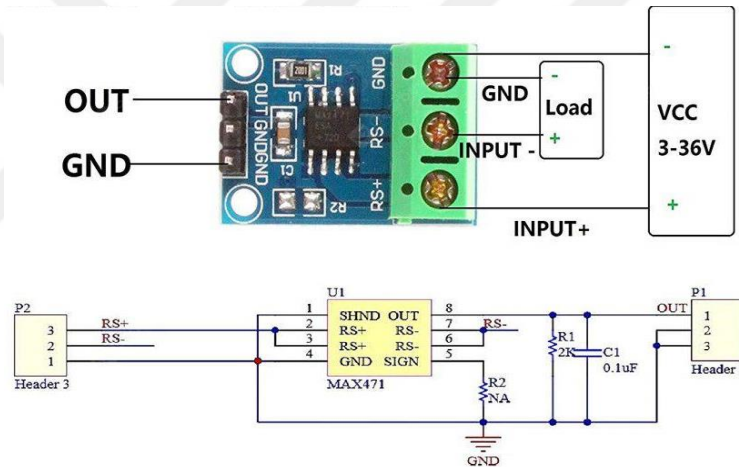
$$V_{ARD} = V_{pv} \frac{R2}{R1+R2} \quad (4.1)$$

V_{ARD} değeri 5 V'tan büyük olmayacak şekilde direnç seçimi yapılmalıdır. Arduino için analog giriş 10 bit çözünürlükte olduğu için 0–5 volt aralığındaki değerleri 0–1023 değerleri olarak okuyabilmekteyiz. Yani ölçüm hassasiyetimiz $5/1023 = 0,0049$ Volt olarak ölçebilmektedir. Burada ölçümü etkileyen bir diğer husus ise dirençlerin tolerans değerleridir.

4.1.5. MAX471 Modülü

Bu çalışmada, XL4016 kullanarak hazırlanan devredeki MAX471 modülü temel olarak OP-AMP entegresi prensibine sahiptir. Entegre 3.6A maksimum akım ölçebilirken bunu çıkışında 0–3.6A için 0–5 Volt olarak göstermektedir.

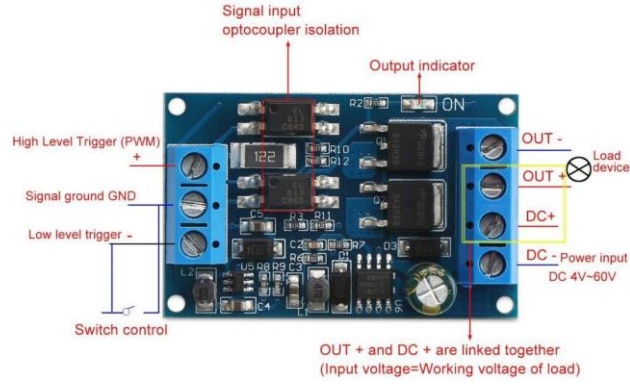
Denetleyici 0–5 V analog girişimiz 10 bit olduğu için akımı $3.6/1023=0,0035A$ hassasiyetinde ölçüm yapabilmemize olanak sağlamaktadır. Şekil 4.9'da entegrenin uygulama şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.9 MAX471 modülün şeması

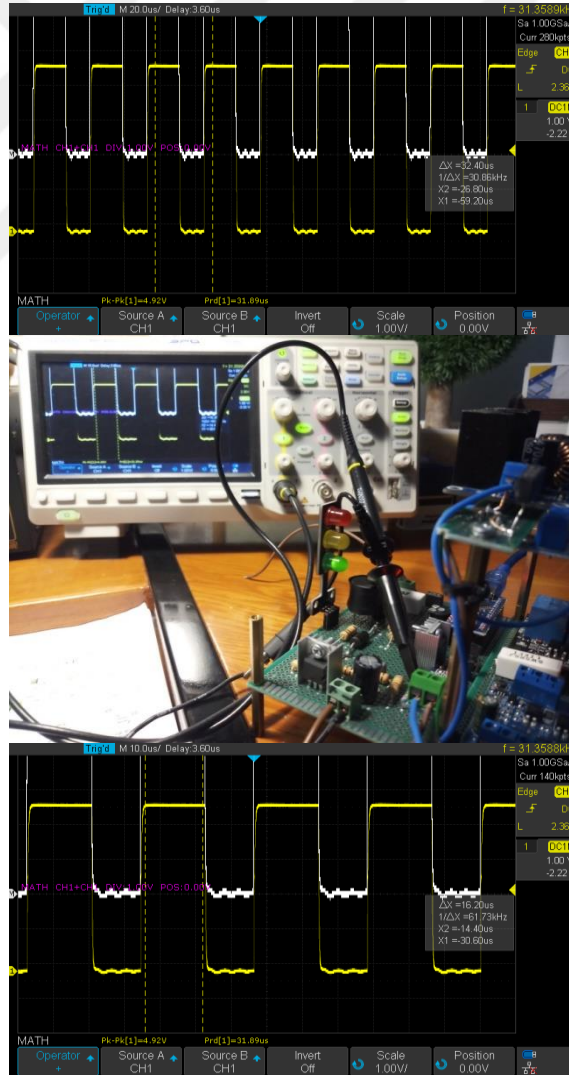
4.1.6. Mosfet PWM Anahtarlama Tetikleme Modülü

Bu çalışmada, sunulan üçüncü senaryo için kullanılan anahtarlama modunda çalışan DC–DC düşürücü devresi ile, ilgili birimden gelen 4–60 V arası gerilim PWM metodu kullanarak ayarlanılabilmektedir ve 600W maksimum güce kadar kullanım kapasitesine sahiptir. Sistem temel olarak 2 adet MOSFET ile oluşturulmuş olup detaylı bilgi DC–DC dönüştürücüler kısmında anlatılmıştır. MOSFETlerin tetikleme pinlerine uygulanan PWM sinyalinin doluluk oranı (duty cycle) yüzdesi değiştirilerek çıkış voltajının değiştirilmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 4.10'da kullanılan anahtarlama DC–DC dönüştürücü gösterilmiştir.



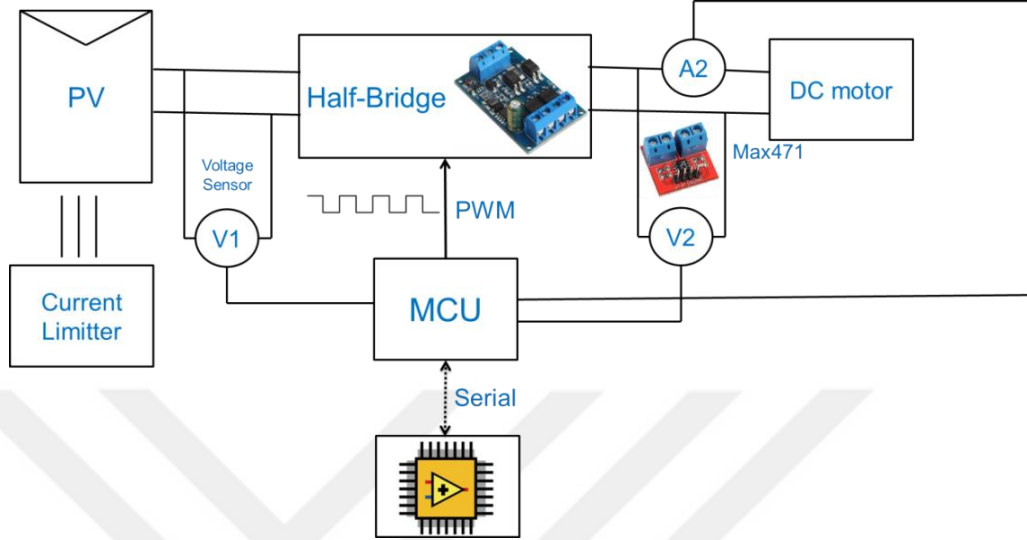
Şekil 4.10 Anahtarlama DC-DC dönüştürücü

Tezde gerçekleştirilen devrede PWM oranı çıkıştaki gerilime göre otomatik olarak değiştirilmesi durumunda sistemin verimliliği ve performansı gösterilmiştir. 200 MHz bant genişliğine sahip laboratuvar tipi bir osiloskop ile ölçümler yapıp, gerçek zamanlı elde edilen çıkışlar Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11 Gerçek osiloskop ile gerçek zamanlı elde edilen sonuçları

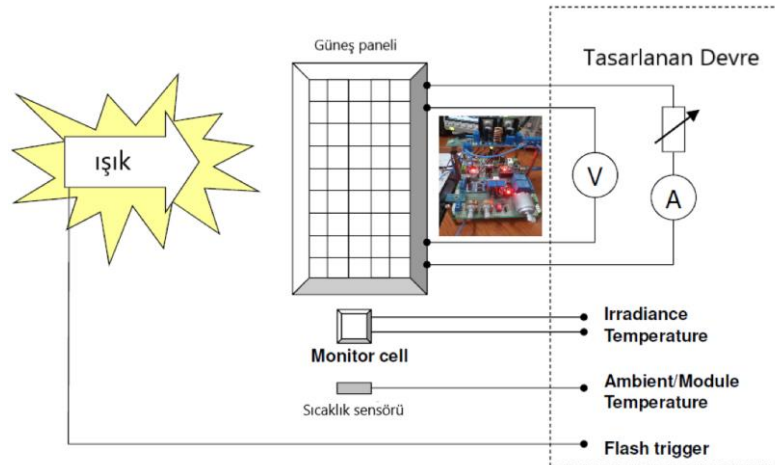
Bu çalışmada, MOSFET PWM anahtarlama devresinden alınan akımın değerini ölçebilmek için MAX471 modülü kullanılmış, DC motor kullanarak elde edilebilecek hızın değişimi incelenmiştir. Sistemin üçüncü yöntemi için blok diyagramı Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12 Sistemin üçüncü yöntemi blok diyagramı

4.1.7. Güneş Simülatörü Kullanımı

MPP izleme analizinin güvenilirliği, öncelikle yeterli zaman çözünürlüğüne sahip doğru ışık şiddeti verilerine dayanır. Bu çalışmada kullanılan veriler Konya'daki Solimpeks Güneş Laboratuvarı'nda STC standart koşulları (25°C , 1000 W/m^2) altında elde edilmiştir. Güneş simülatörünün (QuickSun 540LA) kullanıldığı sistemin blok diyagramı Şekil 4.13'te verilmiştir. Kullanılan güneş simülatörü Endeads firması tarafından üretilmiştir (Pociask-Bialy ve Maciejko, 2018). Şekil 4.14'te laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar görülmektedir.



Şekil 4.13 Güneş simülatörünün kullansistemin blok diyagramı



Şekil 4.14 Laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar

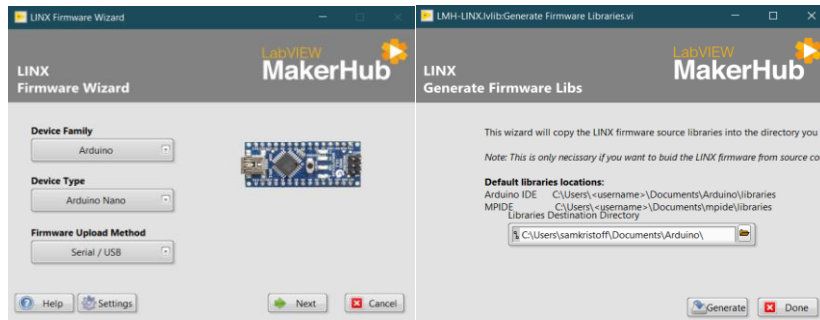
4.2. Sistem Yazılımı

4.2.1. ATmega328P Mikrodenetleyicinin Uygulanması

Bu çalışmada, önce tasarlanan düşüren dönüştürücü kartında MPPT işlemini yerine getirmek için P&O yöntemi ile Arduino tabanlı MPPT algoritması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen kod EK-1’de sunulmuştur.

4.2.2. NI_LINX Kütüphanesi

Bu çalışmada, kurulan LINX (MakerHub) kütüphanesiyle gelen fonksiyonları kullanmamıza izin verecek bir araçtır. Şekil 4.15’te LINX kütüphanesinin arayüzü gösterilmiştir. Eklenti kurulduğunda, mikrodenetleyicinin COM adresi LabVIEW’de görüntülenecektir. Böylece tasarlanan düşüren dönüştürücü ve LabVIEW ile iletişim kurabilmiştir.



Şekil 4.15 LINX kütüphanesinin arayüzü

Paket Yöneticisi VI, LabVIEW kurulumuyla birlikte gelen paketlerden biridir. Paket yöneticisi VI'yı kullanarak, Arduino programlama için gerekli özelliklerin listesini Şekil 4.16'da verilen aracı ile kurulabilmektedir.

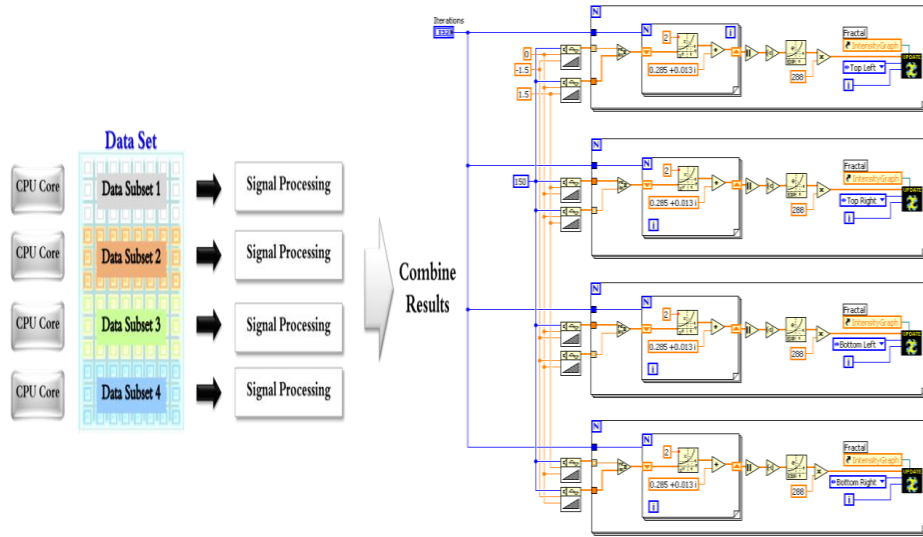


Şekil 4.16 VI Paket Yöneticisi

Açılan programın arama kısmına 'makerhub' yazarak aratıldığında karşımıza çıkan (MakerHub Toolbox) paketi yükle seçeneğine tıklanarak kullanılabilir.

4.2.3. Veri Akışı (Dataflow)

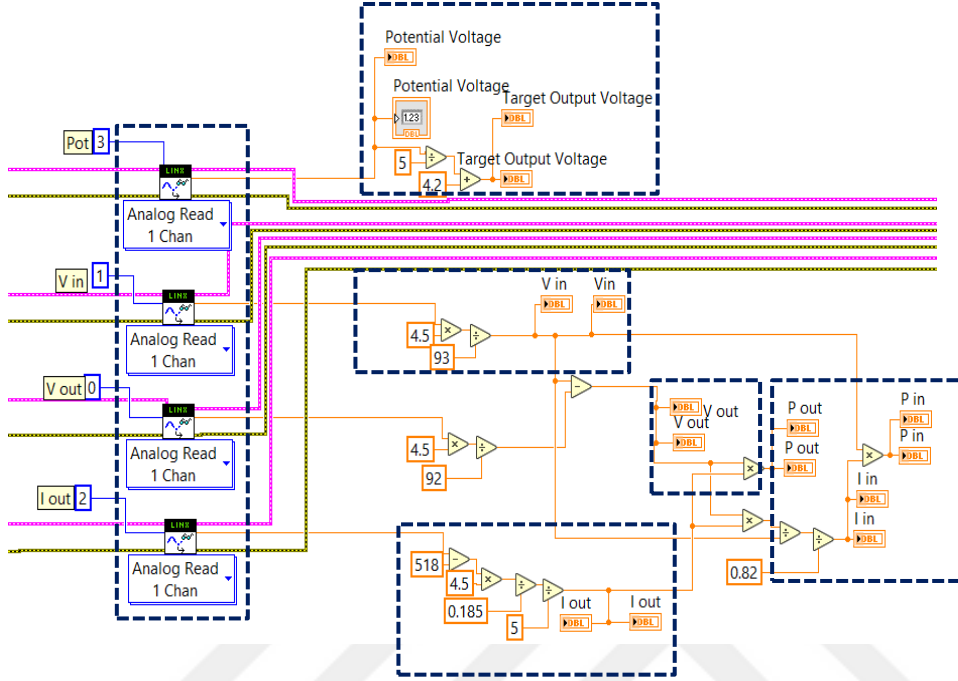
LabVIEW'da kullanılan veri akışı programlama modeli, kullanıcıyı metin tabanlı dillerin lineer mimarisinden kurtarır. Çünkü LabVIEW'deki işletim sırası, ardı ardına metin satırları şeklinde değil, bloklar arası veri akışı şeklindedir ve aynı anda çalışan diyagramlar oluşturmak mümkündür. LabVIEW, ayrı bağlantılar farklı işler görebilen bir sisteme (Multitasking and Multithreaded System) sahiptir (Kangal, 2008). Şekil 4.17'de, farklı işler görebilen blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Farklı işler görebilen blok diyagramı (Multitasking)

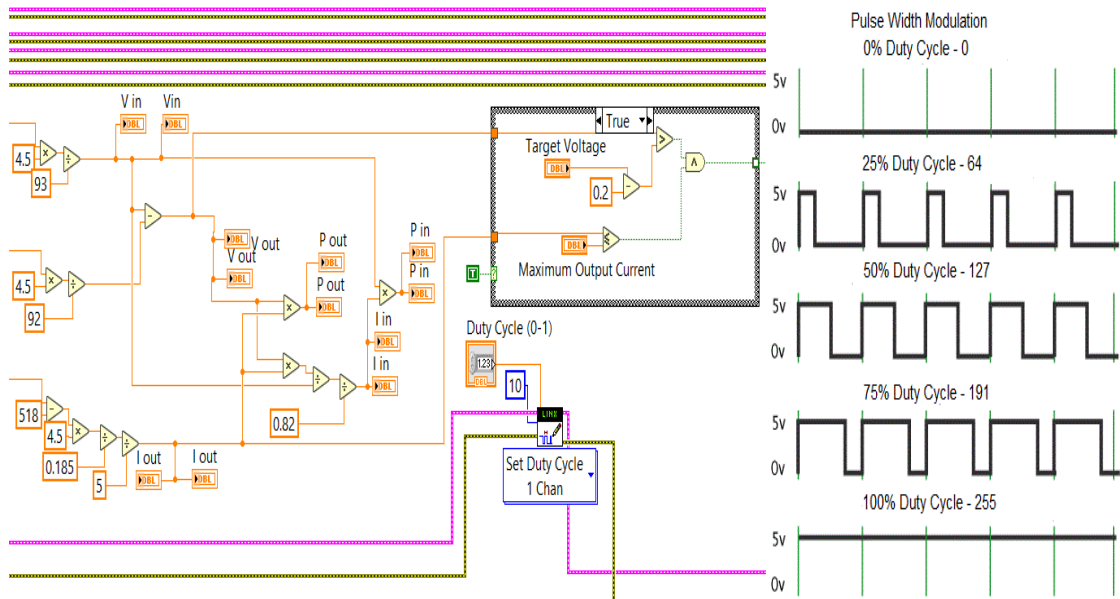
Program çalışırken "Highlight" butonu kullanılarak; verilerin o an nerede olduğu, hangi işlemde geçtiği, hangi değer veya değerler ürettiği, hata olup olmadığı, döngüler ve diziler takip edilebilir. Sadece bu özelliği kullanarak programcının bulamayacağı hata neredeyse yoktur (Kangal, 2008).

Gerçekleştirilen MPPT sabit gerilim, sabit akım ve değiştir-gözle yöntemi (P&O) ile tasarlanan düşüren dönüştürücü kullanarak Şekil 4.20’de verilen blok diyagramında gösterilmiştir.



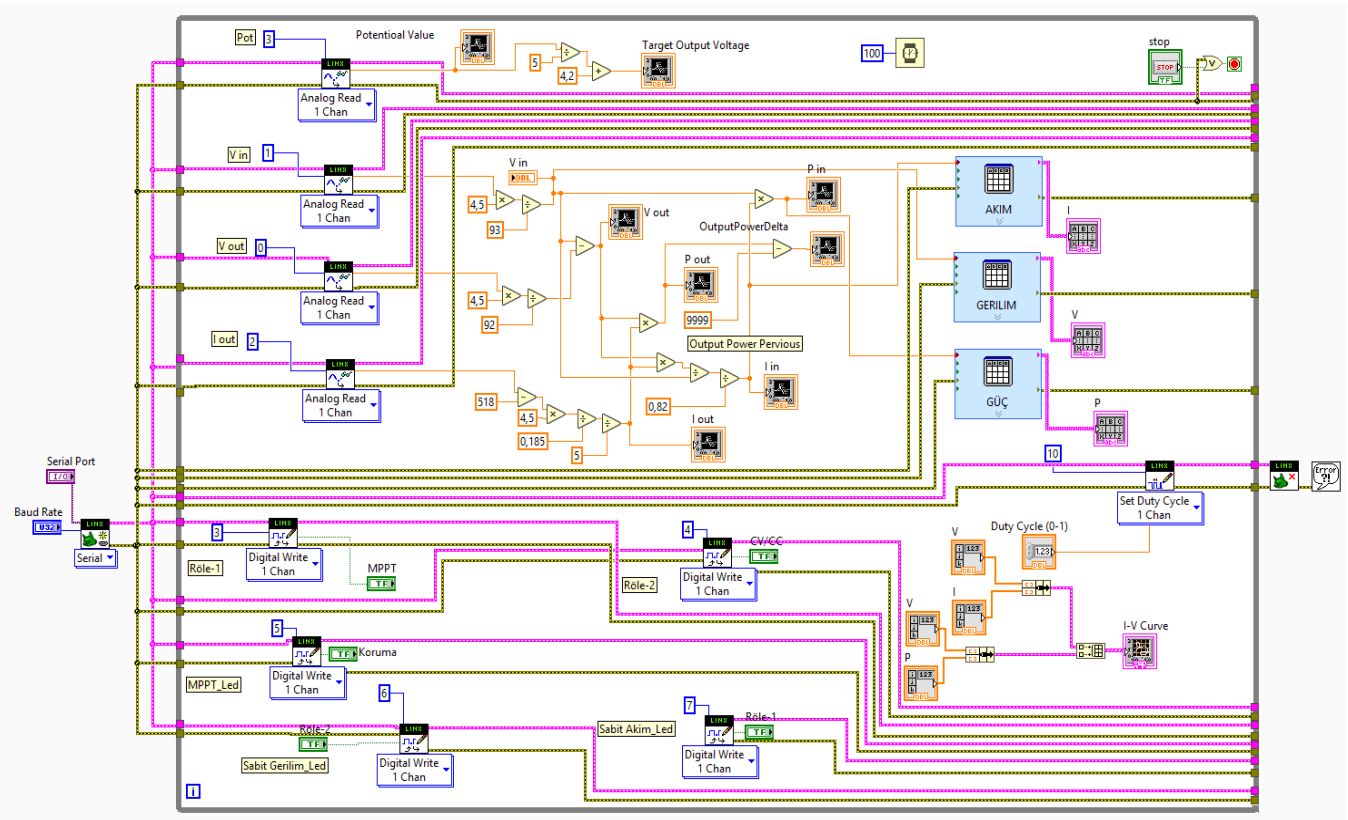
Şekil 4.20 P&O yöntemi ile tasarlanan blok diyagramı

LabVIEW programının blok diyagramda bulunan (PWM Set Duty Cycle) fonksiyonu Duty Cycle 0-1 arasında değer üretmektedir. Böylece, 255 değerine bölerek 0-5 V aralığına karşılık gelecek şekilde oranlanmıştır.



Şekil 4.21 PWM sinyali için tasarlanan blok diyagramı kontrolü

Tasarlanan elektronik karta giden dijital çıkış sinyalinin Duty Cycle % değeri ayarlanarak elde edilir. 8 bitlik bir değerle ifade edilen PWM, 0-255 aralığı için 0-5 V aralığına karşılık gelir. Şekil 4.21’de verilen % 0 Duty Cycle için PWM değeri 0, %50 Duty Cycle için PWM değeri 127’ye karşılık gelmektedir.



Şekil 4.22 Tasarlanan ana blok diyagramı

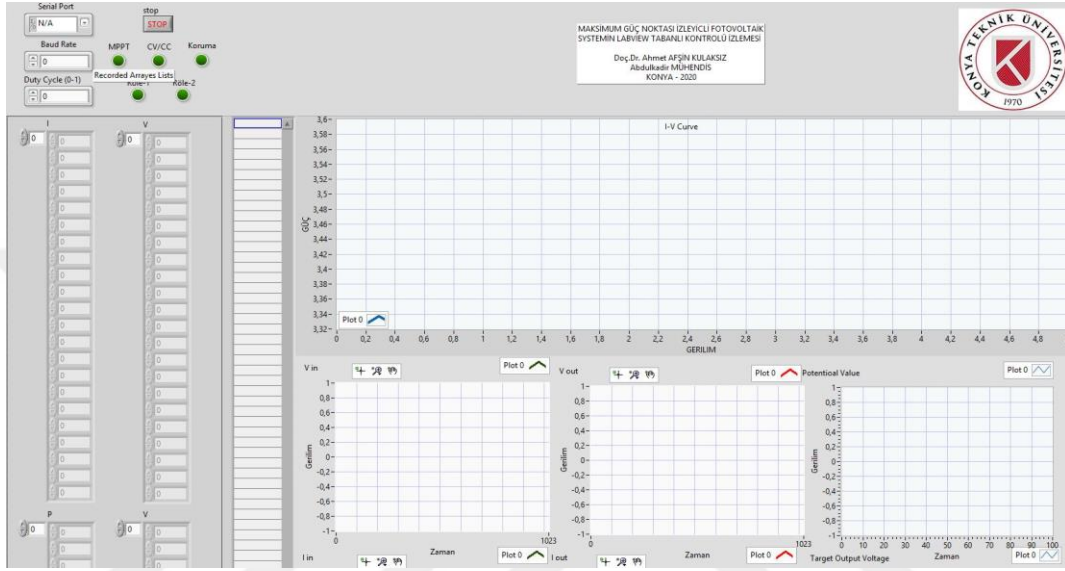
Tasarlanan ana blok diyagramı Şekil 4.22’de görüldüğü gibi, tasarlanmış elektronik devre üzerinden gelen analog sinyal girişlerine sahiptir. Bu analog girişler PV panel ve DC-DC dönüştürücü arasındaki analog voltaj değişimi ile DC-DC çevirici ile batarya arasındaki analog voltaj değişiminden gelen sinyallerdir. Blok diyagramda oluşturulmuş algoritma sayesinde analog girişlerden gelen veriler işlenerek PWM sinyali oluşturulmuş ve ihtiyaç duyulan çıkış gerilimi sağlanmıştır. Ayrıca oluşturulan blok diyagramdaki dizi içerisinde, tasarlanan devreden gelen analog değerler kaydedilmiştir. I-V ve P-V eğrilerini MPPT gerçekleştirerek X-Y grafiği üzerinde çizdirebilmek için LabVIEW üzerinde bulunan CLUSTER komutu kullanılmıştır.

Ön panel nesneleri blok diyagramda terminaller olarak görünmektedir. Terminaller blok diyagram ile ön panel arasındaki bilgi alışverişini sağlayan giriş-çıkış portlarıdır. Veri, ön paneldeki kontrol elemanlarına girildiğinde blok diyagrama kontrol terminallerinden geçer. Derleme boyunca veri blok diyagramın çıkışı olan gösterge

terminallerine doğru akar, blok diyagramın sonunda tekrar ön panele geçer ve ön panel göstergelerinde görüntülenir (Eşme, 2006).

4.2.5. Kullanıcı Arayüzü (Ön Panel) Tasarımı

Ön panel, programın kullanıldığı, kullanıcının göre bildiği ara yüzü ifade eder ve blok diyagramda programlanan yazılımın kullanıcı kısmını gösterir (Kangal, 2008). Şekil 4.23'te, tasarlanan MPPT ön paneli gösterilmiştir.



Şekil 4.23 Tasarlanan MPPT ön paneli

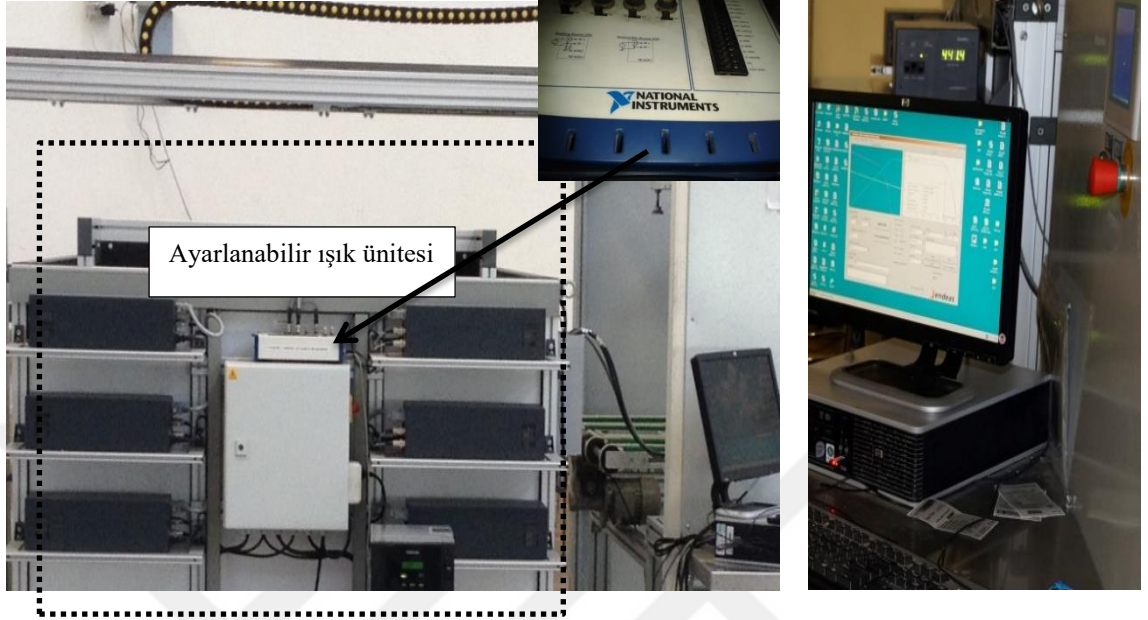
LabVIEW programlarının kullanıcı arayüzü ön panelde oluşturulur. Ön panel, programın interaktif giriş/çıkış terminalleri olan kontrol ve gösterge nesneleri ile inşa edilir. Diğer programlama dillerinde form olarak tabir edilen pencerelere karşılık gelmektedir (Eşme, 2006).

Tasarlanan devre çalışırken örnekleme zamanına bağlı olarak alınan bütün datalar, oluşan dizi üzerine kaydedilir. LabVIEW, kaydedilen bu diziyi kullanarak Excel üzerinde daha detaylı bir grafik çizdirilmesine olanak sağlar.

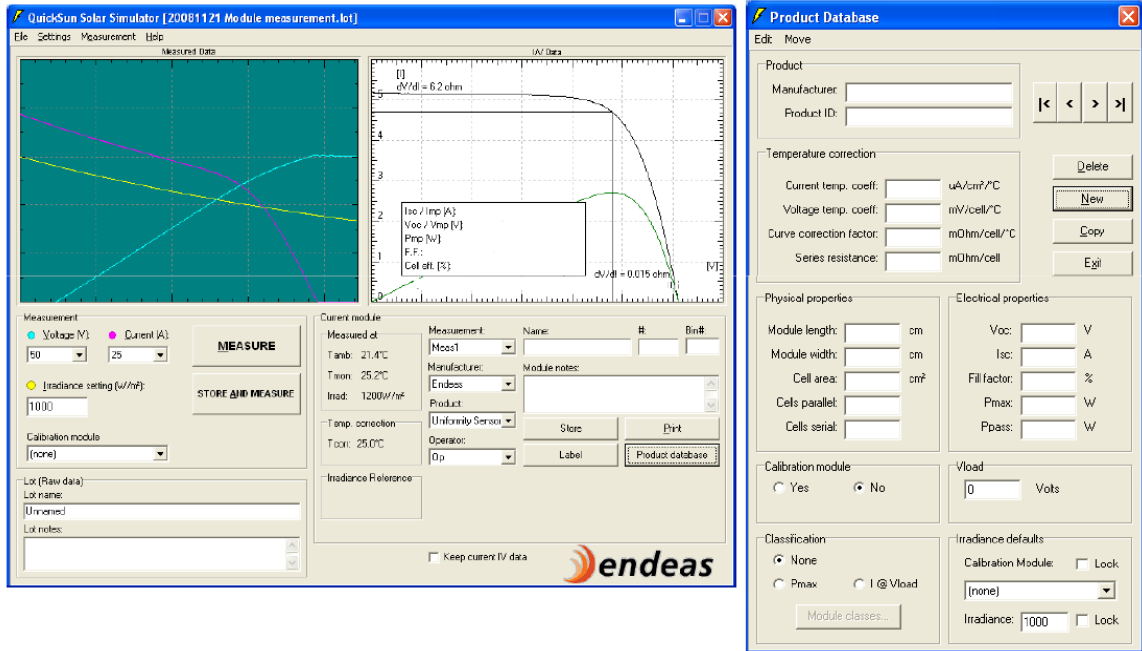
4.2.6. Deneysel Sonuçlar

Tasarlanan DC-DC dönüştürücü yöntemler ile sunulan P&O algoritmasının test çalışması için iki farklı senaryo uygulanmıştır. Algoritmaların performanslarını test edebilmek için Şekil 4.14'te gösterilen (QuickSun 540LA) güneş simülatörü kullanarak elde edilen ışık şiddeti verileri kullanılmıştır. İlk senaryoda fotovoltaik panelinin iki farklı ışınlam aldığı durum, yani iki farklı ışık şiddeti ($1000, 500 \text{ W/m}^2$) uygulanarak iki farklı çıkış (6V, 12V) için sabit sıcaklık değeri (25°C) esnasında test çalışmaları yapılmıştır. İkinci senaryoda ise fotovoltaik panelinin düzgün ışınlam aldığı durumda

sabit ışık şiddeti (1000 W/m^2) uygulanarak iki farklı sıcaklık değeri (25°C ve 35°C) esnasında iki farklı çıkış (6V, 12V) için Şekil 4.24'te görüldüğü gibi laboratuvar ortamında ayarlanabilir ışık ünitesi kullanarak test çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 4.24 Laboratuvar ortamında ayarlanabilir ışık ünitesi uygulama

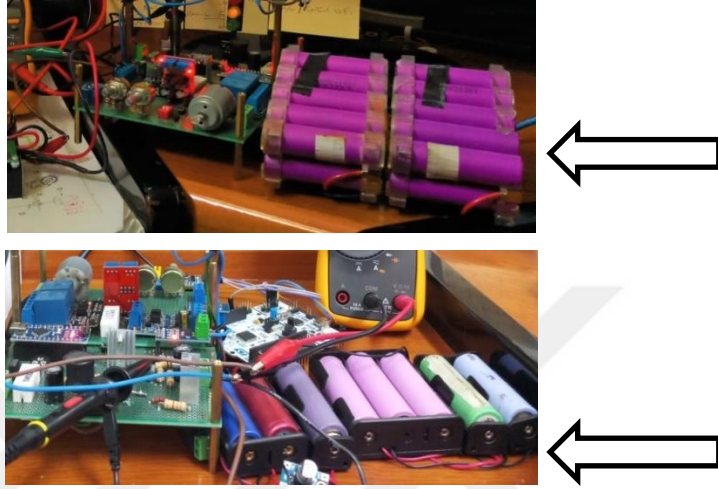


Şekil 4.25 QuickSun 540LA PV Yazılım arayüzünü (Pociask-Bialy ve Maciejko, 2018)

Şekil 4.25'te Endeas firması tarafından geliştirilmiş yazılım arayüzünü kullanarak iki farklı ışık şiddeti ($1000, 500 \text{ W/m}^2$) uygulanarak ve sıcaklık değerleri dikkate alınarak gösterilen (QuickSun 540LA) güneş simülöründen elde edilen ışık şiddeti verileri kullanılmıştır.

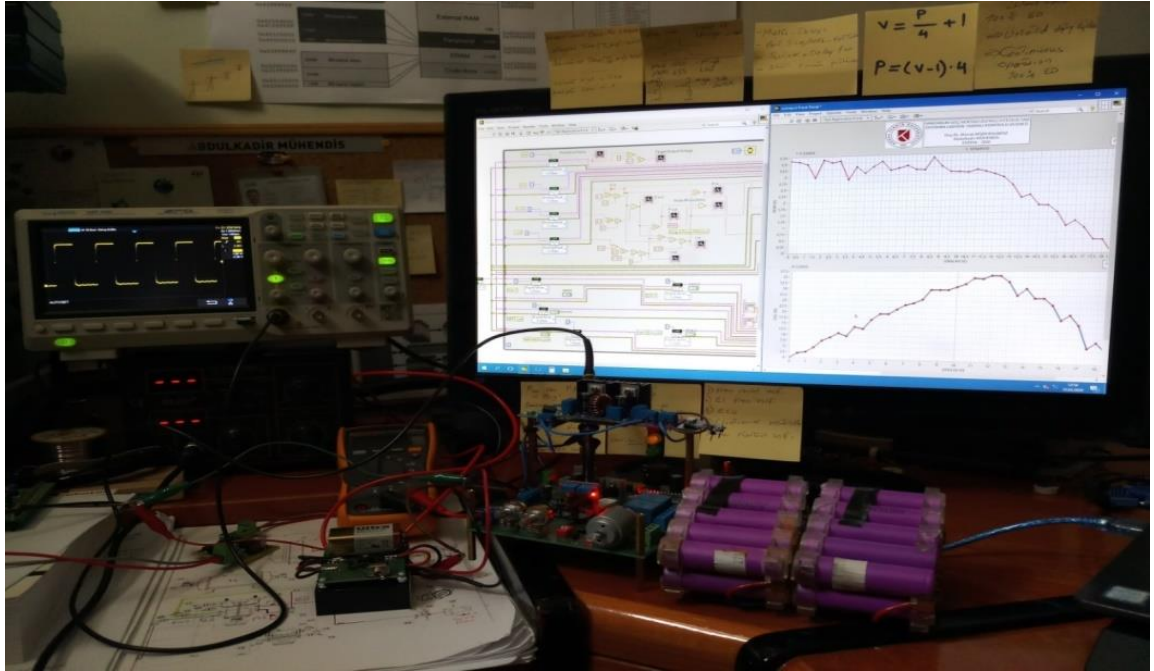
4.2.6.1. Senaryo 1

Bu senaryoda, fotovoltaik panelin iki farklı ışınmı aldığı durum için yazılan algoritmanın davranışı ve uzun süreli çalışmada elde edilebilecek enerji verimliliği incelenmiştir. Şekil 4.26'da görüldüğü gibi, tasarlanan DC-DC dönüştürücü kullanarak şarj edilen iki farklı lityum iyon pil ünitesi kullanılmıştır (12V-6V).



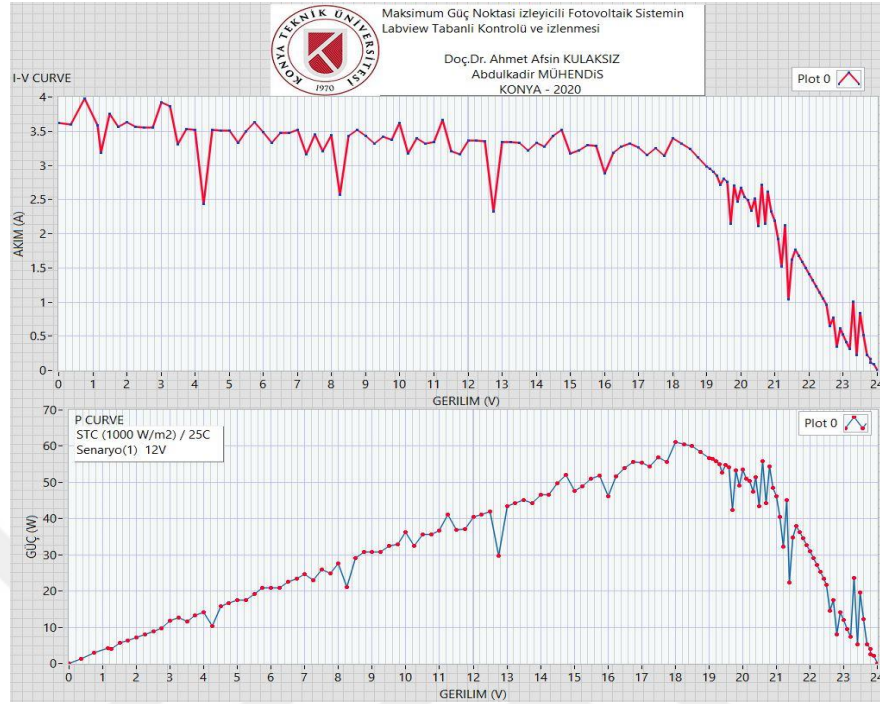
Şekil 4.26 Şarj edilen lityum iyon pil üniteleri

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında ayarlanabilir ışık ünitesi kullanarak Şekil 4.27'de görüldüğü gibi test çalışmaları yapılmıştır.



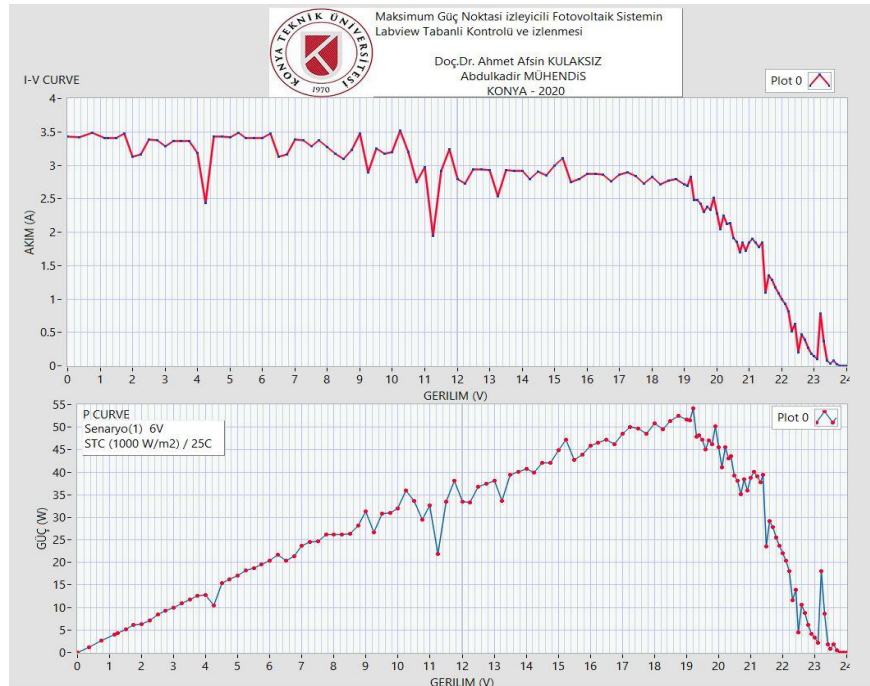
Şekil 4.27 Laboratuvar ortamında alınan uygulama resmi

Şekil 4.28’de verilen grafikte, STC koşullarına göre (25°C , 1000 W/m^2) fotovoltaik panelin çıkış gücünün değişimi (12V) yük için görülmektedir.



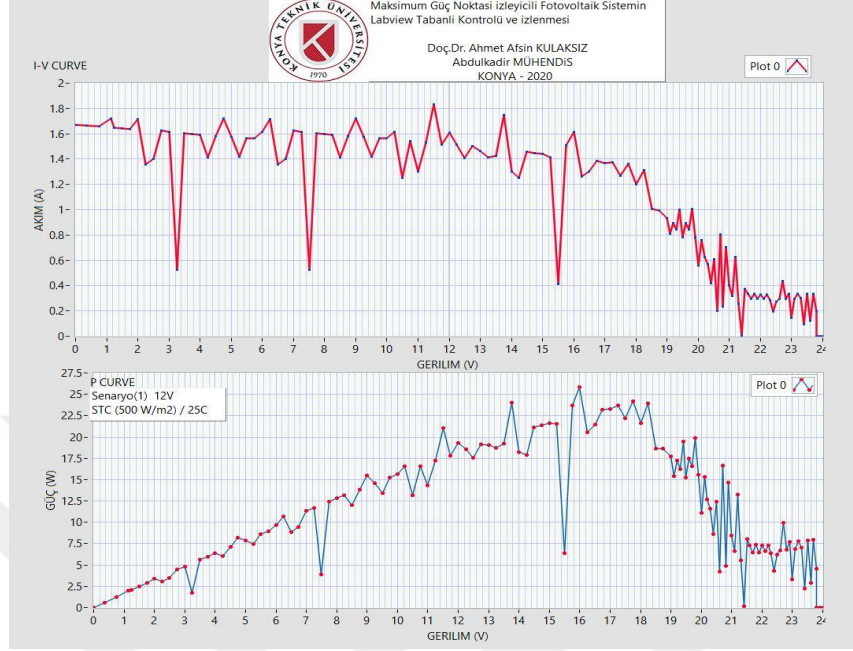
Şekil 4.28 (25°C , 1000 W/m^2) uygulandığında (12V) için sistemin ürettiği elektrik güç eğrisi

Farklı çıkış (6V) için ise şarj edilen lityum iyon pil üniteleri yeniden boşaltılıp tekrar başlatıldığı durumda (1000 W/m^2) uygulanarak yeni oluşturulan fotovoltaik panelin çıkış gücünün değişimi (25°C) esnasında Şekil 4.29’da gösterilmiştir.



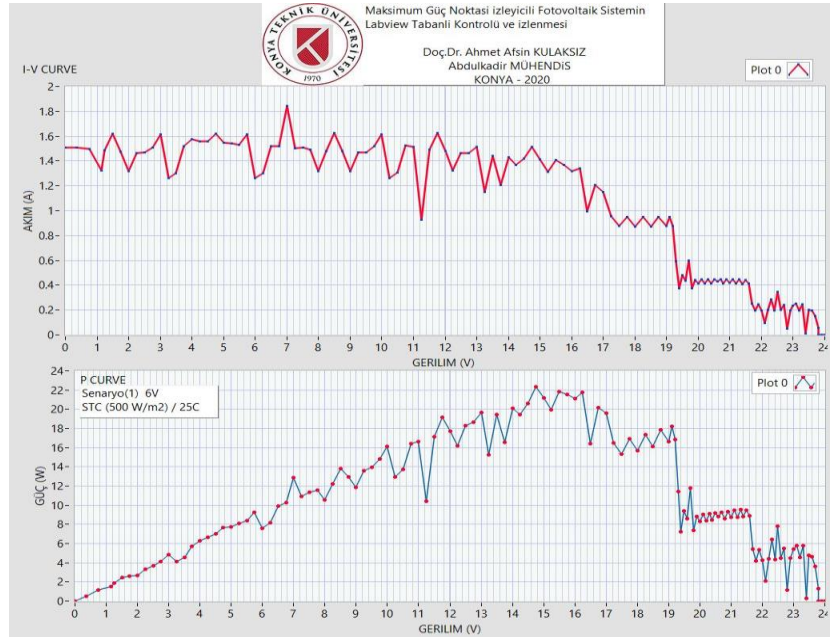
Şekil 4.29 (25°C , 1000 W/m^2) uygulandığında (6V) için sistemin ürettiği elektrik güç eğrisi

Farklı ışıınım şiddeti için (500 W/m^2) tekrarlanacak test çalışmaları (25°C) esnasında Şekil 4.30’da verilen grafikte, fotovoltaik panelin çıkış gücünün değişimi (12V) çıkış için görülmektedir.



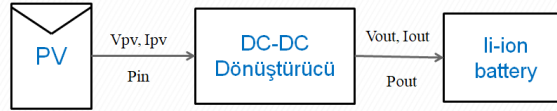
Şekil 4.30 (25°C , 500 W/m^2) uygulandığında (12V) için sistemin ürettiği elektrik güç eğrisi

Farklı çıkış (6V) için ise şarj edilen lityum iyon pil üniteleri yeniden boşaltılıp tekrar başlatıldığı durumda (500 W/m^2) uygulanarak (25°C) esnasında, yeni oluşturulan fotovoltaik panelin çıkış gücünün değişimi Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



Şekil 4.31 (25°C , 500 W/m^2) uygulandığında (6V) için sistemin ürettiği elektrik güç eğrisi

Bu senaryoda, Şekil 4.32'de verilen test platformunun blok şeması gösterilmiştir. Fotovoltaik panelde üretilen enerji tasarlanan DC-DC dönüştürücü ile li-ion piller yüküne aktarılır. Bu çalışmada, tasarlanan P&O algoritmasının enerji verimi performanslarının hesaplanabilmesi için her bir senaryonun fotovoltaik paneli çıkışı ve yük tarafının toplam enerji değerleri bulunup tasarlanan sistemin verimleri yüzdesel olarak verilmiştir.



Şekil 4.32 Test platformunun blok şeması

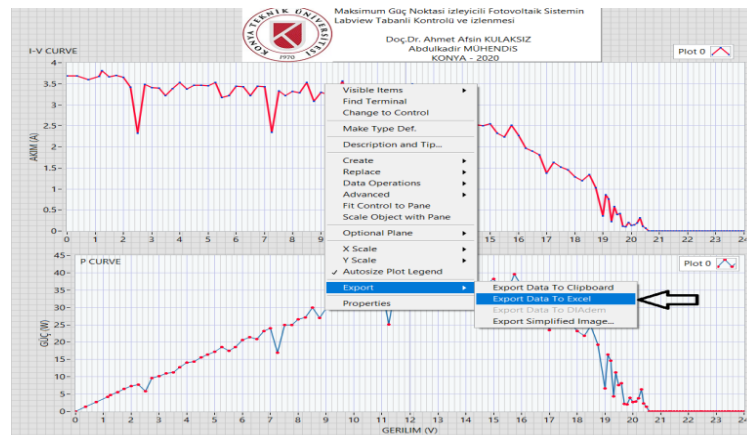
Bu çalışmada, farklı koşullara göre yapılan test çalışmaları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Birinci senaryonun sonuçları

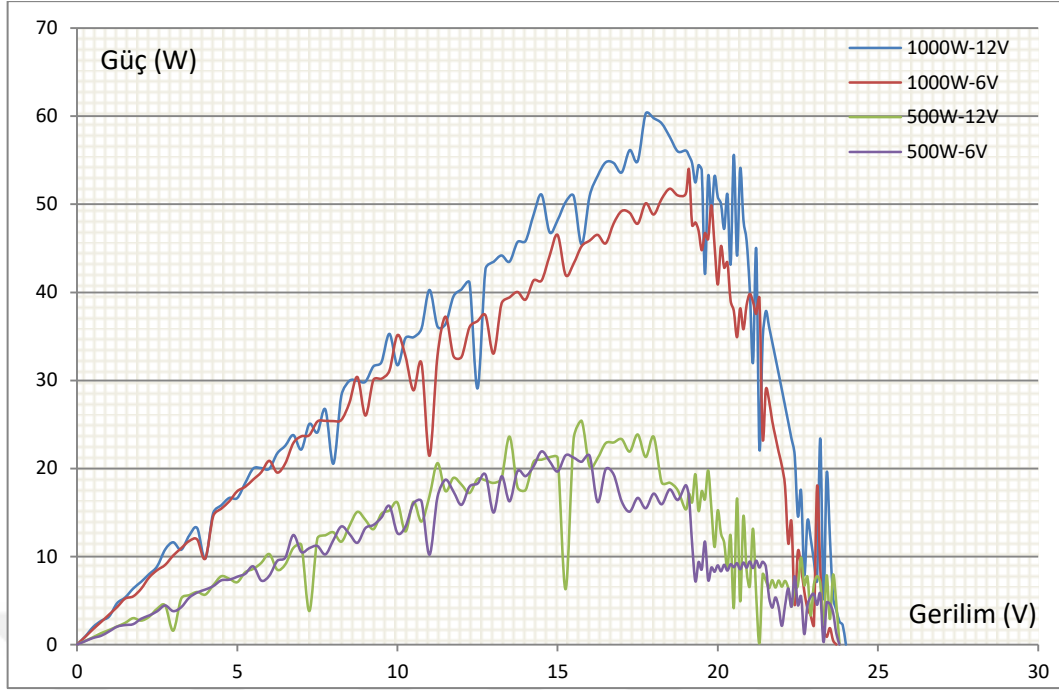
Yük	Işık şiddeti	Sıcaklık	Vpv	Ipv	P pv	Vo	Io	Po	Verim
6 V	1000W/m ²	25°C	19.1 V	2.6 A	49.66 W	6 V	7.2 A	43.2 W	86 %
6 V	500W/m ²	25°C	14.7 V	1.5 A	22 W	6 V	2.7 A	16.2 W	73 %
12 V	1000W/m ²	25°C	18 V	3.4 A	61.2 W	12 V	4.43 A	53.24 W	87 %
12 V	500W/m ²	25°C	18.2 V	1.3 A	23.66 W	12 V	1.6 A	19.2 W	81 %

- V_{pv} : Güneş simülatöründe okunan PV voltaj değeri
- I_{pv} : Güneş simülatöründe okunan PV akım değeri
- V_o : İstenen voltaj değeri
- I_o : Şarj akımı
- Verim : $\eta_{mppt} = \frac{P_o}{P_{pv}} = \frac{V_o * I_o}{V_{pv} * I_{pv}}$

Şekil 4.33'te gösterildiği gibi, kaydedilen tüm sonuçları karşılaştırmak için LabVIEW'den alınan tüm veriler Microsoft Excel'e aktarıldı. Bu senaryoda, elde edilen tüm verileri tasarlanan sistem vasıtası ile Şekil 4.34'te görüldüğü gibi dört farklı (P-V) eğrisi dört farklı test çalışması için gösterilmiştir.



Şekil 4.33 LabVIEW'den alınan tüm verilerin Microsoft Excel'e aktarılması

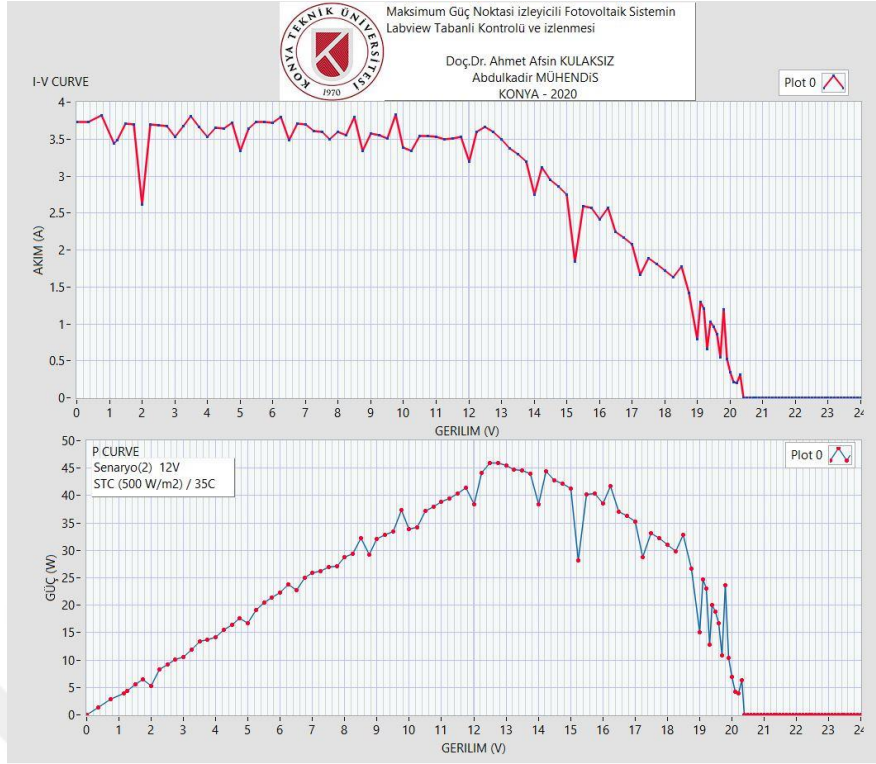


Şekil 4.34 Birinci senaryonun sonuçları

Şekil 4.34'te görüldüğü gibi, bu senaryoda tasarlanan sistemin farklı yüklere göre farklı ışık şiddetlerinden etkilendiği, maksimum güç noktasına karşılık gelen gerilim değerlerinin değiştiği ve sistem tarafından etkin şekilde belirlenebildiği gözlenmiştir.

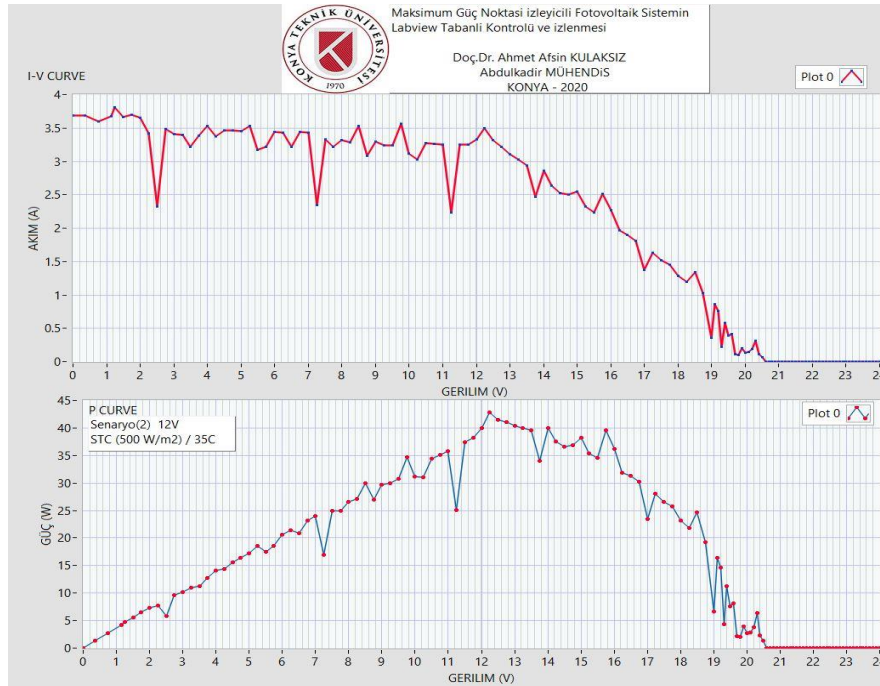
4.2.6.2. Senaryo 2

Bu senaryoda, fotovoltaik panelin düzgün ışınlam aldığı durum için yazılan algoritmanın davranışı ve uzun süreli çalışmada elde edilebilecek enerji verimliliği incelenmiştir. Şekil 4.14'te görüldüğü gibi, laboratuvar ortamında tasarlanan DC-DC dönüştürücü kullanarak iki farklı sıcaklık değeri (25°C , 35°C) esnasında sabit ışık şiddeti (1000 W/m^2) uygulanarak fotovoltaik panelin çıkış gücünün değişimi (12V, 6V) çıkışlar için test sonuçları incelenmiştir. (25°C , 1000 W/m^2) uygulanarak (12V) için sistemin ürettiği elektrik güç eğrisi Şekil 4.28'de görüldüğü gibi elde edilmiştir. 6V için ise Şekil 4.29'da elde edilmiştir. Bu çalışmada, farklı sıcaklık değeri için (35°C) esnasında tekrarlanacak test çalışmaları Şekil 4.35'te verilen grafikte, sabit ışınlam şiddeti (1000 W/m^2) uygulanarak fotovoltaik panelin çıkış gücünün değişimi (12V) yük için görülmektedir.



Şekil 4.35 (35°C, 1000 W/m²) uygulandığında (12V) için sistemin ürettiği elektrik güç eğrisi

Farklı çıkış (6V) için ise şarj edilen lityum iyon pil üniteleri yeniden boşaltılıp tekrar başlatıldığı durumda (35°C) esnasında yapılan test çalışmalarda (1000 W/m²) uygulanarak yeni oluşturulan fotovoltaik panelin çıkış gücünün değişimi Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



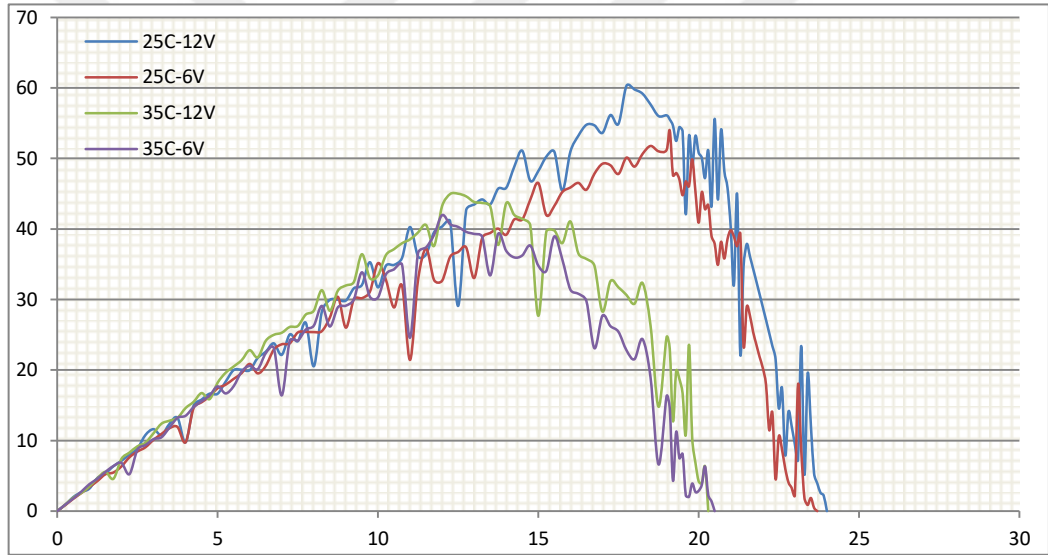
Şekil 4.36 (35°C, 1000 W/m²) uygulandığında (6V) için sistemin ürettiği elektrik güç eğrisi

Bu çalışmada, farklı koşullara göre yapılan test çalışmaları enerji verimi performansının çizelge 4.4'te verildiği gibidir:

Çizelge 4.4 İkinci senaryonun sonuçları

Yük	Işınım	Sıcaklık	V _{pv}	I _{pv}	P _{pv}	V _o	I _o	P _o	Verim
6 V	1000W/m ²	25°C	19.1 V	2.6 A	49.66 W	6 V	7.2 A	43.2 W	86 %
6 V	1000W/m ²	35°C	12.4 V	3.6A	44.64 W	6 V	5.7 A	34.2 W	76 %
12 V	1000W/m ²	25°C	18 V	3.4 A	61.2 W	12 V	4.43 A	53.24 W	87 %
12 V	1000W/m ²	35°C	12.5 V	3.6 A	45 W	12 V	3.38 A	40.56 W	90 %

Şekil 4.37'de gösterildiği gibi, kaydedilen tüm sonuçları karşılaştırmak için LabVIEW'den alınan tüm veriler Microsoft Excel'e aktarıldı. Bu senaryoda, elde edilen tüm verileri tasarlanan sistem vasıtası ile Şekil 4.37'de görüldüğü gibi dört farklı (P-V) eğrisi dört farklı test çalışmalar için gösterilmiştir.



Şekil 4.37 Senaryo -2 sonuçları (elde edilen MPPT eğrileri)

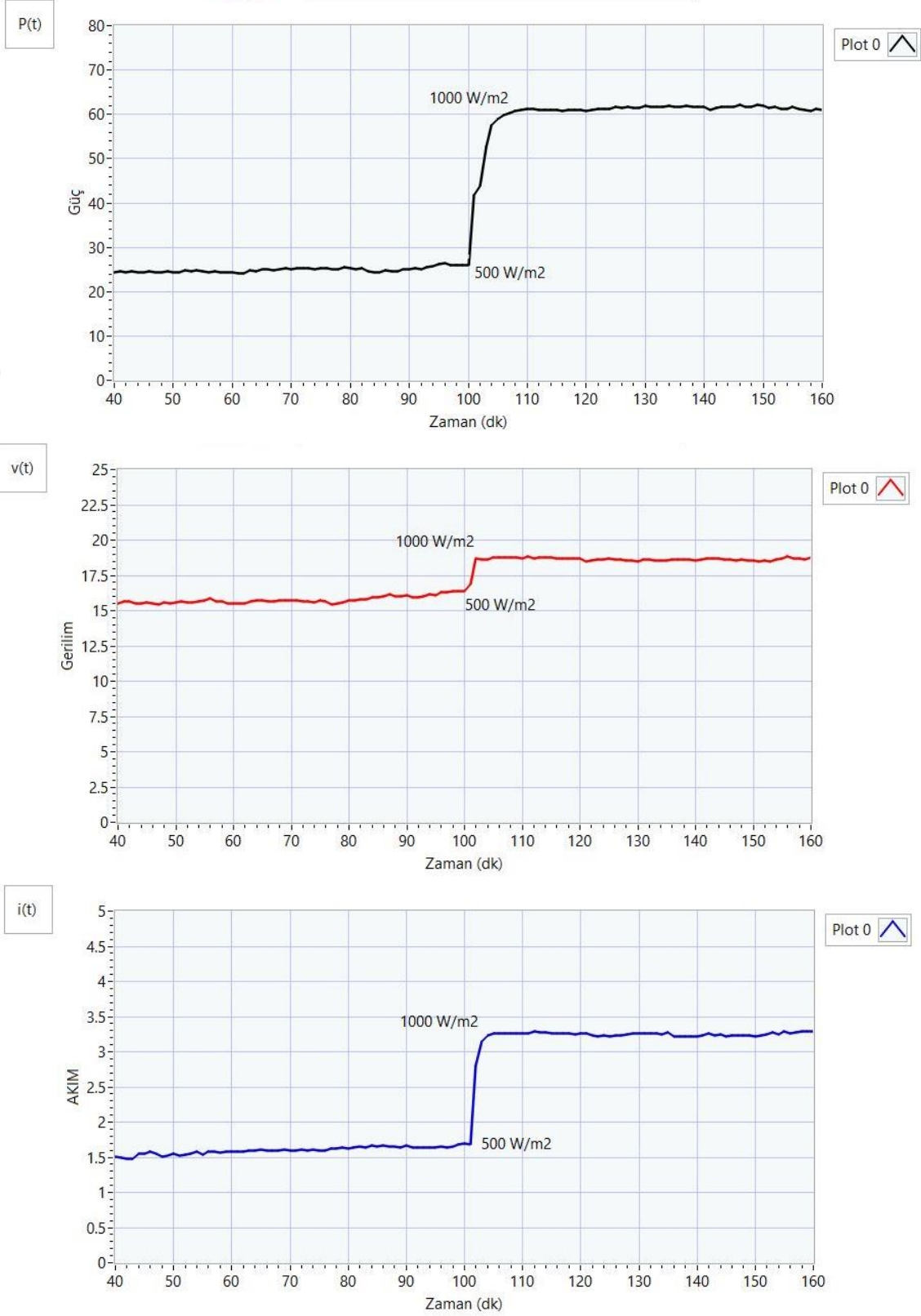
Şekil 4.37'de gösterildiği gibi, bu senaryoda tasarlanan sistemin farklı yüklere göre farklı sıcaklıklardan etkilendiği görülmektedir.

Şekil 4.38'de değişken güneş ışıınımı koşullarında ılık şiddeti değişimi sonucu çıkış gücünün değişimi gösterilmiştir. 500W/m² 'den 1000W/m²'ye artış yöndeki ılık şiddeti değişimlerinde algoritmanın daima maksimum noktada çalışmayı sağladığı gösterilmiştir. Ters yöndeki ılık şiddeti değişimlerinde ki değişim (1000W/m² 'den 500W/m²'ye) Şekil 4.39'da gösterilmiştir.



Maksimum Güç Noktası izleyicisi

Doç.Dr. Ahmet Afsin KULAKSIZ
Abdulkadir MÜHENDİS
KONYA - 2020

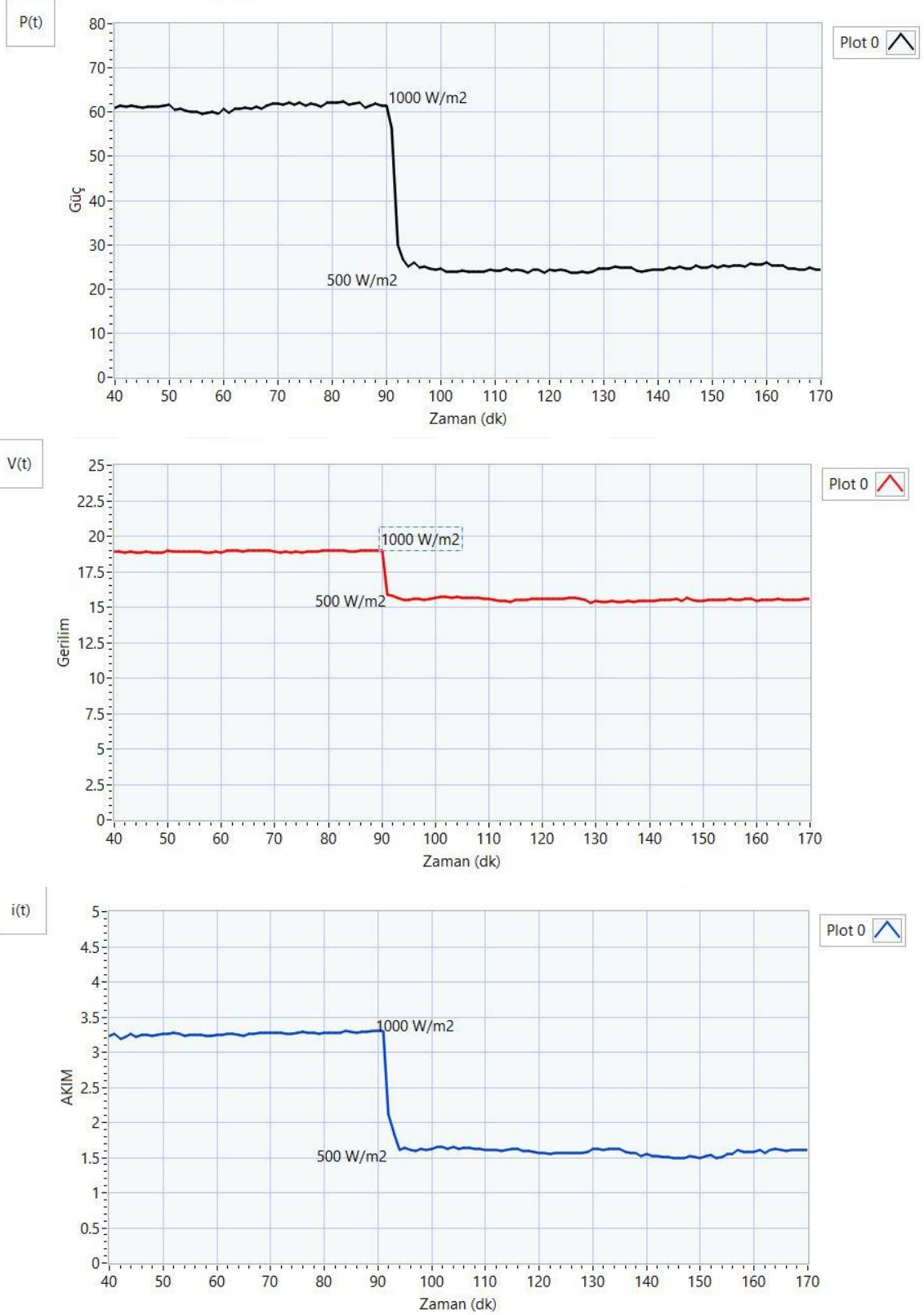


Şekil 4.38 Anlık değişimler (500 W/m^2 'den 1000 W/m^2 'ye) için maksimum güç değişim eğrileri



Maksimum Güç Noktası izleyicisi

Doç.Dr. Ahmet Afsin KULAKSIZ
Abdulkadir MÜHENDİS
KONYA - 2020



Şekil 4.39 Anlık değişimler (1000 W/m^2 'den 500 W/m^2 'ye) için maksimum güç değişim eğrileri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada fotovoltaiik panellerden maksimum güç noktası tespiti amacıyla, ayarlanabilir ışık şiddetlerini kullanarak LabVIEW tabanlı bir MPPT algoritması geliştirilmiştir. Tasarlanan sistem Solimpeks şirketinde yer alan güneş simülatörü tarafından alınan ışınım veri setleri kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada test çalışmaları laboratuvar ortamında hazırlanmış bir test platformu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan test çalışmalarında ilk senaryoda fotovoltaiik panelin iki farklı ışınım aldığı durum için yazılan algoritmanın davranışı ve elde edilebilecek enerji verimliliği incelenmiştir. Elde edilen analizlere göre MPPT'nin ışınım seviyelerinden nasıl etkilenebileceği gösterilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki tüm parametreler sabit olduğunda, ışınım ne kadar yüksek olursa, çıkış akımı o kadar büyük olur ve sonuç olarak, üretilen güç o kadar büyük olur.

İkinci olarak tasarlanan P&O algoritması fotovoltaiik panelin düzgün ışınım aldığı durum için yazılan algoritmanın davranışı ve uzun süreli çalışmada elde edilebilecek enerji verimliliği incelenmiştir. Laboratuvar ortamında, tasarlanan DC-DC dönüştürücü kullanarak iki farklı sıcaklık değeri (25°C, 35°C) esnasında, sonuçlar sıcaklığın, kristalli bir PV modülünün çıkış voltajı ve gücü üzerinde büyük bir etkisi olduğunu göstermiştir. Yüksek sıcaklıklarda, düşük voltajlı modüller li-ion pili tam olarak şarj edemeyebilir.

Bu çalışmalara ek olarak tasarlanan sistemin uzun süreli enerji verimliliklerini incelemek ve karşılaştırmak amacıyla iki senaryo için de fotovoltaiik panel ve dönüştürücü tarafının toplam enerjileri bulunarak yüzdesel olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki performansı karşılaştırılan diğer yöntemlerden daha iyi bilinen MPPT yöntemlerinin yenilik olarak LabVIEW tabanlı gerçekleştirilmesi, böylece de kullanıcıya sağladığı görsel avantajlarla, algoritmanın etkin şekilde çalıştığının doğrulanması imkanın olması vurgulanabilir.

Önerilen yöntem, PV sıcaklığını, kısa devre akımının ve bununla bağlantılı olarak, kısa devre akımının ve STC'deki referansının, ışık şiddeti değişimine orantılı olan ve MPP'yi kesin olarak belirleyen ek özellikleridir.

5.2. Öneriler

Fotovoltaik güç sistemlerinde elde edilen maksimum güç, ortam sıcaklığı ve ışık şiddetine çok bağlı olduğundan, sistemin optimizasyonunda büyük önem taşıdığı gözlemlenmiştir.

Yazılım ve donanım teknolojilerinin senkron olarak gelişmesi ve gerçekleştirilen bu tip çalışmalar ile güneş enerjisi sistemlerinde güç optimizasyonuna yönelik çalışmaları uygun maliyetli sistemler kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir.

Tez çalışması kapsamında LabVIEW kullanarak kurulan bu sistemde, laboratuvar ortamında piyasa kullanımına uygun, ilgili deneysel çalışmaların yapılabilmesinin yanısıra eğitim sektöründe, PV sistem ve veri toplama sistemleri için de kullanılabilir. PV sistem üzerinde veri toplamanın etkili bir şekilde yapılması, PV panellerin eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalara yardımcı olacak ve yapay zeka tabanlı farklı MPPT algoritmalarının gerçekleştirilebilmesi için gerekli verilerin elde edilmesine imkan sağlayacaktır.

Sunulan sonuçlar tasarlanan sistem için kabul edilebilir bir performans göstermiştir. LabVIEW tabanlı yapılan bu çalışma, gerçek uygulama ortamına aktarılabilir. Bu amaçla düşük maliyetli sistemler tezde ayrıntılarıyla incelenmiş ve gelecekteki uygulamalar için tavsiyeler verilmiştir.

KAYNAKLAR

- Acharya, P., Shaikh, M., Jha, S. ve Papadakis, A., 2016, Electrical Modelling Of a Photovoltaic Module, *Engineering and Industry Series Volume Power Systems, Energy Markets and Renewable Energy Sources in South-Eastern Europe*.
- Akdeniz, H. Y., 2019, Arduino tabanlı mppt solar şarj kontrolörü tasarımı ve uygulaması.
- Akkaya, R. ve Kulaksiz, A., 2004, A microcontroller-based stand-alone photovoltaic power system for residential appliances, *Applied Energy*, 78 (4), 419-431.
- Bakım, S., 2016, Yeni Bir P&O Tabanlı Mppt Algoritması Tasarımı ve Performansının Testi.
- Bishop, R. H., 2007, LabVIEW 8, Pearson, p.
- Bitter, R., Mohiuddin, T. ve Nawrocki, M., 2017, LabVIEW: Advanced programming techniques, Crc Press, p.
- Büyükgüzel, B. ve Aksoy, M., 2016, A current-based simple analog MPPT circuit for PV systems, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24 (5), 3621-3637.
- Chalh, A., Motahhir, S., El Hammoumi, A., El Ghzizal, A. ve Derouich, A., 2018, Study of a Low-Cost PV Emulator for Testing MPPT Algorithm Under Fast Irradiation and Temperature Change, *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, 3 (1), 11.
- Chehouri, A., Ghandour, M. ve Livinti, P., 2014, A real time simulation of a photovoltaic system with maximum power point tracking.
- Çoramık, A. G. D. M., Ege, Y. ve Çıtak, Ö. G. D. H., Bir Veri Toplama Uygulaması: Arduino, LINX ve LabVIEW.
- El Hammoumi, A., Motahhir, S., Chalh, A., El Ghzizal, A. ve Derouich, A., 2018, Low-cost virtual instrumentation of PV panel characteristics using Excel and Arduino in comparison with traditional instrumentation, *Renewables: Wind, Water, and Solar*, 5 (1), 3.
- Eşme, E., 2006, Uzaktan kontrol edilebilen bir kalp cihazı tasarımı, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Gaga, A., Errahimi, F. ve Es-Sbai, N., 2014, Design and implementation of MPPT solar system based on the enhanced P&O algorithm using Labview, 2014 *International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, 203-208.
- Hemza, A., Abdeslam, H., Rachid, C., Pasquinelli, M. ve Barakel, D., 2015, Tracing current-voltage curve of solar panel Based on LabVIEW Arduino Interfacing, *International Journal of Informatics Technologies*, 8 (3), 117.

- Hussein, K., Muta, I., Hoshino, T. ve Osakada, M., 1995, Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions, *IEEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 142 (1), 59-64.
- Kangal, H., 2008, Fotovoltaik sistem analizi ve Labview tabanlı MPPT simülasyonu, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.
- Karaköse, E. A. M. ve Akın, E., Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Eğitiminde Sanal Laboratuvarların Kullanımı, *Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendislikleri Eğitimi 1. Ulusal Sempozyumu*, 166-169.
- Karami, N., Moubayed, N. ve Outbib, R., 2017, General review and classification of different MPPT Techniques, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 1-18.
- Kulaksız, A. ve Akkaya, R., 2003, Maksimum güç noktası izleyicili foto voltaik güç sisteminin mikro denetleyici tabanlı kontrolü, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kayseri-Türkiye*, 53-61.
- Kulaksız, A. A., ALHAJOMAR, F. ve GOKKUS, G., 2019, Rapid Control Prototyping based on 32-Bit ARM Cortex-M3 Microcontroller for Photovoltaic MPPT Algorithms, *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 9 (4), 1938-1947.
- Kulaksız, A. A., 2007, Maksimum güç noktası izleyicili ve UVM inverterli fotovoltaik sistemin yapay sinir ağları tabanlı kontrolü, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Masoum, M. A., Dehbonei, H. ve 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.
- Mertens, K., 2018, Photovoltaics: fundamentals, technology, and practice, John Wiley & Sons, p.
- Motahhir, S., Chalh, A., Ghzizal, A., Sebti, S. ve Derouich, A., 2017, Modeling of photovoltaic panel by using proteus.
- Motahhir, S., Chalh, A., El Ghzizal, A. ve Derouich, A., 2018, Development of a low-cost PV system using an improved INC algorithm and a PV panel Proteus model, *Journal of Cleaner production*, 204, 355-365.
- MÜHENDİS, A. ve KULAKSIZ, A. A., 2019, LabVIEW Based Monitoring System Applied for Virtual Photovoltaic Modules Characteristics.
- Mutoh, N., Matuo, T., Okada, K. ve Sakai, M., 2002, Prediction-data-based maximum-power-point-tracking method for photovoltaic power generation systems, *2002 IEEE 33rd Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference. Proceedings (Cat. No. 02CH37289)*, 1489-1494.

- nath Naidu, B., 2016, Voltage based P&O algorithm for maximum power point tracking using labview, *Innovative Systems Design and Engineering*, 7, 12-16.
- ONAT, N. ve ERSÖZ, S., FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI.
- Pociask-Bialy, M. ve Maciejko, R., 2018, QuickSun 830A module solar simulator. Study of mini PV modules, *E3S Web of Conferences*, 00083.
- Sumathi, S., Surekha, P. ve Surekha, P., 2007, LabVIEW based advanced instrumentation systems, Springer Berlin, p.
- Tariq, A. ve Asghar, M. J., 2006, Development of microcontroller-based maximum power point tracker for a photovoltaic panel, *2006 IEEE Power India Conference*, 5 pp.
- Velkovski, B. ve Pejovski, D., 2016, Application of Incremental Conductance MPPT method for a photovoltaic generator in LabView, *Poster 20th International Student Conference on Electrical Engineering*, 1-6.
- Xiao, W. ve Dunford, W. G., 2004, A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic power systems, *2004 IEEE 35th annual power electronics specialists conference (IEEE Cat. No. 04CH37551)*, 1957-1963.
- Yahfdhou, A., Mahmoud, A. ve Youm, I., 2013, Modeling and optimization of a photovoltaic generator with matlab/simulink, *International Journal of I Tech and E Engineering*, 3 (4), 108-111.
- Yamaguchi, M., Nishimura, K.-I., Sasaki, T., Suzuki, H., Arafune, K., Kojima, N., Ohsita, Y., Okada, Y., Yamamoto, A. ve Takamoto, T., 2008, Novel materials for high-efficiency III-V multi-junction solar cells, *Solar Energy*, 82 (2), 173-180.
- Younas, U., Akdemir, B. ve Kulaksiz, A. A., Modeling and simulation of a grid-connected PV system under varying environmental conditions, *International Journal of Energy Applications and Technologies*, 6 (1), 17-23.

EKLER

EK I. ATmega328P Mikrodenetleyicinin Programı

```
// Maximum Power Point Tracking "MPPT"
// Eng. Abdulkadir MÜHENDİS, M.Sc. Candidate
// Dr. Ahmet Afşin Kulaksız
// KONYA Technical University, 2020
// =====
#include "readVCC.h"
#include <statusLED.h>
#include <PWMFrequency.h>

// ACS712 Akım sensörü
#if F_CPU == 16000000 // ACS712 5V frekansı
const float acs712VoltsPerAmp = 0.185; //0.185 (5A), 0.100 (20A), 0.06 (30A) için yazılabilir
#endif

#if F_CPU == 8000000 // ACS712 3.3V beslemesi
const float acs712VoltsPerAmp = 0.1221; // 0.1221 (5A), 0.06 (20A), 0.043 (30A) için yazılabilir
#endif

const int acs712Offset = 518; // offset değeri
#define DEBUG // test etmek için
#define PWM 10
#define VSENSE_IN A1 //V1
#define ISENSE_OUT A2 //I2
#define VSENSE_OUT A0 //V2
#define POT A3
#define CV 1 // Sabit Gerilim
#define CC 2 // Sabit Akım
#define MPPT 3 // MPPT
#define BP 4 // Akü koruma modu

// Global Değişken
float inputVoltage;
float inputCurrent;
float outputPower;
float outputPowerDelta;
float outputPowerPrevious = 9999.0; // Başlangıç değeri
float outputVoltage;
float outputVoltagePrevious;
float outputCurrent;
byte controlMode;
float pwm; // float değişkeni
boolean trackingDownwards; // true = downwards demek
float vcc = 4.5;

// Konfigürasyon Değişken
float minPanelVoltage = 12.0;
float targetPanelVoltage = 14.0;
float maxPanelVoltage = 16.0;
// Not: targetOutputVoltage potansiyometre ile ayarlanır !
float targetOutputVoltage = 4.2;
float trackingIncrement = 0.5;
float maxOutputCurrent = 1.0;
float efficiency = 0.82;
int green_led = 3;
int yello_led = 4;
int red_led = 5;
int relay1 = 6;
int relay2 = 7;
```

```

void setup() {
  // serial port setup
  #ifdef DEBUG
  Serial.begin(19200);
  #endif

  // PWM frequency
  setPWMPrescaler(PWM, 1 );           // 1 = 31.5kHz

  // Output setup
  pinMode(PWM, OUTPUT);
  pinMode(green_led, OUTPUT);
  pinMode(yello_led, OUTPUT);
  pinMode(red_led, OUTPUT);
  pinMode(relay1, OUTPUT);
  pinMode(relay2, OUTPUT);

  // switch off output
  analogWrite(PWM, 0);
}

// POTANSİYOMETRE OKUMA FONKSİYONU
void readPot() {
  targetOutputVoltage = analogRead(POT) / 1023.0 + 4.2;    // 4.2 - 5.2V arası
}

// SENSÖR OKUMA FONKSİYONU

// Averaging subfunctions
float averageA() {
  static float raw[4];
  raw[3] = raw[2];
  raw[2] = raw[1];
  raw[1] = raw[0];
  raw[0] = (analogRead(ISENSE_OUT) - acs712Offset) * vcc / acs712VoltsPerAmp / 1024;
  float average = (raw[0] + raw[1] + raw[2] + raw[3]) / 4.0;
  return average;
}

void readSensors() {
  inputVoltage = analogRead(VSENSE_IN) * vcc / 93;          //1023=vcc*110/10=1023/55=18.6
  outputCurrent = averageA();
  outputPower = outputVoltage * outputCurrent;
  outputVoltage=inputVoltage-(analogRead(VSENSE_OUT)*vcc/92); //1023=vcc*110/10=1023/55=18.6
  inputCurrent = outputCurrent * outputVoltage / inputVoltage / efficiency;
}

// KORUMA FONKSİYONU
void lockout() {
  pwm = 0;
  analogWrite(PWM, pwm);                                     // Switch output off
  #ifdef DEBUG
  Serial.print("Over voltage lockout! ");
  Serial.println(outputVoltage);
  #endif
}

```

```

// MPPT FONKSİYONU
void mppt() {
// Read current voltages and current
readSensors();

// Panel undervoltage lockout (Koruma)
while (outputVoltage < 1.0 && inputVoltage < 15.0) { // 1.5-15.0 arası
pwm = 0;
analogWrite(PWM, pwm);

//LED.on();
Serial.println("Panel undervoltage, waiting for more sun...");
delay(2000);
checkVcc();
readSensors();
}

// Voltage and current controllers
// Eğer output voltage == desired voltage, O zaman control target = output voltage
if (outputVoltage > (targetOutputVoltage - 0.2) && (outputCurrent <= maxOutputCurrent) )
{
pwm += targetOutputVoltage - outputVoltage; // simple p (differential) controller
if (inputVoltage < minPanelVoltage)
pwm -= minPanelVoltage - inputVoltage;
controlMode = CV; // Constant Voltage Mode
}

// Else if current only is above limit: control target = output current
else if ((outputCurrent > maxOutputCurrent) && (outputVoltage < targetOutputVoltage))
{
pwm -= outputCurrent - maxOutputCurrent;
controlMode = CC; // Constant Current Mode
}

// Else if current AND voltage are above limit: decrease PWM
else if ((outputCurrent > maxOutputCurrent) && (outputVoltage > targetOutputVoltage))
{
pwm --;
controlMode = BP; // Koruma modu
}

// else: control target = MPPT
else {
controlMode = MPPT; // MPPT Fonksiyonu

// MPPT (max. input power) tracking direction (upwards/downwards is related to panel voltage)
static unsigned long lastMppt;
if (millis() - lastMppt >= 1000) { // Her 1000ms
lastMppt = millis();

// Calculate power delta
outputPowerDelta = outputPower - outputPowerPrevious;
if (trackingDownwards) targetPanelVoltage -= trackingIncrement;
else targetPanelVoltage += trackingIncrement;

// Tracking direction is depending on the panel voltage, if outside limits
if (targetPanelVoltage <= minPanelVoltage) {
targetPanelVoltage = (minPanelVoltage + maxPanelVoltage) / 2;
#ifdef DEBUG

```



```

Serial.println("PV lim. -"); #endif }
else if (targetPanelVoltage >= maxPanelVoltage) {
targetPanelVoltage = (minPanelVoltage + maxPanelVoltage) / 2;
#ifdef DEBUG
Serial.println("PV lim. +");
#endif
}

else { // if within voltage limits, search for maximum power point!
// Wrong tracking direction (less power than previously), öyleyse değiştir
if (outputPowerDelta < 0.1) { // 0.03A current sensor step * 20V = 0.6W
trackingDownwards = !trackingDownwards;
}
}

// Bir sonraki karşılaştırma için önceki gücü kaydet
outputPowerPrevious = outputPower;
}

// Deviation Hesaplama
static unsigned long lastCalc;
if (millis() - lastCalc >= 50) { // Her 50ms
lastCalc = millis();
pwm -= targetPanelVoltage - inputVoltage; // simple p (differential) controller
}}

// Koruma
if (outputVoltage > (targetOutputVoltage + 1.0)) lockout(); // Output overvoltage protection
// Write PWM output
pwm = constrain(pwm, 0, 150 );
pwm = analogRead(POT) * 256 / 1024;
serialPrint();
analogWrite(PWM, pwm);
}

// LED FONKSİYONU
void led() {
if (controlMode == MPPT)
digitalWrite(green_led, HIGH);
else
digitalWrite(green_led, LOW);
if (controlMode == CV)
digitalWrite(yello_led, HIGH);
else
digitalWrite(yello_led, LOW);
if (controlMode == CC)
digitalWrite(yello_led, HIGH);
else
digitalWrite(yello_led, LOW);
if (controlMode == BP)
digitalWrite(red_led, HIGH);
else
digitalWrite(red_led, LOW);
}

// VCC Gerilim Kontrolu
void checkVcc() {
static unsigned long lastVcc;
if (millis() - lastVcc >= 1000) { // Her 1000ms
lastVcc = millis();
vcc = readVcc() / 1000.0;
}}

```

```

// SERIAL PRINT FONKSİYONU
void serialPrint() {
#ifdef DEBUG
static unsigned long lastPrint;
if (millis() - lastPrint >= 1000) { // Every 1000ms
lastPrint = millis();
// Mode
if (controlMode == MPPT) {
Serial.print("MPPT ");
Serial.print(trackingDownwards);
}
if (controlMode == CV) {
Serial.print("CV ");
}
if (controlMode == CC) {
Serial.print("CC ");
}
if (controlMode == BP) {
Serial.print("BP ");
}
// Input
Serial.print("\t In T. V: ");
Serial.print(targetPanelVoltage);
Serial.print("\t In V: ");
Serial.print(inputVoltage);
Serial.print("\t A: ");
Serial.print(inputCurrent);
// Output
Serial.print("\t Out T. V: ");
Serial.print(targetOutputVoltage);
Serial.print("\t Out V: ");
Serial.print(outputVoltage);
Serial.print("\t A: ");
Serial.print(outputCurrent);
Serial.print("\t W: ");
Serial.print(outputPower);
Serial.print("\t Delta W: ");
Serial.print(outputPowerDelta);
Serial.print("\t PWM: ");
Serial.print(pwm);
Serial.print("\t vcc: ");
Serial.println(vcc);
}
#endif
}

// ANA DÖNGÜ
void loop() {
readPot();
mppt();
led();
checkVcc();
}

```

EK II. LABVIEW Kütüphanesi

```
#include "LabVIEWInterface.h"
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#define FIRMWARE_MAJOR 02
#define FIRMWARE_MINOR 00
#if defined(__AVR_ATmega1280__) || defined(__AVR_ATmega2560__)
#define DEFAULTBAUDRATE 9600
#else
#define DEFAULTBAUDRATE 115200
#endif
#define MODE_DEFAULT 0
#define COMMANDLENGTH 15 //LabVIEW Komutundaki Bayt Sayısını tanımlama
unsigned char currentCommand[COMMANDLENGTH];
```

//Veri toplama değişkenler

```
unsigned char acqMode;
unsigned char contAcqPin;
float contAcqSpeed;
float acquisitionPeriod;
float iterationsFlt;
int iterations;
float delayTime;
void setMode(int mode)
{
    currentMode = mode;
}
int bufferBytes = Serial.available();
if(bufferBytes >= COMMANDLENGTH)
{
    // New Command Ready, Process It
    // Build Command From Serial Buffer
    for(int i=0; i<COMMANDLENGTH; i++)
    {
        currentCommand[i] = Serial.read();
    }
    processCommand(currentCommand);
    return 1;
}
else
{
    return 0;
}
}
// Belirli bir komutu işleme
void processCommand(unsigned char command[])
{
    // Determine Command
    if(command[0] == 0xFF && checksum_Test(command) == 0)
    {
        switch(command[1])
        {
            //LIFA Maintenance Commands
            case 0x00: // Sync Packet
                Serial.print("sync");
                Serial.flush();
                break;
            case 0x01: // Flush Serial Buffer
                Serial.flush();
                break;
```

//Digital I/O Commands

```

case 0x02: // Set Pin As Input Or Output
pinMode(command[2], command[3]);
Serial.write('0');
break;
case 0x03: // Write Digital Pin
digitalWrite(command[2], command[3]);
Serial.write('0');
break;
case 0x04: // Write Digital Port 0
writeDigitalPort(command);
Serial.write('0');
break;
case 0x05:
freq = ( (command[3]<<8) + command[4]);
duration=(command[8]+ (command[7]<<8)+ (command[6]<<16)+(command[5]<<24));

if(freq > 0)
{
tone(command[2], freq, duration);
}
else
{
noTone(command[2]);
}
Serial.write('0');
break;
case 0x06: // Read Digital Pin
retVal = digitalRead(command[2]);
Serial.write(retVal);
break;
case 0x07: // Digital Read Port
retVal = 0x0000;
for(int i=0; i <=13; i++)
{
if(digitalRead(i))
{
retVal += (1<<i);
}
}
Serial.write( (retVal & 0xFF));
Serial.write( (retVal >> 8));
break;

```

// Low Level - Analog Commands

```

case 0x08: // Analog Pin Okuma
retVal = analogRead(command[2]);
Serial.write( (retVal >> 8));
Serial.write( (retVal & 0xFF));
break;
case 0x09: // Analog Read Port
analogReadPort();
break;

```

//Low Level - PWM Commands

```

case 0x0A: // PWM yazma pini
analogWrite(command[2], command[3]);
Serial.write('0');
break;
case 0x0B: // PWM Write 3 Pins

```

```

analogWrite(command[2], command[5]);
analogWrite(command[3], command[6]);
analogWrite(command[4], command[7]);
Serial.write('0');
break;

//I2C
case 0x0E: // Initialize I2C
Wire.begin();
Serial.write('0');
break;
case 0x0F: // I2C Data Gönderme
Wire.beginTransaction(command[3]);
for(int i=0; i<command[2]; i++)
{
#if defined(ARDUINO) && ARDUINO >= 100
Wire.write(command[i+4]);
#else
Wire.send(command[i+4]);
#endif
}
Wire.endTransmission();
Serial.write('0');
break;
case 0x10: // I2C Okuma
i2cReadTimeouts = 0;
Wire.requestFrom(command[3], command[2]);
while(Wire.available() < command[2])
{
i2cReadTimeouts++;
if(i2cReadTimeouts > 100)
{
return;
}
else
{
delay(1);
}
}

for(int i=0; i<command[2]; i++)
{
#if defined(ARDUINO) && ARDUINO >= 100
Serial.write(Wire.read());
#else
Serial.write(Wire.receive());
#endif
}
break;

// Veri toplama yöntemi
case 0x2A: // Aquisition Mode On
acqMode=1;
contAcqPin=command[2];
contAcqSpeed=(command[3])+(command[4]<<8);
acquisitionPeriod=1/contAcqSpeed;
iterationsFlt =.08/acquisitionPeriod;
iterations=(int)iterationsFlt;
if(iterations<1)
{

```

```

iterations=1;
}
delayTime= acquisitionPeriod;
if(delayTime<0)
{
delayTime=0;
}
break;
case 0x2B:                                     //Aquisition Mode Off
acqMode=0;
break;
case 0x2C:                                     // Return Firmware Revision
Serial.write(byte(FIRMWARE_MAJOR));
Serial.write(byte(FIRMWARE_MINOR));
break;
case 0x2D:                                     // Perform Finite Aquisition
Serial.write('0');
finiteAcquisition(command[2],(command[3])+(command[4]<<8),command[5]+(command[6]<<8));
break;

// Bilinmeyen Paketler
default:                                       // Default Case
Serial.flush();
break;
}
else{
Serial.flush();
}
}

// Writes Values To Digital Port (DIO 0-13)
void writeDigitalPort(unsigned char command[])
{
digitalWrite(13, (( command[2] >> 5) & 0x01) );
digitalWrite(12, (( command[2] >> 4) & 0x01) );
digitalWrite(11, (( command[2] >> 3) & 0x01) );
digitalWrite(10, (( command[2] >> 2) & 0x01) );
digitalWrite(9, (( command[2] >> 1) & 0x01) );
digitalWrite(8, (command[2] & 0x01) );
digitalWrite(7, (( command[3] >> 7) & 0x01) );
digitalWrite(6, (( command[3] >> 6) & 0x01) );
digitalWrite(5, (( command[3] >> 5) & 0x01) );
digitalWrite(4, (( command[3] >> 4) & 0x01) );
digitalWrite(3, (( command[3] >> 3) & 0x01) );
digitalWrite(2, (( command[3] >> 2) & 0x01) );
digitalWrite(1, (( command[3] >> 1) & 0x01) );
digitalWrite(0, (command[3] & 0x01) );
}

// Reads all 6 analog input ports, builds 8 byte packet, send via RS232
void analogReadPort()
{
// Read Each Analog Pin
int pin0 = analogRead(0);
int pin1 = analogRead(1);
int pin2 = analogRead(2);
int pin3 = analogRead(3);
int pin4 = analogRead(4);
int pin5 = analogRead(5);

```

```

//Build 8-Byte Packet From 60 Bits of Data Read
char output0 = (pin0 & 0xFF);
char output1 = ( ((pin1 << 2) & 0xFC) | ( (pin0 >> 8) & 0x03) );
char output2 = ( ((pin2 << 4) & 0xF0) | ( (pin1 >> 6) & 0x0F) );
char output3 = ( ((pin3 << 6) & 0xC0) | ( (pin2 >> 4) & 0x3F) );
char output4 = ( (pin3 >> 2) & 0xFF);
char output5 = (pin4 & 0xFF);
char output6 = ( ((pin5 << 2) & 0xFC) | ( (pin4 >> 8) & 0x03) );
char output7 = ( (pin5 >> 6) & 0x0F );

// Write Bytes To Serial Port
Serial.print(output0);
Serial.print(output1);
Serial.print(output2);
Serial.print(output3);
Serial.print(output4);
Serial.print(output5);
Serial.print(output6);
Serial.print(output7);
}

// Synchronizes with LabVIEW and sends info about the board and firmware
void syncLV()
{
  Serial.begin(DEFAULTBAUDRATE);
  i2cReadTimeouts = 0;
  spiBytesSent = 0;
  spiBytesToSend = 0;
  Serial.flush();
}

// Compute Packet Checksum
unsigned char checksum_Compute(unsigned char command[])
{
  unsigned char checksum;
  for (int i=0; i<(COMMANDLENGTH-1); i++)
  {
    checksum += command[i];
  }
  return checksum;
}

// Compute Packet Checksum And Test Against Included Checksum
int checksum_Test(unsigned char command[])
{
  {
    unsigned char checksum = checksum_Compute(command);
    if(checksum == command[COMMANDLENGTH-1])
    {
      return 0;
    }
    else
    {
      return 1;
    }
  }
  void sampleContinuously()
  {
    for(int i=0; i<iterations; i++)
    {

```

```

retVal = analogRead(contAcqPin);
if(contAcqSpeed>1000)
{
    Serial.write( (retVal >> 2));
    delayMicroseconds(delayTime*1000000);
}
else
{
    Serial.write( (retVal & 0xFF) );
    Serial.write( (retVal >> 8));
    delay(delayTime*1000);
}
}
}

```

//Veri Toplama her 8 ms

```

void finiteAcquisition(int analogPin, float acquisitionSpeed, int numberOfSamples)
{
    acquisitionPeriod=1/acquisitionSpeed;

    for(int i=0; i<numberOfSamples; i++)
    {
        retVal = analogRead(analogPin);

        if(acquisitionSpeed>1000)
        {
            Serial.write( (retVal >> 2));
            delayMicroseconds(acquisitionPeriod*1000000);
        }
        else
        {
            Serial.write( (retVal & 0xFF) );
            Serial.write( (retVal >> 8));
            delay(acquisitionPeriod*1000);
        }
    }
}

```

```

void setup()
{
    // Initialize Serial Port With The Default Baud Rate
    syncLV();
}

```

```

void loop()
{
    // Check for commands from LabVIEW and process them.
    checkForCommand();
    if(acqMode==1)
    {
        sampleContinuously();
    }
}

```


ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abdulkadir MÜHENDİS
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : Halep/Suriye 29.01.1990
Telefon : +90 538 460 19 83
Faks : +90 332 239 07 64
E-Posta : Abdulkadir.muhendis@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İl	Bitirme Yılı
Üniversite	Halep Üniversitesi	Halep	2013
Yüksek Lisans	Konya Teknik Üniversitesi	Konya	2020

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-2018	Solimpeks Solar Grup	Elektronik Mühendisi
2018	AKINROBOTICS	Yazılım Mühendisi
2018-2019	MEDAŞ	Elektronik Mühendisi
2019-2020	Filkar Otomotiv	Elektronik Mühendisi

UZMANLIK ALANI

- Fotovoltaik Sistemler
- Güç Elektroniği
- Gömülü Sistemler

YABANCI DİLLER

- Arapça
- İngilizce

YAYINLAR

LabVIEW Based Monitoring System Applied for Virtual Photovoltaic Modules Characteristics (2nd International Instructional Technologies in Engineering Education Conference 12-13 September 2019 Ege University – Izmir/Turkey)