

**ARAZİ ŞARTLARINDA PERİYODİK GERİLİM VE AKIM  
ÖLÇÜM YAPAN SİSTEM İÇİN FOTOVOLTAİK GÜÇ  
ÜNİTESİ GELİŞTİRİLMESİ**

**DEVELOPING PHOTOVOLTAIC POWER UNIT FOR  
THE SYSTEM THAT MEASURES PERIODICAL  
VOLTAGE AND CURRENT IN THE FIELD CONDITION**

**İLTERİŞ KUTLUK YILDIRIM**

**PROF. DR UĞUR BAYSAL**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

**İLTERİŞ KUTLUK YILDIRIM**'nın hazırladığı “**Arazi Şartlarında Periyodik Gerilim Ve Akım Ölçüm Yapan Sistem İçin Fotovoltaik Güç Ünitesi Geliştirilmesi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Erkan AFACAN

Başkan



Prof. Dr. Uğur BAYSAL

Danışman



Prof. Dr. Işık ÇADIRCI

Üye



Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÖZKAZANÇ

Üye



Dr. Öğr. Üyesi Dinçer GÖKCEN

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak ..... / ..... /..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

17 / 06 / 2019



İlteriş Kutluk YILDIRIM

## YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren .... ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

17 / 06 / 2019

(İmza)

İlteriş Kutluk YILDIRIM

# ÖZET

## ARAZİ ŞARTLARINDA PERİYODİK GERİLİM VE AKIM ÖLÇÜM YAPAN SİSTEM İÇİN FOTOVOLTAİK GÜÇ ÜNİTESİ GELİŞTİRİLMESİ

İlteriş Kutluk YILDIRIM

Yüksek Lisans, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Uğur BAYSAL

Haziran 2019, 117 sayfa

Bu çalışmada bir boru hattı üzerine kurulacak, çeşitli fiziksel akım ve gerilim gibi çeşitli parametreleri aktaracak olan sensör ağlarına enerji sağlayacak, dayanıklı, sürdürülebilir mikrodenetleyici tabanlı küçük güçlü fotovoltaik kontrol ünitesi tasarımı yapılmıştır. Erişimin zor olduğu bölgelerde kullanılacak olan sensör ağı sistemi için verimli, sürekli ve dayanıklı güç ünitesi geliştirilmiştir. Bu amaçla fotovoltaik enerji dönüşümü sistemleri araştırılmıştır. Sensör ağlarının devamlılığını sağlamak için en önemli parametre enerji kaynağının sürekliliğidir. Bu nedenle verimli maksimum güç noktası izleyicisi (MGNI) algoritmaları ve doğrusal olmayan fotovoltaik enerjiyi sisteme uygun bir şekilde aktaracak olan küçük güçlü bir MGNI kontrol ünitesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Sistemin gereksinimleri göz önüne alınarak kullanılacak fotovoltaik panel 10W değerinde ve depolama ünitesi olarak 12V 7Ah kurşun asit batarya seçilmiştir. 15V - 21V arasındaki fotovoltaik gerilimi, bataryayı besleyebilmek amacı ile 12V - 14V değerine düşürmek amacı ile indirici tipte bir dönüştürücü tasarlanmıştır. Sistem tasarımında verimli olması, karmaşık devreler içermemesi ve kolay adapte edilebilen bir yaklaşım olması nedeniyle değiştir ve gözle algoritması ile sistem tasarımı yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. Darbe genişlik modülasyonu (DGM) ile kontrol yaklaşımı ile başka bir güç kontrol ünitesi de tasarlanmış, tasarlanan bu ünite MGNI kontrol ünitesi ile karşılaştırılmıştır.

Sensör ağ sistemini beslemek için kısıtlayıcı faktörlerin en aza indirgenmesi hedeflenmiştir. Sensör ağ sisteminin yeterli güneş ışığının alınmadığı hava şartlarında

bile paneller elektrik üretmese dahi depolanan enerji ile sistem beslenmesi sağlanmıştır. MGNI yaklaşımı ile mikrodenetleyici tabanlı bir güç ünitesi tasarımı yapılmıştır. Sistem, kablosuz sensör ağının çalışacağı 12V gerilimde 1A çeken bir yük ile test edilmiştir. Yük kontrol biriminin aktif olma süresi, sistemde bulunan gerçek zamanlı saat ile kontrol edilmiştir. Yük bloğu, 30 dakika aralıklar ile 1 ve 2 dakika süresi boyunca aktif edilerek, güç kontrol ünitesi test edilmiştir. Tasarlanan sistemlerin verimleri karşılaştırılmış ve sistemlerin eşdeğer koşullarda davranışları incelenmiştir. Panel, batarya ve kontrol ünitesi için özel bir yapı tasarlanmış, sistemin atmosferik ve zorlu çevre koşullarına karşı dayanıklılığı artırılmıştır. Veri toplayıcı ünite sistem parametrelerini bir hafıza kartı içine kaydetmiştir. Bu veriler benzetim ortamına aktarılarak kontrol ünitesinin parametre davranışları incelenmiştir. Sistemde bulunan bir ekran ile giriş – çıkış parametreleri, tarih, saat, yükün anlık harcadığı güç ve sistem verimi anlık olarak takip edilmiştir. Yapılan testler sonucunda uygulanan MGNI sisteminin %93 oranından daha yüksek bir genel verime sahip olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** MGNI, DA-DA indirici tipte dönüştürücü, Değiştir ve gözle, Kablosuz sensör ağları, Fotovoltaik sistemler

## **ABSTRACT**

### **DEVELOPING PHOTOVOLTAIC POWER UNIT FOR THE SYSTEM THAT MEASURES PERIODICAL VOLTAGE AND CURRENT IN THE FIELD CONDITION**

**İlteriş Kutluk YILDIRIM**

**Master of Science, Department of Electrical and Electronics Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Uğur BAYSAL**

**June 2019, 117 pages**

In this study, a microcontroller based small power photovoltaic control unit is designed to provide energy to wireless sensor network, which measure physical parameters, installed on a pipeline on a rural area. For that purpose, photovoltaic energy conversion systems are researched. The most crucial parameter to ensure the longevity of sensor networks is the continuity of the energy source. Therefore, studies on maximum power point tracking methods and algorithms to transfer linearly non-linear photovoltaic energy to the system in a convenient way. 10W photovoltaic panel and 12V 7Ah storage unit are determined to use in the system considering requirements of the proposed design. In order to reduce the higher photovoltaic voltage to supply battery, a buck converter is designed. Perturb and observe algorithm is used as MPPT method. Perturb and observe algorithm is easily adaptable approach and does not need complex circuits to operate. Another photovoltaic control method named pulse width modulation control is designed and compared with MPPT control unit.

The goal of this study is to design a stand-alone, durable, rugged, sustainable and high efficient microcontroller based photovoltaic (PV) power control system and minimizes obstructer factors for sustainability of sensor network system used in a pipeline on rural area. Due to the inherent losses of photovoltaic systems, it is crucial that the maximum power is efficiently extracted from photovoltaic panel. A high efficient photovoltaic

control unit is aimed to design to control power generated by photovoltaic array and transfer maximum power to the storage unit under variable atmospheric conditions. The system was tested with a load of 1A at a voltage of 12V at which the wireless sensor network would operate. The active time of the load unit is controlled by using real time clock. The load unit is activated for 1 and 2 minutes with 30 minutes intervals and the power control unit was tested. The efficiency of the systems is compared and the behavior of the systems under equivalent conditions is analyzed. A special structure is designed for the panel, the battery and the control unit, and endurance of the system is enhanced to resist poor atmospheric and environmental conditions. Data logger unit records system parameters in a memory card by using SD card unit. These data is transferred to simulation environment and characteristic of the control unit is examined. Input - output data, date, time, instantaneous power consumption and system efficiency are monitored instantaneously on a screen. As a result of the tests, it is determined that proposed MPPT control unit system has an overall efficiency of more than 93%.

**Keywords:** MPPT, DC-DC buck converter, Perturb and observe, Wireless sensor networks, Photovoltaic systems



## TEŞEKKÜR

Tez alıőmasının ilk gnnden itibaren tm aőamalarında beni cesaretlendiren, değerli yardım ve katkıları ile yol gösteren, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Uğur BAYSAL'a teşekkür ederim.

Jride bulunan değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmasının her aşamasında yanımda olan, desteklerini esirgemeyen ve cesaretlendiren babam İrfan Murat YILDIRIM, annem Necla YILDIRIM ve kardeőim Azer İlay YILDIRIM'a teşekkür ederim.

Bu süreçte gösterdiği anlayıő ve destek için Ozan Mahir ALPAGUT'a teşekkür ederim.

Çalışma arkadaőlarım Onur AKKÖPRÜ ve Serhat OVAN'a desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Bu süreçte değerli tecrübelerini paylaőan Seymur SHUKUROV'a teşekkür ederim.

Tez alıőması kapsamında bu süreçte bana destek olan, cesaretlendiren, bilgi ve deneyimini benimle paylaőan değerli dostum Volkan COŐKUN'a teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI .....	4
2.1. Kablosuz Sensör Düğüm Mimarisi .....	4
2.1.1. Algılama Birimi.....	5
2.1.2. İşlemci Birimi.....	5
2.1.3. İletişim Birimi .....	6
2.1.4. Güç Birimi.....	6
2.2. Dağıtık Sensör Ağları için Güç Ünitesi Yaklaşımları .....	6
2.3. Kablosuz Sensör Ağı Topolojileri.....	10
2.3.1. Ortak Veri Yolu Topolojisi .....	10
2.3.2. Halka Topolojisi .....	10
2.3.3. Örgü Topolojisi .....	10
2.3.4. Yıldız Topolojisi .....	11
2.3.5. Ağaç Topolojisi .....	11
2.3.6. Zincir Topolojisi.....	11
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	12
3.1. Fotovoltaik Hücre.....	12
3.2. Fotovoltaik Hücre Eşdeğer Devre Modeli .....	13
3.3. Fotovoltaik Sistem Parametreleri Karakteristikleri.....	14
3.3.1. Farklı Işınım Değerleri Altında Fotovoltaik Hücre Karakteristiği.....	16
3.3.2. Farklı Sıcaklık Değerleri Altında Fotovoltaik Hücre Karakteristiği .....	17

4. ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ VE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME (MGNİ) YÖNTEMLERİ .....	18
4.1. Fotovoltaik Enerji Dönüşümü için Kullanılan Kontrol Yöntemleri .....	18
4.1.1. Seri Kontrol Yöntemi.....	18
4.1.2. Paralel Kontrol Yöntemi .....	19
4.1.3. Darbe Genişlik Modülasyonu Kontrol Yöntemi.....	19
4.2. Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNİ) Yöntemleri.....	20
4.2.1. Dolaylı Denetim Algoritmaları .....	21
4.2.1.1. Sabit Gerilim Algoritması.....	21
4.2.1.2. Sabit Akım Algoritması .....	22
4.2.2. Doğrudan Denetim Algoritmaları .....	23
4.2.2.1. Değiştir ve Gözle Algoritması .....	24
4.2.2.2. Artan İletkenlik Algoritması .....	26
4.2.2.3. Bulanık Mantık Algoritması .....	29
4.2.2.4. Yapay Sinir Ağları Algoritması .....	30
4.2.3. MGNİ Algoritmalarının Karşılaştırması.....	31
5. DA-DA dönüştürücüler.....	36
5.1. İndirici Tip Dönüştürücü .....	37
5.2. Yükseltici Tip Dönüştürücü.....	42
5.3. İndirici-Yükseltici Dönüştürücü .....	45
5.4. Cuk Dönüştürücü .....	48
6. SİSTEM TASARIMI.....	51
6.1. Sistem Gereksinimleri.....	51
6.2. Kontrol Ünitesi .....	55
6.2.1. Mikrodenetleyici Birimi .....	57
6.2.2. DA-DA Dönüştürücü Birimi .....	58
6.3. MGNİ Sistem Benzetim Çalışması.....	63
6.4. Kontrol Ünitesi Donanım ve Yazılım Çalışmaları .....	67
6.5. Darbe Genişlik Modülasyonu ile Fotovoltaik Kontrol Sistemi Tasarımı .....	68
7. TASARLANAN SİSTEMİN PERFORMANS TESTLERİ.....	70
7.1. MGNİ Sistemi Testleri.....	70

7.2. DGM Sistemi Testleri .....	83
7.3. MGNİ ve DGM Sistemlerinin Karşılaştırılması .....	85
8. SONUÇ .....	87
KAYNAKLAR.....	89
EKLER .....	97
EK 1 – MGNİ Sistemi Kaynak Kodları .....	97
EK 2 – MGNİ Sistemi Test Verileri.....	114
EK 3 - Tez Çalışması Orjinallik Raporu .....	115
ÖZGEÇMİŞ .....	116
TEZDEN ÜRETİLMİŞ PROJELER VE BÜTÇESİ.....	117
TEZDEN ÜRETİLMİŞ TEBLİĞ SUNUMU İLE KATILDIĞI KONFERANS VE KONGRELER.....	117

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Kablosuz Sensör Ağları Uygulama Alanları .....	4
Şekil 2.2 : Kablosuz Sensör Düğümü Mimarisi .....	5
Şekil 2.3 : Kablosuz sensör ağları topolojileri .....	11
Şekil 3.1: Fotovoltaik hücre çalışma prensibi.....	12
Şekil 3.2: Fotovoltaik hücre tek diyotlu eşdeğer devresi .....	13
Şekil 3.3: Fotovoltaik Panel I-V Eğrisi.....	16
Şekil 3.4: Fotovoltaik Panel P-V Eğrisi.....	16
Şekil 3.5: Fotovoltaik paneli farklı sıcaklık değerleri altında I-V ve P-V eğrileri .....	17
Şekil 4.1 : Seri kontrol yöntemi devre şeması .....	18
Şekil 4.2 : Paralel kontrol yöntemi devre şeması.....	19
Şekil 4.3 : Maksimum güç noktası grafiği .....	20
Şekil 4.4 : Sabit gerilim algoritması akış diyagramı.....	21
Şekil 4.5 : Sabit gerilim algoritması çalışma prensibi .....	22
Şekil 4.6 : Sabit akım algoritması akış diyagramı .....	23
Şekil 4.7 : Değiştir ve gözle algoritması çalışma prensibi.....	24
Şekil 4.8 : Değiştir ve gözle algoritması akış diyagramı .....	25
Şekil 4.9 : Artan iletkenlik algoritması çalışma prensibi.....	27
Şekil 4.10 : Artan iletkenlik algoritması akış şeması.....	28
Şekil.4.11: Yapay zeka algoritması çalışma prensibi .....	30
Şekil 5.1 : DA-DA İndirici Tip Dönüştürücü .....	37
Şekil 5.2 : İndirici Tip Dönüştürücü – İletim Modu .....	38
Şekil 5.3 : İndirici Tip Dönüştürücü – Kesim Modu .....	39
Şekil 5.4 : İndirici Tip Dönüştürücü – Sürekli Mod İndüktör Akımı .....	40
Şekil 5.5: İndirici Tip Dönüştürücü – Süreksiz Mod İndüktör Akımı.....	40
Şekil 5.6: İndirici Tip Dönüştürücü – Sürekli Mod Dalga Grafikleri.....	41
Şekil 5.7 : Yükseltici Tip Dönüştürücü Devresi .....	42
Şekil 5.8 : Yükseltici Tip Dönüştürücü – İletim Modu .....	43
Şekil 5.9 : Yükseltici Tip Dönüştürücü – Kesim Modu .....	44
Şekil 5.10 : Yükseltici tip dönüştürücü sürekli mod dalga grafikleri .....	45
Şekil 5.11 : İndirici-Yükseltici Tip Dönüştürücü Devresi .....	45
Şekil 5.12 : İndirici-Yükseltici Tip Dönüştürücü – İletim Modu .....	46

Şekil 5.13 : İndirici-Yükseltici Tip Dönüştürücü – Kesim Modu.....	46
Şekil 5.14 : İndirici-Yükseltici Tip Dönüştürücü Sürekli Mod Dalga Grafikleri .....	47
Şekil 5.15 : Cuk Tipi Dönüştürücü Devre Şeması .....	48
Şekil 5.16: : Cuk Tipi Dönüştürücü İletim ve Kesim Modu .....	49
Şekil 5.17: Cuk Tipi Dönüştürücü Sürekli Mod Grafikleri.....	50
Şekil 6.1: MGNİ kontrol ünitesi alt birim şeması .....	52
Şekil 6.2 : Kontrol birimi devre şeması.....	56
Şekil 6.3 : Senkron indirici tip dönüştürücü benzetim modeli .....	59
Şekil 6.4 : İndirici tip dönüştürücü akım dalga grafikleri: (a) Görev oranı, (b) Diyot akımı, (c) MOSFET akımı, (d) İndüktör akımı, (e) Kapasitör akımı .....	61
Şekil 6.5 : İndirici tip dönüştürücü gerilim dalga grafikleri: (a) Görev oranı, (b) Diyot gerilimi, (c) MOSFET gerilimi, (d) İndüktör gerilimi, (e) Kapasitör gerilimi.....	62
Şekil 6.6 : Değiştir ve gözle algoritması ile tasarlanan MGNİ Sistemi .....	63
Şekil 6.7 : MGNİ sistemi benzetim çalışması giriş ve çıkış güç karşılaştırması .....	64
Şekil 6.8: MGNİ kontrol birimi gerilim grafikleri: (a) İndüktör gerilimi, (b) 1. MOSFET gerilimi, (c) 2. MOSFET gerilimi, (d) Fotovoltaik panel ve çıkış gerilimi.....	65
Şekil 6.9: MGNİ kontrol birimi akım grafikleri: (a) İndüktör akımı, (b) Kapasitör, (c) Panel gerilimi, (d) Çıkış gerilim.....	66
Şekil 6.10: MGNİ kontrol ünitesi kart tasarımı : (a) PCB kart tasarımı 3D görünümü, (b) PCB modeli üst katman görünümü .....	67
Şekil 6.11: Darbe genişlik modülasyonu yaklaşımı ile tasarlanan kontrol sistemi .....	69
Şekil 7.1: Sistem verilerinin ekran üzerinden gözlenmesi .....	70
Şekil 7.2: MGNİ güç kontrol ünitesi baskı devre kartı .....	71
Şekil 7.3: Fotovoltaik kontrol sistemi için tasarlanan yapılar ve test ortamları .....	72
Şekil 7.4: MGNİ kontrol sistemi panel ve çıkış gerilim grafiği.....	74
Şekil 7.5: MGNİ kontrol sistemi grafikleri: (a) Panel akımı, (b) Çıkış akımı .....	74
Şekil 7.6: MGNİ kontrol sistemi grafikleri: (a) Panel gücü, (b) Çıkış gücü .....	75
Şekil 7.7: MGNİ kontrol sistem verimi grafiği .....	75
Şekil 7.8: MGNİ kontrol sistemi panel ve çıkış gerilim grafiği.....	76
Şekil 7.9: MGNİ kontrol sistemi grafikleri: (a) Panel akımı, (b) Çıkış akımı .....	77
Şekil: 7.10: Çok düşük akım değerlerinin MGNİ sisteminin verimi üzerindeki etkisi...77	
Şekil 7.11: MGNİ kontrol sistemi grafikleri: (a) Panel gücü, (b) Çıkış gücü .....	78
Şekil 7.12: MGNİ Kontrol Sistemi Verim Grafiği.....	78

Şekil 7.13: 21 Haziran 2019 açık arazi testi - MGNİ kontrol sistemi panel ve çıkış gerilimi grafiği.....	80
Şekil 7.14: 21 Haziran 2019 Açık Arazi Testi - MGNİ kontrol sistemi panel ve çıkış akımı grafiği.....	80
Şekil 7.15: 21 Haziran 2019 Açık Arazi Testi - MGNİ kontrol sistemi panel ve çıkış gücü grafiği.....	82
Şekil 7.16: 21 Haziran 2019 Açık Arazi Testi - MGNİ kontrol sistemi verim grafiği...	82
Şekil 7.17: Ağustos Ayı Panel – Çıkış Gerilim Grafiği.....	84
Şekil 7.18: Aralık Ayı Panel – Çıkış Gerilim Grafiği.....	84
Şekil 7.19: MGNİ ve DGM Kontrol Yöntemlerinin Verim Karşılaştırması .....	85



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1: Alternatif Enerji Kaynakları Güç Yoğunluğu.....	7
Çizelge 4.1 : Bulanık mantık algoritması yaklaşım çizelgesi .....	30
Çizelge 4.2 : MGNİ Algoritmalarının Karşılaştırması.....	34
Çizelge 6.1: Sistem alt birimlerinin günlük enerji ihtiyacı .....	54
Çizelge 6.2 : 10 W fotovoltaiik panel teknik özellikleri .....	55
Çizelge 6.3: Dönüştürücü parametreleri.....	60
Çizelge 6.4 : DA-DA dönüştürücü tasarımı LC değerleri.....	60





## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

A	Amper
Ah	Amper Saat ( Ampere-hour)
°C	Santigrat Derece
DC	Doğru Akım (Direct Current)
kHz	Kilo Hertz
$\mu$ H	Mikro Henry ( $10^{-6}$ )
$\mu$ F	Mikro Farad ( $10^{-6}$ )
$\Omega$	Ohm
V	Volt
W	Watt
Wp	Watt peak

### Kısaltmalar

DA	Doğru Akım
DGM (PWM)	Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
ESR	Eşdeğer Seri Direnç
FF	Doldurma Oranı (Fill Factor)
I-V	Akım-Gerilim
Isc	Kısa Devre Akımı
KSA	Kablosuz Sensör Ağları
LCD	Likit Kristal Ekran
MGNİ	Maksimum Güç Noktası İzleyicisi
MOSFET	Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistor

P&O	Değiştir ve Gözle (Perturb&Observe)
P-V	Güç – Gerilim
RTC	Gerçek Zamanlı Saat (Real Time Clock)
$R_{DS,ON}$	Akaç- Kaynak İletim Direnci (Drain-Source on Resistance)
$V_{OC}$	Açık Devre Gerilimi
NiMH	Nikel-metal hidrit



# 1. GİRİŞ

Sıcaklık, gerilim, hareket, ısı, akım, manyetizma, basınç, uzaklık, nem, ışık gibi çevresel veya fiziksel parametreleri algılayıp, bu parametreleri analog veya sayısal sinyallere dönüştüren cihazlara sensör veya almaç adı verilir. Almaçlar, enerji ihtiyacına göre pasif ve aktif olmak üzere iki ana grupta incelenebilir. Pasif almaçlar algıladığı parametreyi bir sinyale dönüştürebilmek için dışarıdan bir güç birimine gereksinim duymazlar. Aktif almaçlar ise, çıkışında bir veri üretebilmek için dışarıdan bir güç birimine gereksinim duyarlar [1,73].

Çevresel veya fiziksel parametreleri algılayan sensör birimi, sensör biriminden aldığı verileri değerlendiren ve yorumlayan işlemci birimi, yorumlanan verileri ilgili birimlere aktaran bir iletişim birimi ve sistemin devamlılığını sağlayan güç biriminden oluşan yapılara sensör düğümleri denir [1,2]. Belirli bir bölgeye dağıtık olarak yerleştirilmiş sensör düğümleri, ağ içinde bulunan diğer düğümlerin konumlarını belirler. Sensör düğümleri algıladıkları parametreleri uygulanan topolojiye göre doğrudan veya ara düğümler aracılığıyla merkezi düğüme iletirler. Merkezi düğüme toplanan veriler, daha önceden belirlenen çalışma planına göre değerlendirilir. Dağıtık sensör düğümlerinin bir araya gelerek oluşturdukları yapıya kablosuz sensör ağı adı verilir [1,2].

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte, son zamanlarda kablosuz sensör ağlarının uygulama alanları genişlemiş ve pek çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Askeri gözetleme, istihbarat verisi toplama, trafik problemlerini belirleme, hasta süreç takibi, hava kirliliği, hava durumu, boru hattının gözetimi ve güvenliği, yangın tespiti, su altı takip, lojistik, endüstriyel uygulamalar gibi alanlarda yoğun olarak kullanılmaktadır [1,74].

Kablosuz sensör ağları genellikle uzak bölgelere yerleştirildiklerinden ve zor koşullar altında uzun süre çalışmaları gerektiğinden dolayı güç birimlerinin arıza durumlarında değiştirilmesi ya da tekrar şarj edilebilmesi çok zor olmaktadır. Üstelik büyük sensör ağlarında, düğümlerin sayısı çok yüksek oranlarda olabilir. Çoğu durumda, sistemlerin tekrar aktif hale gelebilmesi için çok uzun süreler gerekebilir. Çevresel riskler, depolama elemanlarının süreç maliyeti nedeniyle, kablosuz sensör düğümlerine güç sağlamak amacı ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması sistemin devamlılığı açısından çok önemlidir. Fotovoltaik enerji özellikle açık hava uygulamalarında diğer kaynaklara göre daha yüksek güç yoğunluğuna sahip olmasından dolayı kablosuz sensör ağları için etkili ve uygun yenilenebilir kaynaktır .

Fotovoltaik enerjiyi, elektrik enerjisine çevirmek için fotovoltaik hücreler kullanılır. Fotovoltaik hücreler yarı iletken maddelerin n tipi veya p tipi katkılanması ile oluşan yapılardır. Güneşten gelen fotonlar, hücrenin yüzeyi ile temas ederek, yarı iletken malzeme içinde bulunan elektronların serbest hale geçmesine neden olur ve bu hareket sonucunda bir elektrik akımı meydana gelir [28,29]. Fotovoltaik hücreler, istenilen akım ve gerilim oranına göre paralel veya seri olarak birbirleri ile bağlanarak fotovoltaik panelleri meydana getirirler.

Fotovoltaik enerji, sıcaklık, ışınım miktarı ve çevresel şartlara göre sürekli olarak değiştiğinden dolayı doğrusal olmayan enerji kaynaklarıdır. Doğrusal olmayan enerjiyi kontrollü bir şekilde aktarmak amacıyla sistemlerde kontrol devreleri kullanılır. Kontrol devreleri; algoritma birimi, dönüştürücü birimi, depolama birimi ve yük kontrol biriminden oluşur.

Panellerin akım ve gerilim karakteristikleri sürekli olarak değiştiğinden dolayı maksimum güç aktarımı yapabilmek için özel devreler ve algoritmalarla oluşan sistemler gerekmektedir. Panel tarafından üretilen gücü maksimum olarak yük tarafına aktarmak amacıyla maksimum güç noktası izleyici (MGNI) sistemleri kullanılır. Yapılacak uygulamaya göre indirici, yükseltici, indirici-yükseltici veya farklı tip dönüştürücüler kullanılarak panel tarafından üretilen enerji, sisteme düzenlenerek aktarılır. MGNI algoritmaları; gerilim, akım veya sıcaklık gibi sistem değişkenlerini sürekli kontrol ederek paneldeki maksimum gücü aktarmaya çalışır. En sık kullanılan algoritmalar *Değiştir ve Gözle*, *Artan İletkenlik* ve *Sabit Gerilim* algoritmalarıdır. Algoritmaların verimi; tasarlanan sisteme, kullanılan panele, çevresel şartlara göre değişiklik göstermektedir.

Bu tez çalışması kapsamında kırsal arazilerde ve uzak bölgelerde kullanılacak olan kablosuz sensör ağlarını beslemek amacıyla fotovoltaik kaynaklı, mikro denetleyici tabanlı bir denetim sistemi üzerine çalışılmıştır. 12V gerilimde 1A akım çekecek olan sistem yükünün, 1 haftada 1 saat çalışacak olduğu varsayılarak sistemin güç ihtiyacı tanımlanmıştır. Fotovoltaik panel, batarya ve diğer sistem elemanları bu gereksinimlere göre seçilmiştir. Güç kontrol ünitesinin en kötü hava koşullarında bile en az 3 gün sistemi beslemesi, sistem verilerini kaydetmesi, üzerinde bulunan bir ekran ile parametrelerin okunabilmesi, yüksek verimli ve küçük güçlü olması hedeflenmiştir.

İlk prototip darbe genişlik modülasyon kontrolü kullanılarak tasarlanmıştır. Düşük maliyetli, az elemanlı bir sistem olmasına rağmen düşük verime sahip olması sebebiyle, MGNİ sistemi tasarlanmış ve prototip olarak üretilmiştir. Zorlu şartlar altında sistemin zarar görmemesi amacı ile dayanıklı koruma kutularına yerleştirilmiştir. Sistemin arazi testleri, farklı hava ve çevresel şartlar altında yapılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde kablosuz sensör ağları anlatılmış, uygulama alanlarından bahsedilmiştir. Sensör düğümlerinden bahsedilmiş ve alt birimleri anlatılmıştır. Kullanılan topolojilerden bahsedilmiş, avantajları ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. Sensör ağlarını besleyen güç sistemlerinin devamlılığına etkisi tartışılmış, literatürde kullanılan farklı enerji kaynaklarına değinilmiştir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde fotovoltaik sistemler incelenmiştir. Fotovoltaik sistemleri oluşturan hücrelerin genel yapısı, çalışma prensipleri, karakteristikleri incelenmiş ve farklı şartlar altında sisteme etkilerinden bahsedilmiştir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde, enerji dönüşüm yöntemleri ve MGNİ yaklaşımları incelenmiştir. MGNİ yaklaşımlarının özellikleri, çalışma prensipleri, avantaj ve dezavantajları hakkında tartışılmıştır. Algoritmalar birbirleri ile kıyaslanmış ve literatürde tasarlanan sistemler ve verimleri incelenmiştir.

Tez çalışmasının beşinci bölümünde, kontrol biriminde kullanılan DA-DA dönüştürücüler araştırılmıştır. İzoleli ve izolesiz topolojilerden bahsedilmiş ve sistem gereksinimlerine göre kullanılacak olan izolesiz dönüştürücüler üzerinde durulmuştur. İzolesiz dönüştürücülerin çalışma prensibi, modları, denklemleri incelenmiştir.

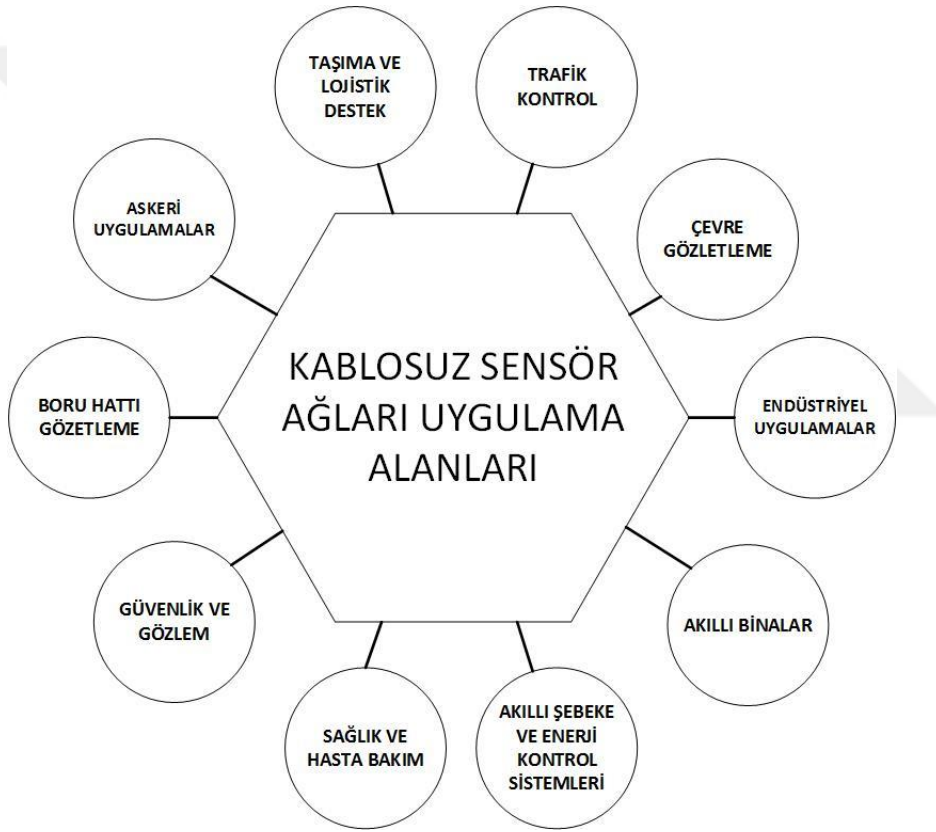
Tez çalışmasının altıncı bölümünde darbe genişlik modülasyonu ile yapılan ilk prototip tasarımı ve MGNİ kontrol ünitesi tasarımından bahsedilmiştir. Sistem birimleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. MGNİ sisteminin benzetim çalışmalarına yer verilmiştir.

Tez çalışmasının yedinci bölümün de, tasarlanan sistem prototipinin saha testlerinden bahsedilmiştir. Farklı hava koşulları altında yapılan test çıktılarına yer verilmiş ve sistem davranışı anlatılmıştır.

Tez çalışmasının sekizinci ve son bölümünde elde edilen test sonuçları yorumlanmış ve gelecekte yapılabilecek geliştirmeler hakkında görüşler belirtilmiştir.

## 2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI

Kablosuz sensör ağları; akım, sıcaklık, gerilim ve nesne hareketleri gibi pek çok fiziksel parametre ölçümü yaparak bir sistemi veya çevreyi gözlemleyen, topladığı verileri kablosuz iletim aracılığı ile uzaktaki bir alıcı yapıya aktaran sensör düğümlerinden oluşan yapılardır [1,7]. Her bir sensör düğümü, çevreden topladığı verileri kablosuz iletim aracılığı ile uzaktaki sistemlere aktarır. Kablosuz sensör ağları geniş ölçekte uygulama alanlarına sahiptir. Kablosuz sensör ağlarının uygulama alanlarından bazıları Şekil 2.1’de gösterilmiştir. [1,2,5,74].



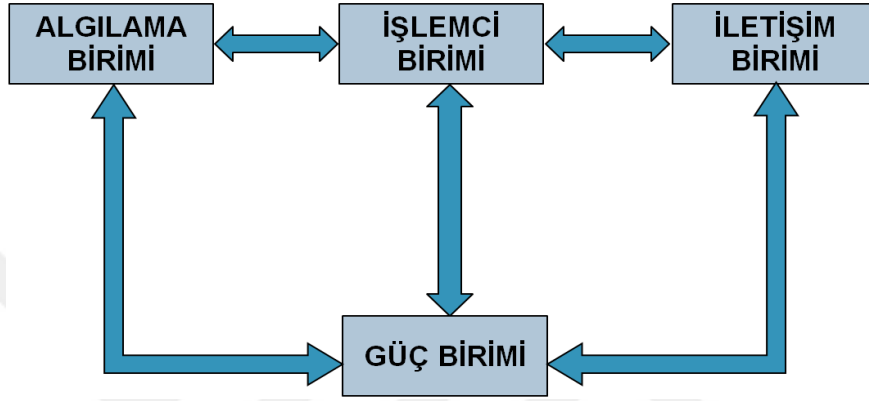
Şekil 2.1: Kablosuz Sensör Ağları Uygulama Alanları

### 2.1. Kablosuz Sensör Düğüm Mimarisi

Kablosuz sensör ağları, birden çok sensör düğümünün bir araya gelmesiyle oluşan sistemlerdir. Sistemler arası veri aktarılması bu düğümler aracılığı ile yapılır. Bir sensör düğümü dört temel birimden oluşur. Bu birimler; algılama birimi, işlemci birimi, alıcı-verici iletişim birimi ve güç birimidir [1,3,6].

### 2.1.1. Algılama Birimi

Algılama biriminin temel görevi, sensör ağının kullanım alanına göre istenilen fiziksel parametreleri ölçmek ve verileri toplamaktır. Toplanan parametre verisi, algılama birimi tarafından bir sinyal çıkışı olarak üretilir. Bu çıkış, bir sinyal dönüştürücüsü aracılığı ile işlemci biriminin yorumlayabilmesi için anlamlı verilere dönüştürülür ve ardından işlemci birimine aktarılır.



Şekil 2.2 : Kablosuz Sensör Düğümü Mimarisi

### 2.1.2. İşlemci Birimi

İşlemci birimi temel olarak algılama biriminden aldığı parametre verilerini yorumlayan, bu verilerin kullanılması için kaydedildiği geçici bir belleğe, diğer sensör düğümü birimleri ile belirlenen yorumlama işlemlerinin yapılabilmesi için kalıcı bir belleğe, gerçek zamanlı saate, işletim sistemine, diğer alt birimler arasında geçişi sağlamak için dijital giriş ve çıkışlara sahip olan merkezi bir birimdir [4].

Genel olarak, sensör düğümleri düşük miktarda depolama belleği gerektirir. Kullanılan işlemci birimi, parametre verilerini yorumlamaları ve daha sonra farklı düğümlere veya hedeflere iletmeleri için yeterince uzun bir süre saklamaya uygun olmalıdır. Uygulama alanına ve yapılacak tasarım gereksinimlerine göre mikroişlemci, dijital sinyal işlemcileri (DSP), alanda programlanabilir geçit dizileri (FPGA) gibi denetleyiciler işlemci birimi olarak seçilebilir [74].

### **2.1.3. İletişim Birimi**

İletişim birimi, sensör ağ sisteminde bulunan düğümler arasında veri alışverişini sağlayan birimdir. Temel görevi, işlemci biriminden gelen yorumlanmış verileri ilgili düğümlere aktarmak veya diğer düğümlerden gelen verileri almaktır.

Düğümler arasındaki iletişim radyo, lazer veya kızılötesi dalgaları ile sağlanabilir. Lazer ile yapılan veri transferlerinde düşük güç tüketilir. Lazer haberleşmenin en büyük dezavantajı, haberleşme sırasında veri aktarımı için açık bir görüş hattına gereksinim duymasıdır. Ayrıca çevresel koşullardan kolayca etkilenirler. Kızılötesi dalgaların yayılımı için alıcı veya verici antene ihtiyaç yoktur. Yayın kapasitesi düşüktür. Radyo dalgaları ile yapılan iletişim yöntemi, pek çok kablosuz sensör ağ uygulamasının gereksinimlerine uygundur [75]. Çünkü uzun mesafeli veri aktarımı, enerji harcamasında makul hata oranları sağlar ve gönderici ile alıcı arasında açık bir görüş hattı gerektirmez [6]. İletişimin çok yönlü olması için, bir iletişim biriminde hem alıcı hem de verici birim olması gerekir.

### **2.1.4. Güç Birimi**

Güç biriminin temel görevi, sensör düğümlerinin alt birimlerine enerji sağlamaktır. Sensör ağlarının sürekliliği, güç biriminin sürekli olarak alt sistemleri beslemesine bağlıdır ve bu nedenle sistemin devamlılığı için en önemli birimdir.

Sensör düğümlerinde, algılama, iletişim ve veri işleme sırasında enerji harcanır. Veri iletişimi sırasında diğer tüm işlemlerden daha fazla enerji gerekir [7]. Kablosuz sensör ağları genellikle uzak alanlarda çalıştığından dolayı, depolama birimlerinin şarj edilmesi veya değiştirilmesi ciddi sorunlar meydana getirmektedir.

## **2.2. Dağıtık Sensör Ağları için Güç Ünitesi Yaklaşımları**

Kablosuz sensör ağları genellikle şebeke elektriğine erişim imkanı olmayan uzak arazilere yerleştirilirler. Sensör ağlarının ömrü, sisteme enerji sağlayan güç ünitesi ve depolama biriminin ömrüne bağlıdır. Bu nedenle sensör ağlarının devamlılığını sağlayan en önemli faktör enerji kaynağının sürekliliği ve verimliliğidir. Tasarımda karşılaşılan en büyük problemlerden biri enerji birimlerinin kısıtlı kapasiteleridir. Bu durum sensör ağ ünitesinin kullanım ömrünün kısalmasına neden olmakta ve verimli olarak kullanılmasındaki başlıca engellerden biri haline gelmektedir. Bu nedenle sistem tasarımı yapılırken, uygun bir güç kaynağı seçmek en önemli adımdır. Batarya ve süperkapasitör



gibi farklı depolama birimleri, sensör ağlarını beslemek için sık kullanılan birimlerdir. Ancak bu birimler uzun ömürlü değildirler ve sisteme belirli bir süre enerji sağlayabilirler. Son dönemde bu problemin üstesinden gelebilmek için alternatif enerji kaynakları kullanılarak sensör ağlarının sürdürülebilirliğini arttırmak amacıyla çeşitli çalışmalar yoğunluk kazanmıştır.

En çok kullanılan alternatif enerji kaynakları fotovoltaik, rüzgar, termal, radyo frekans (RF), piezoelektrik, titreşim ve akustik ses kaynaklarıdır. Enerji kaynakları incelenmiş, sensör düğümlerini beslemek için diğer kaynaklara göre daha yüksek güç yoğunluğuna sahip yenilenebilir enerji kaynağı olan fotovoltaik hücre uygulamalarının daha verimli olduğu görülmüştür [8]. Alternatif enerji kaynaklarının güç yoğunlukları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Alternatif Enerji Kaynakları Güç Yoğunluğu

Kaynak	Güç Yoğunluğu
Fotovoltaik Hücre	15 mW/cm <sup>2</sup>
Termal	40 $\mu$ W/cm <sup>2</sup>
Piezoelektrik	330 $\mu$ W/cm <sup>2</sup>
Titreşim	116 $\mu$ W/cm <sup>2</sup>
Akustik Ses	960 nW/cm <sup>2</sup>

Literatürde çeşitli yaklaşımlar sunulmuştur. K.V. Naveen ve diğerleri [9], kablosuz sensör ağlarının sürekliliğini sağlamak için düşük güçlü güneş enerjisi toplayıcısı tasarımı yapmışlar ve bu tasarımı akıllı bina sisteminde kullanmışlardır. Enerjiyi toplamak için seri ve paralel olarak bağlanmış çok sayıda güneş hücresi kullanmış ve enerjiyi depolamak için bir dizi süper kapasitörü sisteme depolama birimi olarak eklemişlerdir. Yedek güç kaynağı olarak, alkalın piller de süper kapasitörler ile birlikte sisteme entegre edilmiştir.

X. Jiang ve arkadaşları [10], herhangi bir insan müdahalesi gerektirmeyen, enerji tüketimi bakımından sürekli çalışabilen akıllı enerji yönetim sisteminin tasarım çalışmasını ortaya koymuşlardır. Bu sistemde güneş paneli doğrudan depolama birimine bağlı olarak tasarlanmıştır. Bu tasarım ile panelin çalışma gerilimi, depolama biriminin şarj gerilimine çekildiğinden enerji kayıpları yaşanmıştır. Panel, depolama birimine yetecek gücü sürekli olarak sağlamayı başaramamıştır.

G.Yi ve diğeri [11] tarafından yapılan çalışmada güneş enerjisi ile beslenen bir kablosuz sensör ağı tasarımı ortaya koyulmuştur. Her düğümde düşük güç tüketmesi amaçlanan alt sistemler, enerji tüketimini minimum seviyeye indirebilecek şekilde adapte edilmiştir.

M. K. Amruta ve diğeri tarafından yapılan çalışmada [12], suyun kalitesini görüntülemek için yapılan sualtı sensör ağı, fotovoltaik kaynak kullanılarak tasarlanmıştır. Sensör ağı, pH değeri ve oksijen seviyesi gibi bilgileri toplayıp ana sisteme göndermiştir. Sistemde bulunan güneş paneli, sensör ağına enerji vermek için batarya ünitesi ile birlikte kullanılmıştır. Panelin yeterli enerji üretmediği hava koşullarında ve gece vakitlerinde batarya ünitesinin, sensör ağını beslemesi amacıyla uygun olarak tasarım yapılmıştır.

Yapılan bir çalışmada [13], sensör ağlarında enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmış ve yapılan testler sonucunda tasarlanan MGNİ kontrol ünitesinin 330  $\mu$ W tükettiği gözlenmiştir. Depolama elemanı olarak ultrakapasitör kullanılmıştır.

A.González ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [14], enerji toplayan bir kablosuz sensör ağ sistemi tasarlanmıştır. Kablosuz sensör ağının güç tüketimini azaltmak ve ömrünü uzatmak için sistem pasif olduğu durumlarda uyku modunda çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

Bir diğeri çalışmada [15], ekim arazisindeki hava koşullarını gerçek zamanlı olarak gözlemleyebilmek amacı ile sensör ağ sistemi kurulmuştur. Sensör ağının güç birimi, güneş paneli, batarya ve veri kaydedici birimden oluşmaktadır. Sistem oluşturulurken enerji kullanımını en aza indirmek için sensör ağının belirli evrelerde uyku modunda olmasını sağlayacak algoritma uygulanmıştır.

S. Senivasan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [16], mikrodenetleyici tabanlı, MGNİ yaklaşımı ile bir enerji hasat sistemi tasarlanmıştır. Sistemde NiMH batarya, güneş paneli, DA-DA dönüştürücü olarak LTC3530 entegresi kullanılmıştır. Sistem kayıpları da hesaba katılarak tasarımın verimi yaklaşık %70 olarak hesaplanmıştır.

Bir çalışmada [17], tarımsal üretim alanlarını gözetlemek için fotovoltaik kaynaklı bir kablosuz sensör ağı tasarlanmıştır. Sensör ağında nem, sıcaklık gibi veriler depolanmış, kamera üzerinden tarımsal arazinin görüntüleri, GPS üzerinden konum bilgileri kaydedilmiştir. Sistemi besleyecek olan batarya, hazır bir şarj ünitesi ile beslenmiştir.

Sistemlerin düşük güç tüketmesi, enerji sağlayan birimin ve depolama biriminin uzun ömürlü olması konularındaki gelişmeler önem kazanmıştır. Sensör ağındaki enerji tüketimi temel olarak veri toplama süresine, yoğunluğuna, aktarım hızına, mesafeye ve veri işleme süresine bağlı olarak değişmektedir. Sensör ağlarının devamlılığı, batarya ile çalışan diğer gömülü sistemlerde olduğu gibi en önemli tasarım parametresidir.

Çeşitli ticari firmalar, dağıtık sensör ağlarının sürdürülebilirliğini artırmak için uygulamaya yönelik ürünler tasarlamışlardır. Banner firması, SureCross DX80 isimli farklı ortamlarda çalışabilen, birden fazla giriş ve çıkış barındıran, fotovoltaik kaynaklı kablosuz sensör ağ sistemi tasarlamıştır. Sistem, batarya ve güneş enerjisi ile çalışabilmektedir. Sistem ana ağ geçidi etrafında bulunan sensör düğümlerinden oluşmaktadır [18].

Libelium firmasının Waspote Plug&Sense isimli sensör sistemi, tarım alanında kullanılması için tasarlanmıştır. Bu üründe, sistem beslemesi güneş panelleri ile sağlanmaktadır. Ayrıca sistemde, güç tüketiminin artması durumunda kullanılmak üzere harici bir batarya modülü bulunmaktadır. Sistemdeki sensörler bulut platform üzerinden bilgi akışını sağlamaktadır [19]. Seceive firmasının The FlatMesh 3G Gateway sensör ağ sistemi, uzak bölgelere internet şebekesi sağlamak için tasarlanmıştır. Sistem batarya ünitesinin yanında güneş enerjisi ile de beslenmektedir [20].

Quantislab's firmasına ait US9167516B2 numaralı patentte, sensör ağ ünitesini beslemek amacıyla bir güç ünitesi tasarımı ortaya konulmuş ve bu sistemin temel olarak batarya ve fotovoltaik ünitelerden oluştuğu belirtilmiştir [21]. CN103139936A numaralı patentte kontrol ünitesi, birincil enerji kaynağı olarak süperkapasitör ve ikincil enerji kaynağı olarak lityum batarya modülünden oluşan, enerji yönetimi için gece ve gündüz modunda çalışan bir fotovoltaik sistem tasarımı ortaya konulmuştur [22]. Skyworks Solutions firmasının US6208247B1 numaralı patentinde kablosuz sensör ağ sistemi tasarımından ve batarya ve güneş enerjisi ile beslenebileceğinden bahsedilmiştir. Ancak güç ünitesi ile ilgili bir çalışma yapılmadığı görülmektedir [23].

## **2.3. Kablosuz Sensör Ağı Topolojileri**

Sensör düğümleri ortak yol, ağaç, yıldız, örgü, halka (dairese) veya zincir ağ topolojilerini [Şekil 2.3] kullanarak birbirleri ile iletişim sağlarlar [7,24,25,26]. Her topolojinin birbirlerine kıyasla avantajları ve dezavantajları vardır. Örneğin örgü topolojisinde her düğüm birbiri ile haberleşebilmektedir. Bir düğümün devre dışı kalması durumunda, sensör ağı çalışmayı durdurmaz. Zincir ağ topolojisi güç diğer topolojilere kıyasla enerji tasarrufu bakımından daha avantajlı bir topolojidir ve sistemin sürekliliğini arttıran bir yapıdadır [24]. Alt başlıklarda sensör ağına kullanılan ağ topoloji çeşitleri incelenmiştir.

### **2.3.1. Ortak Veri Yolu Topolojisi**

Ortak veri yolu topolojisinde iletişim ortak bir veri yolu üzerinden gerçekleşir. Gönderilen veriler, ilgili düğüme ulaşmaya kadar sensör ağındaki bütün düğümlere aktarılır. Ancak transfer edilen verileri sadece ilgili sensör düğümü işlemek için kabul eder [25].

Ortak veri yolu topolojisi, uygulaması basit ve düşük maliyetli bir yaklaşımdır. Sensör ağına yeni düğümler eklemek kolaydır. Bu topolojinin en büyük dezavantajı, veri aktarımı sırasında veri, belirlenen düğüme gidene kadar tüm düğümlere uğradığından dolayı verimin düşük olmasıdır. Ayrıca tüm düğümler tek hat kullanarak iletişimi sürdürdüğü için paylaşılan bant genişliği düşer. Bu nedenle veri aktarım hızı diğer topolojilere göre daha yavaştır [24,25 ].

### **2.3.2. Halka Topolojisi**

Halka biçiminde bir veri yolu üzerinden gönderilen veriler, ilgili düğüme ulaşana kadar tüm düğümlere uğrar. Her düğümün iletişim kurabileceği iki komşu düğümü vardır.

Topoloji, işlemler sırasında düşük güç tüketir [25]. Halka topolojisinde sensör düğümlerinden birinin bozulması, tüm iletişimin bozulmasına ve sensör ağı sisteminin kullanılamaz duruma gelmesine neden olur.

### **2.3.3. Örgü Topolojisi**

Örgü topolojisinde, tüm sensör düğümleri birbiri ile doğrudan ilgilidir ve haberleşebilmektedir. Bir düğümün devre dışı kalması durumunda, sensör ağı çalışmaya devam eder. Bir düğümden gönderilen veri, farklı düğümlere yöneldiğinde doğrudan

bağlantı özelliğinden dolayı, kısa sürede belirlenen sensör düğümüne gidebilir. Bu durum veri aktarma hızını arttıran bir özelliktir [1,27].

### 2.3.4. Yıldız Topolojisi

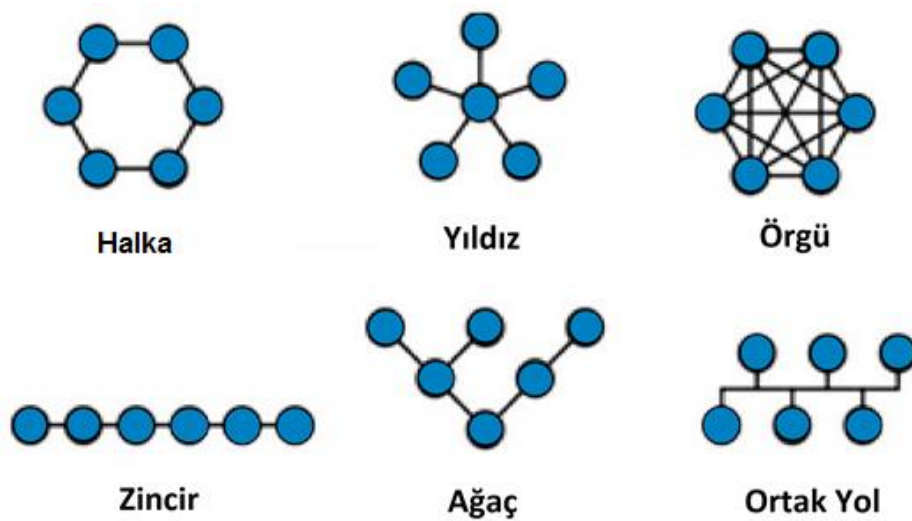
Yıldız topolojisi, merkezi bir düğüm ve bu düğüme bağlı alt düğümlerden oluşur. Her sensör düğümü birbiri ile doğrudan iletişim kuramamaktadır. Yıldız topolojisinin en önemli avantajı, sensör ağındaki düğümlerden birinin çalışmayı durdurması durumunda, diğer düğümlerin çalışmasını devam ettirebilecek olmasıdır [1,27]. Ancak merkez düğümün zarar görmesi veya bozulması durumunda, tüm alt düğümler etkilenir.

### 2.3.5. Ağaç Topolojisi

Ağaç topolojisi, yıldız ve ortak yol topolojisinin birlikte kullanılması ile ortaya çıkmıştır. Merkez düğüm ve dallara ayrılmış alt düğümlerden oluşur. Bir alt düğümden oluşabilecek problem diğer düğümleri etkilemez. Merkez düğüme yakın olan alt düğümlerin veri gönderim hızı yüksektir, bu nedenle bu düğümler daha yüksek güç tüketirler [25,27].

### 2.3.6. Zincir Topolojisi

Zincir topolojisinde, her bir düğüm sadece kendisinden önce gelen ve sonra gelen düğüm ile bağlantılıdır. Zincir ağ topolojisi güç tüketimi bakımından diğer topolojilere göre daha avantajlıdır. Her bir sensör düğümü zincir boyunca sadece kendinden önceki ve sonraki düğümler ile haberleşir. Bu nedenle diğer topolojilere göre daha az enerji harcar ve daha uzun bir sistem ömrü sunar [24].



Şekil 2.3 : Kablosuz sensör ağları topolojileri

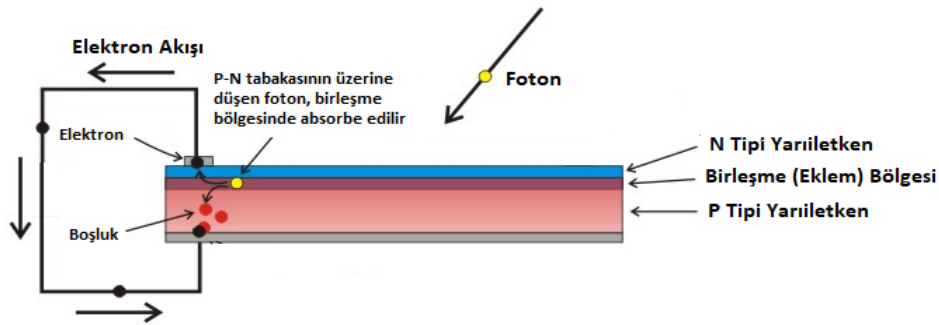
### 3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Fotovoltaik sistemler; güneş ışığını elektrik enerjisine çeviren güneş hücrelerinden oluşan güneş paneli, kontrol ünitesi ve depolama ünitesinden oluşan sistemlerdir. Fotovoltaik sistemler; şebeke bağımlı, şebekeden bağımsız ve hibrit sistemler olmak üzere 3 temel alt dala ayrılır.

Bir elektrik şebekesine doğrudan bağlı, fotovoltaik paneller tarafından üretilen enerjinin şebekeye aktarıldığı, herhangi bir depolama ünitesi bulunmayan sistemlere şebekeye bağımlı sistemler denir. Şebekeye erişim imkanının veya ihtiyacının olmadığı, şebeke hattının çekilmesinin zor olduğu bölgelerde kullanılan, fotovoltaik panellerden üretilen enerjinin sistemde bulunan depolama ünitelerinde depolandığı sistemlere şebekeden bağımsız sistemler denir. Şebeke bağımlı sistemlere göre daha düşük güç ihtiyacı olan sistemlerde kullanılır. Her iki sistemin özelliklerini barındıran hem şebekeye doğrudan bağlı, hem de sistemde bir depolama ünitesi bulunan sistemler hibrit sistemler adını alır.

#### 3.1. Fotovoltaik Hücre

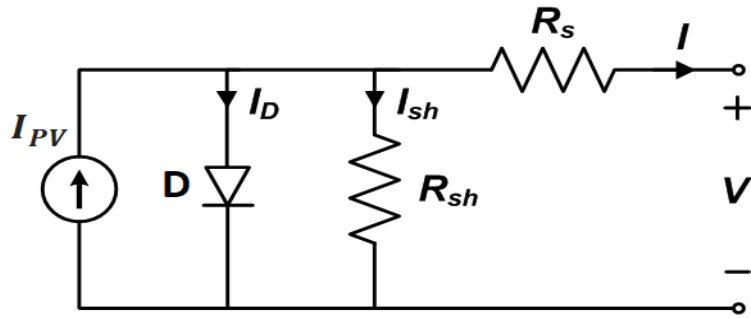
Fotovoltaik hücre, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemelerden meydana gelen yapılardır. N tipi ve P tipi yarı iletken malzemeden oluşan güneş hücreleri, güneşten gelen fotonları soğururlar. Soğurdukları bu fotonlar N tipi maddeden elektron koparırlar ve elektronlar daha yüksek bir enerji seviyesine geçerler. Daha yüksek enerji seviyesine çıkan elektronlar P tipi maddeye doğru hareket ederler. Elektronlar pozitif P tarafına doğru hareket ederken, boşluklar negatif N tarafına doğru hareket eder ve bağlantı bölgesinde bir elektrik alanı oluşur. Oluşan elektrik alan negatif yüklü parçacıkların bir yönde hareket etmesine ve pozitif yüklü parçacıkların diğer yönde hareket etmesine neden olur (Şekil 3.1). Bu tek yönlü elektron akışı bir elektrik akımı oluşturur [28,29].



Şekil 3.1: Fotovoltaik hücre çalışma prensibi [73]

### 3.2. Fotovoltaik Hücre Eşdeğer Devre Modeli

Fotovoltaik temelli bir sistem kurabilmek, farklı ortam sıcaklığı, ışınım yoğunluğu ve gölgelenme durumlarında fotovoltaik panelin çıkış gerilim ve akım eğrilerini belirleyebilmek için fotovoltaik hücrelerin karakteristiğini doğru tanımlayan bir matematiksel model sunmak oldukça önemlidir. Fotovoltaik hücrelerin matematiksel yaklaşımı ile ilgili pek çok eşdeğer devre oluşturulmuştur. Bu eşdeğer devreler arasında ideal, tek diyotlu ve çift diyotlu eşdeğer devre yaklaşımları en sık kullanılan modellerdir [30].



Şekil 3.2: Fotovoltaik hücre tek diyotlu eşdeğer devresi

Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi ideal bir diyota paralel bağlanmış akım kaynağı, diyota paralel bağlı bir direnç ve devreye seri bağlı bir dirençten oluşmaktadır (Şekil 3.2). Akım kaynağının çıkışı, hücre üzerine düşen ışınım miktarı doğru orantılı olarak değişir . Akım kaynağı N ekleminden P eklemine doğru hareket eden elektronların tek yönlü geçişini temsil etmektedir. Diyot, hücrenin I-V karakteristiğini belirler ve fotovoltaik hücrenin P-N eklem bölgesini temsil eder. Güneş ışığı olmadığı durumlarda, fotovoltaik hücre bir P-N diyot gibi davranır [30,31,32]. Tek diyotlu hücrenin eşdeğer devre denklemi (3.1)'de gösterilmiştir .

$$I = I_{PV} - I_0 \left[ \exp \left( \frac{q(V+IR_S)}{akTN_S} \right) - 1 \right] - \frac{V+IR_S}{R_{Sh}} \quad (3.1)$$

Diyot akımı denkleminde  $I_0$  diyotun doyma akımını,  $a$  diyotun ideallik faktörünü gösterir.  $T$  eklem bölgesinin sıcaklığının Kelvin cinsinden değerini,  $N_S$  seri bağlı hücre sayısını,  $q$  sabiti elektron yükünün mutlak değerini ve  $k$  ise Boltzmann sabitini temsil eder. Ayrıca  $kT/q$  değeri termal gerilimi ifade eder.  $I$  ve  $V$  fotovoltaik hücrenin çıkış akım ve

gerilimlerini,  $R_S$  seri direnci ve  $R_{sh}$  paralel direnci ifade eder [32]. Fotovoltaik hücrede oluşan enerji kayıplarını göstermek için eşdeğer devreye  $R_S$  ve  $R_{sh}$  dirençleri eklenmiştir.  $R_S$  ve  $R_{sh}$  hücrenin yapıldığı yarıiletken materyale ve katkılama oranına göre değişiklik gösterir.  $R_S$  direnci bağlantı noktalarında ve kontaklardan oluşan devre üzerinde gerilim düşümüne sebep olan toplam direnci gösterir ve değeri çok küçüktür.  $R_{sh}$  paralel direnci ise sızıntı akımlarını ifade etmek için kullanılır ve değeri çok büyüktür [30]. Tek diyotlu hücre modelinde Kirchoff akımlar yasası uygulandığında, genel bir eşdeğer devre denklemi elde edilir.

$R_S$  direnci çok küçük ve  $R_{sh}$  değeri çok büyük olduğundan dolayı ideal modelde hücre üzerindeki kayıplar göz ardı edilir. Eşdeğer ideal devrenin çıkış akımı eşitlik (3.2) ve (3.3)'teki ideal diyot eşitliği ile elde edilir.

$$I_D = I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{akT}\right) - 1 \right] \quad (3.2)$$

$$I = I_{PV} - I_d = I_{PV} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{akT}\right) - 1 \right] \quad (3.3)$$

$$V_T = \frac{kT}{q} \quad (3.4)$$

Eşdeğer devre modeli ve (3.1) eşitliği göz önüne alınarak, fotovoltaik hücre tarafından üretilen akım, gerilim ve güç eşitlikleri (3.5), (3.6) ve (3.7)'de belirtilmiştir.

$$I_{OUT} = I = I_{PV} - I_d \quad (3.5)$$

$$V_{OUT} = V_{diode} - IR_S \quad (3.6)$$

$$P_{OUT} = V_{OUT}I_{OUT} \quad (3.7)$$

### 3.3. Fotovoltaik Sistem Parametreleri Karakteristikleri

Bir fotovoltaik hücrenin karakteristiğinin belirlenmesi için gerekli olan parametreler kısa devre akımı ( $I_{SC}$ ), açık devre gerilimi ( $V_{OC}$ ), maksimum güç noktası akımı ( $I_{MPP}$ ), maksimum güç noktası gerilimi ( $V_{MPP}$ ) ve doldurma oranı (FF)'dir.

Kısa devre akımı, yüksüz durumda fotovoltaik hücrenin uçlarının kısa devre yapıldığı durumda geçen akımdır. Bir hücrenin kısa devre akımı, güneş ışımaya yoğunluğuna,



fotovoltaik hücrenin optik özelliklerine ve alanına bağlıdır. Kısa devre akımı ifadesi (3.8)'de gösterilmiştir.

$$I_{sc} = I_{PV} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{I_{sc}R_S}{aV_T}\right) - 1 \right] - \frac{I_{sc}R_S}{R_{sh}} \quad (3.8)$$

Açık devre gerilimi, yüksüz durumda devre boyunca akımın geçmediği durumdaki gerilimi ifade eder ve eşitlik (3.9)'da gösterilmiştir.

$$0 = I_{PV} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{V_{oc}}{aV_T}\right) - 1 \right] - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \quad (3.9)$$

Maksimum güç noktası akımı ve gerilimi, fotovoltaik hücrenin enerji dönüşümü sırasında üretebileceği en yüksek güç noktasında bulunan akım ve gerilim değerlerini ifade eder ve (3.10)'da gösterilmiştir.

$$I_{mpp} = I_{PV} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{V_{mpp}+I_{mpp}R_S}{aV_T}\right) - 1 \right] - \frac{V_{mpp}+I_{mpp}R_S}{R_{sh}} \quad (3.10)$$

Doldurma faktörü, bir fotovoltaik hücre tarafından üretilen maksimum güç noktasındaki gerilim ve akım ile kısa devre akımı ve açık devre geriliminin oranı olarak ifade edilir. (3.11)'de doldurma oranı eşitliği gösterilmiştir.

$$FF = \frac{I_{MPP}V_{MPP}}{I_{sc}V_{oc}} \quad (3.11)$$

Tek diyotlu eşdeğer devre modeli ve bu parametreler kullanılarak sistemde kullanılacak olan 10W fotovoltaik panel için benzetim çalışmaları yapılmış ve modellenmiştir. Her güneş panelinin bir I-V ve P-V eğrisi veya onunla ilişkili karakteristikleri vardır.

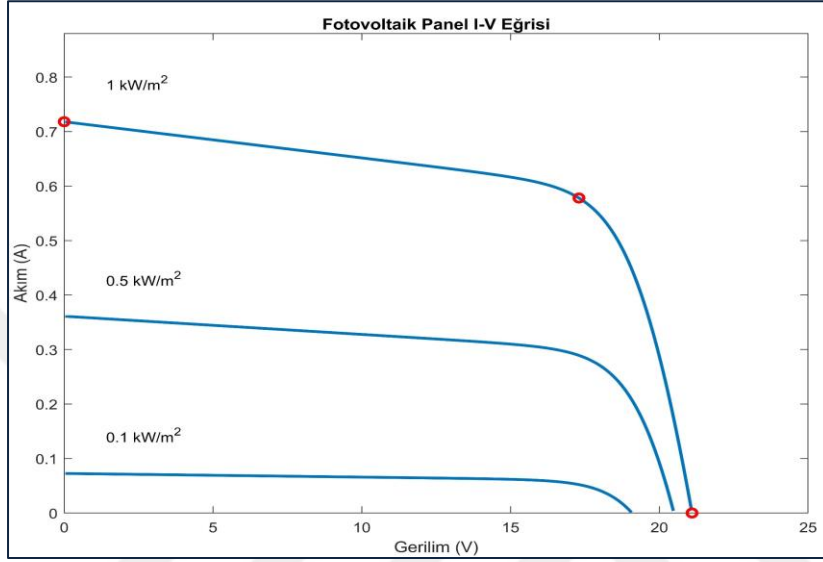
Fotovoltaik hücrelerin akım ve gerilim değerleri sıcaklık ve ışıma değerlerine bağlıdır. Bu durum eşitlik (3.12)'de gösterilmiştir.  $K_i$  değeri hücrelerin özelliklerine göre belirlenen kısa devre akımı sıcaklık katsayısını,  $G$  ışıma değerini,  $K_T$  açık devre gerilimi sıcaklık katsayısını,  $T$  ortam sıcaklığını,  $T_{ref}$  referans sıcaklığını,  $G_n$  nominal ışıma değerini,  $I_{PV,n}$  nominal değerler altında ( $T=25^\circ\text{C}$  ve  $G=1000\text{W/m}^2$ ) fotovoltaik hücre akımını ifade etmektedir [33].

$$I_{PV} = \frac{G}{G_n} \left[ I_{PV,n} + K_i(T - T_{ref}) \right] \quad (3.12)$$

Akım-gerilim eğrisinin altında kalan alan, fotovoltaik panelin üretebileceği maksimum gücü gösterir. Farklı ışıma ve sıcaklık değerlerinde panelin davranışları incelenmiş ve karakteristik yapısı belirlenmiştir.

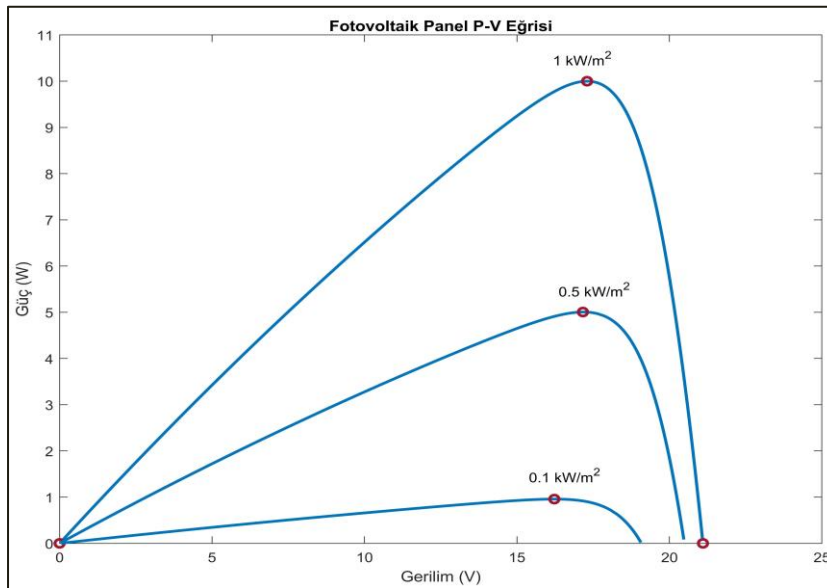
### 3.3.1. Farklı Işınım Değerleri Altında Fotovoltaik Hücre Karakteristiği

Fotovoltaik panelin I-V eğrileri, farklı ışınım değerleri aralığında incelenmiştir. Şekil.3.3'te görüldüğü üzere ışınım değeri azaldıkça sabit sıcaklıkta (25 °C) panel akımı doğrusal bir biçimde azalmaktadır. Işınım değerinin azalmasının ya da artmasının panel gerilimi üzerindeki etkisi ise sınırlıdır.



Şekil 3.3: Fotovoltaik Panel I-V Eğrisi

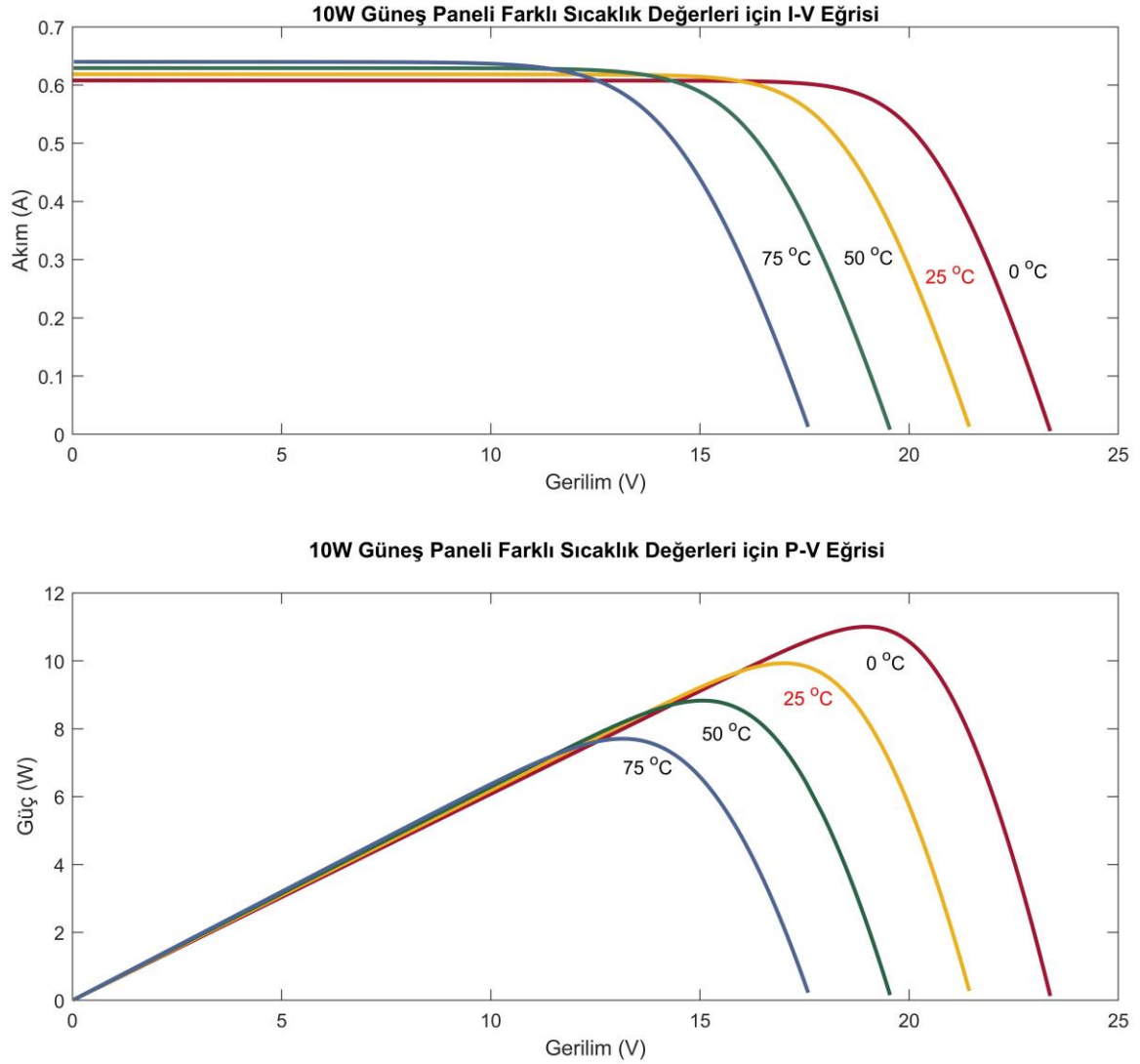
Şekil 3.4'te farklı ışınım değerleri altında sabit sıcaklıkta (25 °C) panelin P-V eğrisi incelenmiştir. Işınım miktarı azaldıkça panel çıkış gücü de değişen akım oranına göre azaltılmaktadır.



Şekil 3.4: Fotovoltaik Panel P-V Eğrisi

### 3.3.2. Farklı Sıcaklık Değerleri Altında Fotovoltaik Hücre Karakteristiği

Fotovoltaik panelin I-V ve P-V eğrileri, sabit ışınım miktarı altında ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) farklı sıcaklık değerlerinde incelenmiştir. Şekil 3.5’de görüldüğü üzere sıcaklık değeri arttıkça panel gerilimi doğrusal bir biçimde azalmaktadır. Değişen gerilim oranı ile birlikte maksimum çıkış gücü de azalmaktadır. Bu nedenle daha soğuk havalarda paneller daha yüksek çıkış gücü sağlayabilmektedirler.



Şekil 3.5: Fotovoltaik paneli farklı sıcaklık değerleri altında I-V ve P-V eğrileri

## 4. ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ VE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME (MGNİ) YÖNTEMLERİ

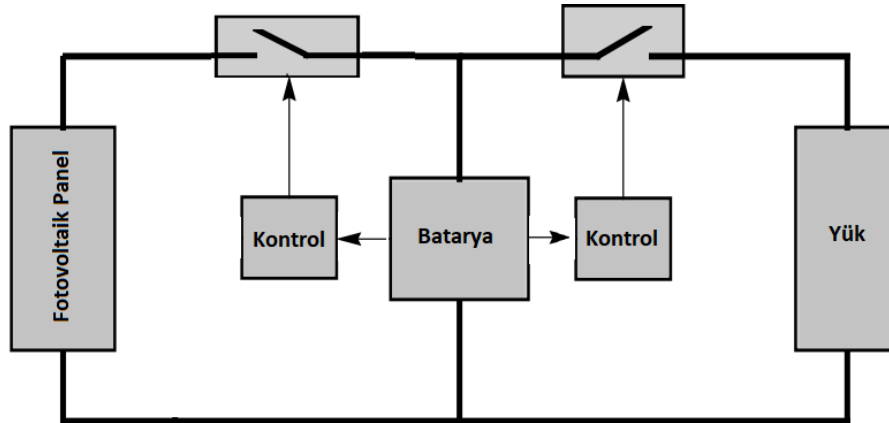
### 4.1. Fotovoltaik Enerji Dönüşümü için Kullanılan Kontrol Yöntemleri

Fotovoltaik enerji kaynakları, doğrusal olmayan kaynaklardır. Güneş ışınlarının yoğunluğu, sıcaklık ve panel açısı gibi parametrelerin sürekli değişimi, panel çıkış gerilimini ve akımını etkilemekte ve anlık olarak değişmelerine neden olmaktadır. Panel, doğrudan yüke bağlanırsa kontrol edilemeyen akım ve gerilim yüke zarar verebilmektedir. Bu tarz sistemlerde çevresel koşulların değişmesi, önemli güç kayıplarına sebep olmaktadır. Bu nedenle çıkış gerilimini doğrusal bir şekilde panele bağlı olan yüklere aktarabilmek enerji dönüşümünü kontrollü bir biçimde sağlamak, sistemi aşırı akım ve gerilimden korumak için farklı yöntemler geliştirilmiştir.

En çok kullanılan yöntemler paralel kontrol, seri kontrol, darbe genişlik modülasyonu ile kontrol ve maksimum güç noktası izleyicisidir. Bu kontrol yöntemleri içinde en verimli yaklaşım MGNİ (Maksimum Güç Noktası İzleyicisi) yöntemidir.

#### 4.1.1. Seri Kontrol Yöntemi

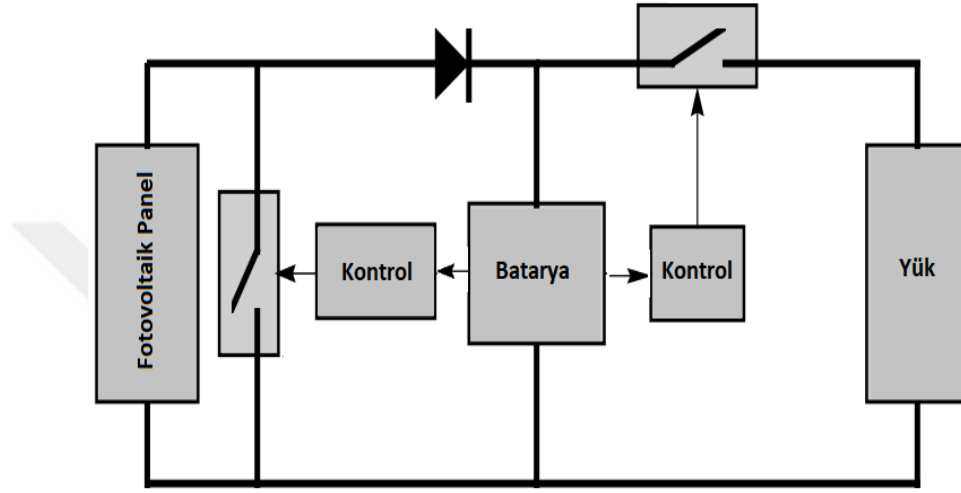
Seri kontrol yönteminde fotovoltaik kaynak ve yük arasında seri olarak bağlanmış bir anahtarlama elemanı kullanılır (Şekil 4.1). Anahtarlama elemanı panel ile yük arasındaki güç geçişini kontrol eder. Anahtarlama elemanı, analog veya dijital bir kontrol birimi ile yükün güç ihtiyacı olduğu durumlara göre açılır veya kapatılır. Bu yöntem daha çok küçük güçlü fotovoltaik uygulamalarında kullanılır [34, 35,36].



Şekil 4.1 : Seri kontrol yöntemi devre şeması

### 4.1.2. Paralel Kontrol Yöntemi

Bu kontrol yönteminde fotovoltaik kaynak ile yük arasında paralel bağlı bir anahtarlama elemanı kullanılır (Şekil 4.2). Paralel bağlı olan anahtarlama elemanı yük ve panel arasındaki gerilim ve akım kontrolünü sağlar, ve oluşabilecek yüksek akımda sistemi korur. Ayrıca yük ile panel arasında bir tıkama diyodu kullanılır [34,35,36].



Şekil 4.2 : Paralel kontrol yöntemi devre şeması

### 4.1.3. Darbe Genişlik Modülasyonu Kontrol Yöntemi

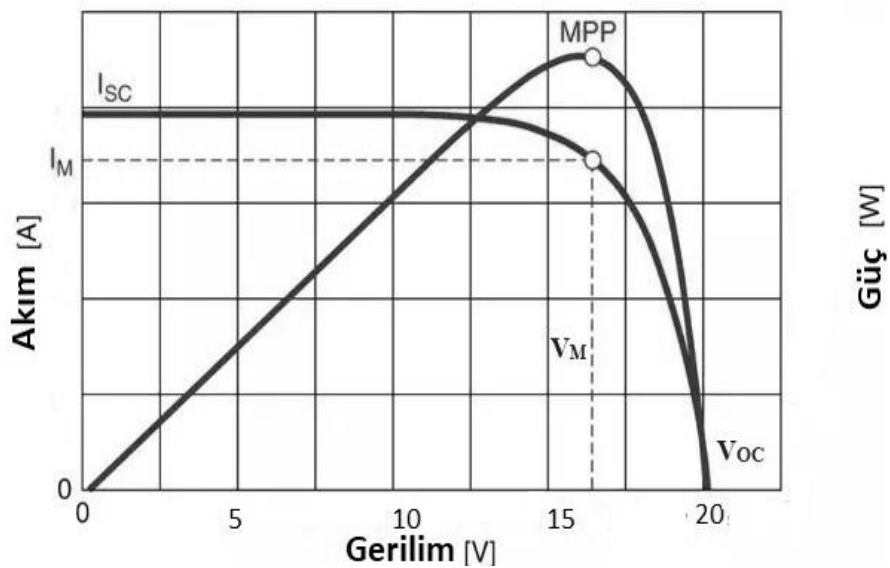
Bu yöntemde bir mikro denetleyici eleman kullanılarak panel ve yük arasında bulunan anahtarlama elemanının kontrol bacağına sinyal gönderilir. Gönderilen sinyal ile görev oranı ayarlanır ve yük olarak kullanılan bataryanın şarj döngüsünü değerlendirilir. Denetleyici sürekli olarak sistem parametrelerini kontrol ederek yükü besler. Anahtarlama elemanı kapalı olduğu sürece batarya, panel gerilimini kendi seviyesine çeker. Bataryanın şarj döngüsünü tamamladıktan sonra, anahtarlama elemanına gönderilen darbe genişlik modülasyonu sinyalinin görev oranını azaltılarak yükün aşırı gerilim ve akımdan korunması sağlanır. Bu kontrol yöntemi ile tasarlanan kontrol sistemlerinin avantajları, ucuz ve uzun süre dayanıklı olmalarıdır. Farklı büyüklükteki sistemlerde kullanılabilirler. En büyük dezavantajı ise sistem veriminin MGNI kontrol sistemlerine göre %15-30 oranında düşük olmasıdır [37,38].

#### 4.2. Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNI) Yöntemleri

Fotovoltaik kaynaklı güç ünitesi tasarımında kullanılan en verimli yaklaşım, panelin P-V eğrisi üzerindeki maksimum güç noktasını sürekli takip eden, darbe genişlik modülasyonu kullanarak görev döngüsünü ayarlayan ve bir DA/DA dönüştürücü aracılığı ile maksimum gücü yüke aktaran maksimum güç noktası izleyici (MGNI) yöntemidir.

Maksimum güç noktası bir fotovoltaik panelin çalışabileceği en yüksek gücün aktarılacağı noktadır (Şekil 4.3). Maksimum güç noktası ortam sıcaklığına, güneş ışınlarının yoğunluğuna ve çevresel şartlara göre sürekli yer değiştirir. Bu noktayı tespit edip, panel gücünü en verimli şekilde kullanabilmek için algoritmalar geliştirilmiştir. MGNI algoritmaları, panel gerilim ve akım değerlerini sürekli takip ederek yeni maksimum güç noktasını tespit eder. Bu şekilde panelden elde edilebilecek doğrusal olmayan maksimum gücü sisteme bir DA-DA dönüştürücü birimi vasıtası ile aktarır ve güç kayıplarını en aza indirgeyerek enerji dönüşümünü sağlar.

MGNI yaklaşımları, dolaylı denetim ve doğrudan denetim olmak üzere ikiye ayrılır. Dolaylı denetim yaklaşımlarında, maksimum güç noktasını bulmak için genellikle fotovoltaik panellerin teknik bilgilerini kullanılır. Bu bilgiler, değişen çevresel şartlar altında panellerin  $I - V$  ve  $P - V$  eğrilerini ve fotovoltaik panellerin matematiksel modellerini içerir. Doğrudan denetim yaklaşımları, maksimum güç noktasını izlemek için gerçek zamanlı olarak panel gerilim ve akım değerlerini kullanır. Dolaylı denetim yaklaşımları düşük maliyetlidir fakat maksimum güç noktasını bulma kabiliyetleri doğrudan denetim yöntemlerine göre daha düşüktür [39,40,41,42,43].



Şekil 4.3 : Maksimum güç noktası grafiği

#### 4.2.1. Dolaylı Denetim Algoritmaları

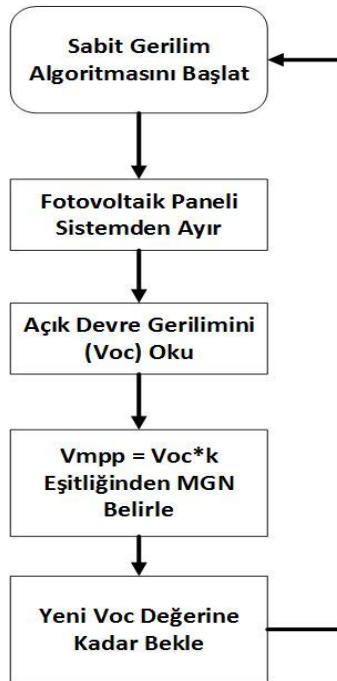
Sabit gerilim ve sabit akım algoritmalarını içeren dolaylı denetim algoritmaları, açık devre geriliminin ve kısa devre akımının ölçülmesi ilkesine dayanır. Bu sırada paneli devreden ayırmak gerekir ve bu süre zarfında sisteme enerji aktarılmaması bu algoritmaların en büyük dezavantajıdır.

##### 4.2.1.1. Sabit Gerilim Algoritması

Bu yaklaşımda, panelin açık devre gerilimi ile maksimum güç noktasındaki gerilim arasında bir doğrusal bir ilişki olduğu varsayılır. Fotovoltaik hücrenin özelliklerine göre yaklaşık olarak bir katsayı belirlenir. Panel seçimine ve uygulama türüne göre değişiklik gösteren katsayı değeri genelde %70-80 arasında seçilir [39,40]. (4.1)'de sabit gerilim algoritmasının matematiksel eşitliği gösterilmiştir.

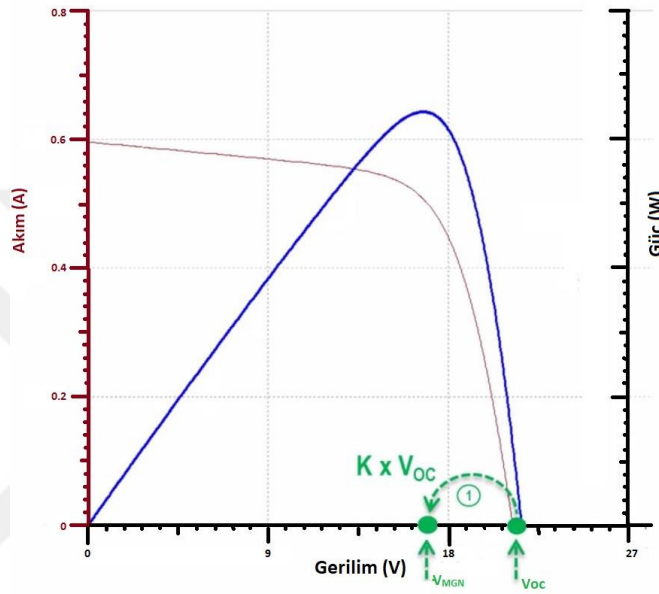
$$kV_{oc} = V_{MPP} \quad (4.1)$$

Panel, belirli aralıklar ile sistemden bir anahtarlama elemanı yardımı ile ayrılır. Açık devre gerilimi sürekli ölçülür. Ölçülen gerilim katsayı ile çarpılır. Hesaplanan gerilim değeri maksimum güç noktasını ifade eder ve algoritma bu güç noktası üzerinden enerji dönüşümünü sağlamaya çalışır. Sabit gerilim algoritmasının akış şeması Şekil 4.4'te verilmiştir. Maksimum güç noktası takibi belirli periyotlar ile tekrarlanır ve panel gerilimi maksimum noktada tutulur (Şekil 4.5).



Şekil 4.4 : Sabit gerilim algoritması akış diyagramı

Sabit gerilim algoritmasının en büyük avantajı, karmaşık kontrol birimleri gerektirmediğinden dolayı düşük maliyetli bir yöntem olmasıdır. Düşük güçle çalışan sistemlerde, bu algoritma yüksek verimlerle çalışabilir. Sabit gerilim algoritmasının maksimum güç noktasını takip hızı yüksektir, pratik bir yöntemdir ve kullanılan tek bir parametre olduğundan dolayı daha küçük devreler kullanılır. Ancak açık devre geriliminin her çevrimde tespit edilebilmesi için panelin sistemden ayrılması gerekir. Bu nedenle açık devre geriliminin ölçüldüğü süre zarfında, sisteme panelden güç aktarılamayacağından dolayı sistemde güç kayıpları meydana gelir [39,40,43].



Şekil 4.5 : Sabit gerilim algoritması çalışma prensibi [62]

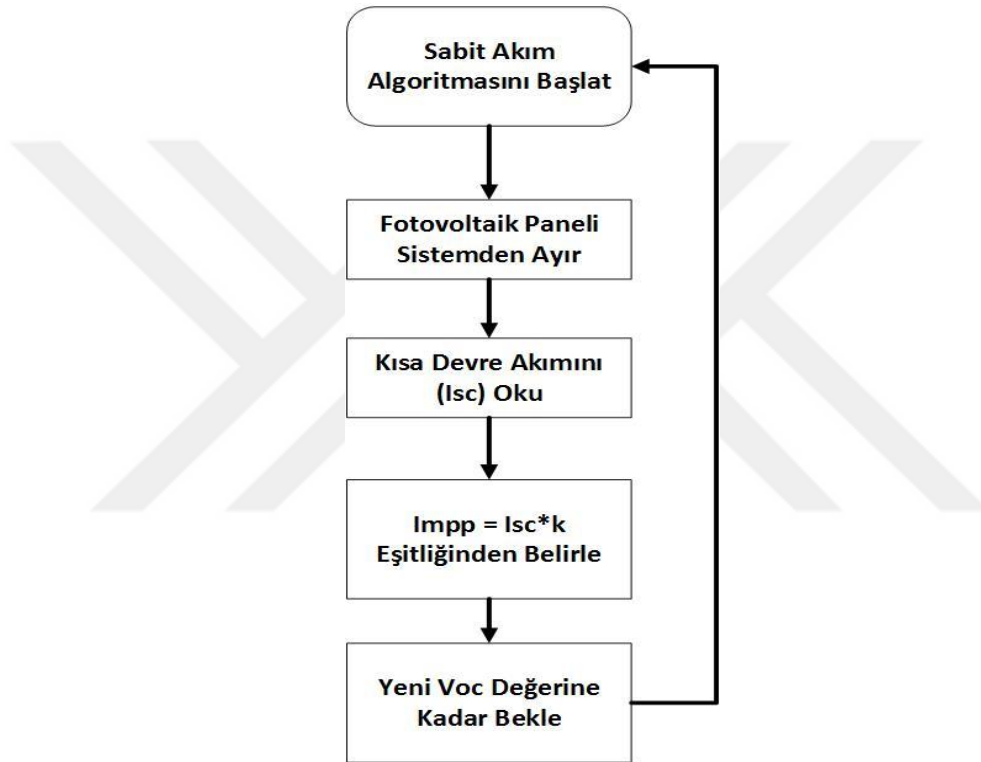
#### 4.2.1.2. Sabit Akım Algoritması

Sabit akım algoritmasında, panelin kısa devre akımı ile maksimum güç noktasındaki gerilim arasında bir doğrusal bir ilişki olduğu varsayılır. Fotovoltaik hücrenin özelliklerine göre yaklaşımsal olarak bir katsayı belirlenir. Panel seçimine ve uygulamaya göre değişiklik gösteren katsayı değeri genelde %75-95 arasında seçilir [39,40].

Panel sistemden belirli aralıklar ile ayrılır ve kısa devre akımı sürekli ölçülür. Ölçülen akım belirlenen katsayı ile çarpılır. Hesaplanan akım değeri maksimum güç noktasındaki akımı ifade eder ve algoritma bu güç noktası üzerinden enerji dönüşümünü sağlamaya çalışır. Maksimum güç noktası takibi belirli periyotlar ile tekrarlanır ve panel akımı maksimum noktada tutulur. (Şekil 4.6). Sabit akım algoritmasının akış şeması Şekil 4.6'da verilmiştir.



Sabit akım algoritması, panel akımının ölçülmesini gerektirdiğinden dolayı sabit gerilim tekniğine göre daha karmaşık ve pahalıdır. Ancak sabit gerilim algoritmasında olduğu gibi kısa devre akımının her periyotta tespit edilebilmesi için panelin sistemden ayrılması ve uçlarının kısa devre yapılması gerekir. Bu süre zarfında sisteme panelden güç aktarılamayacağından dolayı sistemde güç kayıpları meydana gelir. Sıcaklık, ışımaya miktarı ve çevresel şartlardan dolayı değişen maksimum güç noktası sapmaları k sabitini etkiler ve yeniden hesaplanması gerekebilir [39,40,43].



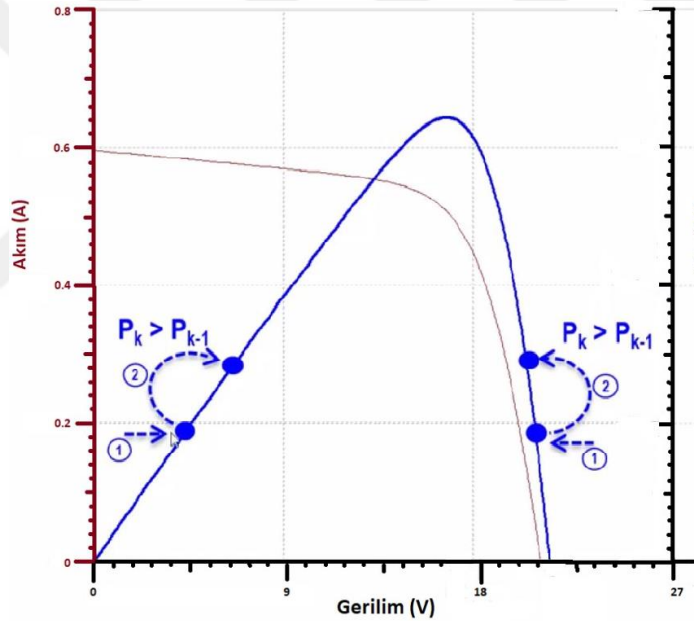
Şekil 4.6 : Sabit akım algoritması akış diyagramı

#### 4.2.2. Doğrudan Denetim Algoritmaları

Doğrudan denetim yaklaşımları; paneli sistemden ayırmadan, sürekli olarak akım ve gerilimi takip edip, önceki değerleri ile karşılaştırarak maksimum güç noktasını belirleyen algoritmalarıdır. Değiştir ve gözle (P&O), artan iletkenlik, bulanık mantık ve yapay sinir ağı algoritmalarını içeren bu yaklaşımlar, paneli sistemden ayırmadan maksimum güç noktası belirlenebildiği için daha verimlidir [39,40,41,43].

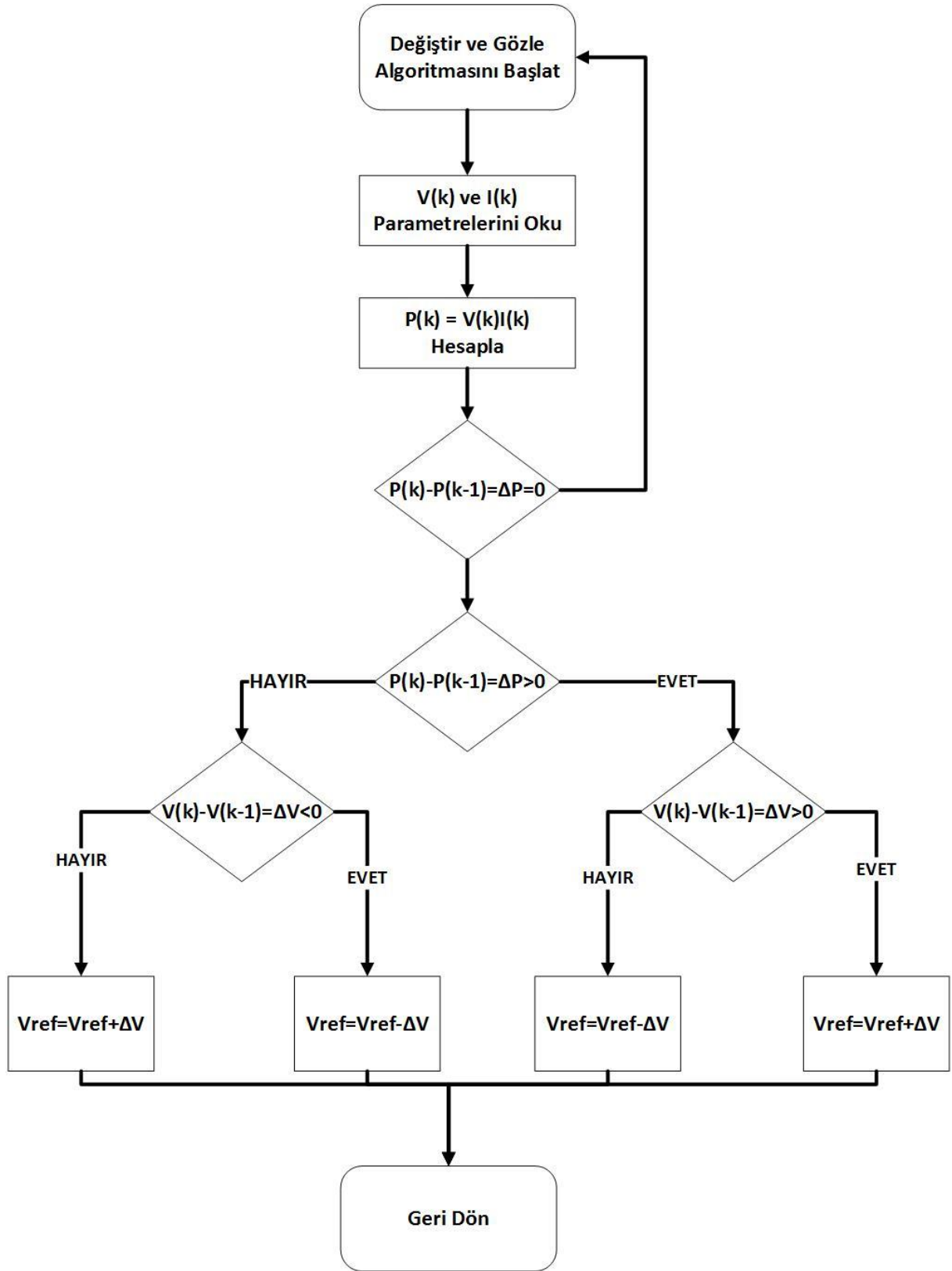
#### 4.2.2.1. Değiştir ve Gözle Algoritması

Maksimum güç noktasını bulmak için kullanılan en yaygın yaklaşımlardan biri değiştir ve gözle algoritmasıdır. Algoritma, maksimum güç noktasının güneş işıma miktarı, sıcaklık ve ortam koşullarından etkilenecek değişmesinden dolayı sürekli olarak fotovoltaik panelin akım ve gerilimini P-V karakteristik eğrisi üzerinde takip eder [39,40]. Ölçülen parametreleri, bir önceki maksimum güç noktasında bulunan parametreler ile karşılaştırır. Bir sonraki gç değeri yeniden hesaplanır ve bir önceki güç değeri ile karşılaştırılır. Maksimum güç noktasına ulaşmak için gerilim değerini, her çevrimde görev döngüsünü değiştirerek yeniden ayarlar. Ölçülen yeni gç değeri, bir önceki ile eşitse algoritma başa döner ve sistem gerilimini tekrar ler. Yeni gerilim değeri bir önceki gerilim değerinden farklı ise büyük veya küçük olma durumuna göre gerilim değerlerini karşılaştırır ve maksimum güç noktasının hangi tarafında kalındığına bağlı olarak P-V eğrisi üzerinde hareket etmeye devam eder (şekil 4.7).



şekil 4.7 : Değiştir ve gözle algoritması çalışma prensibi [62]

$\Delta P$  değeri sıfır ise, sistem maksimum güç noktasında çalışmaya devam eder ve görev döngüsü bir sonraki çevrime kadar aynı kalır.  $\Delta P$  ve  $\Delta V$  değeri sıfırdan büyük ise, çalışma gerilimi P-V eğrisinin sol tarafındadır ve algoritma gerilimi maksimum güç noktasına yaklaştırmak için görev döngüsünü arttırır.  $\Delta P$  değeri sıfırdan büyük ve  $\Delta V$  değeri sıfırdan küçük ise, çalışma gerilimi P-V eğrisinin sağ tarafındadır ve algoritma gerilimi maksimum güç noktasına yaklaştırmak için görev döngüsünü azaltır.  $\Delta P$  değeri sıfırdan küçük ve  $\Delta V$  değeri sıfırdan büyük ise, çalışma gerilimi P-V eğrisinin sağ tarafındadır ve algoritma gerilimi maksimum



Şekil 4.8 : Değiştir ve gözle algoritması akış diyagramı [41]

güç noktasına yaklaştırmak için görev döngüsünü azaltır.  $\Delta P$  ve  $\Delta V$  değeri sıfırdan küçük ise, çalışma gerilimi P-V eğrisinin sol tarafındadır ve algoritma gerilimi maksimum güç noktasına yaklaştırmak için görev döngüsünü artırır [41,40,43]. Şekil 4.8’de değiştir gözle algoritmasının akış şeması verilmiştir.

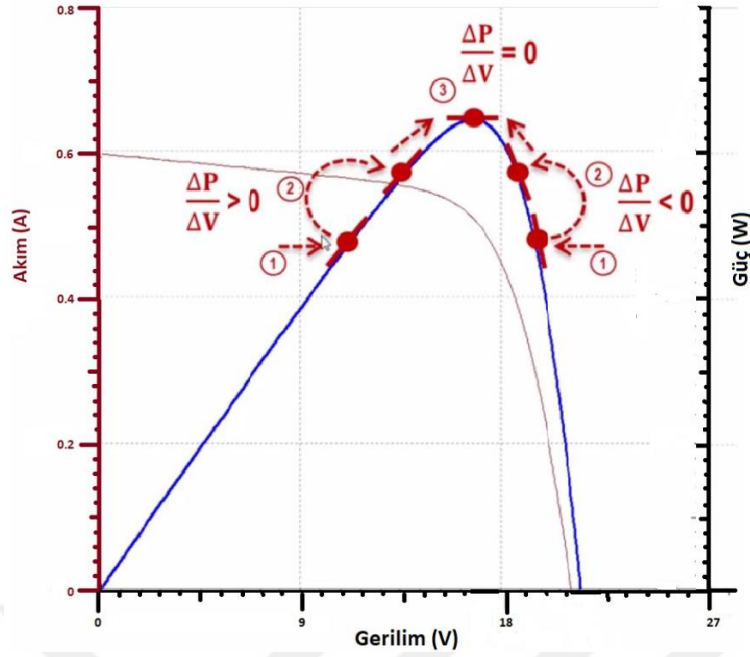
Değiştir ve gözle algoritması, gerilimi artırmak veya azaltmak için sabit bir adım kullanır. Yaklaşım, güç noktasını tespit ederken sabit adımlar ile maksimum güç noktasına doğru hareket ettirir. Adımın boyutu, MPP etrafında salınırken sapmanın boyutunu belirler. Hareket adımı büyük seçilirse, algoritmanın takip hızı artar, ancak kararlı haldeki salınımlar artar ve algoritma verimi düşer. Hareket adımı küçük seçilirse, algoritmanın takip hızı azalır ancak salınımlar azalır ve algoritma daha verimli hale gelir [41,42].

Değiştir ve gözle algoritması; etkili, basit, uygulaması kolay, düşük maliyetli, nispeten daha doğru bir yöntemdir. Işıma miktarının hızlı değişmediği durumlarda maksimum güç noktasını doğru bir şekilde takip eder. Uygulama alanlarına göre verimi arttırmak amacıyla uyarlanabilirler. Bununla birlikte algoritmanın verimini azaltan sınırlamalara sahiptir. Algoritma, sürekli gerilimi değiştirerek maksimum güç noktasına ulaşmaya çalıştığından dolayı, bu noktaya ne zaman ulaşabileceğinin tespit edilememesi algoritmanın dezavantajlarından biridir. Değişken atmosferik koşullardan dolayı algoritma, maksimum güç noktasını takip ederken salınımlar yapar. Farklı sıcaklıklarda ve hızlı değişen güneş ışınım miktarlarında, değiştir ve gözle metodu maksimum güç noktası bulmakta zorlanır. Bununla birlikte, algoritma maksimum güç noktasının yakınında çalışmaya devam eder [39,40].

#### **4.2.2.2. Artan İletkenlik Algoritması**

Artan iletkenlik yöntemi, fotovoltaik panelin P-V eğrisinin eğiminin maksimum güç noktası üzerinde sıfır, bu noktanın solunda pozitif ve bu noktanın sağında negatif olma durumlarına göre maksimum güç noktasını takip etmesi prensibine dayanır (Şekil 4.9). Maksimum güç noktası belirlenirken, referans akım ve gerilimin türev değerleri kullanılır [40,42].

Artan iletkenlik yaklaşımı, fotovoltaik panelin çıkış gücünün gerilime göre türevinin alınıp eğri eğiminin sıfıra eşitlenmesi ile belirtilir. Eşitlik (4.2) ve (4.3)’te bu durum gösterilmiştir. Algoritmanın çalıştığı nokta P-V eğrisinin sağ tarafında ise azalan iletkenliği, sol tarafında ise artan iletkenliği gösterir [42].



Şekil 4.9 : Artan iletkenlik algoritması çalışma prensibi [62]

Eşitlik (4.4) ve (4.5), algoritma çalışma noktasını maksimum güç noktasına doğru hareket ettirmek için gereken yönü ifade eder. Bu takip, eşitlik (4.1)'de gösterilen eşitlik sağlanana kadar devam eder. Maksimum güç noktasına ulaşıldığında algoritma, sistem bir gerilim veya akım değişikliğini belirleyene kadar bu noktada çalışmaya devam eder [40,42]. Artan iletkenlik algoritmasının akış şeması Şekil 4.10'da verilmiştir.

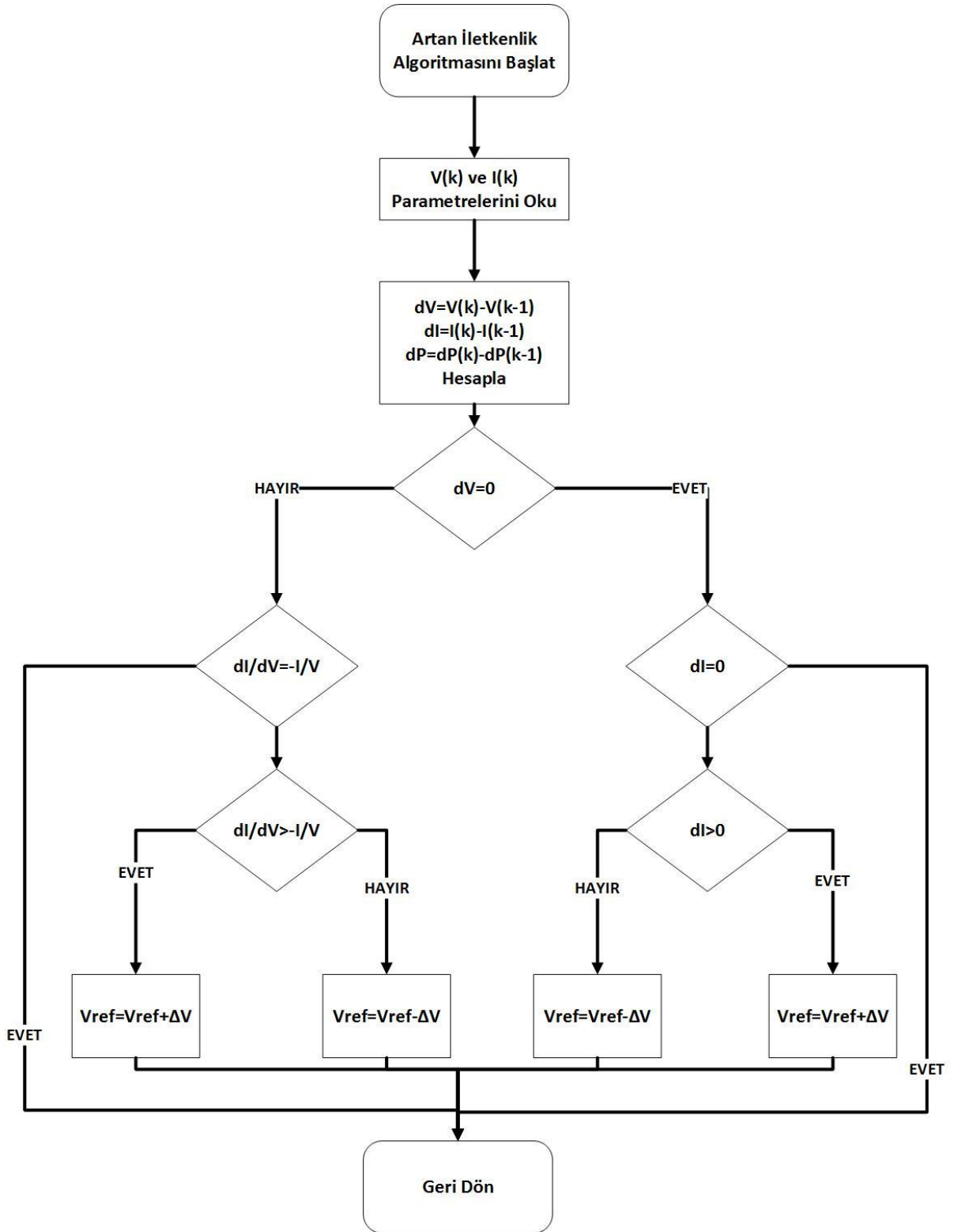
$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(VI)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = 0 \quad (4.2)$$

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} ; \left( \frac{dP}{dV} = 0 \right) \quad (4.3)$$

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} ; \left( \frac{dP}{dV} > 0 \right) \quad (4.4)$$

$$\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V} ; \left( \frac{dP}{dV} < 0 \right) \quad (4.5)$$

Artan iletkenlik algoritması değişen çevresel koşullara hızlı uyum sağlayabilir. Ayrıca, artan iletkenlik ile değiştir ve gözle algoritmalarının verimleri temelde yaklaşık aynı olmasına rağmen, maksimum güç noktası etrafında değiştir ve gözle yönteminden daha düşük salınımlar yapar [40,42].



Şekil 4.10 : Artan iletkenlik algoritması akış şeması [40]

### 4.2.2.3. Bulanık Mantık Algoritması

Bulanık mantık yaklaşımı; bulanıklaştırma, kural tablosu ve bulanıklaştırmadan çıkma olarak üç temel adımdan oluşur. Bulanıklaştırma aşamasında, sayısal giriş parametreleri sözel parametrelere dönüştürülür [40,42].

Maksimum güç noktasını bulmak amacı ile, bulanık mantık yaklaşımında E ile gösterilen hata ve  $\Delta E$  ile gösterilen hata değişim miktarı giriş değerleri olarak kullanılır. E ve  $\Delta E$  değerleri, eşitlik (4.6) ve (4.7) kullanılarak bulunur.

$$E(n) = \frac{P(n)-P(n-1)}{V(n)-V(n-1)} \quad (4.6)$$

$$\Delta E(n) = E(n) - E(n - 1) \quad (4.7)$$

E ile  $\Delta E$  değerleri hesaplandıktan ve sözel parametrelere dönüştürüldükten sonra, D görev oranındaki değişimi gösteren algoritma kontrol yapısının çıktısı, Çizelge 4.1'deki gibi bir bulanık mantık tablosu kullanılarak belirlenebilir. Çizelge 4.1'de gösterilen örnek durumda PB (pozitif büyük), NS (negatif küçük), Z (sıfır), NB (negatif büyük), PS (pozitif küçük), olmak üzere 5 adet bulanık mantık seviyesi kullanılır. Farklı uygulamalarda farklı bulanık mantık tabloları oluşturulup, algoritma tasarımı yapılabilir [40].

Farklı E ve  $\Delta E$  değerlerinin görev oranı için belirlenen sözel parametreleri, kullanılan güç dönüştürücüsüne ve kullanıcının bilgisine dayanır. Çizelge 4.1, yükseltici tipte bir dönüştürücü kullanılan bir MGNİ devresi için oluşturulmuştur. Örneğin, maksimum güç noktasının sol tarafında bulunan çalışma noktasındaki hata E, PB değerine ve hata değişim miktarı  $\Delta E$  ise Z değerlerine atanmıştır. Bu durumda maksimum güç noktasına ulaşmak için görev oranı, PB sözel değişkenine atanarak arttırılması gerekir [40].

Bulanıklaştırmadan çıkma aşamasında, bulanık mantık algoritmasının çıktıları sözel parametrelerden tekrar sayısal parametrelere dönüştürülür. Böylece maksimum güç noktasına ulaşmak için MGNİ devresindeki dönüştürücüyü kontrol eden gerekli sinyaller üretilmiş olur.

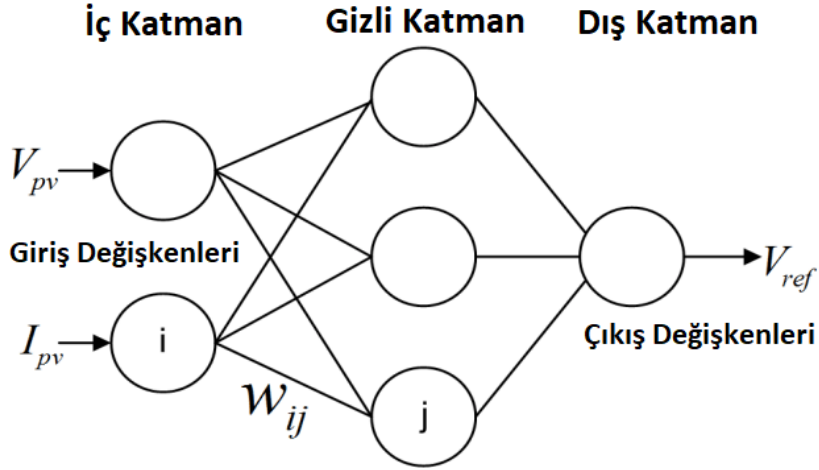
Bulanık mantık yaklaşımı, değişken çevresel koşullar altında iyi performans sergiler. Kesin giriş parametreleri ile çalışma, doğru bir matematiksel yapıya ihtiyaç duymama ve doğrusal olmayan durumlarla başa çıkma gibi avantajlara sahiptir. Algoritmanın verimi, kural tablosunun doğru bir şekilde oluşturulmasına bağlıdır. Bu nedenle tablo oluşturulurken, sözel parametreler uygulamaya yönelik seçilmelidir [40,42].

Çizelge 4.1 : Bulanık mantık algoritması yaklaşım çizelgesi [40]

$E \backslash \Delta E$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	ZE	ZE	NB	NB	NB
NS	ZE	ZE	NS	NS	NS
ZE	NS	ZE	ZE	ZE	PS
PS	PS	PS	PS	ZE	ZE
PB	PB	PB	PB	ZE	ZE

#### 4.2.2.4. Yapay Sinir Ağları Algoritması

Yapay sinir ağları Şekil 4.11'de gösterildiği gibi iç (giriş) katmanı, gizli katman ve dış (çıkış) katman olmak üzere genellikle üç katmana sahiptir. Her katmandaki düğüm sayısı değişkendir ve bu sayıyı kullanıcı, uygulama alanına göre belirler. Giriş parametreleri olarak; ışınma miktarı, açık devre gerilimi, sıcaklık ve kısa devre akımı gibi veriler kullanılabilir. Çıkış parametresi genellikle, maksimum güç noktasına ulaşmak için MGNİ devresindeki dönüştürücüyü kontrol eden gerekli sinyaller ve uygulama alanına yönelik farklı sinyaller olabilir [40,42].



Şekil.4.11: Yapay zeka algoritması çalışma prensibi [40]

Algoritmanın çalışma bölgesi; maksimum güç noktasına yaklaşma durumuna, gizli katman tarafından kullanılan algoritmalara ve yapay sinir ağının ne kadar iyi geliştirildiğine göre değişkenlik gösterir. Maksimum güç noktasını doğru bir şekilde belirlemek için fotovoltaik



hücre yapışan uygun algoritmanın, uzun süre boyunca test edildiği ve geliştirildiği bir sürecin doğru ve özenli bir şekilde belirlenmesi gerekir [40,43]. Bu süreç sonunda yapay sinir ağının girişleri ve çıkışları arasındaki model belirlenir.

Fotovoltaik hücrelerin birbirinden farklı karakteristiklere sahip olmasından ve karakteristikleri çevresel koşullara göre değişmesinden dolayı, kullanılacak fotovoltaik hücre için sinir ağının özel olarak geliştirilmesi gerekliliği bu yaklaşımın en büyük dezavantajıdır. Fotovoltaik hücrenin karakteristik yapısı zamanla değişebilir, bu nedenle maksimum güç noktasını doğru şekilde bulması amacıyla yapay sinir ağının periyodik olarak geliştirilmesi gerekir [40,42].

#### **4.2.3. MGNİ Algoritmalarının Karşılaştırması**

Yapılan çalışmalarda, uygulama alanlarına göre farklı yaklaşımlar sunulmuş ve tasarımlar yapılmıştır. Tasarımlarda öne çıkan en önemli parametre MGNİ yaklaşımı ile tasarlanmış sistemlerin verimleri olmuştur. Literatürde MGNİ devresinin tasarımı, uygulanan yaklaşım ve diğer etkenlerden dolayı aynı algoritmalar için bile farklı verim değerlerinin elde edildiği gözlenmiştir.

N.B. Bharatula ve diğerleri [44], bedensel aktiviteleri gözlemleyen minyatür bir sistem için maksimum güç noktası takip sistemi tasarımı yapmışlardır. Bu çalışmada, çevrimiçi aktivite sistemi çalışmaları için çeşitli MGNİ ve güneş hücresi modelleri değerlendirilmiş ve uygulanan yaklaşım ile %80-%96 aralığında sistem verimi elde edilmiştir.

Yapılan bir başka çalışmada [45], sabit gerilim algoritması kullanarak fotovoltaik dizinin karakteristik eğrisi ve analizi yapılmış, MGNİ yaklaşımı ile indirici tipte dönüştürücü kullanılarak şarj kontrol cihazı tasarlanmıştır. Yapılan testlerde, tam yük altında sistemin %88 verim ile çalıştığı belirtilmiştir.

K. K. Win ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada [46] bir güneş enerjisi hasadı yapan bir sistem tasarlanmıştır. MGNİ yaklaşımı olarak sabit gerilim algoritması kullanılmıştır. Sistem, sensör ağını çalıştıran bataryayı beslemektedir. Yapılan testler sonucunda, batarya ile çalışan sensör düğümü 150 saate kadar çalışabilirken sisteme eklenen fotovoltaik panel ile bu sürenin sınırsız olarak uzayabildiği gözlemlenmiştir. Tasarımın genel veriminin, güç kayıpları da göz önüne alınarak %90 değerinin üstünde olduğu belirlenmiştir.

S. Khadidja ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada [47], fotovoltaik bir sistemin benzetim çalışması yapılmış ve indirici tip dönüştürücü kullanılan sistemde artan iletkenlik ile değiştir-

gözle algoritması karşılaştırılmıştır. Benzetim çalışması sonucunda değiştir ve gözle algoritması %94.21 verim ile çalışırken, artan iletkenlik yöntemi %94.38 verim ile çalışmıştır.

Yapılan çalışmada [48], sensör düğümü güç birimi sabit gerilim algoritması ile tasarlanmıştır. Sistemin %93.1 verim ile çalıştığı, yapılan testler sonucunda belirlenmiştir.

P. Stack ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada [49], kesirli açık devre gerilimi algoritması kullanılarak 1mW seviyesinden çok düşük güçle çalışan sensör düğümünü beslemek amacıyla bir sistem tasarlanmıştır. Sistem çalışmasında yapılan testlerde, MGNİ algoritmasının veriminin %79.6 olduğu belirlenmiştir. MGNİ devresinin çıkışının sağladığı gücün sistem için yeterli olduğu tespit edilmiştir.

A. Omairi ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada [50], maksimum güç noktası izleyici yaklaşımı ile kablosuz sensör ağlarını beslemek için bir kontrol sistemi tasarımı yapılmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarında, yeni bir yaklaşım olan yarı-pilot hücre kesirli açık devre gerilimi algoritması (SPC-OC) kullanılmış ve bu algoritmanın verimi diğer algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. SPC-OC algoritması ile yapılan benzetim çalışmasında, sistem verimi %98.19 olarak hesaplanmıştır. Pilot hücre yöntemi ile yapılan tasarımda %82.16, değiştir ve gözle algoritması ile tasarlanan sistemde ise %86.4 verimlilik elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada [51], güneş paneli ile beslenen bir kablosuz sensör ağı sistemi için güneş enerjisinden maksimum faydayı sağlamak amacı ile LDR ışık sensörü kullanılarak MGNİ tabanlı bir güneş takip sistemi tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan sistem ile sabit panelden elde edilen enerjiden %10 daha fazla enerji elde edilmiştir. Sistem günlük 5.6 Wh enerji tüketirken, günlük olarak güneş enerjisinden 5.3 Wh elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada [52], sensör ağ düğümünü yüksek verimlilikle beslemek için maksimum güç noktası takipçisi tasarlanmıştır. LT1303 yükseltici tip bir dönüştürücü entegresi ve MGNİ algoritması kullanılmıştır. Yapılan testlerde tasarlanan sistemin, sensör düğümünün tükettiği enerjiden %25 daha enerji ürettiği belirtilmiştir. Sistemin kapalı ve bulutlu havalarda bile sensör ağını beslemeye devam etmekte olduğu gözlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada [53], sensör ağlarına enerji vermek için Sabit Gerilim Algoritması MGNİ algoritması kullanılarak verimli ve düşük güçlü bir sistem oluşturulma amaçlanmıştır. Sistemde panel gerilim ve akımı bir kontrol ünitesi tarafından ölçülerek maksimum güç noktası belirlendikten sonra sisteme aktarılmıştır. Diğer çalışmalarda olduğu gibi sensör ağının zor koşullarda uzun süre dayanması amaçlanmıştır. Ancak bu sistemde depolama elemanı olarak 5.5 V çıkış gerilimi üreten süper kapasitör kullanılmıştır. 3.85 V çıkış gerilimine sahip güneş

paneli kullanıldığı için kontrol ünitesindeki topoloji yükseltici tip dönüştürücü olarak tasarlanmıştır.

M. Shebani ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada [54], kesirli kısa devre akım ve sabit gerilim algoritmaları karşılaştırılmış, algoritmalar büyük güçlü bir fotovoltaik sistem tasarlanarak test edilmiştir. Enerji dönüşümü için yükseltici tip dönüştürücü kullanılmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarından farklı ışımaya değerleri altında iki algoritmanın verimlilik oranları karşılaştırılmıştır. Kesirli kısa devre akım algoritması  $1000 \text{ W/m}^2$  ışımaya altında %96.2 verimle çalışırken, açık devre gerilim algoritması ile tasarlanan sistem %94.6 verim ile çalışmıştır.

Y.Li ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada [55], lityum batarya ve kontrol ünitesi içeren, MGNİ yaklaşımı ile bir güç kontrol ünitesi tasarımı üzerinde durulmuştur. Uzun süre sistemi besleyecek verimli bir sistem hedeflenmiştir. Sistem veriminin %60 değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Lityum iyon batarya ve güneş panelinin birlikte kullanıldığı sistem veriminin ise %80 değerinin üzerinde olduğu gözlenmiştir.

J.Shi ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada [56], bulanık mantık algoritmasına dayalı MGNİ yaklaşımı kullanarak %80 verim değerinin üzerine çıkabilen düşük güçlü kontrol sistemi tasarımı yapılmıştır.

Yapılan başka bir çalışmada [57], kablosuz sensör ağlarında düşük enerji toplama verimi ve fotovoltaik güç kaynağı modüllerinin düşük verimi problemi üzerine MGNİ algoritması kullanılarak bir sistem tasarımı yapılmıştır. Akım takip algoritması ile tasarlanan maksimum güç noktası izleme sistemi ilgili donanım devresinin tasarımı yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, MGNİ devresinin güç tüketiminin düşük olduğunu ve çevresel faktörlerin neden olduğu kayıpların düşük olduğunu göstermiştir. Yapılan testler sonucunda, genel sistem veriminin yaklaşık % 87 civarında olduğu belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada [58], dış ortam kablosuz sensör ağı uygulaması için farklı büyüklüklere sahip iki adet polikristal güneş paneli kullanılmıştır ve güneş enerjisini sisteme aktarmak amacıyla bir devre tasarlanmıştır. Bu devre güneş hücresi ve bataryadan elde edilen enerjiyi kablosuz sensör ağını beslemek amacıyla kullanmıştır. Yapılan testler sonucunda, sistem veriminin daha yüksek güçlü panel kullanıldığında %76.59 ile %44.51 arasında değiştiği, daha düşük güçlü panel kullanıldığında %56.22 ve %49.94 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Yapılan bir diğer çalışmada [59], kablosuz sensör ağının yoğun kullanıldığı bir tarım arazisinde, sistemi beslemek amacıyla fotovoltaik enerji hasadı için maksimum güç noktası izleme

yaklaşımı kullanılarak bir sistem tasarımı yapılmıştır. Yükseltici tip dönüştürücü bir mikrodnetleyici ile kontrol edilmiş ve panelden elde edilen enerji nikel metal hidrit bataryayı ve sensör ağını beslemek için kullanılmıştır. MGNİ yaklaşımında değiştir gözle ve uyarlanabilir gerilim düzenleme algoritması kullanılmıştır. Yapılan benzetim testlerinde, MGNİ verimi %96.5, fotovoltaik panelden bataryaya dönüştürücü verimi ise %42.8, bataryadan çıkışa dönüştürücü verimi ise %97.2 olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada [60], sistemi beslemek amacıyla bir enerji dönüşüm sistemi tasarımı yapılmıştır. LM2575 tabanlı bir indirici tipte bir dönüştürücü güneş panelinden aldığı gücü, sisteme aktarmak için kullanılmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarında, darbe genişlik modülasyonu ile tasarlanan kontrol sisteminin veriminin %87.86 olduğu, MGNİ yaklaşımı ile tasarlanan sistemin veriminin ise %96.06 olduğu tespit edilmiştir.

2013 yılından yapılan bir tez çalışmasında [61], televizyon ünitesi için MGNİ yaklaşımı ile mikrodnetleyici kontrollü DA-DA dönüştürücü ve DA-AA evirici içeren kontrol ünitesi tasarlanmış, MGNİ algoritmaları karşılaştırılmış, verimli bir sistem tasarımı amaçlanmıştır. Değiştir – gözle algoritması, maksimum güç noktası etrafındaki salınımları en aza indirmek amacıyla geliştirilmiştir. Tasarım sonunda MGNİ kontrol ve güç biriminin %90'nın üstünde verim ile çalıştığı belirtilmiştir.

Çizelge 4.2 : MGNİ Algoritmalarının Karşılaştırması

MPPT Algoritması	Fotovoltaik Panel Bağımlılığı	Gerçek MPPT	Analog/Sayısal	Periyodik Ayar	Yaklaşma Hızı	Uygulama Karmaşıklığı	Ölçülen Parametreler
Değiştir ve Gözle	Hayır	Evet	Analog/Sayısal	Hayır	Değişken	Düşük	Akım, Gerilim
Artan İletkenlik	Hayır	Evet	Sayısal	Hayır	Değişken	Orta	Akım, Gerilim
Sabit Gerilim	Evet	Hayır	Analog/Sayısal	Evet	Orta	Düşük	Gerilim
Sabit Akım	Evet	Hayır	Analog/Sayısal	Evet	Orta	Orta	Akım, Gerilim
Bulanık Mantık	Evet	Evet	Sayısal	Evet	Hızlı	Yüksek	Değişken
Yapay Sinir Ağı	Evet	Evet	Sayısal	Evet	Hızlı	Yüksek	Değişken
Akım Tarama	Evet	Evet	Sayısal	Evet	Yavaş	Yüksek	Akım, Gerilim

Dolaylı denetim yaklaşımları uygulaması diğer yöntemlere göre daha kolay, karmaşık devreler içermeyen ve düşük maliyete sahip sistemler olmasına rağmen, doğrudan denetim yöntemleri kadar maksimum güç noktasını takip etme yeteneğine sahip değildirler. Ancak avantajlarından dolayı küçük güçlü yapılarda hala kullanılmaktadır. Doğrudan denetim yaklaşımları, maksimum güç noktasını takip ederken paneli sistemden ayırmadıkları için dolaylı denetim yaklaşımlarına göre daha az güç kayıpları yaşarlar. Doğrudan denetim yaklaşımları ile tasarlanan MGNİ devreleri daha yüksek maliyetli ve karmaşık yapıdadırlar. Ancak maksimum güç noktası takibi konusunda diğer yöntemlere göre daha başarılı olduklarından dolayı, verimin ön plana çıktığı uygulamalarda sıklıkla kullanılırlar. MGNİ yaklaşımlarının ayrıntılı karşılaştırması Çizelge.4.2’de verilmiştir



## 5. DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Doğru akım (DA) gerilimini bir seviyeden daha yüksek, daha düşük veya ters seviyeye dönüştüren, çıkış gerilimini ayarlayarak belirli bir değer aralığında kontrol edilmesini sağlayan devrelere DA-DA dönüştürücü adı verilir. DA-DA dönüştürücülerin temel görevleri; çıkış gerilimini düzenlemek, yük ve hat değişimlerine karşı korumak ve dönüştürücünün çıkış gerilimine etki edebilecek dalgalanma ve gürültüyü azaltmak ve belirli bir seviyede tutmak olarak sıralanabilir [63,64,65].

Giriş gerilimini, belirli bir çıkış gerilim seviyesinde kontrol edebilmek için anahtarlama elemanları kullanılır. Bir anahtarlama elemanının temel görevi, dönüştürücü girişinden aldığı gücü, uygun çıkış gerilim seviyesine getirerek yüke aktarmaktır. DA-DA dönüştürücüler, sabit bir frekansta çıkış gerilimini, bir darbe genişlik modülasyonu ile anahtarlama elemanının açma ve kapama sürelerini kontrol ederek belirler. Açma ve kapama işlemi, periyodik olarak sürekli tekrarlanır. Anahtarlama elemanının açık kalan süresinin bir periyoda oranına görev döngüsü/oranı denir ve D ile gösterilir. Görev oranı eşitliği, (5.1)'de gösterilmiştir.

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \quad (5.1)$$

DA-DA dönüştürücüler, izoleli ve izolesiz dönüştürücüler olarak iki temel gruba ayrılır [63,64].

İzolesiz DA-DA gerilim dönüştürücüler:

- İndirici tip dönüştürücü
- Yükseltici tip dönüştürücü
- İndirici-yükseltici tip dönüştürücü
- Cuk dönüştürücü
- Sepic dönüştürücü

İzoleli DA-DA gerilim dönüştürücüler:

- Çapraz dönüştürücüler
- İleri dönüştürücüler
- İt-çek dönüştürücüler

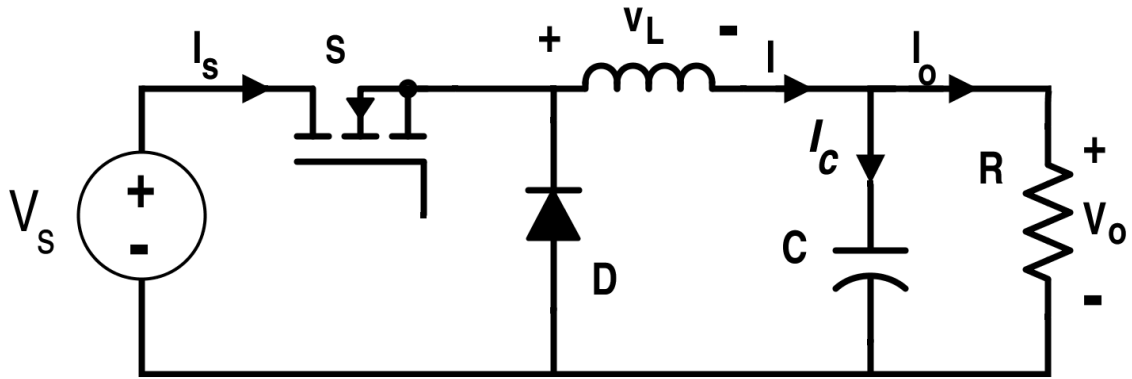
- Rezonans dönüştürücüler
- Yarım Köprü Dönüştürücüler
- Tam köprü dönüştürücüler

İzole olmayan dönüştürücüler, birçok uygulama için genellikle düşük gerilim seviyelerinde kullanılır ve karmaşık devre yapılarına sahip değildir. Buna karşılık izole dönüştürücüler, yüksek izolasyon gerilimine sahiptir ve yüksek gerilim seviyelerinde tercih edilir. İzole dönüştürücüler daha karmaşık devre yapılarına sahiptir ve daha fazla sayıda bileşene sahip olması dolayısı ile maliyetleri daha yüksektir [65].

DA/DA dönüştürücülerde anahtarlama elemanı olarak düşük güç seviyelerinde transistör, orta güç seviyelerinde metal oksit alan etkili transistör (MOSFET) ve yüksek güç seviyelerinde ise izole kapı çift kutuplu transistör (IGBT) tipi yarı iletken elemanlar kullanılır. Dönüştürücü tasarımında kayıpların az olması için anahtarlama elemanının özelliklerine göre uygun seçilmesi önemlidir. Çalışma frekansı ne kadar yüksek olursa, anahtarlama elemanları, transformatörler, LC filtrede kullanılan indüktör ve kapasitörler frekans ile ters orantılı olarak küçülür. Yüksek çalışma frekanslarında, yük akımındaki ve giriş gerilimindeki değişikliklere karşı daha hızlı tepki verilir. Ancak yüksek çalışma frekansında anahtarlama kayıpları artar.

### 5.1. İndirici Tip Dönüştürücü

DA-DA dönüşümü sağlayan anahtarlama güç kaynağı devrelerinde en sık kullanılan indirici tipte dönüştürücü, bir anahtarlama elemanının açma kapama oranının ayarlanması ile giriş geriliminden daha düşük bir çıkış gerilimi elde etmek amacıyla kullanılan devrelerdir. İndirici tip dönüştürücünün devre şeması Şekil.5.1’de verilmiştir.

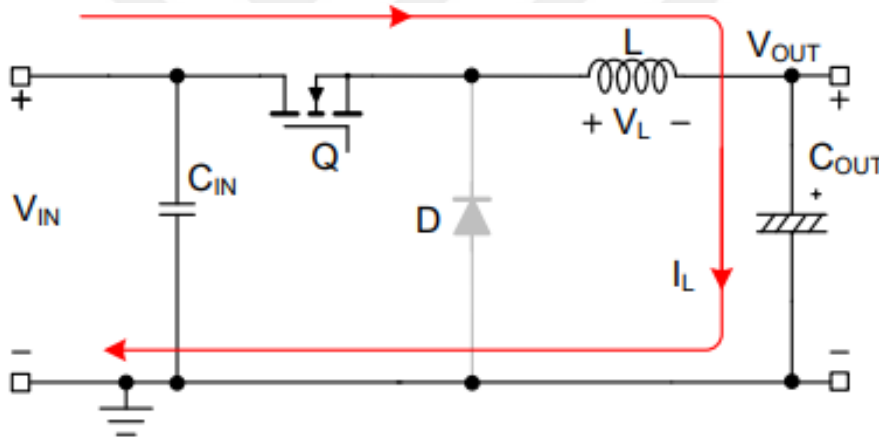


Şekil 5.1 : DA-DA İndirici Tip Dönüştürücü [71]

İndirici tipte dönüştürücü; bir anahtarlama elemanı, diyot, indüktör, kapasitör, ve çıkışta yükü temsilen bir dirençten oluşur. Giriş gerilimi; anahtarlama elemanının darbe genişlik modülasyonu (DGM) sinyalleri ile açma kapama süresinin kontrol edilmesi ile kıyılır. Bu işlem sırasında oluşan sinyal, dönüştürücü çıkışında bulunan çıkış gerilim ve akımını regüle etmek ve iyileştirmek amacıyla kullanılan indüktör ve kapasitörden oluşan alçak geçiren filtreden geçilerek harmoniklerinden ayrılır ve çıkışa DA bileşen aktarılır [65].

Anahtarlama elemanının görev oranı değiştirilerek çıkış gerilimi kontrol edilir. Anahtarlama elemanının, başlangıçta açık olduğu durumda çevrim olmaz ve devreden geçen akım sıfırdır.

Anahtar ilk kapatıldığında iletim durumuna geçer ve devre üzerinden akım geçmeye başlar. Devrede bulunan diyot ters polarize durumundadır, üzerinden akım geçmez ve kesim modundadır. Akım, indüktör üzerinden yük boyunca geçer, geçen bu akım sürekli artar ve indüktör üzerinde enerji depolanır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 : İndirici Tip Dönüştürücü – İletim Modu

İndüktör üzerinden geçen akım ifadesi eşitlik (5.2) ve (5.3)'te verilmiştir.

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} \quad (5.2)$$

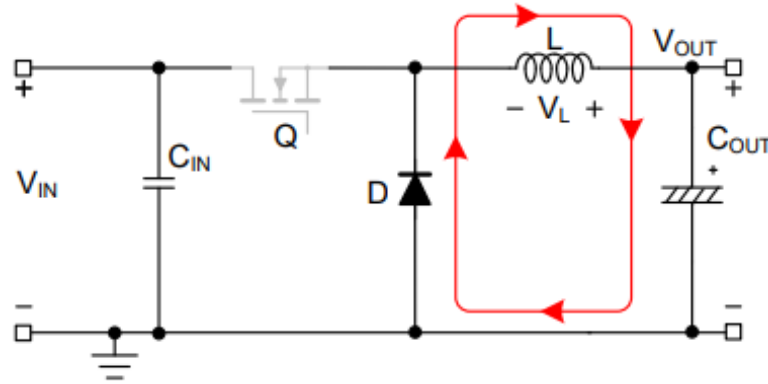
$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{0 - V_{out}}{L} \quad (5.3)$$

İndüktör üzerinden akım \$t\_{ON}\$ süresi boyunca geçmeye devam ettikçe, akım eşitlik (5.4)'te gösterildiği oranda artar.

$$\Delta I_L^+ = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} t_{ON} \quad (5.4)$$



Anahtarlama elemanı kesim durumunda iken, diyot toprakla kısa devredir. Akım diyot üzerinden geçer ve indüktör üzerinden geçen akım kapasitör ve direnç üzerinden geçerek azalmaya başlar (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 : İndirici Tip Dönüştürücü – Kesim Modu

İndirici tipte dönüştürücü, indüktör üzerinden geçen akım durumuna göre iki modda çalışır. İndüktör üzerinden geçen akımın sıfır değerine düşmediği durum sürekli akım modu (CCM) ve indüktör üzerinden geçen akımın sıfır değerine düştüğü durum olan süreksiz akım mod (DCM) olarak ikiye ayrılır [63].

Sürekli çalışma modunda, indüktör üzerindeki akım anahtarlama elemanının kesim modunda olduğu sürece düşer ancak hiçbir zaman sıfır değerine düşmez (Eşitlik (5.5)).

$$\Delta I_L^- = -\frac{V_{out}}{L} t_{off} = -\frac{V_{out}}{L} (1 - D)T \quad (5.5)$$

Sürekli çalışma modunda indüktörün alacağı kritik değer, eşitlik (5.6)'da gösterilmiştir. Akım bu kritik değer üzerinde ise dönüştürücü sürekli modda, altında ise süreksiz modda çalışır [67,68].

$$I_{LK} = \frac{V_{in}}{2Lf_s} D(1 - D) \quad (5.6)$$

Dalgalanma geriliminin tepe değerini bir gerilim değerinin altında sınırlamak amacı ile çıkış kapasitörünün minimum değeri eşitlik (5.7)'de gösterilmiştir.

$$C_{out,min} = \frac{(1-D) V_{out}}{8VLf_s^2} \quad (5.7)$$

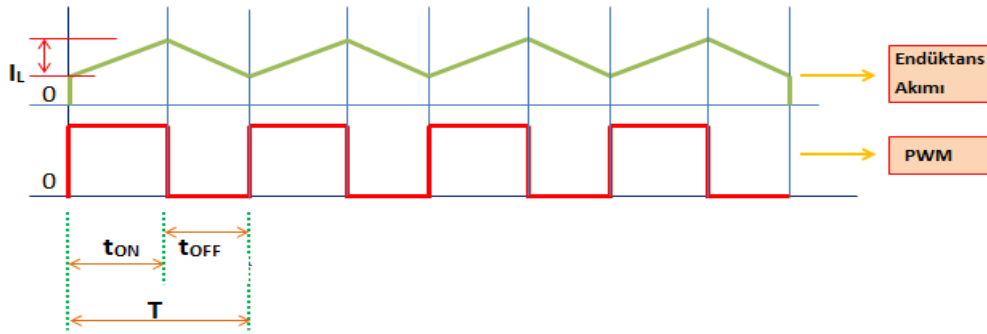
Dönüştürücü, kararlı çalışma modunda iken iletim durumundaki akım artışı, kesim durumundaki akım düşümüne eşit olmalıdır. İndirici tip dönüştürücünün iletim ve kesim modlarının denklemlerinden transfer fonksiyonu elde edilir.

$$\Delta I_L^+ + \Delta I_L^- = 0 \quad (5.8)$$

$$\frac{V_{in} - V_{out}}{L} DT - \frac{V_{out}}{L} (1 - D)T = 0 \quad (5.9)$$

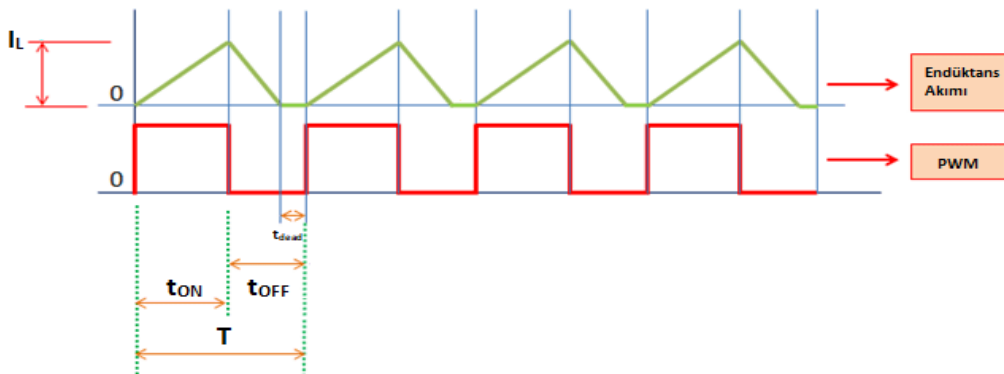
$$V_{in}D - V_{out} = 0 \quad (5.10)$$

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (5.11)$$



Şekil 5.4 : İndirici Tip Dönüştürücü – Sürekli Mod İndüktör Akımı

Dönüştürücü süreksiz modda çalışırken (Şekil 5.5), indüktör üzerinden geçen akım sıfıra düşer. Ancak indüktör üzerinden geçen akım  $t_{off}$  anından önce düşer. Bu nedenle süreksiz mod formülleri  $t_{off}$  süresi üzerinden hesaplanamaz. Daha karmaşık hesaplamalar kullanılır [68].

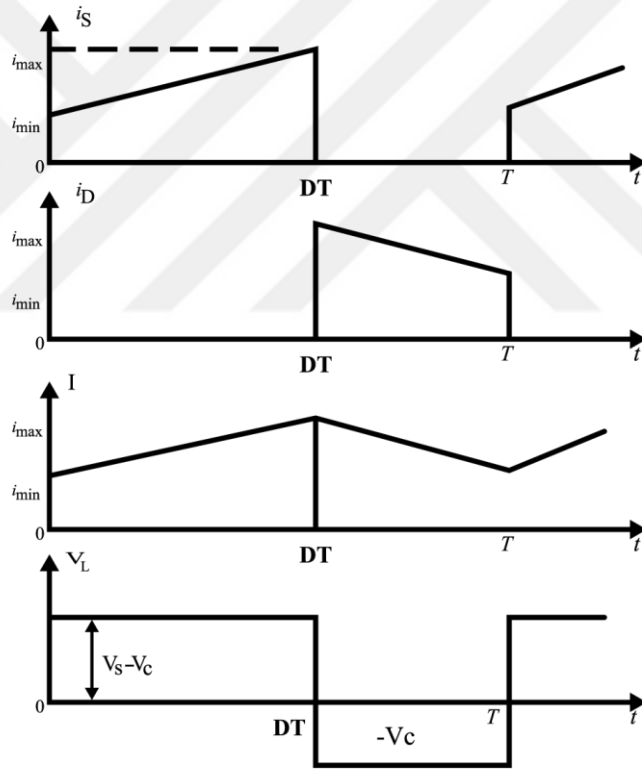


Şekil 5.5: İndirici Tip Dönüştürücü – Süreksiz Mod İndüktör Akımı

Şekil 5.4’de indirici tip dönüştürücünün sürekli mod için örnek indüktör dalga grafiği verilmiştir. İndüktör akımı  $I_L$  iletim modunda iken sürekli artar. Anahtarlama elemanı kesim moduna geçtiğinde indüktör akımı azalmaya başlar. Sürekli mod için çıkış akımı, ortalama indüktör akımına eşittir.

Sürekli mod, yarı iletken anahtarlama elemanlarının ve diğer bileşenlerinin daha verimli çalışması için tercih edilir. Gerilim kazancı yüke bağlı değildir. İndüktör akımının dalgalanması diğer bileşenlere kıyasla daha düşüktür. Sürekli mod dalga grafikleri Şekil 5.6’da gösterilmiştir.

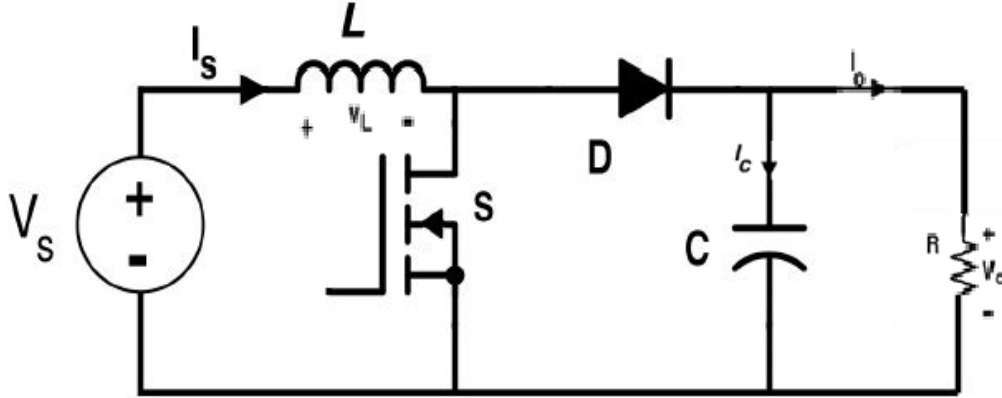
Sürekli mod, özel gereksinimleri olan uygulamalarda kullanılabilir. Dönüştürücü bu modda çalışırken, indüktör akımının dalgalanması daha yüksektir ve gerilim kazancı yüke ve diğer tasarım parametrelerine bağlıdır.



Şekil 5.6: İndirici Tip Dönüştürücü – Sürekli Mod Dalga Grafikleri [71]

## 5.2. Yükseltici Tip Dönüştürücü

DA-DA dönüşümü sağlayan anahtarlama güç kaynağı devrelerinde en sık kullanılan yükseltici tipte dönüştürücü, bir anahtarlama elemanının açma kapama oranının ayarlanması ile giriş geriliminden daha yüksek bir çıkış gerilimi elde etmek amacıyla kullanılan devrelerdir [63,64,65]. Yükseltici tip dönüştürücünün devre şeması Şekil 5.7'de verilmiştir.

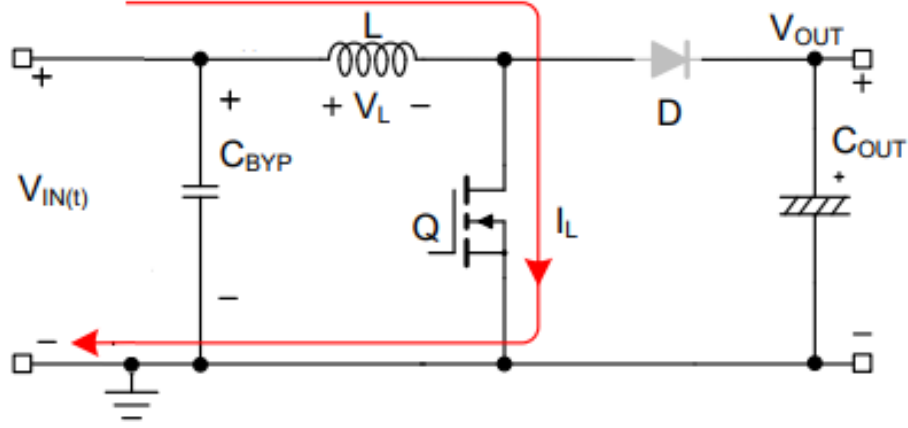


Şekil 5.7 : Yükseltici Tip Dönüştürücü Devresi [71]

Yükseltici tipte dönüştürücü; bir anahtarlama elemanı, diyot, indüktör, kapasitör, ve çıkışta yükü temsilen bir dirençten oluşur. Giriş gerilimi, anahtarlama elemanının DGM sinyalleri ile açma kapama süresinin kontrol edilmesi ile kıyılır.

Anahtarlama elemanının görev oranı değiştirilerek çıkış gerilimi kontrol edilir. Anahtarlama elemanı başlangıçta açık olduğunda çevrim olmaz ve devredeki akım sıfırdır.

Anahtar iletim durumunda iken devre üzerinden akım indüktör boyunca geçmeye başlar. Devrede bulunan diyot ters polarize durumundadır, üzerinden akım geçmez ve kesim modundadır. Akım, indüktör üzerinden yük boyunca geçer (Şekil 5.8), geçen bu akım sürekli artar ve indüktör üzerinde enerji depolanır [63,65]



Şekil 5.8 : Yükseltici Tip Dönüştürücü – İletim Modu

İndüktör üzerinden geçen akım ifadesi eşitlik (5.11)'de verilmiştir.

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} \quad (5.11)$$

İndüktör üzerinden akım  $t_{ON}$  süresi boyunca geçmeye devam ettikçe, akım eşitlik (5.12)'de gösterildiği oranda artar.

$$\Delta I_L^+ = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} t_{ON} \quad (5.12)$$

İletim modunda çıkış gerilimi sıfırdır. Bu modda indüktör üzerinden geçen akım eşitlik (5.13)'te gösterilmiştir.

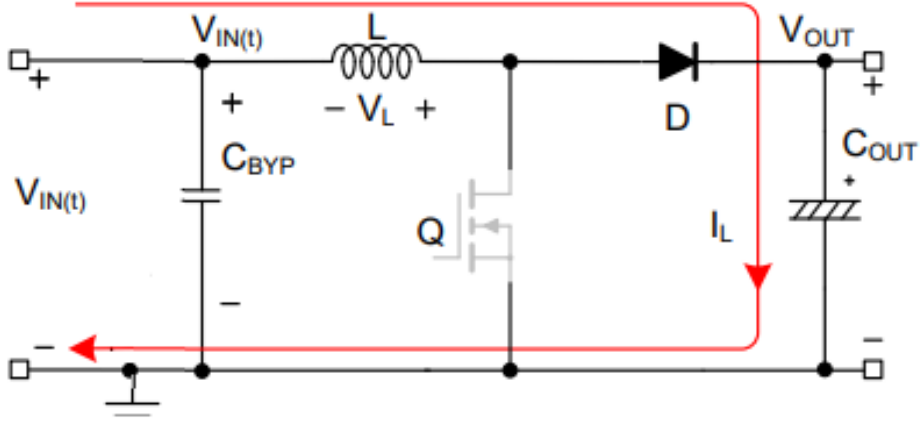
$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_{in} - 0}{L} \quad (5.13)$$

Anahtarlama elemanı, kesim durumunda iken diyot toprakla kısa devredir. Akım, diyot üzerinden geçer. Hem indüktör üzerinde depolanan hem de enerji kaynağından gelen güç, kapasitör ve direnç üzerinden geçer. İndüktör akımı eşitlik (5.14)'te gösterildiği gibi azalmaya başlar.

$$L \frac{dI_L}{dt} = V_{in} - V_{out} \quad (5.14)$$

Sürekli çalışma modunda indüktörün alacağı kritik değer, eşitlik (5.15)'de gösterilmiştir. Akım bu kritik değer üzerinde ise dönüştürücü sürekli modda, altında ise süreksiz modda çalışır.

$$I_{LK} = \frac{V_{in}}{2Lf_S} D \quad (5.15)$$



Şekil 5.9 : Yükseltici Tip Dönüştürücü – Kesim Modu

Dalgalanma geriliminin tepe değerini, bir gerilim değerinin altında sınırlamak amacıyla, çıkış kapasitörünün minimum değeri eşitlik (5.16)'da gösterilmiştir.

$$C_{out,min} = \frac{(1-D) V_{out}}{8V_L f_S^2} \quad (5.16)$$

Devre, kararlı durumda iken iletim durumundaki akım artışı, kesim durumundaki akım düşümüne eşit olmalıdır. Yükseltici tip dönüştürücünün eşitlik (5.17) - (5.20)'de gösterilen iletim ve kesim modu denklemlerinden indirici-yükseltici dönüştürücünün transfer fonksiyonu elde edilir.

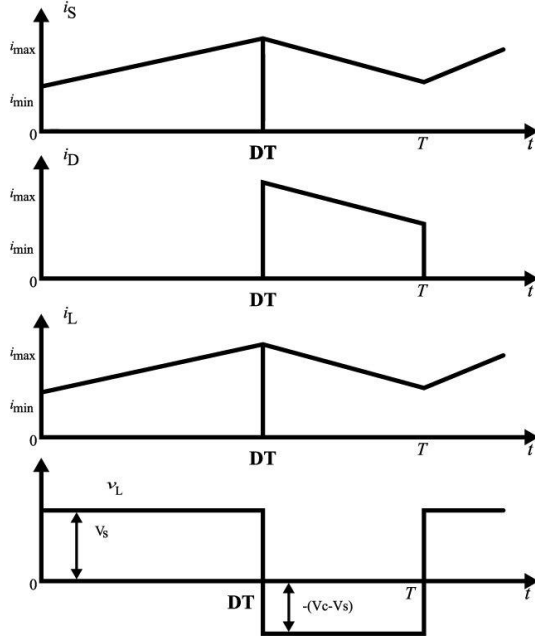
$$\Delta I_L^+ + \Delta I_L^- = 0 \quad (5.17)$$

$$\frac{V_{in}}{L} DT - \frac{V_{out} - V_{in}}{L} (1 - D)T = 0 \quad (5.18)$$

$$V_{in} - V_{out}(1 - D) = 0 \quad (5.19)$$

$$\frac{1}{1-D} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (5.20)$$

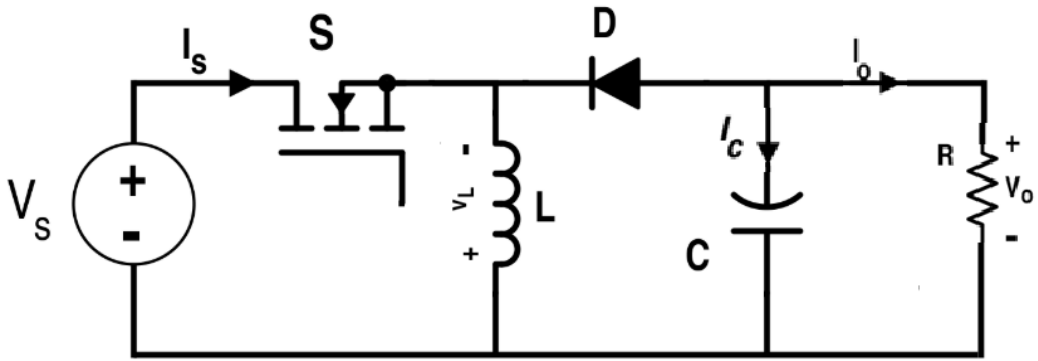
Şekil 5.10'da yükseltici tip dönüştürücünün sürekli mod için örnek dalga grafikleri verilmiştir. İndüktör akımı  $I_L$  iletim modunda iken sürekli artar. Anahtarlama elemanı kesim moduna geçtiğinde indüktör akımı azalmaya başlar. Sürekli mod için çıkış akımı, ortalama indüktör akımına eşittir.



Şekil 5.10 : Yükseltici tip dönüştürücü sürekli mod dalga grafikleri [71]

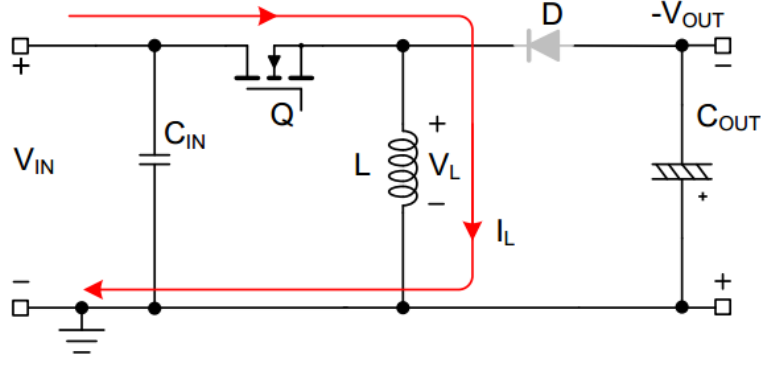
### 5.3. İndirici-Yükseltici Dönüştürücü

İndirici-yükseltici tipte dönüştürücü görev oranı ayarlanarak giriş gerilimini hem azaltabilen hem de arttırabilen dönüştürücülerdir. Dönüştürücü, sinyal kontrollü anahtarlama elemanı, indüktör, diyot , kapasitör ve yük direncinden oluşur. Giriş gerilimi ve çıkış gerilimleri ters polaritedir. Bu dönüştürücüler indirici ve yükseltici iki tip dönüştürücünün seri olarak bağlanması ile elde edilir [65]. İndirici-yükseltici tip dönüştürücünün devre şeması Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11 : İndirici-Yükseltici Tip Dönüştürücü Devresi [71]

Anahtarlama elemanı iletim modunda iken, diyot ters polarize olur ve kesim modunda çalışır. İndüktör üzerinden akım geçmeye başlar ve anahtarlama elemanı kesim moduna geçene kadar indüktör üzerinde enerji birikir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 : İndirici-Yükseltici Tip Dönüştürücü – İletim Modu

Anahtarlama elemanı iletim modunda iken devre denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$D = \frac{T_{on}}{T} \quad (5.21)$$

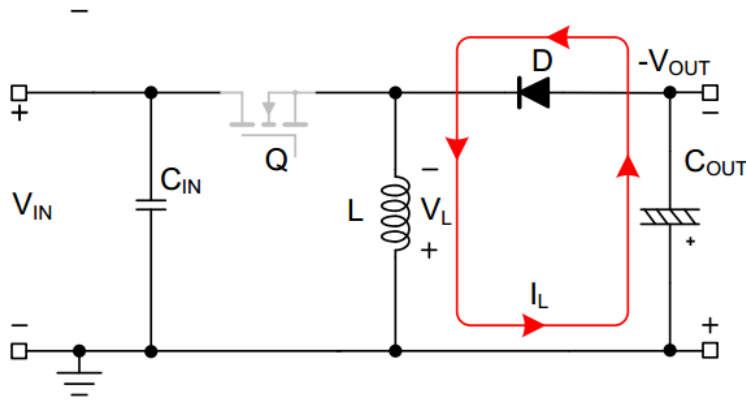
$$V_{in} = V_L \quad (5.22)$$

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} = V_{in} \quad (5.23)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_{in}}{L} \quad (5.24)$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_{in}}{L} DT \quad (5.25)$$

Anahtarlama elemanı kesim moduna geçtiğinde diyot polarize olur ve iletim moduna geçer. Bu çalışma modunda indüktör ters polarize durumuna geçer. Bu durum indüktör akımı için bir geçiş sağlar ve indüktör üzerinde depolanan enerji kapasitör ve çıkış direncine aktarılır. Böylece indüktör akımının yönü aynı kalır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 : İndirici-Yükseltici Tip Dönüştürücü – Kesim Modu



Anahtarlama elemanı kesim modunda iken devre denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$V_L = V_o \quad (5.26)$$

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} = V_{out} \quad (5.27)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_{out}}{L} \quad (5.28)$$

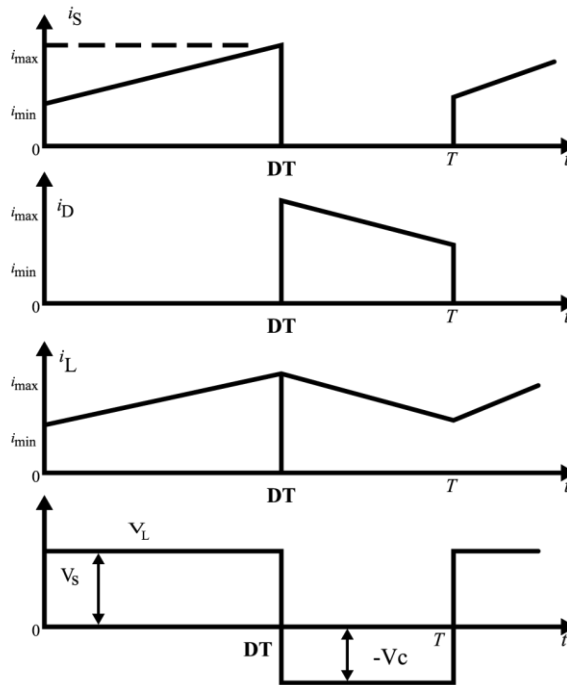
$$\Delta i_{L,off} = \frac{V_{out}}{L} (1 - D)T \quad (5.29)$$

İndüktör akımının, tam bir döngü boyunca net değişimi sıfırdır. Eşitlik (5.29) ve (5.30) kullanılarak indirici-yükseltici dönüştürücünün transfer fonksiyonu elde edilir ve transfer fonksiyonu denklemi eşitlik (5.32)'de gösterilmiştir.

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (5.30)$$

$$\frac{V_{in}}{L} DT + \frac{V_{out}}{L} (1 - D)T = 0 \quad (5.31)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{D}{D-1} \quad (5.32)$$



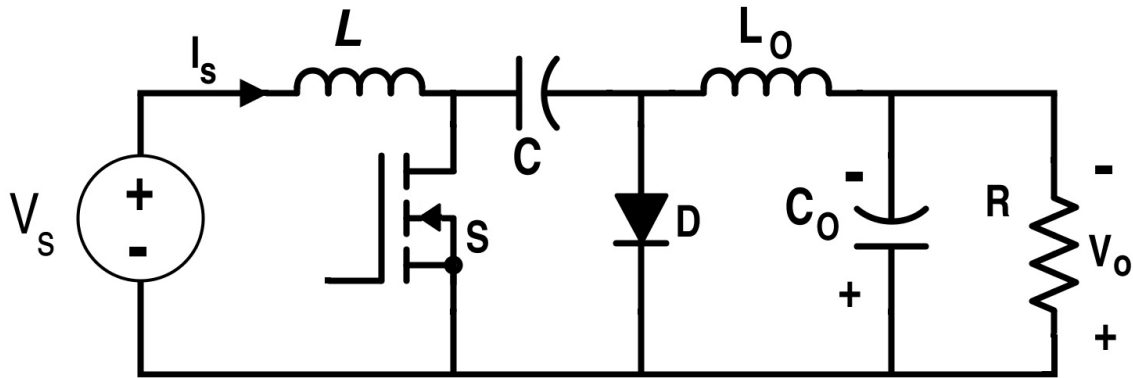
Şekil 5.14 : İndirici-Yükseltici Tip Dönüştürücü Sürekli Mod Dalga Grafikleri [71]

Görev oranı 0 ve 1 arasında bir değer alır. Eğer görev oranı  $D$ , 0.5 değerinden büyük ise, giriş gerilimi dönüştürücü üzerinde kıyılarak, çıkışa daha yüksek bir gerilim ve daha düşük bir akım verir. Dönüştürücü yükseltici modunda çalışır. Görev oranı  $D$ , 0.5 değerinden daha küçük ise giriş gerilimi dönüştürücü üzerinde kıyılarak, çıkışa daha düşük bir gerilim ve daha yüksek bir akım verir. Dönüştürücü indirici modunda çalışır.

Şekil 5.14'te indirici yükseltici tip dönüştürücünün sürekli mod için örnek dalga grafikleri verilmiştir. İndüktör akımı  $I_L$  iletim modunda iken sürekli artar. Anahtarlama elemanı kesim moduna geçtiğinde indüktör akımı azalmaya başlar. Çıkış gerilimi giriş gerilimine göre ters polaritedir. Sürekli mod için çıkış akımı, ortalama indüktör akımına eşittir.

#### 5.4. Cuk Dönüştürücü

Cuk tipi dönüştürücüler, bir yükseltici tip dönüştürücünün ardından indirici tipte dönüştürücü ile seri olarak birleştirilmesi ile elde edilir (Şekil 5.15). İndirici-yükseltici tip dönüştürücüler de olduğu gibi çıkış gerilimi, giriş gerilimine göre negatif polariteye sahiptir. Cuk dönüştürücüler, görev oranı ayarlanarak indirici veya yükseltici modunda çalışabilirler [63,65].



Şekil 5.15 : Cuk Tipi Dönüştürücü Devre Şeması [71]

Anahtarlama elemanı iletim modunda çalışır iken,  $C_1$  kapasitörü üzerinde depolanan enerji  $L_2$  indüktörü üzerinden geçerek yüke aktarılır ve  $C_1$  kapasitörü yüklenir. İletim modunda giriş gerilimi  $L_1$  gerilimine eşit olur. Anahtarlama elemanı kesim modunda çalışır iken,  $L_1$  indüktörü üzerinden akım geçerek  $C_1$  kapasitörünü yükler (Şekil 5.16).

İndüktör akımlarının, tam bir döngü boyunca net değişimi sıfırdır. İletim ve kesim modlarının denklemlerinden elde edilen Cuk tipi dönüştürücünün denklem fonksiyonu eşitlik (5.33)'te gösterilmiştir.

$$I_{L_2}DT = I_{L_1}(1 - D)T \quad (5.33)$$

Cuk topolojisinin giriş ve çıkış gerilimlerinin oranı transfer fonksiyonu kullanılarak elde edilir ve indirici-yükseltici tip topoloji ile benzerdir. Cuk tipi dönüştürücünün transfer fonksiyonu, eşitlik (5.34)'de gösterilmiştir.

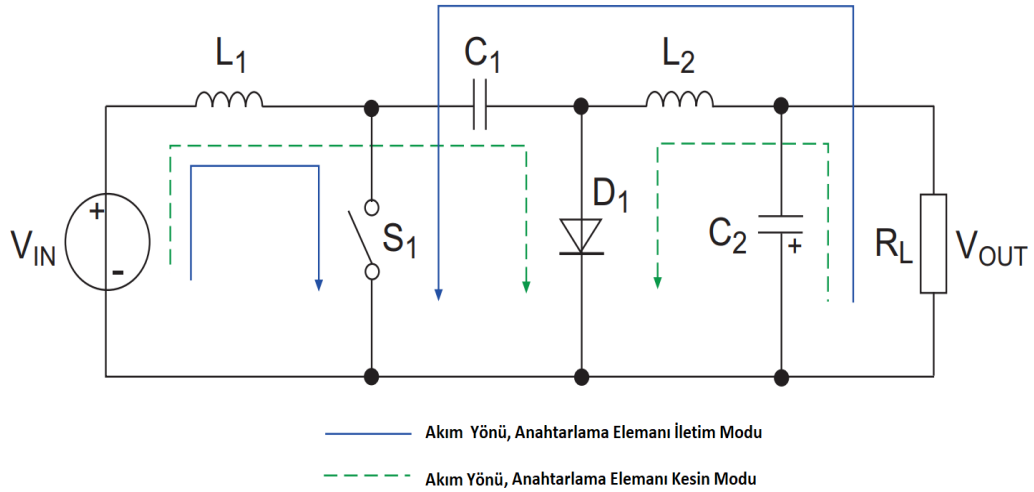
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{D}{D-1} \quad (5.34)$$

Sürekli ve süreksiz çalışma modu sınırlarında indüktörün alacağı kritik değerler eşitlik (5.35) ve (5.36)'da gösterilmiştir. Akım bu kritik değerin üzerinde ise dönüştürücü sürekli modda, altında ise süreksiz modda çalışır.

$$L_1 = \frac{(1-D)R}{2Df} \quad (5.35)$$

$$L_2 = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (5.36)$$

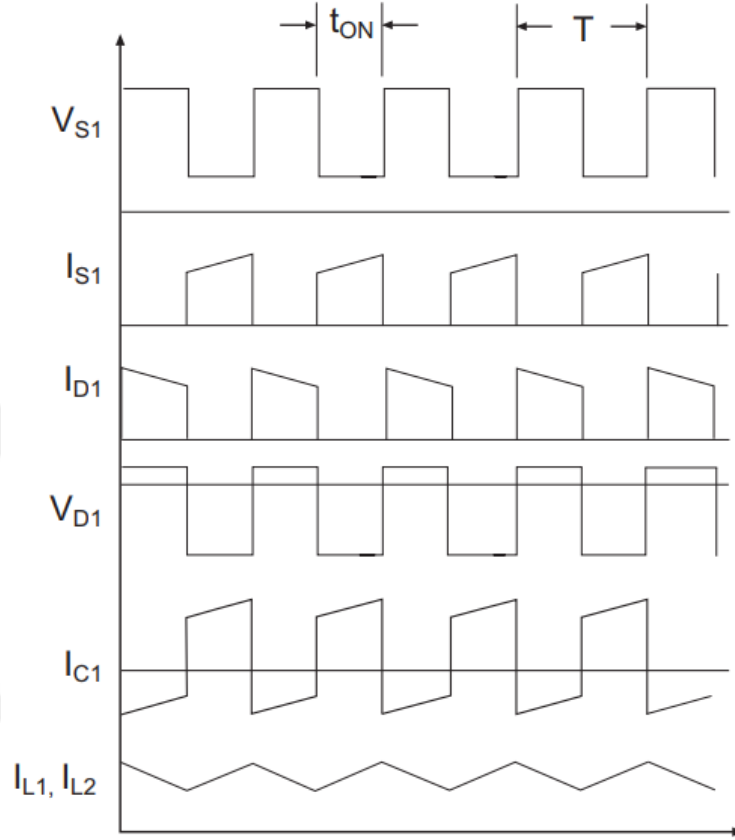
Şekil 5.17'de yükseltici tip dönüştürücünün sürekli mod için örnek dalga grafikleri verilmiştir. İndüktör akımı  $I_L$ , iletim modunda iken sürekli artar. Anahtarlama elemanı kesim moduna geçtiğinde indüktör akımı azalmaya başlar. Çıkış gerilimi, giriş gerilimine göre ters polaritedir. Sürekli mod için çıkış akımı, ortalama indüktör akımına eşittir.



Şekil 5.16: : Cuk Tipi Dönüştürücü İletim ve Kesim Modu

Cuk topolojisinin indirici-yükseltici tip dönüştürücü topolojisine göre avantajı,  $L_1$  ve  $L_2$  üzerinden geçen akımların sürekli olmasıdır. Giriş ve çıkış akımları, indüktör ve kapasitörden meydana gelen filtreden geçtiğinden dolayı az miktarda girişim meydana gelir. Anahtarlama sırasında meydana gelen kayıplar düşüktür. Bu tip dönüştürücünün

dezavantajlarından biri de topolojinin  $C_1$  kapasitörüne bağımlı olmasıdır.  $C_1$  kapasitörü üzerinde enerji birikimini sağlar. Kapasitör, üzerinde biriken bu enerjinin aktarımını sağladığından dolayı üzerinden geçen akımda yüksek dalgalanmalar meydana gelir.



Şekil 5.17: Cuk Tipi Dönüştürücü Sürekli Mod Grafikleri [71]

## 6. SİSTEM TASARIMI

Uzak arazide bulunan bir boru hattı üzerine kurulacak, çeşitli fiziksel parametreleri aktaracak olan sensör ağlarına enerji sağlayacak, dayanıklı, sürdürülebilir mikro denetleyici tabanlı, maksimum güç noktası izleme yaklaşımı ile küçük güçlü (100 Wp'den düşük) ve izole olmayan bir fotovoltaik sistem kontrol ünitesi tasarımı yapılmıştır.

### 6.1. Sistem Gereksinimleri

Tasarlanan sistem, uzak arazilerde uzun süreli ve dayanıklı çalışması gerektiğinden dolayı yüksek verimli bir tasarım çalışması ortaya konulmuştur.

Sensör ağ sistemini beslemek için kısıtlayıcı faktörlerin en aza indirgenmesi hedeflenmiştir. Sensör ağ sisteminin yeterli güneş ışığı alamadığı hava şartlarında bile paneller elektrik üretmese dahi depolanan enerji ile sistemin beslenmesi amaçlanmıştır.

MGNİ kontrol ünitesinin gereksinimleri aşağıda verilmiştir:

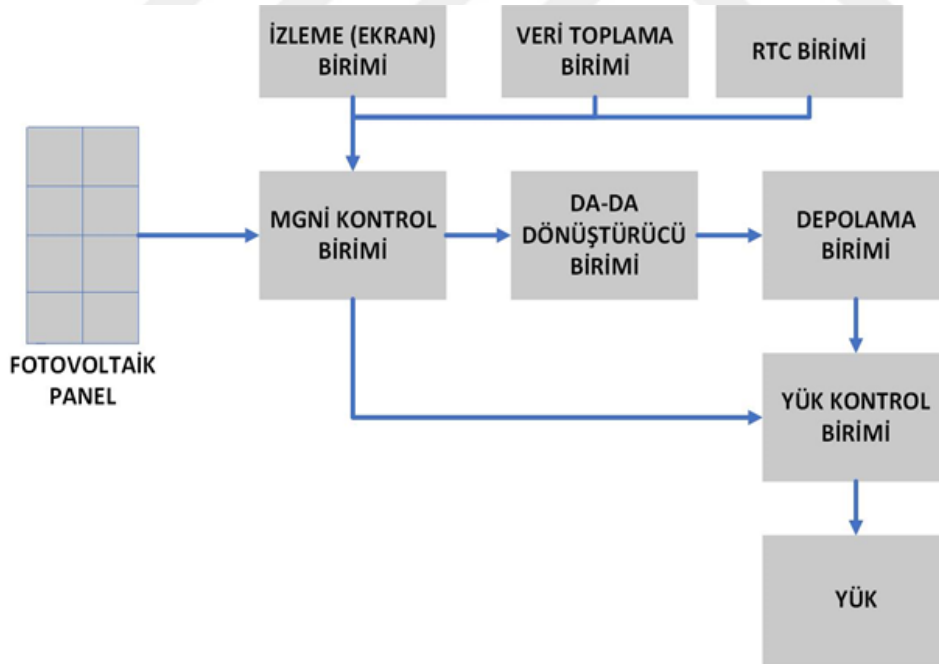
- Kontrol ünitesinin besleyeceği yük ünitesi, haftada bir defa ve 10 dakika gibi bir süre boyunca çalışacak, yük aktif olduğu zaman 12V beslemede 1A akım çekecek ve anlık 12W güç tüketecektir.
- Kötü hava koşullarında, fotovoltaik panelin sisteme yeterli enerji aktaramaması durumunda bile en az 3 gün kontrol ünitesinin sistemi beslemesi gerekmektedir.
- Mikrodenetleyici ile kontrol edilecektir.
- Sistemde bulunacak kullanıcı arayüzü ile kontrol ünitesinin parametreleri takip edilebilecektir.
- Yük bloğu belirlenen zaman aralığında otomatik olarak aktif edilecektir.

Tasarlanan sistemin gereksinimlerini karşılamak amacı ile aşağıda belirtilen adımlar takip edilmiştir.

- 15V – 21V arasında değişen fotovoltaik kaynak gerilimini, bataryayı beslemek amacıyla 12V-14V değerine düşürmek için indirici tipte bir dönüştürücü tasarlanmıştır. Dönüştürücü tasarımında; sistemi daha verimli hale getirmek, güç kayıplarını en aza indirmek ve gerilim düşümünü azaltmak için senkron topoloji seçilmiştir. Klasik indirici tip dönüştürücü topolojisinde kullanılan diyotun neden

olduğu 0.5V - 0.7V gerilim düşümü, n-tipi MOSFET kullanılarak çok düşük değerlere indirilmiştir.

- Verimli bir sistem tasarımı yapmak için yüksek verimli MGNİ algoritması olan Değiştir ve Gözle (P&O) algoritması kullanılmıştır. Değiştir ve gözle algoritmasının tercih edilmesinin ana nedenleri; karmaşık devre yapılarına sahip olmaması, uygulama kolaylığı, yüksek verimli olması olarak sıralanabilir.
- Yük kontrol biriminin aktif olma süresi, gerçek zamanlı olarak kontrol edilmiştir. Test amacıyla yük bloğu farklı aralıklar ile aktif edilerek, güç kontrol ünitesi test edilmiştir.
- Veri toplayıcı birim, sistem parametrelerini bir hafıza kartı içine kaydetmiştir. Bu veriler, benzetim ortamına aktarılarak kontrol ünitesinin parametre davranışları incelenmiştir. Sistemde kullanıcı arayüzü olarak kullanılan ekran birimi; giriş – çıkış parametrelerini, sistem tarihini ve saatini, yükün anlık harcadığı gücü ve sistem verimini anlık olarak etme imkanı sağlamıştır.



Şekil 6.1: MGNİ kontrol ünitesi alt birim şeması

Darbe genişlik modülasyon kontrolü yaklaşımı ile başka bir güç kontrol ünitesi de tasarlanmış, tasarlanan bu ünite MGNİ kontrol ünitesi ile karşılaştırılmıştır.

Sistem gereksinimleri göz önüne alınarak düşük maliyetli, yüksek verimli bir tasarım ortaya konulmuştur. Tasarlanan sistemin alt birim şeması Şekil 6.1’de verilmiştir.

Kontrol ünitesi 4 temel birimden oluşmaktadır.

- Fotovoltaik panel birimi
- Kontrol birimi
- Yük kontrol birimi
- Depolama birimi

Gerilim, akım, güç, verim, zaman gibi sistem parametrelerini kaydetmek amacıyla SD hafıza kart birimi kullanılmıştır. Sistemde yük bloğunu kontrol etmek amacıyla, belirlenen zaman aralıklarında yükü aktif etmek, veri toplayıcı bloğu zaman ayarlı kontrol etmek ve sistem zamanını belirlemek için DS1307 gerçek zamanlı saat modeli kullanılmıştır. Kullanıcıların sistem parametrelerini anlık olarak takip etmesi amacıyla 20x4 karakterlik LCD birimi eklenmiştir.

Mikrodenetleyici, sensör birimleri, anahtarlama elemanları, ekran, veri toplama ve gerçek zamanlı saat bloklarının sistemden çektiği yaklaşık enerji miktarları Çizelge 6.1’de verilmiştir. Sistemin ortalama enerji tüketimi, yük biriminin aktif olduğu süre boyunca tükettiği enerji, sistem kayıpları ve sistemin güneş ışığı almadığı durumlarda en az 3 gün depolama biriminden beslenmesi gerekliliği göz önüne alınarak, sistemin enerji ihtiyacı belirlenmiş ve akü seçimi yapılmıştır.

Sistemin günlük enerji ihtiyacı = 16.8 Wh/gün

Test amacı ile yük 30 dakika aralıklar ile 1 ve 2 dakika aktif edilmiştir. Yükün anlık olarak 12W güç tükettiği göz önünde bulundurularak, 30 dakika aralıklar ile 1 dakika boyunca çalıştırılan yükün enerji ihtiyacı 9.6Wh/gün olarak belirlenmiştir. Sistemin yük ile birlikte ihtiyacı olan günlük enerji ihtiyacı 26.4 Wh olarak hesaplanmıştır. En kötü hava koşullarında bile en az 3 gün sistemin devamlılığını sağlaması gereksinimi ve enerji tüketimi göz önüne alınarak ihtiyaç duyulan minimum akü kapasitesi eşitlik (6.1)’de verilmiştir.

$$\text{Batarya Ah kapasitesi} = (3 \text{ gün} \times \text{Sistemin günlük enerji ihtiyacı}) / 12V \quad (6.1)$$

Yapılan hesaplama sonucunda sistemin ihtiyacı olan minimum batarya amper-saat değeri 6.6Ah olarak belirlenmiştir. Bu değere yakın olarak sistemde kullanılacak olan batarya tipi seçilmiş ve 12V 7Ah değerinde kurşun asit tipi, dış ortama dayanıklı batarya kullanılması kararlaştırılmıştır. Sistem tasarımı yapılırken, ileride doğabilecek farklı güç ihtiyaçlarına karşı, 3A akım değerine dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Sistemde kullanılacak panelin çıkış gücü ise batarya biriminde olduğu gibi sistemin enerji tüketimi göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Sistemin kullanılacağı Ankara ilinde ortalama yıllık güneşlenme süresi 6 saat olarak belirlenmiştir. Sistemin günlük enerji ihtiyacı 26.4Wh olarak hesaplandığından (Çizelge 6.1), sistemde kullanılacak olan fotovoltaik panelin gücü eşitlik (6.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Fotovoltaik panel gücü} \times \text{Güneşlenme süresi} = \text{Sistemin günlük enerji ihtiyacı} \quad (6.2)$$

Yapılan hesaplama ile sistemde kullanılacak fotovoltaik panelin minimum nominal güç değeri 4.4W olmalıdır. Güç kayıpları, güneşlenme süresinin değişmesi ve olumsuz hava koşulları göz önüne alınarak, sistemde kullanılması için 10 Wpp değerinde bir fotovoltaik panel seçilmiştir

Çizelge 6.1: Sistem alt birimlerinin günlük enerji ihtiyacı

Birim	Enerji
Mikrodenetleyici Ünitesi	4.8 Wh /gün
Ekran	6 Wh /gün
RTC	0.6 Wh /gün
Veri Depolama Ünitesi	2.4 Wh /gün
Diğer Elemanlar	3 Wh/gün
Sistem Yüğü	9.6 Wh/gün
TOPLAM	26.4 Wh/gün



Yıllık ortalama 6 saat/gün güneşlenmesi, sistemin enerji ihtiyacı ve panel verimliliği göz önüne alınarak sistem tasarımında 10W fotovoltaiik panel kullanılmıştır. Sistemde kullanılan fotovoltaiik panelin teknik özellikleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

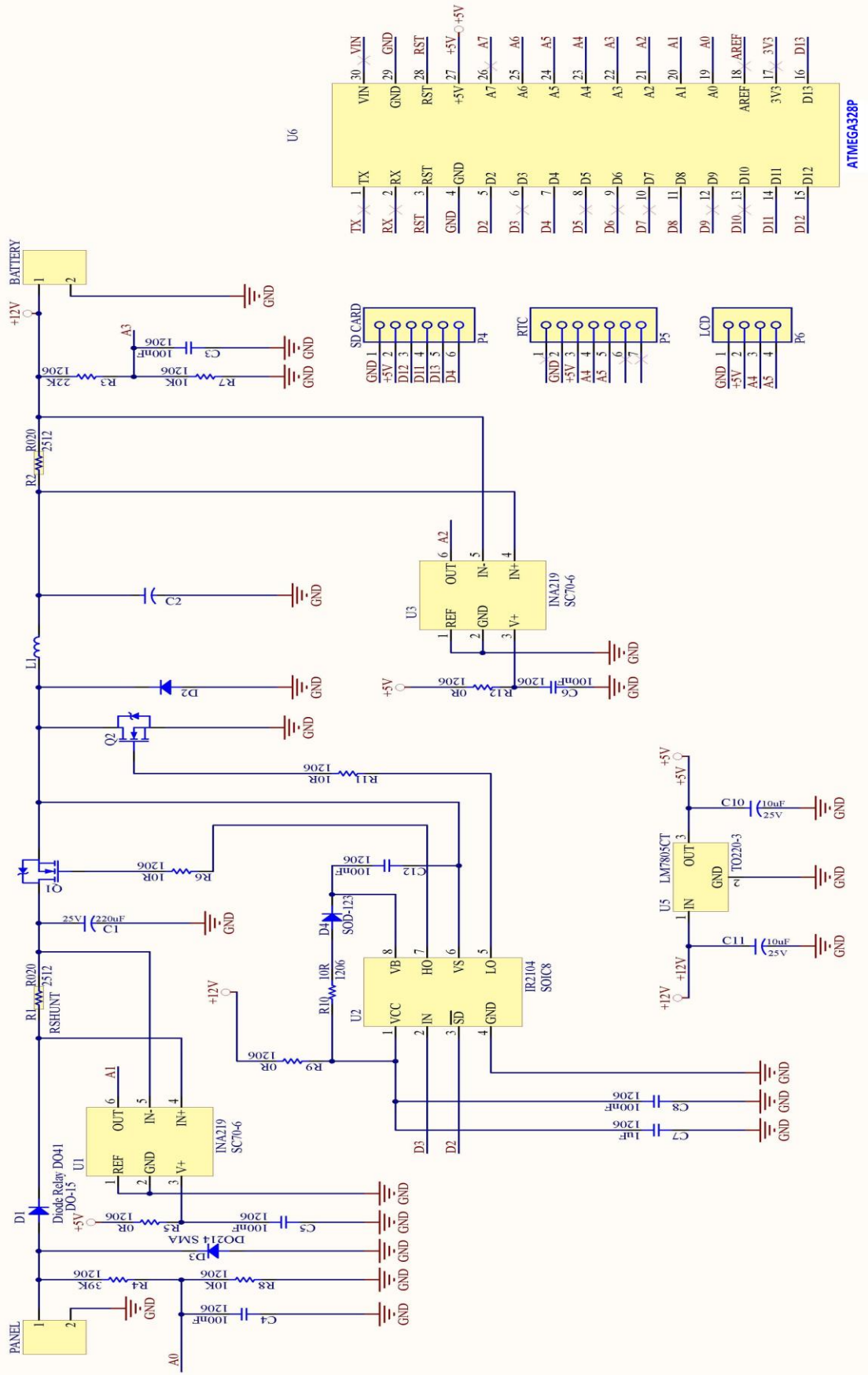
Çizelge 6.2 : 10 W fotovoltaiik panel teknik özellikleri

<b>Maksimum Güç</b>	10 W <sub>p</sub>
<b>Açık Devre Gerilimi ( V<sub>OC</sub>)</b>	21.9 V
<b>Kısa Devre Akımı ( I<sub>SC</sub>)</b>	0.588 A
<b>Maksimum Güç Gerilimi</b>	17.3 V
<b>Maksimum Güç Akımı</b>	0.52 A
<b>Hücre Sayısı</b>	36

## 6.2. Kontrol Ünitesi

Maksimum güç noktası izleyicisi yaklaşımı ile tasarlanan kontrol ünitesi beş alt sistemden oluşmaktadır. Yük birimi içermeyen devre şeması Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

- Mikrodenetleyici birimi
- DA-DA dönüştürücü birimi
- Veri toplama (SD kart) birimi
- Gerçek zamanlı saat (RTC) birimi
- Ekran birimi



Şekil 6.2 : Kontrol birimi devre şeması

### 6.2.1. Mikrodenetleyici Birimi

Mikrodenetleyici birimi seçilirken, uygun maliyetli, kolay ulaşılabilir, karmaşık algoritmalar ve sistemler için yeterli hafıza alanı olmasına dikkat edilmiştir. Yapılan araştırmalardan sonra, Atmel firmasının Atmega328P mikrodenetleyicisinin kullanılmasına karar verilmiştir. Atmega328P yüksek performanslı, düşük güç tüketimli 8 bitlik işlemci, 32 KB kalıcı bellek, 1 KB EEPROM, 2 KB statik bellek, 10 bit analog sayısal dönüştürücü, seri iletişim protokol desteği, 16 MHz işlemci hızı, 8 adet analog giriş-çıkış ve 14 adet sayısal giriş-çıkış portuna sahip olmasından dolayı, tasarımda kullanılmasına karar verilmiştir.

Tasarlanan sistemde mikrodenetleyici biriminin temel görevleri:

- Fotovoltaik panel gerilim ve akımın gözlenmesi,
- Depolama birimi gerilim ve akımın gözlenmesi,
- Yük birimi gerilim ve akımın gözlenmesi,
- Gerçek zamanlı saat kontrolü,
- Gerçek zamanlı saatten alınan bilgilere göre yük birimine enerji aktarılması için yük kontrol biriminin kontrol edilmesi,
- Sistemden elde edilen elektriksel parametrelerin (gerilim, akım, sıcaklık vb.) veri toplayıcı birime aktarılması,
- Sistem parametrelerinin belirlenen zaman aralığına göre veri kaydedici birim tarafından kaydedilmesi,
- Sistem parametrelerinin ekran üzerine aktarılmasının sağlanması,
- Fotovoltaik panelin ve batarya birimlerinin aşırı şarj, deşarj, ters akım gibi durumlara karşı korunması,
- Tüm anahtarlama elemanlarının iletim/kesim sinyallerinin kontrolü,
- Diğer birim veya sistemler ile haberleşmenin sağlanması ve UART, SPI, I2C gibi iletişim protokollerinin kontrolü,
- MGNİ algoritmasının yürütülmesidir.

Sistem tasarımında, MGNİ algoritmasını yönetmek, depolama birimini korumak, yük kontrolü sağlamak amacıyla gerilim ve akım sensörleri kullanılmıştır. Sensörlerden gelen

analog veriler, mikrodenetleyici tarafından işlenip sayısal verilere dönüştürülür. Bu işlemler mikrodenetleyici biriminin 10 bit analog sayısal dönüştürücü ünitesi tarafından gerçekleştirilir. Sistemde bulunan fotovoltaik panel, depolama ve yük birimlerinin gerilimlerini ölçebilmek için gerilim bölücü devreler kullanılmıştır. Uygun değerlere göre seçilen dirençler ile gerilim değerleri hassas bir biçimde okunmaktadır. Giriş ve çıkış akımlarını okuyabilmek için çift yönlü, I2C seri iletişim protokolü ile çalışan INA219 entegresi kullanılmıştır.

### 6.2.2. DA-DA Dönüştürücü Birimi

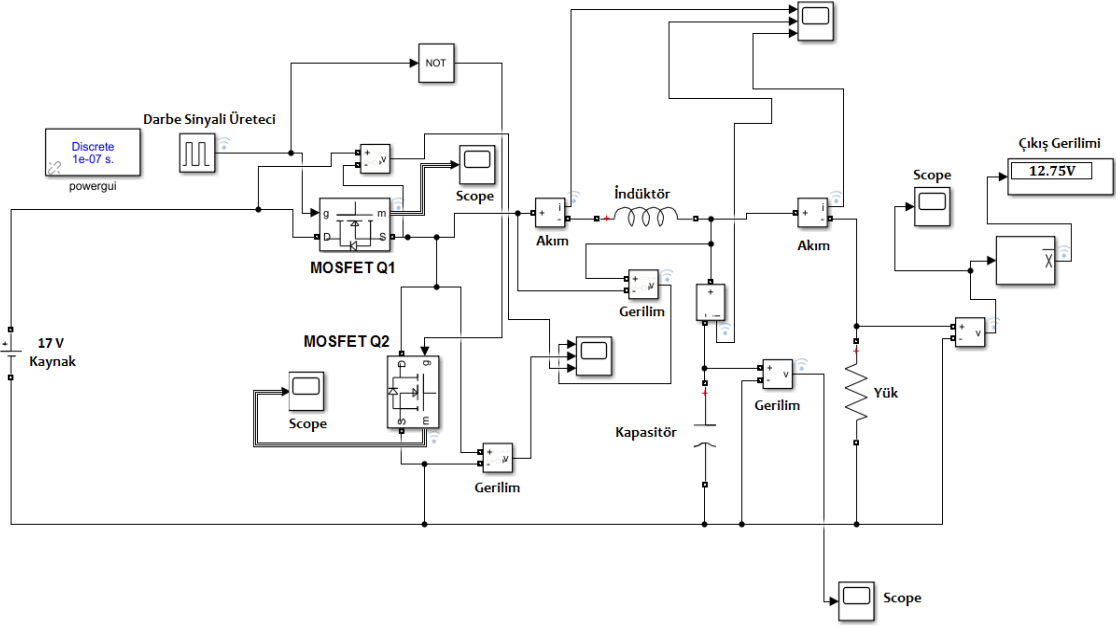
Bu çalışmada, maksimum güç noktası gerilimi 17.5V olan fotovoltaik panelin çıkış gerilimini, 12V batarya gerilim değerine düşürmek için senkron ve klasik indirici tip DA-DA dönüştürücü topolojisi kullanılmıştır. Şekil 6.3'te indirici tip dönüştürücünün benzetim modeli verilmiştir.

Senkron indirici DA-DA dönüştürücüsü, giriş geriliminden daha düşük olan ve D görev oranını ayarlayarak güç kaybını en aza indirirken yük tarafına yüksek akımlar verebilen ve regüle edilmiş bir gerilim üretebilen devredir. Klasik yaklaşımda bulunan diyot, senkron indirici tip dönüştürücü yaklaşımında bir MOSFET ile değiştirilir. Dönüştürücünün çıkış gerilimi, görev döngüsü ayarlanarak kontrol edilir.

Q1, yüksek kenar MOSFET, doğrudan devrenin giriş gerilimine bağlanır. Q1 açıldığında, yüke yüksek taraf MOSFET üzerinden akım verilir. Bu süre boyunca, ikinci anahtarlama elemanı Q2 kapalı durumdadır. İndüktörden geçen akım artar ve indüktör üzerinden enerji depolanır. Q1 kapandığında, Q2 açılır ve düşük taraf MOSFET üzerinden yük tarafına akım verilir. Bu süre zarfında indüktör üzerinden geçen akım azalır ve indüktörde biriken enerji azalır. Düşük kenar MOSFET, her iki MOSFET kapalıyken ek bir işlev sağlar. Yüksek taraf anahtarlama elemanı ilk kapandığında anahtarlama geriliminin negatif değere çok fazla gitmesini önlemek için anahtarlama düğüm gerilimini baskılar.

Senkron topolojinin temel avantajı, MOSFET üzerindeki gerilim düşümünün, senkron olmayan klasik indirici tip dönüştürücünün diyodu üzerindeki gerilim düşümlerinden daha düşük olabilmesidir [66]. DC-DC dönüştürücünün tasarlanmasında verimlilik önemli bir parametredir. Etkili bileşenler, verimli bir dönüştürücü oluşturmak için tasarım süresi boyunca belirlenir. Kontrol devresinde N tipi anahtarlama elemanı kullanılmıştır. N tipi MOSFETler daha düşük  $R_{DS,ON}$  değerlerine sahiptir. Ayrıca dönüştürücünün giriş ve çıkış kapasitörleri düşük ESR değerine sahiptir. Böylece güç kayıpları azaltılmaya

çalışılmıştır. Senkron indirici tip dönüştürücü denklemleri kullanılarak, indüktör ve kapasitör değerleri belirlenmiştir.



Şekil 6.3 : Senkron indirici tip dönüştürücü benzetim modeli

Görev oranı ayarlanarak kontrol edilen dönüştürücü tasarlanırken, indüktörün dalgalanma akımının hangi oranda olacağına karar vermek önemlidir. Dalgalanma akımı yüksek bir oran seçilirse, sistem daha çok elektromanyetik girişime maruz kalabilir. Daha az dalgalanma oranı ise sistemin kararsız çalışmasına sebep olabilir. Kabul gören genel yaklaşım, giriş akımının % 20 ila %40 oranı arasında dalgalanma akımını belirlemektir [66]. Akım dalgalanması, akım ölçümünün doğruluğu için önemlidir. Tasarımda kullanılan panelin maksimum sağlayabileceği akım değeri 0.588A'dır ancak ilerde farklı ihtiyaçlar olması durumu için maksimum akım değeri 3A olarak belirlenmiş ve bu tasarımda dalgalanma oranı %30 varsayılarak indüktörün kritik değeri Denklem 6.1 ile hesaplanmıştır. Anahtarlama frekansı, 62.5 kHz olarak seçilmiştir. Daha düşük frekans değerinin seçilmesi, indüktör ve kapasitör değerlerinin artmasına ve dolayısı ile boyutlarının artmasına neden olur. Daha yüksek seçilecek olan anahtarlama frekansı, elektromanyetik girişimin artmasına ve anahtarlama kayıplarının yükselmesine sebep olur [69,70].

Çizelge 6.3: Dönüştürücü parametreleri

Parametre	Değer
Maksimum Giriş Akımı ( $I_{OUT,MAX}$ )	3A
Görev Oranı (D)	%70
Çıkış Gerilimi ( $V_{OUT}$ )	12
Giriş Gerilimi ( $V_{IN}$ )	17
Frekans ( $f_{sw}$ )	62.5 kHz

$$L_{min} = \frac{(V_{IN}-V_{OUT})}{\Delta I_L \cdot I_{OUT,MAX} \cdot f_{sw}} \quad (6.3)$$

$$C_{min} = \frac{(L \cdot I_{pk}^2)}{\Delta I_L \cdot I_{OUT,MAX} \cdot f_{sw}} \quad (6.4)$$

$$I_{pk} = I_{OUT,MAX} \frac{\Delta I_L}{2} \quad (6.5)$$

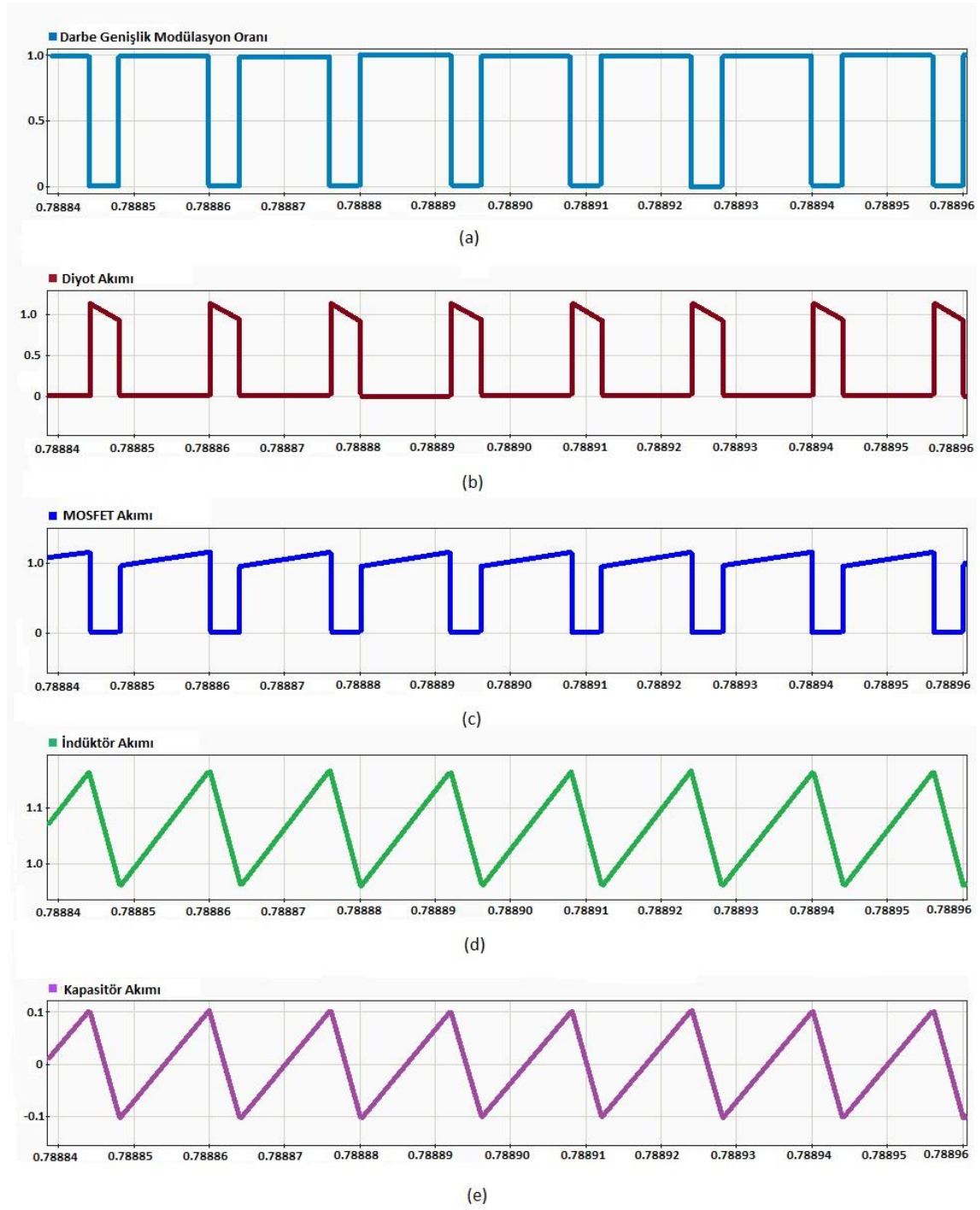
$$\Delta I_L = 0.3 I_{OUT,MAX} \quad (6.6)$$

Eşitlik (6.3) – (6.6)'ya göre yapılan hesaplamalar ile belirlenen indüktör ve kapasitörün kritik değerleri ve diğer seçilen elemanlar Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 : DA-DA dönüştürücü tasarımı LC değerleri

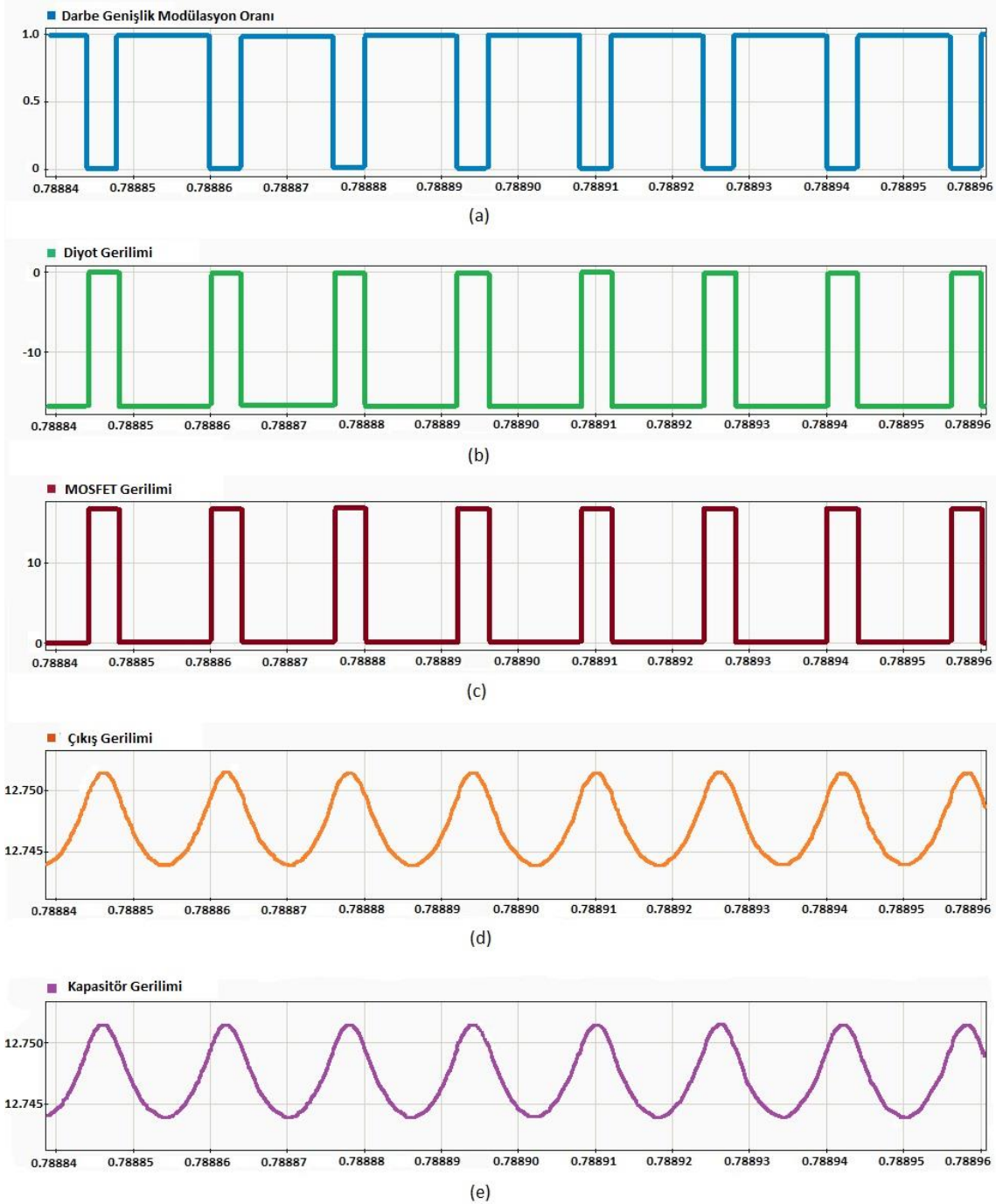
Ürün	Seçilen Değer	Kritik Min. Değer
İndüktör (L)	100 $\mu$ H	62.2 $\mu$ H
Giriş Kapasitör ( $C_{in}$ )	1000 $\mu$ F	-
Çıkış Kapasitör ( $C_{out}$ )	820 $\mu$ F	800 $\mu$ F
MOSFET (Q1,Q2)	40V,195A, $R_{DS,ON}$ = 1.7 m $\Omega$	

Hesaplamalar sonucunda belirlenen değerler ile benzetim modeli test edilmiş, 12  $\Omega$  yk kullanılarak yapılan benzetim çalışmasında dönüştürücünün sürekli modda akım dalga grafikleri Şekil 6.4'te ve gerilim dalga grafikleri Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Darbe genişlik modülasyon oranı ayarlanarak örnek benzetim çalışmasında 17V giriş gerilimi, 12.75V ıkış gerilimine dnştrlmştir.



Şekil 6.4 : İndirici tip dönüştürücü akım dalga grafikleri: (a) Görev oranı, (b) Diyot akımı, (c) MOSFET akımı, (d) İndüktör akımı, (e) Kapasitör akımı

İndüktör akımındaki toplam değişiklik, tepe-tepe indüktör akımı olarak adlandırılır. Anahtarlama gerilimi, çıkış tarafında regüle edilmiş bir DA gerilim üretmek için LC filtresi tarafından yumuşatılır. MOSFETler senkron olarak kontrol edilir. İndüktör üzerindeki akım, 1.05A etrafında salınım yapmaktadır.



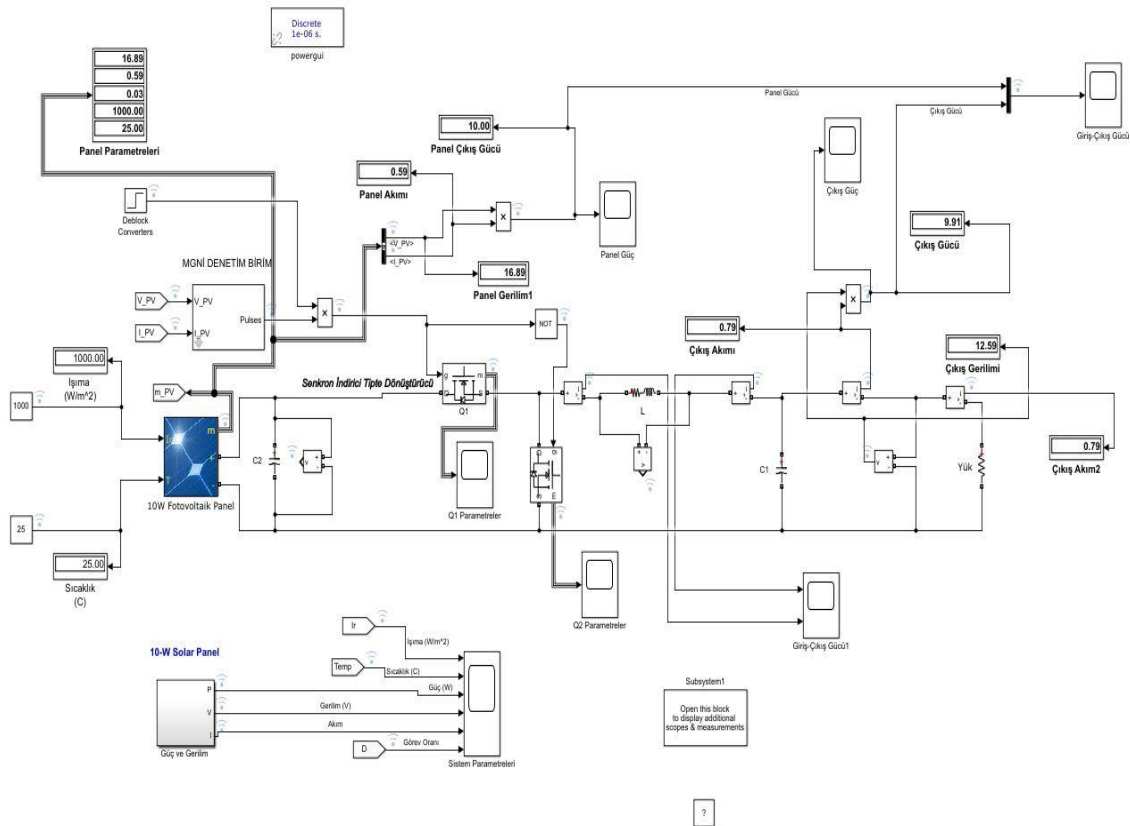
Şekil 6.5 : İndirici tip dönüştürücü gerilim dalga grafikleri: (a) Görev oranı, (b) Diyot gerilimi, (c) MOSFET gerilimi, (d) İndüktör gerilimi, (e) Kapasitör gerilimi



Benzetim çalışmasında, anahtarlama elemanlarının kapı bacaklarını tetiklemek için darbe modülatörü kullanılmıştır. Sistem tasarımında ise mikrodenetleyici tarafından kontrol edilen, yüksek ve düşük kenar kontrolünü sağlayan IR2104 sürücü kullanılmıştır. Mikrodenetleyici tarafından sürücü entegresine darbe genişlik modülasyonu sinyali gönderilir ve yüksek kenarda olan anahtarlama elemanına daha yüksek görev oranında sinyal gönderilerek iletme geçmesi sağlanır.

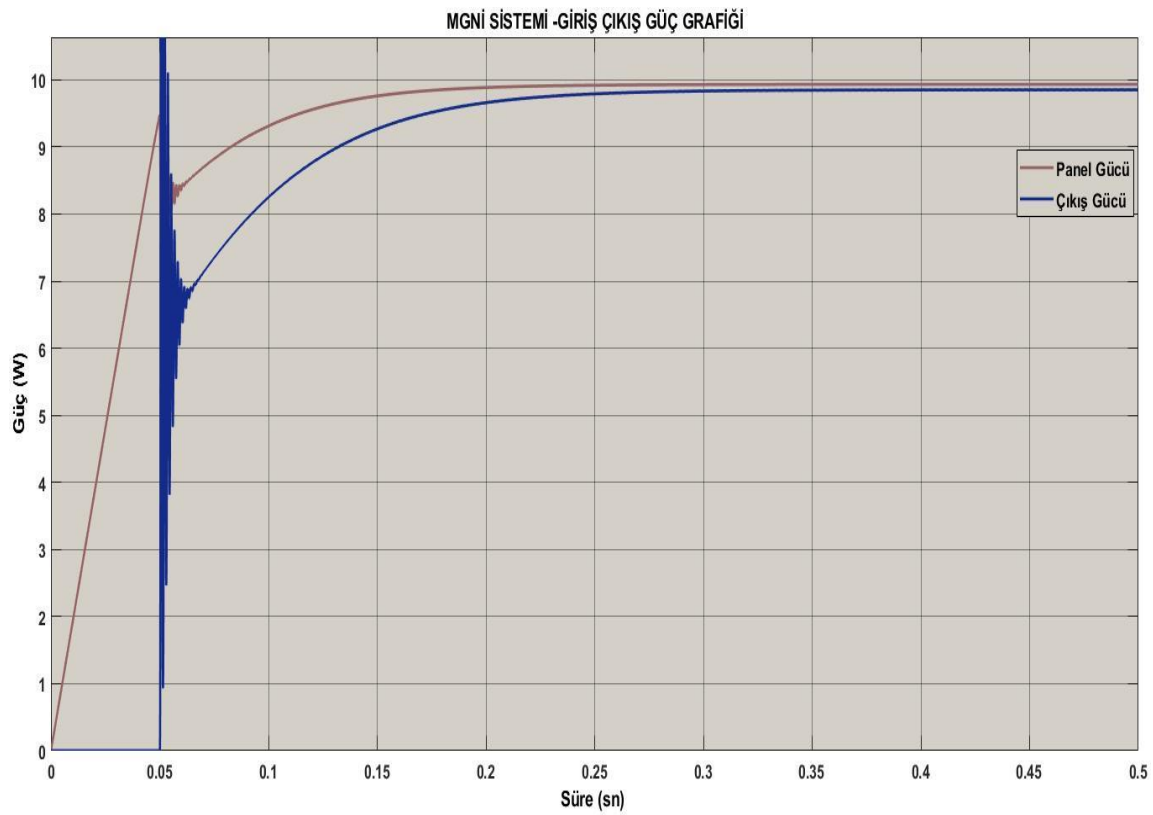
### 6.3. MGNİ Sistem Benzetim Çalışması

Sistem tasarımında, 4. bölümde incelenen MGNİ yaklaşımlarından değiştir ve gözle algoritması kullanılarak bir tasarım yapılmasına karar verilmiştir. Değiştir ve gözle algoritması yüksek verimli olması, kolay uygulanabilir ve düşük maliyetli devreler gerektirdiğinden dolayı tercih edilmiştir. Hızlı değişen ışığa ve sıcaklık değerlerinde maksimum güç noktasını takip etmekte zorlansa da güç noktasının etrafında salınım yaparak takibe devam eder. Bu bölümde değiştir ve gözle algoritması için yazılım ortamında bir modelleme yapılmış (Şekil 6.6) ve benzetim çalışması sonucunda çıktıları incelenmiştir.



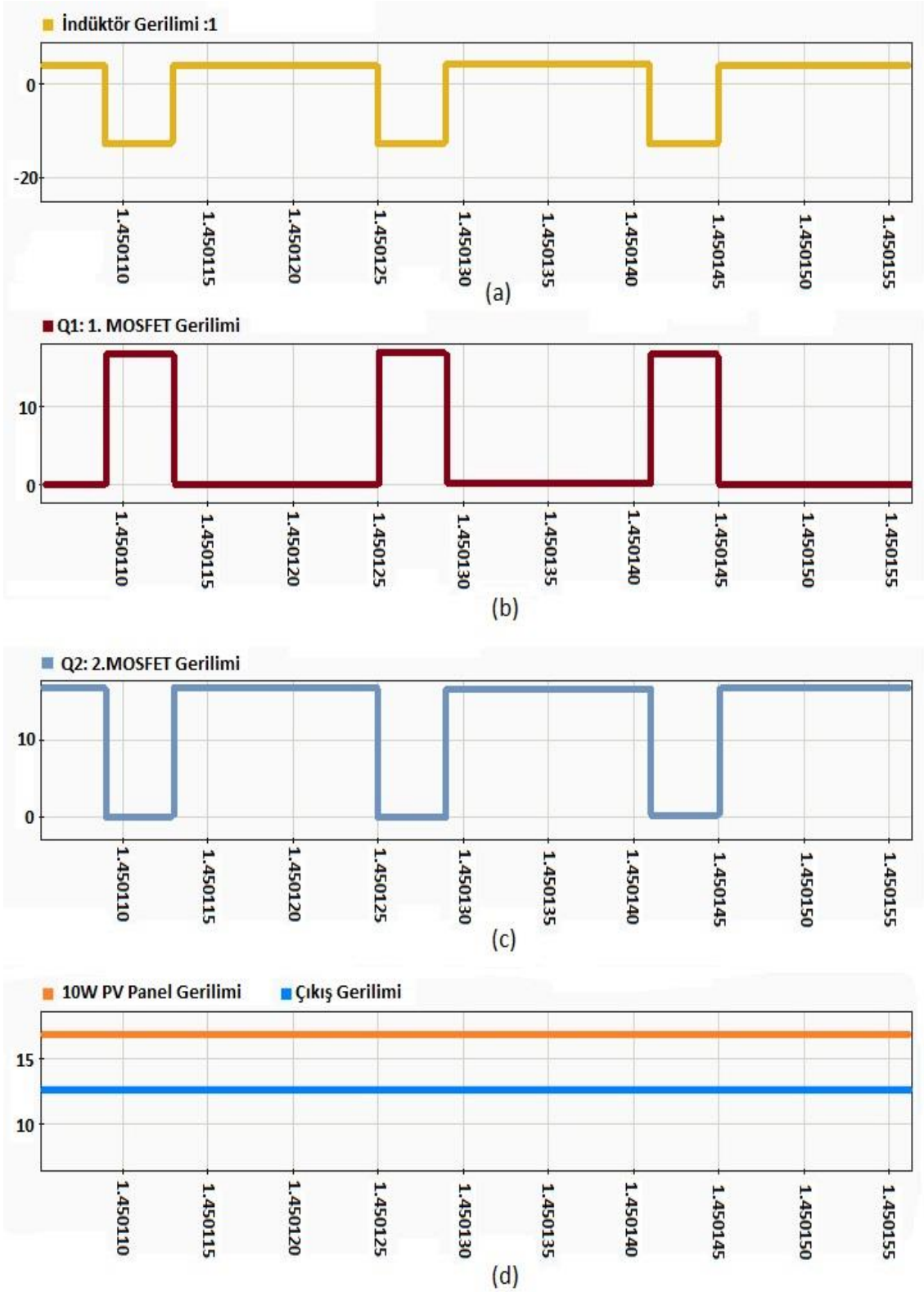
Şekil 6.6 : Değiştir ve gözle algoritması ile tasarlanan MGNİ Sistemi

Benzetim çalışmasında indüktör ve kapasitör elemanları için belirlenen değerler kullanılmıştır. 10W fotovoltaik kaynak modellenmiş ve sistemi beslemesi için dönüştürücü girişine bağlanmıştır. Senkron indirici tipte dönüştürücü ile panel gücü yük tarafına aktarılmıştır. Benzetim çalışmasında yük olarak  $16 \Omega$  direnç kullanılmıştır.  $1000 \text{ W/m}^2$  ışımada,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta model test edilmiştir. Tasarlanan sistem;  $16\Omega$  yük altında, giriş geriliminin 16.89 V, giriş akımının 0.59 A, çıkış geriliminin 12.59 V, çıkış akımının 0.79 A, sistemin giriş gücünün 10W ve çıkış gücünün ise 9.91 W olduğu gözlenmiştir. Benzetim çalışmasında sistem veriminin %99.1 olduğu hesaplanmıştır. Giriş ve çıkış güç grafiği Şekil 6.7’de verilmiştir.

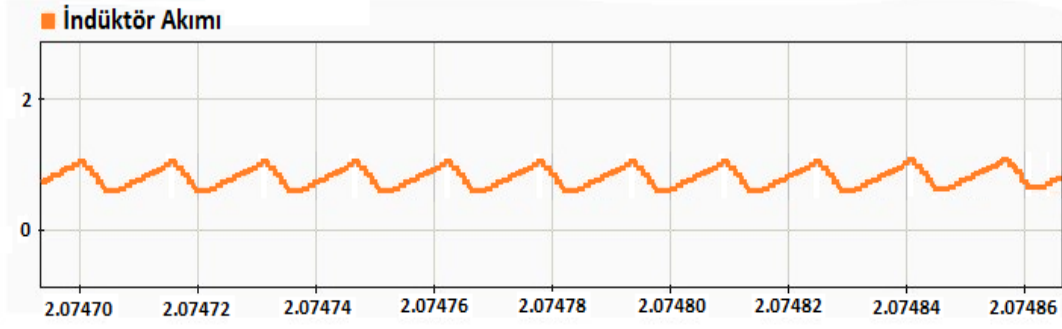


Şekil 6.7 : MGNI sistemi benzetim çalışması giriş ve çıkış güç karşılaştırması

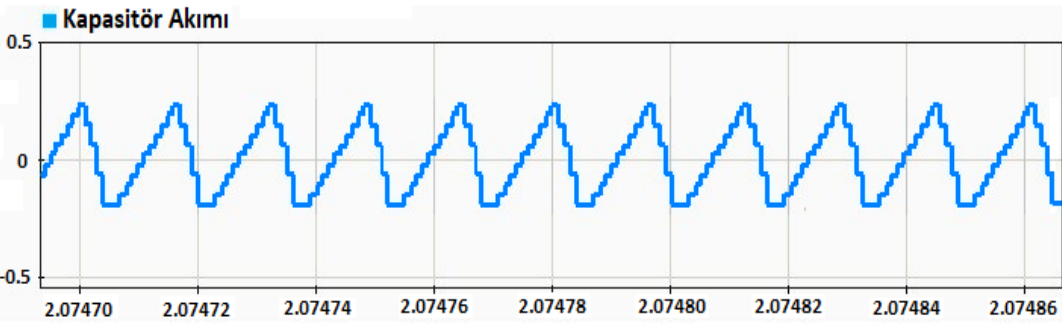
Her döngüde, indüktör akımı çıkış akımını aştığında, çıkış kapasitör voltajı artar. İndüktör akımı çıkış akımından az olduğunda, çıkış kapasitör voltajı düşer. Doğru ortalama çıkış akımını ve sabit bir DC çıkış voltajını elde etmek için çıkış kapasitörünün şarj miktarının, çıkış kapasitörünün boşalma miktarına eşit olması gerekir. İndüktör akımı incelendiğinde, örnekleme süresi boyunca sistemin sürekli modda çalıştığı gözlenmiştir. MGNI kontrol birimi benzetim gerilim ve akım grafikleri Şekil 6.8 ve 6.9’da gösterilmiştir.



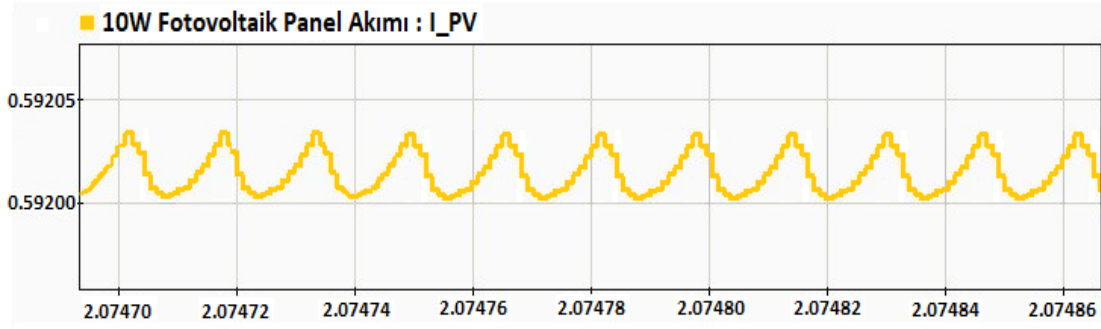
Şekil 6.8: MGNI kontrol birimi gerilim grafikleri: (a) İndüktör gerilimi, (b) 1. MOSFET gerilimi, (c) 2. MOSFET gerilimi, (d) Fotovoltaik panel ve çıkış gerilimi



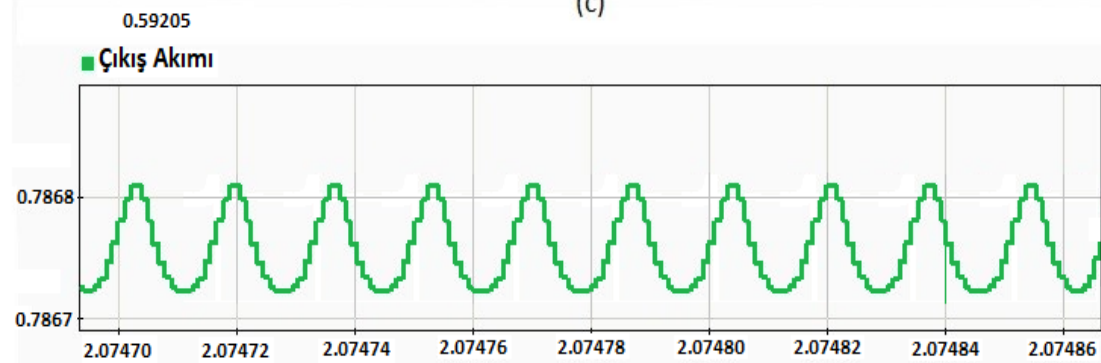
(a)



(b)



(c)

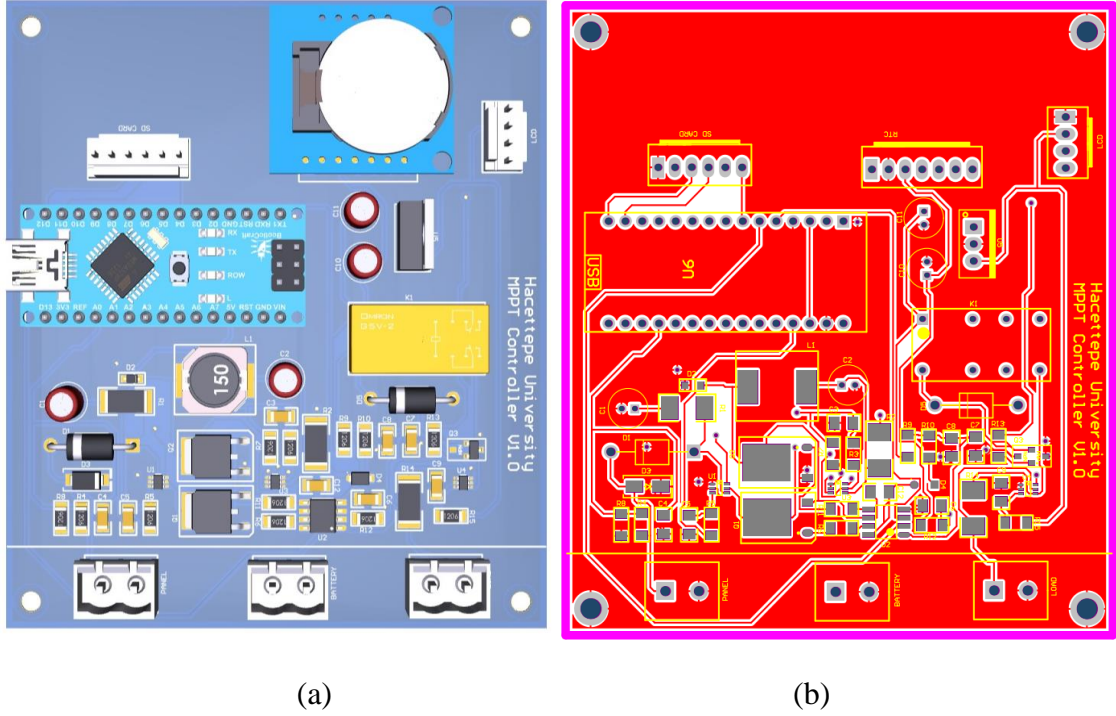


(d)

Şekil 6.9: MGNİ kontrol birimi akım grafikleri: (a) İndüktör akımı, (b) Kapasitör, (c) Panel gerilimi, (d) Çıkış gerilim

#### 6.4. Kontrol Ünitesi Donanım ve Yazılım Çalışmaları

Şekil 6.2’de verilen devre şeması ve doğrulama çalışmaları tamamlandıktan sonra, kontrol ünitesinin kart çizimi yapılmıştır. Devre kartı üzerinde panel, dönüştürücü, batarya, algılayıcı blokları bulunmaktadır. SD kart, RTC ve ekran birimleri için bağlantı konektörleri bulunmaktadır. Şekil 6.10’da kart çiziminin 3 boyutlu tasarımı ve PCB tasarımı verilmiştir.



Şekil 6.10: MGNİ kontrol ünitesi kart tasarımı : (a) PCB kart tasarımı 3D görünümü, (b) PCB modeli üst katman görünümü

Değiştir ve gözle algoritması, maksimum güç noktasını sürekli takip ederek çevresel şartlar altında maksimum güç noktasını bulmaya çalışır. Algoritma değişken hava koşullarından çok etkilenir ve maksimum güç noktası etrafında salınım yapar. Algoritma yazılım tarafında belirlenen sınır değer olan 15V giriş gerilim değerini geçince, görev döngüsünü ayarlayarak anahtarlama elemanlarına darbe genişlik modülasyon sinyali göndermeye başlar. Q1 MOSFETi iletim moduna geçer. Tekrar bu değer altına düşerse, Q1 MOSFETi kesim moduna geçer ve sistem yükleri besleyemez. Sürekli olarak bir önceki güç değeri ile şimdiki güç değerini karşılaştırır Bataryayı korumak amacıyla değiştir ve gözle algoritması modifiye edilerek batarya koruma modları eklenmiştir.

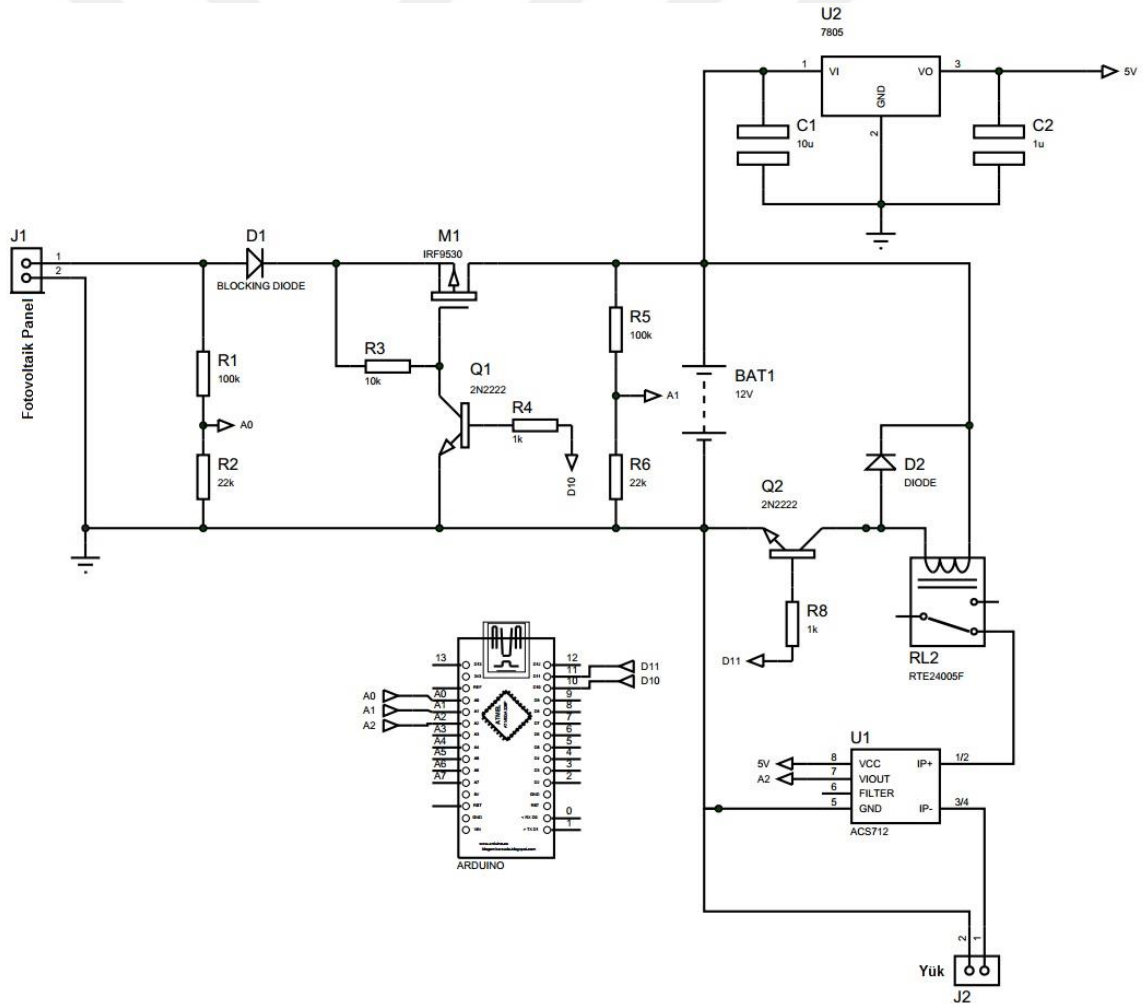
Yazılım, alt program dosya ve kütüphanelerine bölünmüş, yeni algoritmalar ve donanımların yazılıma adaptasyonu daha kolay hale getirilmiştir. Değiştir ve gözle algoritması panel gücünü bir önceki güç değeri ile karşılaştırıp, maksimum güç noktasına yaklaşabilmek için D oranını ayarlar. Panel gerilimi 15V değerinden düşük ise dönüştürücü batarya bloğuna güç aktarmayı kesecek şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca giriş akımı 3A değerinden yüksek ise sistem kendisini korumaya almak için dönüştürücü batarya bloğuna güç aktarmayı engeller. Kullanılan 10W panelin maksimum akım çıkışı 0.625A olduğu için bu durum söz konusu değildir. Ancak sistemi farklı paneller ile kullanabilmek için hem donanımsal hem de yazılımsal olarak sınır değeri 3A olarak belirlenmiştir. İleride doğabilecek ihtiyaca göre bir sınır değeri belirlenmiştir. Bataryayı korumak amacı ile olası bir aşırı şarj, düşük gerilim, aşırı akım durumları için yazılımsal önlemler alınmıştır. Bataryanın şarj döngüsü incelenerek maksimum besleme akımı ve gerilim değerlerini geçmemesi için yazılımsal önlemler alınmıştır. Yük tarafında bulunan kontrol bloğu röle ve akım-gerilim algılayıcılarından oluşmaktadır. Saat birimi üzerinden aldığı bilgiye göre yük birimini aktif eder. Sistemde saat ve tarih yazılım üzerinden bir kez ayarlandıktan sonra hafızaya kaydedilir ve gerçek zamanlı saat beslendiği sürece bu bilgileri doğru bir şekilde ve sürekli olarak mikrodenetleyiciye aktarır.

## **6.5. Darbe Genişlik Modülasyonu ile Fotovoltaik Kontrol Sistemi Tasarımı**

Tez çalışmasının başlangıcında ilk prototip Bölüm 4.1.3'te bahsedilen darbe genişlik modülasyonu (DGM) yaklaşımı kullanılarak tasarlanmıştır. Ancak daha sonra sistemin düşük verimli olması, yeterli gücü sisteme ve yüke sağlayamaması nedeni ile maksimum güç noktası izleyici tasarımı ile devam edilmiştir. Bu bölümde tasarlanan ilk prototip ile ilgili tasarım anlatılmıştır.

Panel girişinde, bataryada ve yük tarafında bulunan gerilim algılayıcı devreler ile algılanan gerilim değeri mikrodenetleyici birime gönderilir. Bu verileri değerlendiren mikrodenetleyici bataryanın şarj döngüsünü kontrol eder. Algoritma, panel ve batarya gerilimlerini değerlendirerek kontrol sağlar. Algoritma, panel tarafından alınan gücü anahtarlama elemanını darbe genişlik modülasyon sinyali ile kontrol ederek batarya ve yüke aktarır. Depolama birimini korumak amacı ile gerilim değeri, 13.5 V değerinin altına düştüğü zaman algoritma şarj döngüsünü durdurur. Algoritma, sürekli sistem gerilimlerini kontrol ederek, depolama biriminin aşırı şarj olmasını engeller.

Sistemde, kötü hava koşullarında ve güneş enerjisinin alınmadığı zamanlarda, bataryadan panel tarafına gidebilecek ters akımı önlemek amacı ile diyot kullanılmıştır. Sistemde bulunan gerçek zamanlı saat belirlenen zaman aralıklarında yük birimini kontrol eder. Mikrodenetleyici, saat biriminden aldığı bilgi ile yük bloğunu aktif eden anahtarlama elemanı röleyi tetikler. Sistem verileri SD kart entegresi içeren veri depolama birimi tarafından kaydedilir. Mikrodenetleyici, depolama, gerçek zamanlı saat ve ekran birimlerini beslemek için batarya gerilimi, regülatör kullanılarak 5V değerine düşürülür. Sistem tamamen dahili beslenmektedir. ACS712 sensörü, yük aktif olduğu zaman aralığında sistemden çektiği akımı belirlemek için kullanılmıştır. Kullanıcı arayüzü olarak kullanılan ekran, giriş gerilimini, çıkış gerilimini, yükün sistemden çektiği gücü, akım ve gerilim değerlerini, saat ve tarih bilgilerini gösterecek şekilde programlanmıştır. Sistemin devre şeması Şekil 6.11’de gösterilmiştir.



Şekil 6.11: Darbe genişlik modülasyonu yaklaşımı ile tasarlanan kontrol sistemi



## 7. TASARLANAN SİSTEMİN PERFORMANS TESTLERİ

### 7.1. MGNİ Sistemi Testleri

Tasarımı yapılan MGNİ kontrol ünitesinin doğrulama ve açık hava testleri yapılmıştır. Veri kaydedici birimde depolanan parametre verileri MATLAB ortamında grafiksel olarak yorumlanmıştır. Testler sırasında 10 W fotovoltaiik panel, MGNİ kontrol ünitesi, 12V 7Ah kurşun asit batarya, elektriksel değerleri yük olarak kullanılacak olan kablosuz sensör ağına benzer yük tarafına bağlanmak amacıyla 12V gerilimde 1A akım çeken yük kullanılmıştır. Senkron alçaltıcı dönüştürücü yapısı kullanılan sistemde, giriş gerilim seviyesi düşürülerek çıkış gerilimi olarak verilmekte, girişte okunan akım ise yükseltilecek çıkıştaki batarya ve yükü beslemek amacıyla verilmektedir. Giriş gerilimi 14 V değerini geçtiğinde değiştir ve gözle algoritması çalışmaya başlamıştır. Depolama birimini korumak amacı ile çıkış gerilimi bataryanın şarj döngüsündeki en yüksek gerilim değeri olan 14 V değerini geçtiğinde, sistem kendini korumaya alıp, çıkış tarafına verdiği gerilimi darbe genişlik modülasyon değerini ayarlayarak düşürmektedir.

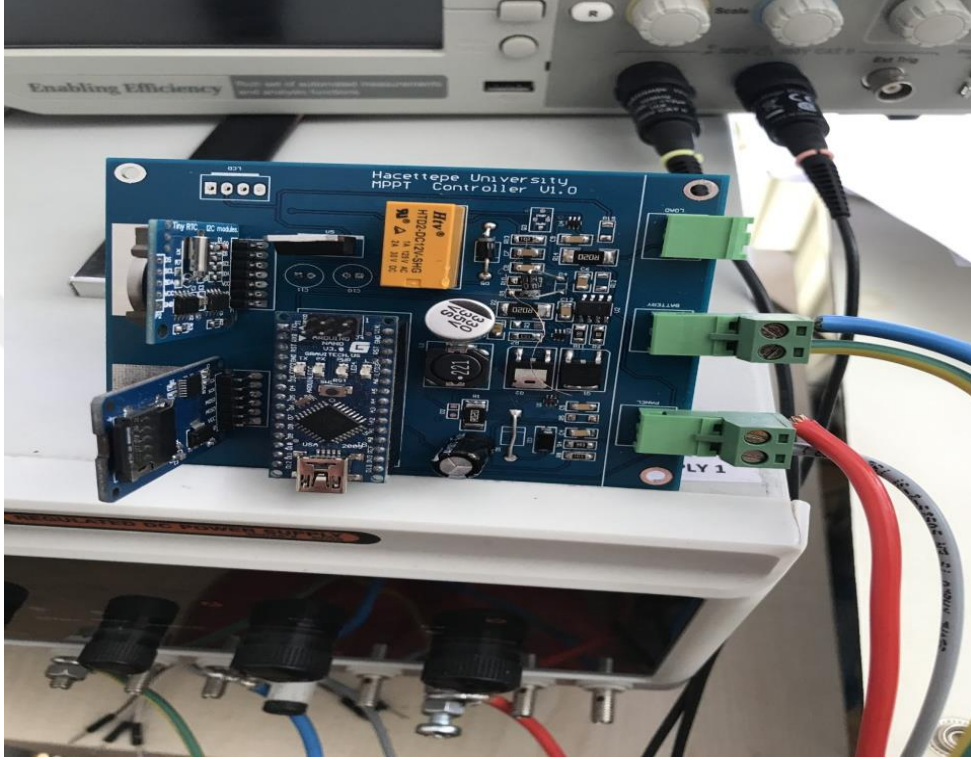
Laboratuvar testlerinde gerilim ve akım sensör birimleri test edilmiştir. Ayarlanabilir güç kaynağı panel girişine bağlanmış ve farklı akım, gerilim değerlerinde doğrulama testleri yapılmıştır. Yazılım üzerinden okunan sistem parametreleri, ayarlanabilir güç kaynağı ve akım-gerilim ölçen cihazların çıktıları ile karşılaştırılmış ve belirlenen katsayı ile sistemin gerilim ve akım okuması doğrulanmıştır. Sistem ilk çalıştırılmaya başladığı sırada SD kartın sistemde olup olmadığı kontrol edilmiştir, bu durum seri port üzerinden kullanıcıya aktarılmıştır. Yazılım üzerinden sistem saati bir kez doğru ayarlandıktan sonra, gerçek zamanlı saati besleyen dahili bataryası olduğu sürece hassas zaman ölçümü yapılmasına imkan verilmiştir.



Şekil 7.1: Sistem verilerinin ekran üzerinden gözlenmesi



Kullanıcının sistem verilerine kolay erişimine imkan sağlamak amacı ile bir ekran üzerinden erişim imkanı sağlanmıştır. Şekil 7.1’de ekran üzerinde, panel gerilimi (PV), çıkış gerilimi (BV), panel akımı (PC), çıkış akımı (BC), tarih, saat, çıkış gücü (PW) ve verim (EFF) değerleri görülmektedir. MGNİ güç kontrol baskı devre kartı Şekil 7.2’de gösterilmiştir.



Şekil 7.2: MGNİ güç kontrol ünitesi baskı devre kartı

Test amacı ile sistemi daha iyi gözlemleyebilmek için sistem gereksinimlerinde 1 haftada 10 dakika çalışacağı belirtilen yük, 30 dakika aralık ile 2 dakika boyunca aktif edilmiştir. Kontrol birimi testleri, sistemin yüklü ve yüksüz durumları için tekrarlanmıştır. Test amacı ile fotovoltaik paneli, kontrol ünitesini ve depolama birimini yerleştirmek için bir yapı hazırlanmıştır. Sistem testleri Ankara ilinde yapılmıştır. Panel açısı, testlerin yapıldığı Ankara ilinin 39.92 değerindeki enlem açısı dikkate alınarak yapılan yaklaşık hesaplamalar ile 38 °C olarak belirlenmiştir. Fotovoltaik panel 38 °C eğim açısı ile doğu-batı hattında güney yönüne bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Test ortamları Şekil 7.3’te gösterilmiştir.



Şekil 7.3: Fotovoltaik kontrol sistemi için tasarlanan yapılar ve test ortamları

Gün ışığı ve dış ortam altında yapılan testler sonucunda gerilim, akım, güç ve verim değerleri gözlenmiştir. Sistemde bulunan bütün bileşenler, sistem üzerinden beslenmiştir. Sistem verimi, DA-DA dönüştürücü ünitesinin çıkışında elde edilen güç değeri ile fotovoltaik panel ünitesi tarafından üretilen güç değerinin oranı olarak hesaplanmıştır. Örnekleme aralığı yazılım üzerinden ayarlanmış ve veri kaydedici birim 10 saniye aralıklar ile örnekleme yapmıştır. Sistem verileri, dahili hafızaya metin dosyası olarak test tarihi başlığı ile kaydedilmiştir.

Sistemin genel verimi, yapılan testler sırasında elde edilen veriler incelediğinde %93 ile %96 arasında değiştiği gözlenmiştir. Ancak fotovoltaik panel akımı 10 mA gibi çok düşük değerlerde olduğunda sistem veriminin %75 değerine kadar düştüğü gözlenmiştir. Sistem veriminin, değişen atmosferik koşullardan dolayı salınımlar yaptığı gözlenmiştir.

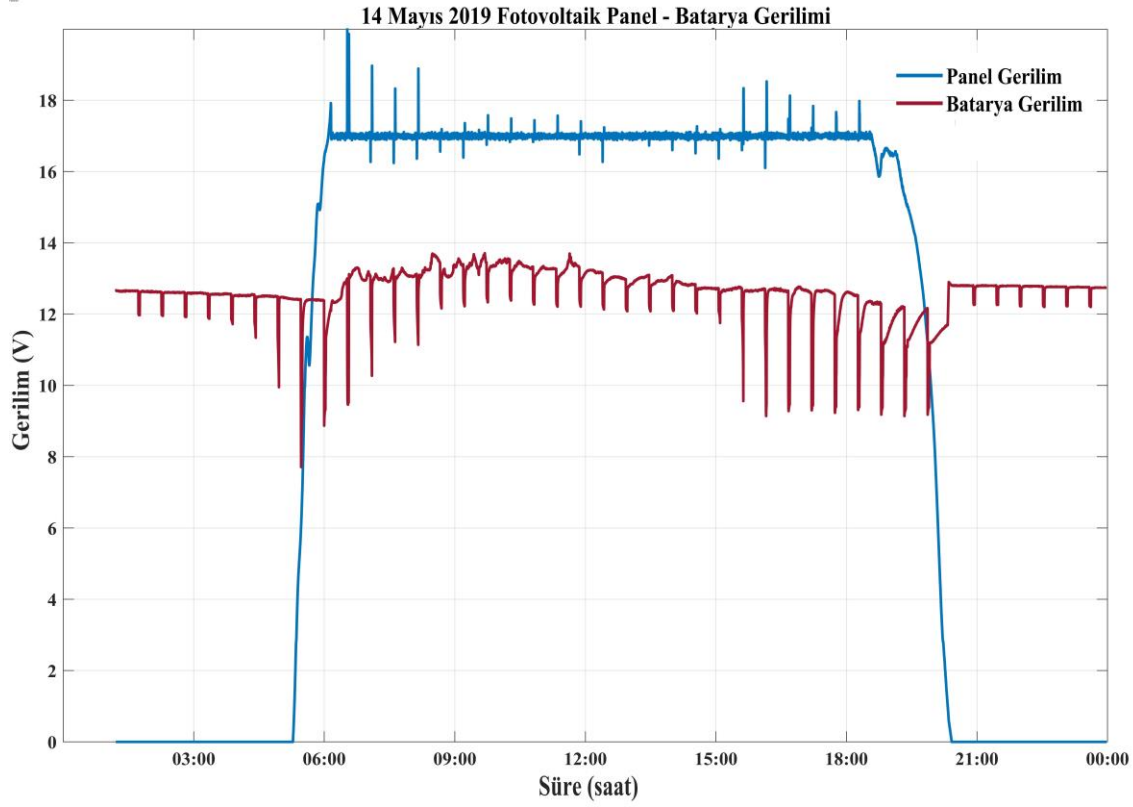
Bataryanın şarj olduğu süre boyunca çıkış gerilim değeri bataryanın ihtiyacı oranında artmaktadır ve kritik değer 14 V değerini geçmemesi için sınırlandırılmıştır. Batarya geriliminin periyodik olarak düştüğü noktalar, sistem yükünün aktif olduğu zamanları göstermektedir. Yük batarya üzerinden ihtiyacı olan gücü çekmekte ve batarya gerilimi bu zaman aralığında düşmektedir. Belirlenen süre sonunda yük devre dışı kaldığında, batarya panel aracılığı ile beslenmeye devam etmektedir.

Şekil 7.4'te 14 Mayıs 2019 tarihinde yapılan test sonucunda elde edilen panel ve batarya gerilim grafiği görülmektedir. Test amacıyla sisteme bağlanan yük 12V gerilimde 1A akım çekmekte ve sistemde esas kullanılacak olan kablosuz sensör ağıının elektriksel özelliklerini taklit etmesi amacıyla kullanılmaktadır. Gerçek zamanlı saat, yükü aktif eden anahtarlama elemanını 30 dakika ara ile 2 dakika boyunca aktif etmekte ve bu sürede sistemden yaklaşık olarak 12W anlık güç çekilmektedir. Örneklem aralığı yaklaşık 24 saat olarak tutularak test yapılmıştır. Tasarlanan sistem, maksimum güç noktasını belirlemek için değiştir ve gözle algoritmasına göre panel gerilimini sürekli olarak değiştirir. Yük bloğunun aktif edildiği zamanlarda, batarya gerilim değerinin düştüğü noktalar Şekil 7.4'te görülmektedir.

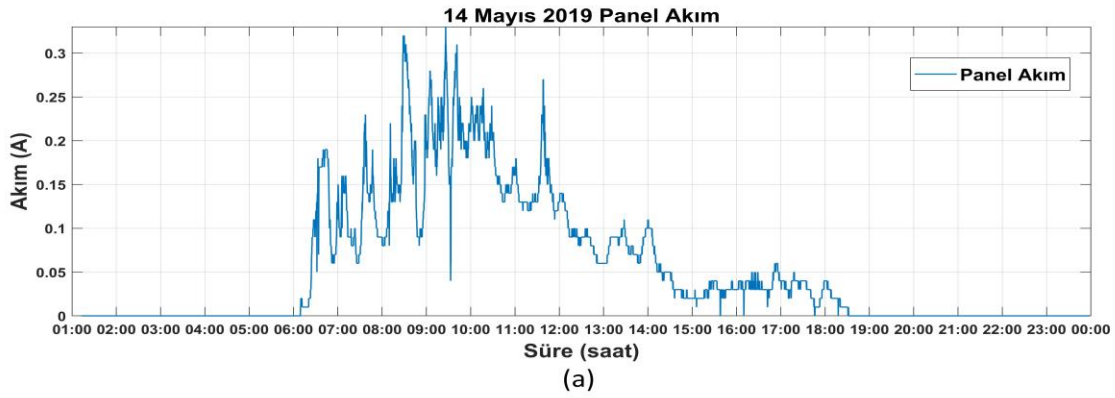
Şekil 7.5'te panel ve batarya akım grafikleri görülmektedir. Fotovoltaik panelin akım karakteristiğinden de bilindiği üzere, ışınma değerinin değişmesi doğrusal olarak panel çıkış akımına etki etmektedir. Panel akımı, testin yapıldığı gün maksimum 0.35A değerine çıkmıştır. Gerçek hava koşulları altında yapılan test süresinde, havanın çoğunlukla kapalı ve bulutlu olması nedeniyle, panel akımında sürekli dalgalanmalar gözlenmiştir. Panel, sisteme düşük oranlarda güç sağlamıştır.

Şekil 7.6'da panel ve batarya güç grafikleri görülmektedir. Fotovoltaik panelin gücü, testin yapıldığı gün maksimum 5.5W değerine ulaşmıştır. Gün boyunca kapalı hava ve bulutluluk etkisinden dolayı panel akımının düşük olması ile sürekli değişken bir grafik ortaya çıkmıştır.

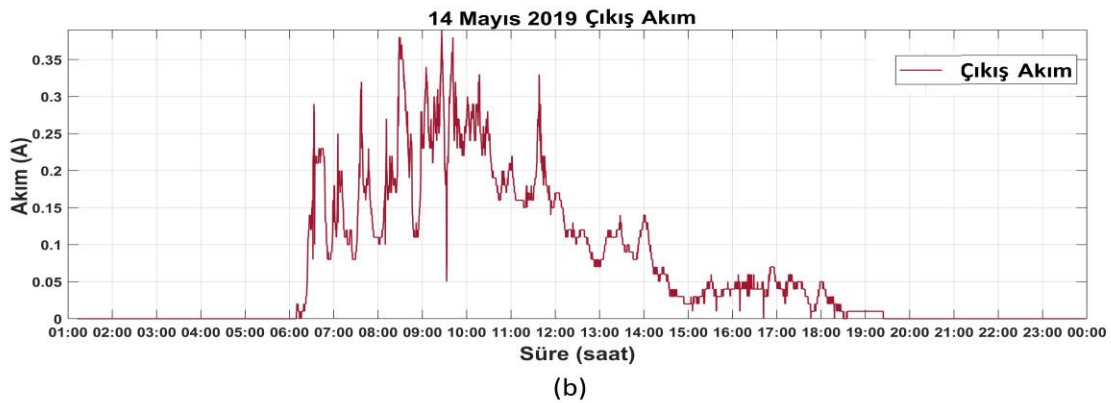
Şekil 7.7'de sistemin verim grafiği görülmektedir. Sistemin ortalama olarak %94-95 verim ile çalıştığı gözlenmiştir. Panel akımı 5 mA gibi çok küçük değerlere düştüğü zaman sistem verimi %55 değerlerine kadar gerilemekte ve gün batımına yakın zamanda sistem verimi 0 olmaktadır. Çünkü panel gerilimi, 15 V değerinin altına düştüğünde, mikrodenetleyici algoritmanın çalışmasını durdurur ve panel tarafından sisteme güç akışı sağlanamaz duruma gelir.



Şekil 7.4: MGNİ kontrol sistemi panel ve çıkış gerilim grafiği

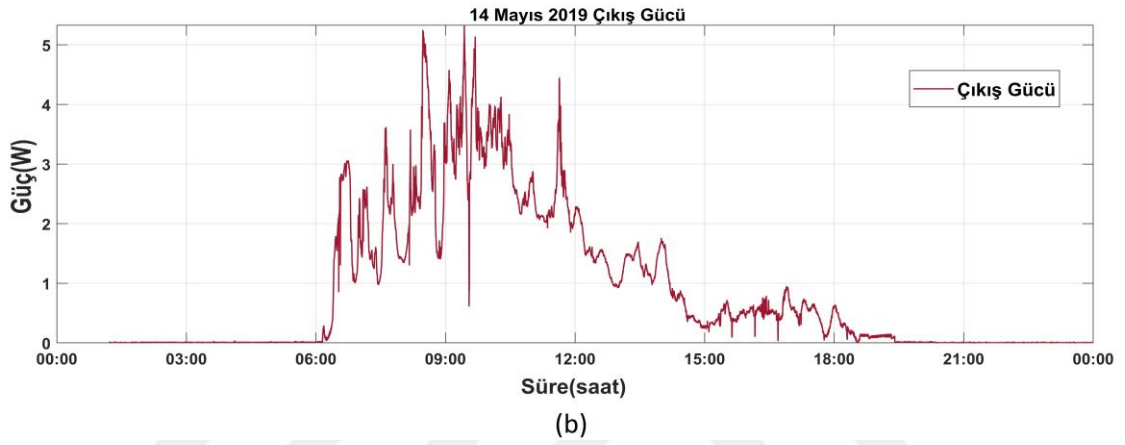
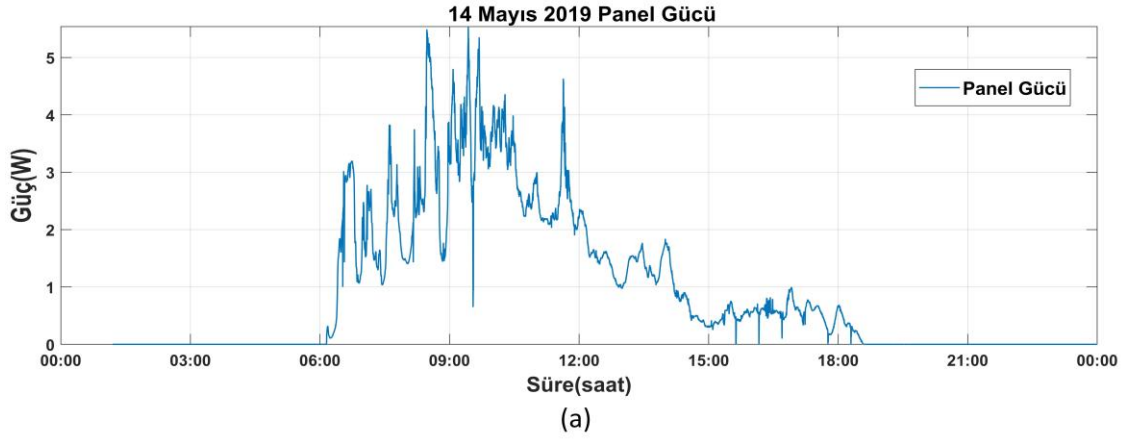


(a)

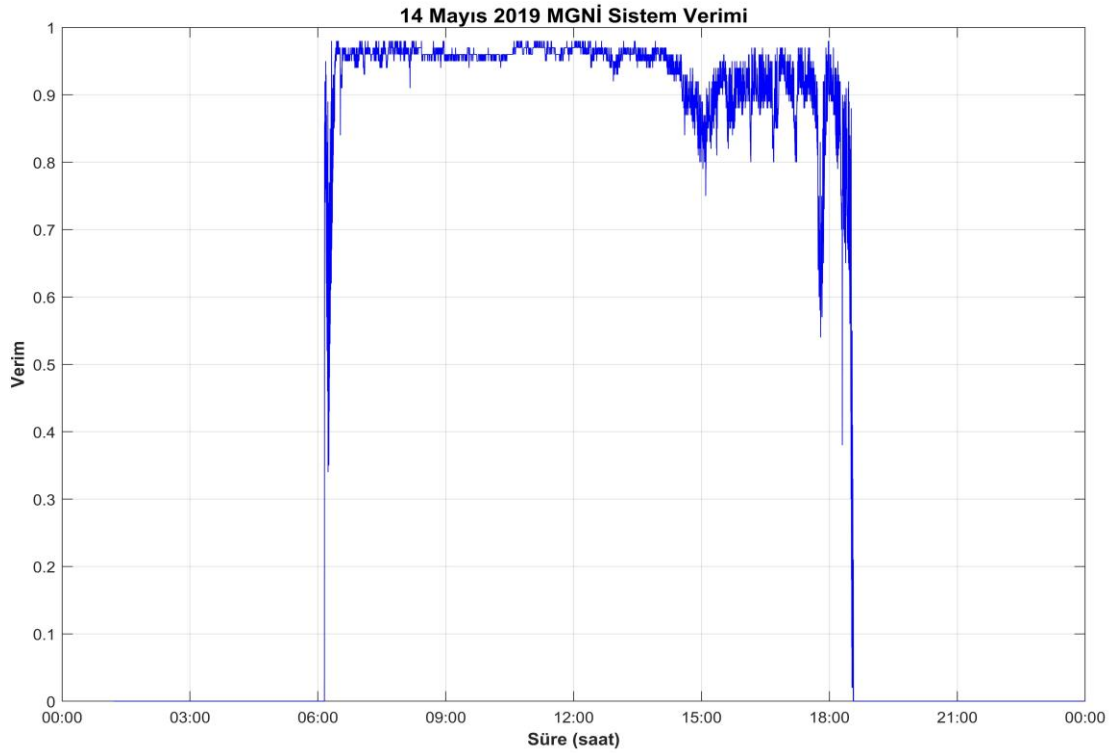


(b)

Şekil 7.5: MGNİ kontrol sistemi grafikleri: (a) Panel akımı, (b) Çıkış akımı



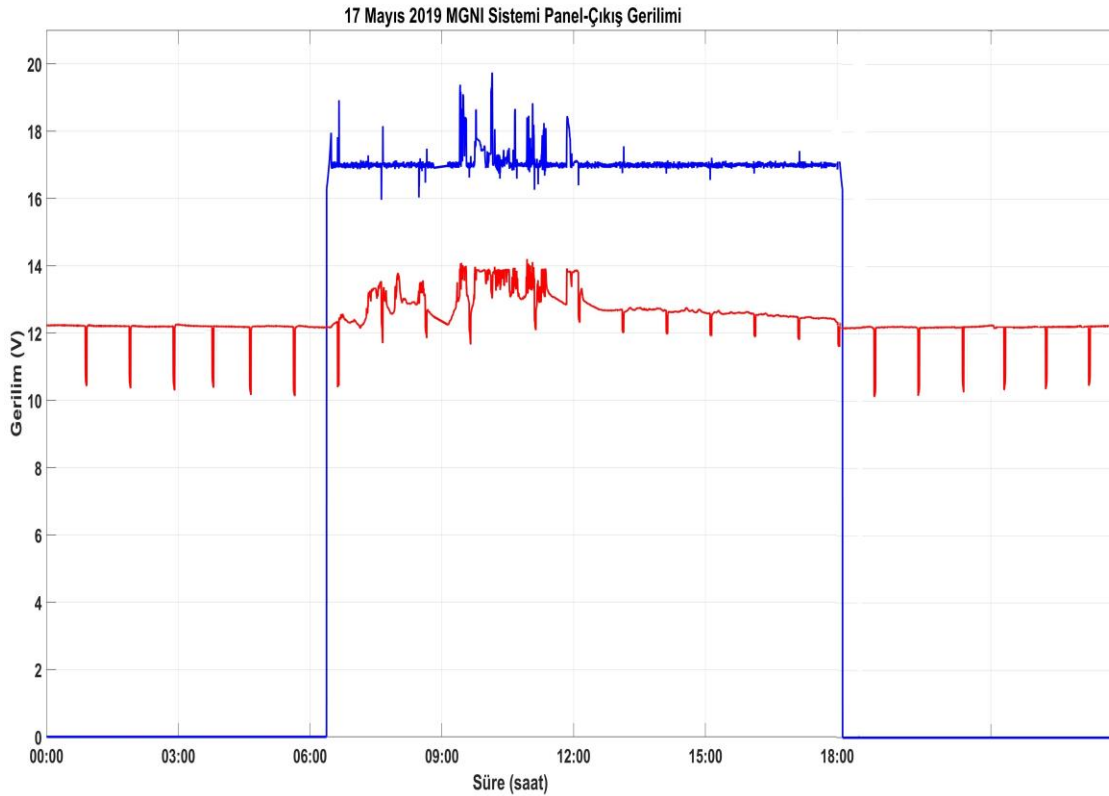
Şekil 7.6: MGNİ kontrol sistemi grafikleri: (a) Panel gücü, (b) Çıkış gücü



Şekil 7.7: MGNİ kontrol sistem verimi grafiği

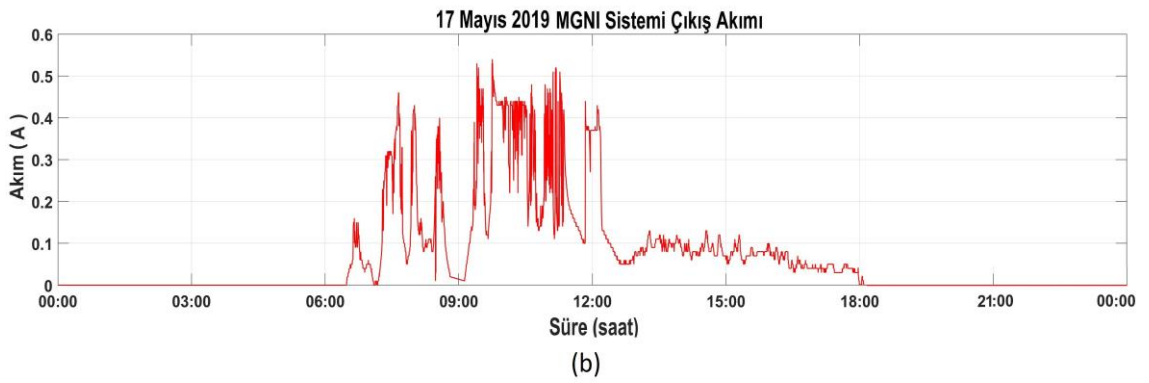
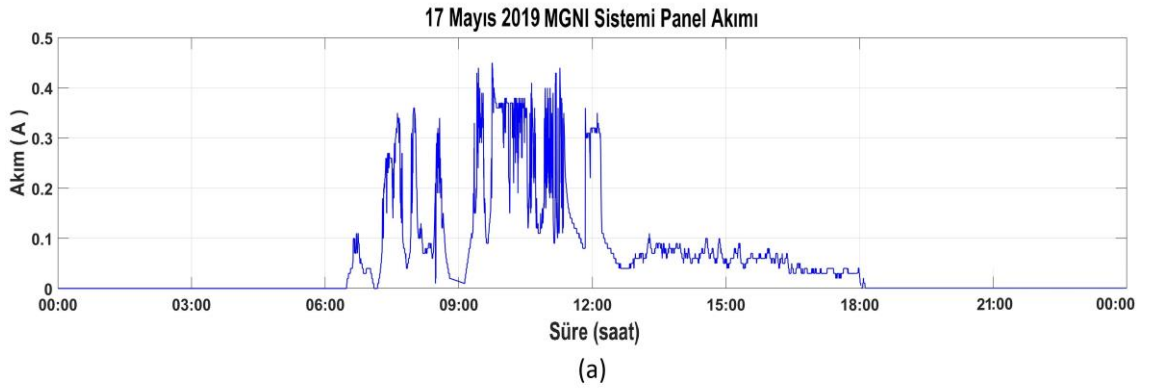
Şekil 7.8’de 17 Mayıs 2019 tarihinde yapılan test sonucunda elde edilen panel ve batarya gerilim değerleri görülmektedir. Sisteme 12V gerilimde 1A akım çeken yük bağlanarak test yapılmıştır. Örnekleme aralığı yaklaşık 24 saat olarak tutularak test yapılmıştır. Şekil.7.8’de batarya geriliminin, yükün aktif olduğu sırada düştüğü noktalar ve bataryanın gerilim karakteristiği görülmektedir. Sistem testi gece yarısı başlamış, 18:00’da panel sistemden ayrılmıştır. Değiştir ve gözle algoritması, panel gerilimini sürekli takip etmiş, gerilim değerini değiştirerek maksimum güç noktasını ulaşmaya çalışmıştır.

Şekil 7.9’da panel ve çıkış akımı grafikleri görülmektedir. Fotovoltaik panelin akım değeri, testin yapıldığı sırada kötü ve bulutlu hava koşullarının sonucunda yeterli ışımaya olmamasından dolayı düşüktür. Bu nedenle sistem, yük tarafına uzun süre boyunca yüksek akımlar verememektedir. Ancak havanın açık ve bulutsuz olduğu süreler boyunca (09:30-11:30 aralığında) panel akımı 0.45A değerlerine çıkmıştır. Saat 09:00 civarında güneş ışığı yeterli ışınım miktarını panele sağlayamamakta ve panel çok düşük seviyelerdeki (yaklaşık 10 mA) akımı sisteme aktarmaktadır. Şekil 7.10’da da görüldüğü gibi verim %75 değerlerine düşmektedir.

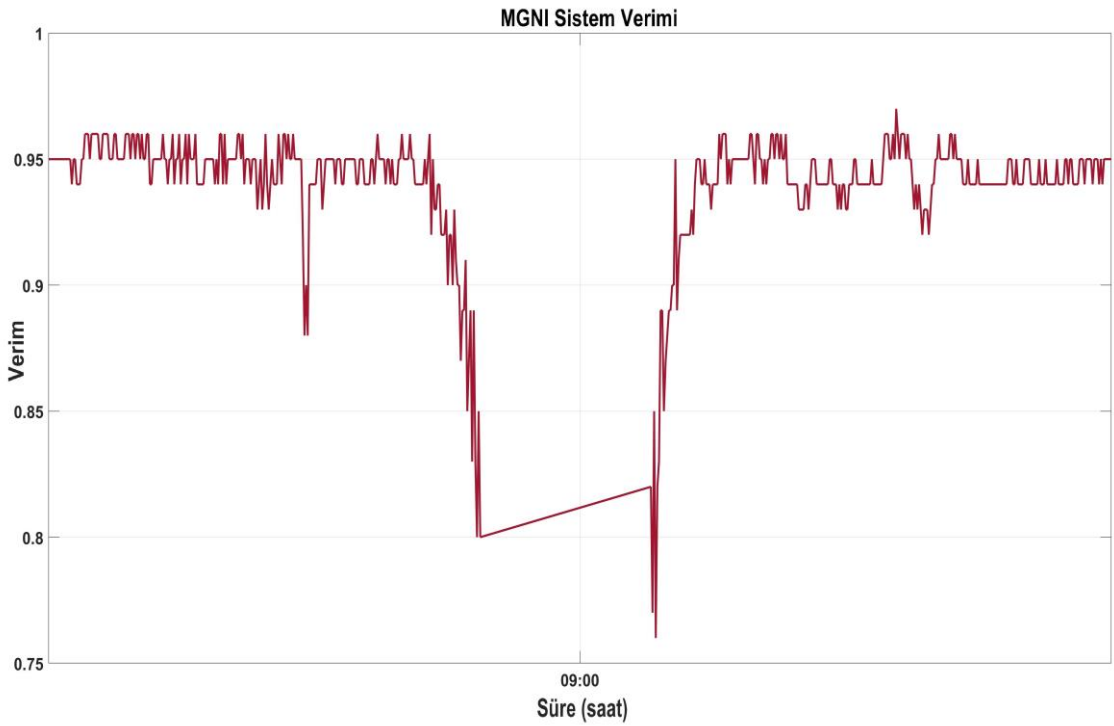


Şekil 7.8: MGNI kontrol sistemi panel ve çıkış gerilim grafiği

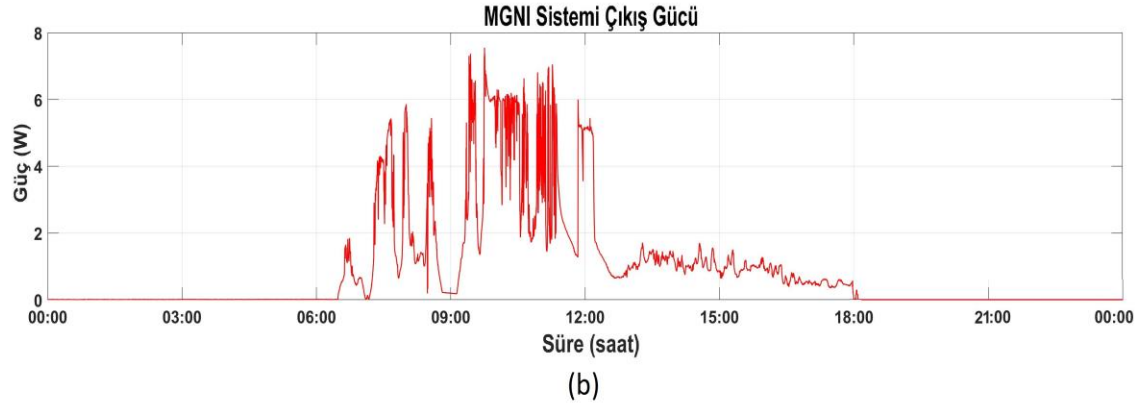
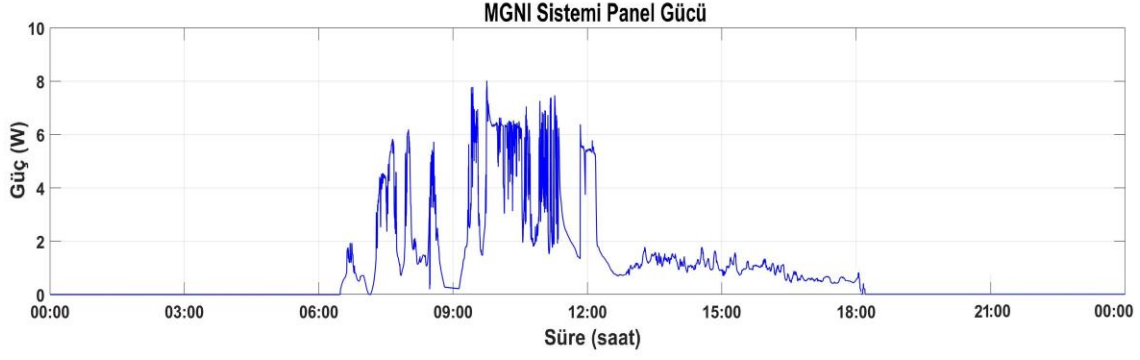




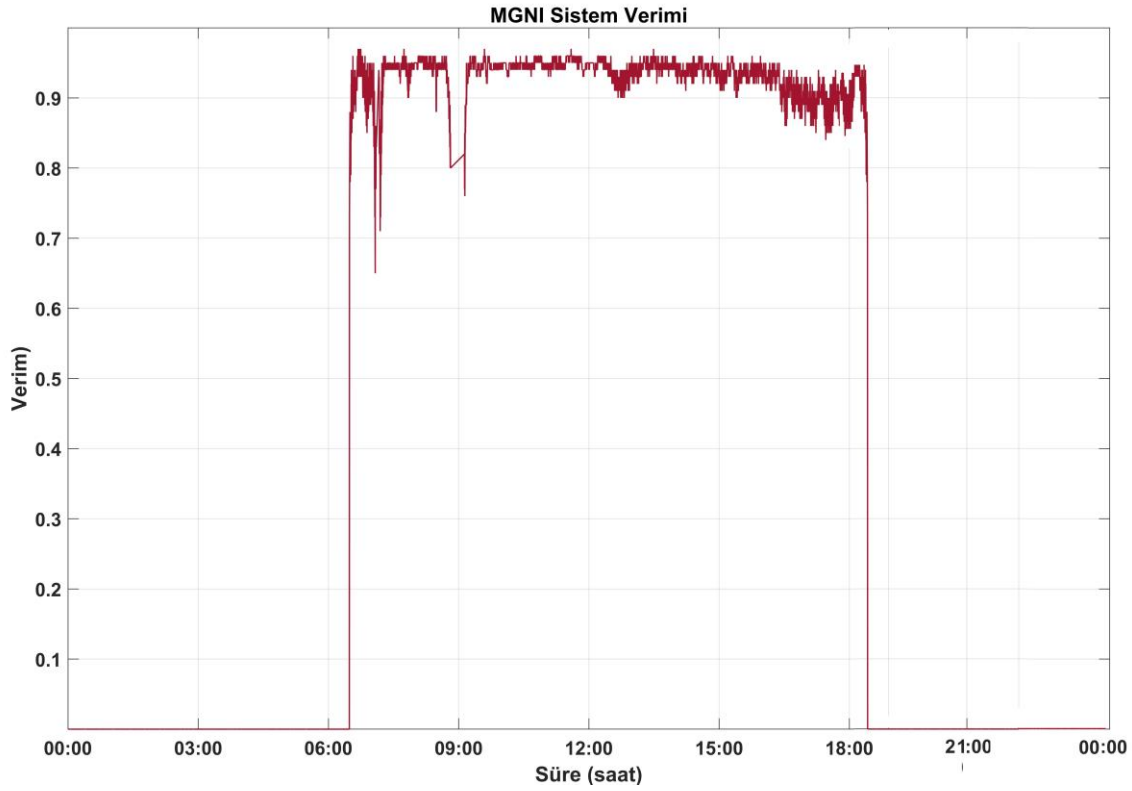
Şekil 7.9: MGNI kontrol sistemi grafikleri: (a) Panel akımı, (b) Çıkış akımı



Şekil: 7.10: Çok düşük akım değerlerinin MGNI sisteminin verimi üzerindeki etkisi



Şekil 7.11: MGNI kontrol sistemi grafikleri: (a) Panel gücü, (b) Çıkış gücü



Şekil 7.12: MGNI Kontrol Sistemi Verim Grafiği

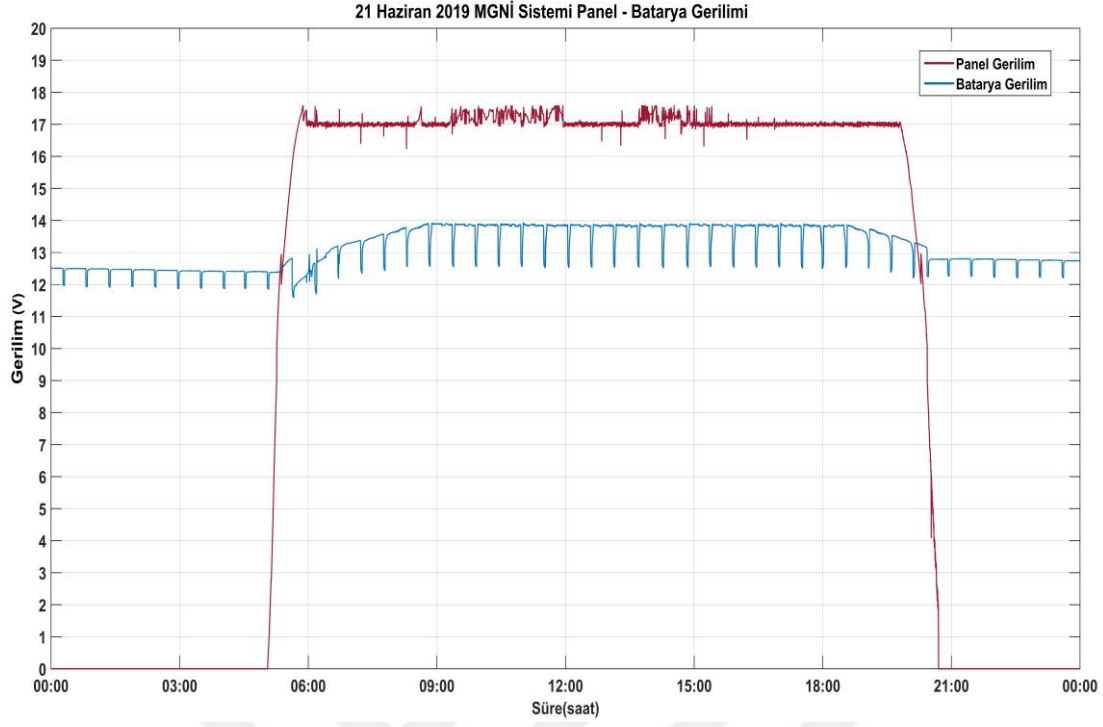


Şekil 7.11’de 17 Mayıs 2019 tarihinde yapılan test sırasında kaydedilen veriler ile elde edilen panel ve batarya güç grafikleri görülmektedir. Fotovoltaik panel, testin yapıldığı gün maksimum 8 W güç değerine ulaşmıştır. Bataryayı maksimum 7.6 W güç ile beslemiştir. Ancak test sırasında değişken atmosferik koşullardan dolayı aktarılan güç sürekli değişmektedir.

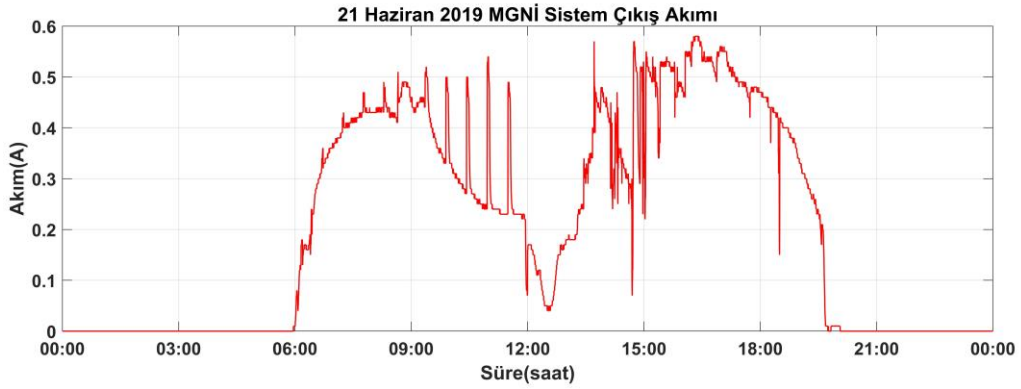
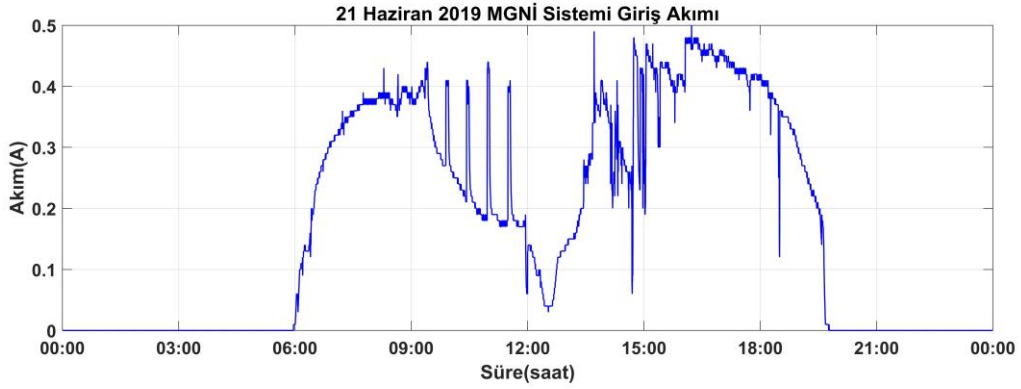
Şekil 7.12’de sistem 17 Mayıs 2019 tarihinden yapılan test sonuçlarına göre elde edilen verim grafiği görülmektedir. Sistem ortalama olarak %94-95 verim ile çalışmaktadır. Panel akımı 10 mA gibi çok küçük değerlere düştüğü zaman sistem veriminin %60 - %75 değerlerine kadar gerilmekte olduğu görülmektedir.

Yılın en uzun günü olan 21 Haziran 2019 tarihinde sistem, Ankara ilinde 39°58'05.3" Kuzey 32°32'54.2" Doğu koordinatlarında açık arazide test edilmiştir. Fotovoltaik panel, doğu-batı hattında güney yönüne bakacak şekilde 38 °C açı ile platform üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 7.13’te fotovoltaik panelin ve MGNİ kontrol ünitesinin batarya ve yükü besleyen çıkışındaki gerilim grafikleri görülmektedir. Değişken koşullar altında panel ve sistem çıkışının gerilim karakteristiği incelenmiştir. Sistem maksimum güç noktasını bulmak amacı ile sürekli olarak küçük değerlerde salınımlar yapmakta ve çıkış gücünü sürekli olarak ayarlamaktadır. Çıkış gerilimi batarya ve yükü beslemektedir.

Sistem testinin yapıldığı tarihte güneş paneli, 05:00 saati itibari ile 1V seviyelerinde gerilim üretmeye başlamıştır. Panel gerilimi, saat 05:30’da 15V değerini değerini geçtiği zaman MGNİ sisteminin çalışmaya başladığı görülmektedir. Sistemde bulunan yük, 30 dakika aralıklar ile 2 dakika boyunca 12V gerilimde 1A akım çekmektedir. Bu süre boyunca sistemden yaklaşık olarak 12W anlık güç çekilmektedir. Şekil 7.13’te sistem yükü aktif olduğu sırada, batarya geriliminin düştüğü noktalar görülmektedir. Batarya gerilim seviyesi, 12.6V değerinde iken sistem gece yarısı test edilmeye başlanmıştır ve güneş doğmadan önce sistemin beslenmesinden dolayı 12.5V gerilim değerine kadar düştüğü gözlenmiştir. MGNİ kontrol ünitesi çalışmaya başladıktan sonra bataryanın şarj döngüsü başlamış ve geriliminin 13.8V seviyelerine çıktığı gözlenmiştir. Saat 19:45 itibari ile güneş tamamen batmamış olmasına rağmen yeterli ışınım sağlanamadığından dolayı panel tarafından güç üretilmemiştir. Saat 20:42 itibari ile güneş tamamen batmış ve panel geriliminin 0V değerine düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 7.13: 21 Haziran 2019 açık arazi testi - MGNI kontrol sistemi panel ve çıkış gerilimi grafiği



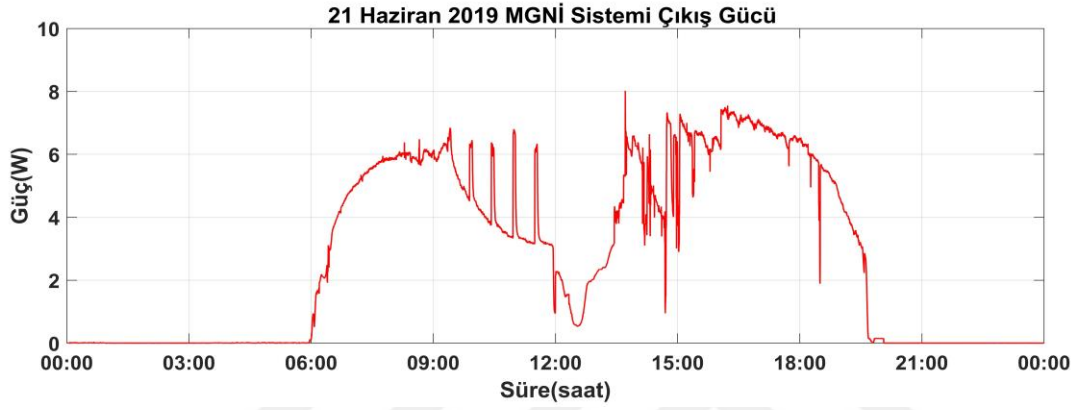
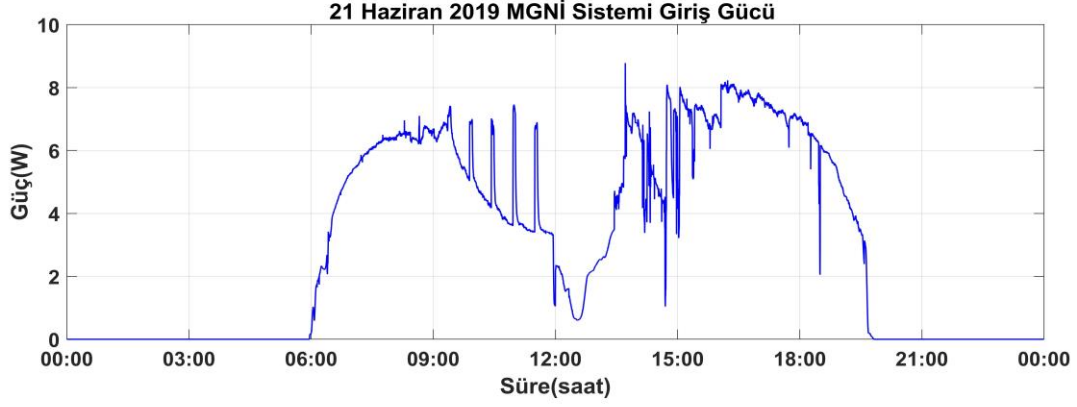
Şekil 7.14: 21 Haziran 2019 Açık Arazi Testi - MGNI kontrol sistemi panel ve çıkış akımı grafiği

Şekil 7.14'te sisteme batarya ve yük bağlı iken, panelden sisteme aktarılan giriş akımının ve dönüştürücü çıkışındaki çıkış akımının değerleri görülmektedir. Değişen ışınım miktarından dolayı sisteme aktarılan akım değerlerinin salınım yaptığı görülmektedir. 21 Haziran 2019 tarihinde yapılan test sırasında, fotovoltaik panel sisteme maksimum 0.49 A akım sağlamıştır. Dönüştürücü çıkışında batarya ve yük maksimum 0.58 A akım ile beslenmiştir.

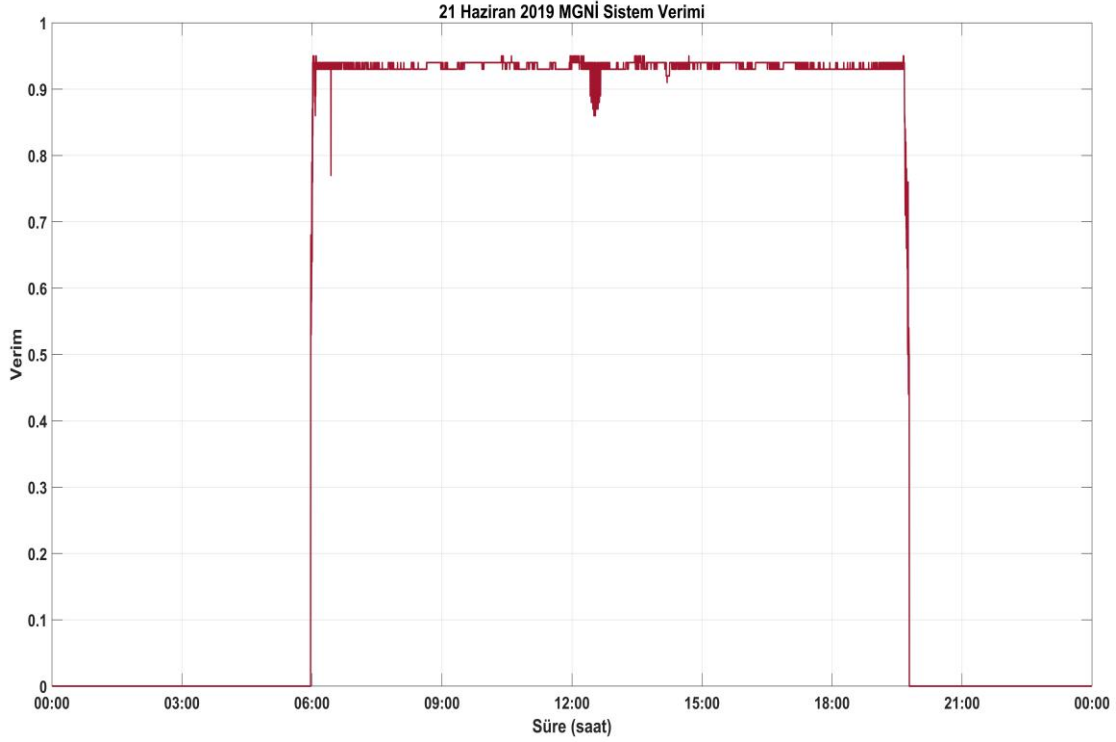
21 Haziran 2019 tarihinde yapılan test sırasında 09:00 – 12:30 saatleri arasında test ortamında yoğun bulutlu ve yağmurlu bir hava durumu olması nedeni ile panel düşük akım üretmiştir. Şekil 7.14 incelendiğinde, belirli noktalarda güneşin bulut etkisinden çıktığı ve bu saat aralığında panel akımının 0.4A seviyelerine çıktığı gözlenmiştir.

Şekil 7.15'te panel tarafından üretilen ve sisteme aktarılan gücün zamana bağlı değişim grafikleri görülmektedir. Havanın kapalı olduğu ve yeterli güneş ışığının alınmadığı durumlarda panel akımı çok düşük olur. Testin yapıldığı tarihte düşük panel akımından dolayı panel tarafından üretilen gücün bazı zamanlarda 1W değerinin altına düştüğü gözlenmiştir.

09:00 -12:30 saatleri arasında havanın yoğun bulutlu ve yağmurlu olmasından dolayı panel sürekli olarak yüksek değerlerde güç üretememiştir. Şekil 7.15 incelendiğinde bulutluluk etkisinin zaman zaman azaldığı, güneş ışınlarının panel üzerine doğrudan düştüğü ve sistemin 7W seviyelerinde güç ürettiği görülmektedir. Ancak havanın bahsedilen saat aralığında çoğunlukla kapalı olması nedeni ile üretilen güç miktarında ciddi düşüşleri yaşanmıştır. Buna rağmen kontrol ünitesi, birimlerin ve yükün beslenebilmesi için yeterli gücü sisteme sağlamıştır. Saat 13:30 itibari ile bulutluk etkisi ciddi oranda azalmış ve panel sisteme yüksek miktarlarda güç sağlamaya devam etmiştir. Fotovoltaik panel, testin yapıldığı gün saat 13:45'te maksimum 8.78 W güç üretmiştir. Panel bu maksimum güç noktasında çalışır iken,  $V_{MPP}$  değerinin 17.4V ve  $I_{MPP}$  değerinin ise 0.49A olduğu gözlenmiştir. Bataryanın ise aynı zaman aralığında maksimum 8.02W güç ile beslendiği Şekil 7.15'te görülmektedir.



Şekil 7.15: 21 Haziran 2019 Açık Arazi Testi - MGNI kontrol sistemi panel ve çıkış gücü grafiği



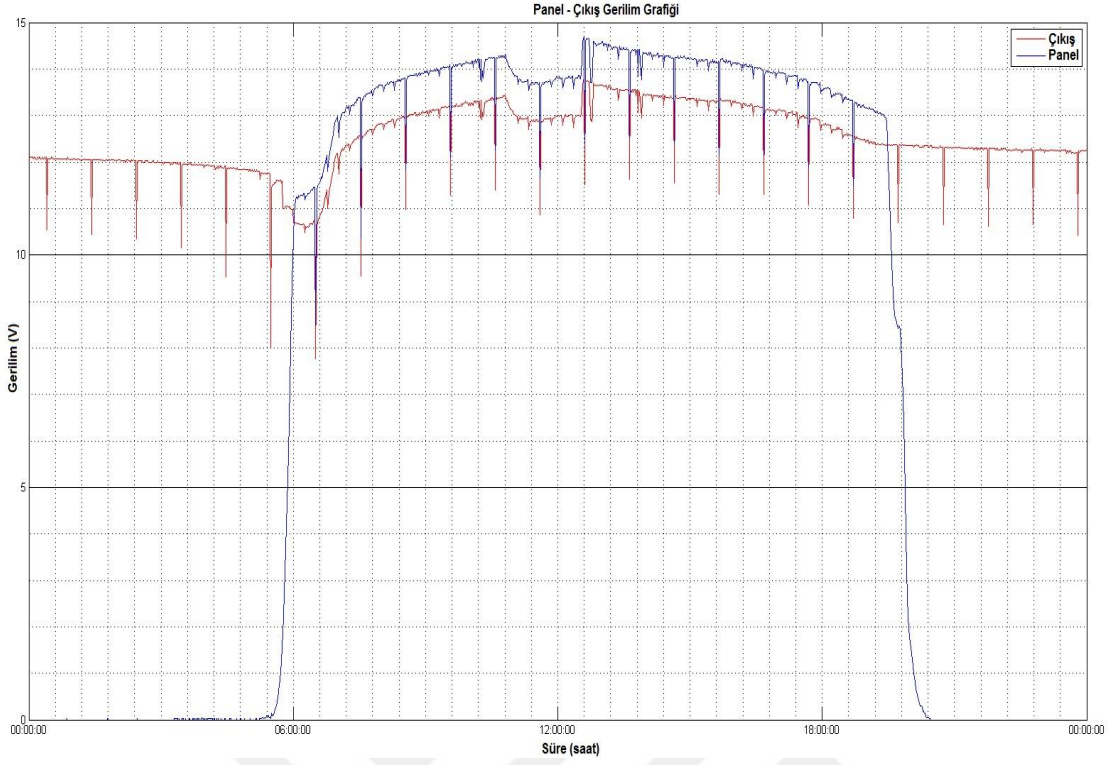
Şekil 7.16: 21 Haziran 2019 Açık Arazi Testi - MGNI kontrol sistemi verim grafiği

21 Haziran 2019 tarihinde yapılan test sonuçlarına göre elde edilen sistem verim grafiği Şekil 7.16'da görülmektedir. Sistem verimi, dönüştürücü ünitesinin çıkışında elde edilen güç ile fotovoltaik panel ünitesi tarafından üretilen güç değerlerinin oranı olarak hesaplanmıştır. Şekil 7.15'te görüldüğü gibi 12:00-13:00 saatleri arasında olumsuz hava şartlarından dolayı panelin düşük güç üretebildiği görülmektedir. Bu zaman aralığında sistem veriminin %86 değerine kadar düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca kapalı havanın etkisinden dolayı belirli zaman aralıklarında panel, yeterli gücü üretememiş ve sistem veriminin bu zamanlarda %75 değerine kadar düştüğü gözlenmiştir. Sistemin ortalama genel veriminin %93-%94 olduğu Şekil 7.16'da görülmektedir.

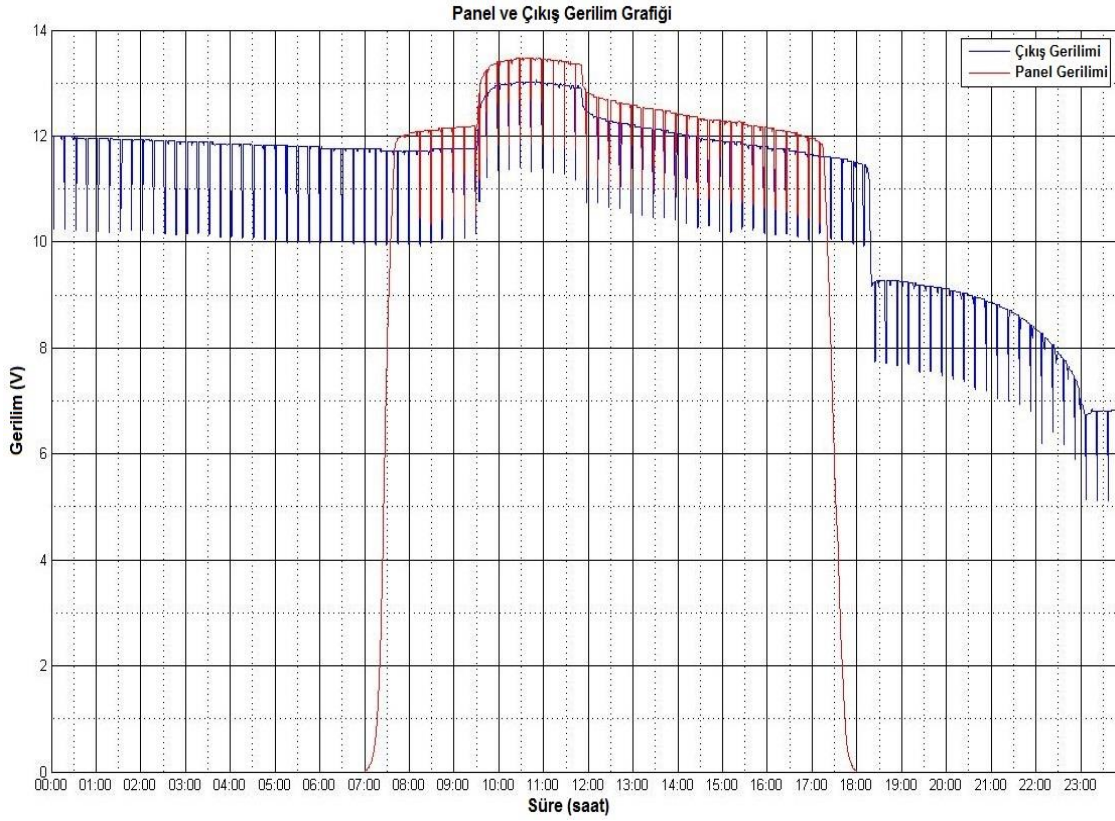
## 7.2. DGM Sistemi Testleri

Darbe genişlik modülasyonu (DGM) yöntemi ile kontrol edilen kontrol ünitesinin doğrulama ve açık hava testleri yapılmıştır. Veri kaydedici birimde depolanan parametre verileri MATLAB ortamında grafiksel olarak yorumlanmıştır. Testler sırasında 10 W fotovoltaik panel, kontrol birimi, 12 V 7 Ah kurşun asit batarya, elektriksel değerleri yük olarak kullanılacak olan kablosuz sensör ağına benzer yük tarafına bağlanmak amacıyla 12 V gerilimde 1A akım çeken yük kullanılmıştır. Panel gücünü sisteme aktarmak amacıyla anahtarlama elemanı mikrodenetleyici birimi tarafından kontrol edilmiş ve panel gerilimi 13.5 V değerini geçtikten sonra algoritma çalışmaya başlamıştır. Sistem ilk çalıştırılmaya başladığı sırada SD kartın sistemde olup olmadığı kontrol edilmiştir, bu durum seri port üzerinden kullanıcıya aktarılmıştır. Yazılım üzerinden sistem saati bir kez doğru ayarlandıktan sonra, gerçek zamanlı saati besleyen dahili bataryası olduğu sürece hassas zaman ölçümü yapılmasına imkan verilmiştir.

Sistem Ağustos 2018 tarihinde teste bırakılmıştır. Anahtarlama elemanının iletim modunda çalıştığı süre boyunca batarya gerilimi, panel gerilimini kendi seviyesine çekmektedir. Şekil 7.17'de, batarya gerilimi ve panel gerilimi arasındaki fark, ters akımı önlemek için sisteme eklenen diyot elemanının gerilim düşüm değeridir. Yük, 30 dakika aralıklar ile 1 dakika boyunca aktif edilmiştir. Şekil 7.17'de görüldüğü üzere panel ve batarya gerilim değerlerinin düştüğü noktalar yükün aktif olduğu süreyi göstermektedir. Gerilim değerlerindeki salınımlar çevresel ve atmosferik etkilerden dolayı oluşmaktadır. Sistem Ağustos ayında bataryayı sürekli beslemiş ve sistemin sürekliliğini sağlamıştır. Veri depolama birimi 10 saniye aralıklar ile örneklem almış ve verileri kaydetmiştir.



Şekil 7.17: Ağustos Ayı Panel – Çıkış Gerilim Grafiği

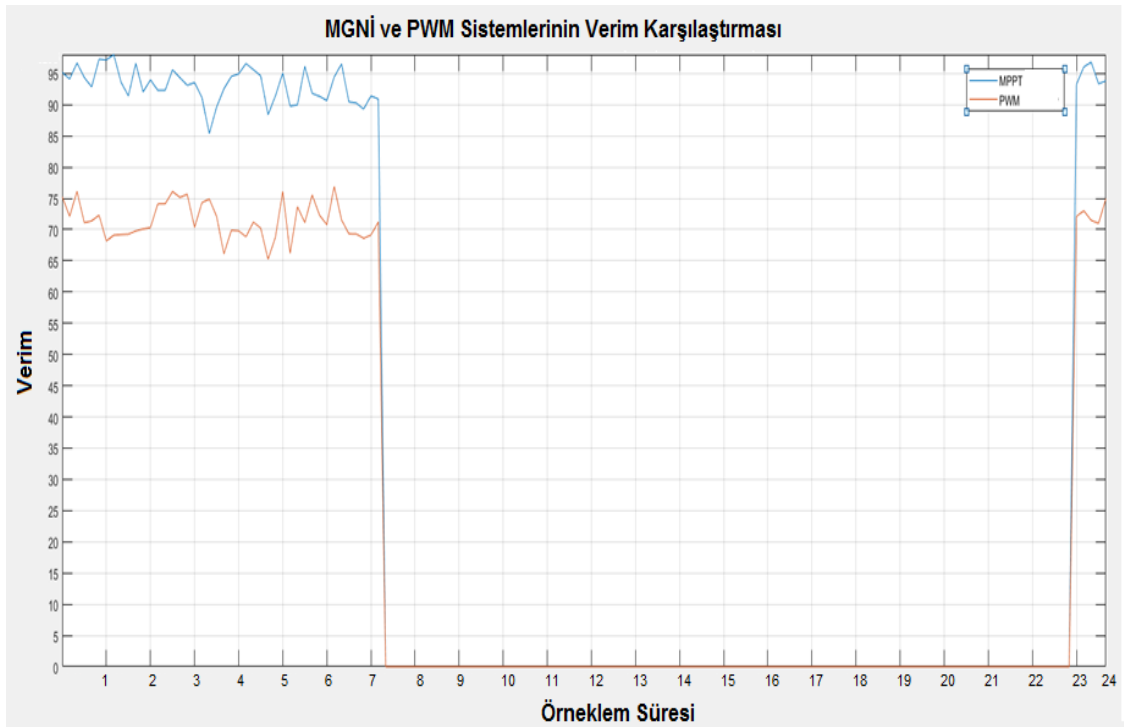


Şekil 7.18: Aralık Ayı Panel – Çıkış Gerilim Grafiği

Sistem Aralık 2018 tarihinde teste bırakılmıştır. Anahtarlama elemanının iletim modunda çalıştığı süre boyunca batarya gerilimi, panel gerilimini kendi seviyesine çekmektedir. Şekil 7.18’de, batarya gerilimi ve panel gerilimi arasındaki fark, ters akımı önlemek için sisteme eklenen diyot elemanının gerilim düşüm değeridir. Yük, 15 dakika aralıklar ile 1 dakika boyunca aktif edilmiştir. Panel ve batarya gerilim değerlerinin düştüğü noktalar yükün aktif olduğu süreyi göstermektedir. Gerilim değerlerindeki salınımlar çevresel ve atmosferik etkilerden dolayı oluşmaktadır. Sistem Aralık ayında yeterli gün ışığı alamadığı için, bataryayı yeterince besleyememiş ve sistemin sürekliliğini sağlayamamıştır. Şekil 7.18’de batarya geriliminin kritik seviyenin altına düştüğü ve sisteme güç sağlayamadığı gözlemlenmiştir.

### 7.3. MGNİ ve DGM Sistemlerinin Karşılaştırılması

Kontrol ünitesinin ilk prototipi DGM yaklaşımı kullanılarak tasarlanmıştır. Bu yöntem, MGNİ ile karşılaştırıldığında daha düşük verime sahiptir. Her iki kontrol ünitesi ve depolama birimi, dış etkilere ve olumsuz hava koşullarından korunmak amacı ile su geçirmez kapalı bir kutu içine yerleştirilmiştir. Kontrol biriminin yerleştirildiği kutuda panel girişi, batarya ve yük birimleri için bağlantı arayüzü bulunmaktadır. Güneş paneli için ayarlanabilir bir yapı tasarlanmıştır. Testlerin yapıldığı Ankara ili için, yıl geneli için en uygun panel açısı  $38^\circ$  olarak belirlenmiştir ve güneş paneli bu açı ile yerleştirilmiştir.



Şekil 7.19: MGNİ ve DGM Kontrol Yöntemlerinin Verim Karşılaştırması

İki sistem aynı anda ve konumda test edilmiş ve verim oranları karşılaştırılmıştır (Şekil 7.19). İlk prototipte giriş ve çıkış tarafında akım sensörleri bulunmadığından dolayı, akım ölçümü belirli aralıklar ile yapılmış ve MGNİ sisteminin güç değerleri ile birlikte karşılaştırılmak üzere kaydedilmiştir.

MGNİ sisteminin veriminin %94 - %95 seviyelerinde olduğu gözlenmiştir. Aynı koşullarda test edilen darbe genişlik modülasyonu sisteminin veriminin ise %75-%65 arasında değiştiği gözlenmiştir.





## 8. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, uzak alanlara yerleştirilen kablosuz sensör ağlarının sürekliliğini sağlamak amacı ile kullanılması planlanan küçük güçlü, arazi şartlarına dayanıklı, mikrodenetleyici ile kontrol edilen, maksimum güç noktası yaklaşımı ile çalışan fotovoltaiik bir kontrol ünitesi tasarımı yapılmıştır.

Sistem tasarımında panel gerilimini daha düşük seviyede gerilim ile beslenen bataryaya doğrusal olarak aktarabilmek için senkron indirici tip dönüştürücü kullanılmıştır. Klasik indirici tip çeviricide kullanılan diyot, bir güç MOSFETi ile değiştirilmiş, diyot üzerindeki gerilimi düşümü azaltılarak daha verimli bir sistem tasarımı amaçlanmıştır.

Tasarımda diğer MGNİ yaklaşımları ile kıyaslandığında daha verimli, uygulaması kolay ve karmaşık tasarımlar içermediğinden dolayı öne çıkan değiştir ve gözle (P&O) algoritması kullanılmıştır. Bu yaklaşım diğer uygulamalara göre sistem verimini artırma konusunda daha başarılı olmuştur.

Panel, batarya ve kontrol birimi zorlu arazi şartlarına dayanabilmesi için özel bir kutu içerisine yerleştirilmiş ve çevresel dayanıklılığı artırılmıştır. Sistemde bulunan veri depolama birimi aracılığı ile sistem verileri kaydedilmiş ve sistemin genel performansının incelenmesi için kullanılmıştır. Kaydedilen veriler MATLAB ortamında işlenmiş ve sistemin karakteristiği belirlenmiştir. Kullanıcı arayüzü olarak kullanılan ekran birimi üzerinden fotovoltaiik kontrol ünitesinin giriş ve çıkış parametreleri, tarih, saat ve sistem verimi anlık olarak takip edilmiştir.

Sistem yükü, test amacı ile gereksinimlerde istenen 1 haftada 10 dakika çalışma şartı yerine 30 dakika aralık ile 1 dakika boyunca çalıştırılarak test edilmiştir. Yük biriminin aktif olduğu süre boyunca, batarya gerilimi anlık olarak yük tarafına güç aktardığı için düşmüştür.

Yapılan deneyler ve testler sonucunda değiştir ve gözle (P&O) algoritması ve senkron indirici tip dönüştürücü kullanılan sistemin genel veriminin %93 ve üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Daha düşük maliyetli olması için düşük verimli DGM yöntemi ile tasarlanan ilk prototip MGNİ sistemi ile karşılaştırılmıştır. Testler sırasında DGM kontrol ünitesinin ortalama verim değeri yaklaşık %70 olarak belirlenmiştir. MGNİ kontrol ünitesinin ortalama verimi, testler sırasında yaklaşık %93 olarak belirlenmiştir. MGNİ kontrol ünitesinin,

DGM kontrol ünitesine göre yaklaşık % 23 daha verimli çalıştığı tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında %93 verim ile yüksek verimli bir kontrol ünitesi tasarımı tamamlanmıştır.

Yük birimi dışında sistemin toplam enerji tüketimi 16.8 Wh/gün olarak belirlenmiştir. Sistemdeki güç tüketimi, mikrodenetleyici bloğun yükü aktif etmediği süreler boyunca diğer birimlerin çalışmasını durdurmadan düşük güç modunda çalışması ve ekran biriminin yalnızca gözlem sırasında aktif edilme özelliği eklenmesi ile azaltılabilir. Ayrıca MGNİ algoritması geliştirilerek ve modifiye edilerek sistem veriminin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılabilir. Önerilen bu geliştirme ile sistem, arazi koşullarında daha uzun süreli devamlılığını sağlayabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, Wireless sensor networks: A survey, Elsevier Computer Networks Journal, vol. 38, No.4, **2002** pp 393– 422.
- [2] R. Nallusamy, K. Duraiswamy, Solar Powered Wireless Sensor Networks for Environmental Applications with Energy Efficient Routing Concepts: A Review, Asisan Network for Scientific Information, **2011**, Journal 10(1)
- [3] Quazi Mamu, A Qualitative Comparison of Different Logical Topologies for Wireless Sensor Networks, Sensors **2012**, 12, 14887-14913
- [4] K. C. Rahman, A Survey on Sensor Network, Journal of Computer and Information Technology, **2010**, Vol: 1 (1), 76-87
- [5] M. S. Manshahia, Wireless Sensor Networks: A Survey, International Journal of Scientific & Engineering Research, April, **2016**, Volume 7, Issue 4
- [6] M. P. Vaiyshnavi and R. Rathna, Improved scheduling algorithm using dynamic tree construction for wireless sensor networks, 2015 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSPP), Melmaruvathur, **2015**, pp. 0846-0849.
- [7] I. F. Akyildiz, T. Melodia, K. R. Chowdhury, A survey on wireless multimedia sensor networks, Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking archive Volume 51 Issue 4, March, **2007**, Pages 921-960
- [8] P. Visconti , P. Primiceri, R. Ferri, M. Pucciarelli, E. Venere, An Overview on State-of-art Energy Harvesting Techniques and Choice Criteria: a WSN Node for Goods Transport and Storage Powered by a Smart Solar- based EH System, International Journal Of Renewable Energy Research, **2017** ,Vol. 7, No. 3,
- [9] K. V. Naveen and S. S. Manjunath, A reliable ultracapacitor based solar energy harvesting system for Wireless Sensor network enabled intelligent buildings, 2011 2nd International Conference on Intelligent Agent & Multi-Agent Systems, Chennai, **2011**, pp. 20-25.
- [10] X. Jiang, J. Polastre and D. Culler, Perpetual environmentally powered sensor networks, IPSN 2005. Fourth International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, 2005., Boise, ID, USA, **2005**, pp. 463-468.

- [11] G. Yi, S. Guiling, L. Weixiang and P. Yong, Wireless sensor node design based on solar energy supply, 2009 2nd International Conference on Power Electronics and Intelligent Transportation System (PEITS), Shenzhen, **2009**, pp. 203-207
- [12] M. K. Amruta and M. T. Satish, "Solar powered water quality monitoring system using wireless sensor network," 2013 International Mutli-Conference on Automation, Computing, Communication, Control and Compressed Sensing (iMac4s), Kottayam, **2013**, pp. 281-285.
- [13] A. Frezzetti, S. Manfredi and M. Pagano, "An implementation of a smart maximum power point tracking controller to harvest renewable energy of wireless sensor nodes," 2013 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), Alghero, **2013**, pp. 503-508.
- [14] A. González , R. Aquino, W. Mata, A. Ochoa, P. Saldaña and A. Edwards, Open-WiSe: A Solar Powered Wireless Sensor Network Platform, **2012**, Sensors 12(6):8204-17
- [15] N. Watthanawisuth, A. Tuantranont and T. Kerdcharoen, "Microclimate real-time monitoring based on ZigBee sensor network," SENSORS, 2009 IEEE, Christchurch, **2009**, pp. 1814-1818.
- [16] S. Senivasan, M. Driberg, B. S. M. Singh, P. Sebastian and L. H. Hiung, "An MPPT micro solar energy harvester for wireless sensor networks," 2017 IEEE 13th International Colloquium on Signal Processing & its Applications (CSPA), Batu Ferringhi, **2017**, pp. 159-163.
- [17] M. K. Amruta and M. T. Satish, "Solar powered water quality monitoring system using wireless sensor network," 2013 International Mutli-Conference on Automation, Computing, Communication, Control and Compressed Sensing (iMac4s), Kottayam, **2013**, pp. 281-285.
- [18] SureCross DX80 Quick Start Guide, [www.lesman.com/unleashd/catalog/wireless/Banner-SureCross-DX80/Banner\\_SureCross-DX80\\_QSG\\_128185.pdf](http://www.lesman.com/unleashd/catalog/wireless/Banner-SureCross-DX80/Banner_SureCross-DX80_QSG_128185.pdf) ( Erişim tarihi: **4 Mayıs 2019**)
- [19] Libelium Waspmote Plug&Sense Technical Overview, [www.libelium.com/products/plug-sense/technical-overview](http://www.libelium.com/products/plug-sense/technical-overview) ( Erişim tarihi: **13 Şubat 2019** )

- [20] 3G Gateway, [www.senceive.com/products/3g-gateway](http://www.senceive.com/products/3g-gateway) (Erişim tarihi : **16 Nisan 2019**)
- [21] System and method for wireless sensor networks, <https://patents.google.com/patent/US9167516B2/en?q=US9167516B2> (**Erişim tarihi: 10 Nisan 2019**)
- [22] Energy-self-feeding wireless sensor network node, <https://patents.google.com/patent/CN103139936A/en?q=CN103139936A> (**Erişim tarihi: 12 Nisan 2019**)
- [23] Wireless integrated sensor network using multiple relayed communications, <https://patents.google.com/patent/US6208247?q=US6208247B1> (**Erişim tarihi: 10 Nisan 2019**)
- [24] C. Townsend, S. Arms. Wireless Sensor Network: Principles and Applications, MicroStrain, Inc., Sensor Magazine, February, **2004**.
- [25] D. Sharma, S. Verma, K. Sharma, Network topologies in wireless sensor networks: A review. Int. J. Electron. Commun. Technol, **2013**, 4. 93-97.
- [26] Q. Mamun, A Qualitative Comparison of Different Logical Topologies for Wireless Sensor Networks, Sensors, **2012**, 12, 14887-14913
- [27] J. Soparia, N. Bhatt, A Survey on Comparative Study of Wireless Sensor Network Topologies, International Journal of Computer Applications, February, **2014**, (0975 – 8887) Volume 87 – No.1
- [28] V.V. Tyagi, N.A.A. Rahim, N.A. Rahim, J.A.L. Selvaraj Progress in Solar PV Technology, Research And Achievement Renew Sustain Energy Reviews, **2013**, pp. 443-461,
- [29] S. Sharma, K. Kumar Jain, A. Sharma, Solar Cells: In Research and Applications— A Review, Materials Sciences and Applications, **2015**, 6, 1145-1155
- [30] A. M. Humada , M. Hojabri , S. Mekhilef , H. M. Hamad, Solar cell parameters extraction based on single and double-diode models: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 56, **2016**, 494–509
- [31] Y. Belkassmi, A. Rafiki, K. Gueraoui, L. Elmaimouni, O. Tata and N. Hassanain, Modeling and simulation of photovoltaic module based on one diode model using

Matlab/Simulink, **2017**, International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS), Monastir, 2017, pp. 1-6

[32] M. G. Villalva, J. R. Gazoli and E. R. Filho, "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, no. 5, pp. 1198-1208, May **2009**.

[33] H.Ibrahim, N.Anani, Variations of PV module parameters with irradiance and temperature, 9th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, **2017**, Chania, Crete, Greece

[34] J. P. Dunlop, Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems: Fundamentals and Application, Florida Solar Energy Center for Sandia National Laboratories, **1997**

[35] M.LokeshReddy, P.J.R.P. Kumar, S. A.M. Chandra, T. S. Babu, N. Rajasekara, Comparative study on charge controller techniques for solar PV system, Energy Procedia Volume 117, June, **2017**, Pages 1070-1077

[36] I. A. Karim, A. A. Siam, N. A. Mamun, I. Parveen, S. S. Sharmi, Design of a Solar Charge Controller for a 100 WP Solar PV System, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), November, **2013**, Vol. 2 Issue 11,

[37] M. A. Laguado-Serrano , E. A. Luna-Paipa , L. F. Bustos-Marquez, S. B. Sepulveda-Mora, Performance comparison between PWM and MPPT charge controllers, Sci. Tech. Año XXIV, **2019**, Vol. 24, No. 01

[38] A. V. Mordynskiya, V. B. Mordynskiyb, S. V. Kiselevac, M. Zh. Suleymanova, Experimental Comparison of the Efficiency of Low-Power PWM and MPPT Controllers of a PV/Battery under Moscow's Climatic Conditions, Applied Solar Energy, **2018**, Vol. 54, No. 4, pp. 229–234

[39] D. P. Hohm and M. E. Ropp, Comparative study of maximum power point tracking algorithms using an experimental, programmable, maximum power point tracking test bed, Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, **2000**

[40] T. ESRAM, P. L. Chapman, Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques, IEEE Transactions on Energy Conversion, **2007** vol. 22, no. 2, pp. 439-449

- [41] A. Dolara, R. Faranda, S. Leva, Energy Comparison Of Seven MPPT Techniques For Pv Systems, *J. Electromagnetic Analysis & Applications*, **2009**, 3: 152-162
- [42] P. Bhatnagar, R.K. Nema, Maximum power point tracking control techniques: State-of-the-art in photovoltaic applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **23**, **2013**, 224–241
- [43] B. Subudhi and R. Pradhan, "A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, **2013**, vol. 4, no. 1, pp. 89-98
- [44] N. B. Bharatula, J. A. Ward, P. Lukowicz and G. Troster, Maximum Power Point Tracking (MPPT) for on-body Context Systems, 2006 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers, Montreux, **2006**, pp. 135-136.
- [45] Z. Shicheng and L. Wei, Research and implementation of photovoltaic charging system with maximum power point tracking, 2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Singapore, **2008**, pp. 619-624.
- [46] K. K. Win, X. Wu, S. Dasgupta, W. J. Wen, R. Kumar and S. K. Panda, Efficient solar energy harvester for wireless sensor nodes, 2010 IEEE International Conference on Communication Systems, Singapore, **2010**, pp. 289-294.
- [47] S. Khadidja, M. Mountassar and B. Muhamed, Comparative study of incremental conductance and perturb & observe MPPT methods for photovoltaic system, 2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS), Hammamet, **2017**, pp. 1-6.
- [48] M. Kochláň, S. Žák, J. Miček, M. Hodoň and M. Húdik, Performance of Open Voltage control algorithm for sensor node power management unit, 2016 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT), Rzeszow, **2016**, pp. 138-143.
- [49] I. Jafer, P. Stack, K. MacNamee, Design of New Power Management Circuit for Light Energy Harvesting System, *Sensors (Basel)*, **2016** ;16(3):270
- [50] A. Omairi, Z. H. Ismail, K. A. Danapalasingam and M. Ibrahim, Power Harvesting in Wireless Sensor Networks and Its Adaptation With Maximum Power Point Tracking: Current Technology and Future Directions, *IEEE Internet of Things Journal*, **2017**, vol. 4, no. 6, pp. 2104-2115

- [51] J. Sanjaya, M. A. Dhaneswara, D. V. Hauten and H. Santoso, Implementation of Solar Tracking System to Maximize Energy Absorption in Wireless Sensor Network, 2018 10th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Kuta, **2018**, pp. 577-580
- [52] C. Alippi and C. Galperti, "An adaptive maximum power point tracker for maximising solar cell efficiency in wireless sensor nodes," 2006 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Island of Kos, **2006**, pp. 4 p
- [53] ] D. Antolín, N. Medrano, B. Calvo, P. A. Martínez, A Compact Energy Harvesting System for Outdoor Wireless Sensor Nodes Based on a Low-Cost In Situ Photovoltaic Panel Characterization-Modelling Unit, *Sensors (Basel)*. **2017** Aug; 17(8): 1794
- [54] M. M. Shebani, T. Iqbal and J. E. Quicoe, Comparing bisection numerical algorithm with fractional short circuit current and open circuit voltage methods for MPPT photovoltaic systems, *2016 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, Ottawa, ON, **2016**, pp. 1-5
- [55] Yin Li, Ronghua Shi, An intelligent solar energy-harvesting system for wireless sensor networks, Li and Shi *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, **2015**, 2015:179
- [56] J. Shi ve Y. Xu, Design of Solar Power Management Circuit Based on Wireless Sensor Network, *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, **2017** Vol 13, No 12
- [57] L. Zhang, Y. Yu, H. Ma, Y. Zhang, Design of Photovoltaic Power Supply MPPT Circuit for WSN Node Based on Current Observation, *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, **2018**, Vol 14, No 07
- [58] ] O. N. Samijayani, H. Firdaus and A. Mujadin, Solar energy harvesting for wireless sensor networks node, 2017 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), Yogyakarta, **2017**, pp. 30-33
- [59] W. Chung, P. Yu and A. Silverio, A maximum power point tracking and voltage regulated dual-chip system for single-cell photovoltaic energy harvesting, 2014 International Symposium on Integrated Circuits (ISIC), Singapore, **2014**, pp. 5-8



- [60] H. Sharma,A. Haque, Z. Jaffery, Modeling and Optimisation of a Solar Energy Harvesting System for Wireless Sensor Network Nodes, Journal of Sensor and Actuator Networks, **2018**, 7(3):40
- [61] T.Örkün, 50W LED TV uygulamaları için güneş enerjili bir güç kaynağı tasarımı ve geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2013**
- [62] How to implement maximum power point tracking for solar charging: [www.training.ti.com/how-implement-maximum-power-point-tracking-solar-charging](http://www.training.ti.com/how-implement-maximum-power-point-tracking-solar-charging) (Erişim tarihi: **15 Nisan 2019**)
- [63] N. Mohan, T. M. Undeland, W.P. Robbins, Power Electronics: Converters, Applications and Design, John Wiley High Education, 3rd Edition, 2002
- [64] M.H. Rashid, Power Electronics: Circuits, Devices and Applications, Pearson, 4th Edition, 2013
- [65] M.H Rashid, Power Electronics Handbook, Butterworth-Heinemann, 3rd Edition, 2011
- [66] ] AND9135/D, LC Selection Guide for the DC-DC Synchronous Buck Converter, On Semiconductor Application Note
- [67] Application Note, Inductor Calculation for Buck Converter IC, Rohm Semiconductor
- [68] SLVA477b, Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage, Texas Instruments Application Note
- [69] D. Schelle, J. Castorena, Buck-converter design demystified, 2006 <https://www.powerselectronics.com/dc-dc-converters/buck-converter-design-demystified> (Erişim Tarihi: **4 Nisan 2019**)
- [70] AND9544, Buck Converter External Components Selection, On Semiconductor Application Note
- [71] Analysis of Four DC-DC Converters in Equilibrium, <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/analysis-of-four-dc-dc-converters-in-equilibrium/>(Erişim Tarihi: **4 Mayıs 2019**)

[72] Solar Cell, <https://university.listenlights.com/2017/11/27/solar-cell/> (**Erişim Tarihi: 7 Mayıs 2019**)

[73] Algılayıcılar, Ders Notu, [www.yildiz.edu.tr/~sandalci/dersnotu/alg\\_1sensors.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~sandalci/dersnotu/alg_1sensors.pdf) (**Erişim Tarihi: 2 Nisan 2019**)

[74] S. Sukurov, Arazi uygulamaları için çok noktalı veri toplama ve kablosuz iletim sistemi geliştirilmesi ve uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2018**

[75] T. H. Kalayci, Kablosuz Sensör Ağlar ve Uygulamaları, Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, **2009**, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa



## EKLER

### EK 1 – MGNİ Sistemi Kaynak Kodları

Bu ekte MGNİ algoritmasını içeren kontrol sisteminin kaynak kodları verilmiştir. Farklı algoritmalarının kolay adapte edilebilmesi amacı ile alt program dosya ve kütüphanelerine bölünmüştür.

```
/*
  Name:      mppt_microcontroller.ino
  Created:   12/9/2018 3:33:32 PM
  Author:    Kutluk
*/
#include "Relay.h"
#include <Adafruit_INA219.h>
#include <Wire.h>
#include "mppt.h"
#include <RTCLib.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <EEPROM.h>
#include <SD.h> // SD kart kütüphanesi tanımlanıyor

//
=====
// Defines and typedef
//
=====
//
#define ADJUST_TIME 0
#define TIME 2019, 5, 14, 21, 10, 0 // Tarihi ve saati ayarla
#define OPEN_TIME 0, 0, 0, 0, 0, 5 // Yük açık kalma süresini ayarla
#define PERIOD_TIME 0, 0, 0, 0, 0, 50 // Yük kapalı kalma süresini ayarla

// DAY - HOUR - MINUTE - SECOND
#define LOG_FREQUENCY 0, 0, 0, 10 // Verileri SD Karta kaydetme
aralığını ayarla

#define SDCARD_CS 4

#define PO
//#define INCOND

#define STEP_SIZE 1

using RelayController = Relay<LOAD_RELAY>;
```

```

//
=====
// Function Declearions
//
=====
void readValue();
void printTime(DateTime& time);
void printTime(int x, int y, const DateTime& t);
void printYear(int x, int y, const DateTime& t);
void setFileName();
void logHeader();
void log();
DateTime getSavedTime(unsigned int RTC_EEPROM_ADDR);
void saveTime(unsigned int RTC_EEPROM_ADDR, const DateTime& t);
void saveSystemTimes(DateTime& period, DateTime& openTime);
void checkRelay();
void setupSampleTimer();

//
=====
// Global Variables
//
=====
uint8_t buck_dutycycle;
float input_voltage;
float input_current;
float output_voltage;
float output_current;
float load_current;

Adafruit_INA219 currentSensor1(0x40);
Adafruit_INA219 currentSensor2(0x41);

RTC_DS1307 RTC;

DateTime startTime;
TimeSpan logFrequency(LOG_FREQUENCY);

char fileName[20] = { "log_" };

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

```

```

//
=====
// Setup and Loop
//
=====
void setup() {
    Serial.begin(9600);

    // Init INA219 for current sensing
    currentSensor1.begin();
    currentSensor2.begin();

    // Init RTC module
    RTC.begin();

    #if ADJUST_TIME == 1
        DateTime setupTime(TIME);
        RTC.adjust(setupTime);
        Serial.println("Time is adjusted!!!");
    #endif

    startTime = RTC.now();

    // Init SDCARD
    if (SD.begin(SDCARD_CS) == 0)
    {
        Serial.println("SDcard failed!!!");
    }
    else
    {
        Serial.println("SDcard successfull");
    }
    setFileName();
    logHeader();

    // Init LCD
    lcd.begin();
    lcd.backlight();
    lcd.clear();

    //Set up DC-DC converter
    buck_setup();

    // Init relay
    RelayController::init();
    RelayController::off();
}

```

```

    DateTime openTime{ OPEN_TIME };
    DateTime period{ PERIOD_TIME };

    saveSystemTimes(period, openTime);

    // Setup sample timer
#ifdef INCOND
    setupSampleTimer();
#endif
}

void loop() {
    setFileName();

#ifdef PO
    for (uint8_t i = 0; i < 1; ++i)
    {
        readValue();
        buck_update();
        delay(10 * DELAY_FACTOR);
    }
#endif

    printLCD();
    checkRelay();
    log();
}

void printLCD()
{
    readValue();

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("                ");

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

    else

    {
        input_voltage;
    }

    lcd.setCursor(0, 0);

```

```

lcd.print("PV:");
lcd.print(input_voltage, 2);
lcd.print("V");

lcd.setCursor(11, 0);
lcd.print("PC:");
lcd.print(input_current, 3);
lcd.print("A");

// 2.satir

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

else

{
    output_voltage;
}

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("                ");

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("BV:");
lcd.print(output_voltage, 2);
lcd.print("V");

lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print("BC:");
lcd.print(output_current, 3);
lcd.print("A");

// 3.satir

lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("                ");

const DateTime time = RTC.now();
printYear(0, 2, time);
printTime(11, 2, time);

// 4.satir

lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("                ");

```

```

float PIN = input_current * input_voltage;
float POUT = output_current * output_voltage;
float EFF = POUT / PIN;

if (EFF > 1)
{
    EFF = 0;
}
else if (EFF < 0)
{
    EFF = 0;
}
else

{
    EFF = POUT / PIN;
}

lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("PW:");
lcd.print(POUT, 2);
lcd.print("W");

lcd.setCursor(11, 3);
lcd.print("EF:%");
lcd.print(100*EFF, 2);
}

// Time functionality -----
-----
void printTime(const DateTime& time)
{
    Serial.print(time.hour());
    Serial.print(':');

    if (time.minute() < 10)
        Serial.print('0');
    Serial.print(time.minute());
    Serial.print(':');

    if (time.second() < 10)
        Serial.print('0');
    Serial.print(time.second());
}

void printTime(int x, int y, const DateTime& t)

```



```

{
    lcd.setCursor(x, y);
    lcd.print("      ");

    lcd.setCursor(x, y);
    lcd.print(t.hour());
    lcd.print(':');

    if (t.minute() < 10)
        lcd.print('0');
    lcd.print(t.minute());
    lcd.print(':');

    if (t.second() < 10)
        lcd.print('0');
    lcd.print(t.second());
}

void printYear(int x, int y, const DateTime& t)
{
    lcd.setCursor(x, y);
    lcd.print("      ");

    lcd.setCursor(x, y);
    lcd.print(t.day());
    lcd.print('/');
    lcd.print(t.month());
    lcd.print('/');
    lcd.print(t.year());
}

DateTime getSavedTime(unsigned int RTC_EEPROM_ADDR)
{
    DateTime t;

    uint16_t year;
    char* c = (char *)year;

    c[0] = EEPROM.read(RTC_EEPROM_ADDR);
    c[1] = EEPROM.read(RTC_EEPROM_ADDR + 1);

    return DateTime(year,
        EEPROM.read(RTC_EEPROM_ADDR + 2),
        EEPROM.read(RTC_EEPROM_ADDR + 4),
        EEPROM.read(RTC_EEPROM_ADDR + 6),
        EEPROM.read(RTC_EEPROM_ADDR + 8),
        EEPROM.read(RTC_EEPROM_ADDR + 10)
    );
}

```

```

}

void saveTime(unsigned int RTC_EEPROM_ADDR, const DateTime& t)
{
    uint16_t year = t.year();
    char* c = (char *)&year;
    EEPROM.write(RTC_EEPROM_ADDR, c[0]);
    EEPROM.write(RTC_EEPROM_ADDR + 1, c[1]);

    EEPROM.write(RTC_EEPROM_ADDR + 2, t.month());
    EEPROM.write(RTC_EEPROM_ADDR + 4, t.day());
    EEPROM.write(RTC_EEPROM_ADDR + 6, t.hour());
    EEPROM.write(RTC_EEPROM_ADDR + 8, t.minute());
    EEPROM.write(RTC_EEPROM_ADDR + 10, t.second());
}

void saveSystemTimes(DateTime& period, DateTime& openTime)
{
    saveTime(0, RTC.now());
    saveTime(12, period);
    saveTime(24, openTime);
}

// Relay -----
-----
void checkRelay()
{
    static int state = 0;
    DateTime now = RTC.now();
    TimeSpan diff = now - getSavedTime(0);

    DateTime dtPeriod = getSavedTime(12);
    TimeSpan period(dtPeriod.day(), dtPeriod.hour(), dtPeriod.minute(),
dtPeriod.second());

    DateTime dtOpenTime = getSavedTime(24);
    TimeSpan openTime(dtOpenTime.day(), dtOpenTime.hour(),
dtOpenTime.minute(), dtOpenTime.second());

    //delay(100);

    switch (state)
    {
    case 0:
        if (period.minutes() < diff.minutes())
        {
            Serial.println("Open");
            RelayController::on();
        }
    }
}

```

```

        saveSystemTimes(dtPeriod, dtOpenTime);
        state = 1;
    }

    break;

case 1:
    if (openTime.minutes() < diff.minutes())
    {
        Serial.println("Close");
        RelayController::off();
        saveSystemTimes(dtPeriod, dtOpenTime);
        state = 0;
    }

    break;
}

}

// Log Functionality -----
-----
void setFileName()
{
    int idx = 0;
    char tmp[10];
    DateTime tmpTime = RTC.now();

    if (startTime.day() != tmpTime.day())
    {
        logHeader();
    }

    // year
    itoa(tmpTime.year(), tmp, 10);

    int len = strlen(tmp);
    for (int i = 2; i < len; i++)
    {
        fileName[idx] = tmp[i];
        idx++;
    }
    fileName[idx] = '_';
    idx++;

    // month
    itoa(tmpTime.month(), tmp, 10);

```

```

len = strlen(tmp);
for (int i = 0; i < len; i++)
{
    fileName[idx] = tmp[i];
    idx++;
}

fileName[idx] = '_';
idx++;

// day
itoa(tmpTime.day(), tmp, 10);

len = strlen(tmp);
for (int i = 0; i < len; i++)
{
    fileName[idx] = tmp[i];
    idx++;
}
}

void log()
{
    DateTime t = RTC.now();
    TimeSpan diff = t - startTime;

    if (logFrequency.seconds() < diff.seconds())
    {
        startTime = RTC.now();
        File fTmp = SD.open(fileName, FILE_WRITE);

        if (fTmp)
        {
            fTmp.print(t.year());
            fTmp.print("/");
            fTmp.print(t.month());
            fTmp.print("/");
            fTmp.print(t.day());

            fTmp.print(" ");
            fTmp.print(t.hour());
            fTmp.print(":");
            fTmp.print(t.minute());
            fTmp.print(":");
            fTmp.print(t.second());
        }
    }
}

```

```

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

else

{
    input_voltage;
}

fTmp.print("      ");
fTmp.print(input_voltage);
fTmp.print("V");
fTmp.print("      ");
fTmp.print(input_current);
fTmp.print("A");
if (output_voltage < 0)
{
    output_voltage = 0;
}

else

{
    output_voltage;
}
fTmp.print("      ");
fTmp.print(output_voltage);
fTmp.print("V");
fTmp.print("      ");
fTmp.print(output_current);
fTmp.print("A ");
float PIN = input_current * input_voltage;
fTmp.print("      ");
fTmp.print(PIN);
fTmp.print("W");
float POUT = output_current * output_voltage;
fTmp.print("      ");
fTmp.print(POUT);
fTmp.print("W");

float EFF = POUT / PIN;
if (EFF > 1)
{
    EFF = 0;
}
else if (EFF < 0)
{

```

```

        EFF = 0;
    }
    else

    {
        EFF = POUT / PIN;
    }

    fTmp.print("      ");
    fTmp.print(EFF);
    fTmp.println("");
    Serial.print("log is created to file ");
    Serial.println(fileName);
    fTmp.close();
}
else
{
    Serial.print(fileName);
    Serial.println(" cannot be created");
}
}
}

// readValue -----
-----
float readINA219(uint8_t sens = 0)
{
    if (sens == 0)
        return currentSensor1.getCurrent_mA() / 1000;
    else if (sens == 1)
        return currentSensor2.getCurrent_mA() / 1000;
}

void readValue()
{
    uint16_t vin_dac = 0;
    uint16_t iin_dac = 0;
    uint16_t vout_dac = 0;
    uint16_t iout_dac = 0;
    for (uint8_t j = 0; j < 16; ++j)
    {
        vin_dac += analogRead(VIN);
        vout_dac += analogRead(VOUT);
        iin_dac += analogRead(IIN);
        iout_dac += analogRead(IOUT);
    }
    input_voltage = (vin_dac * VIN_MULTIPLIER / 16) - 2.2;
    output_voltage = (vout_dac * VOUT_MULTIPLIER / 16) - 1.28;
}

```

```

// Read input current from INA219
input_current = readINA219(0);
if (input_current < 0) input_current *= -1;

// Read output current from INA219
output_current = readINA219(1);
if (output_current < 0) output_current *= -1;
}

```

Değiştir ve gözle algoritmasının tanımlandığı kaynak kodu aşağıda verilmiştir:

```

void po_algo()
{
    if (old_sol_watts >= sol_watts)
    {
        delta = -delta;
    }
    pwm += delta;
    old_sol_watts = sol_watts;
    set_pwm_duty();
}
#define INCREASE_ONLY 1
#define INCREASE_AND_CHANGE_STATE 2
#define IDLE 0

static int state = IDLE;
void increase_and_change_state(int state1)
{
    if (pwm < PWM_MAX - 1)
    {
        if (pwm < PWM_MIN)
        {
            pwm = PWM_MIN + 1;
        }
        else
        {
            pwm += 2;
        }
    }
    else
    {
        charger_state = state1;

        state = IDLE;
    }
}

```

```

        return;
    }
    set_pwm_duty();
    TURN_ON_MOSFETS;

    if (input_voltage > BATT_FLOAT)
    {
        state = state1;
        return;
    }
}

void increase_grad()
{

    if (pwm < PWM_MAX - 1)
    {
        if (pwm < PWM_MIN)
        {
            pwm = PWM_MIN + 1;
        }
        else
        {
            pwm += 2;
        }
    }
    else
    {

        state = IDLE;
        return;
    }
    set_pwm_duty();
    TURN_ON_MOSFETS;

    if (input_voltage > BATT_FLOAT)
    {
        state = IDLE;
        return;
    }
}

int nextState = 0;

void run_charger(void)
{

    if (state == INCREASE_ONLY)
    {

```



```

        Serial.println("INCREASE_ONLY");
        increase_grad();
    }
    else if (state == INCREASE_AND_CHANGE_STATE)
    {
        Serial.println("INCREASE_AND_CHANGE_STATE");
        increase_and_change_state(nextState);
    }
    else
    {
        static int off_count = OFF_NUM;
        switch (charger_state)
        {
        case on:
            if (input_voltage < MIN_SOL_VOLT)
            {
                charger_state = off;
                off_count = OFF_NUM;
                TURN_OFF_MOSFETS;
            }
            else if (output_voltage > (BATT_FLOAT - 0.1))
            {
                charger_state = bat_float;
            }
            else if (sol_watts < LOW_SOL_WATTS)
            {
                pwm = PWM_MAX;
                set_pwm_duty();
                // po_algo();
            }
            else
            {
                // pwm = PWM_MAX;
                // set_pwm_duty();
                // charger_state = bulk;
                pwm = ((output_voltage * 10) / (input_voltage / 10)) + 5;
                charger_state = bulk;
            }
            break;

        case bulk:
            if (input_voltage < MIN_SOL_VOLT)
            {
                charger_state = off;
                off_count = OFF_NUM;
                TURN_OFF_MOSFETS;
            }
            else if (output_voltage > BATT_FLOAT)
            {

```

```

        charger_state = bat_float;
        Serial.println("bat_float");
    }
    else if (sol_watts < LOW_SOL_WATTS)
    {
        state = INCREASE_AND_CHANGE_STATE;
        nextState = on;
        Serial.println("change_state");
        // charger_state = on;
        // pwm = 90;
        // set_pwm_duty();
        // TURN_ON_MOSFETS;
    }
    else
    {
        Serial.println("algo");
        po_algo();
    }
    break;

case bat_float:
    if (input_voltage < MIN_SOL_VOLT)
    {
        charger_state = off;
        off_count = OFF_NUM;
        TURN_OFF_MOSFETS;
        set_pwm_duty();
    }
    else if (output_voltage > BATT_FLOAT)
    {
        // decrease_grad();
        if (output_voltage > BATT_FLOAT + 0.4)
        {
            decrease_grad();
        }
        else
        {
            po_algo();
        }

        // TURN_OFF_MOSFETS;
        // pwm = PWM_MAX;
        // set_pwm_duty();
    }
    else if (output_voltage < BATT_FLOAT)
    {
        state = INCREASE_ONLY;
        // pwm = PWM_MAX;
        // set_pwm_duty();
    }

```

```

        // TURN_ON_MOSFETS;
        if (output_voltage < (BATT_FLOAT - 0.1))
        {
            charger_state = bulk;
        }
    }
    break;

case off:
    TURN_OFF_MOSFETS;
    if (off_count > 0)
    {
        off_count--;
    }
    else if ((output_voltage > BATT_FLOAT) &&
             (input_voltage > output_voltage))
    {
        state = INCREASE_AND_CHANGE_STATE;
        nextState = bat_float;

        // charger_state = bat_float;
        // pwm = 90;
        // set_pwm_duty();
        // TURN_ON_MOSFETS;
    }
    else if ((output_voltage > MIN_output_voltage) &&
             (output_voltage < BATT_FLOAT) &&
             (input_voltage > output_voltage))
    {
        // state = INCREASE_AND_CHANGE_STATE;
        // nextState = bulk;

        charger_state = bulk;
        pwm = 70;
        set_pwm_duty();
        TURN_ON_MOSFETS;
    }
    break;
default:
    TURN_OFF_MOSFETS;
    break;
}
}
}

```

## EK 2 – MGNİ Sistemi Test Verileri

Veri toplayıcı birimin SD kart içine kaydettiği sistem parametrelerinin örnek kayıtları aşağıda verilmiştir.

Tarih	Saat	Panel_V	Panel_I	Bat_V	Bat_I	P_In	P_Out	Efficiency
2019/5/15	7:54:21	17.50V	0.29A	13.53V	0.35A	5.00W	4.71W	0.94
2019/5/15	7:54:32	17.06V	0.31A	13.59V	0.37A	5.26W	4.97W	0.95
2019/5/15	7:54:43	16.99V	0.31A	13.59V	0.36A	5.21W	4.94W	0.95
2019/5/15	7:54:54	16.96V	0.30A	13.58V	0.36A	5.12W	4.87W	0.95
2019/5/15	7:55:5	17.02V	0.29A	13.56V	0.35A	4.98W	4.72W	0.95
2019/5/15	7:55:16	17.01V	0.29A	13.55V	0.35A	4.98W	4.71W	0.95
2019/5/15	7:55:27	16.95V	0.30A	13.56V	0.35A	5.03W	4.75W	0.94
2019/5/15	7:55:38	16.95V	0.30A	13.57V	0.36A	5.09W	4.83W	0.95
2019/5/15	7:55:49	17.04V	0.30A	13.57V	0.35A	5.09W	4.82W	0.95
2019/5/15	7:56:0	17.02V	0.29A	13.56V	0.35A	4.97W	4.71W	0.95
2019/5/15	7:56:11	17.05V	0.29A	13.54V	0.34A	4.86W	4.62W	0.95
2019/5/15	7:56:22	17.04V	0.29A	13.53V	0.34A	4.86W	4.60W	0.95
2019/5/15	7:56:33	16.98V	0.29A	13.56V	0.34A	4.86W	4.61W	0.95
2019/5/15	7:56:45	16.92V	0.29A	13.57V	0.35A	4.99W	4.75W	0.95
2019/5/15	7:56:56	17.02V	0.29A	13.57V	0.35A	5.02W	4.75W	0.95
2019/5/15	7:57:7	16.96V	0.30A	13.58V	0.36A	5.14W	4.84W	0.94
2019/5/15	7:57:18	16.96V	0.30A	13.58V	0.36A	5.14W	4.84W	0.94
2019/5/15	7:57:29	17.05V	0.30A	13.57V	0.35A	5.03W	4.76W	0.95
2019/5/15	7:57:40	17.03V	0.30A	13.59V	0.35A	5.03W	4.76W	0.95
2019/5/15	7:57:51	16.96V	0.30A	13.59V	0.36A	5.10W	4.85W	0.95
2019/5/15	7:58:2	16.98V	0.30A	13.60V	0.36A	5.14W	4.86W	0.95
2019/5/15	7:58:13	17.04V	0.30A	13.59V	0.35A	5.09W	4.82W	0.95
2019/5/15	7:58:24	17.04V	0.30A	13.60V	0.36A	5.10W	4.84W	0.95
2019/5/15	7:58:35	17.00V	0.30A	13.59V	0.36A	5.16W	4.87W	0.94
2019/5/15	7:58:46	16.96V	0.30A	13.62V	0.36A	5.12W	4.87W	0.95
2019/5/15	7:58:57	17.06V	0.30A	13.60V	0.35A	5.04W	4.80W	0.95
2019/5/15	7:59:8	17.06V	0.30A	13.60V	0.36A	5.12W	4.85W	0.95
2019/5/15	7:59:19	17.00V	0.30A	13.60V	0.36A	5.14W	4.88W	0.95
2019/5/15	7:59:30	17.06V	0.30A	13.59V	0.36A	5.11W	4.85W	0.95
2019/5/15	7:59:41	17.05V	0.30A	13.59V	0.35A	5.06W	4.79W	0.95
2019/5/15	7:59:52	16.97V	0.30A	13.60V	0.36A	5.11W	4.84W	0.95
2019/5/15	8:0:3	16.97V	0.30A	13.58V	0.35A	5.10W	4.82W	0.94
2019/5/15	8:0:14	17.05V	0.30A	13.59V	0.35A	5.08W	4.81W	0.95
2019/5/15	8:0:25	17.02V	0.29A	13.58V	0.35A	5.01W	4.75W	0.95
2019/5/15	8:0:36	16.96V	0.30A	13.59V	0.36A	5.10W	4.83W	0.95
2019/5/15	8:0:47	16.98V	0.30A	13.60V	0.35A	5.08W	4.81W	0.95
2019/5/15	8:0:58	16.98V	0.30A	13.60V	0.35A	5.08W	4.81W	0.95
2019/5/15	8:1:9	16.96V	0.29A	13.53V	0.34A	4.89W	4.62W	0.95
2019/5/15	8:1:20	16.97V	0.30A	13.59V	0.36A	5.13W	4.87W	0.95
2019/5/15	8:1:31	16.95V	0.30A	13.57V	0.35A	5.04W	4.77W	0.95
2019/5/15	8:1:42	17.02V	0.29A	13.58V	0.35A	4.97W	4.73W	0.95
2019/5/15	8:1:53	16.92V	0.29A	13.59V	0.35A	4.97W	4.74W	0.95
2019/5/15	8:2:4	16.94V	0.30A	13.57V	0.35A	5.05W	4.79W	0.95
2019/5/15	8:2:15	17.01V	0.29A	13.57V	0.35A	4.97W	4.71W	0.95



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 10/07/2019

Tez Başlığı / Konusu: Arazi Şartlarında Periyodik Gerilim Ve Akım Ölçüm Yapan Sistem İçin Fotovoltaik Güç Ünitesi Geliştirilmesi

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 89 sayfalık kısmına ilişkin, 10/07/2019 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %3 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: İlteriş Kutluk Yıldırım

Öğrenci No: N14322937

Anabilim Dalı: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Programı: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Statüsü:  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

10.07.2019

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İlteriş Kutluk Yıldırım  
Doğum yeri : Bornova/İzmir  
Doğum tarihi : 13/11/1989  
Medeni hali : Bekar  
Elektronik posta adresi : ilterisyildirim@gmail.com  
Yabancı dili : İngilizce, Almanca

### EĞİTİM DURUMU

Lise : Bornova Anadolu Lisesi  
Lisans : Hacettepe Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

### İŞ TECRÜBESİ

2014- 2016 Softek Yazılım - Elektronik Mühendisi  
2017-2018 Nanomanyetik Bilimsel Cihazlar – Donanım Tasarım Mühendisi  
2018- Vestel Savunma Sanayi A.Ş – Donanım Tasarım Mühendisi

## TEZDEN ÜRETİLMİŞ PROJELER VE BÜTÇESİ

**Proje Başlığı:** Periyodik Gerilim Ve Akım Ölçüm Yapan Sistem İçin En Yüksek Güç İzlemeli (MPPT) Fotovoltaik Güç Ünitesi Geliştirilmesi

**Destekleyen Kurum:** Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi

**Proje Bütçesi:** 12.376,55 TL

## TEZDEN ÜRETİLMİŞ TEBLİĞ SUNUMU İLE KATILDIĞI KONFERANS VE KONGRELER

- İ. K. Yıldırım, U. Baysal, Comparison of MPPT and PWM Methods on Designing Microcontroller Based Power Control Unit for Wireless Sensor Networks, ICEEE 2019 International Conference on Electrical Electronics Engineering , 16-18 Nisan 2019, İstanbul, Türkiye
- İ. K. Yıldırım, U. Baysal, Arazi Şartlarına Uygun Fotovoltaik Kaynaklı Mikrodenetleyici Kontrollü Sensör Ağı Güç Ünitesi Tasarımı , GAPYENEV 2018 Uluslararası Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Kongresi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye