

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

**GÜNEŞ GÖZELERİ İLE BESLENEN HIZ  
KONTROLLÜ ASENKRON MOTOR SÜRÜCÜ  
SİSTEMİNİN GERÇEKLENMESİ VE SULAMA  
SİSTEMİNE UYGULANMASI**

**Yurdağül BENTEŞEN YAKUT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

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

**DİYARBAKIR**

**GÜNEŞ GÖZELERİ İLE BESLENEN VEKTÖR  
KONTROLLÜ ASENKRON MOTOR SÜRÜCÜ  
SİSTEMİNİN GERÇEKLENMESİ VE SULAMA  
SİSTEMİNE UYGULANMASI**

**Yurdagül BENTEŞEN YAKUT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN Yrd. Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DİYARBAKIR  
Temmuz 2009**

T.C  
DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ  
DİYARBAKIR

Yurdagül BENTEŞEN YAKUT tarafından yapılan bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik Elektronik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

Ünvanı      Adı Soyadı

Üye                      :Yrd. Doç Dr. Bilal GÜMÜŞ (Danışman)

Üye                      : Yrd. Doç Dr. Bahattin KURT

Üye                      : Yrd. Doç Dr. Hasan BAYINDIR

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

...../...../.....

.....

ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

( MÜHÜR )

*Bu çalışma oğlum Miran Yakut'a  
1. yaş günü dolayısıyla ithaf  
edilmiştir.*

## **TEŞEKKÜR**

Bu tez çalışması boyunca her türlü destek ve yardımlarını esirgmeden, bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan danışman hocam Sayın Yrd. Doç.Dr. Bilal GÜMÜŞ'e teşekkür ve saygılarımı sunarım. Ayrıca manevi destekleri ile her zaman sabırla ve sevgiyle yanımda olan eşim Cankut YAKUT'a , kardeşlerime ve sevgili oğluma teşekkür ederim.

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (DÜBAP) tarafından 07-03-30 nolu projesi olarak desteklenmiştir. Bu projede, malzeme temini için destek veren, Diyarbakır Büyükşehir Belediyesine, Schneider Elektrik'e, Diyarbakır Peugeot Burç Motorlu Araçlar Bayisine, Net Enerji'ye, Güneş Evi ve Uygulama Parkı sorumlusu Sayın Gültekin AYDENİZ başta olmak üzere Güneş Evi ve Uygulama Parkı'nda çalışan tüm personele teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER .....	i
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iii
TABLolar LİSTESİ.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT .....	viii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Tezin Amacı, Önemi ve Yöntemi .....	1
1.2. Tezin Yapısı .....	2
<b>2 . GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ELDESİ VE GÜNEŞ GÖZELERİ ...</b>	<b>4</b>
2.1. Güneş .....	4
2.2. Güneş Enerjisi Uygulamalarının Tarihsel Gelişimi .....	4
2.3 Güneş Işınımı .....	6
2.4.Güneş Enerjisinin Spektral Analizi.....	8
2. 5. Güneş Gözesi (Fotovoltaik ) .....	8
2.5.1. Güneş Gözesi Yapımında Kullanılan Malzemeler.....	9
2.5.2. Katı Cisimler ve Fotovoltaik Dönüşüm .....	10
2.5.3. Güneş Gözelerinin Yapısı ve Çalışma Prensipleri .....	15
2.5.4. Güneş Gözesi Eşdeğer Devresi ve Güç.....	18
2.6. Güneş Gözesi Sistemleri .....	20
<b>3. ASENKRON MOTOR SÜRÜŞ SİSTEMLERİ .....</b>	<b>23</b>
3.1. Giriş.....	23
3.2. Asenkron Motorun Temel Çalışma Prensipleri.....	24
3.3 Anma (Hat) Frekans ve Geriliminde Asenkron Motor Karakteristikleri .....	31
3.4. Stator Frekans ve Gerilim Değiştirilmesi İle Hız Kontrolü .....	34
3.4.1. Moment Hız Karakteristikleri .....	34
3.4.2. Yol Almada Göz Önüne Alınacak Hususlar .....	36
3.4.3. Düşük Frekanslarda Gerilim Yükseltme Gereksinimi .....	37
3.4.4. Asenkron Motorun Anma Hız Alt ve Üst Değerlerinde Çalışma Kapasitesi .....	39
3.4.5. Sinüzoidal Olmayan Beslemenin Asenkron Motor Üzerindeki Etkisi .....	44
3.4.6. Değişken Frekanslı Çeviricilerin Sınıflandırılması.....	48
<b>4.GÜNEŞ GÖZELERİ İLE BESLENEN ASENKRON MOTOR SÜRÜCÜ</b>	
<b>SİSTEMİNİN GERÇEKLENMESİ.....</b>	<b>52</b>
4.1 Giriş.....	52
4.2. Sistemin Genel Yapısı.....	52

4.3. Güneş Gözeleri.....	53
4.4. Şarj Kontrol Ünitesi .....	55
4.5. Maksimum Güç Noktası İzleyici (MPPT) .....	56
4.6. Bataryalar .....	60
4.7. Eviriciler (İnverterler) .....	62
4.8. Asenkron motor.....	64
4.9. Hız Kontrol Cihazı .....	65
4.9.1.Sürücü Cihazında Kontrol Modları.....	66
4.9.2. Sürücüye ait Moment Karakteristikleri .....	67
4.10. Ara Yüz Programı ve Hız Kontrol .....	67
<b>5. SİSTEMDEN ELDE EDİLEN BULGULAR .....</b>	<b>70</b>
5.1.Giriş.....	70
5.2. Uygulama Sistemindeki PV'ler ve Bataryalar ile ilgili analizler.....	70
5.2. Sistemden Alınan Günlük Veriler .....	71
5.3. PV ve Batarya sisteminin haftalık ortalama verileri .....	75
5.4. Asenkron Motor Çalışma Analiz Sonuçları .....	79
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>85</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>91</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>93</b>
EK 1. Uygulama Sistem Çıktıları.....	93
Ek 2: ASM Hız Kontrol Sonuçları .....	105
Ek 3: Hız Kontrol Cihazı Teknik Özellikleri .....	113
Güç Klemens Fonksiyonları ve Kumanda .....	113

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Güneşten Gelen Işınımın Dağılımı .....	7
Şekil 2.2. Güneş Işınımın Uzaya Geri Dönüşü .....	7
Şekil 2.3. Solar Spektrum .....	8
Şekil 2.4. Katılardaki enerji-bant diyagramı .....	12
Şekil 2.5. Maddelerin Enerji Aralığı ve Faydalanma Verim Eğrisi[6] .....	13
Şekil 2.6. Saf ve Katkılı Yarı İletken Bağ Yapıları.....	14
Şekil 2.7. Yarı İletken Enerji Bant Aralığı.....	14
Şekil 2.8. Tipik Bir Güneş Gözesi .....	15
Şekil 2.9. Eklemdeki Doğal Elektrik Alan (Ei).....	16
Şekil 2.10. Güneş Gözesi Dönüşümü.....	17
Şekil 2.11. Güneş Gözesi Çalışma Modelleri .....	18
Şekil 2.12. Güneş Gözesi Sistemleri .....	21
Şekil 3.1. a) Merkezkaç (sentrifüj) pompa, sabit hızla tahrik durumunda b) Değişken hızlı tahrik durumunda.....	23
Şekil 3.2. Asenkron Motorun Eşdeğer Devresi ve Fazör Diyagramı.....	26
Şekil 3.3. Asenkron motorun tipik bir moment-hız karakteristiği; $V_s$ ve $f$ anma değerlerinde sabit tutulmuştur .....	32
Şekil 3.4. Asenkron motorun rotor akımı ile kayma frekansı grafiği $I_r$ , $f_{sl}$ .....	33
Şekil 3.5. Asenkron motorda yol alma; $V_s$ ve $f$ anma değerlerinde sabit tutulmuştur .....	33
Şekil 3.6. Asenkron motorun sabit bir $\Theta$ ag ve küçük kayma değerlerinde moment-hız karakteristikleri .....	35
Şekil 3.7. Asenkron motorda hızın karesiyle değişen santrifüj pompa tipi yük momenti .....	36
Şekil 3.8. Yol almada frekans .....	37
Şekil 3.9. $f$ frekansının yol almada artırılması .....	38
Şekil 3.10. Küçük $f_{sl}$ değerlerinde fazör diyagramı.....	38
Şekil 3.11. $f$ frekansının yol almada artırılması .....	39
Şekil 3.12. Asenkron motor kapasite ve karakteristikleri .....	42
Şekil 3.13. Her faza ilişkin harmonik eşdeğer devresi.....	47
Şekil 3.14. Moment Salınımları a) Yedinci Harmonik b) Beşinci Harmonik.....	48
Şekil 3.15. Değişken Frekanslı Çevirici.....	50
Şekil 3.16. Değişken Frekanslı Çeviricilerin Sınıflaması .....	50
Şekil 4.1. Sistemin Blok Diyagramı.....	52
Şekil 4.2. Panellerin Platform Üzerindeki Yerleşimi.....	54
Şekil 4.3. Panellerin Platform Üzerindeki Bağlantı Şeması .....	55
Şekil 4.4. Tipik PV hücrelerin akım-gerilim karakteristiği .....	57
Şekil 4.5. Alçaltıcı-yükseltici çeviricili MPPT devresi.....	57
Şekil 4.6. Doluluk oranı .....	58
Şekil 4.7. MPPT algoritması akış diyagramına bir örnek .....	59
Şekil 4.8. Uygulama Sitemindeki bataryalar, evirici ve MPPT.....	61
Şekil 4.9. Damla sulama sisteminden görüntü .....	65
Şekil 4.10. Hız Kontrol Devresi .....	68
Şekil 5.1. a) PV Gerilim- zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği.....	73
Şekil 5.2. a) Batarya gerilim-zaman grafiği, b) Batarya akım-zaman grafiği.....	74
Şekil 5.3. Ortalama PV gerilim- zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği.....	77

Şekil 5.4. a) Ortalama batarya gerilim-zaman grafiği, b) Ortalama batarya akım-zaman grafiği .....	77
Şekil 5.5. Ortalama güç zaman grafiği.....	77
Şekil 5.6. Artma ve azalma rampa zamanı.....	78
Şekil 5.7. a) ASM gerilim zaman grafiği, b)ASM frekans zaman grafiği, c)ASM akım zaman grafiği.....	81
Şekil 5.8. ASM frekans akım grafiği .....	82
Şekil 5.9. ASM frekans gerilim grafiği.....	83
Şekil 5.10. ASM Frekans % Güç değişimi .....	83
Şekil 5.11. ASM Frekans % Moment değişimi .....	84
Şekil Ek 1.1.a) PV gerilim-zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği.....	94
Şekil Ek 1.2. a) Batarya gerilim-zaman grafiği, b) Batarya akım-zaman grafiği .....	94
Şekil Ek 1.3. a) PV gerilim-zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği.....	96
Şekil Ek 1.4. a) Batarya gerilim-zaman grafiği, b) Batarya akım-zaman grafiği .....	96
Şekil Ek 1.5. a) PV gerilim-zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği.....	98
Şekil Ek 1.6. a) Batarya gerilim-zaman grafiği, b) Batarya akım-zaman grafiği .....	98
Şekil Ek 1.7. a) PV gerilim-zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği.....	100
Şekil Ek 1.8. a) Batarya gerilim-zaman grafiği, b) Batarya akım-zaman grafiği .....	100
Şekil Ek 1.9. a) PV gerilim-zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği.....	102
Şekil Ek 1.10. a) Batarya gerilim-zaman grafiği, b) Batarya akım-zaman grafiği ....	102
Şekil Ek 1.11. a) PV gerilim-zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği.....	104
Şekil Ek 1.12. a) Batarya gerilim-zaman grafiği, b) Batarya akım-zaman grafiği ....	104



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Uygulama sisteminde kullanılan güneş panelinin özellikleri .....	53
Tablo 4.2. Bataryalar ve özellikleri.....	62
Tablo 4.3. Uygulama sisteminde kullanılan evirici teknik özellikler .....	64
Tablo 4. 4. Uygulamada kullanılan asenkron motorun teknik özellikleri.....	65
Tablo 4.5. Hız kontrol cihazı teknik özellikler .....	66
Tablo 5.1. 05 Temmuz 2009- 11 Temmuz 2009 Hava Durumu .....	71
Tablo 5.2. 05 Temmuz 2009 PV ve Batarya verileri .....	72
Tablo 5.3. PV ve Batarya sisteminin haftalık ortalama değerleri .....	75
Tablo 5.4. Elde edilen haftalık enerji .....	79
Tablo 5.5. ASM, $f=50$ Hz için Hız Kontrol Sonuçları .....	79
Tablo 5.6. Değişken frekanslarda ASM akım değişimi .....	82
Tablo 5.7. ASM frekans gerilim değişimi.....	82
Tablo 5.8. ASM Frekans % Güç değişim Tablosu .....	83
Tablo 5.9. ASM Frekans % Moment değişim tablosu .....	84
Tablo Ek 1.1 06 Temmuz 2009 PV ve Batarya verileri .....	93
Tablo Ek 1.2. 07 Temmuz 2009 PV ve Batarya verileri .....	94
Tablo Ek 1.3. 08 Temmuz 2009 PV ve Batarya verileri .....	97
Tablo Ek 1.4.09 Temmuz 2009 PV ve Batarya verileri .....	99
Tablo Ek 1.5. 10 Temmuz 2009 PV ve Batarya verileri .....	100
Tablo Ek 1.6. 11 Temmuz 2009 PV ve Batarya verileri .....	103
Tablo Ek 2.1. ASM Hız Kontrol Sonuçları $f=20$ Hz .....	105
Tablo Ek 2.2. ASM Hız Kontrol Sonuçları $f=25$ Hz .....	106
Tablo Ek 2.3. ASM Hız Kontrol Sonuçları $f=30$ Hz .....	107
Tablo Ek 2.4. ASM Hız Kontrol Sonuçları $f=35$ Hz .....	108
Tablo Ek 2.5. ASM Hız Kontrol Sonuçları $f=40$ Hz .....	109
Tablo Ek 2.6. ASM Hız Kontrol Sonuçları $f=45$ Hz .....	110
Tablo Ek 2.7. ASM Hız Kontrol Sonuçları $f=55$ Hz .....	111
Tablo Ek 2.8. ASM Hız Kontrol Sonuçları $f=60$ Hz .....	112
Tablo Ek 3.1. Güç Klemensinin Fonksiyonları.....	113
Tablo Ek 3.2. Kumanda klemenslerinin yerleşimi, karakteristikleri ve fonksiyonları .....	113

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### **GÜNEŞ GÖZELERİ İLE BESLENEN VEKTÖR KONTROLLÜ ASENKRON MOTOR SÜRÜCÜ SİSTEMİNİN GERÇEKLENMESİ VE SULAMA SİSTEMİNE UYGULANMASI**

**Yurdagül BENTEŞEN YAKUT**

Dicle Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
2009, Sayfa: 92

Küresel iklim değişikliği, fosil yakıtların tükenme ve çevresel etki tehditleri yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının uygun uygulamalarda kullanımı bu açıdan oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Türkiye ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi için oldukça önemli bir yenilenebilir kaynak olan güneş enerjisinin kullanımına örnek bir uygulama yapılmıştır.

Çalışmada, tarımsal sulama sistemi için gerekli olan elektrik enerjisi güneş gözelerinden elde edilmiştir. Elde edilen elektrik enerjisi A.A.'a çevrilerek bir asenkron motorun beslemesinde kullanılmıştır. Asenkron motor aynı zamanda bir hız kontrol sürücüsü ile kontrol edilmiştir. Bataryalardan oluşan depolama sistemi ile, güneşin olmadığı saatlerde de sulama yapılmasına olanak sağlanmıştır. Sulama sistemi olarak damlama sulama sistemi öngörülmüş, böylelikle suyun ve enerjinin verimlilikle kullanılması sağlanmıştır.

Tezde, önerilen uygulama sistemine ait detaylar açıklanmıştır. Kurulan sistemden alınan veriler ile sulamada kullanılan asenkron motora ilişkin veriler sunulmuştur. Özellikle şebekeye uzak yerlerde önerilen sistemin maliyet açısından da

uygulanabilir olduğu gör÷lmektedir. Böylelikle, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneşin tarımsal sulamada etkin kullanımı ile ilgili bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Güneş gözesi, Asenkron motorda hız kontrolü, tarımsal sulama, asenkron motor

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **THE REALIZATION OF SPEED CONTROLLED INDUCTION MOTOR DRIVE SYSTEM FED BY PHOTOVOLTAICS AND IMPLEMENTATION FOR IRRIGATION SYSTEMS**

**Yurdagül BENTEŞEN YAKUT**

Dicle University  
Graduate School of Naturel and Applied Science  
Department of Electrical and Electronics Engineering  
2009, Page:92

Global climate change, exhaustion and environmental impact threats of fossil fuels necessitate the use of renewable energy resources. Use of renewable energy resources in appropriate implementations is quite important in this respect. In this study, a sample implementation of using solar energy which is a very important renewable resource for Turkey and Southern Eastern Region has been carried out.

In the study, the electrical energy which is required for agricultural irrigation system is obtained from photovoltaic. The energy obtained had been converted to AA and then used in an induction motor. Induction motor had also been controlled by a speed control driver. Via the storage system made up of batteries, irrigation had been utilized at even sunless hours. As the irrigation system, drip irrigation system is projected. In this way, efficient use of water and energy had been provided.

In the thesis, details about the proposed implementation system had been explained. Data about the constructed system and asynchronous motor used in irrigation had been represented. It is seen that the proposed system is feasible especially in places distant from the network in terms of costs. In this way, an implementation in agricultural irrigation has been realized through an effective use of solar energy among renewable energy resources.

**Keywords:** Photovoltaic, speed control of induction motor, irrigation system, induction motor

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Tezin Amacı, Önemi ve Yöntemi

Küresel iklim değişikliğinin ve çevresel kirliliğin kısılacında bulunan dünyamız, bugün, çevreyle uyumlu çözümlere acilen muhtaçtır. Bununla birlikte, dünyamızda bugün yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlarının yaklaşık 40 yıl sonra tükeneceği ve çevresel etki tehditleri yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının uygun uygulamalarda kullanımı bu açıdan oldukça önemlidir. Bütün bu gelişmelerin sonucu olarak alternatif enerji kaynakları büyük bir önem arz etmektedir[1].

Her ülke enerjisini değişik kaynaklar vasıtası ile üretir. Enerji Kaynakları geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynakları diye sınıflandırılabilir. Geleneksel kaynaklar fosil yakıtları (petrol, maden kömürü ve doğal gaz) ve nükleer enerji kaynaklarından oluşur. Yenilenebilir kaynaklar ise güneş, hidroelektrik, rüzgar, jeotermal, biokütle, gel git ve dalga enerjisi gibi kaynaklardan oluşur [2]. Geleneksel enerji kaynakları bir çok çevresel problem doğurmaktadır. Bunların en ciddileri duman, asit yağmurları, petrol kirliliği ve global ısınmadır. Fakat yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostudur[3].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile bir yandan ihtiyaç duyulan enerjinin temini ve arzı sağlanırken diğer yandan temiz yöntemlerle enerji üretimi yapılacağından küresel iklim değişikliğinin önlenmesi, en azından yavaşlatılması mümkün olacaktır [2].

Günümüz koşullarında yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim bir zorunluluk haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde etmekle

beraber bu enerjinin etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Bunun içinde enerji tüketiminin doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Gerek güneş, gerek rüzgar ve gerekse bio-kütle konusunda ülkemizde yeni açılımlar kazandırılması gerekmektedir. Çalışmalar göstermektedir ki yurdumuzun, ciddi bir güneş potansiyeli vardır. Özellikle, güney ve batı bölgelerinde sıcak su elde etmek için çok küçük bir kısmı kullanılan bu potansiyel, ne yazık ki yeterince değerlendirilmemektedir[1]. Bu çalışmada, Türkiye ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi için oldukça önemli bir yenilenebilir kaynak olan güneş enerjisinin kullanımına örnek bir uygulama yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmekle birlikte, bu enerjinin etkin bir şekilde kullanımının nasıl yapılabileceğinin bir uygulama örneği ile incelenmesidir.

Tez konusu belirlenirken yapılan literatür incelemesi sonucunda, ülkemizde, Güneş Pili Sistemleri [4], Fotovoltaik Pil ve Modüllerin Similasyonu ve Performans Analizi [5], Alternatif bir fotovoltaik panel (PV), modelinin santrifüj su pompa sistemlerine uygulanması ve performans gelişimine yönelik yaklaşımlar [6] gibi konularda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma ise, Türkiye ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi için oldukça önemli bir yenilenebilir kaynak olan güneş enerjisinin kullanımına örnek benzer uygulamalar mevcuttur fakat bölgesel ve il bazında daha evvel yapılmamış bir uygulama örneğidir.

## **1.2. Tezin Yapısı**

Yapılan tez çalışması içinde, tarımsal sulama sistemi için gerekli olan elektrik enerjisi güneş gözelerinden elde edilmiştir. Elde edilen elektrik enerjisi A.A.'a çevrilerek bir asenkron motorun beslemesinde kullanılmıştır. Asenkron motor aynı

zamanda bir hız kontrol sürücüsü ile kontrol edilmiştir. Bataryalardan oluşan depolama sistemi ile, güneşin olmadığı saatlerde de sulama yapılmasına olanak sağlanmıştır. Sulama sistemi olarak damlama sulama sistemi öngörülmüş, böylelikle suyun ve enerjinin verimlilikle kullanılması sağlanmıştır.

Tezde, önerilen uygulama sistemine ait detaylar açıklanmıştır. Kurulan sistemden alınan veriler ile sulamada kullanılan asenkron motora ilişkin veriler sunulmuştur. Özellikle şebekeye uzak yerlerde önerilen sistemin maliyet açısından da uygulanabilir olduğu görülmektedir. Böylelikle, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneşin tarımsal sulamada etkin kullanımı ile ilgili bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Tezin genel yapısı incelendiğinde, ikinci bölümde güneş enerjisinden elektrik eldesi anlatılmış ve güneş gözelerinin çalışma prensibi incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, Asenkron Motor Sürüş Sistemleri başlığı altında, asenkron motorun yapısı, çalışma prensibi ve hız kontrol yöntemleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, güneş gözeleri ile beslenen asenkron motor ve pompa sulama sisteminin gerçekleşmesinde gerekli olan malzemeler ve yöntem anlatılmıştır. Farklı çalışma koşullarında en etkin şekilde elektrik enerjisini kullanabilmek için hız kontrol sürücü sistemi kullanılmıştır. Güneş Evi Uygulama ve Araştırma Parkı içerisine kurulan sistemde hız sürücüsü değişken moment sağlayabilecek şekilde güneş pilleriyle elde edilen elektrik enerjisi ile asenkron motorun sürülüş şekli anlatılmıştır ve hız kontrolünün nasıl yapıldığı açıklanmıştır.

Beşinci bölümde ise güneş evi eğitim ve uygulama parkı içerisinde kurulan sistemimizden elde edilen analizler aktarılmıştır.

Tezin son bölümünde ise, Yapılan analizler değerlendirilmiştir.



## **2 . GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ELDESİ VE GÜNEŞ GÖZELERİ**

### **2.1. Güneş**

Güneş, güneş sisteminin merkezinde yer alır ve elektromanyetik ışınlar yaparak enerji yayar. Güneş, çapı  $1.39 \times 10^9$  m olan sıcak bir gaz küresidir ve dünyadan yaklaşık olarak  $1,5 \times 10^{11}$  m uzaktadır. Güneşin kütlesi  $2,0 \times 10^{30}$  kg'dır ve u kütle dünyanın kütesinin yaklaşık 330,000 katıdır.

Güneş enerjisinin %90'ının termonükleer füzyon sonucu güneşin merkez bölgesinde olduğu tahmin edilmektedir. Bu merkezi bölgede açığa çıkan enerji yaklaşık olarak  $3.83 \times 10^{26}$  W'tır ve bu bölgedeki sıcaklık  $15 \times 10^6$  K civarındadır. Güneş yüzeyindeki enerji miktarı  $6.33 \times 10^7$  W / m<sup>2</sup>'dir. Atmosferin dışında güneşten yaklaşık  $5 \times 10^{11}$  m uzaklıktaki 1 m<sup>2</sup>'lik alana düşen enerji miktarı  $367$  W / m<sup>2</sup>'dir. Bu sayıya solar sabit denir. [3]

### **2.2. Güneş Enerjisi Uygulamalarının Tarihsel Gelişimi**

İnsanların güneş enerjisinden teknolojik olarak yararlanması, yani güneş enerjisini kendi geliştirdiği yollarla başka enerjilere dönüştürmesi, bir hayli eskilere dayanır. Bilinen ilk uygulamalardan biri, Arşimed'in Sirakuza'da güneş ışınlarını büyük aynalarla yoğunlaştırarak düşman gemilerine odaklaması ve onları yakması olarak bilinir.[4]

17.yy da, yine aynalarla güneş ışınlarının yoğunlaştırılarak odun yığınlarının yakılmasında kullanıldığı, 18.yy' da yoğunlaştırılmış güneş ışınlarının kimyasal tepkimelerde ve güneş ocaklarında kullanıldığı görülür. 19.yy' da güneş enerjisi uygulamaları artmıştır. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ile metal eritme, su dağıtma, buhar üretme, güneşle çalışan buhar makinası, baskı makinası gibi yapılan çalışmalar, uygulama örnekleri olarak gösterilebilir[4].

20.yy' da insanların yaşamına giren petrol, güneş enerjisi kullanımıyla ilgili gelişmeleri bir ölçüde frenlemiştir. Bununla birlikte, 1974'deki yapay petrol bunalımı ve petrol fiyatlarının artması sonucu güneş enerjisi üzerindeki çalışmalar, yeniden hız kazanmıştır. Özellikle evlerde sıcak su sağlanmasında güneş toplacıları kullanımı bu yüzyılda yaygınlaşmıştır. Yine, yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin kullanıldığı güneş santralleri bu yüzyılda yapılmaya başlanılmıştır.

1954 yılında Bell laboratuvarında güneş gözesinin geliştirilmesi ile güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlar olarak giderek yaygın kullanım alanları bulmuşlardır. Güneş gözesinin ilk büyük ölçekli uygulama alanı, uzay çalışmalarında olmuştur [1,4]. Uzay araçlarına enerji sağlamada bu gözeler en uygun araçlar olmuşlardır. Önceleri küçük ölçeklerde çeşitli yerlerde kullanılan güneş gözeleri giderek daha geniş kullanım alanlarına yayılmışlardır. Yaygın kullanım ile birlikte bu gözelerin fiyatları da oldukça düşmüştür. Bu gün güneş gözeleri ile çalıştırılan güneş otomobilleri, güneş uçağı, elektrik şebekesine uzak yerlerdeki uygulamalar, güneş gözeleri ile çalışan elektrik santralleri bulunmaktadır [4].

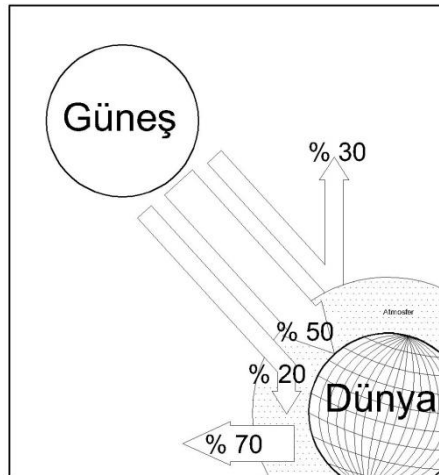
Günlük güneş enerjisinin seyreltik ve kesikli olması, bu enerjinin daha etkin ve verimli kullanılmasında sorun olmaktadır. Oysa, bugün dünya ya gelen güneş enerjisi, dünyada kullanılan tüm enerjinin 15-16 bin katı dolayındadır [4]. Bu durumda, dünya üzerinde bu enerjiyi olabildiğince verimli ve etkin kullanabilme yolunu bulmamız gerekmektedir. Bunun yanı sıra, en akıllıca yollardan biri de güneş enerjisini dünyanın dışında yakalayarak bunu bir şekilde elektrik enerjisine çevirerek dünyaya aktarmaktır. Uzayda, ya da bize en yakın gök cismi olan ay da bu işi başarabiliriz[4]. Gerek uzayda gerekse ayda ne bulutluluk engeli ve ne de gece gündüz sorunu vardır. Ayrıca hava kürenin soğurucu etkileri de burada söz konusu olmamaktadır. Şimdilik

düşünce ve kuram düzeyindeki çalışmaların, çok uzun olmayacak sürede gerçekleşmesi beklenmektedir

Ülkemizin de, güneş enerjisinden ve diğer tükenmez enerjilerden yararlanma konusundaki yarışta geri kalmaması gerekir. Çünkü, ülkemiz üç kıtaya en yakın konumda bulunmakta, ayrıca güneş kuşağı denilen ve ekvatora göre kuzey ve güney 40 enlemlerini kapsayan bölgede bulunmaktadır. Ülkemizin bu iki özelliği, güneş enerjisinin teknolojik uygulamalarına bir vitrin durumuna gelmesinde büyük bir üstünlük sağlayabilir. Dengeli bir kalkınmanın, temiz ve tükenmez enerji kaynaklarına dayalı olacağı unutulmamalıdır.

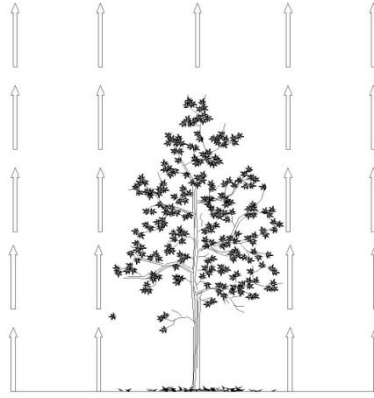
### 2.3 Güneş Işınımı

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışımaya enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir [1].



### Şekil 2.1. Güneşten Gelen Işınımın Dağılımı

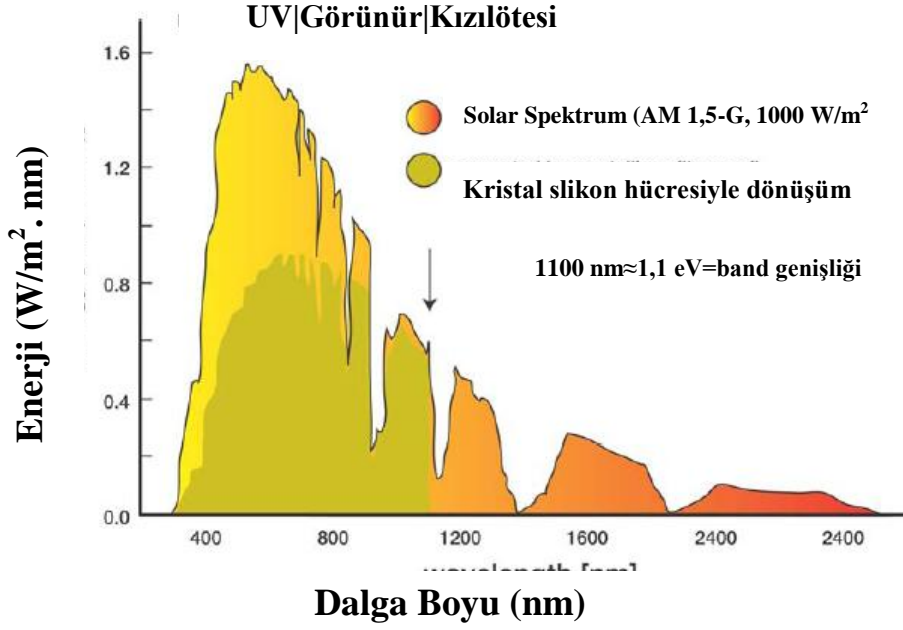
- Güneş, 5 milyar yıl sonra tükenecektir. Güneş ışınımının tamamı yeryüzeyine ulaşmaz, %30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır. Güneş ışınımının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır (Bkz Şekil2.1) . Bu enerji ile dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgar hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur.



### Şekil 2.2. Güneş Işınımının Uzaya Geri Dönüşü

Dünya'ya gelen bütün güneş ışınımı, sonunda ısıya dönüşür ve uzaya geri verilir(Bkz Şekil2.2).

## 2.4.Güneş Enerjisinin Spektral Analizi



Şekil 2.3. Solar Spektrum

Işık kaynakları çok farklı dalga boylarıyla ışık yaymaktadırlar. Güneş, ışığı geniş bir spektrum içinde elektromanyetik radyasyon şeklinde yayar. 400 nm' den küçük dalga boyları *morötesi* olarak bilinmektedir. 700 nm' den büyük dalga boyları ise *kızılötesi* olarak adlandırılır. Görülebilir dalga boyu aralığı ise morötesi ve kızılötesi arasında kalan bölgedir.. Mor ötesi, kısa dalga görünmeyen enerji ( Ultra Viyole (UV) ) toplam güneş ısısının %1'ini, ışık, orta dalga görünür enerji toplam güneş ısısının %53'ünü ve yakın kızılötesi uzun dalga görünmeyen enerji toplam güneş ısısının %46'sıdır. Atmosfer dışındaki solar radyasyon spektrumu Şekil 2.3' te gösterilmiştir [1].

## 2. 5. Güneş Gözesi (Fotovoltaik )

Güneş gözesi (fotovoltaik ), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş gözesinin alanları genellikle 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0,2–0,4 mm arasındadır[5].

Güneş gözeleri, üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Gözesin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş gözesinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş gözesi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş gözesi modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak birkaç Watt'tan megaWatt' lara kadar sistem oluşturulur.

### **2.5.1. Güneş Gözesi Yapımında Kullanılan Malzemeler**

Güneş gözeleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır[6]:

#### **2.5.1.1 Kristal Silisyum:**

Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen Monokristal Silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen Polikristal Silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır .

#### **2.5.1.2. Galyum Arsenit (GaAs):**

Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcılı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemlili GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcılı sistemlerde kullanılmaktadır.

### **2.5.1.3 Amorf Silisyum:**

Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesindedir. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş gözesinin bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabilereği tahmin edilmektedir.

### **2.5.1.4. Kadmiyum Tellürid (CdTe):**

Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş gözesi maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

### **2.5.1.5. Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe<sub>2</sub>):**

Bu polikristal pilde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

### **2.5.1.6. Optik Yoğunlaştırıcılı Hücreler:**

Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'nin, göze verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden yapılmaktadır[6].

## **2.5.2. Katı Cisimler ve Fotovoltaik Dönüşüm**

Işık fotonları malzemelerde elektronlarla çarpışarak enerjilerini elektronlara aktarır ve sonuçta elektronlar bağlarından koparak serbest hale geçer. Bu olaya

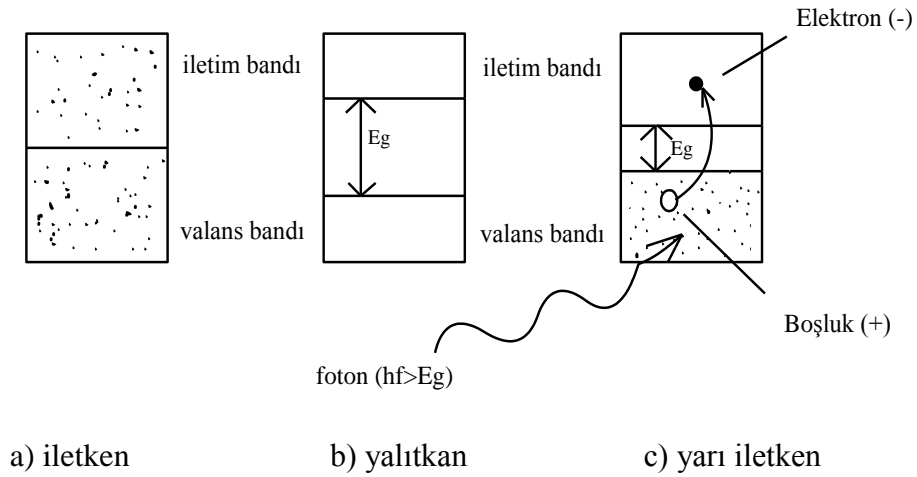
soğurulma denir. Fotovoltaik olayda, fotonla uyarılan negatif (-) elektronlar gerilerinde pozitif (+) yüklü boşluklar bırakır. Üretilen bu ek yükler sistem içerisinde ayrı taraflara toplandığında bir potansiyel fark üretilebilmektedir. Bir fotovoltaik dönüşüm için bazı şartlar gereklidir. Bunlar:

- a) Ek elektron- boşluk çiftleri üretmek için, yeterli enerjili foton uyarımı yapılmalıdır. Çünkü elektronları bağlarından koparabilecek şekilde bir dış etki gerekmektedir.
- b) Uygun malzemeler arasındaki eklemle üretilen yüklerin birbirinden ayrılması için potansiyel enerji bariyerleri kurulmalıdır.
- c) Soğurulan ve ayrılan yükler tekrar birleşip etkilerini kaybetmeden gözesinin kutuplarına yönlendirilmeli ve elektriksel yükü beslemek üzere toplatılmalıdır.

(Bkz. Şekil2.4)

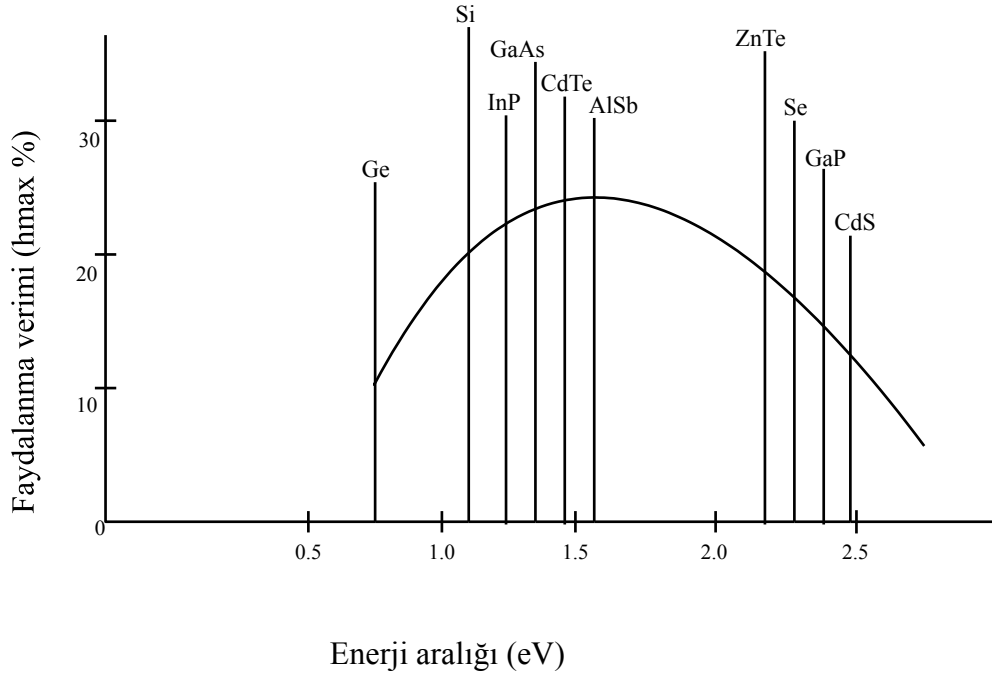
Prensip olarak yukarıdaki şartları sağlayacak şekilde elektriksel özellikleri farklı herhangi iki malzeme arasında eklem kurularak fotovoltaik dönüşüm yapılabilir[6]. Bununla birlikte özellikle güneş ışınımının uyarma enerjisi olarak kullanıldığı düşünüldüğünde yapı malzemelerinin güneşten etkilenme durumu önemli bir konudur. Bu nedenle tatmin edici bir sonuç almak üzere, fotovoltaik pillerin p-n yarı iletken veya ince metal – yarı iletken eklemi olarak düzenlenmesi önerilmektedir.





**Şekil 2.4.** Katılardaki enerji-bant diyagramı

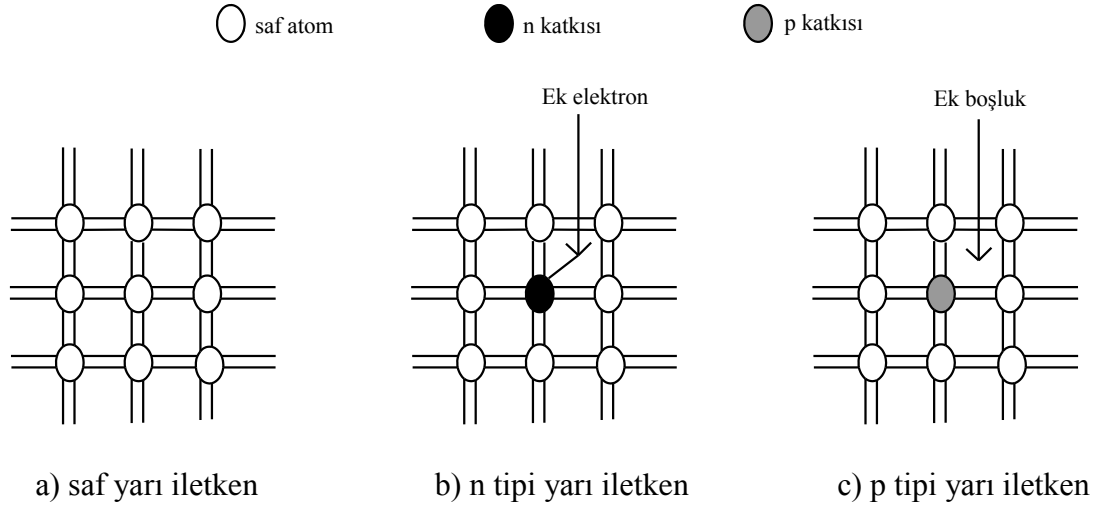
İletim bandındaki bir elektronun hareket serbestliği malzemenin elektriksel iletkenliğini etkiler. Metal gibi iletkenlerde elektronlar bağlarından neredeyse kopuktur. Metallerin enerji bant yapıları itibariyle elektronlar bir bütün olarak iletme katkıda bulunur. Yalıtkan ve yarı iletkenlerde elektronların iletim bandına geçmelerini engelleyen  $E_g$  enerji aralığı bulunur. Serbest hale geçecek bir elektronun dışarıdan bu enerji aralığını ( $E_g$ ) aşacak şekilde bir enerji alması gerekmektedir. Yalıtkanlarda enerji aralığı çok büyüktür ( $\sim 10$  eV). Bu nedenle elektronların iletme geçmeleri çok zordur. Yarı iletkenler mutlak sıfır derecede yalıtkanlar gibi davranır. Fakat  $E_g$  enerji aralığı çok küçüktür (1-3 eV). Bu durum onların ısı, ışık, elektrik alan gibi dış etkilere cevap vermesini sağlar. Oda sıcaklığında bir yarı iletken bir kaç elektron iletim bandında olabilmektedir. Diğer yandan yerdeki güneş spektral eğrisinin büyük güçlü fotonları görünür bölgede, yaklaşık 0.4-0.8  $\mu\text{m}$  dalga boyu aralığındadır. Bu aralığına karşılık gelen tek foton enerjileri yaklaşık 1-3 eV değerlerindedir. Bu foton enerji aralığı ek yük çiftleri oluşturmak üzere yarı iletkenlerin enerji aralığına uygun gelmektedir (Bkz Şekil2.5) [7].



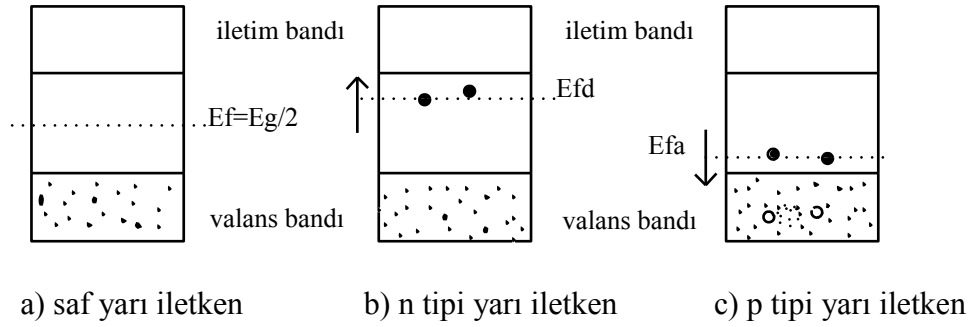
**Şekil 2.1.** Maddelerin Enerji Aralığı ve Faydalanma Verim Eğrisi[6]

Fotovoltaik yapılarında yaygın olarak kullanılan p-n eklemler katkı yarı iletkenlerle kurulmaktadır. Yarı iletkenler katkılanarak iletkenlikleri artırılabilir. Silisyum (Si) gibi bir saf yarı iletken kristalinde atomlar 4'er valans elektronlarını ortaklaşa kullanılarak bağ kurarlar. Kristal yapıya fosfor (P) gibi 5 valans elektronlu atomlar çok az miktarda katıldığında sistemde katılardan kaynaklanan ek elektronlar oluşur. Bu elektronlar yalnızca kendi atom çekirdekleri etkisi altında olduğundan iletme daha kolay geçirilebilirler[7]. Yapılarında ek elektronlar bulunacak şekilde katkılanan yarı iletkenler n tipi yarı iletken adını alır. Bu işlemin tersi katkılama p tipi yarı iletkeni oluşturur. P tipinde, saf yapıya bor(B) gibi 3 valans elektronlu atomlar katılır. Katkı atomlarının bağ kurmak üzere elektronlara ihtiyacı vardır. Bu durum sistemde elektron boşlukları meydana getirir. Komşu atom elektronlarının bu boşlukları doldurulması bunları iletim bandına taşımaktan daha kolaydır. Bir boşluğu

doldurmak üzere hareket eden her elektron gerisinde bir boşluk bırakır. N tipi yarı iletkende iletim elektronlarla, p tipinde ise boşluklarla gerçekleşir (Bkz. Şekil 2.6. , Şekil2.7.)[6].



**Şekil 2.2.** Saf ve Katkılı Yarı İletken Bağ Yapıları

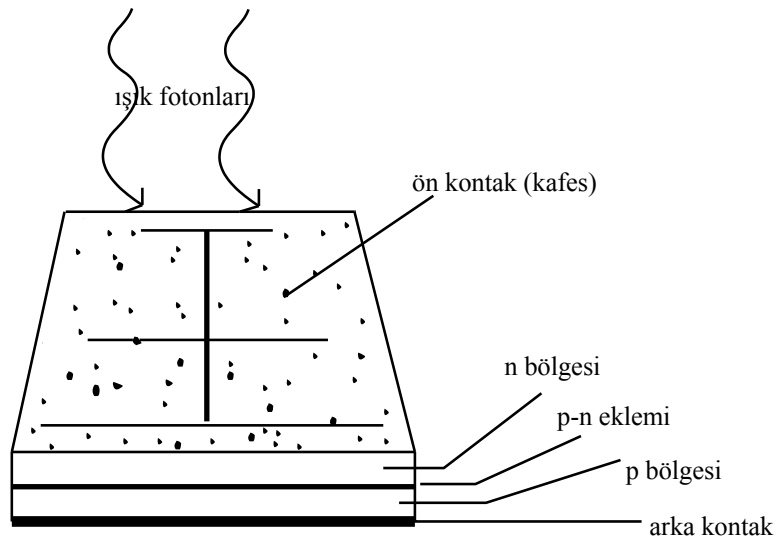


**Şekil 2.3.** Yarı İletken Enerji Bant Aralığı

N tipi yarı iletkenlerdeki katkı atomlarına verici , p tipindekilere ise alıcı denilmektedir. Bir valans bandındaki elektronun ortalama enerjisi fermi enerjisi olarak adlandırılır[8]. Bir saf yarı iletkenin fermi seviyesi ( $E_f$ ) enerji aralığının ortasında kabul edilir. Bu yarı iletken n tipinde katkılanırsa fermi  $E_{fd}$  seviyesi iletim bandının hemen altında olurken  $E_{fa}$  seviyesi valans bandının hemen üstündedir.

Bu bölümün ilerleyen kısımlarında yaygın olması nedeni ile p-n eklemli tipik bir güneş gözesi yapısı ve çalışma sürecine değinilmektedir. Farklı yapılar için benzeri bir çalışma süreci düşünülebilir. Güneş gözesindeki diğer önemli prensipler başlıklar halinde tanıtılmaktadır.

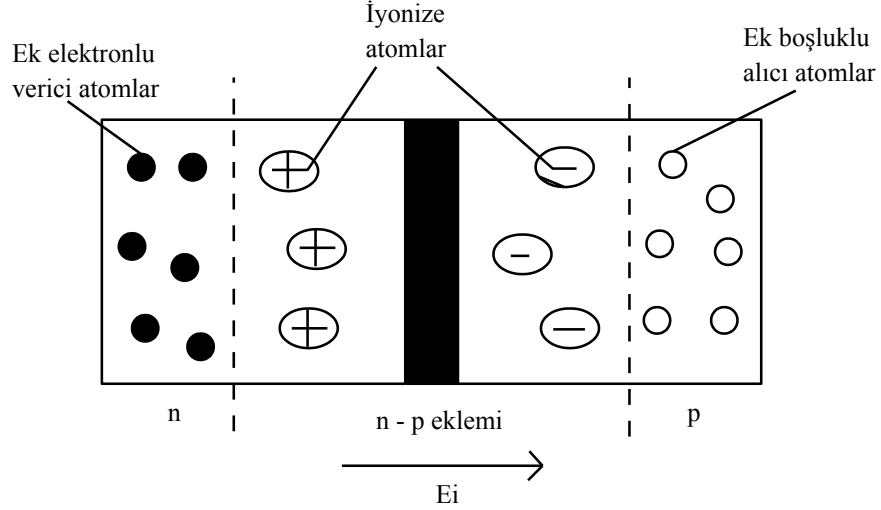
### 2.5.3. Güneş Gözelerinin Yapısı ve Çalışma Prensibi



Şekil 2.4. Tipik Bir Güneş Gözesi

Uygulamalarda Şekil 2.8.' de gösterildiği gibi doğal yapıları n ve p tipi yarı iletkenlik özelliği gösteren iki malzeme arasında da kurulabilir. Bakır silisyum/Kadmiyum eklemi buna örnektir. Etkili bir güneş gözesi dönüşümü için ışık fotonlarının eklem bölgesine ulaşip burada soğurulması istenir. Çünkü burada kurulan doğal elektriksel alan fotonla uyarılan yükleri birbirinden ayırarak çoğunlukta oldukları bölgelere olan hareketlerini hızlandırmaktadır[8,9]. Bu yüzden gözesin ışığı gören yüzeyi ışığı geçiren ince bir tabaka halindedir. Yükleri toplamak ve dış elektriksel bağlantı için metal kontaklar iki kenara düzenlenmiştir. Ön kontaklar ışığın derinlere işlemesini sağlayacak şekilde düzenlenmektedir. Bunun için kafes yapılı

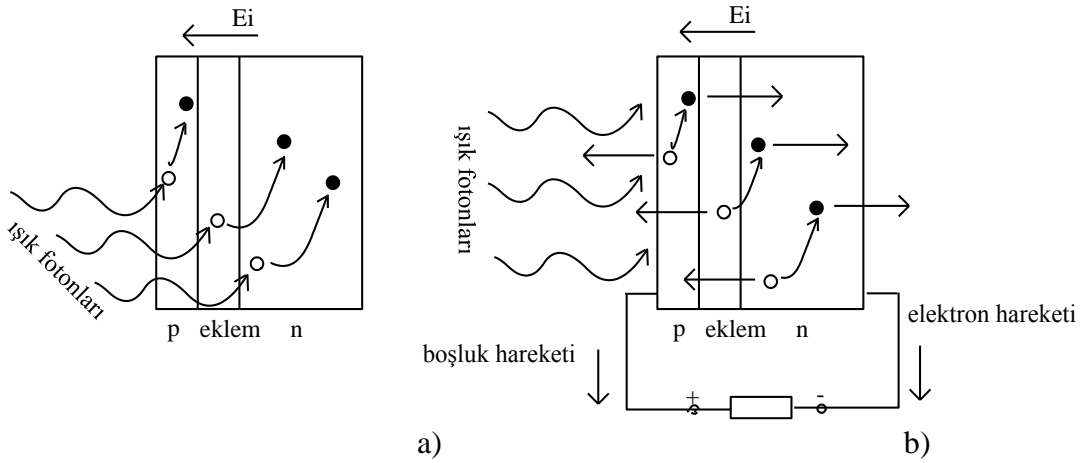
veya saydam metallere kullanılmaktadır. Gözesinin arka yüzeyi tamamen metalik kontakla kaplanır. Dış etkilere karşı ön yüzey ışığı geçiren kalay oksit ( $\text{SnO}_2$ ) gibi bir koruyucu tabaka halinde de düzenlenebilmektedir[7].



**Şekil 2.5.** Eklemdeki Doğal Elektrik Alan ( $E_i$ )

Eklem sistemine ışık uyarımı yapıldığında, yarı iletkenlerin enerji aralığından büyük enerjili fotonlar genelde valans elektronlarıyla çarpışarak onları iletim bandına taşır. Uyarılan her elektron gerisinde pozitif yüklü boşluklar bırakır. Böylece ön yüzeyden itibaren göze kalınlığı boyunca ışığın spektral durumu ve malzemelerin soğurma karakteristiklerinin belirlediği miktarlarda elektron-boşluk çiftleri üretilir. Üretilen ek yükler geliş güzel sistem içinde yayılır. Bunların bir süre sonra tekrar birleşip etkilerini kaybetmesi söz konusudur[10]. Ancak eklem bölgesinde veya hemen yakınında üretilen yük çiftleri buradaki doğal iç elektriksel alanla ( $E_i$ ) hızla birbirinden ayrılır. Bu alanın etki yönü, akım katkısı oluşturmak üzere yükleri çoğunlukta oldukları bölgelere sürükleyecek şekildedir. Eklem dışında üretilip tekrar birleşmeden eklem ulaşan yükler de buradaki alan etkisiyle sürüklenme (drift) akımı oluşturmaktadır. Ayrıca uyarılma esnasında kutuplara yayılan yükler birleşme

süresinden önce çoğunlukta oldukları bölgelerde ise akım katkısı gerçekleştirebilirler. Ancak yüzeydeki yük tuzakları, uzak olmaları nedeni ile iç elektrik alanla desteklenemeyen bu yüklerin hızı ve miktarını büyük oranda düşürmektedir. Sonuçta n bölgesi (-) yüklü elektronlarla, p bölgesi (+) yüklü boşluklarla desteklendiğinden göze uçlarında bir potansiyel (gerilim) oluşmaktadır. Göze uçlarına bir elektriksel yük bağlandığında toplanan elektron (-) ve boşluklar (+) yük üzerinden birleşmek üzere akarak bir akım geçişi meydana getirmektedir (Bkz Şekil 2.9.).



**Şekil 2.6.** Güneş Gözesi Dönüşümü

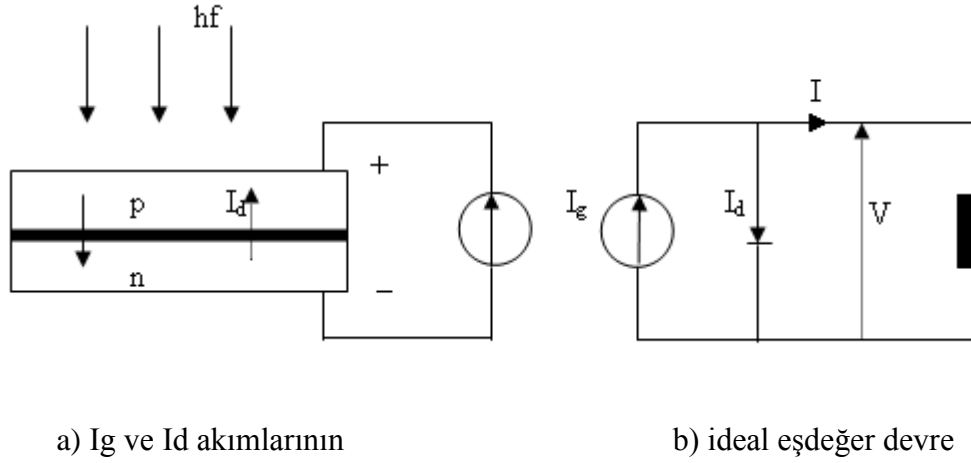
a) Foton ile elektron – boşluk çiftleri üretimi

b) Üretilen yüklerin ( $E_i$ ) doğal alanla ayrılması

Güneş gözelerinin elektriksel cevabı tipik bir diyot karakteristiğine benzemektedir. Eklem sisteminin n bölgesi dış kaynağın (-) kutbuna, p bölgesi (+) kutbuna bağlandığında sistem ileri yönde, bunun tersi olursa geri yönlü uyarımlıdır[11].

#### 2.5.4. Güneş Gözesi Eşdeğer Devresi ve Güç

Işık uyarımı altında bir güneş gözesi kendi eklem sisteminden ışınım şiddetine bağlı olarak daha büyük bir ters diyot akımı geçecek şekilde bir  $I_g$  akımı üretir. Üretilen böyle bir  $I_g$  akımı göze uçlarında bir potansiyel gerilime neden olur. Diğer yandan üretilen gerilim göze eklemine ileri yönde uyaracağından  $I_g$  akımına ters bir  $I_d$  diyot akımı da oluşmaktadır. Bu durum şekil 2.11.a' da prensip olarak görülmektedir.



Şekil 2.7. Güneş Gözesi Çalışma Modelleri

Şekil 2.13-b, gözesin ideal eşdeğer devresidir. Çalışma sürecine uygun olarak, ışınım şiddetine göre üretilen  $I_g$  akımını bir akım kaynağı ve bunu azaltan  $I_d$  akımının geçtiği eklem direnci ters diyot şeklinde gösterilmektedir. Dış bir yük için gözeden alınabilecek net akım ( $I$ ), bu iki akımın farkı kadardır[8].

$$I = I_g - I_d = I_g - I_0 (e^{qV/kT} - 1) \quad (2.1)$$

Denklem 2.1 için;

$I$  : Yük akımı (Amper :A)

$I_g$  : Fotonla üretilen akım (A)

$I_0$  : Karanlık ters sızıntı akımı (A)

$q$  : Elektron yükü ( $1.6.10^{-19}$  C.)

$V$  : Uç gerilimi (Volt)

$k$  : Boltzmann sabiti ( $1.38.10^{-23}$  Ws/K)

$T$  : Mutlak sıcaklık (Kelvin : K)

İfade eder.

$I_0$  sızıntı akımı gözenin yapısal özellikleri ve sıcaklığa bağlıdır. Öyle ki bu akım  $e^{-E_g/(kT)}$  ile orantılı olduğundan sıcaklık ile artış göstermektedir.

Güneş gözesi açık devrede en yüksek gerilimi ( $V_{oc}$ ) , kısa devrede ise en yüksek akımı ( $I_{sc}$ ) vermektedir. Kısa devre şartları altında  $I_{sc}$ , eklem direncinden de akım geçmediği düşünülüğünde  $I_g$  akımı olarak değerlendirilebilir ( $I_g = I_{sc}$  ). Denklem 2.1 de  $I = 0$  değerini sağlayan  $V$  terimi gözesin açık devre gerilimine ( $V_{oc}$ ) eşittir.

Böylece:

$$V_m = (kT/q) * \ln[(I_g/I_0)+1] \quad (2.2)$$

$$I_m = I_g - I_0(e^{qV_m/kT} - 1) \quad (2.3)$$

Yukarıdaki bağıntılardan anlaşılacağı üzere en büyük güç noktasındaki akım ve gerilim değerlerinin doğrudan hesaplanması doğrusal olmayan eklem direnci nedeniyle oldukça zordur. Bununla birlikte gözesin iç dirençleri ihmal edilse bile eklem elektriksel karakteristiği gereği alınabilecek en büyük güç ( $P_m$  ) ,  $V_{oc}.I_{sc}$  değerinden küçüktür.  $P_m$  terimini  $V_{oc}.I_{sc}$  ' ye yaklaştırmak için sert geçişli ekleme ihtiyaç vardır. Bir gözenin I-V eğrisinin, güç alınma bölümündeki en yüksek faydalanma oranı, dolgu faktörü (FF) ile tanımlanmaktadır[13].

$$FF = V_m I_m / V_{oc} I_{sc} \quad (2.4)$$

Pil verimi ( $\eta$ ) ise aşağıdaki denklemle tanımlanabilmektedir.

$$\eta = P_m / AP_g = V_m I_m / AP_g = FF V_{oc} I_{sc} / AP_g \quad (2.5)$$



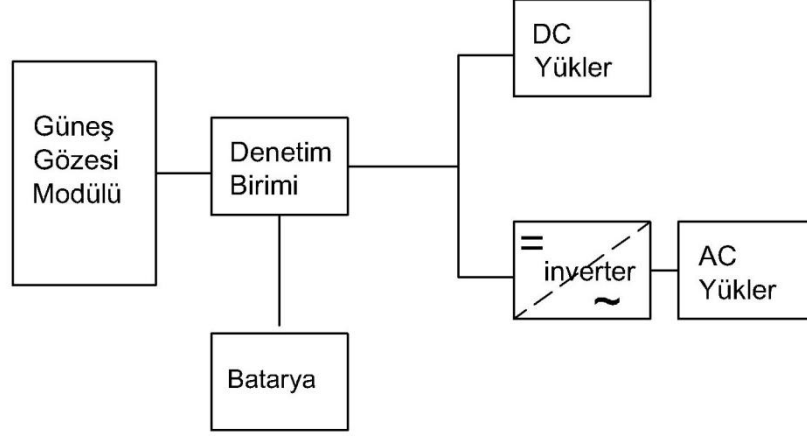
Burada A gözesin yüzey alanı,  $P_g$  ise bu alana düşebilecek toplam ışınım şiddeti ( $W/alan$ ) olarak tanımlı giriş gücüdür[9].

## 2.6. Güneş Gözesi Sistemleri

Güneş gözeleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş gözesi modülleri uygulamaya bağlı olarak, bataryalar, eviriciler, batarya şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş gözesi sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür.

Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş gözesi modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde bataryalar bulundurulur. Güneş gözesi modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu bataryada depolar, yüke gerekli olan enerji bataryadan alınır. Bataryanın aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş gözelerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir evirici eklenerek bataryadaki DA gerilim, 220 V, 380 V veya farklı bir AA gerilim seviyesinde, 50 Hz.lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş gözesinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı

bulunur. Şekil 2.15'te şebekeden bağımsız bir güneş gözesi enerji sisteminin şeması verilmektedir.



**Şekil 2.8.** Güneş Gözesi Sistemleri

Şebeke bağlantılı güneş gözesi sistemleri yüksek güçte-santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DA elektriğin, AA elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir[10].

Güneş gözesi sistemlerinin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır:

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların ( Köprüler, kuleler v.b. ) korozyondan koruması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları

- Bina içi ya da dışı aydınlatılması
- Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aşı soğutma

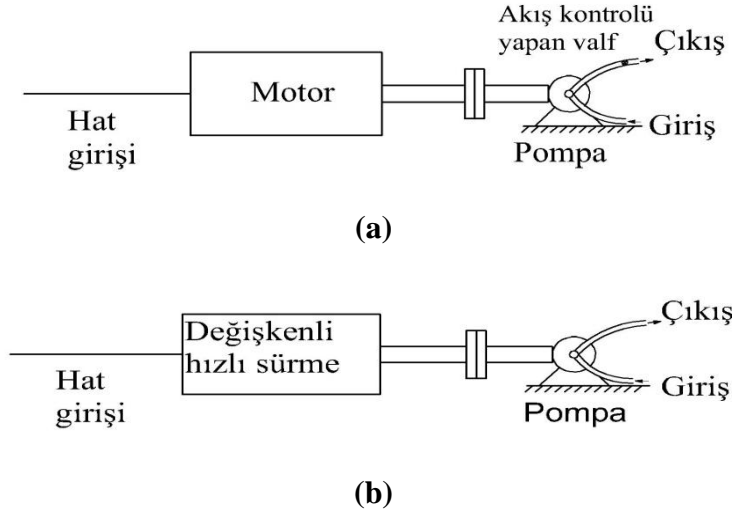
Enerji yaşadığımız toplumda yüzyıllardır çok önemli bir yere sahiptir. Nüfusun artmasıyla enerjiye olan talep de artmıştır. Fosil kaynakların tükenen enerji kaynakları olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasının 2. bölümünde yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş enerjisinden elektrik eldesinin nasıl olduğu anlatılmıştır.

### 3. ASENKRON MOTOR SÜRÜŞ SİSTEMLERİ

#### 3.1. Giriş

Kısa devre rotorlu asenkron motorlar düşük fiyatları ve sağlam yapıları ile endüstrinde yaygın olarak kullanılırlar. Asenkron motor doğrudan şebeke geriliminden beslendiğinde yaklaşık olarak sabit hızda çalışır. Buna karşılık güç elektroniği çeviricileriyle asenkron motorun hızını değiştirmek mümkün olur. Asenkron motor kontrol uygulamalarında değişken hızlı sürüş sistemlerinin önemli bir uygulaması fanların, kompresörlerin, pompaların, hava üfleyicilerinin ve benzerlerinin yer aldığı süreç kontrol uygulamalarıdır.

Bu bölümde, çabuk ve hassas hız kontrol dinamiği gerektirmeyen yerlerde asenkron motor ile hız kontrolünün nasıl yapılacağı ele alınacaktır. Asenkron motor sürücüleri çoğunlukla bu şekilde kullanılmaktadır[14].



Şekil 3.1. a) Merkezkaç (sentrifüj) pompa, sabit hızla tahrik durumunda b) Değişken hızlı tahrik durumunda

Şekil 3.1.a 'da gösterildiği gibi bir merkezkaç pompayı süren basit bir asenkron motor örneğini göz önüne alalım. Burada motor ve pompa yaklaşık sabit hızda çalışmaktadır. Akış hızını azaltmak için akış kontrolü yapan valf oransal olarak

kapatılır. Bu durum, akış kontrolü yapan valfta enerji kaybına neden olur. Akış kontrolü yapan valfin kaldırılması ve Şekil 3.1.b’de görüldüğü gibi istenen akış hızını verecek hızda sürülmesi ile bu enerji kaybı önlenmiş olur.

Şekil 3.1.b’deki sistemde, akış hızını düşürmek için motor hızı düşürüldüğünde, giriş gücü önemli ölçüde azalır. Güç ihtiyacındaki bu azaltma, merkezkaç pompadaki tanımlar kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir[15].

$$\text{Moment} \approx k_1(\text{hız})^2 \quad (3.1)$$

ve böylece pompanın motordan beklediği güç ihtiyacı

$$\text{Güç} \approx k_2(\text{hız})^3 \quad (3.2)$$

dır. Burada  $k_1$  ve  $k_2$  sabit sayılardır.

Motor ve pompa enerji sabitleri, hız ve yük değişimlerinde sabit varsayılırsa asenkron makinanın giriş gücü ihtiyacı hızın üçüncü kuvveti ile değişir. Böylece akış kontrolünü sağlamak için valf ile değişken hızla sürülen pompa karşılaştırıldığında, akışkan hızının uzun süreler için düşük olduğu durumlarda enerji ihtiyacı önemli ölçüde azaltılabilir.

### **3.2. Asenkron Motorun Temel Çalışma Prensipleri**

Asenkron motor uygulamalarının büyük bir çoğunluğu üç fazlı sincap kafes rotoru kısa devre sargılı motorlarla gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle burada üç fazlı sincap kafes rotorlu asenkron motor göz önüne alınacaktır. Asenkron motorun statoru, stator oluklarında dağıtılmış üç faz sargılarından oluşmuştur. Bu üç faz sargıları, uzayda birbirine göre  $120^\circ$ ’lik faz farklarıyla yerleştirilmiştir. Kısa devre rotor, yalıtılmış saç paketlerinden oluşmuştur. Elektriksel olarak iletken çubuklar, bunların içine aksel yönde yerleştirilmiştir [16]. Bu çubuklar rotorun her iki ucunda halkalarla elektriksel olarak kısa devre edilmişlerdir. Böylece kafes biçiminde bir yapı

oluşturulmuştur. Bu aynı zamanda basit, düşük fiyatlı ve sağlam yapılı bir rotoru gösterir.

Asenkron motor ve güç elektroniği çeviricileri arasındaki ilişki aşağıda basit bir şekilde açıklanmaktadır. Motor değişkenleri arasındaki ilişki  $k_j$  ile gösterilmiştir. Ayrıca motorun herhangi bir doyma olmaksızın çalıştığı varsayılmaktadır[14].

Eğer statora dengeli  $f = \frac{\omega}{2\pi}$  frekanslı sinüzoidal üç fazlı gerilimler uygulanırsa dengeli akımlar oluşur. Bu akımlar hava aralığında, genliği sabit ve senkron hız ( $\omega_s$  rad/s) adı verilen sabit bir hızda dönen  $B_{ag}$  akı yoğunluğunu oluşturur. Senkron hız,  $p$  kutuplu bir motor,  $f$  frekansı ile beslendiğinde aşağıdaki gibi elde edilir

$$\omega_s = \frac{2\pi(p/2)}{1/f} \quad (3.3)$$

$\omega_s$ , stator sargılarında uygulanan gerilim ve akımların frekansı  $f$ 'ye bağlıdır. Dakikadaki dönme sayısı (rpm) olarak senkron hız aşağıdaki gibidir.

$$n_s = 60 \times \frac{\omega_s}{2\pi} = \frac{120}{p} f \quad (3.4)$$

Hava aralığı akısı  $\phi_{ag}$  (akı yoğunluğu dağılımı  $B_{ag}$ 'den elde edilen), duran stator sargılarına göre senkron hızda döner. Hava aralığı akısından statorun her bir fazında  $f$  frekanslı ve çoğunlukla zıt-emk (elektro motor kuvvet) olarak adlandırılan bir hava aralığı gerilimi  $E_{ag}$ , endüklenir. Bu büyüklükler Şekil 3.2a'da faz başına eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu şekilde  $V_s$  faz başına gerilim,  $E_{ag}$  hava aralığı gerilimi,  $R_s$  stator sargı direnci,  $L_{ls}$  stator sargısı kaçak endüktansdır. Stator akımı  $I_s$ 'nin mıknatıslanma bileşeni  $I_m$ , hava aralığı akısını oluşturur. Manyetik devre analizinden

$$N_s \phi_{ag} = L_m i_m \quad (3.5)$$

Elde edilir.  $N_s$  stator sargısının faz başına sarım sayısı ve  $L_m$  mıknatıslanma endüktansıdır.. Faraday yasasından;

$$e_{ag} = N_s \frac{d\phi_{ag}}{dt} \quad (3.6)$$

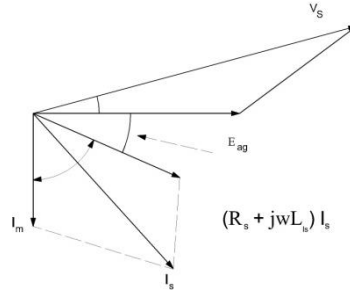
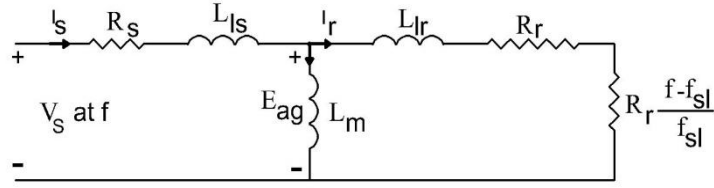
Stator faz sargılarında halkalanan hava aralığı akısı olduğundan, bu değer (3.6) denkleminde yerleştirilerek

$$e_{ag} = N_s \omega \phi_{ag} \cos \omega t \quad (3.7)$$

Elde edilir. Endüklenen gerilimin etkin(rms) değeri

$$E_{ag} = k_3 f \phi_{ag} \quad (3.8)$$

dir. Burada  $k_3$  sabit bir değerdir.



**Şekil 3.2.** Asenkron Motorun Eşdeğer Devresi ve Fazör Diyagramı

Asenkron motorda hava aralığı akısı ve rotor akımlarının etkileşmesinden moment üretilir. Eğer rotor senkron hızda dönüyorsa  $\phi_{ag}$  ile rotor arasında bağıl bir hareket yoktur ve böylece rotorda gerilim endüklenmez, rotor akımları ve moment

oluşmaz. Hava aralığı akısı ile aynı yönde olan ve senkron hız dışındaki herhangi bir rotor hızı  $\omega_r$ 'de motor, hava aralığı akısına göre kayma hızı  $\omega_{sl}$  olarak adlandırılan bir bağlı hızda kayar[14].

$$\omega_{sl} = \omega_s - \omega_r \quad (3.9)$$

Kayma hızı senkron hıza normalize edildiğinde kısaca “kayma”,  $s$  olarak adlandırılır.

$$Kayma \underline{s} = \frac{\text{kaymahızı}}{\text{senkronhız}} = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (3.10)$$

Böylece hava aralığı akısının motora göre hızı,

$$\text{Kayma hızı} = \omega_{sl} = \omega_s - \omega_r = s\omega_s \quad (3.11)$$

olarak hesaplanır. Faraday yasasından, rotor devresinde endüklenen gerilimler kayma hızına oransal olarak bağlı olan kayma frekansındadır. ( $f_{sl}$ ) ve;

$$f_{sl} = \frac{\omega_{sl}}{\omega_s} f = sf \quad (3.12)$$

Herhangi bir rotor iletkeninde endüklenen kayma frekanslı gerilimlerin genliği (E), stator fazlarında endüklenen gerilimlerdeki benzer biçimde elde edilebilir. Stator sargılarını halkalayan aynı hava aralığı akısı  $\phi_{ag}$  rotor iletkenlerini de halkalar. Buna karşılık hava aralığındaki akı yoğunluğu dağılımı, rotor iletkenlerinde  $\omega_{sl}$  kayma hızı ile döner. Böylece rotor iletkenlerinde endüklenen elektromotor kuvvet (emk)  $E_r$ , 3.8 denklemde  $f$  yerine kayma frekansı  $f_{sl}$  yazılarak elde edilebilir [16]. Sincap kafesli rotorun statordaki faz başına sarım sayısı  $N_s$ 'ye eşdeğer üç fazlı kısa devre sargılar ile temsil edilmesiyle ;

$$E_r = k_3 f_{sl} \phi_{ag} \quad (3.13)$$

Denklemlerle elde edilebilir,  $k_3$ , 3.8 denklemdeki katsayı ile aynıdır.



Rotor sincap kafes sargılarının uç kısımları halkalar ile kısa devre edildiklerinden, endüklenen kayma frekanslı gerilimler  $f_{sl}$  kayma frekanslı rotor akımları  $I_r$ 'yi oluşturur.

$$E_r = R_r I_r + j2\pi f_{sl} L_{lr} I_r \quad (3.14)$$

Faz başına eşdeğer rotor sargılarının direnci  $R_r$  ve kaçak endüktansı  $L_{lr}$ 'dir. Kayma frekanslı rotor akımları, rotora göre kayma hızı ile döner ve böylece statora göre senkron hızdadır. Hava aralığı akısı  $\Phi_{ag}$  ile rotor akımlarının ürettiği akının karşılıklı etkileşimi elektromanyetik bir moment oluşturur. Rotor sargıları dirençlerindeki kayıplar

$$P_r = 3R_r I_r^2 \quad (3.15)$$

dir. 3-14 denkleminin her iki tarafını  $f/f_{sl}$  ile çarpar, 3-8 ile 3-3 denklemleri de kullanılarak;

$$E_{ag} = \frac{f}{f_{sl}} E_r = f \frac{R_r}{f_{sl}} I_r + j2\pi f L_{lr} I_r \quad (3.16)$$

elde edilir. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi  $fR_r/f_{sl}$  ifadesi,  $R_r$  ile  $R_r (f - f_{sl})/f_{sl}$ 'nin toplamını göstermektedir. 3.16 denkleminin her iki tarafını  $I_r^*$  ile çarpar ve reel kısmını alırsak, hava aralığındaki güç genellikle hava aralığı gücü olarak adlandırılan  $P_{ag}$ ;

$$P_{ag} = 3 \frac{f}{f_{sl}} R_r I_r^2 \quad (3.17)$$

Elde edilir. 3.17 ve 3.15 denklemlerinden elektromekanik güç  $P_{em}$ ;

$$P_{em} = P_{ag} - P_r = 3R_r \frac{f - f_{sl}}{f_{sl}} I_r^2 \quad (3.18a)$$

olarak hesaplanır

$$T_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_r} \quad (3.18b)$$

3.9, 3.7, 3.18a ve 3.18b denklemlerinden

$$T_{em} = \frac{P_{ag}}{\omega_s} \quad (3.18c)$$

Şekil 3-2a'daki eşdeğer devrede rotor dirençlerindeki kayıplar ve faz başına elektromekanik güç 3.16 denklemlerindeki  $f \frac{R_r}{f_{sl}}$  direncinin,  $R_r$  ve  $R_r(f - f_{sl})/f_{sl}$ 'ye bölünmesiyle gösterilmektedir.

Statorda oluşan toplam akım  $I_s$ , mıknatıslanma akımı  $I_m$  ve  $I_r$ 'nin toplamına eşittir. ( $I_r$  burada stator akımının gerçek rotor akımı tarafından üretilen amper sarımı karşılar.)

$$I_s = I_m + I_r \quad (3.19)$$

Şekil 3.2.b'de stator gerilimleri ve akımlarının fazör diyagramı gösterilmektedir.  $\phi_{ag}$ 'yi oluşturan mıknatıslanma akımı  $I_m$ , hava aralığı geriliminden  $90^\circ$  geridedir. Elektromanyetik momenti oluşturan  $I_r$  akımı  $E_{ag}$ 'den rotor devresinin güç faktör açısı

$$\theta_r = \tan^{-1} \frac{2\pi f_{sl} L_{lr}}{R_r} = \tan^{-1} \frac{2\pi f L_{lr}}{R_r f / f_{sl}} \quad (3.20)$$

dir. Elektromanyetik teoriden moment;

$$T_{em} = k_4 \phi_{ag} I_r \sin \delta \quad (3.21)$$

Olarak üretilir. Burada  $\delta$ ;

$$\delta = 90 + \theta_r \quad (3.22)$$

$\phi_{ag}$ 'yi oluşturan mıknatıslanma akımı  $I_m$  ile rotor alanını temsil eden  $I_r$  arasındaki moment açısıdır [14]. Faz başına uygulanan stator gerilimi  $V_s$ ;

$$V_s = E_{ag} + (R_s + j2\pi f L_{ls}) I_s \quad (3.23)$$

Normal tasarlanan asenkron motorda fsl 'nin düşük değerlerinde rotor devresinde aşağıdaki koşul doğrudur;

$$2\pi f_{sl} L_{lr} \ll R_r \quad (3.24)$$

Böylece 3-20 denklemindeki  $\theta_r$  yaklaşık olarak sifira eşittir. Böylece 3.22 denklemindeki moment açısı d,  $90^\circ$ 'ye eşittir [17]. Böylece 3-21 denklemini;

$$T_{em} = k_4 \phi_{ag} I_r \quad (3.25)$$

olur. 3-13 ve 3-14 denklemlerinden ve 3-24 denklemindeki yaklaşım kullanılarak

$$I_r \approx k_5 \phi_{ag} f_{sl} \quad (3.26)$$

elde edilir. 3-25 ve 3-26 denklemleri birlikte kullanılarak

$$T_{em} \approx k_6 \phi_{ag}^2 f_{sl} \quad (3.27)$$

oluşturulur. 3-24 denklemindeki yaklaşım 3-19 denklemine de uygulanarak,

$$I_s = \sqrt{I_m^2 + I_r^2} \quad (3.28)$$

Elde edilir. Normal motor parametreleri için çalışma frekansı f'nin en düşük değerleri dışında

$$V_s \approx E_{ag} \quad (3.29)$$

3.29 denkleminde 3.8 kullanıldığında

$$V_s = k_3 \phi_{ag} f \quad (3.30)$$

elde edilir. 3.15 ve 3.18a denklemlerinden rotordaki güç kaybının çıkış elektromekanik güç  $P_{em}$ 'ye oranı

$$\%P_r = \frac{P_r}{P_{em}} = \frac{f_{sl}}{f - f_{sl}} \quad \text{dır.} \quad (3.31)$$

Önemli gözlemler aşağıdaki ilişkilerden elde edilebilirler[14, 15].

- 1) Senkron hız uygulanan gerilimin  $f$  frekansının değişimi ile değiştirilebilir.
- 2)  $f$  'nin dūřuk deęerleri harię motor direncindeki gūę kaybının yūzdesi dūřūktūr ve oluřan  $f_{sl}$  'de kūęūktūr. Bōylece sūrekli rejimde kayma frekansı  $f_{sl}$  kendi nominal deęerini ařmaz (nominal kořulların listelendięi plaka deęerlerinde motor ęalıřmasına karřı dūřer).
- 3)  $f$  'nin dūřuk deęerleri harię  $f_{sl}$  ile s kayması kūęūktūr ve motor hızı uygulanan gerilimin frekansı ile yaklařık doęrusal deęiřir.
- 4) Herhangi bir frekansta nominal momente eřit bir momenti oluřturma kapasitesini saęlamak ięin  $\Phi_{ag}$  kendi nominal deęerinde sabit tutulmalıdır. Bu durumda  $V_s$  'nin  $f$  ile oransal olarak deęiřtirilmesine gerek vardır.  $f$  'nin dūřuk deęerlerinde daha sonra anlatılacaęı gibi gerilimin yūkseltilmesine gerek vardır.
- 5)  $I_{r0}$  ,  $f_{sl}$  ile oransal olarak bağlı olduğundan motor akımı  $I_s$  'nin nominal değerini aşmamalıdır.

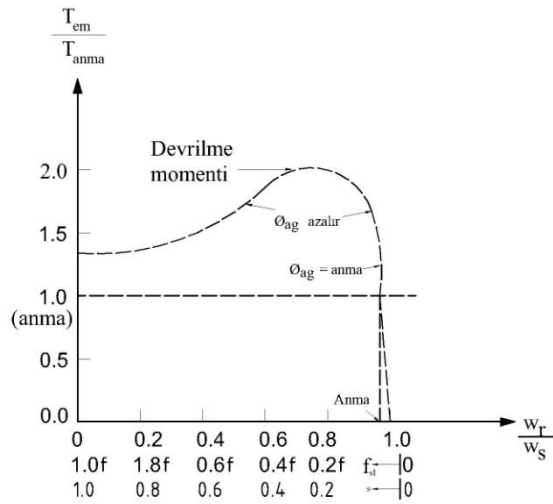
ōnceki gōzlemlere dayanarak motor hızı uygulanan  $f$  frekansının kontrolü ile değiştirilebilirken, uygulanan gerilimin genliği  $f$  'ye bir katsayı ile bağlı olarak değiştirildiğinde, hava aralığı akısı nominal değerinde sabit tutulduğu sonucuna varılabilir. Asenkron motor bu şekilde kontrol edildiğinde  $f_{sl}$  ,  $I_r$  ,  $I_s$  ve rotor devresindeki kayıpların tūmūnū kendi nominal değerleri iğinde kaldığında, motor nominal momentini oluşturma kapasitesine sahiptir[13].

### **3.3 Anma (Hat) Frekans ve Geriliminde Asenkron Motor Karakteristikleri**

Asenkron motorun frekans ve gerilim plaka deęerlerin karřı dūřen tipik karakteristikleri řekil 3.3 ve 3.4'te gōsterilmektedir. Bu řekillerde  $T_{em}$  ve  $I_r$  sırası ile

rotor hızı ve  $f_{sl}$ 'nin fonksiyonu olarak verilmektedir.  $f_{sl}$ 'nin düşük değerlerinde  $T_{em}$  ve  $I_r$ ,  $f_{sl}$  ile doğrusal olarak değişir[18].  $f_{sl}$  daha büyük değerlerinde  $T_{em}$  ve  $I_r$ ,  $f_{sl}$ 'ye göre doğrusal değişmemesinin nedenleri aşağıdaki gibi verilebilir:

- 1) Rotor devresi endüktif reaktans terimi 3.4 denkleminde verilen  $R_r$ 'nin yanında artık ihmal edilemez.
- 2) 3.20 denklemindeki  $\Theta_r$  etkin olmaya başlar, bunun sonucu olarak  $\delta$ ,  $90^\circ$  olan optimum değerinden uzaklaşır.
- 3)  $I_r$ 'nin ve dolayısıyla  $I_s$ 'nin daha büyük değerlerinde 3.23 denklemindeki stator sargı empedansında önemli ölçüde gerilim düşümüne yol açar ve böylece  $\Phi_{ag}$  ( $=E_{ag}I_f$ ), değeri,  $f$  frekanslı sabit bir  $V_s$  besleme gerilimi için azalır[19]. Bu faktörler aynı anda etkili olup  $f_{sl}$ 'nin büyük değerleri için Şekil 3.3 ve 3.4'te kesikli çizgilerle verilen moment ve akım karakteristiklerine yol açarlar.

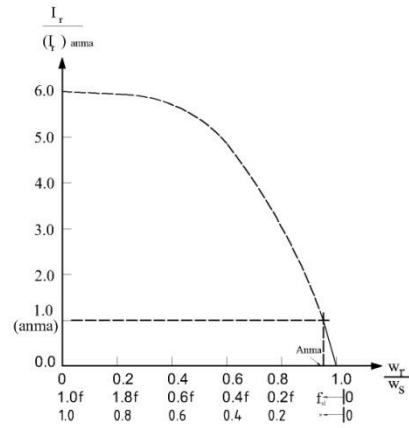


**Şekil 3.3.** Asenkron motorun tipik bir moment-hız karakteristiği;  $V_s$  ve  $f$  anma değerlerinde sabit tutulmuştur.

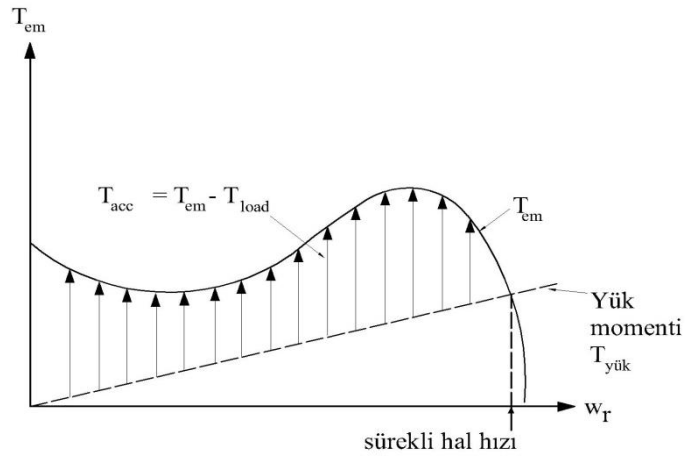
Motorun üretebildiği en büyük moment devrilme momenti olarak adlandırılır.

Çoğu asenkron motor tahrik sistemlerinde  $f_{sl}$  küçük tutulur böylece Şekil 3.3 ve

3.4'te gösterilen moment ve akım karakteristiğinin kesikli çizgilerle gösterilen kısmı kullanılmaz. Ancak, asenkron motora güç elektroniği devreleri kullanılmadan doğrudan şebeke besleme gerilimi ile yol verildiğinde Şekil 3-4'te gösterildiği gibi yol alma akımı 6 ila 8 katına çıkacaktır. Şekil 3-5'te yol alma momenti ( $T_{em}-T_{yük}$ ) verilmektedir. Burada, yüke ilişkin sürekli rejimdeki çalışma noktasını belirleriz[11].



Şekil 3.4. Asenkron motorun rotor akımı ile kayma frekansı grafiği  $I_r, fsl$



Şekil 3.5. Asenkron motorda yol alma;  $V_s$  ve  $f$  anma değerlerinde sabit tutulmuştur.

### 3.4. Stator Frekans ve Gerilim Değiştirilmesi İle Hız Kontrolü

Bölüm 3.2’de görüldüğü gibi, hız, senkron hız (ve böylece kaymanın küçük tutulması koşulu ile motor hızı)  $V_s$ ’nin  $f$  ile doğrusal olarak değiştirilerek  $\omega_{ag}$ ’nin sabit tutulması ile kontrol edilebilir. Başka hız kontrol yöntemleri de mevcuttur, ancak gerilim ve frekansın değiştirilmesi ile hız kontrolü sıkça tercih edilen bir teknik olduğu için burada ayrıntılı olarak incelenecektir [13]. Güneş Evi Uygulama ve Eğitim Parkı içerisinde kurulan sistemimizde, kullanılan asenkron motorun hız kontrolü, asenkron motorun stator frekansının ve gerilim değerinin değiştirilmesiyle yapılmıştır

#### 3.4.1. Moment Hız Karakteristikleri

$f_{sl}$ ’nin küçük değerleri için  $\omega_{ag}$ ’nin sabit tutulması,  $f$ ’nin herhangi bir değeri için aşağıdaki gibi, doğrusal bir  $T_{em}$  ve  $f_{sl}$  ilişkisine karşı düşer.

$$T_{em} \approx k_7 f_{sl} \quad (3.32)$$

Bu ilişki, Şekil 3-3’deki moment hız karakteristiğinin sabit çizgilerle verilen kısmında temsil edilmektedir  $f$  değiştirildiğine göre,  $T_{em}$  ‘yi  $\omega_{sl}$  kayma hızının bir fonksiyonu olarak ifade etmek daha anlamlı olabilir. 3.3 ve 3.12 denklemlerinden hareketle

$$\omega_{sl} = \frac{f_{sl}}{f} \omega_s = \frac{4\pi}{p} f_{sl} \quad (3.33)$$

3.32 ve 3.33 denklemlerinden ise,

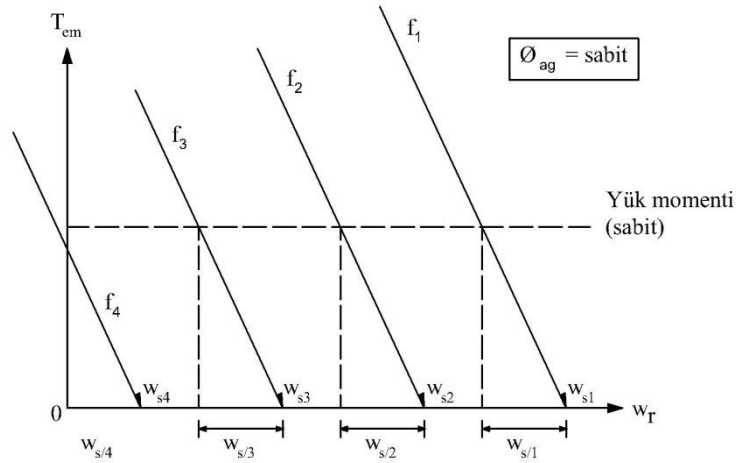
$$T \approx k_{10} \omega_{sl} \quad (3.34)$$

Buna ilişkin karakteristik  $f$  frekansının,  $\omega_{sl}$  senkron hızına karşı düşen bir  $f_1$  , değeri için Şekil 3-6’da gösterilmektedir [12].

Moment- hız karakteristikleri Şekil 3.6’da dört farklı  $f$  değeri için gösterildiği gibi, yatay düzlemde paralel olarak ötelenmektedirler. Bu durumu açıklamak amacıyla,  $f_1$  ve  $f_2$  şeklinde iki frekans değerini göz önüne alalım.  $\omega_{s1}$  ve  $\omega_{s2}$  senkron

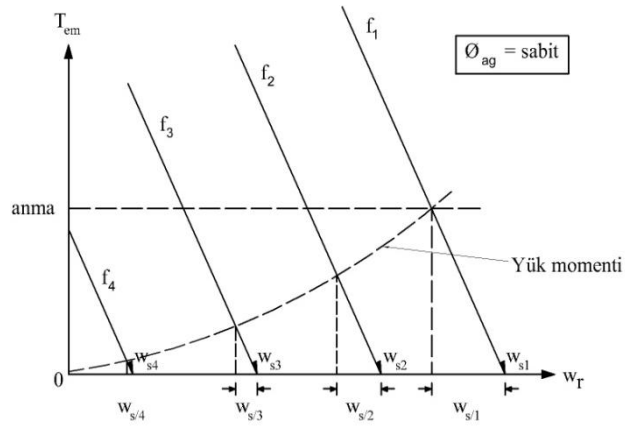
hızları  $f_1$  ve  $f_2$  frekansları ile orantılıdır. Her iki frekansta da aynı bir yük momenti söz konusu ise 3.34 denkleminde görüldüğü gibi  $\omega_{s/1} = \omega_{s/2}$ 'dir. Bu nedenle, Şekil 3-6'daki moment-hız düzleminde  $f_1$  ve  $f_2$ 'deki eşit moment ve kayma hızları paralel, ancak ötelenmiş karakteristiklere yol açacaktır.

Burada, sabit bir yük momentinde, rotor devresinde endüklenen gerilim ve akımların frekansı olan kayma frekansının sabit olduğu, fakat 3.12 denkleminde görüldüğü gibi  $f$  frekansı düştükçe  $s$  kaymasının artacağı unutulmamalıdır. 3.31 denkleminde göre rotordaki güç kaybı yüzdesi, motor hızını azaltmak üzere  $f$  azaldıkça artar. Ancak, santrifüj pompa, kompresör ve fan yükü gibi durumlarda, 3.1 denkleminde görüldüğü gibi, yük momenti hızın karesi ile azalır. Bu gibi durumlarda Şekil 3.7'de gösterildiği gibi  $s$ 'nin yanı sıra  $f_{sl}$ 'de, frekans değeri düştükçe azalır. Böylece rotor kayıpları küçük kalır[14].



**Şekil 3.6.** Asenkron motorun sabit bir  $\Phi_{ag}$  ve küçük kayma değerlerinde moment-hız karakteristikleri





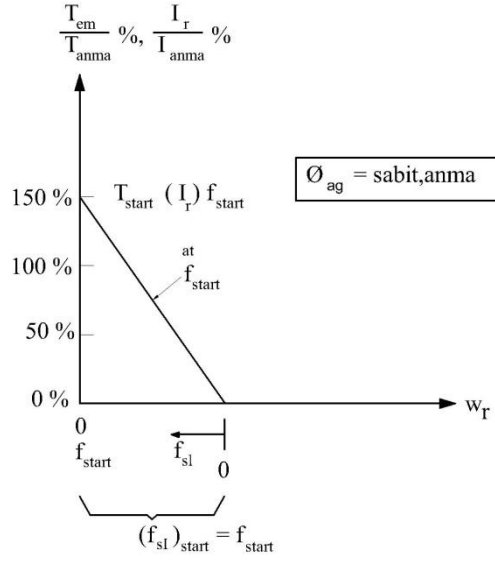
**Şekil 3.7.** Asenkron motorda hızın karesiyle değişen santrifüj pompa tipi yük momentini

### 3.4.2. Yol Almada Göz Önüne Alınacak Hususlar

Yarı iletkenli bir eviriciyle sürülen bir asenkron motor durumunda yol alma sırasında çekilen akımın çok fazla yükselmesi engellenmelidir. Bunu sağlamak için aşağıdaki ilişkilerden yararlanılabilir: sabit bir  $\Delta_{ag}$  için 3.26'dan

$$I_r \approx k_8 f_{sl} \quad (3.35)$$

3.32 ve 3.35 kullanılarak, motora  $f(=f_{start})$  frekansından başlanarak nasıl yol verileceğini göstermek üzere  $T_{em}$  ve  $I_r$  Şekil 3.8'de verilmektedir. Başlangıçta  $f_{sl}=f_{start}$  olduğu için  $I_r$ , uygun bir  $f_{start}$  seçilerek sınırlandırılabilir. Sabit bir  $\Delta_{ag}$ 'ye karşı düşen sabit bir  $I_m$  ile stator akımı,  $I_s$  sınırlı tutulur[14,16].

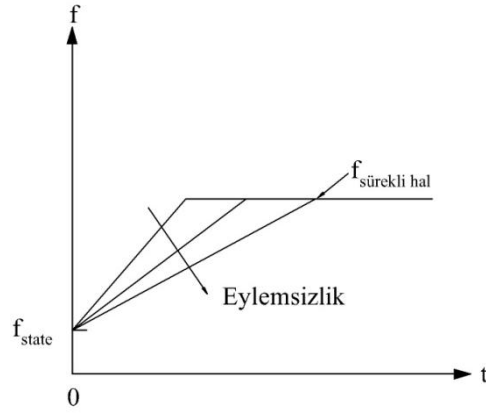


**Şekil 3.8.** Yol almada frekans

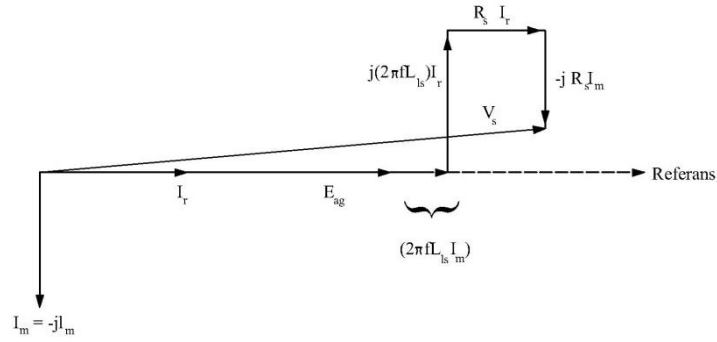
Pratikte, stator frekansı  $f$ , istenen son hız değeri sağlanana dek Şekil 3.9’da gösterildiği gibi belirli bir eğimle artırılır. Bu eğim, büyük eylemsizlik değerlerinde rotorun istenen hızı yakalayabilmesi için düşük tutulur.

### 3.4.3. Düşük Frekanslarda Gerilim Yükseltme Gereksinimi

Düşük  $f$  çalışma frekanslarında  $R_s$ ’nin etkisi,  $f_{sl}$  küçük olsa bile ihmal edilemez. Bu nokta aşağıdaki gözlem yapıldığında kolayca anlaşılabilir: Normal bir tasarıma sahip asenkron motorda,  $2\pi f L_r$  Şekil 3.2a’daki eşdeğer devreye ilişkin  $R_r (f / f_{sl})$ ’nin yanında ihmal edilebilir.



**Şekil 3.9.**  $f$  frekansının yol almada artırılması



**Şekil 3.10.** Küçük  $fsl$  değerlerinde fazör diyagramı

Bu nedenle,  $I_r$ ,  $E_{ag}$  ile aynı fazda olacaktır.  $E_{ag}$ 'yi referans fazör olarak  $I_s = I_r - jI_m$ .

Böylece, (3.23) aşağıdaki gibi yazılarak

$$V_s = [E_{ag} + (2\pi f L_{ls})I_m + R_s I_r] + j[(2\pi f L_{ls})I_r - R_s I_m] \quad (3.37)$$

Şekil 3.10'daki fazör diyagramı ile temsil edilebilir şekilde görüldüğü gibi, 3.37'nin sağ tarafındaki ikinci terim  $V_s$ 'ye yaklaşık dik olan bir fazöre karşılık düşer ve bu nedenle,  $V_s$ 'nin genliği üzerindeki etkisi ihmal edilebilir[14, 15]:

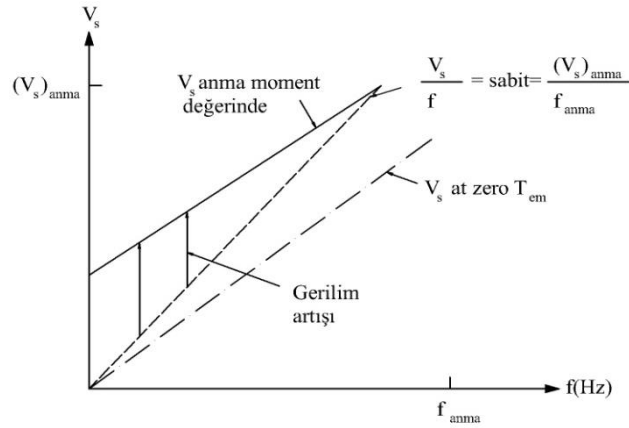
$$V_s \approx E_{ag} + (2\pi f L_{ls})I_m + R_s I_r \quad (3.38a)$$

$\phi_{ag}$  sabit tutulduğunda ise,  $E_{ag}$   $f$  ile doğrusal olarak değişir.  $\phi_{ag}$ 'nin sabitliği durumunda  $I_m$ 'de sabittir. Böylece, 3-38a'da  $L_{ls}$  nedeniyle, gereken ilave gerilim  $f$

çalışma frekansıyla orantılıdır. Bu şekilde sabit bir  $\Phi_{ag}$  için 3.38a aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$V_s \approx k_{12}f + R_s I_r \quad (3.38b)$$

3.38a'dan görüldüğü gibi  $\Phi_{ag}$ 'nin sabit tutulması için  $R_s$  üzerindeki gerilim düşümünün telafisi için gerekli ilave gerilim  $f$ 'ye değil,  $I_r$ 'ye bağlıdır.  $I_r$ 'nin  $T_{em}$ 'yle orantılı olduğu göz önünde bulundurularak,  $\Phi_{ag}$ 'nin anma moment değerinde sabit tutulması için gerekli uç gerilimi Şekil 3.11'de kesikli bir çizgi ile gösterilmektedir. Verilen bir  $T_{em}$ 'ye karşı düşen sabit hava aralığı akısını sağlamak üzere gerekli gerilim artışı 3.38b ve Şekil 3.11'den hareketle elde edilebilir. Şekil 3.11'de görülmektedir ki  $\Phi_{ag}$ 'nin sabit tutulması için, düşük frekanslarda  $R_s$  üzerindeki gerilim düşümü nedeniyle daha yüksek gerilim artış yüzdeleri gerekmektedir; buna karşılık, yüksek  $f$  değerlerinde,  $R_s$  üzerindeki gerilim düşümü  $E_{ag}$ 'nin yanında ihmal edilebilir. Yüksüz durumda gereken gerilim, noktalı kesikli bir eğriyle gösterilmektedir.



Şekil 3.11.  $f$  frekansının yol almada artırılması

#### 3.4.4. Asenkron Motorun Anma Hız Alt ve Üst Değerlerinde Çalışma Kapasitesi

Frekansın (ve gerilimin) değiştirilmesi ile yapılan hız kontrolü motorun yalnızca anma hız değerinin altında değil, aynı zamanda anma hızının üstündeki

değerlerde de kontrol edilmesini sağlar. Sağlam yapıları nedeniyle herhangi bir mekanik probleme yol açmaksızın anma hızlarının iki katına çıkabilen asenkron motorların çoğu uygulama için tercih edilme nedenlerinden biri budur. Ancak hızın bir fonksiyonu olarak moment ve güç kapasitelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Şekil 3.12a'da motora ilişkin moment-hız karakteristiğinin Şekil3.12b'de  $V_s$ ,  $I_r$ ,  $I_m$  ve  $T_{em}$ 'nin normalize rotor hızının bir fonksiyonu olarak değişimleri  $f_{sl}$  ve  $s$ 'nin değişimleri ise Şekil3.12c'de verilmektedir. Büyük motorlarda, kapasite sınırında çalışırken 3.28'de  $I_m$ 'nin  $I_s$ 'ye katkısı küçük olduğundandır [14].

#### **3.4.4.1. Anma Hızının Altında Çalışma; Sabit Moment Bölgesi**

Hızın anma değerinin altındaki çalışma bölgesinde, Şekil3.12a'daki kesiksiz eğriler,  $V_s/f$ 'nin kontrol edilmesiyle  $\phi_{ag}$ 'nin sabit tutulduğu düşük  $f_{sl}$  değerlerine ilişkin moment-hız karakteristikleri verilmektedir. Stator geriliminin genliği Şekil3.12b'de gösterildiği gibi, frekansla yaklaşık orantılı olarak anma değerinden başlatılarak çok düşük değerlere kadar azaltılır.  $\phi_{ag}$  sabit tutularak, motorun Şekil3.12'de gösterildiği gibi sabit  $f_{sl}$  'de anma akımını çekerek sürekli olarak anma momentini oluşturması sağlanabilir. Bu nedenle, anma hızının altındaki bu bölge sabit moment bölgesi olarak adlandırılır. Bu bölgede, anma momenti oluşturulurken  $f_{sl}$  tam yük (anma yükü) değerinde sabit kalır. Şekil3.12c  $f_{sl}$  ve  $s$ 'yi göstermektedir.

Sabit anma momentinde  $I_r$ 'nin sabit kaldığı durumda rotor dirençlerindeki güç kaybı da sabit kalır. Ancak, pratikte  $P_r$ 'den ötürü oluşan rotor ısısından kurtulmak özellikle soğutmanın azaldığı düşük hız değerlerinde bir sorun haline gelir. Bu nedenle, motorun sabit hızda çalışan bir fanı veya tamamen kapalı ve havalandırmasız bir yapıda tasarlanmadıkça çok düşük hızlarda moment kapasitesi düşer[16]. Tabii bu

durumda düşük hızlarda çok düşük moment gerektiren santrifüj pompa tipi yükler için söz konusu değildir[16].

#### 3.4.4.2. Anma Hızının Üstünde Çalışma: Sabit Güç Bölgesi

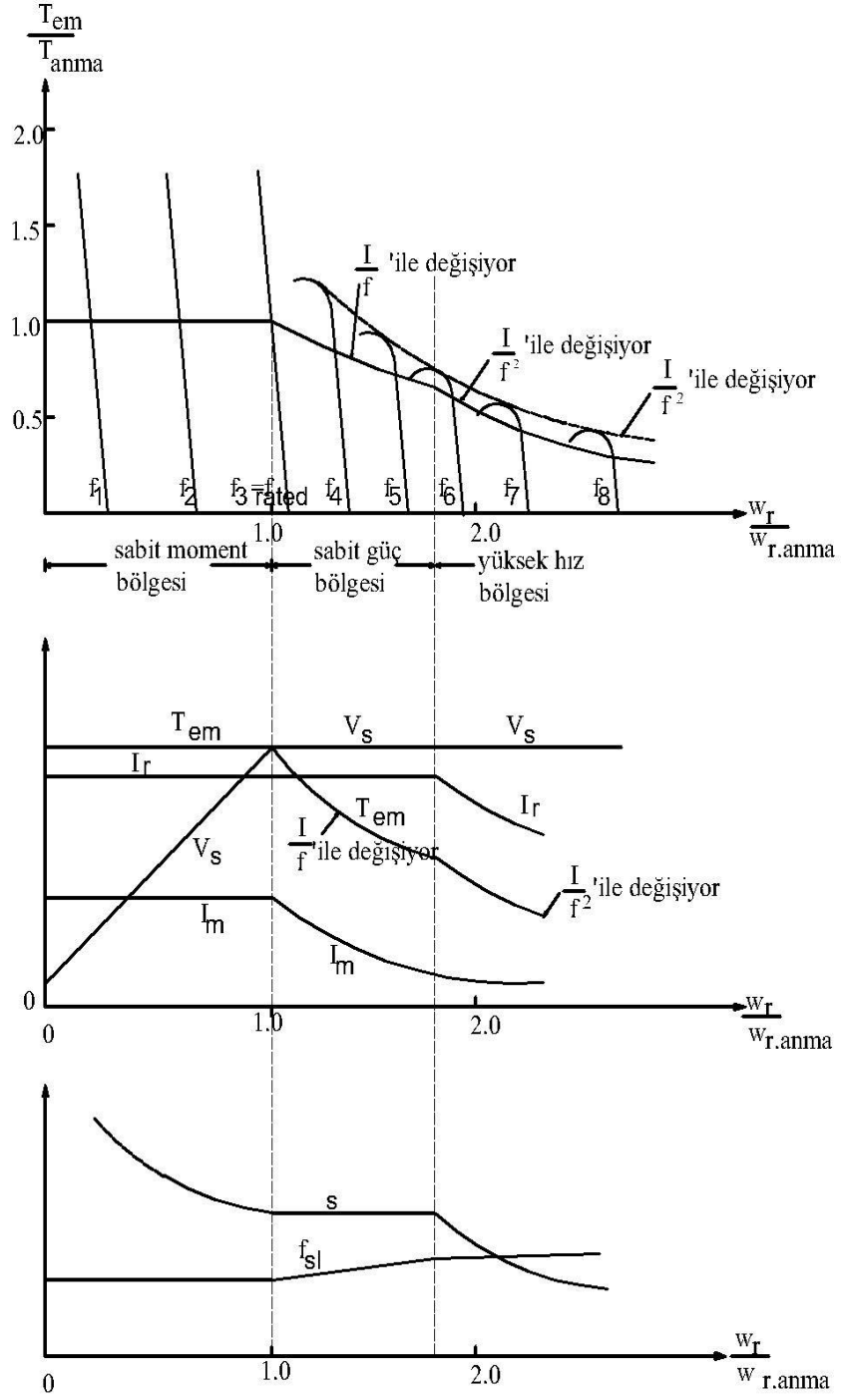
Stator frekansını anma değerinin üzerine çıkartarak motor hızını anma hızının üstüne çıkartmak mümkün olur. Çoğu hız ayarlı sürme sistemi uygulamasında, Bölüm 3.4.4.4'te anlatılanın aksine motor gerilimi anma değerinin üzerine çıkartılmaz. Böylece  $V_s$ 'nin anma değerinde tutularak  $f$  frekansının artırılmasıyla düşen bir  $V_s/f$  oranı, ve dolayısıyla azalan bir  $\phi_{ag}$  elde edilir. 3.27, 3.30 ve 3.33'ten hareketle bu bölgede,

$$T_{em} \approx \frac{k_{13}}{f^2} \omega_s \quad (3.39)$$

Bu şekilde anma frekansından daha yüksek değerler için Şekil3.12a'da gösterildiği gibi, eğimin  $(1/f)^2$  ile orantılı moment-hız eğrileri elde edilir.

Bu bölgedeki motor kapasite sınırında,  $I_r$  önceki bölgede olduğu gibi, anma değerini alır. Bu da, aynı bölgede ve 3.12, 3.26 ve 3.30 'la gösterebilen sabit bir  $s = f_{sl}/f$  'ye karşı düşer.

$$I_r \approx k_9 \frac{f_{sl}}{f} \approx k_9 s = \text{sabit} \quad (3.40)$$



**Şekil 3.12.** Asenkron motor kapasite ve karakteristikleri

Bu durumda  $f_{sl}$  kayma frekansı Şekil 3.12 c' de gösterildiği gibi  $f$  ile artar. Sabit bir kayma değerinde

$$\omega_r = (1-s)\omega_s = k_{15}f \quad (3.41)$$

Maksimum moment,  $V_s$  ve  $f_{s1}/f$  sabit değerler şeklinde alınarak 3.27 ve 3.30'dan hareketle anma moment ve frekansının bir fonksiyonu biçiminde hesaplanabilir [14];

$$T_{em,max} = \frac{f_{anma}}{f} T_{anma} \quad (3.42)$$

Böylece, 3.41'den  $\omega_r$ 'nin  $f$  ile orantılı olduğu da hatırlanarak anma değerinde sabit tutulabilir. Bu çalışma bölgesine sabit güç bölgesi denir. Şekil 3.12b'de  $V_s$ ,  $I_r$ ,  $I_m$  ve  $T_{em}$ 'nin maksimum sürekli hal değeri verilmiştir. Pratikte, motor aşağıdaki nedenlerden dolayı anma gücünün üstünde değerlere çıkabilir:

1.  $\emptyset_{ag}$  azaldıkça  $I_m$  değeri düşer ve bu şekilde anma değerindeki  $I_s$  nedeniyle daha yüksek  $I_r$  ve dolayısıyla, daha yüksek moment ve güç değerlerine çıkılır.
2.  $I_m$  düşürüldüğü için, demir (çekirdek) kayıpları düşer ve aynı zamanda yüksek hızlarda daha iyi bir soğutma sağlanır.

#### 3.4.4.3. Yüksek Hızda Çalışma; Sabit $f_{s1}$ Bölgesi

$V_s$  anma değerinde ve motor yapısına bağlı olarak, hız anma değerinin 1,5 - 2 katının üzerinde iken,  $\emptyset_{ag}$  Şekil 3.12a'da gösterildiği gibi, motor devrilme moment değerine yaklaşacak şekilde azaltılır. Daha da yüksek hız değerinde, motor Şekil 3.12a'da gösterildiği gibi devrilme momentinin sadece bir yüzdesi kadarını sağlar, ve  $\omega_{s1}(f_{s1})$  sabit hale gelir. Bu şekilde moment kapasitesi

$$T_{em,max} \approx k_9 \frac{1}{f^2} \quad (3.43)$$

şeklinde azalır. Gerek moment, gerekse motor akımı Şekil 3.12b'de gösterildiği gibi, hızla birlikte azalır.  $V_s$  sabit tutulduğu takdirde bu bölgedeki moment değeri yine bu



bölge sınırındaki akım Şekil 3.12b’de gösterildiği gibi, anma değerinin altında olup artan hız değeri ile de azaldığından, akım nedeniyle sınırlamaya girmez; aksine motorun oluşturduğu maksimum momentle sınırlanır.

#### **3.4.4.4. Yüksek Gerilimde Çalışma**

Çoğu motorda, gerilim yalıtma seviyesi motorun belirlenmiş anma geriliminden yüksektir. Bu nedenle yarı iletkenli bir güç kaynağı aracılığıyla anma değerinden yüksek hızlarda, anma değerinin üzerinde gerilim değerleri uygulamak mümkün olur.

Bu durum özellikle çift gerilim seviyeli motorlar için geçerlidir.

#### **3.4.5. Sinüzoidal Olmayan Beslemenin Asenkron Motor Üzerindeki Etkisi**

Değişen frekanslı kontrolörler her fazda birbirinin aynı, sadece aralarında  $120^\circ$  şer derece faz farkı olan üç fazlı gerilim veya akımlar oluştururlar. Ancak maalesef saf sinüs biçiminde olmayıp, temel frekans bileşeninin yanı sıra yüksek frekanslı harmonikler içerirler. Aşağıdaki incelemede, gerilim kaynaklı eviricilerde olduğu gibi, motorun üç fazlı bir gerilim kaynağından beslendiği varsayılacaktır. Bu inceleme akım kaynaklı eviricide olduğu gibi, üç fazlı akım kaynağına da uygulanabilir[14,16].

##### **3.4.5.1. Motor Harmonik Akımları**

Birinci dereceden bir yaklaşım olarak gerilimin harmonikli olması durumunda akım, Şekil3.2a’daki faz eşdeğer devresinden hareketle akım  $i_h$  harmonik akım bileşeni bulunarak hesaplanabilir. Bu şekilde süperpozisyon ilkesi kullanılıp temel bileşenin yanı sıra tüm diğer harmonik bileşenleri eklenerek motor akımı elde edilebilir.

Herhangi bir  $h$  harmoniğinde, gerilimin ( $v_{ah}, v_{bh}, v_{ch}$ ) bileşenleri tarafından üretilen akı hava aralığında

$$\omega_{sh} = h\omega_s \quad (3.44)$$

hızıyla döner.  $h= 6n-1$  ( $n=1,2,3,\dots$ ) harmoniğinin ürettiği akının, temel bileşenlere göre ters yönde döneceği kolayca gösterilebilir. Böylece bu harmonikler rotora göre ters yönde dönen bir akı oluştururlar.  $h=6n+1$  ( $n=1,2,3,\dots$ ) şeklinde harmonikler ise rotorda aynı yönde dönen bir akı oluşturur.

Hız kontrolü için değişken frekanslı çalışmada motor oldukça düşük bir kayma değerinde döner; böylece, yine birinci dereceden bir yaklaşımla, rotor hızının temel bileşen senkron hızıyla aynı olduğu varsayılabilir:

$$\omega_r \approx \omega_s \quad (3.45)$$

Bu nedenle, Şekil 3-2a'da eşdeğer devrenin bir  $h$  harmoniğinde, 3-44 ve 3-45 kullanıldığında, o harmonik frekansına ilişkin senkron hıza karşı düşen rotor kayması

$$\text{Kayma } s_h = \frac{\omega_{sh} \pm \omega_r}{\omega_{sh}} \approx \frac{h \pm 1}{h} \approx 1 \quad (3.46)$$

şeklindedir. Burada, artı ve eksi işareti, sırası ile rotorun dönüşüne ters veya aynı yöndeki hareketi ifade etmektedir.  $h$  harmonik frekansındaki yaklaşık eşdeğer devre Şekil 3-15'te verilmiştir. Bu devre Şekil 3-2a'daki eşdeğer devrede  $L_m$  ihmal edilerek elde edilir. Motorun bir gerilim kaynağından beslendiği ve  $v_s$  stator harmonik gerilimlerinin bilinmesi durumunda, buna karşı düşen akım harmonikleri yine süper pozisyon ilkesi ve her bir harmonik için teker teker Şekil 3.15'teki eşdeğer devre kullanılarak bulunabilir.

Akım harmonik bileşenlerini hesaplamak için mıknatıslanma bileşenleri genellikle ihmal edilebilir ve harmonik akım bileşenleri harmonik frekansında  $R_s$  ve  $R_r$ 'nin yanında oldukça önemli değerde olan kaçak reaktanslarca belirlenir;

$$I_h \approx \frac{V_h}{h\omega(L_{ls} + L_{lr})} \quad (3.47)$$

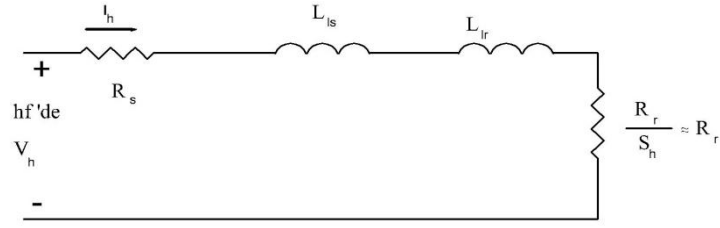
$I_h$  'ya ilişkin 3-47 anahtarlama frekansı artırılarak harmonik gerilimlerinin oluştuğu çevirici çıkış frekansı yükseltilecek harmonik akımlarının bu hesaplama yöntemi kaçak reaktans ve dirençler frekansla değiştiği için sadece birinci dereceden bir yaklaşıma dayanmaktadır.

### 3.4.5.2. Harmonik Kayıplar

Bu harmonik akımlardan dolayı stator ve rotor sargıların her bir fazında oluşan ek bakır kayıpları yaklaşık olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta P_{cu} = \sum_{h=2}^{\infty} (R_s + R_r) I_h^2 \quad (3.48)$$

Burada  $R_s$  ve  $R_r$  harmonik frekanslarla doğrusal olmayan bir şekilde artar. Harmonik frekansı demir akım ve histerisize ilişkin ek çekirdek kayıplarının hesaplanması oldukça uzun işlemler gerektirir. Bu ve diğer ek kayıplar motorun geometrisi kullanılan manyetik malzeme ve 60 Hz'lik frekans için optimize edilebilen lamel kalınlıkları vs'ye bağlıdır. Oldukça önemli değerlere çıkabilecek olan bu ek kayıplar ölçülebilecekleri gibi literatürde tartışılan yöntemlerle hesaplanabilmeleri de mümkündür. Genel olarak, anma yük değerindeki toplam güç kayıplarının % 10 ile % 20 arasındadır.



**Şekil 3.13.** Her faza ilişkin harmonik eşdeğer devresi

### 3.4.5.3. Moment Salınımları

Statoru besleyen kaynaktaki harmoniklerin varlığı momentte salınım bileşenlerine neden olur. Düşük frekanslarda oluşan salınım momentleri performansı bozan hız salınımlarına ve motor milinde malzeme yorgunluğuna yol açar.

Şekil 3.14.a'da görüldüğü gibi, beslemedeki yedinci harmonik hava aralığı akısının temel bileşeni ve rotorla aynı yönde ve  $7 \omega_s$ 'lik hızla dönen bir hava aralığı akı bileşenine yol açar. Rotor hızının yaklaşık  $\omega_s$ 'ye eşit olduğu varsayıldığında, Şekil3-14a'da gösterildiği gibi, rator alanının  $\omega_s$  hızındaki  $B_{r1}$  temel bileşeni ve  $7 \omega_s$  hızındaki  $B_{r7}$  7. harmonik bileşeninden oluştuğu kolayca görülebilir.  $\Phi_{ag1}$  ve  $B_{r1}$  alanları aynı hızda dönerek momentte bir salınıma neden olmazlar. Aynı durum yine aynı hızla dönen  $\Phi_{ag7}$  ve  $B_{r7}$  içinde geçerlidir. Ancak  $\Phi_{ag1}$  ve  $B_{r7}$ 'nin birbirlerine göre bağıl hızları  $6 \omega_s$ 'dir. Aynı şekilde,  $\Phi_{ag7}$  ile  $B_{r1}$ 'nin bağıl hızları da  $6 \omega_s$ 'dir. Böylece, bu etkileşimlerin ikisinde 6. harmonik frekansıyla salınan moment bileşenleri oluştururlar[14].

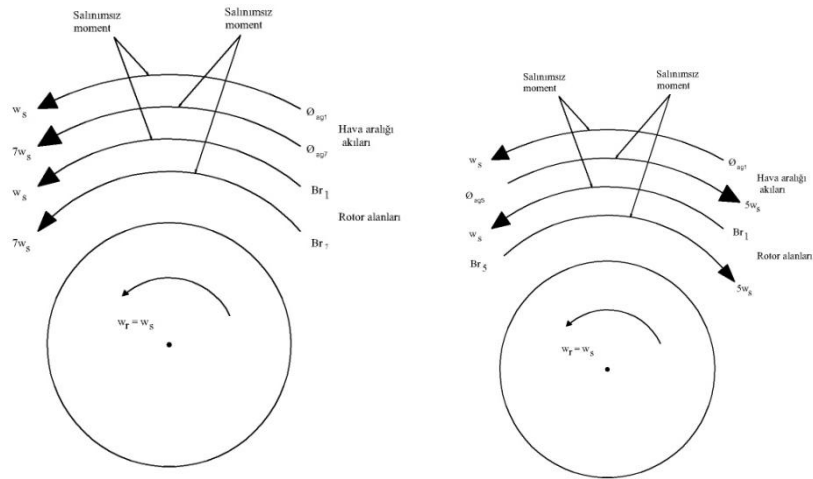
Şekil3.14b'de görüldüğü gibi, beslemedeki 5. harmonik, rotora göre ters yönde ve  $5 \omega_s$  hızı ile dönen bir hava aralığı akısına neden olur. Endüklenen rotor alanları Şekil 3-14b'de gösterilmektedir. Burada  $\Phi_{ag5}$   $B_{r1}$  ile,  $\Phi_{ag1}$  ise  $B_{r5}$  ile etkileşerek, her ikisi de 6. harmonik frekansıyla titreşen moment bileşenleri oluştururlar.

Yukarıdaki tartışmalardan görüldüğü gibi, beslemedeki 5. ve 7. harmonikler birleşip 6. harmonik frekansıyla titreşen bir moment salınımı oluşturular. Beslemedeki diğer harmonik frekansları için benzer hesaplamalar yapılabilir.

Bu moment salınımlarının rotor hızı üzerindeki etkileri rezonans etki oluşmayacağı varsayımıyla aşağıdaki gibi yazılır [14];

$$\text{Hız salınımlarının genliği} = \text{moment salınımlarının genliği} * (\text{salınım frekansı} * \text{eylemsizlik}) \quad (3.49)$$

Buradan görüleceği gibi, belli bir moment salınım genliği yüksek frekanslarda ihmal edilebilir seviyede hız salınımlarına neden olabilir.



Şekil 3.14. Moment Salınımları a) Yedinci Harmonik b) Beşinci Harmonik

### 3.4.6. Değişken Frekanslı Çeviricilerin Sınıflandırılması

Besleme şebekesi ile asenkron motor arasında bir ara devre görevi yapan değişken frekanslı çeviriciler, aşağıdaki temel görevleri yerine getirmelidirler;

1. İstenen çıkış hızına göre frekans ayarlama yeteneği
2. Sabit moment bölgesindeki sabit hava aralığı değerini korumak üzere gerilimi ayar edebilme yeteneği

3. Anma akım değerini herhangi bir frekansta ve s¼rekli olarak sağlayabilme yeteneği

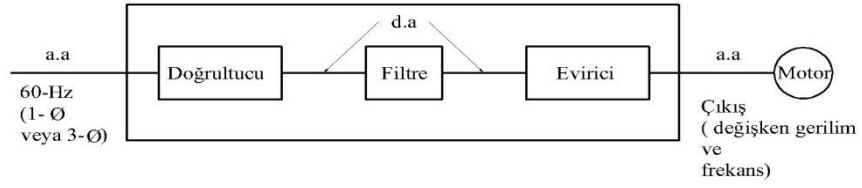
Doğrudan frekans çeviriciler (cycloconverter) kullanıldığı çok y¼ksek g¼ uygulamalarının ¼zel bazı durumları dışında, değişken frekanslı s¼r¼c¼lerde olduğu gibi d.a. girişli eviriciler kullanılır [15]. Şekil3.15. şebeke girişinin kontroll¼ veya kontrols¼z bir doğrultucu aracılığıyla D.A.'ya çevrilerek motora genliği ve frekansı ayarlanabilen ¼ fazlı gerilim ve akımlar sağlanması temel kavramını vermektedir. Bu eviriciler Şekil 3.15'de kullanılan doğrultucu ve evirici tiplerine g¼re aşağıdaki gibi sınıflandırılır [14]:

1. Diyotlu doğrultuculu darbe genliğlik mod¼lasyonlu gerilim ara devreli evirici (PWM-VSI)
2. Trist¼rl¼ doğrultuculu kare dalga gerilim ara devreli evirici (kare dalga VSI)
3. Trist¼rl¼ doğrultuculu akım ara devreli evirici (CSI)

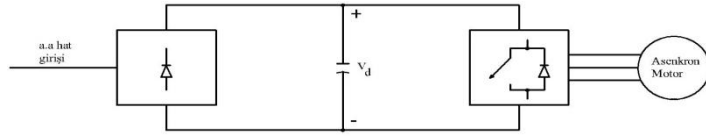
isimlerinden de anlaşıldığı gibi VSI ile CSI arasındaki temel fark aşağıdaki gibidir:

VSI'da evirici d.a. girişini bir doğru gerilim kaynağı (ideal olarak i empedansı sıfır) olarak, CSI'da ise evirici d.a. girişini bir doğru akım kaynağı (ideal olarak sonsuz giriş empedanslı) olarak g¼r¼r. G¼neř Evi Uygulama ve Araştırma Parkı içerisinde bulunan uygulamada gerilim ara devreli PWM kullanılmıştır.

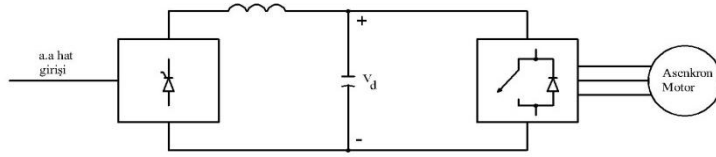
Şekil 3.16.a'da diyotlu doğrultucu bir PWM-VSI'nın şeması verilmektedir. Şekil3.18.b'deki kare dalga VSI'da, ¼n kısımda kontroll¼ bir doğrultucu ve onu izleyecek şekilde 6 basamaklı olarak da adlandırılan kare dalga bir evirici yer almaktadır. Şebeke gerilimi bir veya ¼ fazlı olabilir. VSI kontrol¼rlerin her ikisinde de, yer alan b¼y¼k d.a. hat kondansat¼r¼n¼n g¼revi, evirici girişini, evirici anahtarlama frekansında k¼¼k i empedanslı bir gerilim kaynağı haline getirmektedir.



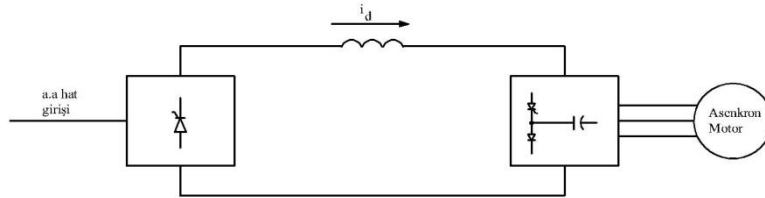
**Şekil 3.15.** Değişken Frekanslı Çevirici



(a) Diyotlu doğrultuculu PWM-VSI



(b) Kontrollü doğrultuculu kare dalga doğrultucusu



(c) Kontrollü doğrultuculu CSI

**Şekil 3.16.** Değişken Frekanslı Çeviricilerin Sınıflaması

Sadece üç fazlı motorların frekansın değiştirilmesi ile kontrol edileceği bilinmektedir. Bu durumda sadece DA'dan üç fazlı AA'ya çeviren eviriciler kullanılmaktadır. Şekil 3.16.c'nin ön kısmında, zorlanmış komutasyonlu bir çeviricinin yer aldığı bir CSI sürme sisteminin şeması verilmektedir. DA hattındaki büyük endüktanstan dolayı, eviricinin girişi bir doğru akım kaynağı gibi davranır.

Eviricide, zorlanmış komütasyon için tristörler, diyotlar ve kondansatörler kullanılır[14].

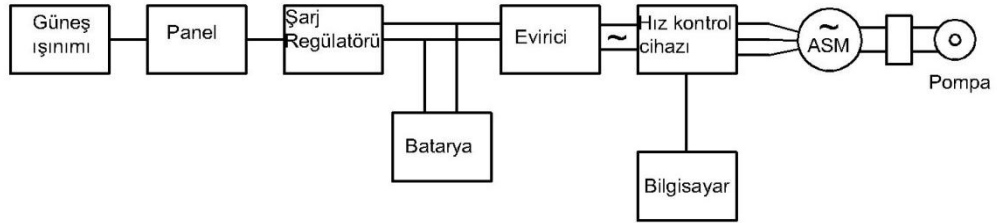


## 4.GÜNEŞ GÖZELERİ İLE BESLENEN ASENKRON MOTOR SÜRÜCÜ SİSTEMİNİN GERÇEKLENMESİ

### 4.1 Giriş

Bu bölümde, güneş gözeleri ile beslenen asenkron motor sürücü sistemi ile çalıştırılacak olan sulama sisteminin nasıl gerçekleştirildiği anlatılmıştır. Güneş Evi ve Uygulama Parkının içerisinde kurulan sistemimizde, 12 adet 80 W'lık güneş gözesi, bir adet 1200 W'lık DA-AA evirici, bir adet Sarj Regülatörü, 2 adet 100 Ah'lik batarya, bir adet hız kontrol cihazı ve hız kontrol cihazını programlamak üzere bir adet bilgisayar, bir adet asenkron motor ve pompa ile sulama düzeneği kullanılmıştır. Bu bölümde sistemde mevcut bulunan tüm teçhizat, çalışma prensipleri ve teknik özellikleriyle anlatılmıştır.

### 4.2. Sistemin Genel Yapısı



Şekil 4.1. Sistemin Blok Diyagramı

Sistemin genel yapısı Şekil 4.1.'deki blok diyagramında verilmiştir Güneş Evi Uygulama ve Eğitim Parkı içerisinde bulunan sistemimizde, güneşten elde edilen güneş ışınımı, güneş gözeleri aracılığıyla doğru gerilime dönüştürülmektedir. Maksimum güç noktaları göz önünde bulundurularak elde edilen bu gerilim, bataryaların şarj edilmesinde kullanılır ve burada depo edilir. Asenkron Motor için gerekli olan enerji türü AA'dır. Depo edilen enerji ise DA'dır. DA bir fazlı evirici

aracılığıyla AA'a çevrilir. Sistemde kullanılan hız kontrol cihazı bir fazlı AA ile beslenmektedir. Hız Kontrol cihazının kendi bünyesinde bulundurduğu dönüştürücü aracılığıyla bir faz AA, hız kontrol sürücüsünün çıkışında üç faz AA'a dönüşmektedir. Elde edilen bu üç fazlı AA ise sistemde kullanılan asenkron motoru beslemektedir. Hız kontrol cihazı ile asenkron motor arasında iletişimi kurmak amacıyla bir bilgisayar programı kullanılmaktadır. Bu yazılım ile asenkron motor ve pompa çalışma frekansı ve dönüş yönü ayarlanabilmekte ve motorun kontrolü sağlanabilmektedir. Böylelikle asenkron motor hız kontrol cihazı yardımıyla denetlenebilmektedir.

### 4.3. Güneş Gözeleri

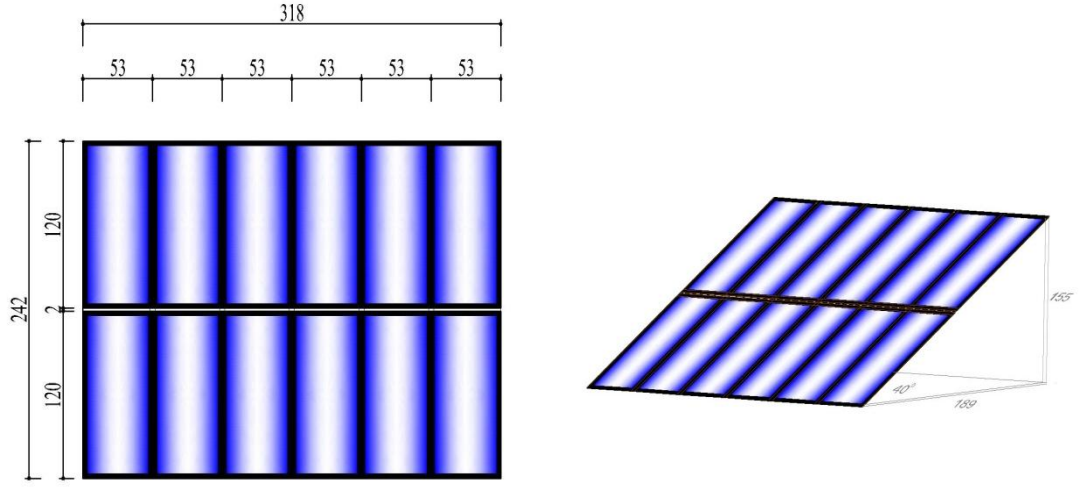
Güneş gözeleri (PV cells) birbirlerine paralel ve/veya seri bağlanarak güneş panelleri elde edilir. Güneş gözesinin paralel bağlanması sonucu çıkış akımı, seri bağlanması sonucu çıkış gerilimi istenilen düzeye getirilebilir[14].

Güneş gözeleri bataryalar gibi belirli standartlara göre üretilmediğinden her markanın akım ve gerilim değerleri farklılık gösterir. Güneş evi ve uygulama parkının bahçesinde kurulan sistemimizde her biri 80W'lık panellerin kullanılması kararlaştırılmıştır. Bu ürünün teknik bilgileri Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

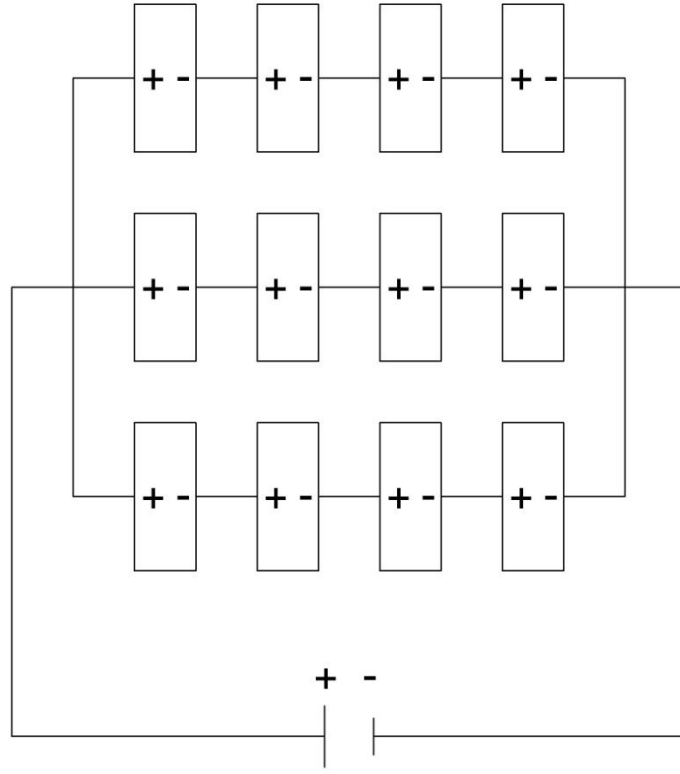
**Tablo 4.1.** Uygulama sisteminde kullanılan güneş panelinin özellikleri

<b>Hücre tipi</b>	MonoKristal
<b>Maksimum Güç</b>	80 W
<b>Maksimum Gerilim</b>	16.9 V
<b>Akım</b>	4.73 A
<b>Açık Devre Gerilimi</b>	21.5 V
<b>Kısa Devre Akımı</b>	4,97 A
<b>Uzunluğu</b>	1.200 mm
<b>Boy</b>	530 mm
<b>Derinlik</b>	35 mm
<b>Ağırlık</b>	8,5 kg

Kurulan sistemde; panellerin konulduğu platformda bulunan 12 tane panelin, platform üzerindeki dizilimi ve aralarındaki bağlantılar Şekil 4.2. ve 4.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Panellerin Platform Üzerindeki Yerleşimi



**Şekil 4.3.** Panellerin Platform Üzerindeki Bağlantı Şeması

Şekil 4.2.'ye göre Tablo 4.1.'deki verilerden aşağıdaki hesaplamalar elde edilir.

Toplam maksimum panel gücü =  $12 \times 80 \text{ W} = 960 \text{ W}$

Toplam maksimum çıkış gerilimi =  $20 \text{ V} \times 4 = 80 \text{ V}$

Toplam maksimum çıkış akımı =  $4,73 \text{ A} \times 3 = 14,19 \text{ A}$

#### **4.4. Şarj Kontrol Ünitesi**

Pratik uygulamalarda kullanılan fotovoltaik (PV) sistemleri, sistemde kullanılan bileşenlerin ve kontrol sisteminin konumuna bağlı olarak üç farklı kombinasyonda incelenir. Sistem yükünün hiçbir ara düzenleyicisi olmadan direkt PV panellere bağlandığı doğrudan bağlantılı kombinasyonlar, sistem yükü ile PV paneller arasında bataryaların yerleştirildiği bataryalı kombinasyonlar ve şarj kontrolörlü kombinasyonlar. Doğrudan bağlantılı PV sistemlerde, panellerden ışınım şiddetiyle

değişen değerlerde çıkan gerilim ve akım, sisteme doğrudan verilir ve sistemin çalışması ancak sistem yükünün ihtiyaç duyduğu gücü sağlayan gerilim ve akım değerlerinin temini ile mümkün olur. Bataryalı sistemlerde, panel ile yük arasındaki batarya sistemi güneş ışınım şiddetindeki değişimleri direkt olarak sisteme yansıtmadan sabite yakın bir gerilim ile sistemi çalıştırır, ancak sisteme ulaştırılan gerilim ve akım değerleri maksimum güce karşılık gelen akım ve gerilim değerlerinin altında seyrederek. Şarj kontrolörlü uygulamalarda batarya şarj kontrolü üç ana yöntem ile yapılır[6,14]. Bunlar:

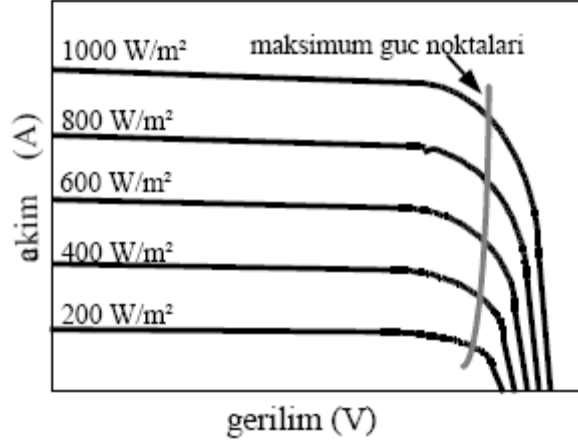
- On/Off (bang bang) tipi kontrol: Ayarlanan tepe batarya gerilimine ulaşıldığında PV, panel ile bataryayı ayırır; düşük batarya gerilimine ulaşıldığında ise PV paneli tekrar bataryaya bağlar.
- Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM): İstenen çıkış gerilim değerine ulaşmak için hızlı anahtarlama yapılır (100 Hz – 50 kHz). Böylelikle batarya gerilimi sabit tutulur ve tam dolu batarya elde edilir.
- Maksimum Güç Noktası İzleyici (MPPT): Panelden alınabilecek tüm güçleri belirler ve maksimum gücü yakalar [20]. MPPT’lerde PWM kullanılır. Bu yöntem ile şarj akımı diğer yöntemlere göre %30 veya daha fazla oranda arttırılabilir.

Güneş Evi ve Uygulama Parkı içerisinde kurulan sistemimizde MPPT’li şarj kontrolör kullanılmıştır.

#### **4.5. Maksimum Güç Noktası İzleyici (MPPT)**

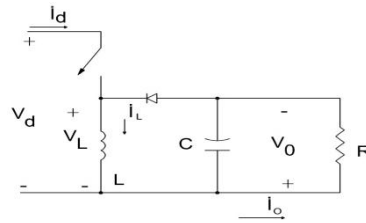
MPPT fotovoltajik panellerden alınabilecek en yüksek gücü belirlemek üzere elektronik kontrolöre yüklenen bir algoritmadır[21]. Bu algoritma bulunan güç noktalarından maksimumunu seçer ve bu noktadaki gerilimi DA-DA çevirici ile

batarya gerilimine ayarlar. Bu sayede aynı çıkış gerilimi için diğer şarj yöntemlerine göre daha yüksek çıkış akımı, dolayısıyla daha yüksek çıkış gücü elde edilir. En yüksek güç noktasının belirlenmesinde PV akım-gerilim karakteristiğinden faydalanır [15].



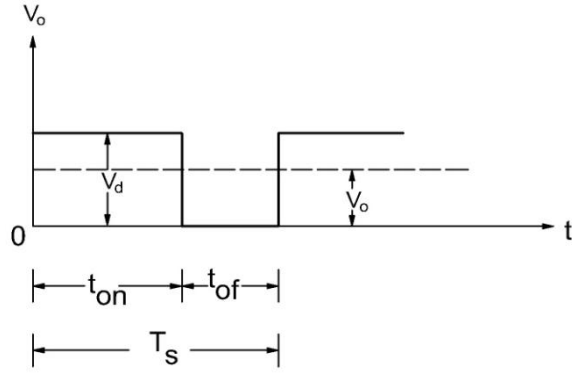
**Şekil 4.4.** Tipik PV hücrelerin akım-gerilim karakteristiği

MPPT kontrolörler Buck (alçaltıcı) ve Boast (yükseltici), Buck Boast (alçaltıcı-Yükseltici) olmak üzere üç tipte yapılırlar. Eğer PV çıkış gerilimi batarya geriliminden düşük ise Boast tipi, PV çıkış gerilimi batarya geriliminden yüksek ise Buck tipi MPPT kontrolör kullanılır. Alçaltıcı- yükseltici çeviricilerin başlıca uygulaması, giriş uçlarına göre ters kutuplu çıkış gereken ve çıkış geriliminin giriş geriliminden yüksek ya da düşük olduğu ayarlı DA güç kaynaklarıdır. . Güneş Evi ve Uygulama Parkında kurulan sistemde ise buck boast tipi MPPT kullanılmıştır.



**Şekil 4.5.** Alçaltıcı-yükseltici çeviricili MPPT devresi

Bir alçaltıcı-yükseltici çevirici iki temel çeviricinin, alçaltıcı ve yükseltici çeviricinin ardı ardına bağlanmasıyla elde edilebilir: Sürekli durumda çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı olan gerilim çevirme oranı, ardı ardına bağlı iki çeviricinin çevirme oranlarının çarpımıdır. Bir çeviricide doluluk oranı (D), anahtarın iletimde olduğu sürenin anahtarlama periyoduna oranı ile belirlenir. (Şekil 4.6)



Şekil 4.6. Doluluk oranı

$$D = t_{on}/T_s \quad (4.1)$$

Burada;

D: Doluluk oranı

$t_{on}$ : Anahtarın iletimde kalma süresi

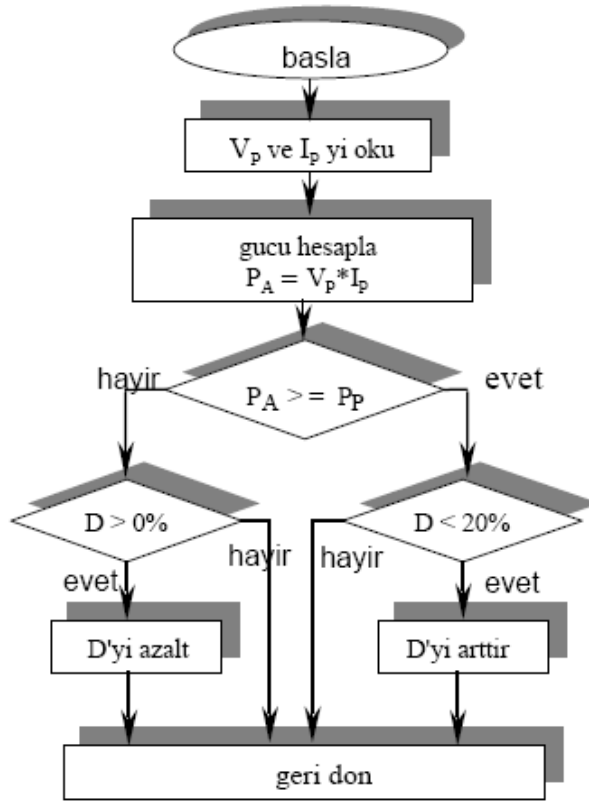
$T_s$ : Anahtarlama periyodu'nu ifade eder.

Çıkış gerilimi giriş geriliminden, çalışma oranı D'ye bağlı olarak düşük ya da yüksek olabilir. Alçaltıcı ve yükseltici çeviricilerin giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişki şöyle ifade edilebilir:

$$V_o/V_d = D[1/(1-D)] \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte  $V_o$  çıkış gerilimini,  $V_d$  ise giriş gerilimini ifade eder. Genellikle başlangıçta çeviricinin doluluk oranı (D) 0,1 e ayarlanır. Eğer o anki panel gücü ( $P_a$ )

önceki adımda hesaplanan panel çıkış gücüne ( $P_p$ ) eşit veya daha yüksek ise, kontrol devresi çeviricinin doluluk oranını arttırır, küçük olması durumunda ise doluluk oranını azaltır. Bu yöntemle MPPT, fotovoltaik panelin sürekli maksimum güç noktasını takip eden bir sistemde çalışmasını sağlar.



Şekil 4.7.MPPT algoritması akış diyagramına bir örnek

Bataryaları şarj etmenin yanı sıra bir şarj kontrol ünitesi bazı şartları da yerine getirmek zorundadır. Bu görevler aşağıdaki gibi sıralanabilir[6,11]:

- Ters akımı engelleme: PV paneller bataryalara tek yönde akım pompalama şeklinde çalışırlar. Gece veya ortamda yeterli ışık bulunmaması durumunda panellerden, bataryaların küçük miktarda deşarjı sonucu ters yönde akım geçer. Panellerin güvenliği açısından bu akımların engellenmesi gerekir.



- Aşırı şarj önleme: Bataryalar tam şarj durumuna ulaştığında bir süre için gelen enerjiyi depolamaz. Eğer tam şarj durumunda bataryaya enerji gelmeye devam ederse batarya geriliminin yükselmesine neden olur. Bu yüksek gerilim sonucu bazı kimyasal tepkimeler oluşur ve batarya içerisinde hidrojen gazı birikmeye başlar. Eğer bu olay yeterince uzun sürerse bataryada küçük bir patlama meydana gelir.
- Çalışma noktasının sıcaklığa karşı kontrol edilmesi: Bataryaların çalışma noktaları sıcaklığa göre değişir. Bataryaların yüksek verimle şarj edilebilmesi için şarj kontrol ünitesi, batarya sıcaklığı düştüğünde çalışma noktasını arttırmalı, batarya sıcaklığı yükseldiğinde çalışma noktasını düşürmelidir.
- Aşırı yüklenme koruması: Bir devrenin güvenle taşıyabileceği akımdan daha yüksek miktarda akım çekilmesi durumu aşırı yüklenme olarak tanımlanır. Bu durumda aşırı ısınma sonucu yangın çıkabilir.

#### **4.6. Bataryalar**

Güneşten elde edilen elektrik enerjisi, gün ışığının olduğu saatlerde, doğrudan DA olarak veya eviriciler vasıtasıyla AC olarak kullanılabilirler. Gün ışığının olduğu saatlerde ihtiyaçtan fazla üretilen elektrik enerjisi, gün ışığının olmadığı saatlerde kullanılmak üzere bataryalar aracılığıyla depolanır.

Bataryaların yüksek özgül güç, yüksek özgül enerji ve uzun çevrim ömrüne sahip olması beklenmektedir. Özgül enerji yoğunluğu enerji kaynağının birim kütlesinde depolanan enerji miktarını göstermektedir. Özgül güç ise yine enerji kaynağının birim kütlesinin verdiği güç olarak ifade edilmektedir. Tablo 4.2.'de kullanılan ve gelişme altındaki bataryaların listesi verilmektedir. Azami enerji yoğunluğu; batarya ağırlığının her bir kilogramından, 3 saatlik deşarj döngüsü

boyunca elde edilen enerji miktarını belirtmektedir. Bu gösterge batarya tamamen deşarj olmadan ne kadar kullanılabilceğini ifade etmektedir.



**Şekil 4.8.** Uygulama Sitemindeki bataryalar, evirici ve MPPT

Azami güç yoğunluğu depolanan enerjinin bataryadan ne kadar hızla çekilebileceğini göstermektedir. Tablo 4.2’ de ayrıca her bataryanın çalışma sıcaklıkları verilmiştir. Çalışma sıcaklığı hangi bataryanın kullanılacağına karar verilmesi aşamasında çok önemli bir faktördür. Sodyum-sülfür, sodyum nikel klorür, lityum-demir sülfür gibi daha yüksek sıcaklıklarda çalışan bataryalar için özel sistemlerin kurulmasına ihtiyaç duyulur.

Batarya ömrü de bir diğer önemli faktördür. Bir batarya için hedef 1000 çevrim ömre sahip olmasıdır. Bu yaklaşık olarak 3-4 yıllık bir kullanım ömrüne karşılık gelmektedir. Birçok batarya çeşidinde derin deşarj çevrimi bataryanın hem enerji hem de güç yoğunluğunu bir miktar azaltmaktadır. Bu nedenle bataryanın ömrü azalmaya yakın performansı da önemli ölçüde azalmaktadır.

Güneş Evi ve Uygulama Parkının içerisinde kurulan sistemimizde 100Ah ‘lık iki tane bakımsız sulu batarya kullanılmıştır. Yapılan uygulama projesinde fiyat

performans kriterleri göz önünde bulundurularak, kurşun asit kuru tip bataryanın kullanılması öngörülmüştür. Ancak, araştırma projesinde alınması ön görülen malzemelerin zamanında tarafımıza teslim edilememiş olması nedeniyle sponsor desteklerine başvurulmuş, bu nedenle sistemde iki adet 100 Ah'lik sulu bakımsız batarya kullanılmıştır[6].

**Tablo 4.2.** Bataryalar ve özellikleri

Batarya Tipi	Azami Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Azami güç yoğunluğu (W/kg)	En Hızlı %80 tekrar şarj zamanı	Çalışma sıcaklığı	Çevrim sayısı (%80 deşarj durumu)	Maliyet \$/kWh
Kurşun-asit	35	150	Veri yok	Ortam	1000	60
Nikel-demir	50	100	Veri yok	Ortam	2000	150-200
Nikel-çinko	70	150	Veri yok	Ortam	300	150-20
Nikel-kadmiyum	50	200	15	Ortam	2000	300
Nikel-metal hidrür	70	200	35	Ortam	2000+	250
Sodyum-sülfür	110	150	Veri yok	350 °C	1000	150
Sodyum-nikel klorür	100	150	Veri yok	300 °C	700+	250
Lityum-demir sülfat	150	300	Veri yok	450 °C	1000	200
Lityum-katı polimer	200	350	Veri yok	80-120 °C	1000	150
Lityum-iyon	120-150	120-150	<60	Ortam	1000+	150
Alüminyum-hava	220	30	Veri yok	Ortam	Veri yok	Veri yok
Çinko-hava	200	80-140	Veri yok	Ortam	200	100

#### 4.7. Eviriciler (İnverterler)

Değişken hızlı tahrik sistemlerinin endüstriyel uygulamalarında, güç katı olarak, büyük bir çoğunlukla değişken genlik ve frekansın elde edilmesi için eviriciler

kullanılmaktadır. Eviriciler sabit doğru gerilim veya akımdan beslenirler. Bu kaynaktan motor sargılarına uygulanmak üzere sinüzoidal akımlar elde edilmesi için en ekonomik ve uygulanması en kolay yöntem, giriş genliğinin sabit tutulduğu, fakat bu genliğin uygulanma süresinin ya da darbe genişliğinin çıkışta istenilen sinüzoidal işarete göre modüle edilerek, darbe dizisi biçimindeki işaretlerin oluşturulduğu yöntemdir[16].

Anahtarlama modunda çalışan eviriciler AA motor tahrik sistemlerinde ve kesintisiz akım AA güç kaynaklarında kullanılır. Burada amaç genliği ve frekansı kontrol edebilen bir gerilim üretmektir. Bir AA motor tahrik sistemi ele alındığında alternatif şebeke gerilimi önce doğrultulup süzülür ve bir doğru gerilim elde edilir, daha sonra bu gerilim bir evirici yardımıyla tekrar alternatif gerilime dönüştürülür. Doğrultma işlemi çoğunlukla kontrolsüz doğrultucularla sağlanır. Genel olarak tahrik sistemlerindeki elektrik motorlarının girişinde genliği ve frekansı ayarlanabilen sinüs biçiminde bir gerilim istenir.

Kesintisiz AA kaynakları ve AA motor sürücülerini gibi uygulamalarda, üç fazlı yükleri beslemek için üç fazlı eviriciler yaygın olarak kullanılır. Çıkışı birbirinden  $120^\circ$  kaydırılmış, üç adet bir fazlı evirici ile de üç fazlı yük beslenebilir. Bu düzenleme ancak belirli durumlarda yapılabilir; ya üç fazlı çıkış transformatörüne ya da yükün her üç fazına da ayrı ayrı girişe ihtiyaç vardır [22]. Genel olarak uygulamada böyle bir durum söz konusu değildir. Ayrıca eviricide 6 anahtarla yapılabilecek bir iş ancak 12 anahtarla gerçekleştirilebilmektedir.

Güneş gözeleri aracılığıyla elde edilen elektrik enerjisi DA'dır. Güneş Evi Uygulama ve Eğitim Parkı İçerisinde kurulan sistemimizdeki motor Asenkron motor olduğundan, PV'ler aracılığıyla elde edilen DA elektrik enerjisinin asenkron motoru

sürmesi için AA'a dönüştürülmesi gerekmektedir. Sistemimizde 24 V'luk bir evirici aracılığıyla DA elektrik enerjisi AA elektrik enerjisine çevrilmiştir. Şarj Regülatörüne bağlanan 24 V'luk AA elde etmemizi sağlayan evirici bir fazlıdır. Aynı zamanda sistemde asenkron motorun hız kontrolü yapmak amacıyla Hız Kontrol Cihazı kullanılmıştır. Bu kontrol cihazı, kendi içinde bir evirici bulundurmaktadır. Bu evirici bir faz alternatif gerilimi üç faz alternatif gerilime çevirmektedir.

Sistemde kullanılan mevcut eviricinin teknik özellikleri aşağıdaki tablo 4.6.'da verilmiştir

**Tablo 4.3.** Uygulama sisteminde kullanılan evirici teknik özellikler

Giriş gerilimi	Giriş Akımı	Stad By durumunda akım	Çıkış gerilimi	Frekans	Çıkış gerilim şekli	Güçü	Verimi	Maks. Giriş gerilimi	Min. Giriş gerilimi	Sıcaklık aralığı	Çalışma Sıcaklık Aralığı	Ağırlığı
V	A	A	V	Hz		W	%	V	V	°C	kg	
20 -30	65	0	230 AA ± 5 AA	50 ± %1	Modifiye Sinüs	1200	90	30	0	0--+40	3.9	

#### 4.8. Asenkron motor

Asenkron makineler, diğer makinalara kıyasla ucuz olmaları, patlayıcı ortamlar dahil, her türlü kötü ortam şartlarında çalışabilmeleri ve bakım gerektirmemeleri gibi üstün özellikler nedeni ile endüstriyel uygulamalarda ve çoğunlukla değişken hızlı tahrik sistemlerinde kullanılırlar [16]. Sistemde kullanılan asenkron motorun hız kontrolü hız kontrol sürücü cihazı aracılığıyla yapılmaktadır. Asenkron motor uygulama örneğinde, 20 Hz, 25 Hz, 30 Hz, 35 Hz, 40 Hz, 45 Hz , 50 Hz, 55 Hz, ve 60 Hz frekanslarında çalıştırılarak motorun hız kontrolü yapılmaktadır.

Sistemde kullanılan mevcut asenkron motora ait teknik özellikler aşağıda tablo 4.4.'te verilmiştir.



**Şekil 4.9.** Damla sulama sisteminden görüntü

**Tablo 4. 4.** Uygulamada kullanılan asenkron motorun teknik özellikleri

Asenkron Motor Gücü	Gerilimi	Akımı	Güç Faktörü	Devir sayısı
kW/HP	V	A	cosφ	dev/dk
0.75/1	220-240 Δ/ 380-415 Y	3.7 / 2.2	0.8	2900

#### 4.9. Hız Kontrol Cihazı

Güneş gözeleri ile beslenen asenkron motor sulama sisteminin gerçekleşmesinde enerjinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için motorunun hızının kontrol edilmesi gerekmektedir. Farklı çalışma koşullarında en etkin şekilde elektrik enerjisini kullanabilmek için hız kontrol sürücü sistemlerine ihtiyaç duyulur. Hız kontrol cihazları farklı özellikler göstermektedirler[23]. Kurulan örnek sistemde kullanılan sürücü bir fazlı AA ile beslenmektedir. Çıkışında ise üç fazlı AA mevcuttur

Kontrol cihazının çıkışında bir asenkron motor ve pompa sistemi bağlanmıştır. Hız kontrol cihazı farklı kontrol modlarında çalışmaktadır. Güneş Evi Uygulama ve Araştırma Parkı içerisine kurulan sistemde hız sürücüsü değişken moment sağlayabilecek şekilde programlanmıştır [24]. Sürücüye ait teknik özellikler tablo 4.3.'te verilmiştir.

**Tablo 4.5.** Hız kontrol cihazı teknik özellikler

Motor	Besleme Kaynağı (giriş)			Hız Kontrol Cihazı (çıkış)			
	Maksimum hat akımı		Maksimum muhtemel kısa devre akımı $I_{sc}$	Görünür güç	Nominal akım $I_n$	Maksimum geçici akım	Nominal yükte harcanan güç
	200 V'ta	240V'ta					
kW/HP	A	A	kA	kVA	A	A	W
0.75/1	6.4	5.6	5	2.2	4.8	7.2	55

Sürücünün anahtarlama frekansı 2, 16 kHz arası ayarlanabilir. 4 kHz'in üzerinde, sıcaklıkta aşırı bir artış olması durumunda hız kontrol cihazı anahtarlama frekansını düşürür. Sıcaklık artışı, güç modülünde bulunan bir PTC algılayıcı ile kontrol edilir. Ancak, 4 kHz'in üzerinde sürekli çalışma yapılması gerekirse, hız kontrol cihazı nominal akımı düşürülmelidir [23,24].

#### 4.9.1.Sürücü Cihazında Kontrol Modları

Sürücüye ait 3 kontrol modu mevcuttur [23,24]. Bunlar;

- Sensörsüz akı vektör kontrol modu : Sabit moment uygulamaları gerektiren yerlerde yüksek performans için kullanılır.
- Değişken moment modu : Pompa ve fan uygulamaları için kullanılır. Yapılan uygulamada hız sürücüsüne bağlı bir asenkron motor ve pompa sistemi bulunmaktadır. Hız kontrol sürücüsü farklı frekanslarda çalıştırılarak değişken momentler elde edilmiştir.
- Özel motor modu: Özel motorlar için tasarlanan kontrol modudur.

#### 4.9.2. Sürücüye ait Moment Karakteristikleri

Sensörsüz Kontrol modunda tipik sabit moment eğrisi elde edilir [24].

Sürücüdeki maksimum moment değeri;

$$I_n \text{ max sürücü} / I_n \text{ motor} \quad (4.3.)$$

oranına bağlıdır.

Burada,

$I_n \text{ max sürücü}$  : Sürücünün maksimum akımıdır.

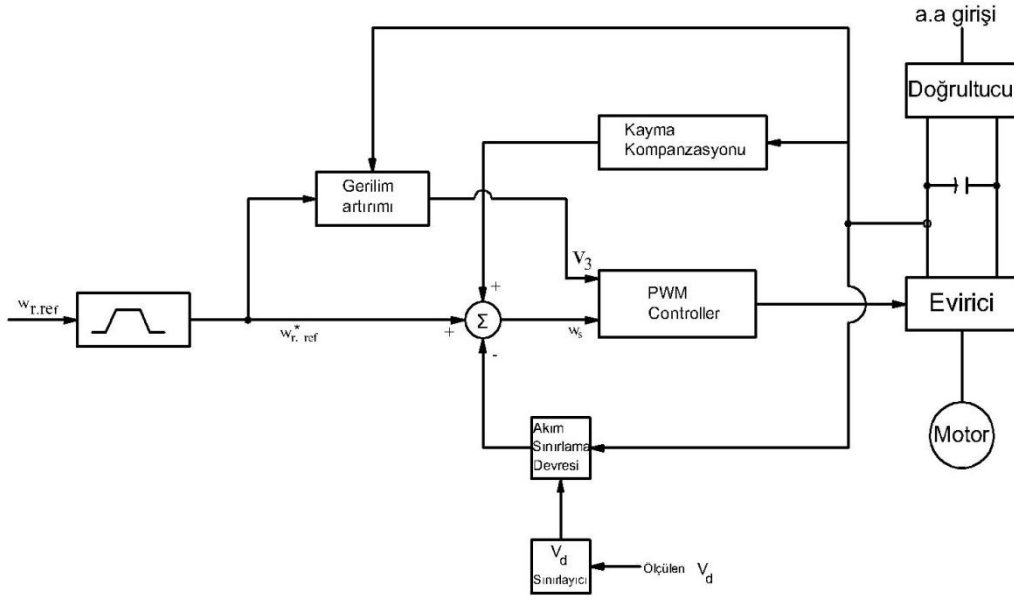
$I_n \text{ motor}$ : Motorun nominal akımıdır.

Bu oran %150 olduğunda, küçük güçlü sürücülerde moment değeri %170'e kadar ulaşabilir. Bu oran %180 olduğunda, maksimum moment (2 s için) %200'e kadar ulaşabilir.

#### 4.10. Ara Yüz Programı ve Hız Kontrol

Kurulan sistem, Power Suite isimli yazılımla kontrol edilmektedir. Yazılım, hız kontrol cihazının dönüş yönünü ve devir sayısının ayarlanmasını sağlar [24]. Bu programın içerisinde Ayarlar, Motor kontrol, Giriş Çıkış Konfigürasyonu, Komutlar, Uygulama fonksiyonları gibi menüler mevcuttur. Program aracılığıyla hız kontrol cihazından sistemin moment değeri, çıkış frekansı, çıkış gerilimi, motorun sıcaklık değeri gibi bir çok değere ulaşılabilir. Sistemin çalışmasıyla hız kontrol sürücüsünden elde edilen bulgular bölüm 5' te verilmiştir.





**Şekil 4.10.** Hız Kontrol Devresi

PWM'li sürme sistemlerinde, proses kontrolünde daha yavaş davranan bir geri besleme çevriminin olduğu durumda, hız geri beslemesiz olarak kontrol edilebilir. Şekil 4.8. bu şekildeki bir kontrole ilişkindir. Evirici çıkış gerilimine ilişkin  $f$  frekansı,  $\omega_{ref}$  hız referansı ile belirlenir.  $\omega_{ref}$  giriş komutu daha sonra koruma ve iyi bir performans için değiştirilerek Şekil4.8'de görülen PWM kontrolörün  $\omega_s$  veya  $f$  ve  $V_s$  işaretleri gibi gerekli kontrol girişleri hesaplanır. Kontrol işareti  $f$  ve  $V_s$  işaretlerinden hareketle ve  $V_d$  ile belirlenerek bulunabilir. Sürme sistemini başlatıp durdurmak, ivmeleme/yavaşlama sırasında veya ağır yük koşulları altında maksimum akımı sınırlamak ve asenkron motorun frenlemesi sırasında maksimum gerilim seviyesini sınırlamak için zaten bu işarete gerek vardır. Kaymadan dolayı asenkron motor senkron hızdan daha düşük bir hızda döner.

Hız kontrol devresi Şekil 4.8.'de gösterildiği gibi, hız kontrol devresi evirici çıkış geriliminin frekansının kontrol eden giriş olarak  $\omega_{r,ref}$  hız referans işaretini alır. Kullanıcı rampa sınırlayıcı üzerinden hız referans işaretinin değişimini sınırlayan

potansiyometre aracılığıyla maksimum ivmelenme/yavaşlama hızlarını belirleyebilir. Hızlanma ve yavaşlama sırasında, motor akımı ve doğru gerilim hattını sınırlar dahilinde tutmak gerekir.

Akım sınırlama devresi Şekil 4.8.'deki hız rampa sınırlayıcısı yerine bir akım sınırlayıcı devrede kullanılabilir.

## **5. SİSTEMDEN ELDE EDİLEN BULGULAR**

### **5.1.Giriş**

Güneş Evi Uygulama ve Eğitim Parkı içerisinde kurulan uygulama sisteminde yapılan ölçümlerin sonuçları bu bölümde verilmiştir. Güneş ışınımının miktarı, güneşin yeryüzüne düşüş açısı, günün uzunluğu gibi parametreler yaz mevsimi boyunca yaklaşık aynı kalmaktadır. Bu nedenle, kurulan sistemden alınan veriler birbirine yakın sonuçlardır. Sulama mevsiminde olduğu için sistem üzerinden yapılan ölçümler tüm sulama mevsimi için geçerlidir.

Bu bölümde sistemden hangi verilerin alındığı ve bu verilerin nasıl yorumlandığı verilmektedir.

### **5.2. Uygulama Sistemindeki PV'ler ve Bataryalar ile ilgili analizler**

Tezde, 05:00- 19:00 saatleri arasında sistemde kurulu olan PV ve batarya sistemlerinin gerilim-akım değerleri ölçülmüştür. Kurulan sistemde, PV gerilimi güneşten elde edilecek elektrik enerjisinin bir göstergesidir. Akım ise o andaki harcanan enerji ve bataryanın doluluk oranına göre değişmektedir. Bataryanın akımı bataryadan çekilen yükün miktarına göre değişir. Batarya gerilimi ise bataryanın doluluk oranıyla ilgilidir. MPPT sisteme montaj edildiğinde, maksimum batarya gerilim değeri 28.8 V 'ta, taşma gerilimi 27,2 V 'ta maksimum akım değeri de 60 A' e ayarlanmıştır. Bu yüzden batarya geriliminin maksimum değeri 28.8 V' u aşmamaktadır. Sürekli durumda şarj tam dolu iken batarya gerilimi 27,2 V seviyesinde kalmaktadır. Bu değerler sınır değer olarak ayarlanmıştır. Uygulama sisteminden, bir hafta süresince veriler alınmıştır. Bu bölümde, bir güne ait örnek sonuçlar ve bir haftalık verilerin ortama değerleri verilmiştir. Haftanın diğer günlerine ait veriler tezin Ekler bölümünde verilmiştir.

Sulama mevsimi içerisinde hava koşulları yaklaşık aynı kalmaktadır. Ölçümlerin yapıldığı bir haftalık süre zarfında, hava koşulları değişiklikler göstermiştir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün vermiş olduğu hava durumu ile ilgili raporlar Tablo 5.1. 'de aktarılmıştır. Hafta içerisinde bulutlar ve yağışlı saatler olmuştur. Bu durum sistemin analizi açısından verimli olmuştur.

**Tablo 5.1.** 05 Temmuz 2009- 11 Temmuz 2009 Hava Durumu

<b>Tarih</b>	<b>Hava Durumu</b>	<b>Sıcaklık</b>
05 Temmuz 2009	Az bulutlu ve açık	36 °C
06 Temmuz 2009	Az bulutlu ve açık	37 °C
07 Temmuz 2009	Bulutlu, Yağışlı	32 °C
08 Temmuz 2009	Az bulutlu, açık	37 °C
09 Temmuz 2009	Az bulutlu, açık	38 °C
10 Temmuz 2009	Güneşli	38 °C
11 Temmuz 2009	Güneşli	39 °C

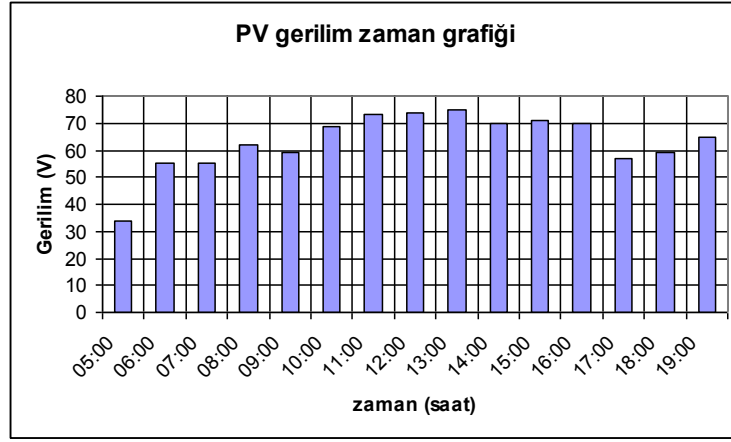
## **5.2. Sistemden Alınan Günlük Veriler**

Uygulama sisteminde, güneş panellerine ve bataryalara ait veriler 05:00-19:00 saatleri arasında kaydedilmiştir. Örnek olması açısından 05 Temmuz Pazar gününde PV ve bataryadan, 05:00 ve 19:00 saatleri arasında ölçülen akım, gerilim, güç ve enerji sonuçları tablo 5.2.'de verilmiştir.

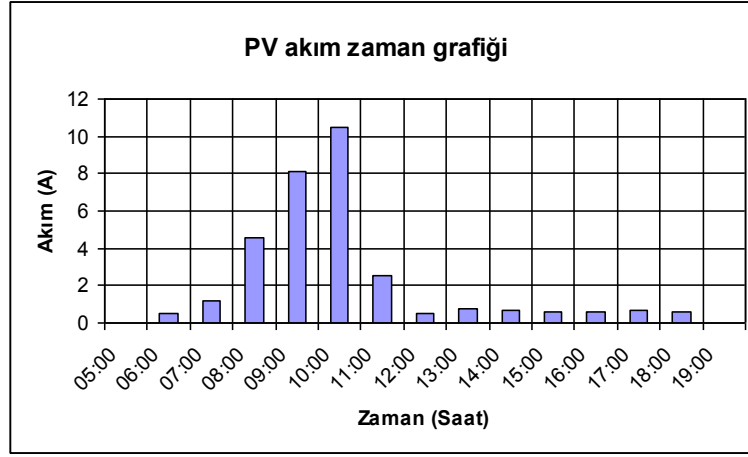
**Tablo 5.2.** 05 Temmuz 2009 PV ve Batarya verileri

Saat	PV			Batarya		Güç	Enerji
	Akım	Gerilim	Güç	Akım	Gerilim	W	kWh
05:00	0	34	0	0	24,4	0	0
06:00	0,5	55	27,5	1,1	24,6	27	0
07:00	1,2	55	66	2,6	25	65	0
08:00	4,6	62	285,2	10	26,1	265	0,2
09:00	8,1	59	477,9	16,6	27,4	454	0,5
10:00	10,5	69	724,5	15,9	26,64	390	0,9
11:00	2,5	73	182,5	5,7	28,8	164	1,3
12:00	0,5	74	37	2,3	27,2	56	1,5
13:00	0,8	75	60	2,1	27,2	57	1,5
14:00	0,7	70	49	2,6	27,2	50	1,5
15:00	0,6	71	42,6	1,6	27,2	43	1,6
16:00	0,6	70	42	1,6	27,2	43	1,6
17:00	0,7	57	39,9	1,4	27	35	1,7
18:00	0,6	59	35,4	1,3	27,2	35	1,7
19:00	0	65	0	0	25,9	0	1,7

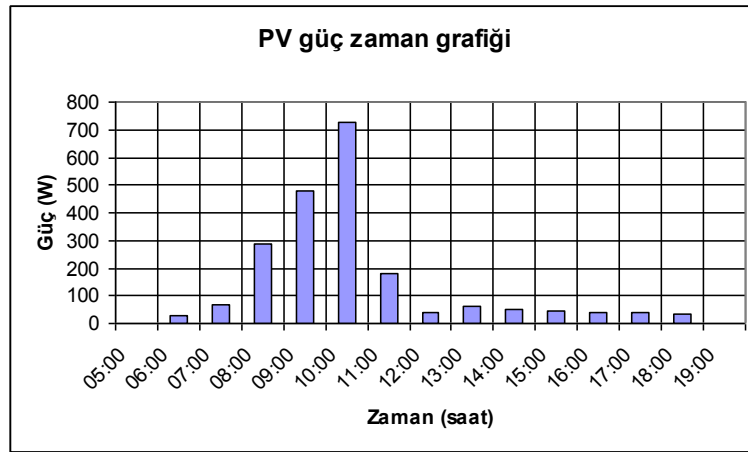
Tabloya ait değerlendirme grafikleri Şekil 5.1. ve Şekil 5.2. 'de verilmiştir. PV gerilim zaman grafiği incelendiğinde, 06:00'dan 19:00'a kadar gerilimlerin 50 V'tun üstünde olduğu görülmektedir. Maksimum gerilimlerin saat 13:00 75 V olduğu gözlenmiştir. Maksimum akım değerleri ise saat 10:00'da 10,5 A ile kaydedilmiştir. PV sistemden alınan maksimum güç ise yine saat 10:00'da 724,5 W olmuştur. Bu durum bu saatte sulama sistemin çalıştırılıyor olduğunu ve gelen enerjinin büyük kısmının doğrudan PV'lerden elde edildiğini göstermektedir. Diğer saatteki akım değerleri, bataryaların şarj ihtiyacına bağlı olarak değişmektedir.



a)

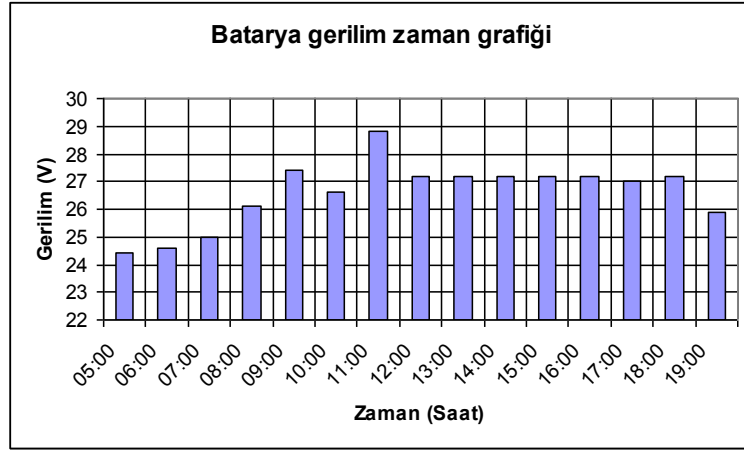


b)

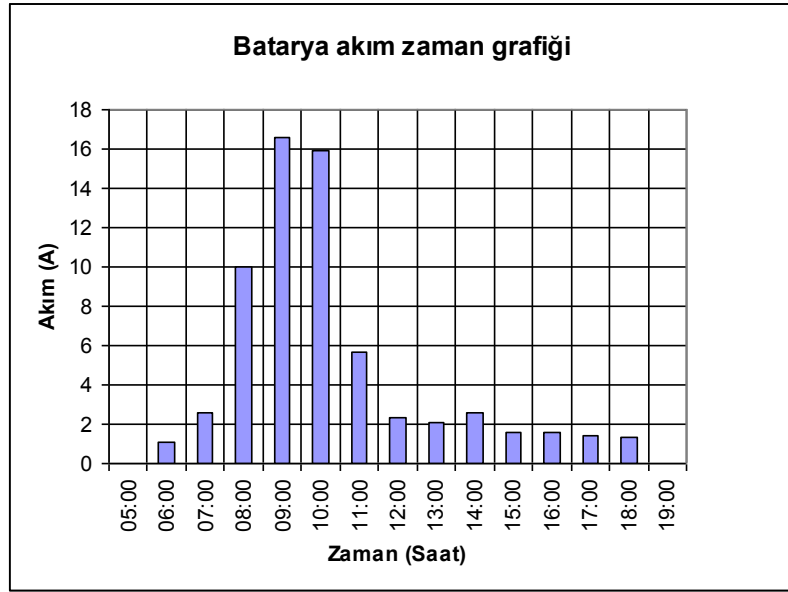


c)

**Şekil 5.1.** a) PV Gerilim- zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği, c) PV güç zaman grafiği



a)



b)

**Şekil 5.2.** a) Batarya gerilim-zaman grafiği, b) Batarya akım-zaman grafiği

Bataryanın akım zaman grafiği incelendiğinde, 06:00-08:00 saatleri arasında bataryanın akşam çalışmasından dolayı azalan gerilimin PV ile şarj edilerek yükseldiği görölmektedir. Sistemin çalıştığı 09:00-10:00 saatleri arasında maksimum akımın çekildiği gözlenmektedir. Bataryaların şarj olduktan sonra sabit 27,2 V gerilimde kaldığı tespit edilmiştir.

### 5.3. PV ve Batarya sisteminin haftalık ortalama verileri

Uygulama sisteminde, güneş panellerine ve bataryalara ait veriler 05:00-19:00 saatleri arasında kaydedilmiştir. Bir hafta süresince sistemden alınan PV akım, gerilim, Batarya akım, gerilim değerleri, güç ve enerji değerlerinin ortalaması Tablo 5.3.'te verilmiştir..

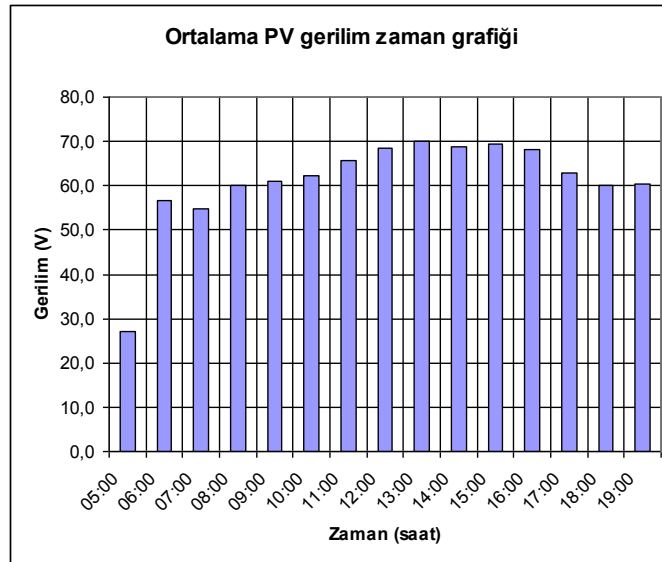
**Tablo 5.3.** PV ve Batarya sisteminin haftalık ortalama verileri

Ortalama	PV			Batarya		Güç
	Saat	Akım	Gerilim	Güç (W)	Akım	
05:00	0,0	27,1	0,0	0,0	24,6	0,0
06:00	0,4	56,7	22,7	0,9	24,6	18,3
07:00	1,3	54,7	71,1	2,8	25,4	70,4
08:00	4,4	60,1	262,1	9,8	26,9	276,0
09:00	7,3	61,0	442,7	15,2	27,3	412,3
10:00	8,3	62,1	514,9	18,8	26,7	493,0
11:00	7,8	65,6	512,4	16,4	27,4	441,4
12:00	7,6	68,4	517,6	9,1	27,8	260,7
13:00	4,2	70,1	297,6	9,1	27,8	253,9
14:00	1,0	68,9	67,9	2,4	25,4	58,3
15:00	1,0	69,4	68,4	2,2	26,8	62,3
16:00	0,8	68,3	52,7	3,8	26,8	130,3
17:00	1,0	62,9	62,9	2,2	26,6	58,0
18:00	1,0	60,1	58,4	2,0	26,8	55,1
19:00	0,2	60,3	12,1	0,1	25,7	2,9

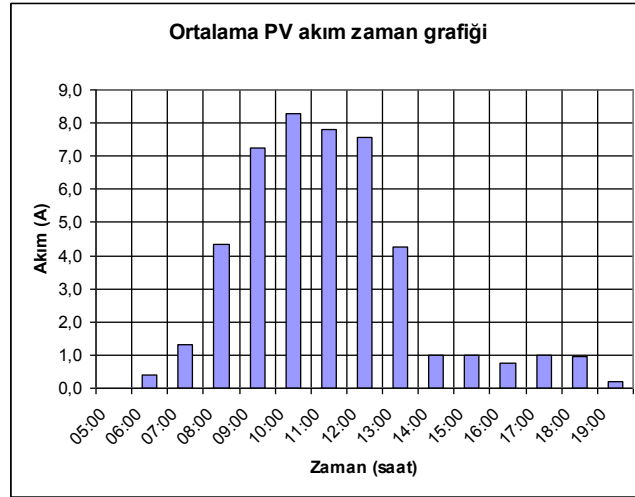
Tablo 5.3.'e ait değerlendirme grafikleri Şekil 5.3. ve Şekil 5.4. 'de verilmiştir. Ortalama PV gerilim zaman grafiği incelendiğinde, güneşin doğuşu olan 05:00 saati dışında kalan tüm saatlerde gerilimlerin 50 V'tun üstünde olduğu görülmektedir. Maksimum ortalama gerilimin 13:00-saatinde 70,1 V olduğu gözlenmiştir. Maksimum ortalama akım değerleri ise saat 10:00'da 8,3 A ile kaydedilmiştir. Bu durum bu saatte sistemin çalıştırılıyor olduğunu ve gelen enerjinin



büyük kısmının doğrudan PV'lerden elde edildiğini göstermektedir. Diğer saatteki akım değerleri, bataryaların şarj ihtiyacına bağlı olarak değişmektedir. Sistemin çalışma saatlerine genel olarak bakıldığında ortalama PV geriliminin 06:00-19:00 saatleri arasında 63,5 V olduğu görülmektedir. Ölçüm süresince maksimum PV'lerden çekilen güç ise 845 W'tır (bkz. Tablo Ek 11.) Uygulama sisteminden alınan ortalama haftalık veriler incelendiğinde PV geriliminin güneş ışınımının etkisinin az olduğu 05:00 ve 19:00 saatleri dışında 60 V'un üstünde olduğu görülmektedir. Bu da gün içerisinde 14 saat PV'lerden 60 V ve üzerinde gerilim elde edilebileceğini göstermektedir. Sistemden elde edilebilecek maksimum enerji hesap edildiğinde,  $845 \text{ W} \cdot 14 = 11.844 \text{ kWh}$  günlük enerji elde edilebileceği görülmektedir. Diyarbakır yöresinde temmuz ayı içerisinde günlük ortalama 10-12 kWh 'lik enerjinin elde edilebileceğini göstermektedir.. Sulama sistemi ihtiyacına bağlı olarak, günlük 10-12 kWh'lik enerji ihtiyacı olan her türlü sistem Güneş Evi ve Uygulama Parkı içerisinde kurulan 960 Wp'lik benzeri bir sulama sistemi tarafından beslenebilecektir.

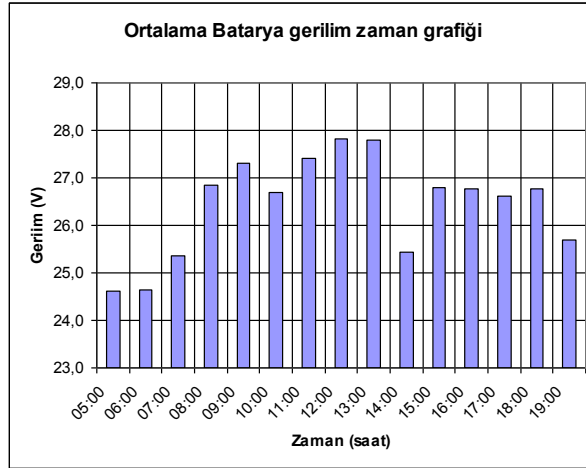


a)

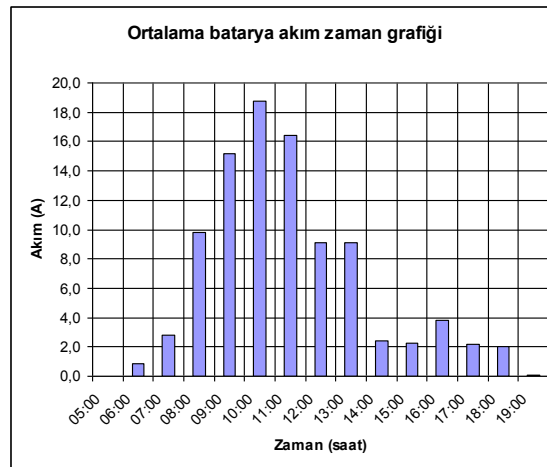


b)

Şekil 5.3. a) Ortalama PV gerilim- zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği, c) Ortalama PV güç zaman grafiği



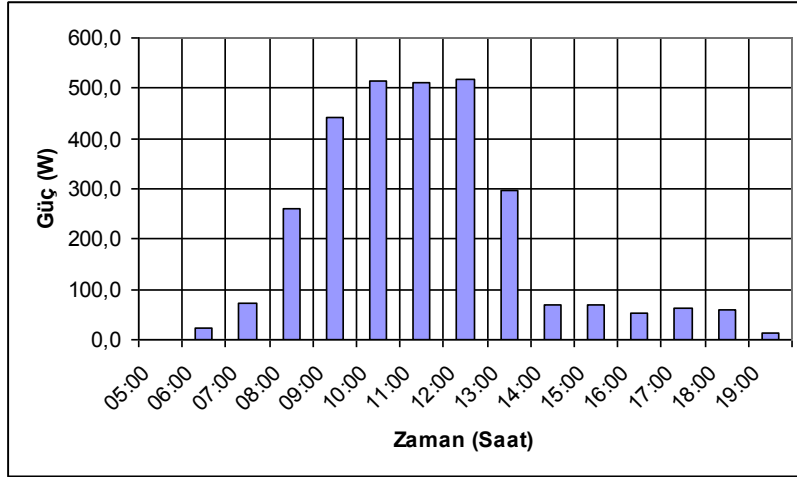
a)



b)

Şekil 5.4. a) Ortalama batarya gerilim-zaman grafiği, b) Ortalama batarya akım-zaman grafiği

Bataryanın gerilim zaman grafiği (Şekil 5.4.) incelendiğinde, 06:00-08:00 saatleri arasında bataryanın akşam çalışmasından dolayı azalan gerilimin PV ile şarj edilerek yükseldiği görölmektedir. Sistemin çalıştığı 09:00-10:00 saatleri arasında maksimum akımın çekildiği gözlenmektedir. Bataryaların şarj olduktan sonra sabit 27,2 V gerilimde kaldığı tespit edilmiştir.



**Şekil 5.5.** PV sisteminin ortalama güç zaman grafiği

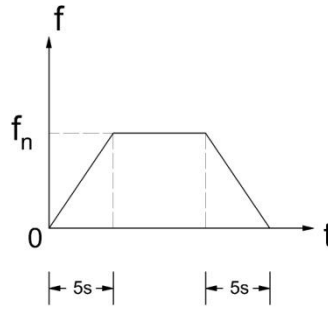
PV sisteminin ortalama güç zaman grafiği (Şekil 5.5.) incelendiğinde, 10:00-12:00 saatleri arasında uygulama sisteminde maksimum güç elde edildiği görölmektedir. Bu durum sistemin çalışma saatlerine yakından bağlıdır. Sistemin kullanımına bağlı olarak gün bazında elde edilen enerji Tablo 5.4.'de verilmiştir. Enerji miktarı, sulama sisteminin kullanım yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Sistemin enerji üretme kapasitesi bu değerlerin üzerindedir.

**Tablo 5.4.** Elde edilen günlük enerji miktarları

Günler	Pazar	Pazartesi	Salı	arşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi
<b>Enerji (kWh)</b>	1,7	4,6	1,13	2,5	1,1	2,8	1,8

#### 5.4. Asenkron Motor Çalışma Analiz Sonuçları

Uygulama sisteminde, Asenkron motorun hız kontrolü, frekans değiştirilerek hız kontrol cihazı aracılığıyla sağlanmıştır. 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 ve 60Hz frekanslarında motor çalıştırıp sistemden alınan sonuçlar kaydedilmiştir. Örnek olması açısından 50 Hz frekans değerinde, Asenkron motor akımı, besleme gerilimi ve çıkış frekansının değerleri 30 s'lik bir çalışma aralığında Tablo 5.3. 'de verilmiştir. Hız kontrolör, Şekil 5.5.'da görüldüğü gibi nominal hıza 5 s içerisinde ulaşmakta ve sistem durdurulduğunda 5 s içerisinde duracak şekilde rampa fonksiyonu ile kontrol edilmektedir.



Şekil 5.6. Artma ve azalma rampa zamanı

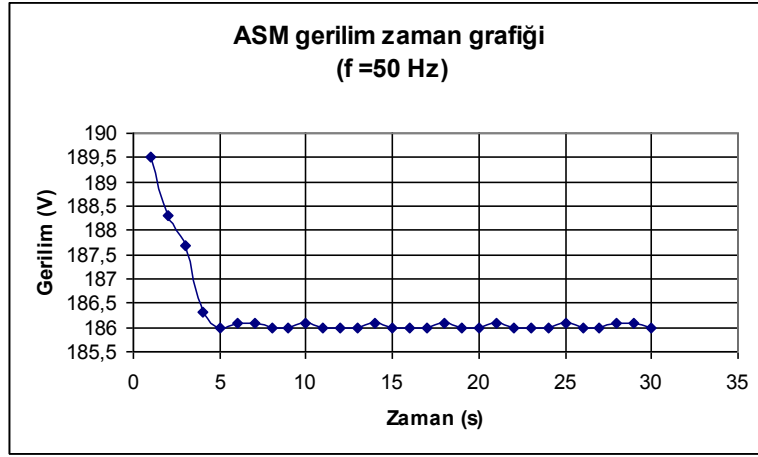
Örnekleme frekansı 2 kHz ve 4 kHz seçildiğinde sistemden alınan besleme gerilimi değerlerinde 0,1 V 'luk salınımlar olmaktadır. Anahtarlama frekansı 5 kHz ve 6 kHz seçildiğinde salınımların olmadığı görülmüştür. Uygulama sisteminde değişken moment kontrol modu seçilmiştir. Uygulama sisteminin çalıştığı ilk 4 s 'de sisteme ait verilerin rampa fonksiyonu nedeniyle değişkenlik gösterdiği daha sonra kararlı bir duruma geçtiği gözlenmiştir. Besleme gerilim değerinin Şekil 5.7. a 'da görüldüğü gibi 189,5 V ile 185,5 V arasında değiştiği fakat ilk 5 s 'den sonra kararlı duruma geçip 186 V olduğu gözlenmiştir..

**Tablo 5.5.** ASM,  $f=50$  Hz için Hız Kontrol Sonuçları

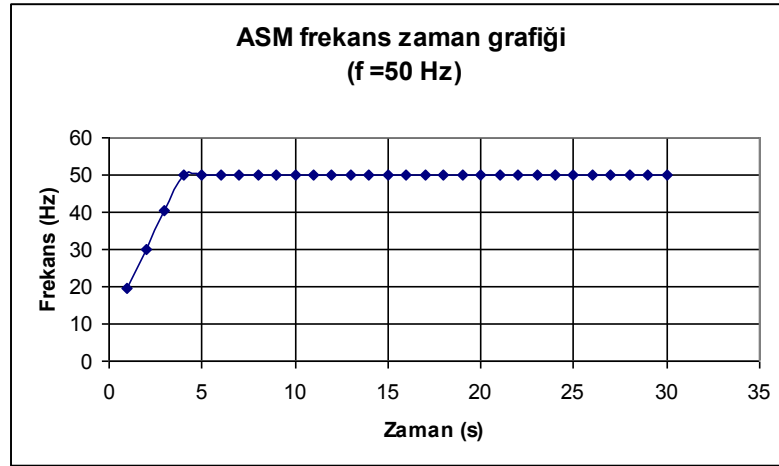
<b>Zaman (s)</b>	<b>Çıkış Frekansı (Hz)</b>	<b>Motor Akımı (A)</b>	<b>Besleme Gerilimi (V)</b>
1	19,4	0,60	189,5
2	30,1	0,9	188,3
3	40,6	1,2	187,7
4	49,9	1,6	186,3
5	50	1,7	186
6	50	1,7	186,1
7	50	1,7	186,1
8	50	1,7	186
9	50	1,7	186
10	50	1,7	186,1
11	50	1,7	186
12	50	1,7	186
13	50	1,7	186
14	50	1,7	186,1
15	50	1,7	186
16	50	1,7	186
17	50	1,7	186
18	50	1,7	186,1
19	50	1,7	186
20	50	1,7	186
21	50	1,7	186,1
22	50	1,7	186
23	50	1,7	186
24	50	1,7	186
25	50	1,7	186,1
26	50	1,7	186
27	50	1,7	186
28	50	1,7	186,1
29	50	1,7	186,1
30	50	1,7	186

Ayarlanan rampa fonksiyon nedeniyle, Sistem frekansı ise 5 s içinde 0 Hz'den 50 Hz değerine ulaşmıştır. Aynı zamanda akım değeri de başlangıç 0,7 A değerinden 4 s içinde 1,7 A değerine ulaşmış kararlı hale gelmiştir.

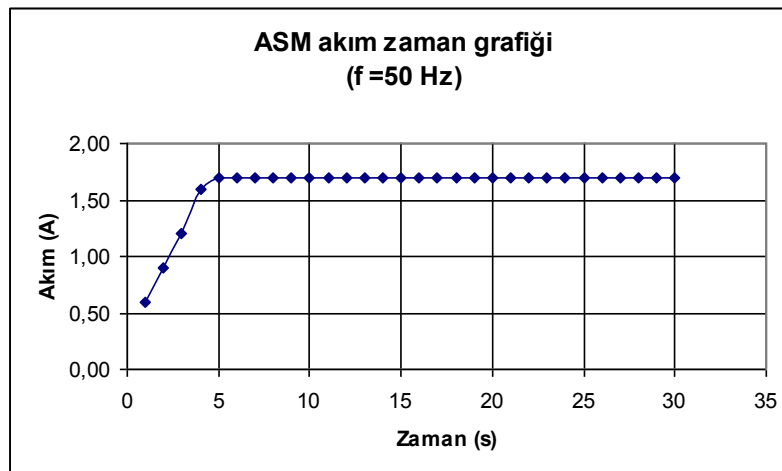
Uygulama sisteminde hız kontrolü frekans değiştirilerek yapılmıştır. 20 Hz ile 60 Hz arasında değişen frekanslarda Asenkron motora ait akım değerlerinin frekans arttıkça arttığı Tablo 5.5.'de görülmektedir.



a)



b)

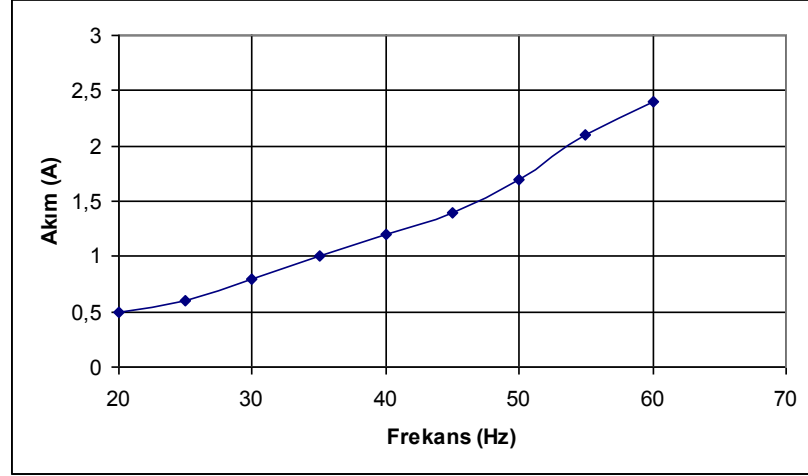


c)

Şekil 5.7. a) ASM gerilim zaman grafiği, b)ASM frekans zaman grafiği, c)ASM akım zaman grafiği

**Tablo 5.6.** Değişken frekanslarda ASM akım değişimi

Frekans, f (Hz)	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Akım, I (A)	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,7	2,1	2,4

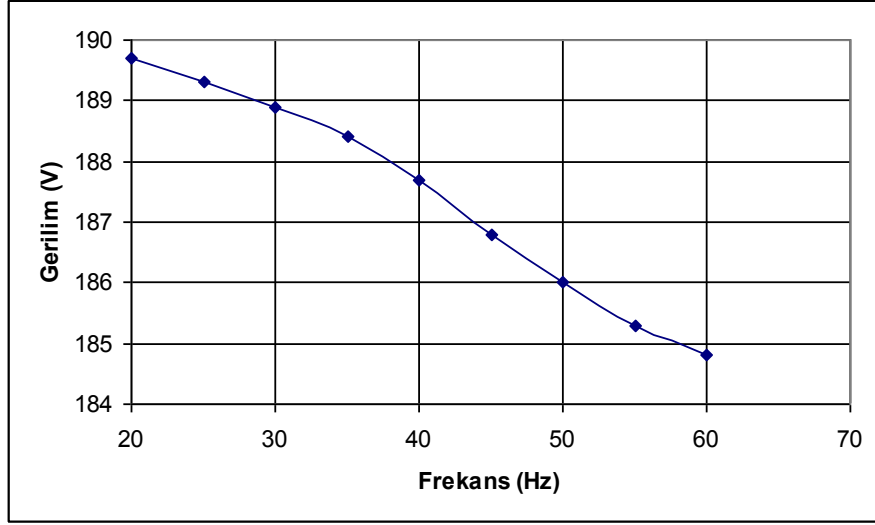


**Şekil 5.8.** ASM frekans akım grafiği

Besleme gerilim değeri Tablo 5.7.'de görüldüğü gibi frekans artışı ile ters orantılı bir şekilde değişmiştir. Başlangıç frekansı olan 20 Hz'de, besleme gerilim değeri 189,7 V iken frekans değeri artıp 60 Hz'e ulaştığı zaman 184,8 V değeri elde edilmiştir. Bu durum düşük frekanslarda gerilimin artırılması ilkesi ile uyumludur.

**Tablo 5.7.** ASM frekans gerilim değişimi

Frekans, f (Hz)	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Gerilim (V)	189,7	189,3	188,9	188,4	187,7	186,8	186	185,3	184,8

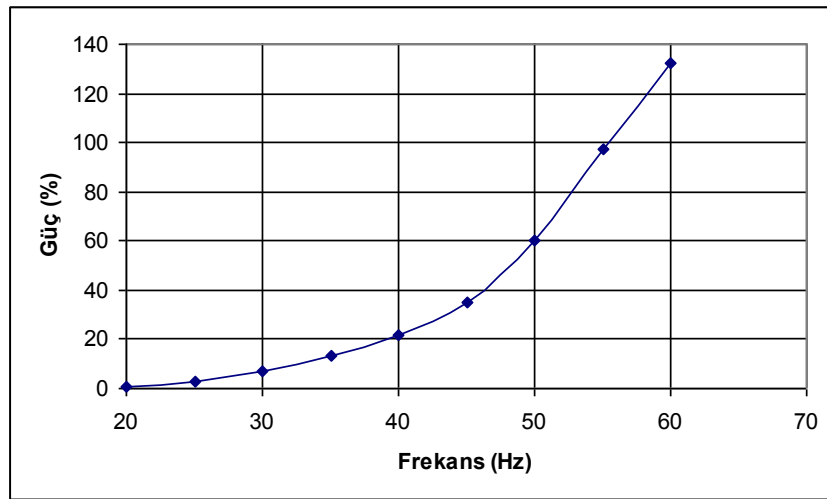


**Şekil 5.9.** ASM frekans gerilim grafiği

Frekansın artmasıyla gücün % cinsinden değişim değerleri Tablo 5.8.'de verilmiştir. Alınan sonuçlarda frekansın artmasıyla birlikte gücün arttığı görülmektedir. Bu değişimin grafiği Şekil 5.10.'da görülmektedir.

**Tablo 5.8.** ASM Frekans % Güç değişim Tablosu

Frekans, f (Hz)	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Güç (%)	1	3	7	13	22	35	60	97	132



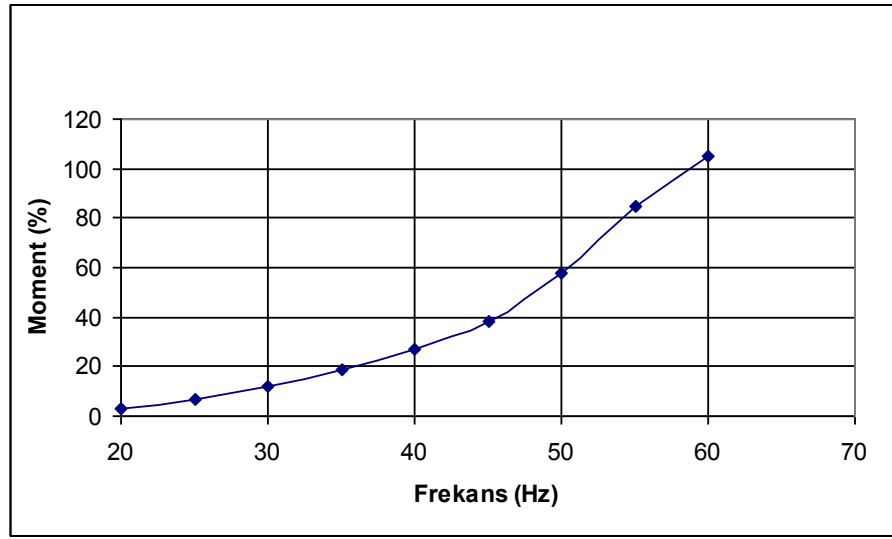
**Şekil 5.10.** ASM Frekans % Güç değişimi



Tablo 5.9.'da görüldüğü gibi uygulama sistemindeki frekans artıkça sistemden daha fazla moment elde edilmiştir. Bu değişim % cinsinden Tablo 5.9.'da verilmiştir. % moment değişim grafiği ise Şekil 5.11.'de verilmiştir.

**Tablo 5.9.** ASM Frekans % Moment değişim grafiği

Frekans, f (Hz)	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Moment (%)	3	7	12	19	27	38	58	85	105



**Şekil 5.11.** ASM Frekans % Moment değişimi

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Güneş ışığı ve su dünyada bütün canlılar için çok gereklidir. Güneş, insanlar tarafından bilinen en büyük ve sonsuz bir enerji kaynağıdır. Güneş gözeleri gürültüsüz, çevreyi kirletmeden, herhangi bir hareket eden mekanizmaya ihtiyaç duymadan güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir.

Bu çalışmada, güneş gözelerinden elektrik eldesinin bir sulama sistemine uygulanması ve sistemde kullanılan asenkron motorun performansının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla kurulan uygulama sisteminden elde edilen veriler analiz edilmiştir.

Çalışmada kurulan, 960 W<sub>p</sub>'lık uygulama sistemi ile 4 dönümlük bir alan sulanabilmektedir. Güneş Evi Uygulama ve Eğitim Parkı içerisinde kurulan sistemimiz Güneş evine ait tüm bahçeyi sulamaktadır. Bu tür sistemlerde genellikle verimleri yüksek olduğundan dolayı fırçasız DA motorlar tercih edilmektedir. Fakat bu makinanın maliyetleri asenkron motorlara göre yüksektir. Asenkron makinalar ise, diğer makinalara kıyasla ucuz olmaları, patlayıcı ortamlar dahil, her türlü kötü ortam şartlarında çalışabilmeleri ve bakım gerektirmemeleri gibi özellikleri nedeni ile uygulama sisteminde tercih edilmiştir. Sistemde kullanılan asenkron motorun hız kontrolü hız kontrol cihazı aracılığıyla yapılmaktadır. Sistemde kullanılan motor sürücü sistem maliyeti asenkron motor ve sürücü kullanılarak fırçasız DA motor ve sürücülerine göre üçte birine düşürülmüştür. Bu durumunda PV sistemlerinin en büyük dezavantajı olan, yüksek kurulum maliyetini azaltıcı yönde bir etkisi olmuştur.

Çalışmada elde edilen sonuçlardan asenkron motorun sulama sisteminde verimlilikle çalışabildiği gözlenmiştir. Hız kontrol olanağı ile elektriksel kayıplar önlenmektedir. Yurdumuzda güneş ışınımının fazla olduğu güney bölgelerinde,

özellikle sulama mevsiminin, güneş ışınımının yoğunlaştığı yaz aylarında olduğu düşünüldüğünde, sistemin amaca uygun bir biçimde olduğu söylenebilir. Çalışma sonuçları incelendiğinde sulama dönemi içerisinde Diyarbakır yöresinde, güneşten verimlilikle elektrik enerjisi elde edildiği görülmektedir. Motor hızı kontrol edilebildiği için istenilen miktarda su, damlama sulama metoduyla sisteme verilebilmektedir. Sistem üzerinde vana kaybı yoktur, dolayısıyla enerji etkin kullanılmıştır. Mevcut sistemde, hız kontrol sisteminin maksimum kayıp gücü 55 W'tır. Bu da kabul edilebilir bir değerdir.

Verilerin incelenmesinde, PV 'lerden elde edilen elektrik enerjisi ile gündüz saatlerinde bataryalara ihtiyaç duyulmadan sistemin çalışabildiği tespit edilmiştir. Gece sulaması gerektiği durumlarda, uygulama sistemi bataryalar aracılığıyla çalışabilmekte ve bataryalar gündüzleri hızlı şarj edilebilmektedir.

Sistemin çalışma saatlerine genel olarak bakıldığında ölçüm süresince, Diyarbakır yöresinde temmuz ayı içerisinde, gündüz saatlerinde 14 saat boyunca ortalama 63,5 V'luk gerilim ile maksimum 14,1 A'lik akım çekerek maksimum PV'lerden anlık olarak 845 W güç elde edilebilmektedir (bkz. Tablo Ek 1.1.). Bu durum kurulan 960 Wp 'lik bir sistemle Temmuz ayında Diyarbakır koşullarında 10-12 kWh'lik enerji üretebilme potansiyeli olduğunu göstermektedir.

Güneş enerjili elektrik üretim sistemleri ekonomik olarak günümüzde kullanılan diğer enerji kaynaklarına oranla maliyetli olmasına rağmen, şebekeye uzak yerlerde, enerji iletim hattı, trafo, gibi kurulum maliyetlerine azaltıcı yönde olumlu etkisi vardır. Aynı zamanda, istenen yerde ve güçte elektrik üretmesi, gürültüsüz çalışması, pek fazla bakım gerektirmeyen uzun ömürlü bir sistem olması bakımından tercih edilebilmektedir. Elektrik enerjisi olmayan, ulaştırılması zor ve kurulum

maliyeti yüksek olan yerlerde böyle sistemlerin kullanılması çoğu zaman avantajlı olabilmektedir.

Güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kullanımlarına ülke enerji politikalarında yer verilmesi, enerji dış alımlarını azaltabileceği gibi fosil yakıtlardan kaynaklanan çevre kirliliğinin azaltılmasını da sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

1. K kden, B., “PV temelli enerji sistemleri ve ülkemiz için bir güneş santrali modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, 2002, Kocaeli.
2. “V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Bildiriler Kitabı”, Haziran 2009, Diyarbakır
3. İbrahim, D., “Güneş Enerjisi Uygulamaları” Eylül 2006, Bileşim Yayınevi
4. İnternet, [http://www.foreenerji.com/pdf/info\\_articles06.pdf](http://www.foreenerji.com/pdf/info_articles06.pdf)
5. Berdirek, M., “Güneş Pili Sistemleri”, Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi , 2005
6. Atlam,  ., “Alternatif bir fotovoltatik panel (PV) modelinin santrifüj su pompa sistemlerine uygulanması ve performans gelişimine yönelik yaklaşımlar”, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 2004, Kocaeli.
7. Yıldız, M., “Fotovoltatik Pil ve modüllerin similasyonu ve performans analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2002, Sakarya.
8. Erdoğan, H., “Güneş Enerjisi ile alışan Arabanın Enerji Kaynak ve Depolama Sistemleri Tasarımı”, Lisans Tezi, Diyarbakır, 2007
9. Kuluk, F., “Güneş Enerjisi Sistemleri ve Sistem Verim Arttırma alışması”, Lisans Tezi, Sakarya, 2004
10. Fıratoğlu, Z.A., “Fotovoltatik desteklisu pompası sistemlerinin analiz ve optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Harran  niversitesi, 2003, şanlıurfa.
11. Kayan, T., “Sulama amaçlı bir fotovoltatik sistemin geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 1995, İzmir.
12. Eren, İ., “Fotovoltatik sistemle damla sulama sistemi üzerine bir araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 1994, İzmir.

13. Mondol, J. D., Yohanis, Y.G., Norton, B., “Solar radiation modelling for the simulation of photovoltaic systems”, Renewable Energy, 33, (2008), 1109-1120.
14. Mezghanni, D., Andoulsi, R., Mami, A., Tanguy, G.D., “Bond graph modelling of a photovoltaic system feeding an induction motor-pump”, 15, (2007), 1224-1238.
15. Hamidat, A., Benyoucef B., “Mathematic models of photovoltaic motor-pump systems”, 33, (2008), 933-942.
16. Mohan, N., Undeland T. M., Robbins, W. P., “Güç Elektroniği Çeviriciler, Uygulamalar ve Tasarım”1989
17. Chapman, S. J., “Elektrik makinelerinin Temelleri”1958
18. Sarıoğlu, M.K., Gökaşan, M., Bogasyan, S., “Asenkron Makinalar ve Kontrolü”, Ağustos, 2003,
19. Mimouni, M.N. Mansouri, “Vectorial command of an asynchronous motor fed by a photovoltaic generator”, Renewable Energy 29 (2004) 433-442
20. A. Betka and A. Moussini “Performance optimization of a photovoltaic induction motor pumping systems”, Renewable Energy 29 (2004) 2167-2181
21. Eren, İ., “Fotovoltaik sistemle damla sulama sistemi üzerine bir araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 1994, İzmir.
22. Aydın, Y., “Güneş Gözesi dizisinin maksimum gücünün bilgisayar kontrollü izlenmesi ve fotovoltaik pompa uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1991, İstanbul.
23. Schneider Electric, “AA Motorlarda Hız Kontrol Uygulamaları- ATV31” Teknik Eğitimi, 2009

24. Schneider Electric, "Presentation of Powersuite V2.2 Function on ATV31"  
Teknik Eğitimi, 2009

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yurdagül BENTEŞEN YAKUT

Doğum Yeri:Diyarbakır

Doğum Tarihi:08/01/1977

Medeni Hali:Evli

Yabancı Dili:İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Diyarbakır Anadolu Teknik Lisesi 1994

Lisans : Dicle Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği  
Bölümü 1999

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

2000-2003: Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Otomasyon Merkezi; Okutman

2003-----: Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik  
Mühendisliği Bölümü, Okutman

Yayımları (SCI ve diğer):



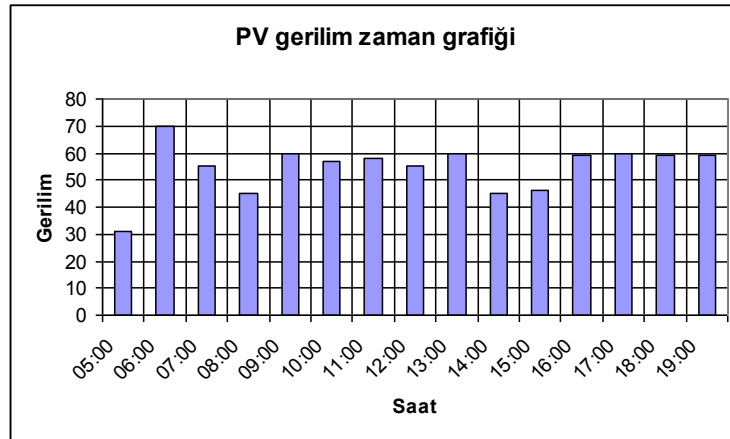
1. Bilal Gümüş, Yurdağül Benteşen Yakut, Ferhat ıra “şebeke Gerilim Deđiőimlerinin Lamba Karakteristikleri Üzerindeki Etkisinin Görsel Konfor Açısından İncelenmesi” II. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 17-18 Mayıs 2007, Kocaeli.
2. Yurdağül Benteşen Yakut, Y. Berivan Özbudak, Bilal Gümüş, “ Müze Aydınlatmaları ve Diyarbakır Arkeoloji Müzesinin Müze Aydınlatma Teknikleri Açısından İncelenmesi”, 6. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 23-24 Kasım 2006, İstanbul
3. Hüseyin Erdoğan, Bilal Gümüş, Serhat Berat Efe, Cem Kutlu, Hasan Bayındır, Yurdağül Benteşen Yakut, Ferhat ıra, Ramazan Aslan, “ Yođunlaőtırcılı Güneş Enerji Santralleri ve Ilısı HES’e Alternatif Olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesine Uygulanabilirliği”, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 19-21 Haziran 2009, Diyarbakır

## EKLER

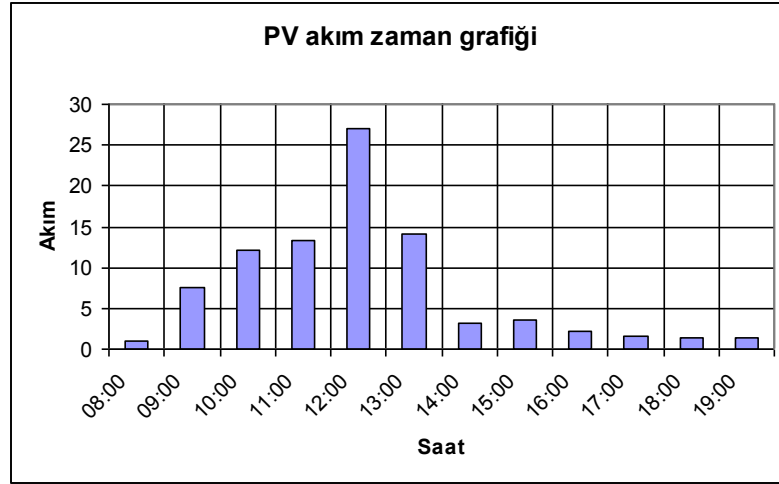
### EK 1. Uygulama Sistem Çıktıları

Tablo Ek 1.1 06 Temmuz 2009 PV ve Batarya verileri

Saat	PV		Batarya		Güç W	Enerji kWh
	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)		
05:00	0	31	0	25.1	0	0
06:00	0	70	0	25.1	0	0
07:00	0,8	55	1.8	25.7	46	0
08:00	1	45	5.5	27.7	169	0.1
09:00	7.6	60	16.1	25.5	413	0.3
10:00	12.2	57	24.6	25.7	634	1.4
11:00	13.3	58	26.3	26.6	699	2.1
12:00	27	55	5.3	25.2	133	2.8
13:00	14.1	60	29	26.6	768	2.9
14:00	3.2	45	6.2	24.7	125	3.5
15:00	3.5	46	5.9	24.1	164	3.9
16:00	2.2	59	18.09	24.6	133	4.1
17:00	1.5	60	3.2	25.9	82	4.4
18:00	1.4	59	2.9	25.9	82	4.4
19:00	1.4	59	0.8	25.2	20	1.7

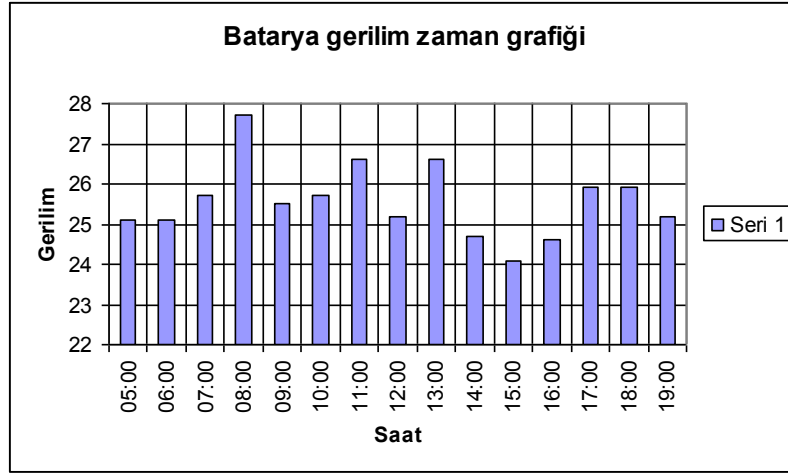


a)

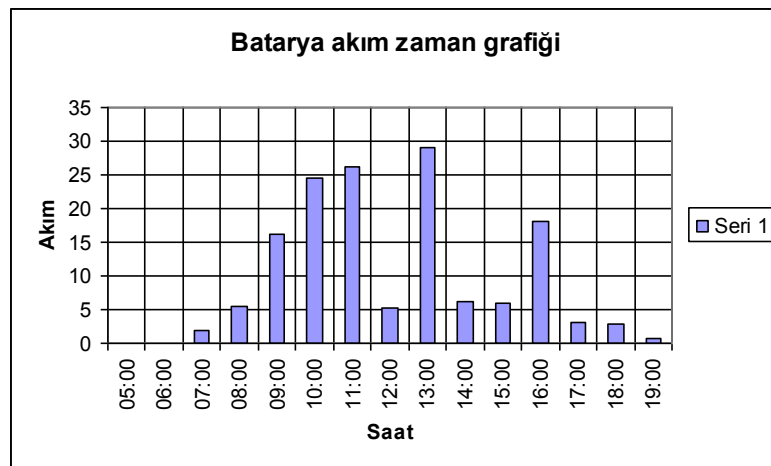


b)

Şekil Ek 1.1.a) PV gerilim-zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği



a)

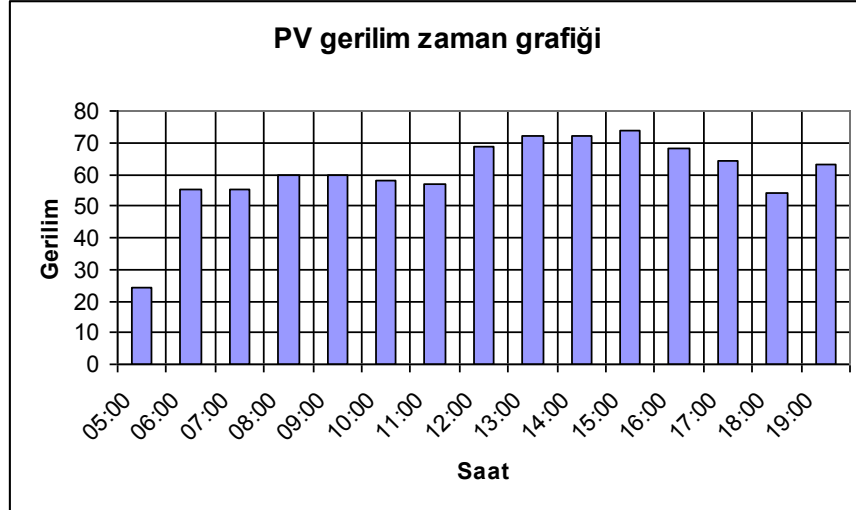


b)

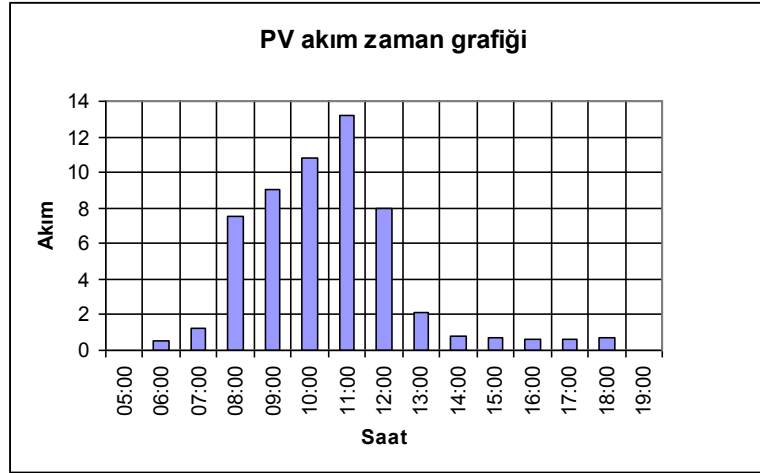
Şekil Ek 1.2. a) Batarya gerilim-zaman grafiği, b) Batarya akım-zaman grafiği

Tablo Ek 1.2. 07 Temmuz 2009 PV ve Batarya verileri

	PV		Batarya		Güç	Enerji
Saat	Akım	Gerilim	Akım	Gerilim	W	kWh
05:00	0	24	0	24.1	0	176
06:00	0.5	55	1.2	24.2	29	0
07:00	1.2	55	2.6	24.7	66	1
08:00	7.5	60	15.6	26.6	414	18
09:00	9	60	19.9	24.8	493	27
10:00	10.8	58	22.9	24.7	565	38
11:00	13.2	57	27.9	25.5	714	64
12:00	8	69	16.8	28.7	498	93
13:00	2.1	72	4.8	28.7	138	103
14:00	0.8	72	2.2	17.2	59	106
15:00	0.7	74	1.9	27.2	51	107
16:00	0.6	68	1.4	27.3	48	109
17:00	0.6	64	1.8	27.2	48	111
18:00	0.7	54	1.4	26.7	37	112
19:00	0	63	0	26.2	0	113

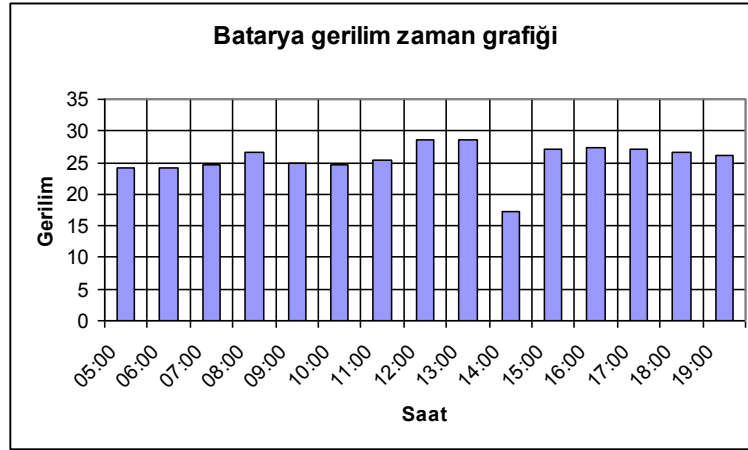


a)

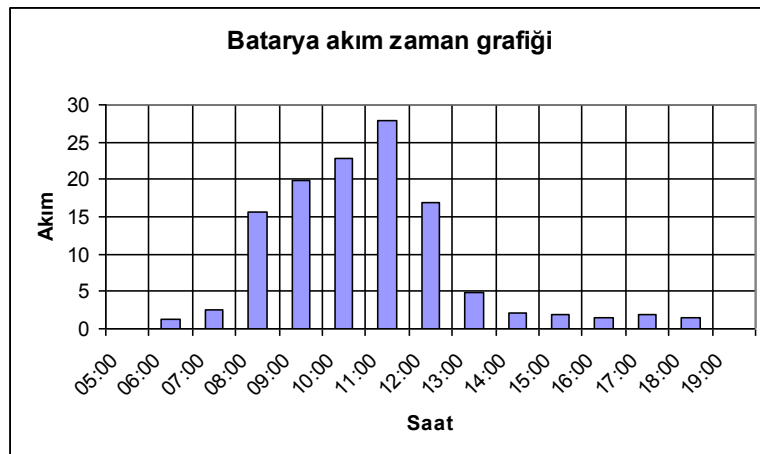


b)

Şekil Ek 1.3. a) PV gerilim-zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği



a)

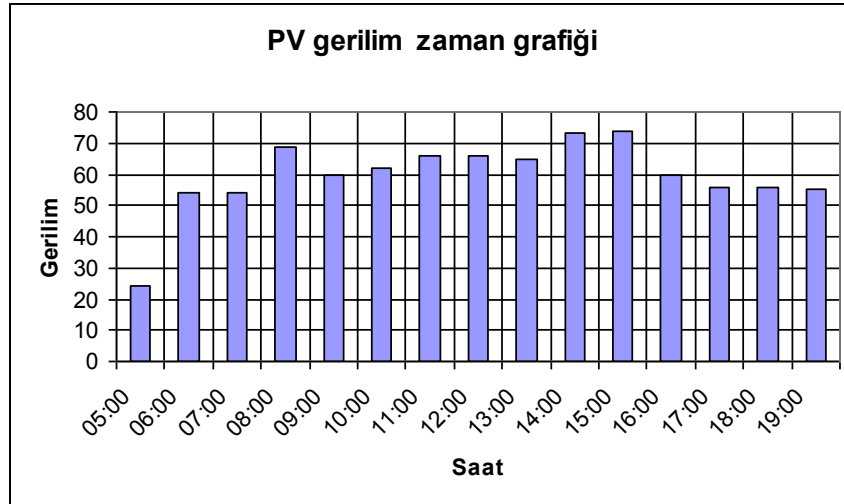


b)

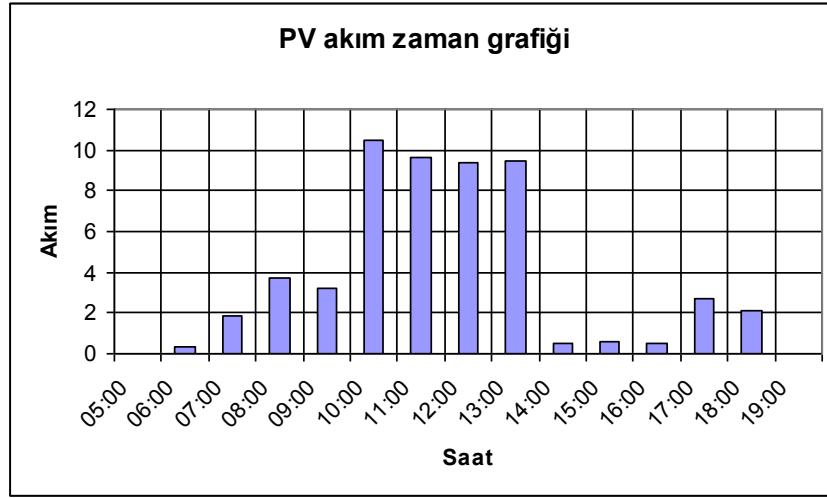
Şekil Ek 1.4. a) Batarya gerilim-zaman grafiği, b) Batarya akım-zaman grafiği

**Tablo Ek 1.3.** 08 Temmuz 2009 PV ve Batarya verileri

Saat	PV		Batarya		Güç W	Enerji kWh
	Akım	Gerilim	Akım	Gerilim		
05:00	0	24	0	25.2	0	113
06:00	0.3	54	0.8	25.3	0	20
07:00	1.9	54	3.8	26.5	100	2
08:00	3.7	69	8.2	28.8	241	7
09:00	3.2	60	7.3	29.4	244	6
10:00	10.5	62	21.5	27.3	589	0.8
11:00	9.6	66	20.1	28.8	581	1.4
12:00	9.4	66	19.6	28.8	572	1.9
13:00	9.5	65	20.1	28.8	574	1.5
14:00	0.5	73	1.3	27.3	40	2
15:00	0.6	74	1.4	27.4	41	2.1
16:00	0.5	60	1.1	26.7	568	2.1
17:00	2.7	56	5.2	24.7	130	2.4
18:00	2.1	56	4.1	25.9	108	2.5
19:00	0	55	0	25.2	0	2.5

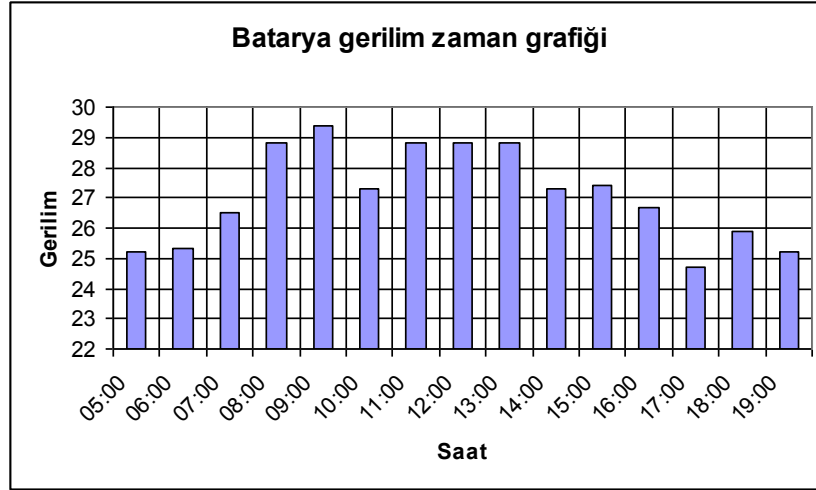


a)

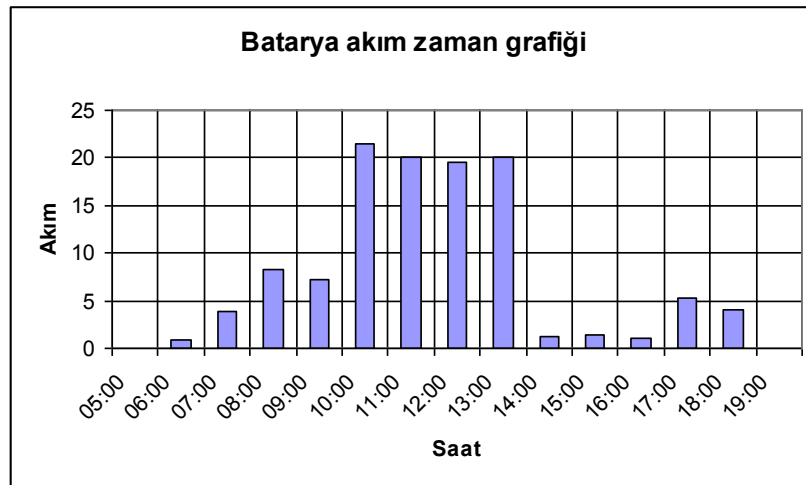


b)

Şekil Ek 1.5. a) PV gerilim-zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği



a)



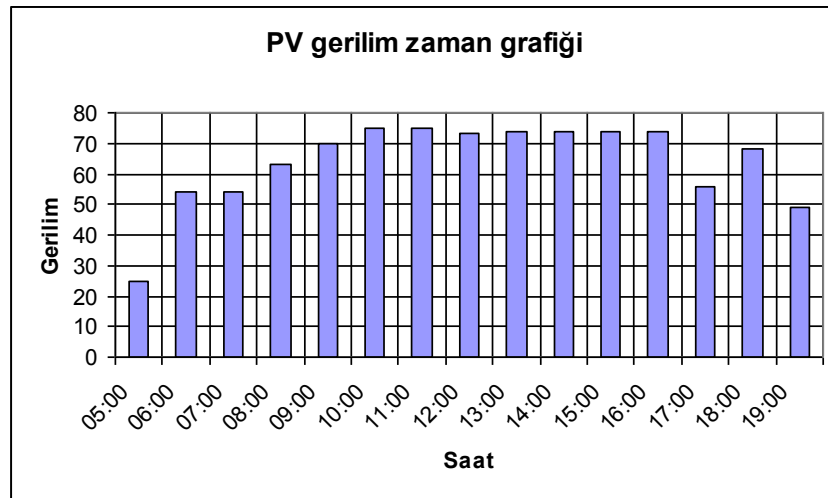
b)

Şekil Ek 1.6. a) Batarya gerilim-zaman grafiği, b) Batarya akım-zaman grafiği

09 Temmuz Perşembe gübreleme yapıldığı için sistem hiç çalışmamıştır

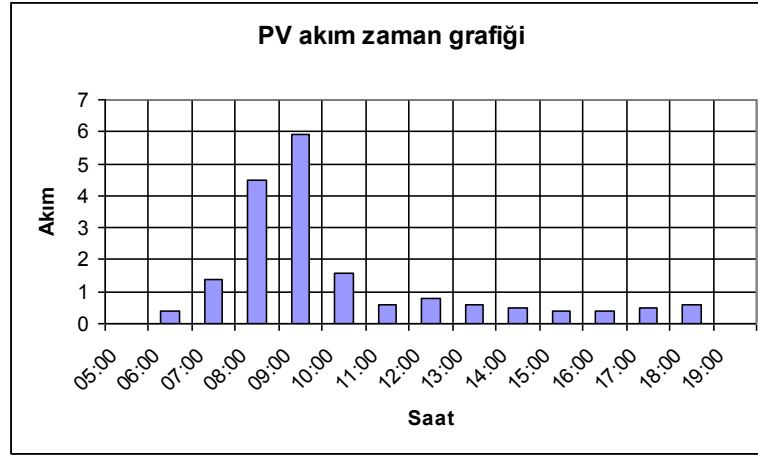
**Tablo Ek 1.4.09** Temmuz 2009 PV ve Batarya verileri

Saat	PV		Batarya		Güç W	Enerji kWh
	Akım	Gerilim	Akım	Gerilim		
05:00	0	25	0	25.1	0	2.5
06:00	0.4	54	1	24.7	24	0
07:00	1.4	54	3	25.5	76	0
08:00	4.5	63	9.9	26.7	364	0.2
09:00	5.9	70	13.1	28.8	365	0.5
10:00	1.6	75	3.8	28.8	109	0.8
11:00	0.6	75	1.8	27.2	48	0.8
12:00	0.8	73	1.9	27.2	54	0.9
13:00	0.6	74	1.6	27.2	46	0.9
14:00	0.5	74	1.4	27.2	40	1
15:00	0.4	74	1.2	27.2	32	1
16:00	0.4	74	1.35	27.2	36	1.2
17:00	0.5	56	0.3	27.1	36	2
18:00	0.6	68	1.5	27.2	40	0.6
19:00	0	49	0	26.1	0	1.1



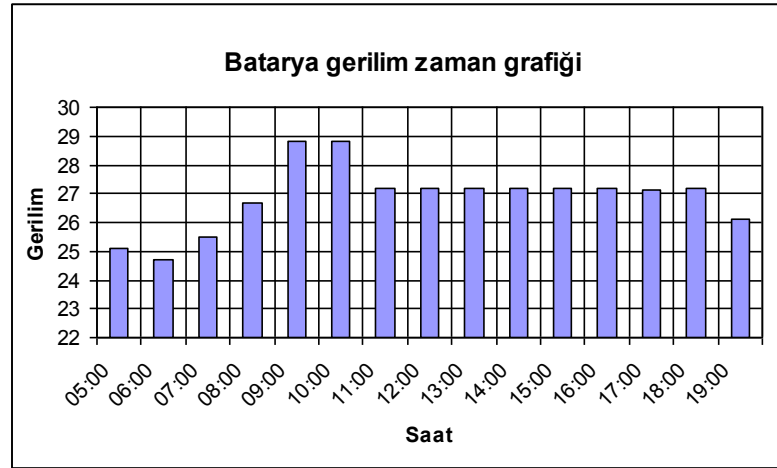
a)



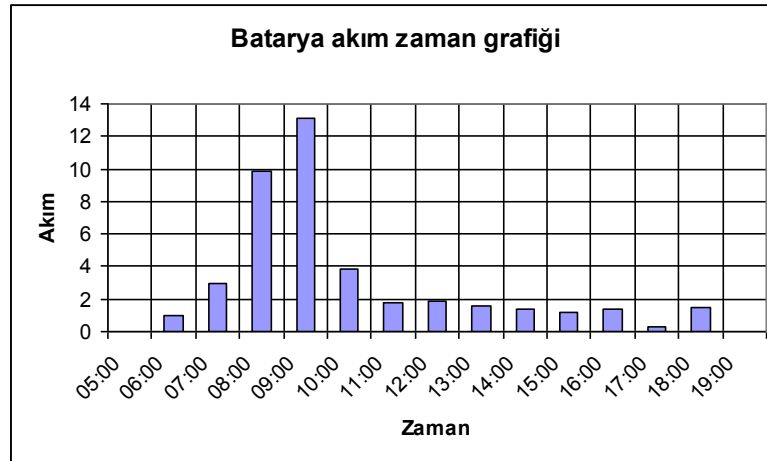


b)

Şekil Ek 1.7. a) PV gerilim-zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği



a)

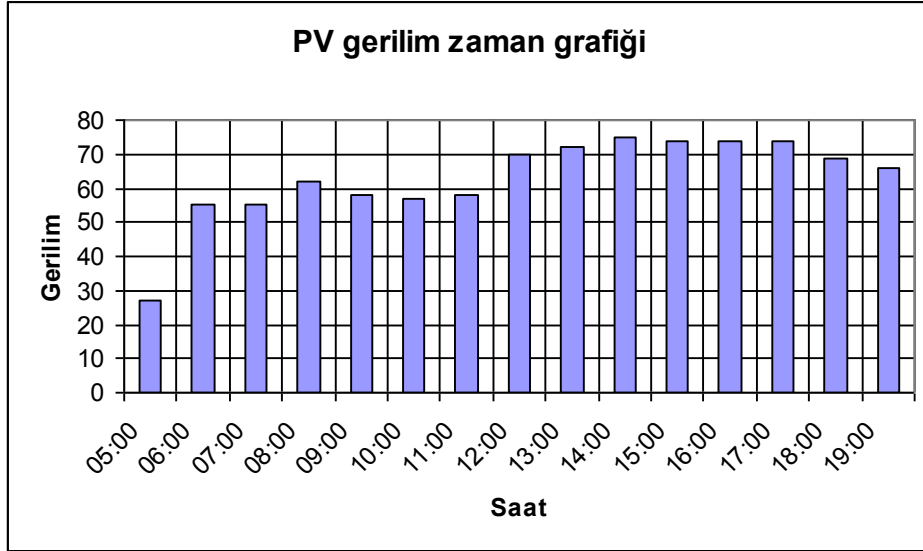


b)

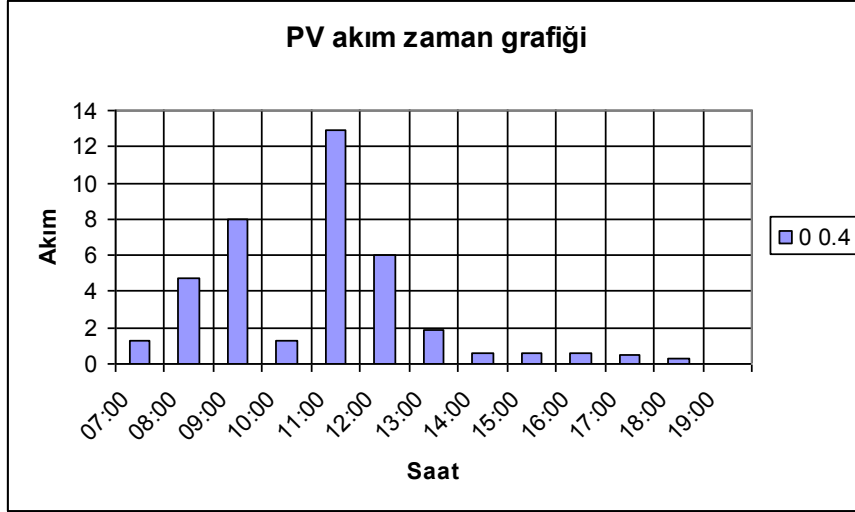
Şekil Ek 1.8. a) Batarya gerilim-zaman grafiği, b) Batarya akım-zaman grafiği

Tablo Ek 1.5. 10 Temmuz 2009 PV ve Batarya verileri

Saat	PV		Batarya		Güç	Enerji
	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)	W	kWh
05:00	0	27	0	24,5	0,0	0,0
06:00	0,4	55	1	24,6	24,0	0,0
07:00	1,3	55	2,8	25,4	71,0	0,0
08:00	4,7	62	10,2	26,5	270,0	0,2
09:00	8	58	15,2	28,3	428,0	0,5
10:00	1,3	57	23,1	25,5	589,0	1,0
11:00	12,9	58	26,2	26,2	686,0	1,6
12:00	6,05	70	14,5	28,8	420,0	2,0
13:00	1,9	72	4,5	28,8	143,0	2,5
14:00	0,6	75	1,7	27,2	48,0	2,6
15:00	0,6	74	1,9	27,2	51,0	2,7
16:00	0,6	74	1,6	27,2	46,0	2,7
17:00	0,5	74	1,5	27,2	40,0	2,8
18:00	0,3	69	0,9	27,2	24,0	0,8
19:00	0	66	0	26,3	0,0	2,8

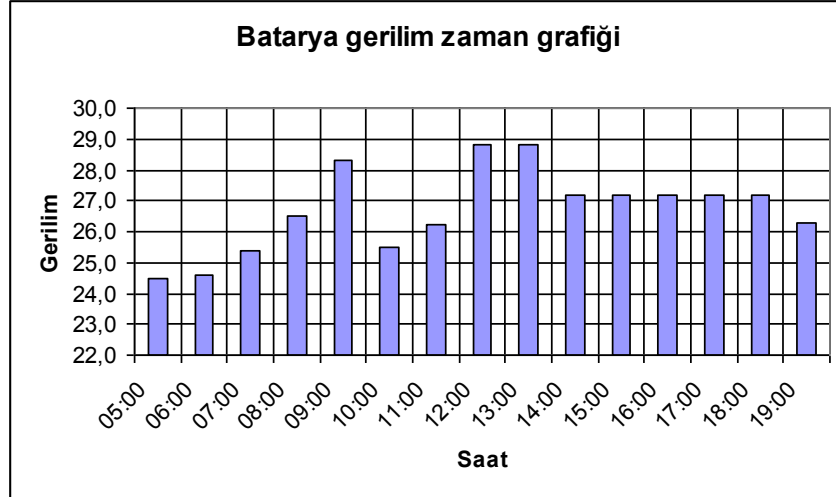


a)

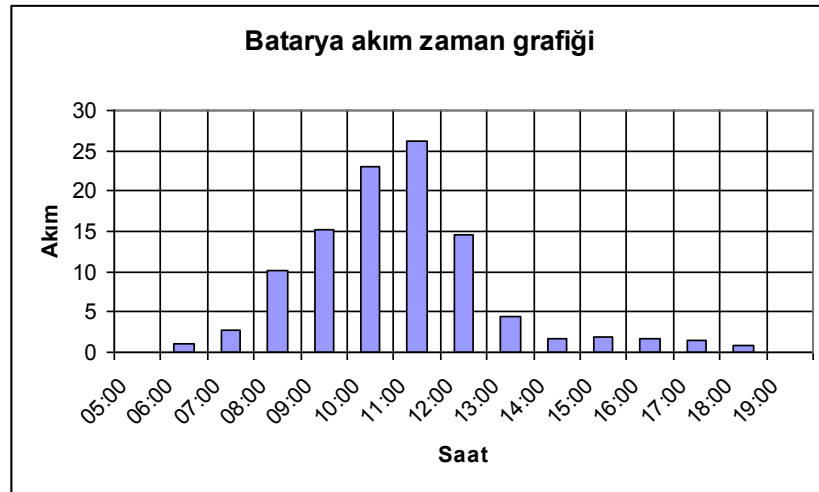


b)

Şekil Ek 1.9. a) PV gerilim-zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği



a)

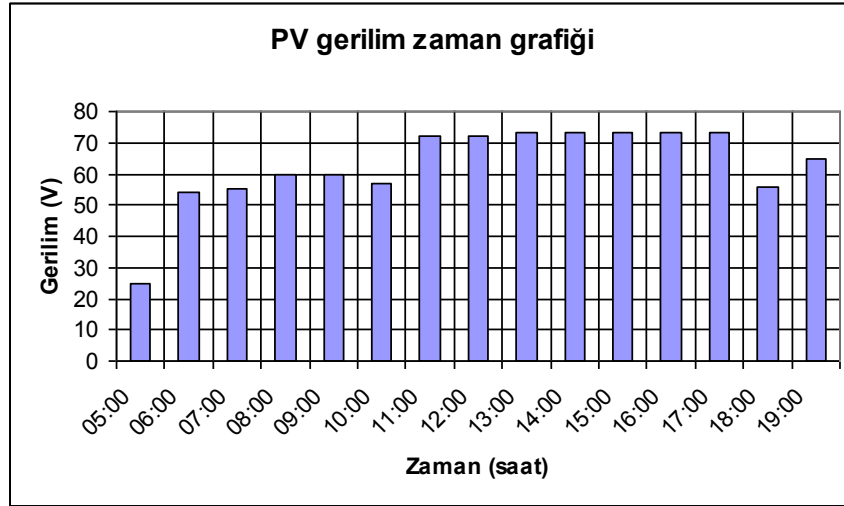


b)

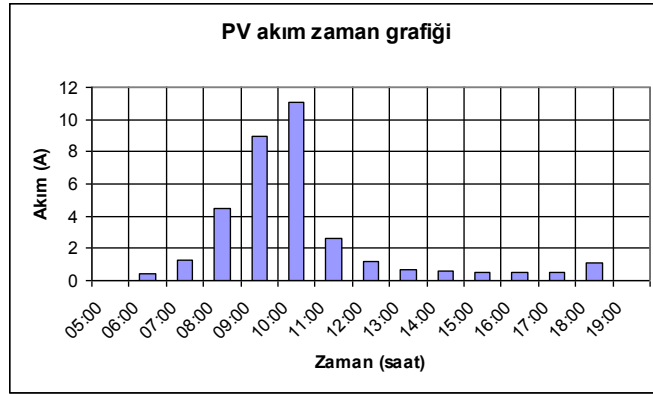
Şekil 9 Ek 1.10. a) Batarya gerilim-zaman grafiği, b) Batarya akım-zaman grafiği

**Tablo Ek 1.6.** 11 Temmuz 2009 PV ve Batarya verileri

Saat	PV		Batarya		Güç W	Enerji kWh
	Akım	Gerilim	Akım	Gerilim		
05:00	0	25	0	23,9	0,0	0,0
06:00	0,4	54	1	24,0	24,0	0,0
07:00	1,3	55	2,8	24,8	69,0	0,0
08:00	4,5	60	9,3	25,6	209,0	0,1
09:00	9	60	18,2	26,9	489,0	0,6
10:00	11,1	57	19,5	28,2	575,0	1,0
11:00	2,6	72	6,9	28,7	198,0	1,4
12:00	1,2	72	3,1	28,8	92,0	1,5
13:00	0,7	73	1,8	27,2	51,0	1,6
14:00	0,6	73	1,7	27,2	46,0	1,6
15:00	0,5	73	1,7	27,2	54,0	1,6
16:00	0,5	73	1,4	27,2	38,0	1,7
17:00	0,5	73	1,9	27,2	35,0	1,7
18:00	1,1	56	1,9	27,2	60,0	1,8
19:00	0	65	0	25,0	0,0	1,8

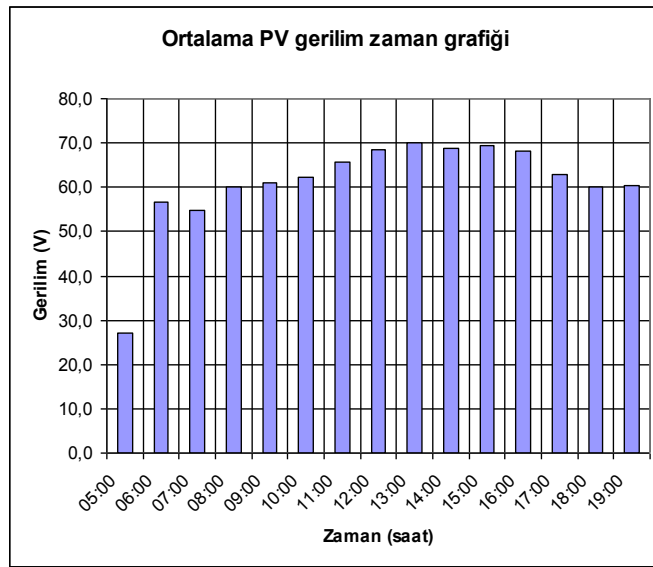


a)

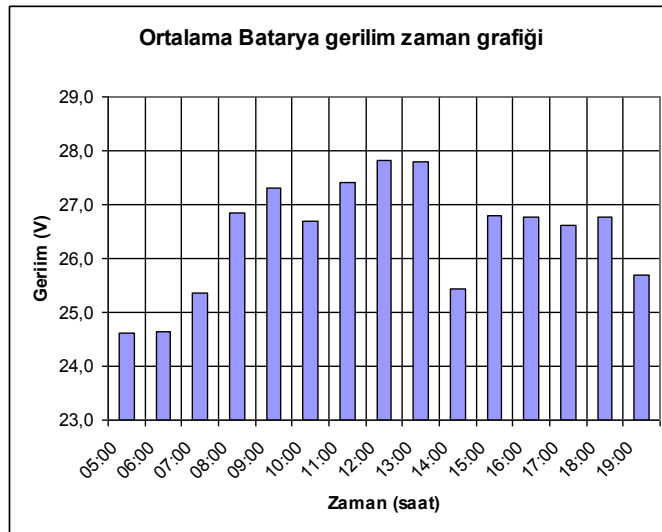


b)

Şekil Ek 1.11. a) PV gerilim-zaman grafiği, b) PV akım-zaman grafiği



a)



b)

Şekil Ek 1.12. a) Batarya gerilim-zaman grafiği, b) Batarya akım-zaman grafiği

## Ek 2: ASM Hız Kontrol Sonuçları

Tablo 2.1. ASM Hız Kontrol Sonuçları  $f=20$  Hz

Zaman (s)	Çıkış Frekansı (Hz)	Motor Akımı (A)	Besleme Gerilimi (V)
1	19,9	0,60	189,7
2	20	0,5	189,7
3	20	0,5	189,6
4	20	0,5	189,7
5	20	0,5	189,7
6	20	0,5	189,7
7	20	0,5	189,7
8	20	0,5	189,7
9	20	0,5	189,7
10	20	0,5	189,7
11	20	0,5	189,7
12	20	0,5	189,7
13	20	0,5	189,7
14	20	0,5	189,6
15	20	0,5	189,7
16	20	0,5	189,7
17	20	0,5	189,7
18	20	0,5	189,7
19	20	0,5	189,7
20	20	0,5	189,7
21	20	0,5	189,6
22	20	0,5	189,7
23	20	0,5	189,7
24	20	0,5	189,7
25	20	0,5	189,6
26	20	0,5	189,7
27	20	0,5	189,7
28	20	0,5	189,7
29	20	0,5	189,7
30	20	0,5	189,7

**Tablo 2.2.** ASM Hız Kontrol Sonuçları  $f=25$  Hz

Zaman (s)	Çıkış Frekansı (Hz)	Motor Akımı (A)	Besleme Gerilimi (V)
1	21,9	0,70	189,3
2	25	0,6	189,6
3	25	0,6	189,3
4	25	0,6	189,4
5	25	0,6	189,3
6	25	0,6	189,3
7	25	0,6	189,3
8	25	0,6	189,3
9	25	0,6	189,3
10	25	0,6	189,3
11	25	0,6	189,3
12	25	0,6	189,3
13	25	0,6	189,3
14	25	0,6	189,3
15	25	0,6	189,3
16	25	0,6	189,3
17	25	0,6	189,3
18	25	0,6	189,3
19	25	0,6	189,3
20	25	0,6	189,3
21	25	0,6	189,3
22	25	0,6	189,3
23	25	0,6	189,3
24	25	0,6	189,3
25	25	0,6	189,3
26	25	0,6	189,3
27	25	0,6	189,3
28	25	0,6	189,3
29	25	0,6	189,3
30	25	0,6	189,3

**Tablo 2.3.** ASM Hız Kontrol Sonuçları  $f=30$  Hz

Zaman (s)	Çıkış Frekansı (Hz)	Motor Akımı (A)	Besleme Gerilimi (V)
1	22,2	0,70	189,2
2	30	0,8	188,6
3	30	0,8	188,8
4	30	0,8	188,9
5	30	0,8	188,9
6	30	0,8	188,9
7	30	0,8	188,9
8	30	0,8	188,9
9	30	0,8	188,9
10	30	0,8	188,9
11	30	0,8	188,9
12	30	0,8	188,9
13	30	0,8	188,9
14	30	0,8	188,9
15	30	0,8	188,9
16	30	0,8	188,9
17	30	0,8	188,9
18	30	0,8	188,9
19	30	0,8	188,9
20	30	0,8	188,9
21	30	0,8	188,9
22	30	0,8	188,9
23	30	0,8	188,9
24	30	0,8	188,9
25	30	0,8	188,9
26	30	0,8	188,9
27	30	0,8	188,9
28	30	0,8	188,9
29	30	0,8	188,9
30	30	0,8	188,9



**Tablo 2.4.** ASM Hız Kontrol Sonuçları  $f=35$  Hz

Zaman (s)	Çıkış Frekansı (Hz)	Motor Akımı (A)	Besleme Gerilimi (V)
1	20,8	0,70	189,4
2	31,2	0,9	188,3
3	35	1,0	188,3
4	35	1,0	188,4
5	35	1,0	188,3
6	35	1,0	188,4
7	35	1,0	188,4
8	35	1,0	188,4
9	35	1,0	188,4
10	35	0,9	188,4
11	35	1,0	188,4
12	35	1,0	188,4
13	35	1,0	188,4
14	35	1,0	188,4
15	35	0,9	188,4
16	35	0,9	188,4
17	35	0,9	188,4
18	35	1,0	188,4
19	35	1,0	188,4
20	35	0,9	188,4
21	35	0,9	188,4
22	35	0,9	188,4
23	35	1,0	188,4
24	35	1,0	188,4
25	35	1,0	188,4
26	35	1,0	188,4
27	35	1,0	188,3
28	35	1,0	188,4
29	35	1,0	188,4
30	35	0,9	188,3

**Tablo 2.5.** ASM Hız Kontrol Sonuçları  $f=40$  Hz

Zaman (s)	Çıkış Frekansı (Hz)	Motor Akımı (A)	Besleme Gerilimi (V)
1	19,7	0,60	189,5
2	30,1	0,9	188,3
3	39,8	1,2	187,8
4	40	1,2	187,7
5	40	1,2	187,7
6	40	1,2	187,7
7	40	1,2	187,7
8	40	1,2	187,7
9	40	1,2	187,7
10	40	1,2	187,7
11	40	1,2	187,7
12	40	1,2	187,7
13	40	1,2	187,7
14	40	1,2	187,7
15	40	1,2	187,7
16	40	1,2	187,7
17	40	1,2	187,7
18	40	1,2	187,7
19	40	1,2	187,7
20	40	1,2	187,7
21	40	1,2	187,7
22	40	1,2	187,7
23	40	1,2	187,7
24	40	1,2	187,7
25	40	1,2	187,7
26	40	1,2	187,7
27	40	1,2	187,7
28	40	1,2	187,7
29	40	1,2	187,7
30	40	1,2	187,7

**Tablo 2.6.** ASM Hız Kontrol Sonuçları  $f=45$  Hz

Zaman (s)	Çıkış Frekansı (Hz)	Motor Akımı (A)	Besleme Gerilimi (V)
1	25,4	0,70	188
2	35,9	1,1	188,2
3	44,9	1,4	187,1
4	45	1,4	186,9
5	45	1,4	186,8
6	45	1,4	186,9
7	45	1,4	186,9
8	45	1,4	186,8
9	45	1,4	186,9
10	45	1,4	186,9
11	45	1,4	186,8
12	45	1,4	186,8
13	45	1,4	186,9
14	45	1,4	186,9
15	45	1,4	186,8
16	45	1,4	186,8
17	45	1,4	186,9
18	45	1,4	186,9
19	45	1,4	186,8
20	45	1,4	186,9
21	45	1,4	186,9
22	45	1,4	186,8
23	45	1,4	186,8
24	45	1,4	186,9
25	45	1,4	186,9
26	45	1,4	186,8
27	45	1,4	186,9
28	45	1,4	186,9
29	45	1,4	186,9
30	45	1,4	186,9

**Tablo 2.7.** ASM Hız Kontrol Sonuçları  $f=55$  Hz

Zaman (s)	Çıkış Frekansı (Hz)	Motor Akımı (A)	Besleme Gerilimi (V)
1	25,5	0,70	188,1
2	35,9	1,1	188,1
3	46,3	1,4	186,9
4	55	2,0	185,6
5	55	2,1	185,4
6	55	2,1	185,3
7	55	2,1	185,3
8	55	2,1	185,4
9	55	2,1	185,3
10	55	2,1	185,3
11	55	2,1	185,3
12	55	2,1	185,3
13	55	2,1	185,2
14	55	2,1	185,3
15	55	2,1	185,3
16	55	2,1	185,3
17	55	2,1	185,3
18	55	2,1	185,3
19	55	2,1	185,4
20	55	2,1	185,3
21	55	2,1	185,3
22	55	2,1	185,3
23	55	2,1	185,3
24	55	2,1	185,3
25	55	2,1	185,3
26	55	2,1	185,4
27	55	2,1	185,3
28	55	2,1	185,3
29	55	2,1	185,3
30	55	2,1	185,4

**Tablo 2.8.** ASM Hız Kontrol Sonuçları  $f=60$  Hz

Zaman (s)	Çıkış Frekansı (Hz)	Motor Akımı (A)	Besleme Gerilimi (V)
1	21,8	0,70	189,2
2	32,3	0,9	188,3
3	42,8	1,4	187,5
4	53,5	1,7	185,9
5	60	2,3	184,9
6	60	2,4	184,8
7	60	2,4	184,9
8	60	2,4	184,8
9	60	2,4	184,8
10	60	2,4	184,8
11	60	2,4	184,8
12	60	2,4	184,7
13	60	2,4	184,8
14	60	2,4	184,9
15	60	2,4	184,8
16	60	2,4	184,8
17	60	2,4	184,8
18	60	2,4	184,9
19	60	2,4	184,7
20	60	2,3	184,8
21	60	2,3	184,8
22	60	2,3	184,8
23	60	2,3	184,7
24	60	2,3	184,8
25	60	2,3	184,9
26	60	2,3	184,8
27	60	2,3	184,8
28	60	2,3	184,9
29	60	2,3	184,9
30	60	2,3	184,8

### Ek 3: Hız Kontrol Cihazı Teknik Özellikleri

Güç Klemens Fonksiyonları ve Kumanda Klemenslerinin yerleşimi, karakteristikleri ve fonksiyonları

**Tablo Ek 3.1.** Güç Klemensinin Fonksiyonları

Klemens	Fonksiyon
t	Toprak Klemensi
R/L1	Güç kaynağı
S/L2	
R/L1	
S/L2	
T/L3	
P0	DA bara (+) kutup
PA/+	Frenleme direncine giden çıkış (+ kutup)
PB	Frenleme direncine giden çıkış
PC/-	DA bara (-) kutup
U/T1	Motora giden çıkışlar
V/T2	
W/T3	

Hız kontrol cihazının güç klemens fonksiyonları Tablo Ek 1' te verilmiştir. Sürücüyeye ait kumanda klemenslerinin yerleşimi, karakteristikleri ve fonksiyonları Tablo Ek 2' de verilmiştir.

**Tablo Ek 3.2.** Kumanda klemenslerinin yerleşimi, karakteristikleri ve fonksiyonları

Klemens	Fonksiyon	Elektriksel Özellikler
R1A	R1 Programlanabilir rölesinin ortak uç K/A kontağı (R1C)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Minimum anahtarlama kapasitesi : 5V c için 10 mA</li><li>• Dirençli yükte maksimum anahtarlama kapasitesi (<math>\cos\phi=1</math> ve <math>L/R=0</math> ms)</li><li>• 250 V a ve 30 V c için 1.5 A</li><li>• Örnekleme süresi 8 ms</li><li>• Kullanım ömrü: Maks. Anahtarlama gücünde 100.000 çalışma; Min. Anahtarlama gücünde 1.000.000 çalışma</li></ul>
R1B		
R1C		
R2A	R2 programlanabilir rölesinin N/A kontağı	
R2C		
COM	Analog I/O ortak uç	0V
Klemens	Fonksiyon	Elektriksel Özellikler

AI1	Analog gerilim girişi	Analog giriş 0 +10 V (maks.Güvenli gerilim 30 V) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Empedans 30 k<math>\Omega</math></li> <li>• Çözünürlük 0.01V, 10 bit dönüştürücü</li> <li>• Doğruluk <math>\pm\%4.3</math>, doğrusallık <math>\pm\%0.2</math>, maks. Değere göre</li> <li>• Örnekleme süresi 8 ms</li> <li>• Maks. 100 m ekranlı kablo ile çalışma</li> </ul>
10 V	Ayar noktası potansiyometresi için 10V güç kaynağı 1-10 k $\Omega$	+10 V (+%8-0), 10 mA maks kısa devre ve aşırı yük korumalı
AI2	Analog gerilim girişi	İki kutuplu analog giriş 0 $\pm$ 10 V (maks. Güvenli gerilimi= $\pm$ 30 V) AI2 üzerindeki + ve- kutup gerilim, ayar noktasının yönünü ve bu nedenle çalışma yönünü etkiler. Empedans 30k $\Omega$ Çözünürlük 0.01 V, 10 bit +işaret dönüştürücü Doğruluk $\pm\%4.3$ , doğrusallık $\pm\%0.2$ , maks değere göre Örnekleme süresi 8 ms Maks. 100 m ekranlı kablo ile çalışma
AI3	Analog akım girişi	Analog giriş X-Y mA X ve Y, 0-20 mA arası programlanabilir <ul style="list-style-type: none"> <li>• Empedans 250 k<math>\Omega</math></li> <li>• Çözünürlük 0.02V, 10 bit dönüştürücü</li> <li>• Doğruluk <math>\pm\%4.3</math>, doğrusallık <math>\pm\%0.2</math>, maks. değere göre</li> <li>• Örnekleme süresi 8 ms</li> </ul>
COM	Analog I/O ortak uç	0V
AOV AOC	AOV analog gerilim çıkışı veya AOV Analog akım çıkışı AOV lojik gerilim çıkışı, AOV veya AOC atanabilir (ikisi birlikte atanamaz)	Analog giriş 0-10 V, min. Yük empedansı 470 $\Omega$ veya Analog çıkış X-Y mA. X ve Y, 0-20 mA arası programlanabilir. Maks. Yük empedansı 800 $\Omega$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Çözünürlük 8 bit (1)</li> <li>• Doğruluk <math>\pm\%1</math> doğrusallık <math>\pm\%0.2</math>,</li> <li>• Örnekleme süresi 8 ms</li> </ul> Bu analog çıkış, AOC üzerinde 24 V lojik çıkış olarak konfigüre edilebilir, min yük empedansı 1.2 k $\Omega$ 'dur.
24 V	Lojik giriş güç kaynağı	+ 24 V kısa devre ve aşırı yük korumalı, min 19 V maks. 30 V, maks mevcut kullanıcı akımı 100 mA
LI1 LI2 LI3	Lojik girişler	Programlanabilir lojik girişler <ul style="list-style-type: none"> <li>• +24 V güç kaynağı (maks. 30 V)</li> <li>• Empedans 3.5 k<math>\Omega</math></li> <li>• &lt; 5 ise durum 0, &gt;11 V ise durum 1(LI ve CLI arasındaki gerilim farkı)</li> <li>• Örnekleme süresi 4 ms</li> </ul>
LI4 LI5 LI6	Lojik girişler	Programlanabilir lojik girişler <ul style="list-style-type: none"> <li>• +24 Vgüçkaynağı (maks. 30 V)</li> <li>• Empedans 3.5 k<math>\Omega</math></li> <li>• &lt; 5 ise durum 0, &gt;11 V ise durum 1(LI ve CLI arasındaki gerilim farkı)</li> <li>• Örnekleme süresi 4 ms</li> </ul>
CLI	Lojik Giriş Ortak uç	

