



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü



# **TARIMSAL UYGULAMALARDA KULLANILACAK FOTOVOLTAİK DESTEKLİ POMPA SİSTEMİ İÇİN BİR ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

Ahmet DEMİR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir

2021



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**TARIMSAL UYGULAMALARDA KULLANILACAK  
FOTOVOLTAİK DESTEKLİ POMPA SİSTEMİ İÇİN  
BİR ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ**

Ahmet DEMİR

Tez Danışmansı: Prof. Dr. Haseyin GÜNERHAN

Sunul Tarihi: 15 Łubat 2021

Makine Måhendisliķi Anabilim Dalı  
Makine Måhendisliķi YÅksek Lisans Programı

Ahmet DEMİR tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan "Tarımsal Uygulamalarda Kullanılacak Fotovoltaik Destekli Pompa Sistemi İçin Bir Algoritma Geliştirilmesi" başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesinin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve .....tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri:**

**İmza**

|                     |         |       |
|---------------------|---------|-------|
| <b>Jüri Başkanı</b> | : ..... | ..... |
| <b>Raportör Üye</b> | : ..... | ..... |
| <b>Üye</b>          | : ..... | ..... |

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum Ötarımsal Uygulamalarda Kullanılacak Fotovoltaik Destekli Pompa Sistemi İçin Bir Algoritma Geliştirilmesi başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen başka bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünün bu Üniversite veya diğer bir Üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

15 / 02 / 2021

İmzası

Ahmet DEMİR

## ÖZET

# TARIMSAL UYGULAMALARDA KULLANILACAK FOTOVOLTAİK DESTEKLİ POMPA SİSTEMİ İÇİN BİR ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ

DEMİR, Ahmet

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hâşeyin GÜNERHAN

İubat 2021, 80 sayfa

Bu çalışma kapsamında, güneş enerjili pompa sisteminin optimum olarak boyutlandırılabilmesi için boyutlandırma algoritması oluşturulmuştur. Bu algoritma güneş enerjili pompa sistemdeki enerji dengesi temel almaktadır. Ek olarak algoritma hem akıllı hem de akıllı sistemler için uygulanmıştır. Algoritma MATLAB programlama dili kullanılarak, iterasyon yönteminden yararlanılmıştır. Algoritmanın oluşturulmasından sonra, algoritmanın doğruluğu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada oluşturulan algoritma kullanılarak örnek bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Çalışma sahası olarak Manisa ilinin Salihli ilçesi olarak seçilmiştir ve 2 hektarlık bir alana mısır bitkisi ekilmiştir. Sulama sistemi olarak damlama sulama sistemi kullanılmıştır. Bitkinin en çok suya ihtiyacı olduğu Temmuz ayında, toplam su ihtiyacı  $25,2 \text{ m}^3/\text{h}$  olarak hesaplanmıştır. Bu su ihtiyacını karşılayacak pompa güçü  $4154 \text{ W}$  olarak hesaplanmıştır. Akıllı sistemde gereken panel sayısı 29 iken akıllı sistemde 45 adet olarak hesaplanmıştır. Akıllı sistemler akıllı sistemlere göre, güneş içerisinde gelen güneş ışımasını çok daha yüksek oranda israf etmektedir. Bir diğer deyişle, akıllı sistemlerin verimliliği oldukça düşüktür. Akıllı sistemdeki PV panel sistemi gelen güneş ışımasının %9,42'dik bir yüzdesinden yararlanabilmektedir. Bu %90,58'dik optik ve cihaz kayıpları %100 olarak kabul edilirse, kayıpların en büyük kısmı %43,01 ile PV panelin enerji dönüşüm veriminden kaynaklıdır ( $\eta_{\text{opt}} = 19,22$ ). Bunu %10,60 ile panel iletirme verimi takip etmektedir. Son olarak, çalışma kapsamında yapılan ekonomik analize göre, akıllı sistemin %22 daha pahalı olduğu bulunmuştur.

**Anahtar sözcükler:** Fotovoltaik (PV) pompa sulama sistemi, PV panel, sulama pompası, damlama sulama.

**ABSTRACT****DEVELOPING AN ALGORITHM FOR PHOTOVOLTAIC ASSISTED  
PUMP SYSTEM FOR AGRICULTURAL APPLICATIONS**

DEMİR, Ahmet

MSc in Mechanical Engineer

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. HÁseyin GÜNERHAN

February 2021, 80 pages

In this study, a sizing algorithm has been created in order to optimally dimension the solar pump system. This algorithm is based on the energy balance in the solar pump system. In addition, the algorithm has been applied for both battery powered and without battery systems. The algorithm was created using the MATLAB programming language and the iteration method was used.

After the algorithm was created, the validity of the algorithm was evaluated within the the study. After the algorithm was created, the accuracy of the algorithm was evaluated within the scope of the study. In addition, a sample application has been implemented using the algorithm created in this study. Salihli district of Manisa province was selected as the study area and corn plant was planted on an area of 2 hectares. The drip irrigation system is used as irrigation system. The total water need was calculated as 25,2 m<sup>3</sup> / h in July, when the plant needs the most water. The pump power that will meet this water requirement is calculated as 4154 W. While the number of panels required in a battery-powered system is 29, it is calculated as 45 in a non-battery system. Systems without battery waste much more of the solar radiation that comes during the day compared to battery systems. In other words, the efficiency of systems without battery is very low. The PV panel system in the battery system can benefit from 9.42% of the incoming solar radiation. If this 90,58% ratio is considered as 100%, the biggest part of the losses is due to the energy conversion efficiency of the PV panel with 43.01% (nopt = 19.22%). This is followed by panel matching efficiency with 10.60%. Finally, according to the economic analysis conducted within the study, the battery system was found to be 22% more expensive.

**Keywords:** Photovoltaic (PV) pump irrigation system, PV panel, irrigation pump, drip irrigation.

## ÖNSÖZ

Ülkemiz gnel enerji potansiyeli ve tarımsal uygulamalar açısından oldukça zengindir. Ayrıca, son yıllarda fotovoltaik (PV) enerjideki global rekabetin artması ve üretim teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde PV ile çalışan sistemler gün geçtikçe ucuzlamakta ve yaygınlaşmaktadır.

PV pompa sulama sistemleri, özellikle elektriğin ulaşamadığı lebekeden bağımsız alanlarda, tarımsal amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Sistemlerin kurulmasında ve boyutlandırılmasında, sistemin verimli çalışabilmesi ve sistem kurulum maliyetlerinin minimize edilebilmesi için sistem algoritmalarının dikkatlice hazırlanması gerekmektedir.

Bu açıdan, önerilen tez ile belirlenen bir tarımsal uygulama için otonom PV pompa sulama sisteminin tüm komponentlerinin tasarımı ve optimum boyutlandırılma algoritması geliştirilecektir.

İZMİR

15/02/2021

Ahmet DEMİR

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                          |      |
|----------------------------------------------------------|------|
| ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....                      | v    |
| ÖZET .....                                               | vi   |
| ÖNSÖZ .....                                              | viii |
| İÇİNDEKİLER.....                                         | ix   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                    | xii  |
| TABLolar DİZİNİ.....                                     | xv   |
| SİMGELER VE KISLATMALAR DİZİNİ.....                      | xvi  |
| 1. GİRİŞ .....                                           | 1    |
| 2. FOTOVOLTAİK (PV) GÜNEŞ SİSTEMLERİ .....               | 6    |
| 2.1. PV Panellerin(Hücrelerin) Çalışma Prensipleri ..... | 6    |
| 2.2. PV panel komponentleri .....                        | 9    |
| 2.2.1 İzlekeden bağımsız PV panel sistemleri .....       | 9    |
| 2.2.2 İzlekeye bağımlı PV panel sistemleri .....         | 10   |
| 2.2.3 PV panellerinin sistem bileşenleri.....            | 10   |
| 2.2.3.1 Aküler .....                                     | 10   |
| 2.2.3.2 Şarj kontrol cihazları .....                     | 11   |
| 2.2.3.3. Çeviriciler .....                               | 11   |
| 2.3. PV panel teknolojileri.....                         | 12   |
| 2.3.1 Kristal yapılı PV paneller .....                   | 13   |
| 2.3.1.1 Tek kristal yapılı PV paneller .....             | 13   |
| 2.3.1.2 Çok kristal yapılı PV paneller.....              | 14   |
| 2.3.1.2 İnce film yapılı PV panel hücreleri .....        | 14   |
| 2.2.1.3 PV panellerde son gelişmeler.....                | 17   |
| 2.5. İdeal ve Standart (Tek) Diyot Modeli.....           | 18   |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3 PV hücrelerin ve modüllerin bağlanma  ekilleri.....                 | 21 |
| 2.3.1 PV hücrelerden modül oluşumu.....                                 | 21 |
| 2.3.2 PV modüllerden dizin oluşumu.....                                 | 22 |
| 2.4 PV panellerin akım, gerilim ve g   karakteristik  rileri.....       | 24 |
| 2.4.1 Standart test koşullarında I-V ve P-V.....                        | 24 |
| 2.5 PV karakteristiklerini etkileyen faktörler .....                    | 26 |
| 2.5.1 Farklı PV h cre çalışma sıcaklıklarında I-V ve P-V de ilimi.....  | 27 |
| 2.5.2 Farklı g nel ılınımalarında I-V ve P-V de ilimi .....             | 28 |
| 3. POMPA SİSTEMLERİ .....                                               | 29 |
| 3.1. Temel kavramlar.....                                               | 29 |
| 3.2. Pompa tipleri .....                                                | 36 |
| 3.2.1 Pozitif Yer De iltirmeli Pompalar .....                           | 37 |
| 3.2.2 Rotadinamik (Kinetik pompalar).....                               | 38 |
| 4. G NEL ENERJİLİ POMPA SİSTEMİ .....                                   | 44 |
| 4.1. G nel enerjili pompa sistemlerinin genel  zellikleri .....         | 44 |
| 4.2. G nel enerjili pompa uygulamaları.....                             | 44 |
| 5. GEREÇ VE YÖNTEM .....                                                | 49 |
| 5.1. PV güç sistemli sulama yapılacak arazi yapısı ve  zellikleri ..... | 49 |
| 5.2. Bitkinin su ihtiya ı .....                                         | 49 |
| 5.3. Pompanın modellenmesi.....                                         | 51 |
| 5.4. E ik Y zeyeye gelen ılınım Hesabı .....                            | 55 |
| 5.5. PV panel modeli .....                                              | 57 |
| 5.6. Boyutlandırma algoritmasının oluşturulması .....                   | 58 |
| 6. BULGULAR.....                                                        | 64 |
| 6.1. Algoritmanın do rulu unun test edilmesi .....                      | 64 |

Çalışmada g nel enerjili pompa düzenekinin boyutlandırma algoritmasının do rulu unun test edilmesi için (Yahyaoui, 2016) referansı kapsamında oluşturan

boyutlandırma algoritması kullanılmıştır. Tablo 6.1 ile bu iki modelin algoritma sonuçları aylara göre gösterilmiştir. Referans model ile çalışmada oluşturulan modelin, pompa verileri, PV panel verileri, alan verileri ve iklim koşulları aynı şartlarda olduğu kabul edilmiştir. .. 64

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 6.2. Algoritma Çıktıları ..... | 64 |
| 6.3. Maliyet Analizi.....      | 70 |
| 7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....      | 72 |
| KAYNAKLAR DİZİNİ .....         | 74 |
| TEŞEKKÜR .....                 | 79 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                  | 80 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u>                                                                                                                                                                                                                               | <u>Sayfa</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 2.1 PV hücrenin genel yapısı.....                                                                                                                                                                                                    | 7            |
| Şekil 2.2 PV sistemleri hücreden diziye tanımlamalar.....                                                                                                                                                                                  | 8            |
| Şekil 2.3  bekeeden bağımsız PV sistemi .....                                                                                                                                                                                              | 9            |
| Şekil 2.4  bekeye bağımlı PV sistemi  eması.....                                                                                                                                                                                           | 10           |
| Şekil 2.5 PV panel teknolojileri.....                                                                                                                                                                                                      | 12           |
| Şekil 2.6 Tek kristal yapılı PV h cresi.....                                                                                                                                                                                               | 13           |
| Şekil 2.7 çok kristal yapılı PV h cresi.....                                                                                                                                                                                               | 14           |
| Şekil 2.8 önce film yapılı PV h cresi.....                                                                                                                                                                                                 | 15           |
| Şekil 2.9 STC altında PV akımı   voltaj ( st), sıcaklık artı ındaki PV g c voltage (orta) ve  l n m d     nde PV g c voltage (alt).....                                                                                                    | 19           |
| Şekil 2.10 PV hücrenin standart tek diyot modeli.....                                                                                                                                                                                      | 20           |
| Şekil 2.11 PV hücreden dizilere.....                                                                                                                                                                                                       | 21           |
| Şekil 2.12 Seri bağlı modüllerin gerilim   itli i.....                                                                                                                                                                                     | 22           |
| Şekil 2.13 Seri bağlı modüllerin gerilim   itli i.....                                                                                                                                                                                     | 23           |
| Şekil 2.14 Paralel ba lı modüllerin akım   itli i .....                                                                                                                                                                                    | 23           |
| Şekil 2.15 (a). Seri bağlı modüllerin paralel ba lanması (b). Paralel ba lı modüllerin seri ba lanması.....                                                                                                                                | 24           |
| Şekil 2.16 Devre açıkken (a) kısa devre olduğunda (b) gücü verilmez. Yük ba landık ında (c), aynı akım y k ve modül boyunca akar ve aynı voltaj bunların üzerinden geçer.....                                                              | 25           |
| Şekil 2.17 Bir PV mod l i in I   V eğrisi ve gücü  ıkılı ı. Maksimum gücü noktasında (MPP) modül, I- V eğrisinin çizildiği g nel  l  i ve sıcaklık koşulları altında verebileceği en fazla g c sa klar .....                               | 25           |
| Şekil 2.18 Maksimum gücü noktası (MPP), I   V eğrisinin altına s  abilen en büyük dikdörtgene kar ılı  gelir. Doldurma faktörü (FF), MPP'deki alanın (gücü) $V_{oc}$ ve $I_{sc}$ kenarları olan bir dikdörtgenin oluşturduğu alandır ..... | 26           |
| Şekil 2.19 Sabit  l n m altında de il en sıcaklığa bağlı a) I   V karakteristiği b) P   V karakteristiği.....                                                                                                                              | 27           |
| Şekil 2.20 Sabit sıcaklık altında de il en  l n ma ba lı (a) I   V karakteristiği (b) P   V karakteristiği.....                                                                                                                            | 28           |
| Şekil 3.1 Bir pompanın temsili gösterilmesi.....                                                                                                                                                                                           | 30           |

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.2 Bir pompanın temsili gösterilmesi.....                                                                  | 32 |
| Şekil 3.3 Sistem ve pompa verimine bağlı pompa performans eğrisi.....                                             | 33 |
| Şekil 3.4 Pompa tipleri ve karakteristik eğrileri.....                                                            | 34 |
| Şekil 3.5 Değişken özgül hızla göre ulaşılabılır ortalama verim grafiği.....                                      | 35 |
| Şekil 3.5 Pompaların genel olarak sınıflandırılması.....                                                          | 36 |
| Şekil 3.6 Pistonlu pompadaki piston, silindir ve klepelerin çeşitli konumları (a,b,c,d ve e) gösterilmiştir ..... | 37 |
| Şekil 3.7 Rotadinamik (kinetik) pompanın karakteristik eğrileri.....                                              | 38 |
| Şekil 3.8 Rotadinamik (kinetik) bazı çark tipleri.....                                                            | 39 |
| Şekil 3.8 Pis su pompa çarkları.....                                                                              | 39 |
| Şekil 3.9 a) Tek kademeli b) çok kademeli santrifüj pompa.....                                                    | 40 |
| Şekil 3.10 a) Yatay eksenli b) dikey eksenli rotadinamik pompa.....                                               | 40 |
| Şekil 3.11 a) Tek girişli pompa b) Çift girişli pompa.....                                                        | 41 |
| Şekil 3.12 a) Dalgıç pompa b) eksenel rotadinamik pompa .....                                                     | 41 |
| Şekil 3.13 a) Çamur pompası.....                                                                                  | 42 |
| Şekil 3.14 Tek kademeli bir santrifüj pompanın kesit resmi.....                                                   | 42 |
| Şekil 3.15 Derin kuyu dalgıç pompa örneği .....                                                                   | 44 |
| Şekil 4.1 Dalgıç tipi, akışbağılantılı genel enerjili pompa.....                                                  | 45 |
| Şekil 4.2 Doğrudan bağlı, genel enerjili su pompalama sisteminin şeması.....                                      | 46 |
| Şekil 4.3 Ziyaret edilen genel enerjili pompanın, PV dizi sistemi .....                                           | 47 |
| Şekil 4.4 Ziyaret edilen genel enerjili pompanın, tesisat sistemi.....                                            | 47 |
| Şekil 4.5 Ziyaret edilen genel enerjili pompanın, su toplama/depolama bölgesi.....                                | 48 |
| Şekil 4.6 Ziyaret edilen genel enerjili pompanın, yağmurlama ile sulama sistemi.....                              | 48 |
| Şekil 5.1 Temsili olarak bir PV pompanın şemasal gösterimi.....                                                   | 52 |
| Şekil 5.2 Pompanın karakteristik eğrileri.....                                                                    | 54 |
| Şekil 5.3 PV pompa sistemi bileşenleri.....                                                                       | 59 |
| Şekil 5.4 PV pompa sisteminin boyutlandırma algoritma şeması.....                                                 | 60 |
| Şekil 5.6 Akışta gerçekleşen enerji dengesinin zamana göre değişimi .....                                         | 62 |
| Şekil 5.7 Pompa ile PV panel arasındaki enerji dengesinin zamana göre gösterimi .....                             | 63 |
| Şekil 6.1 Akışta gerçekleşen enerji dengesinin zamana göre değişimi .....                                         | 66 |
| Şekil 6.2 Pompa ile PV panel arasındaki enerji dengesinin zamana göre gösterimi .....                             | 67 |

**Şekil 6.3** AkÁÁgÁnel enerjili pompa sisteminin enerji dengesi pasta grafiği A- GÁnel ten gelen toplam enerji ( $W/m^2$ ) B- PV panelin optik ve cihaz kayıpları ( $W/m^2$ ) .....68

**Şekil 6.4** A - Pompa ,akÁ ve PV panel arasındaki enerji dengesi B- PV panelin optik ve cihaz kayıpları ( $W/m^2$ ).....68

**Şekil 6.5** A - Pompa ile PV panel arasındaki enerji dengesi B- PV panelin optik ve cihaz kayıpları ( $Wh/gÁn$ ).....69

## TABLOLAR DİZİNİ

| <b><u>Tablo</u></b>                                                                   | <b><u>Sayfa</u></b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>Tablo 5.1</b> Dikim İekline göre bitki tarafından gölgelenen alan.....             | 50                  |
| <b>Tablo 5.2</b> Sulama yöntemlerine göre su uygulama verimleri .....                 | 51                  |
| <b>Tablo 5.3.</b> Temmuz ve Ağustos ayı için sulama suyu ihtiyacı hesaplamaları ..... | 51                  |
| <b>Tablo 5.4</b> Seçilen pompanın özellikleri (Model: Grundfos SPE 30-5) .....        | 54                  |
| <b>Tablo 5.5</b> PV panel verileri.....                                               | 58                  |
| <b>Tablo 6.1</b> Çalışmada oluşturulan algoritma ile referans karlılaştırması.....    | 64                  |
| <b>Tablo 6.2</b> Algoritma çıktı özetleri (AkÁÁ) .....                                | 68                  |
| <b>Tablo 6.3</b> Algoritma çıktı özeti (AkÁÁz).....                                   | 69                  |
| <b>Tablo 6.4</b> AkÁÁPV panel sistemi için maliyet analizi.....                       | 72                  |
| <b>Tablo 6.5</b> AkÁÁz PV panel sistemi için maliyet analizi.....                     | 72                  |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u>                                                         |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------|
| $n$             | : Ayın gün sayısı                                                       |
| $p_V$           | : Fotovoltaik panel sıcaklık katsayısı                                  |
| $p_c$           | : Güç İartlandırma verimi (%)                                           |
| $T_a$           | : Hava sıcaklığını ( )                                                  |
| $T_c$           | : Hücre sıcaklığı ( )                                                   |
| $T_{ref}$       | : Referans hücre sıcaklığı ( )                                          |
| $r$             | : Referans panel verimliliği (%)                                        |
| $E_c$           | : Su iletim verimi (%)                                                  |
|                 | : Akışkanın hızı (m/s)                                                  |
| $V_{akü}$       | : Akü gerilimi (V)                                                      |
| $\eta_{akü}$    | : Akünün elektriksel verimi (%)                                         |
| $C_{akü}$       | : Akünün kapasitesi (Ah)                                                |
| $h_b$           | : Bağlantı elemanlarındaki ısıtılma kayıpları nedeniyle yatak kaybı (m) |
| $h_B$           | : Boru hattındaki ısıtılma kayıplarından kaynaklı yatak kaybı (m)       |
| $L$             | : Boru uzunluğu (m)                                                     |
| $d$             | : Borunun iç çapı (m)                                                   |
|                 | : Bölgenin enleni (°)                                                   |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ(devamı)

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u>                          |
|-----------------|------------------------------------------|
|                 | : Deklinasyon açısı (°)                  |
| $h_{düşüm}$     | : Düşüm seviyesi (m)                     |
| $PV$            | : Fotovoltaik panel verimi (%)           |
| $s$             | : Güneş saat açısı (°)                   |
| $G_{SC}$        | : Güneş sabiti (1367 W/m <sup>2</sup> )  |
| $V$             | : Hacimsel debi (m <sup>3</sup> /s)      |
| $inv$           | : İnvertör verimi (%)                    |
| $dod_{max}$     | : Maksimum derin deşarj (%)              |
| $birleşim$      | : Panel eleştirme verimi (%)             |
| $opt, ısı$      | : Panelin optik ve ısı performansını (%) |
| $pompa \ motor$ | : Pompa motor verimliliği (%)            |
| $reg$           | : Regulator verimi (%)                   |
| $f$             | : Sızma faktörü (-)                      |
| $h_s$           | : Statik yük (m)                         |
| $E_a$           | : Su uygulama verimi (%)                 |
| $dt$            | : Toplam sulama suyu ihtiyacı (mm)       |
| $dn$            | : Net sulama suyu ihtiyacı (mm)          |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ(devamı)

| Simgeler     | Açıklama                                                                                                                                       |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | : Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )                                                                                                                |
| $h_{toplam}$ | : Toplam y <sup>ık</sup> kaybı (m)                                                                                                             |
| $kablo$      | : Kablolama kayıpları (%)                                                                                                                      |
| $A_{pv}$     | : Y <sup>üzey</sup> alanı (m <sup>2</sup> )                                                                                                    |
| $R_b$        | : E <sup>ğik</sup> y <sup>üzey</sup> ı <sup>lınımı</sup> (W/m <sup>2</sup> ) / Yatay y <sup>üzey</sup> ı <sup>lınımı</sup> (W/m <sup>2</sup> ) |
| $g$          | : Yerin a <sup>klık</sup> derecesi (-)                                                                                                         |
|              | : Y <sup>üzey</sup> e <sup>ğimi</sup> (°)                                                                                                      |
| $a_1$        | : PV panelin her birim sıcaklık de <sup>ğil</sup> iminin kısa devre akımına etkisi(-)                                                          |
| $b_1$        | : PV panelin her birim sıcaklık de <sup>ğil</sup> iminin a <sup>çık</sup> devre gerilimine etkisi (-)                                          |
| $c_1$        | : PV panelin her birim sıcaklık de <sup>ğil</sup> iminin maksimum g <sup>üne</sup> etkisi (-)                                                  |
| $D$          | : Çark çapı (m)                                                                                                                                |
| $FF$         | : Doluluk Faktör <sup>ü</sup> (%)                                                                                                              |
| $G_{STC}$    | : STC ı <sup>artlarındaki</sup> g <sup>üne</sup> ı <sup>lınımını</sup> (W/m <sup>2</sup> )                                                     |
| $H_d$        | : Derin kuyu- su kayna <sup>ğında</sup> debiden ö <sup>te</sup> r <sup>ak</sup> olu <sup>lan</sup> d <sup>ış</sup> ı <sup>lım</sup> (m)        |
| $H_f$        | : Sistemde kullanılan d <sup>ış</sup> boru ve armat <sup>ör</sup> lerde meydana gelen toplam s <sup>ürt</sup> me kayıpları (m)                 |
| $H_g$        | : Geometrik y <sup>ükseklik</sup> (m)                                                                                                          |
| $H_p$        | : Sistemin çıkı <sup>lı</sup> nda istenen basınç veya ı <sup>iletme</sup> basıncı (Pa)                                                         |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ(devamı)

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u>                                    |
|-----------------|----------------------------------------------------|
| $H_v$           | : Akıl kanın hız enerjisi (m)                      |
| $I$             | : Devrenin çıkıl akımını (A)                       |
| $I_0$           | : Diyotun doyma akımı (A)                          |
| $I_D$           | : Diyot akımı (A)                                  |
| $I_m$           | : Maksimum gÁç noktasındaki akımı (A)              |
| $I_o$           | : PV panelin çıkıl akımı (A)                       |
| $I_{PV}$        | : PV hÁcre tarafından Áretilen akım (A)            |
| $I_{SC}$        | : Kısa devre akımı (A)                             |
| $I_{SC\_STC}$   | : STC Áartlarında PV hÁcrenin kısa devre akımı (A) |
| $K$             | : Boltzmann ( $1.380 \times 10^{-23}$ J/K),        |
| $K$             | : kısa devre akımı sıcaklık katsayısı ( $A/^0C$ )  |
| NOCT            | : PV hÁcrenin ortalama çalıma sıcaklığı ( )        |
| $P_m$           | : Maksimum gÁç (W)                                 |
| $P_s$           | : Bitki tarafından gölgelenen alan (%)             |
| Etc             | : Bitki su tÁketimi(mm)                            |
| $S$             | : GÁnel ılınımı ( $W/m^2$ )                        |
| $T$             | : DÁzeltilmil bitki su tÁketim miktarı (mm)        |
| $T_C$           | : HÁcre sıcaklığı ( )                              |
| $T_C$           | : PV panelin çalıma sıcaklığı ( )                  |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ(devamı)

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u>                                      |
|-----------------|------------------------------------------------------|
| $T_{Hava}$      | : Ortam sıcaklığı                                    |
| $T_{REF}$       | : Referans sıcaklık ( )                              |
| $T_{STC}$       | : STC İartlarındaki hÁcre sıcaklığı ( )              |
| $V$             | : Devrenin çıkıl gerilimi (V)                        |
| $V_d$           | : Diyotun Ázerindeki gerilim (V)                     |
| $V_m$           | : Maksimum gÁç noktasındaki gerilim (V)              |
| $V_o$           | : PV panelin çıkıl gerilimi (V)                      |
| $V_{OC}$        | : Açık devre gerilimini (V)                          |
| $V_{OC\_STC}$   | : STC İartlarında PV panelin açık devre gerilimi (V) |
| $ENPY$          | : Emmedeki net pozitif yÁk (m)                       |
| $FF$            | : Doluluk faktörÁ(%)                                 |
| $H$             | : YÁkseklik (m)                                      |
| $HMT$           | : Toplam manometrik yÁkseklik (m)                    |
| $IMPP$          | : Maksimum gÁç noktası akımı (A)                     |
| $I_{sc}$        | : Kısa devre akımı (A)                               |
| $MPP$           | : Maksimum gÁç noktası (W)                           |
| $MPPT$          | : Maksimum gÁç noktası takibi (W)                    |
| $NOCT$          | : HÁcre ortalama çalıma sıcaklığı ( )                |

**SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ(devamı)**

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u>                                   |
|-----------------|---------------------------------------------------|
| Pmek            | : Pompa mil g   (W)                               |
| PV              | : Fotovoltaik panel                               |
| PVG             | : Pv generator                                    |
| PWP             | : Fotovoltaik Su Pompalama                        |
| SS              | : Su seviyesi (m)                                 |
| STC             | : Standart test koşulları                         |
| SWPS            | : G    enerjili su pompalama sistemi              |
| TDB             | : Toplam dinamik basınç (Pa)                      |
| TYKE            | : Tesis toplam y  k kaybı e rvisi                 |
| V <sub>oc</sub> | : Açık devre gerilimi (V)                         |
| I <sub>T</sub>  | : E imli y  zeye gelen ılınım (W/m <sup>2</sup> ) |
| N <sub>e</sub>  | : Mil g   (Kw)                                    |
| d               | : Pompa mil çapı (mm)                             |
| N               | : Açısal hız (rad/s)                              |
| M               | : Mil momenti (Nm)                                |
| n <sub>q</sub>  | : Özgüç hız (d/dak)                               |
| N <sub>s</sub>  | :  ebekeden çekilen g    (kw)                     |
| ' <sub>m</sub>  | : Motor verimi (%)                                |

**SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ(devamı)**

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u>                |
|-----------------|--------------------------------|
| $\eta_p$        | : Pompa verimi (%)             |
| $\eta_s$        | : Sistem verimi (%)            |
| $N_0$           | : Teorik g $\acute{A}$ ç (kw)  |
| $N_e$           | : Efektif g $\acute{A}$ ç (kw) |
| $P_h$           | : Hidrolik g $\acute{A}$ ç (W) |

## 1. GİRİŞ

Konvansiyonel enerji kaynaklarının giderek tükeneiyor olması ve bu kaynakların verimli kullanılamaması, temiz enerji kaynaklarına yönelimi hızlandırmıştır. Nüfusun artması ve nüfusun modern endüstriyel yaşamı kabul edilmesi ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi giderek artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en önemli enerji kaynağı güneş enerjisidir. Hem ısıtma hem de elektrik üretimi açısından güneş enerjisi oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Fotovoltaik (PV) kelimesinde yer alan *photo* kelimesi Latince kökenlidir ve ılık anlamına gelmektedir. *Voltaik* kelimesi ise Alessandro Volta'nın adından türemiştir. Fotovoltaik kelimesi tam anlamı ise ılık-elektriktir (Bedeloğlu vd., 2010).

Kolektörler güneş ışınımını ısı enerjisine çevirirken, PV paneller, güneş ışınımını elektrik enerjisine çevirmektedir. Bir başka deyişle, güneş panelleri güneşten alınan oldukları fotonlar sayesinde elektrik akımı meydana getirmektedir. PV paneller, güvenilir olmalarının yanında dayanıklı ve uzun ömürlü örneklerdir. PV panellerin yatırım maliyetlerinin yüksek, verimlerinin ise düşük olması olumsuz özelliklerinden bazılarıdır (Çifci vd., 2014).

Geçmişte bakıldığında güneş enerjisi elde etmek için şehirlerden uzak bölgelere şebekeden bağımsız sistemler kurulduğu görülmektedir. Günümüzde ise bağımsız olan bu sistemler şebeke bağlantılı veya hibrit olarak da karşımıza çıkmaktadır. Radyolink istasyonları, radyo-telsiz-telefon sistemleri, iç-dış aydınlatma, tarımsal sulama, deniz feneri sistemleri, vb. sistemler, şebekeden bağımsız PV panelinden yararlanmaktadır (Varınca ve Gönül 2006).

Türkiye İartlarında sulama ihtiyacı bulunan tarım alanları  $28 \times 10^6$  hektar büyüklüğe sahiptir. Sulanması mümkün olan alan  $25 \times 10^6$  hektar, %6 ekime kadar sulanması mümkün olan alan ise  $13,5 \times 10^6$  hektardır. Tüketim amacı ile kullanılabilecek  $98 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/yıl yerüstü,  $14 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/yıl yer altı su kaynağı mevcuttur. Mevcut sulanan alan  $4,9 \times 10^6$  hektar, fiilen sulanan alan ise  $3,0 \times 10^6$  hektardır. Türkiye'de uygulanmış olan sulama yöntemleri kapsamında yüzey sulaması %85 oranında, yağmur sulaması %12 oranında, damla sulama uygulaması ise %3 oranında yapılmaktadır (İmo, 2020).

Sulamanın yetersiz yapılması sorunlara neden olurken sulamanın ihtiyaçtan fazla yapılması da yine sorunları ortaya çıkaracaktır. Toprağın verimi düşecek ve elde edilen gelir azalacaktır. Aynı zamanda gereğinden fazla yapılan sulama sonucunda toprağın tuzlanması,

 oraklanması, taban suyunda yükselme gibi sorunların ortaya çıktığı görülmektedir. Çiftçilerin tarımsal alanlarda yaşadıkları en önemli sorunlardan biri de enerji tüketimidir. Sulamanın yapılabilmesi için pompa kullanımı gerekebilir. Pompanın tükettiği enerji masraflı olabilmektedir. Bu hususta, pompaların doğru şekilde seçimi ve kullanımı önemli bir tasarrufun anahtarıdır. Tarımsal alanlarda uygulanacak sulama yöntemlerinde sürdürülebilirliğe önem verilmeli, daha az enerji ile daha yüksek verim elde edilmeye çalışılmalıdır. Aynı zamanda su kaynaklarının korunması, toprak veriminin de maksimum düzeyde tutulması önemlidir. Suyun yer altından çıkarılabilmesi için dalgıç ya da dikey tipte türbin pompa kullanımı oldukça yaygındır. Yüzey suyundan yararlanılacak ise santrifüj pompalar, bölünebilir gövdeli pompalar ve uçtan emi li pompalar tercih edilir. Pompalar genel olarak hem yer altında hem de yeryüzünde meydana gelen her t rl deki  ikli e yanıt verecek düzeyde olmalıdır. Aynı şekilde hem gün içindeki hem de yıl içinde ihtiyaç duyulan basıncı ve debiyi sağlamalıdır. Pompanın daima maksimum g  te çalıştırılması enerjinin bo a harcanmasına neden olmaktadır. Pompanın  zelliklerine göre yer altında ve yeryüzünde yer alan suyun seviyelerinde de ilimler meydana gelebilir.

Dalgalanmalar nedeni ile basma y kseklili inde de bir farklılaşma söz konusu olacaktır. Sadece en düşük seviyeden su basmak için tasarlanan tek devirli pompa ile her seviyeden su çekmek ile aynı enerjiyi harcamaz, özellikle seviyenin yükselmesi enerjiyi de arttırır. De ilken devirli pompalar sayesinde basma y kseklili inin ya da debinin de ilimi sırasında enerji tüketimi azalacaktır (Bayram, 2019).

G nel enerjili su pompalama sistemleri genel olarak, PV panellerden, PV güç d n t r  lerinden, pompadan, bir su deposu ve/veya ak  sistemlerinden olmaktadır. G nel ılınımının mevcut olduğu s relerde su pompalanır ve depo edilir. G nel ılınımının bulunmadığı s relerde ise depolanan su kullanılır. Batarya dolum sisteminin var olması durumunda batarya sistemini kontrol altına alabilmek için elektronik kontrol ünitelerinden yararlanır.  ebekeden bağımsız olan bu sistemlerde, bataryaların kullanılması, kullanılan yerdeki su ihtiya ına bağlıdır. G nel ılı ından yararlanılamadığı gece saatlerinde kullanılacaksa ya da üretilen enerjinin fazlası depo edilmek istendiğinde batarya grubuna gereksinim duyulur. Akülerin kullanılması durumunda ayrıca şarj kontrol üniteleri de sisteme ilave edilir.

Elektrik enerjisi üretmek için uygun sayıda ve uygun bağlantıyla bir araya getirilen PV paneller, pompa motorunu çalıştırmak için yeterli miktarda elektriksel güç üretmektedirler. Pompa motoru DC (direk akım) ve AC (alternatif akım) olmak üzere iki farklı çelidi vardır. Güneşten üretilen elektriğin, motoru çalıştırmak için yeterli güç seviyesinde olması gereklidir. Bu düzenleme DC/DC veya DC/AC dönüştürücüleri sayesinde gerçekleştirilmektedir. Güneşten üretilen enerji dönüştürücülerden geçtikten sonra pompada mekanik enerjiye dönüştürülür. Daha sonra mekanik enerji ise pompa aracılığıyla su kaynağından suyu çıkarmak için hidrolik enerjiye dönüştürülür (Tarlak, 2018).

Araştırmacılar güneş enerjili pompa sistemlerinin tasarımları ve optimizasyonu üzerinde birçok çalışma gerçekleştirmişlerdir. Ghoneim (2006), "Fotovoltaik su pompası sisteminin dizaynı" isimli çalışmasından elde ettiği sonuçlara göre; su pompalamak için güç kaynağı olarak PV panellerin kullanımı, PV uygulamalarda en umut verici alanlardan biri olduğunu vurgulamıştır. Su pompalama sistemlerinin artan kullanımı ile en güvenilir ve ekonomik çalışmayı sağlamak için tasarımın boyutlandırmasının optimum olmasına dikkat çekmiştir. Bu çalışma, Kuveyt ikliminde güneş enerjili su pompalama sisteminin performans optimizasyonunun sonuçlarını içermektedir. Çalışmada kullanılan güneş enerjili pompa sistemi, PV dizisi, DC motorlu santrifüj pompa, akü ve aküye benzer bir amaca hizmet eden bir depolama tankı ve sistemin verimliliğini artırmak için maksimum güç noktası izleyici algoritmadan oluşmaktadır. Kurulan sistemde pompalanan suyun Kuveyt'teki uzak bir bölgede 300 kilonin ev ihtiyaçlarını karşılayacağı hesaplanmıştır. Su tüketimi için hesaplamalarında 40 L/kil/gün olacağı varsayılmıştır. Ek olarak, yıl boyunca derin bir kuyudan günde 12 m<sup>3</sup> debisinde su bir pompa ile alınabilmektedir. Kuveyt ikliminde önerilen sistemin performansını belirlemek için bir bilgisayar simülasyon programı geliştirilmiştir. Simülasyon programı, maksimum güç noktası izleyicisine sahip PV panel dizisi için bir bileşen modelinden ve hem DC motor hem de santrifüj pompa için bileşen modellerinden oluşur. Optimize edilmiş güneş enerjili su pompalama sisteminin ekonomik fizibilitesini değerlendirmek için yaşam döngüsü maliyet yöntemi uygulanmıştır. Ekonomik analiz sonucunda, önerilen güneş enerjili su pompalama sisteminin toplam maliyetinin, geleneksel yakıt sisteminin maliyetinden daha düşük olduğu bulunmuştur.

Köksal (2012), "Güneş Enerjisiyle Su Pompalama Üzerine Bir Araştırma" isimli çalışmada, güneş enerjili su pompalama sistemleri özellikle elektrik bulunmayan uzak bölgelerde su temini için uygun olduğunu ve bu sistemlerin yüksek başlangıç maliyetleri

olmasından dolayı, sistem komponentlerinin mümkün olduğunca doğru bir şekilde boyutlandırılması gerektiğini vurgulamıştır. Bu çalışmada, dalgıç pompalar da dahil olmak üzere g nel enerjili su pompalama sisteminin teknik parametreleri araştırılmıştır. Bu amaçla, g nel enerjili pompa sisteminin akım, gerilim, g   ve verimlilik gibi elektriksel  zellikleri 72 PV h resi içeren dört diziden oluşmaktadır. PV h releri ile çalışan suya daldırılabilir pompaların su pompaları, hidrolik g  leri ve verimleri çalışma kapsamında hesaplanmıştır. Üretilen elektrik g  tek PV mod l 656,23 W iken, PV sisteminin ortalama elektrik g  ise 2982,72 W değerindedir. PV sisteminin ortalama elektrik verimliliği %17,86 oranındadır. Pompaların hidrolik g  leri; 21,6 m te 1270,58 W ve %42 verim ile çalışmaktadır. 28,8 m /h ise 1694,11 W ve %56,6 verim değerlerine ulaşılmıştır.

Setiawan ve diğerkleri (2013), óGunungkidulúun Karstal bölgesinde, öğrenci topluluğú hizmetleri ile gÁnel enerjili su pompalama sisteminin geliřtirilmesiô isimli çalışmasında Gunungkidul'un Karst bölgesindeki Purwodadi KöyÁnde su temini sorununu çözmek için yenilenebilir enerji uygulaması olarak gÁnel enerjili su pompalama sisteminin tasarım alámalarını sunulmaktadır. Bu sistemin, toplam basma yÁksekliğı 218,34 m değerindedir. Ayrıca, bu pompa ile yatay olarak 1400 m değerine kadar su iletebilmişlerdir. Bu sistemde, 3200 W gÁç Áretmek için 32 adet gÁnel paneli kullanılmış ve ardından toplam 250 m basma yÁksekliğı sahip 2 dalgıç pompa çalıştırılmıştır.

Ba ve diğerkleri (2018), 6PV pompa sistemlerinin optimizasyon performansı6 adlı 7alımasında ; PV pompalama sistemi, konutlara su kullanımını sağlamak i7in kırsal alanda 8kullanımı ele alınmı7tır. Bu sistem 4 ana b6l6nden olulur; PV Jenerat6r6, empedans uyumu 9i7in DC / DC d6n6t6rme sistemi, MPPT (maksimum g67 noktası takibi) algoritma ve bir DC 10pompa sistemi. Bu 7alımda Matlab / Simulink ortamındaki sim6lasyonlarla PV pompalama 11sistemi incelenmi7tir. Ek olarak, iklim parametrelerini (g6nel ılınımı ve ortam sıcaklığı) ve 12toplam manometrik y6ksekliğin pompalanan akı7 hızı 6zerindeki etkisini dikkate alarak 13sistemin performansına genel bir bakı7 sunulmu7tur ve her bir alt sistemin verimliliği 14hesaplanmı7tır. Sim6lasyonu doğrulamak i7in, G6ney Moritanya'nın bir b6lgesi olan Rosso 15İehrinin meteorolojik verileri kullanılmı7tır.

Chahartaghi ve Jaloodar (2019), 6KÁĖĖ ölçekli sulama için doğrudan bağlantılı gÁnel enerjili pompası sisteminin matematiksel modellenmesiö isimli çalışmada; bir damla sulama sistemi ile entegre edilmiş bir PV panel destekli pompa sisteminin modellenmesi sunulmuştur.

Bu sistemin damla sulama sistemiyle adapte çalıştırıldığında, pompanın ve PV panelin çalışma noktasının adaptasyonunda karmaşıklıkların var olduğunu vurgulamırlardır. Çalışmada, kâçâk ölçekli sulama pompasının tasarımı ve analizi için matematiksel model önerilmiştir. Önerilen model, bir damla sulama sistemini ile entegreli çalıştıran gânel enerjili pompa dâzenekini değerlendiren yeni bir yöntemdir. Modele dayanarak, tanımlama sârecinin âç modelleme âlaması vardır. Bu âlamalar, gânel enerjisi âretimi sistemi, pompa sistemi ve damla sulama sistemi modellemeleridir. Üç âlamanın her birine çalışma kapsamında oluşturulan matematiksel model uygulanmıştır. Ortam sıcaklığının kaynaktan pompalanan su âzerindeki etkisi yılın gânleri için saatlik olarak belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmada PV panelin ekim açısının yılın farklı gânlerindeki pompalanan su miktarı âzerindeki etkisi verilmiştir. Sonuçlar, ortam sıcaklığının pompadan çıkan delâj suyu miktarı âzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Bu tez, gânel enerjisi ile çalışan bir pompa sisteminin bilelenlerinin boyutlandırma algoritmasının oluşturulması ve uygulanması âzerinedir. Algoritma MATLAB program kullanılarak iterasyon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Boyutlandırma algoritması, hem akââ hem de akââz gânel enerjili pompa sistemine göre oluşturulmuştur. Daha sonra algoritmasının doğruluğu test edilmiş ve örnek bir uygulaması gerçekleştirilmiştir. Teorik örnek uygulama, Manisa'nın Salihli ilçesinde 2 hektar alanda mısır bitkisi için gerçekleştirilmiştir. Kritik ay olarak Temmuz ayı bulunmuştur ve tâın hesaplamalar bu ay için gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, Bölâm 2 ile PV panellerin hâcre yapısı ve çalışma prensibi hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ek olarak, PV panellerin elektriksel eldeğer modeli ve karakteristiği hakkında genel veriler verildikten sonra, PV panel karakteristiklerini etkileyen faktörler incelenmiştir. Ardından, PV panellerin daha etkin çalışmasını sağlayan Maksimum Gâç Noktası (MPP) hakkında bilgiler verilmiştir. Bölâm 3 ile içerisinde, pompalar ile ilgili genel bilgiler ele alınmış ve su pompalama sistemlerinde pompa seçimine etki eden faktörler âzerinde durulmuştur. Daha sonra pompa performans parametreleri âzerine bilgiler verilmiştir. Bölâm 4 ile , örnek uygulamada sulama yapılacak arazi yapısı ve özellikleri âzerine bilgi verilmiştir. Ardından seçilen arazi ve bitki için sulama suyu ihtiyacı hesaplamaları paylaşılmıştır. Bu âlamadan sonra, sulama ihtiyacını karşılayacak pompanın seçimi için gerekli hesaplamalar hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra, PV panellerin âzerine gelen (ekik yâze) gânel ılımını denklemleri verilmiş ve PV panelin gâcânân ve veriminin hesabının nasıl yapılacağı gösterilmiştir. Son olarak ise gânel enerjili pompanın boyutlandırma algoritmasının âlamaları verilmiştir.

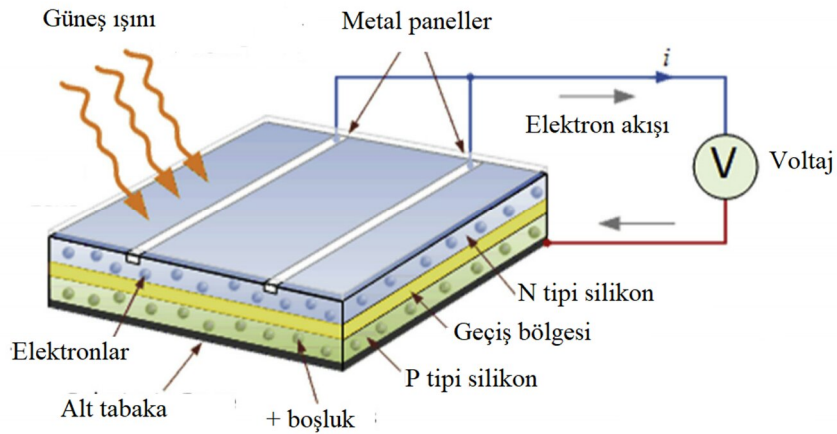
## 2. FOTOVOLTAİK (PV) GÜNEŞ SİSTEMLERİ

Küresel olarak artan baskıya, gelişmiş sanayileme ve insanların yaşam standardındaki artışı, son on yılda enerji taleplerini arttırmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), gelişmekte olan ülkelerin enerji tüketimlerinin gelişmiş ülkelere göre daha hızlı arttığını ve bu talebi karşılamak için 2020 yılına kadar mevcut kurulu üretim kapasitelerinin neredeyse iki katına ihtiyaç duyacaklarını öngörmüştür. Genellikle fotovoltaik (PV) hücreler veya paneller olarak adlandırılan PV, genel enerjisini doğru akıma (DC) dönüştüren elektrikli düzeneklerdir. Birkaç on yıl önce, araştırmacılar yenilenebilir kaynakları kullanarak enerji üretmenin uygun maliyetli ve verimli bir yolunu bulmaya çalışılmışlar ve PV paneller bu ihtiyacı karşılamak için enerji sektöründe kullanıma girmeye başlamıştır. Genel enerjisi, yenilenebilir enerjinin en üretken kaynağı olmaya devam etmektedir. Kalkınmakta olan ülkelerin, genel enerjisi teknolojisinin kullanımı nedeniyle yerel hizmet sağlayıcıdan daha düşük oranlarda kişisel kullanım için kendi elektrikini üretebilmektedirler. Bugüne kadar, genel enerjisi hidroelektrik ve rüzgar enerjisiyle rekabet halindedir ve toplam enerji üretiminin yalnızca küçük bir bölümünü oluşturmuştur. Ancak zamanla, genel enerjisi yenilenebilir enerjiler arasında çevreye az zarar veren teknolojiler arasında olduğu için dünya çapında kullanımı yaygınlaşmıştır. Genel enerjisi endüstrisi, genel enerjisi maliyetlerini düşürme konusunda önemli ilerlemeler kaydetmiş ve dünyanın birçok yerinde kurulum maliyetleri ailevi elektrik ile rekabet edebilecek konuma gelmiştir. Bununla birlikte, PV panellere, esneklik, özel şekil verebilme ve şeffaflık gibi yeni özellikler de eklenmiştir. Akır cam levhaların ve metal çerçevelerin bulunmaması nedeniyle, esnek PV panelleri hafiftir ve taşıma ve yerleştirme maliyetlerini önemli ölçüde azaltır. Kristal yapıli PV paneller, ince film, boyalı ve perovskite olmak üzere dört farklı nesil PV paneller vardır. Bu, ihtiyaçlara ve tercihlere göre farklı PV panellerin kullanılabileceği anlamına gelir (Gorjian and Shukla, 2020).

### 2.1. PV Hücrelerin Çalışma Prensipleri

Birbirinden farklı katkı maddelerinin bir araya geldiği, zıt kutupların içinde barındırıldığı PV hücreler yarı iletkenlerdir. PV hücrelerin yapımında genel olarak kadmiyum, galyum arsenit gibi yarı iletken olan maddeler kullanılmaktadır. PV hücrelerde sıklıkla karşılaşılan yarı iletken madde ise silisyumdur. Ancak, yarı iletken maddeler doğrudan doğruya PV hücre sistemlerinde kullanılamaz. Bu maddeler, katkı maddeleri ile birleştirilmelidir. Periyodik tabloda yer alan IIIA ve beşinci grup elementleri, yarı iletken malzemelerin içine eklenmesi gerekmektedir.

Yarı iletken maddenin N ya da P tipi olması katkı maddesine bağımlı olan bir durumdur. N tipi yarı iletken elde edebilmek adına silisyum eriyiğine beşinci grup elementlerinin eklenmesi gerekir. Bu elementlerde elektron sayısı 5 olduğu için fazla olan elektron, kristal yapıya aktarılır. P tipi yarı iletken elde edebilmek için üçüncü grup elementlerinin eklenmesi gerekir. Üçüncü grup elementlerinin 3 elektronu bulunur ve kristalde elektron eksikliği oluşur. Elektron eksikliğinin oluşmasına boş ya da boşluk adı verilir. PV hücreler N ve P tipi yarı iletkenlerin ince bir plaka haline getirilmesi ve birleştirilmesi ile oluşmaktadır. Yarı iletken malzemelerin birbiri ile kesildiği bölgeler eklem bölgesi olarak adlandırılır. N ve P tipi yarı iletken yüzeyler birbiri ile birleştirilmeden önce nötr yapıdadırlar. P-N tipindeki yarı iletkenler birleştikten sonra N tipi yarı iletken, P tipi yarı iletkeni doğru bir elektron geçişi sağlar ve denge kurulana kadar bu geçiş devam eder. Böylelikle elektron geçişinden kaynaklı olarak bir akım meydana gelir. Bu durumda, P tipi yarı iletken negatif yüklü, N bölgesi ise pozitif yüklüdür. P-N eklem alanına gelen ışınının ulaşması ile birlikte elektron-hole çiftleri oluşmaya başlar. Enerjisini toplamayı başaran elektronlar banda geçiş sağlar (Koryak, 2008; Çalıkan, 2011). İletken banda geçmeyi başarmış olan elektron-hole çiftleri, daha sonra iç ters elektrik alanının etkisinde kalarak tüm bölgelere yayılmaya başlar. Elektronlar genel olarak N tipi yarı iletken bölüme, holler ise P tipi yarı iletken bölüme geçer. N tipi yarı iletken bölüme yer alan elektronlar ile P tipi yarı iletken bölüme yer alan holler birbiri ile gerilim meydana getirir (Masters, 2004; Çalıkan, 2011; Aktal, 2013). Şekil 2.1 ile PV hücrenin yapısı ele alınmıştır.



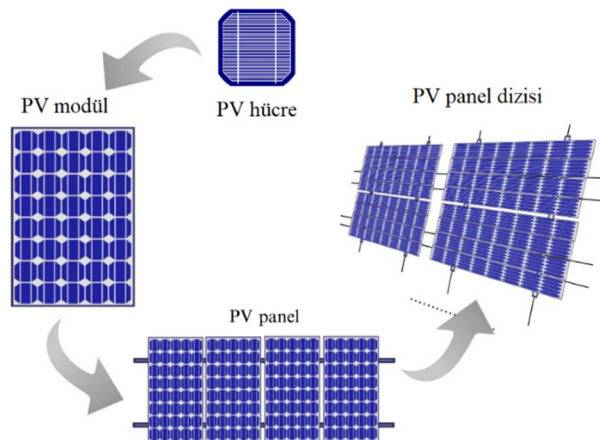
Şekil 2.1 PV hücrenin genel yapısı (Amin et al., 2017)

PV panel sistemlerinde PV hücreler önemli yapılardan biridir ve bu PV'lerin görevi güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmektir. Standart test koşullarında değerlendirme yapıldığında, PV hücrelerin 0,5 V gerilim ürettiği ve 18-25 mA elde edildiği görülmüştür. PV panel verimlerinin ise %10 ile %15 arasında olduğu bilinmektedir (Akgün, 2006). Gelişen teknolojinin yardımı ile ideal bir laboratuvar ortamının sağlanmasıyla verimin %25'e kadar çıkabildiği gösterilmiştir (Patil vd., 2011).

PV hücrelerin ortalama ürettikleri gerilim 0,5 V olduğu için pillerin tek başına herhangi bir işlevi yoktur. PV hücrelerin birbirine seri bir şekilde bağlanması ve oluşturulan bu modüllerin çevre şartlarına dayanıklı olması gerekir. Standart bir modül incelendiğinde 36 hücrenin birbirine bağlandığı görülmüştür. Seri bağlı bu modül 12-V modül olarak tasarlanır. Günümüzde ise en sık kullanılan modül 72 seri bağlı hücreden meydana gelir. Bu 72 modül birbirine bağlı olabileceği gibi iki adet 36 seri bağlı hücreli modüllerin bir araya gelmesi de söz konusu olabilir (Masters, 2004).

PV hücrelerin seri şekilde bağlanması ile birlikte ürettikleri gerilimler birbiri ile toplanır ve akım değeri de birinin akım değerine eşit olur. PV hücrelerin her birinin aynı nitelikte ve özellikte olması birbirine bağlanabilmesi için çok önemlidir. Eğer ki parametreler aynı değil ise akım ve gerilim minimum seviyede olur (Düzenci, 2010). PV hücreler bir araya gelerek modülleri meydana getirirken modüller de bir araya gelerek PV panelleri ve paneller de PV dizileri oluşturmaktadır. (Garg vd., 2014).

Şekil 2.2 ile PV sistemlerindeki tanımlamalar verilmiştir.



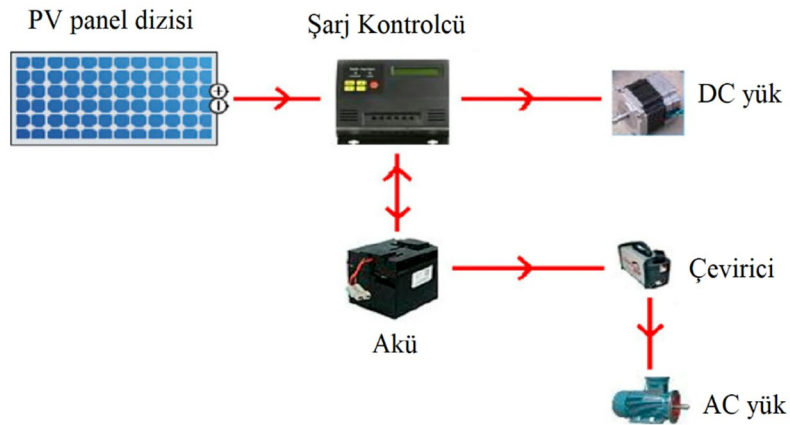
**Şekil 2.2** PV sistemleri hücreden diziyeye tanımlamalar (Yang, 2018)

## 2.2. PV panel komponentleri

Éebekeye bağlı ve Éebekeden bağımsız olmak Ázere iki farklı PV sistem vardır.

### 2.2.1 Şebekeden bağımsız PV paneli sistemleri

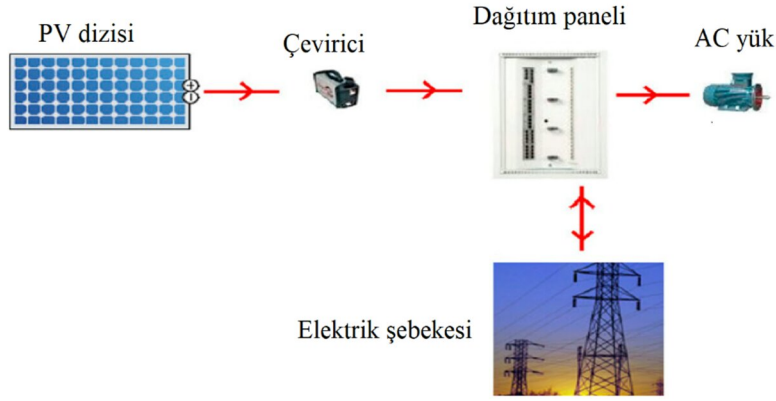
PV sistemini Éebekeden bağımsız çalıştırmak oldukça yaygın bir yöntemdir. Bu tÁr sistemler bir PV jeneratörÁ enerji depolama sistemleri (örneğin bir pil), Áarj kontrol cihazları, AC ve DC yÁklerinden oluÉmaktadır. Tanıma göre, bağımsız bir sistem, bir elektrik Éebekesiyle hiçbir etkileÉim içermez. Bir PV jeneratörÁ birçok PV dizisi içerebilirken, her dizi birçok PV modÁÁnden oluÉmaktadır. AkÁler, PV modÁÁleri tarafından saklanan gÁcÁn, yÁk talebini alıtıkında enerjiyi depolar ve PV kaynağı yetersiz olduğunda ise enerjiyi geri bırakır. Bağımsız bir PV sistemi için yÁk, hem DC (televizyon, aydınlatma vb.) Hem de AC (elektrik motorları, ısıtıcılar, vb.) Olmak Ázere iki tÁrde de olabilmektedir. GÁ dÁzenleme sistemi (inverter, vb.), PV sisteminin tÁm elemanları arasında bir arayÁz sağlayarak koruma ve kontrol sağlar.Éekil 2.3 ile Éebekeden bağımsız PV sistem komponentleri verilmiÉtir.



Şekil 2.3 Éebekeden bağımsız PV sistemi Éeması (Meral ve Dinçer, 2011).

### 2.2.2 Şebekeye bağımlı PV panel sistemleri

Şebekeye bağlı PV sisteminde, PV sistemleri yerel elektrik şebekesine bağlanır. Bu, gün boyunca PV sistemi tarafından üretilen elektriğin ya hemen kullanılabilir (ofislere, diğer ticari binalarda ve endüstriyel uygulamalarda kurulan sistemler için uygundur) veya elektrik tedarik şirketlerinden birine satılabileceği anlamına gelir. Aksi takdirde, PV sistemi ihtiyaç duyulan elektriği saklayamadığında, elektrik yerel şebekeden geri satın alınabilir. Bu tip PV sisteminin pil depolaması içermesi gerekmez (Meral ve Dinçer, 2011). Şekil 2.4 ile Şebekeye bağlı PV sistem komponentleri verilmiştir.



Şekil 2.4 Şebekeye bağımlı PV sistemi şeması (Meral ve Dinçer, 2011).

### 2.2.3 PV panellerinin sistem bileşenleri

Bölüm 2.2.2 ile verilen PV sistemleriyle ilgili ekipmanlar arasında piller, larj denetleyicileri, invertörler ve maksimum güç izleyiciler bulunur.

#### 2.2.3.1 Aküler

Aküler, fazla enerji olduğunda veya güç bulunmadığında PV sistemi tarafından üretilen artık elektriği depolaması gerekir. Bu enerji, başka mevcut enerji girişi olmadığında çeşitli amaçlar için kullanılabilir. PV sistemini dalgalı yapısından korumak için de pillere ihtiyaç vardır. Pillerin ömrü 3-5 yıldır. Larj etme / boğaltma döngüleri ve sıcaklık gibi belirli parametreler pilin kullanım ömrünü etkiler. Pillerin depolama kapasitesi, Amper saat veya Ah

olarak gösterilir. PV sisteminde batarya ile gerçekleştirilen çeşitli fonksiyonlar aşağıda verildiği gibidir;

**Enerji depolama:** PV sistemi tarafından üretilen elektrik enerjisini depolar ve depolanan bu enerjiyi gerektiğinde yüklemek için saklar.

**Voltajı stabilize etmek için:** PV sistemlerindeki voltaj dalgalanmalarını bastırır ve sabit voltajda elektrik yüklerine güç sağlar, böylece yükleri hasardan korur.

**Alırlı gerilim besleme akımı:** Aküler, motora ve diğer endüktif yüklerle bağlantı akımını sağlamak için gereklidir. Bu nedenle, batarya depolamaya sahip PV sistemlerinin performansı ile ilgili olarak batarya tasarımı ve sistemlerin çalışma parametreleri önemli bir husustur.

Uygulamada kullanılan akü çeşitleri: Kurşun asit, Nikel kadmiyum, Nikel metal hidrit, Lityum iyon, Lityum polimer akülerdir (Rathore et al, 2019).

#### 2.2.3.2 Şarj kontrol cihazları

Şarj kontrol cihazı, pil şarjı için kullanılır ve pilin derin deşarj olmasını engeller. Şarj kontrolörü kararlı PV sisteminin çalışmasını sağlar. Daha yüksek bir voltajda, genellikle 12 V piller için 12,5 V düzeyinde, şarj kontrolörü genellikle yükü aküye geçirirken, daha düşük voltajda, tipik olarak 11,5 V, kontrolör yükü kapatır. Sistemde kullanılan akü tipine göre, iki voltaj eşiği şarj kontrolörü tarafından otomatik olarak ayarlanır. Pil voltajı kritik bir değere ulaştığında ortaya çıkan alırlı şarj veya alırlı deşarj durumudur (Meral ve Dinçer, 2011).

#### 2.2.3.3. Çeviriciler

DC'yi AC'ye dönüştürmek için bir invertör kullanılır. Çeşitli tiplerde invertörler mevcuttur, ancak bunların tıbbi alete beslemesine güç beslerken kullanım için uygun değildir. Bu nedenle, invertör tasarımcıları kullanım amacını dikkatlice belirlemelidir. PV invertörler, MPPT ve adalanma önleyici koruma dahil olmak üzere PV dizisi için özel kontrol kullanır. PV invertörleri güç geniş tıbbi ayrılabilir:

Bakımsız invertörler, invertörün DC enerjisini PV dizileri ve / veya rüzgar türbinleri, hidro türbinler veya motor jeneratörleri gibi diğer kaynaklar tarafından şarj edilen akülerden çektiği izole sistemlerde kullanılır. Birçok bakımsız invertör, mevcut olduğunda bir AC

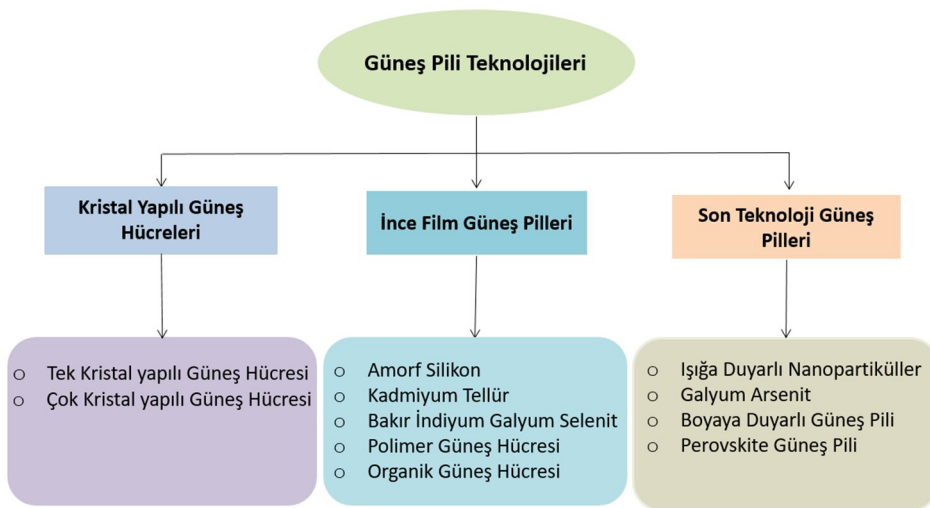
kaynağından pili yenilemek için entegre pil şarj cihazları da içerir. Normalde bunlar herhangi bir şekilde elektrik şebekesi ile arayış oluşturmaz ve bu nedenle adalanmaya karşı korumaya sahip olmaları gerekmez.

Şebeke bağlantılı inverterler, güvenlik nedenleriyle şebeke beslemesinin kesilmesi durumunda otomatik olarak kapanacak şekilde tasarlanmıştır. Şebeke kesintileri sırasında yedek güç sağlamazlar

Aküyelik invertörleri, bir aküden enerji çekmek, akü şarjını yerleşik bir şarj cihazı ile yönetmek ve fazla enerjiyi elektrik şebekesine aktarmak için tasarlanmıştır özel invertörlerdir. Bu invertörler, bir şebeke kesintisi sırasında seçilen yıklara AC enerji saklayabilir (Meral ve Dinçer, 2011).

### 2.3. PV panel teknolojileri

Çalışma kapsamında bu bölümde, bazı önemli PV hücre teknolojileri kısaca anlatılacaktır. PV panel hücreleri teknolojileri 3 farklı bölümde incelenecektir. Bunlardan ilki, birinci jenerasyon hücre teknolojisi olan kristal yapıli genel pilleridir. Bu teknoloji hala en yaygın olarak kullanılan tek kristal ve çok kristal yapıli PV panelleri içermektedir. Daha sonra, ince film genel pili teknolojisinden ve genel pili teknolojilerindeki son gelişmeler üzerine bilgi verilecektir. Şekil 2.5 ile PV panel teknolojileri gösterilmiştir.



Şekil 2.5 PV panel teknolojileri (Gorjian, 2020).

### 2.3.1 Kristal yapılı PV paneller

Bu PV paneller silikon bazlı sistemlerdir ve tek kristal ve çok kristalli yapı olarak ikiye ayrılmaktadır. Kristal silikon PV panellerin, diğer PV panellerinden daha iyi verimlilik ve basit erilebilirlik gibi çok sayıdaki avantajlarından dolayı, PV panel üreticilerini bu sistemleri üretmeye yönelmişlerdir. Yüksek verimlilikleri nedeniyle tek kristal PV panelleri daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak yüksek malzeme fiyatları, üreticiler ve son kullanıcılar için endişe kaynağı olmaya devam etmektedir (Gorjian, 2020).

#### 2.3.1.1 Tek kristal yapılı PV paneller

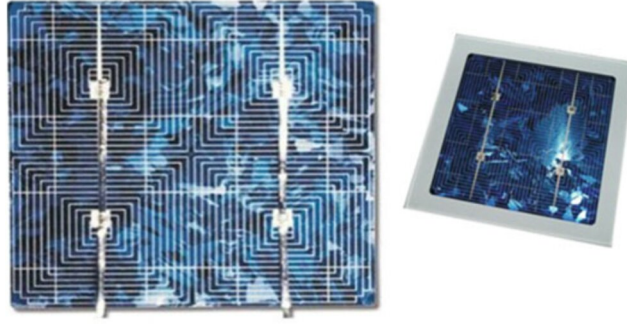
Tek-Si genel enerjili PV hücreleri, ilk nesil fotovoltaik teknolojisidir. Güvenilirlikleri, dayanıklılıkları ve uzun ömürlülüklerinden dolayı bu teknolojinin bulunduğu ilk günden beri kullanılmaktadırlar. Üreticiler tarafından teknolojileri, kurulumları ve performans konuları iyi anlaşılmış sistemlerdir. Czochralski (CZ) yöntemiyle 1970 yıllarında üretilen ve kurulan PV hücrelerinin çoğu bugün hala elektrik üretmektedir. Tek-Si PV panellerin en önemli dezavantajı, maliyetli üretim sürecinin getirdiği yüksek maliyettir. İkinci bir dezavantajı ise, panel sıcaklığı arttıkça panel verimliliğinin azalmasıdır (Gorjian, 2020). Tek kristal silikon verimli olma sebebi, malzemenin elektriksel ve termal iletkenliğini azaltma eğiliminde olan kafesteki defektliklerin neden olduğu kristal yapı kusurları olan tane sınırları içermemesidir. Bu kusurlar, elektron akımının önündeki engeller olarak dikkatle alınabilirler (Mohanty, 2016). Şekil 2.6 ile tek kristal yapılı PV panel hücresi gösterilmiştir.



**Şekil 2.6** Tek kristal yapılı PV panel hücresi (Mohanty, 2016).

### 2.3.1.2 Çok kristal yapı PV paneller

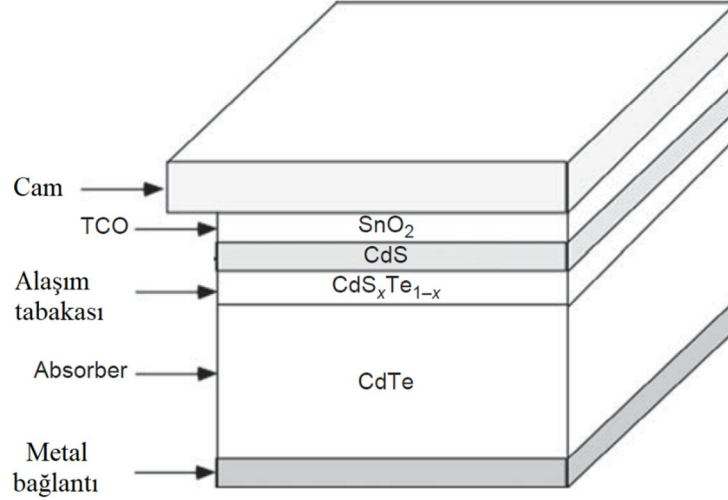
Çok kristal yapı (Poli-Si) PV panelleri, Tek-Si PV panellerden daha ucuzdur, ancak aynı zamanda tek biçimli olmayan kafesleri nedeniyle daha az verimlidirler. Çok kristali yapı silikon, PV endüstrisi tarafından hammadde olarak kullanılan yüksek saflıkta bir Poli-Si formudur. Bu saflaştırma işlemi, metalurjik sınıf silikondan Poli-Si üretir. Bu işlem, uçucu silikon bileşiklerinin yüksek sıcaklıklarda damıtılmasını ve bunların silikondan ayrıştırılmasını içermektedir. Buna ek olarak, PV endüstrisi, kimyasal arıtma yerine metalurjik işlemler kullanarak iyileştirilmiş metalurjik sınıf silikonlar da üretmektedir. Poli-Si güneş PV panel hücreleri, hızla büyüyen PV pazarında en yaygın PV paneli türüdür ve dünya çapında üretilen Poli-Si'nin çoğunu bu sektörde kullanılır (Gorjian, 2020). Çok kristal yapı silikonun belirgin tane sınırları vardır; tek kristallerin bölümleri çıplak gözle görülebilir (Mohanty, 2016). Şekil 2.7 ile çok kristal yapı PV panel hücresi gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Çok kristal yapı PV hücresi (Mohanty, 2016).

### 2.3.1.2 İnce film yapı PV panel hücreleri

İnce film PV panel hücreleri, ikinci nesil PV panelleri olarak kabul edilir. İnce film yapı PV panel hücresinin yapısı Şekil 2.8 ile gösterilmiştir. Silikon kristal PV paneli daha ucuzdur, ancak daha düşük verimlilikle çalışmaktadırlar. Bu tür hücre tiplerinde, metal, cam veya plastik folyo üzerine ince bir yarı iletken PV malzeme tabakası bırakılır. İnce filmler düşük verimliliklerinden dolayı kurulum için daha geniş alana ihtiyaç duymaktadırlar. Bu nedenle tek kristal olmayan yapı nedeniyle montaj gibi ilişkili maliyetleri de artırır (Mohanty, 2016).



**Şekil 2.8** İnce film yapılı PV panel hâcresi (Gorjian, 2020).

Yaygın olarak kullanılan ince film PV panel örnekleri, amorf silikon (a-Si), kadmiyum tellürid (CdTe), bakır indiyum galyum selenid (CIGS), polimer ve organik PV panellerdir (Mohanty, 2016).

**Amorf Silikon (a-Si):** Üretilen ilk ince film PV panel, amorf silikondur (a-Si). Amorf ince filmler % 2-5'lik bir verimlilikten % 12'nin üzerine çıkmıştır. Bununla birlikte, bu teknoloji için kararlılık problemlerinin olduğu tespit edilmiştir. Işığa maruz kaldıktan sonra performanstaki hâcre performansında değişikliklerin olduğu bilinmektedir. Amorf silikon, kristal yapılı olmayan ve dâzensiz bir silikon yapısıdır. Amorf silikon yapılı PV paneller, daha yüksek verimlilik nedeniyle CIS, CIGS ve CdTe PV panellerine kıyasla daha performanslıdır (Gorjian, 2020).

**Kadmiyum Tellürid (CdTe):** Kadmiyum tellürid (CdTe) yapılı PV paneller, emilen gânel ışığı dönüştürmek ve dolayısıyla elektrik üretmek için bir yarı iletken olarak ince film kadmiyum tellür malzeme katmanları içerir. Bu tür PV panellerde, bir elektrot bakır katkılı karbon macunundan hazırlanırken, diğer elektrot kalay oksit veya kadmiyum bazlı kalay oksitten yapılır ve iki elektrot arasına kadmiyum sâfit yerleştirilir. Kadmiyum tellürid PV paneller, dânya pazarında kristal silikon bazlı gânel pillerinden sonra bir sonraki en geniş PV panel teknolojisidir. Bununla birlikte, CdTe PV panellerle istikrarlı, dâk dirençli bir geri temas (*back contact*) geliştirmek hala bir sorundur. Ancak hızlı ısıl işlem (*rapid thermal processing*) sayesinde dâzenek performans göstergelerinde büyük miktarda iyileşme

sağlanabilmektedir. Hızlı ısıl işlem sayesinde deneylerde 0,72 açık devre voltajı ile % 11,25 güç dönüştürme verimi elde edilmiştir (Gorjian, 2020).

**Bakır indiyum galyum selenid (CIGS):** Bakır indiyum galyum selenid bazlı PV paneller, herhangi bir ince film tabanlı PV panel teknolojisine kıyasla en büyük enerji üretimine sahip teknolojidir. Cam alt tabaka ile güç dönüştürme verimliliği % 21'e kadar yaklaşmıştır. CIGS teknolojisi alanındaki gelişmeler, metal folyo veya poliamid alt tabakalara sahip esnek PV hücrelere doğru bir geçiş olarak algılanmıştır. Esnek yapı, yüksek güç ve geniş ıslık yoğunluğuna direnç gibi özellikleri neticesinde, CIGS PV paneller uzay uygulamaları için giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. CIGS PV paneller, 1.5eV'lik enerji bandı aralığında son derece yüksek bir absorblama katsayısına sahiptir ve bu da geniş ıslık spektrumunun güçlü bir şekilde absorbe etmesi anlamına gelmektedir. Esnek CIGS kullanan PV panelleri, bir yalıtım malzemesi katmanı ile kapatılmış paslanmaz çelik bir alt tabaka kullanılarak % 14'lük bir dönüştürme verimliliği elde edilmiştir (Gorjian, 2020).

**Polimer PV panel hücreleri :** Polimer PV paneller, fotovoltajik etki ile geniş ıslıktan elektrik akımı üreten polimerler ile yapılmış esnek PV panellerdir. Bu tür PV panellerin hafifliği neticesinde, otonom sensör uygulamalarında kullanılabilmektedirler. Diğer PV paneli örneklerine kıyasla, polimer PV panelleri ekonomiktir, tek kullanımlıktır, dokası gereği esnektir ve çevre üzerinde daha az etkiye sahiptir. Polimer PV panelleri şeffaf dokasından dolayı duvarlar, pencereler ve esnek cisimler üzerinde kullanılabilmektedirler. Yapılan çalışmalarda, polimer bazlı PV panelleri polimer tipine göre (P1, P2, P3 ve P4) sırasıyla % 4.10, % 3.84, % 1.60 ve % 3.83 güç dönüştürme verimliliği elde edilmiştir (Gorjian, 2020).

### **Organik PV hücreleri :**

Organik bir PV panel (OSC) teknolojisinde, organik elektronikler kullanılmaktadır. Organik moleküllerin esnekliği ve düşük maliyetli olması, bu tür PV panellerin en önemli avantajıdır. Ayrıca, bu yapılar yüksek optik absorblama katsayısına sahiptirler. Bu nedenle, bu tür PV paneller geniş ıslık yalıtımını iyi derecede absorblayabilirler. Ancak, inorganik bir yapıya sahip silikon bazlı PV hücrelerine kıyasla daha az verimlilik ve daha az kararlılık gibi ciddi dezavantajları da vardır. Bir çalışmada, hücrenin performansını artırabilmek için PTB7Th:

PC71BM'ye dayalı organik hücreler halojensiz işleme süreçleri olarak tiofen (TH) ve difenil eter (DPE) kullanılmıştır. Bu, klorobenzen (CB) ve 1,8-diiodineoctane (DIO) kombinasyonu ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, TH ile % 9,2'lik bir güç dönüşüm verimliliği elde edilirken CB'den yalnızca % 7,41'dik bir güç dönüşüm elde edilmiştir (Gorjian, 2020).

### 2.2.1.3 PV panellerde son gelişmeler

Son zamanlarda, galyum arsenit, perovskit ve boyaya duyarlı PV panelleri gibi çeşitli yeni PV panel teknolojileri geliştirilmiştir. Ancak bu teknolojiler henüz ticari ölçekte geniş kapsamlı olarak kullanılamamaktadır. Bu PV panelleri üçüncü nesil güneş PV teknolojisi olarak da adlandırılmaktadırlar. (Gorjian, 2020 ;Mohanty, 2016 ) Galyum arsenit, gelişimi ve özellikleri açısından silikondan sonra ikinci malzeme olarak kabul edilmektedirler. Grafen / galyum arsenit *Schottky* PV paneli bağlantısı kullanılarak açık devre voltajı ( $V_{OC}$ ) ve 0,35 V ve 2,14 mA/cm<sup>2</sup>'lik bir kısa devre akım yoğunluğu ( $J_{sc}$ ) ile % 5,3 dönüşüm verimliliği elde edilmiştir (Gorjian, 2020; Ansari, 2019). Boyaya duyarlı PV panelleri (DSSC), ıııka duyarlı hale getirilmiş bir anot ve bir elektrolit arasında olunan yarı iletken yapılara dayanan fotoelektrokimyasal PV panellerini kullanmaktadır. Tipik bir DSSC'de, yarı iletken nanokristaller, güneş ııınımını (fotonlar) toplayan anten görevi görür ve boya molekülleriyle yük ayırma (*charge separation*) işleminden sorumludur. Doğal fotosentezi taklit etmesi açısından benzersizdir. Bu PV paneller, düşük maliyetli malzemeler kullanılmaktadırlar. Ayrıca üretimleri de basit ve kolaydır. Elektronları, ııık emici bir pigmentle kaplı titanyum dioksitten serbest bırakırlar. Bununla birlikte, UV ıııkına maruz kalma ve sıvı elektrolit kullanımı ile zaman içinde performansları bozulabilir. Yeni geniş bant boyaların ve elektrolitlerin geliştirilmesiyle yaklaşık % 15'lik laboratuvar verimliliği elde edilmiştir, ancak ticari verimlilikler düşük - tipik olarak % 4-5'in altındadır. DSSC'nin verimliliğinin düşük olmasının ana nedeni, geniş bir spektral aralığı absorbe edebilen çok az boya tipinin olmasıdır. DSSC'ler için daha yüksek güç dönüşüm verimlilikleri sağlayacak nano yapılı malzemeleri tasarlamak, sentezlemek ve birleştirmek için binlerce organik boya ile çalışılmış ve test edilmiştir. DSSC mevcut güneş hücreleri arasında en verimli üçüncü nesil güneş enerjisi teknolojisidir (Mohanty, 2016). Perovskite PV paneli (PSC), hem bilim adamları hem de endüstrinin dikkatini çeken yeni nesil PV panel teknolojileridir. Birkaç yıl içinde, PSC'lerin güç dönüşüm verimliliği % 22'ye ulaştırılmıştır. Perovskit PV paneli üretimi için bir çok yöntem önerilmiştir, ancak cihazların performansının tam olarak optimize olmaktan çok uzaktır. PSC'ler hala stabilite sorunları sergilemektedir ve kirliliği içerirler (yaklaşık 13 mg/m<sup>2</sup>). Dahası, PSC'ler yüksek sıcaklıklara,

UV ıfıkına, neme ve oksijene duyarlıdır. Bunlar Perovskit PV teknolojisinin ticariletirilmesini engelleyen faktörlerdir (Mesquita, 2017).

## 2.5. İdeal ve Standart (Tek) Diyot Modeli

Basitleştirilmiş, PV hücrenin elde ettiği bir model genellikle akım kaynağı olarak kullanılabilir ve gerçek bir diyot olarak nitelendirilebilir. İdeal akım kaynağında, ıfınım ıfıdeti ile üretilen akım doğru orantılıdır (Masters, 2004). İdeal modelin yalnızca kayıpsız durumda geçerli olduğu dikkate alınmalıdır. Bu model, paralel diyot akımı  $I_d$ , hücredeki p-n bağlantısının fiziksel davranışını yansıtır ve sıcaklık ve ıfınım değışikliklerine bağı olan fotosel akımını,  $I_{ph}$ , modeller. Bu model Denklem (2.1) ile gösterilmiştir (Tayyebi, 2016).

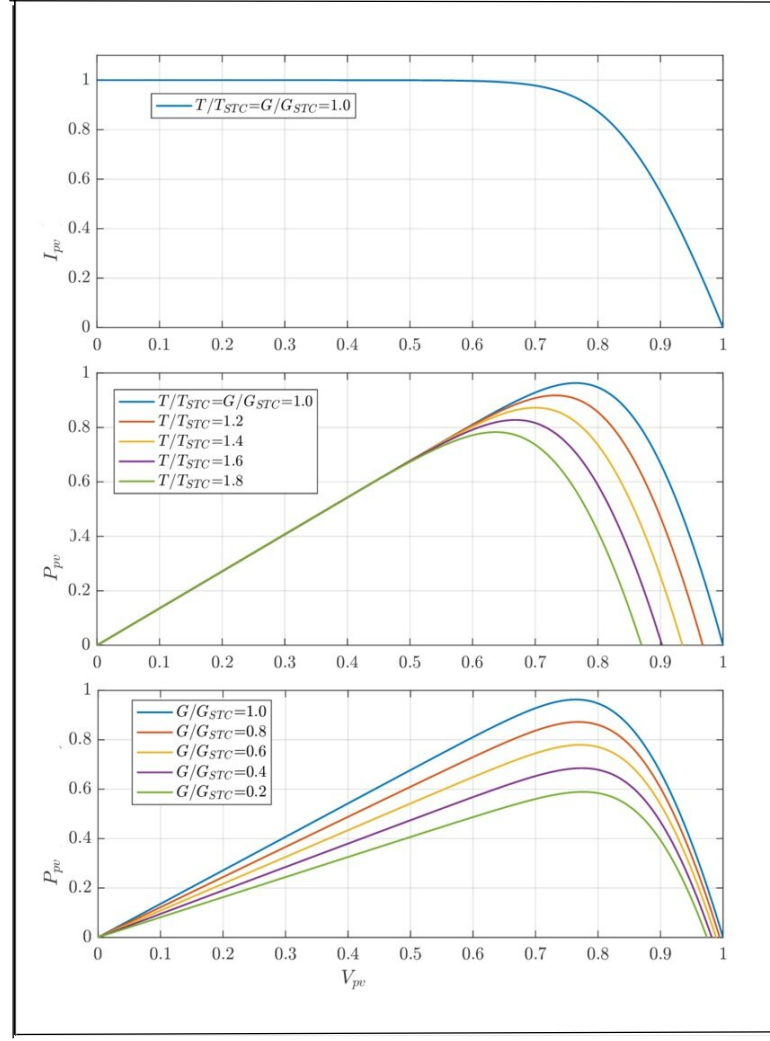
$$I_{ph} = I_{ph,STC} \frac{G}{G_{STC}} \exp \left( \frac{T - T_{STC}}{T_{STC}} \right) \quad (2.1)$$

Burada, STC alt simgesi standart test koşullarındaki değerleri ve sıcaklık katsayısını temsil eder. Denklem (2.2) ile verilmiştir (Tayyebi, 2016).

$$\left. \frac{dI}{dT} \right|_{STC} \quad (2.2)$$

Denklem (2.3) kullanılarak elde edilen Şekil 2.9 öda STC (standart test koşulları) altında PV akımı  $I$  PV voltajı, sıcaklık artışıındaki PV g $\frac{A}{A}$  PV voltajı ve ıfınım d $\frac{A}{A}$  ile PV g $\frac{A}{A}$  PV voltajı gösterilmiştir.

$$I = I_{ph} - I_{sat} \exp \left( \frac{V}{V_t} \right) - 1 \quad (2.3)$$



**Şekil 2.9** STC altında PV akımı ile voltaj (üst), sıcaklık artışıındaki PV güç-voltaj (orta) ve ıllım dA'ı'nde PV güç-voltaj (alt) (Tayyebi, 2016)

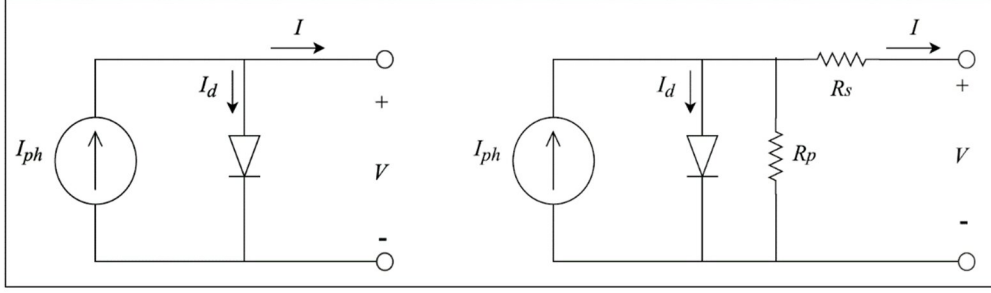
Denklem (2.3) içerisindeki, ' ideallik faktörü,  $V_t$  ısı voltajını ve  $I_{sat}$  diyot doygunluk akımını temsil eder. Isıl voltaj Denklem (2.4) ile gösterilmiştir.

$$V_t = \frac{kT}{q} \quad (2.4)$$

Burada,  $q$  elektron yükü ve  $k$  Boltzmann sabitidir. Denklem (2.5) ile diyot doygunluk akımı hesabı verilmiştir (Tayyebi, 2016).

$$I_{sat} = CT^3 \exp \left( -\frac{E_{gap}}{KT} \right) \quad (2.5)$$

Modeli daha gerçekçi hale getirmek için kayıplar bir seri  $R_s$  ve paralel  $R_p$  dirençleri eklenmiştir. PV hücrelere paralel direnç ( $R_p$ ) ve seri direnç ( $R_s$ ) eklenmesi ile çok daha etkili bir eldeçer devre elde edilmesi mümkündür.  $R_s$ , p - n başlantısına karşılık gelen yarı iletken kayıplarını ve  $R_p$  ise iç hücre direncini temsil etmektedir. Seri ya da paralel dirençlerin eklenmiş olduğu bu model standart-tek diyot modeli olarak adlandırılır. Ėekil 2.10 ile standart tek diyot modelinin Ėeması gösterilmiştir (Dāzenli, 2010; Bharti vd., 2014; Tayyebi, 2016)



Şekil 2.10 PV hücremim standart tek diyot modeli (Tayyebi, 2016)

Ėekil 2.10'daki  $I$  akım,  $I_d$  diyot akımı,  $V$  voltaj,  $R_s$  seri direnç,  $R_p$  paralel dirençtir.  $I_d$  ile  $I$  arasındaki ilişki Denklem 2.7 ile gösterilmiştir (Master, 2004).

$$I = I_{ph} - I_d = \frac{V}{R_p} \quad (2.6)$$

$R_s$  ve  $R_p$ 'nin tanıtılmasıyla Denklem (2.3)'ün değiltililmiş versiyonu Denklem (2.7) ile gösterilmiştir (Tayyebi, 2016).

$$I = I_{ph} - I_{sat} \exp \left( \frac{V + IR_s}{V_t} \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2.7)$$

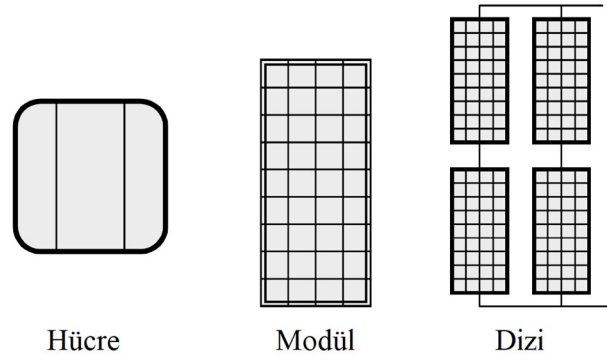
Bu kayıpların etkileri,  $I$  -  $V$  eğrisinin eğiminin değilimi olarak görülebilir. Bu etkiler Denklem (2.8) ile gösterilebilir (Tayyebi, 2016).

$$R_s = \left. \frac{dV}{dI} \right|_{V=V_{oc}} \quad \text{and} \quad R_p = \left. \frac{dV}{dI} \right|_{I=I_{sc}} \quad (2.8)$$

Daha detaylı ideal ve standart (Tek) Diyot Modeli formÁasyonları için referans Master, 2004 ; DÁzenli, 2010; Bharti vd., 2014; Tayyebi, 2016 referansları incelenebilir.

### 2.3. PV hücrelerin ve modüllerin bağlanma şekilleri

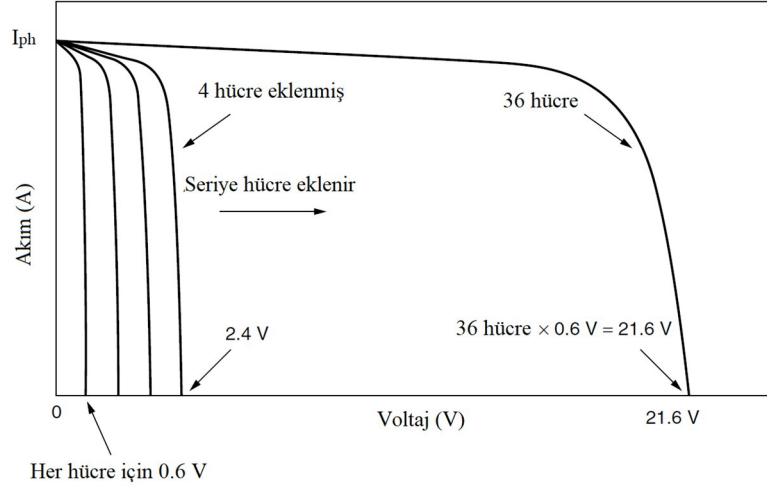
Gerilimin arttırılabilmesi için modÁlerin seri, akımın arttırılabilmesi için ise modÁlerin paralel bağlanması gerekmektedir. PV sistem tasarımında önemli unsurlardan biri de, ihtiyaç duyulan enerjiyi saklamak için kaç modÁÁn seri olarak ve kaç modÁÁn paralel bağlanacağına karar vermektir. Éekil 2.11 hÁcreler, modÁler ve diziler arasındaki bu ayrımı göstermektedir (Master, 2004).



Şekil 2.11 PV hÁcreden dizilere (Master, 2004).

#### 2.3.1 PV hücrelerden modül oluşumu

PV hÁcreler seri olarak bağlandığında, hepsi aynı akımı taÁır ve herhangi bir akımda voltajları Éekil 2.12 ile gösterildiği gibi eklenir. Seri olarak bağlanan hÁcreler için, herhangi bir akımdaki hÁcre voltajları eklenir. Tipik bir modÁ 36 adet hÁcreye sahip olmaktadır (Master, 2004).



Şekil 2.12 Seri bağlı modüllerin gerilim-eğilimi (Master, 2004).

Hücreler birleştikten sonraki PV modülün toplam voltajı  $V_{mod}$  (V) Denklem (2.9) ile gösterilmiştir (Master, 2004).

$$V_{mod} = n V_d + IR_s \quad (2.9)$$

Denklemdaki,  $V_d$  (V) bağlantı voltajını temsil etmektedir ve  $R_s$  (Ω) ile bağlantılı olarak Denklem (2.10) ile hesaplanmaktadır (Master, 2004).

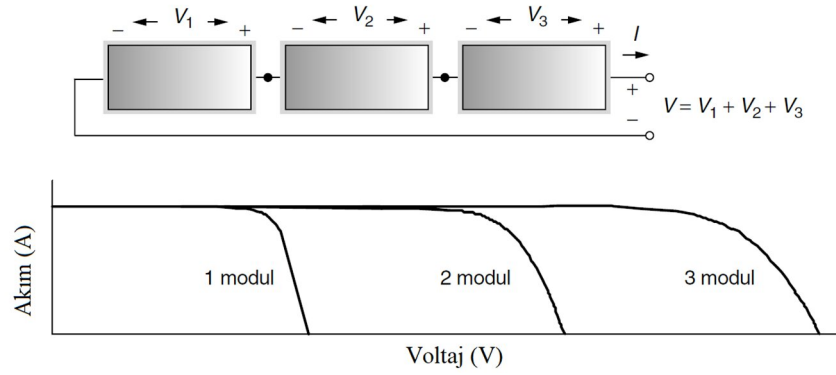
$$V_d = V - IR_s \quad (2.10)$$

Bu verilere dayanarak bir modülün güç (W) Denklem (2.11) ile hesaplanabilmektedir (Master, 2004)

$$P = V_{mod} I \quad (2.11)$$

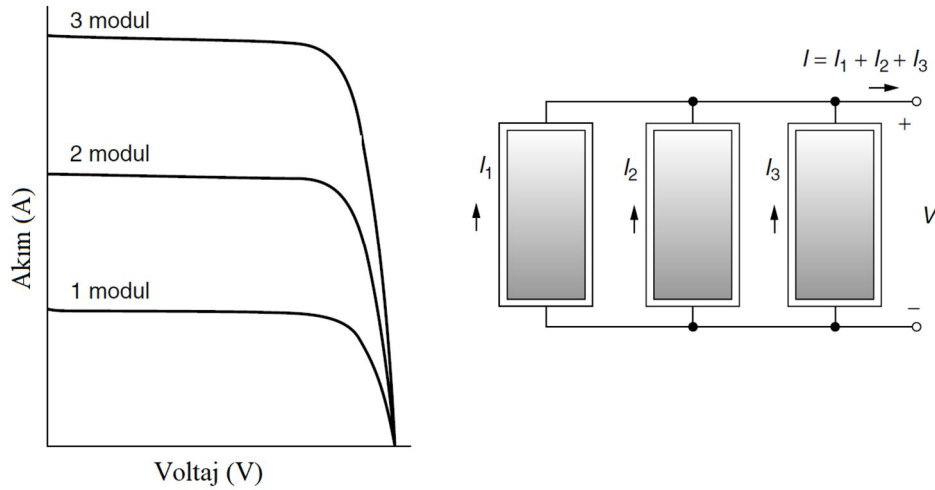
### 2.3.2 PV modüllerden dizi oluşumu

PV modüller, gerilimi artırmak için seri olarak ve akımı artırmak için paralel olarak bağlanabilir. Diziler, güç artırmak için bazı seri ve paralel modül kombinasyonlarından oluşur. Seri haldeki modüller için, I-V eğrileri gerilim eksenini boyunca basitçe eklenir. Yani, herhangi bir belirli akımda (modüllerin her birinden akan), toplam gerilim, Şekil 2.13'de önerildiği gibi tek tek modül voltajlarının toplamıdır.



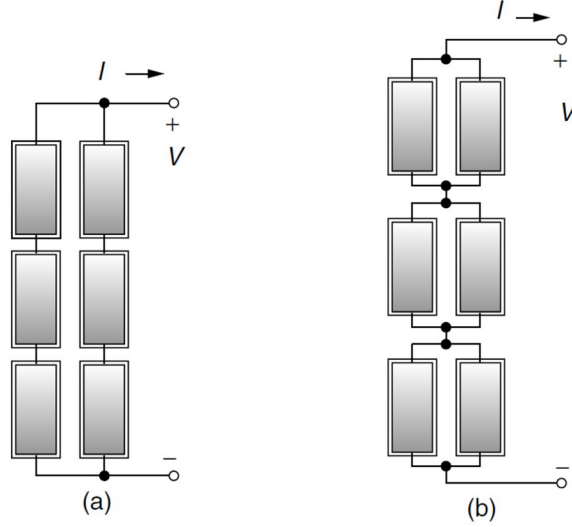
Şekil 2.13 Seri bağlı modüllerin gerilim elitiği

Paralel bağlı modüllerde modüllerin akımlarının toplanması ile toplam akım elde edilir. Çıkıl gerilimi ise modüllerden birinin gerilimine elittir. Akım eğrisinin genişletilmesi ile birlikte paralel modüllerin akım-gerilim eğrisi (I-V) elde edilir. Şekil 2.14'de bu akım-gerilim eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Paralel bağlı modüllerin akım elitiği

Yüksek güç ihtiyacı duyulduğunda, dizi genellikle seri ve paralel modüllerin bir kombinasyonundan olacaktır. Modüllerin bir seri / paralel kombinasyonunu kablolar ile bağlamanın iki yolu vardır: Seri modüller, diziler olarak bağlanabilir ve dizeler Şekil 2.15'deki gibi paralel olarak bağlanabilir veya 2.15b'deki gibi paralel modüller önce birbirine bağlanabilir ve bu birimler seri olarak birleştirilebilir.



Şekil 2.15 (a). Seri bağlı modüllerin paralel bağlanması (b). Paralel bağlı modüllerin seri bağlanması (Master, 2004).

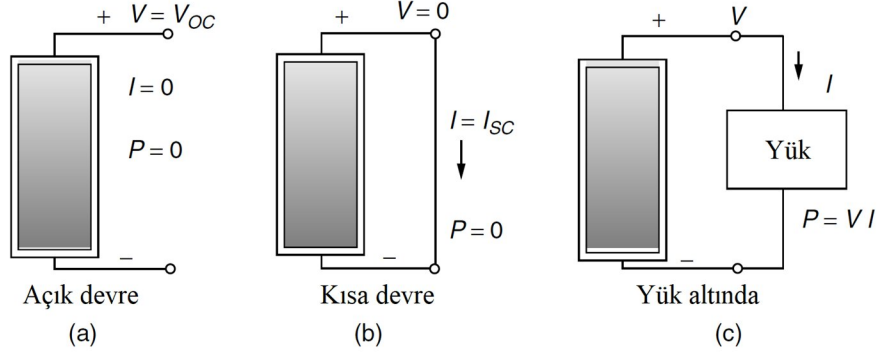
Toplam  $I$  -  $V$  eğrisi, her bir yolda gittiğinde her iki durumda da aynı olan, bireysel modül eğrilerinin toplamıdır. Bununla birlikte, tellerin paralel olarak tercih edilmesinin bir nedeni vardır (Şekil 2.14a). Bir dizinin tamamı herhangi bir nedenle hizmetten çıkarılırsa, akım azalmasına rağmen dizi için gerekli olan gerilimi yine de sağlayabilir; bu, paralel bir modül grubu kaldırıldığında durum değildir (Master, 2004)

## 2.4. PV panellerin akım, gerilim ve güç karakteristik eğrileri

### 2.4.1. Standart test koşullarında I-V ve P-V

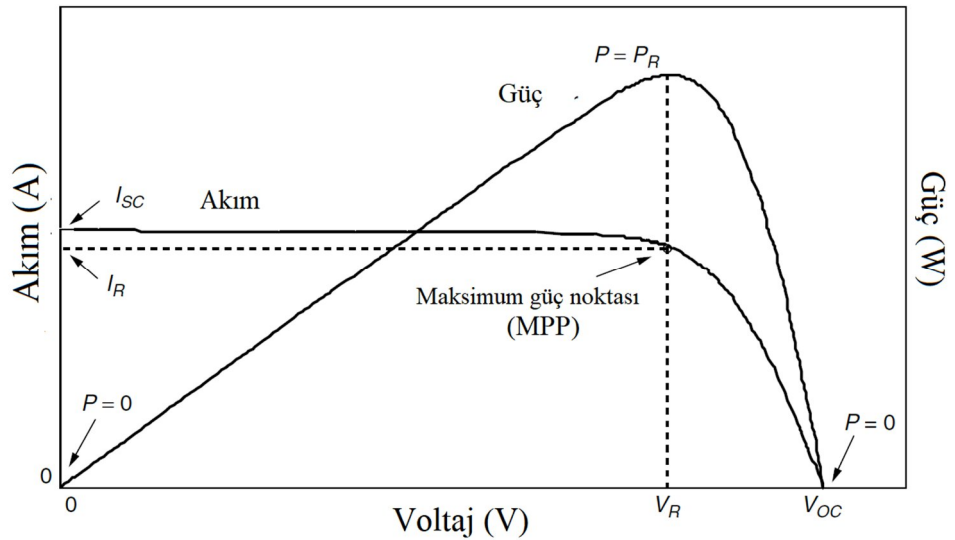
Şekil 2.16 ile gösterildiği gibi bir PV modülün bir yük bağlandığı kabul edilir. Yük, örneğin bir pompayı çalıştıran bir DC motor veya bir akü olabilir. Yük bağlanmadan önce, genel ılınımı modül üzerindeyken bir açık devre gerilimi ( $V_{OC}$ ) üretecektir. Ancak hiçbir akım akmayacaktır (Şekil 2.16a). Modülün uçları birbirine kısa devre yaparsa (modüle hiç zarar vermez), kısa devre akımı ( $I_{SC}=I_{ph}$ ) akacaktır, ancak çıkıl gerilimi sıfır olacaktır (Şekil 2.16b). Her iki durumda da güç, akım ve gerilimin ürününden, modül tarafından hiçbir güç iletilmez ve yük

tarafından hiçbir güç alınmaz. Yük fiilen bağlandığında, bazı akım ve gerilim kombinasyonları ortaya çıkacak ve güç iletilecektir (Şekil 2.15c).



**Şekil 2.16** Devre açıkken (a) kısa devre olduğunda (b) güç verilmez. Yük bağlandığında (c), aynı akım yük ve modül boyunca akar ve aynı voltaj bunların üzerinden geçer (Master, 2004).

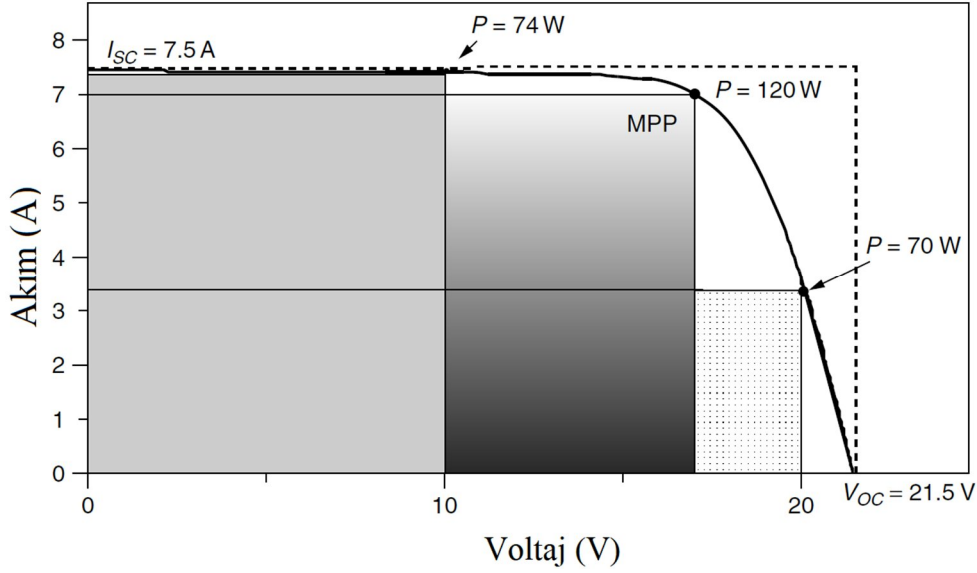
Ne kadar güç olduğunu bulmak için, modülün  $I$  -  $V$  karakteristik eğrisini ve ayrıca yükün  $I$  -  $V$  karakteristik eğrisini dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 2.17, açık devre voltajı ( $V_{OC}$ ) ve kısa devre akımı ( $I_{SC}$ ) dahil olmak üzere birkaç temel parametreyi tanımlayan bir PV modül için genel bir  $I$  -  $V$  eğrisini gösterir.



**Şekil 2.17** Bir PV modül için  $I$  -  $V$  eğrisi ve güç çıkışı. Maksimum güç noktasında (MPP) modül,  $I$  -  $V$  eğrisinin çizildiği genel ılkı ve sıcaklık koşulları altında verebileceği en fazla güç sağlar (Master, 2004).

$I$  -  $V$  eğrisinin iki ucunda çıkış gücü sıfırdır çünkü bu noktalarda akım veya gerilim sıfırdır. Maksimum güç noktası (MPP), akım ve gerilim çarpımının maksimuma ulaştığı  $I$  -  $V$  eğrisine

yakın noktadır. Maksimum güç noktasının konumunu görselleştirmenin başka bir yolu,  $I$  -  $V$  eğrisinin altına sıkacak olası en büyük dikdörtgeni bulmaya çalışmaktır. Şekil 2.18 ile gösterildiği gibi, dikdörtgenin kenarları akım ve gerilime karşılık gelir, dolayısıyla alanı güçtür. Modül performansını karakterize etmek için sıklıkla kullanılan diğer bir ölçüt, doldurma faktörü (FF).



**Şekil 2.18** Maksimum güç noktası (MPP),  $I$  -  $V$  eğrisinin altına sıkabilen en büyük dikdörtgene karşılık gelir. Doldurma faktörü (FF), MPP'deki alanın (güç)  $V_{oc}$  ve  $I_{sc}$  kenarları olan bir dikdörtgenin oluşturduğu alandır (Master, 2004).

Kristal silikon güneşli modülleri için % 70-75 civarında dolgu faktörleri tipikken, çok bağlantılı amorf Si modülleri için % 50-60'a yakındır (Master, 2004).

$$FF = \frac{\text{Maksimum güç noktasındaki güç}}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{V_R I_R}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2.12)$$

## 2.5 PV karakteristiklerini etkileyen faktörler

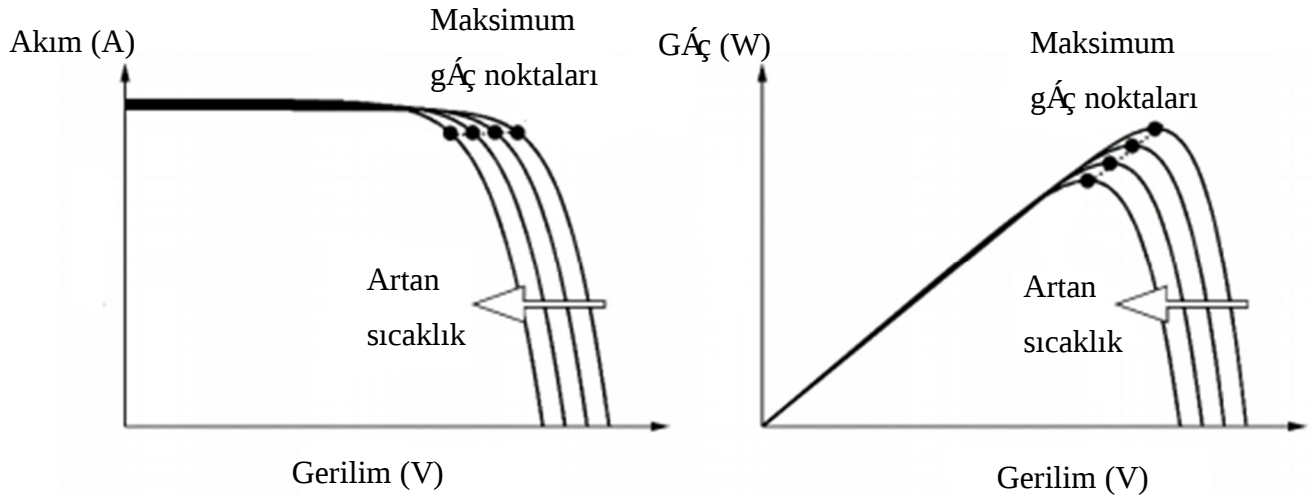
PV panellerinin akım-gerilim eğrilerinin belirlenebilmesi için standart test koşullarına ihtiyaç vardır. Yani elde edilmiş olan akım-gerilim eğrileri ile maksimum güç noktası standart test koşullarında geçerlilik kazanır. Gerçek hayatta ise PV panellerin standart test koşullarında çalışması her an mümkün olamaz.  $I$ - $V$  ve  $P$ - $V$  eğrileri hem ıllım hem de sıcaklık değişiminden

etkilenir. PV panellerin karakteristiklerini etkileyen en önemli faktörler ılık ıiddeti ve sıcaklıkı verimi deđilítirir (Çetinbaı, 2014).

### 2.5.1 Farklı PV hücre çalışma sıcaklıklarında, I-V ve P-V değişimi

Sıcaklıkın artması ile birlikte PV panellerin açık devre gerilimlerinde bir azalma meydana gelir. Sıcaklık artıı aynı zamanda kısa devre akımlarında ihmal edilebilir dÁzeyde olan artmalara neden olmaktadır. Kristal silikon paneller söz konusu olduğunda her 1° C için açık devre geriliminde %0,37 oranında bir azalım görÁlmekte, kısa devre akımında ise %0,05 oranında bir artıı gözlemlenmektedir. Her ne kadar kısa devre akımlarında meydana gelen artıı önemsiz olsa da açık devre gerilimindeki dÁÁ fazla olabilmektedir (Çalııkan, 2011; Lerefoklu, 2014).

Panelin tÁÁne göre sıcaklık artıı PV panelin verimini deđilítmekte, PV panelden elde edilen maksimum gÁÇ azalım eğilimi göstermektedir (Master, 2004; Çetinbaı, 2014). Éekil 2.19da sıcaklık değilimi ile birlikte akım-gerilim (I-V), gÁÇ-gerilim (P-V) eğrileri verilmiıtir (Uluğ ve Bingöl, 2017).



**Şekil 2.19** Sabit ılıkım altında deđilén sıcaklıkı baıı a) I ñ V karakteristiği b) P ñ V karakteristiği (Uluğ ve Bingöl, 2017)

### 2.5.2 Farklı güneş ışınımlarında I-V ve P-V değişimi

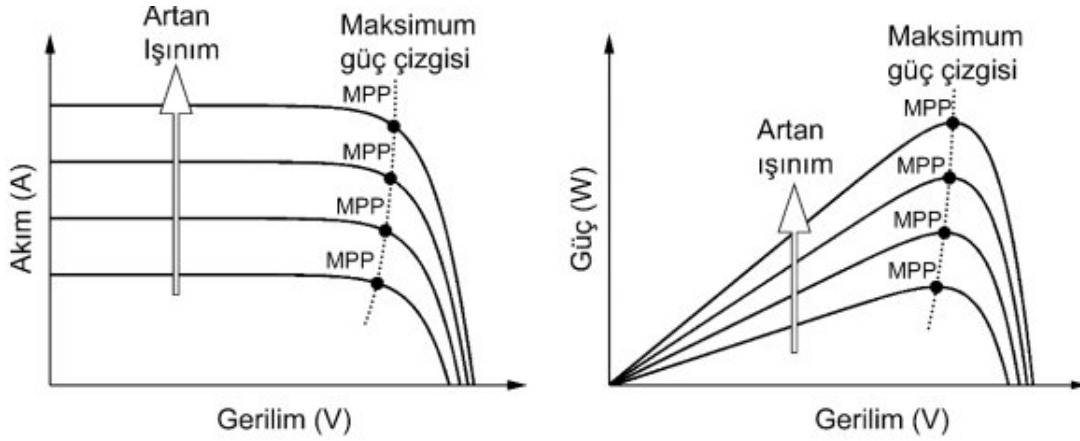
Güneş ılnımının belirli bir bölgede elektrik enerjisine çevrilirken büyük bir bölüm ılnım ise PV panel tarafından absorbe edilmektedir. Absorbe edilen ılnımlar ise ısı enerjisine dönüşür (Master, 2004; Balıoğlu, 2013). Söz konusu durum gerçekleştiğinde PV panelin çalışma sıcaklığı ortamın sıcaklığından daha yüksek olur. Denklem 2.13-2.14-2.15'de kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve maksimum güç sıcaklıkla nasıl etkilendiği görülmektedir.

$$I_{SC, T_{Hava}} = I_{SC, STC} \left( 1 + a_1 \frac{T_C - T_{REF}}{T_{REF}} \right) \quad (2.13)$$

$$V_{OC, T_{Hava}} = V_{SC, STC} \left( 1 + b_1 \frac{T_C - T_{REF}}{T_{REF}} \right) \quad (2.14)$$

$$P_{maks, T_{Hava}} = P_{Maks, STC} \left( 1 + c_1 \frac{T_C - T_{REF}}{T_{REF}} \right) \quad (2.15)$$

ılnımın ve elektron akımının artışı doğru orantılıdır. ılnım arttıkça sistemden geçen akım artmaktadır (Massawe, 2013). Şekil 2.16'de I-V, PV ekrisinin ılık ıiddeti ile değışimini verilmektedir (Lerefoklu, 2014; Çetinbalı, 2014).



**Şekil 2.16** Sabit sıcaklık altında değışen ılnıma bağılı (a) I - V karakteristiği (b) P - V karakteristiği (Uluğ ve Bingöl, 2017)

PV panellerin karakteristiklerini etkileyen en önemli unsurlardan biri ılnım, diğeri de sıcaklıktır. Aynı zamanda gölgelenme, rüzgar, kirlenme oranı, diyot ve seri-paralel direnç de yine etkisini gösteren diğers unsurlardır. Panelin yüzeyinde meydana gelen kirlenme ılnımın

dağılmasına, saçılmasına neden olur ve %3,5 oranında bir verim kaybı yaşanmasını tetikler (Lerefoklu, 2014). Yukarıda sayılan etkilere göre PV panelden saklanabilecek olan g<sub>A</sub> miktarlarında de<sub>A</sub>im yaratır ve maksimum g<sub>A</sub> noktasının de<sub>A</sub>lmesine yol açar (Çalıkan, 2011). PV panel verimini maksimuma çekilebilmesi için maksimum g<sub>A</sub> noktasına odaklanan algoritmalar ve sistemler geli<sub>A</sub>tirilmis<sub>A</sub>tir (Onat ve Ersöz, 2009). PV panellerin akım ve gerilim de<sub>A</sub>erlerinin kontrol<sub>A</sub>n<sub>A</sub>n saklanması ile birlikte maksimum g<sub>A</sub> elde edilmesi il<sub>A</sub>lemi maksimum g<sub>A</sub> noktası takibi (MPPT) olarak adlandırılır (Kaplan, 2012). Panellerin maksimum akımda ve gerilimde çalışması verimlili<sub>A</sub>ki arttırır. MPPT sayesinde minimum sayıda panel ile sistem kurulabilir (Kaplan, 2012).

### 3. POMPA SİSTEMLERİ

#### 3.1. Temel kavramlar

Pompalar, mekanik enerjiyi hidrolik enerjiye çeviren makinalardır. Kendini tahrik eden d<sub>A</sub>zenekten aldığı enerjiyi, içinden geçen sıvı akılkana aktaran makinalardır. Genel olarak pompalar, bir sıvı akılkanın bir noktadan ba<sub>A</sub>ka bir noktaya ta<sub>A</sub>lınmasında kullanılmaktadır. Bu ta<sub>A</sub>lma, alçak bir noktadan y<sub>A</sub>ksek noktaya ve alçak basınçtan y<sub>A</sub>ksek basınca olabilmektedir. Pompaların millerindeki mekanik enerji, dizel motor, elektrik motoru, t<sub>A</sub>rbin vb. makinalar tarafından tahrik edilebilir. Pompalama sistemi, emme borusu, pompa, kumanda ekipmanları ve basma borusundan olu<sub>A</sub>maktadır (T<sub>A</sub>rbosan, 2017)

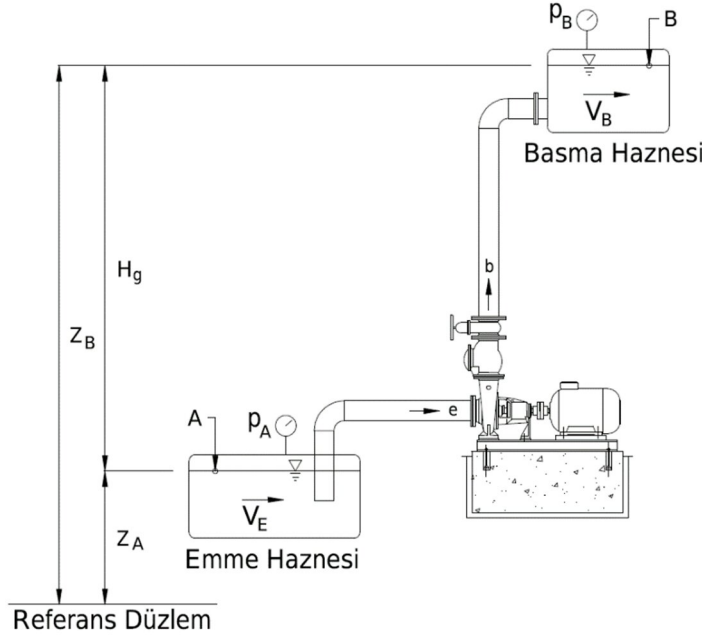
**Debi:** Pompanın içinden birim zamanda geçen akılkın miktarına debi denmektedir. Hacim k<sub>A</sub>tle ile ifade ediliyorsa k<sub>A</sub>tesel debi, hacim ile ifade ediliyorsa hacimsel debi olarak adlandırılır (T<sub>A</sub>rbosan, 2017)

**Pompanın manometrik yüksekli<sub>A</sub>ği:** Bir pompanın sıvı akılkana kazandırdığı toplam enerjiye o pompanın manometrik basma y<sub>A</sub>ksekli<sub>A</sub>ği veya manometrik y<sub>A</sub>kseklik adı verilmektedir.

Denklem (3.1) ile verilen birim ağırlık başına toplam enerji, akışkanın basınç enerjisi, potansiyel ve kinetik enerji toplamına eşittir (TÁrbosan, 2017)

$$H = \frac{P_b}{\rho g} + z_b + \frac{V_b^2}{2g} = \frac{P_e}{\rho g} + z_e + \frac{V_e^2}{2g} \quad (3.1)$$

Burada, b indisi pompanın basma ağızını, e pompanın emme ağızını ifade etmektedir. Ayrıca,  $P$  (Pa) akışkan basıncı,  $z$  (m) yükseklik,  $V$  (m/s) hız,  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) akışkanın yoğunluk,  $g$  (m/s<sup>2</sup>) yerçekimi ivmesi olarak nitelendirilmektedir. Şekil 3.1 ile, bir pompanın temsili olarak gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1 Bir pompanın temsili gösterilmesi (TÁrbosan, 2017)

Bir sıvı akışkanın basıncının ve potansiyel enerjisinin toplamı statik enerji olarak tanımlanabilir. Birim ağırlıkta sıvı akışkanın kazandığı toplam enerjiye statik basma yüksekliği adı verilmektedir. Bu statik yükseklik, Denklem (3.2) ile gösterilmiştir (TÁrbosan, 2017).

$$H_{st} = \frac{P_B}{\rho g} + z_B - \frac{P_A}{\rho g} - z_A \quad (3.2)$$

Burada A indisi sıvı akışkanın ilk enerji düzeyi ve B ise son enerji düzeyidir. Geometrik basma yüksekliği Denlem (3.3) ile verilmiştir (TÁrbosan, 2017).

$$H_g = z_B - z_A \quad (3.3)$$

Eğer B haznesinin serbest yüzeyi A serbest yüzeyi ile aynı düzlemde ise geometrik basma yüksekliği  $H_g$  (m) sıfır, daha düşük ise negatif değer almaktadır. Emme ve basma hazneleri atmosfere açık ise statik yükseklik birbirine eşit olur ( $P_b = P_e = P_{atm}$ ). Ek olarak, emme ve basma ağızlarının çaplarının eşit olması sonucunda manometrik basınç Denklemin (3.4) gibi olmaktadır (TÁrbosan, 2017).

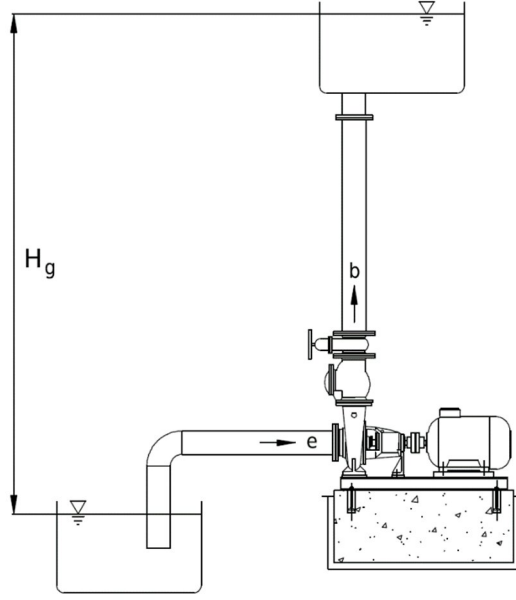
$$H_m = z_b - z_e + \frac{P_b - P_e}{\rho g} - \frac{V_b^2 - V_e^2}{2g} \quad (3.4)$$

Böylelikle,  $H_m$  değeri direkt olarak manometre ile ölçüm gerçekleştirilebilir. Eğer pompanın emme ve basma ağızlarının çapları ( $D_e$  ve  $D_b$ ) farklı ise, pompanın debisiyle birlikte  $V_b$  ve  $V_e$  ortalama hızları hesaplanır. Böylelikle  $H_m$  Denklem (3.5) gibi olmaktadır.

$$H_m = z_b - z_e + \frac{P_b - P_e}{\rho g} + h_{A-B} \quad (3.5)$$

Burada,  $h_{A-B}$  terimi A haznesinden B haznesine toplam yüksek kaybını ifade etmektedir. Her iki hazne de atmosfere açık ise, manometrik yükseklik, Denklem (3.6) ile verilmektedir (TÁrbosan, 2017).

$$H_m = z_b - z_e + h_{A-B} \quad (3.6)$$



Şekil 3.2 Bir pompanın temsili gösterilmesi (TÁrbosan, 2017).

Pompanın çıkıl basıncı akılkan sıvının yoğunluğuna bağlıdır. Pompanın giril etkin basıncı 0 Pa olarak kabul edilirse pompanın çıkıl basıncı, Denklem (3.7) gibi olmaktadır (TÁrbosan, 2017).

$$P_b = \rho g H \quad (3.7)$$

**Güç tanımları:** Pompa ile ilgili Teorik gÁÇ ( $N_o$ ), etkin gÁÇ ( $N_e$ ) ve motorun íebekeden çektiği gÁÇ ( $N_s$ ) olmak Ázere ÁÇ farklı tanımlama yapılabilir. Pompanın içerisindeki kayıplara bakılmaksızın akılkanın pompadan aldığı gÁÇe teorik gÁÇ (kW) adı verilir. Teorik gÁÇ Denklem (3.8) ile verilmiştir (TÁrbosan, 2017).

$$N_o = \frac{\rho Q H_m}{1000} \quad (3.8)$$

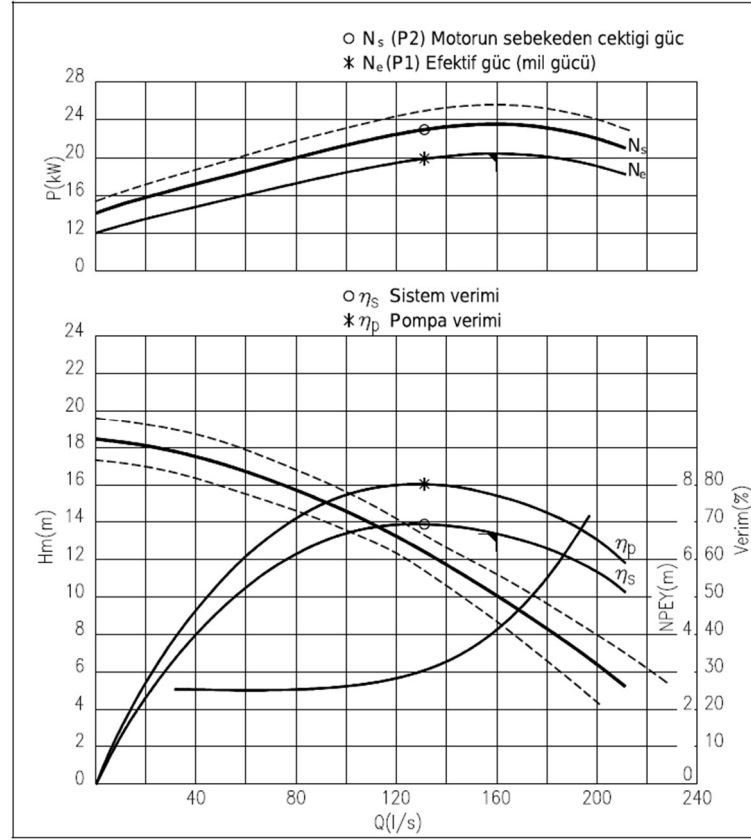
Burada,  $\rho$  akılkanın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$  yer çekimi ivmesi ( $\text{m/s}^2$ ),  $H_m$  manometrik yoğunluk (m) ve  $Q$  hacimsel debi ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) değılkenlerini temsil etmektedir. Pompanın iç kayıplarının karlılanması için, çarkın miline  $N_o$  (kW) değıerinden daha bÁyÁk bir gÁÇ vermek gereklidir. Etkin gÁÇ bir diğér adı ile mil gÁÇÁ( $N_e$ ), pompanın mili aracılığı ile motordan çekilen gÁÇÁnÁ temsil etmektedir. Etkin gÁÇÁn hesaplanması Denklem (3.9 ile gösterilmiştir (TÁrbosan, 2017).

$$N_e = \frac{g Q H_m}{1000 \eta_p} \quad (3.9)$$

Motorun íebekeden çektiđi gÁć ( $N_s$ ) Denklem (3.10) ile verilmiđ tir (TÁrbosan, 2017).

$$N_s = \frac{g Q H_m}{1000 \eta_m \eta_p} \quad (3.10)$$

$\eta_m$  motor verimini,  $\eta_p$  ise pompa verimini temsil etmektedir. Motor verimleri motor imalatćıları tarafından kataloglar yardımı ile bulunabilmektedir. ' s sistem verimi ise, motor verimi ile pompa veriminin ćarpımı olarak tanımlanabilir.



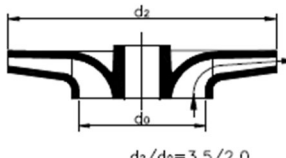
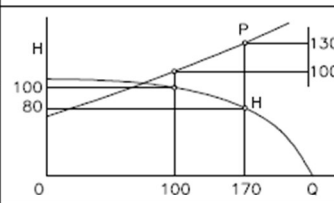
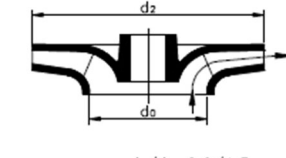
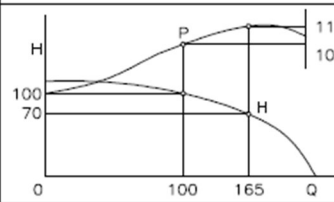
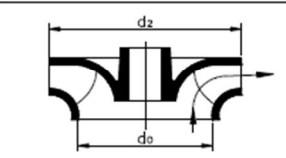
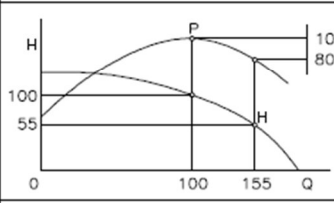
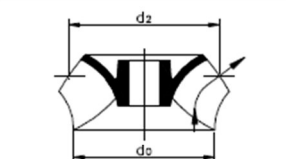
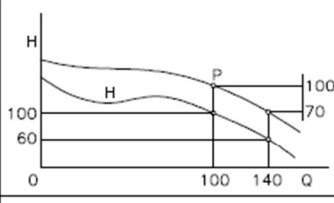
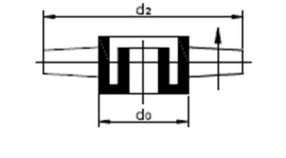
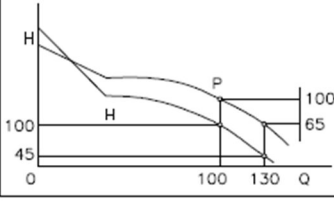
Şekil 3.3 Sistem ve pompa verimine bağlı pompa performans eğrisi (TÁrbosan, 2017).

Pompa motoru sećiminde, pompanın belirlenen deđerinden daha yÁksek debilerde de ćalılabileceđi göz önÁnde bulundurularak, pompanın motor gÁć mil gÁćÁnden biraz daha bÁyÁk sećilmelidir.  $N_m = N_s \cdot k$  ifadesi kullanılarak, motorun ne kadar bÁyÁk sećilebileceđi

hesaplanabilir. Bu ifadedeki  $k$  katsayısı, motorun  $g\acute{A}c\acute{A}ne$  göre 1,10 ile 1,3 arasında değilbilmektedir (T\acute{A}rbosan, 2017).

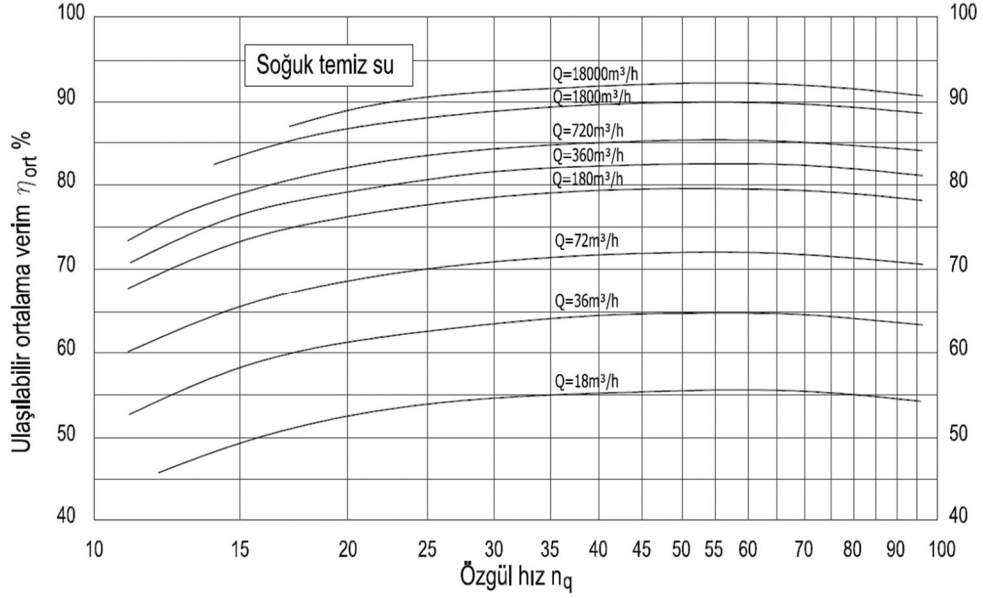
**Özg\acute{A}l hız ve verim:** Özg\acute{A}l hız, pompa \c{c}arkının tipinin, radyal, karılık akımlı veya eksel mi olması gerektiğini belirleyen bir ölç\acute{A}d\acute{A}r. Bu açıdan, bu değer pompa \acute{A}reticisini ilgilendirmektedir. Özg\acute{A}l hız (d/dak) bağıntısı Denklem (3.11) ile gösterilmİtir.

$$n_q = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (3.11)$$

|                         | ÇARK PROFILI                                                                                               | KARAKTERİSTİK                                                                       | $n_q$ (d/dak) | ÖRNEK POMPA                 |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------|
| SANTRİF\acute{U}J       | <br>$d_z/d_0 = 3,5/2,0$   |   | 10 – 30       | NORM 40/200<br>KOT 80       |
|                         | <br>$d_z/d_0 = 2,0/1,5$ |  | 30 – 50       | NORM 125/250<br>CEP 400/400 |
| HELİKOSANTRİF\acute{U}J | <br>$d_z/d_0 = 1,5/1,3$ |  | 50 – 80       | NORM 300/400<br>CEP 300/315 |
| KARISIK AKIMLI          | <br>$d_z/d_0 = 1,2/1,1$ |  | 80 – 150      | EKS-K 400<br>DAC-K 600      |
| EKSENEL                 |                         |  | 135 – 120     | EKS-E 1200<br>DAC-E 700     |

Şekil 3.4 Pompa tipleri ve karakteristik eğrileri (T\acute{A}rbosan, 2017).

Kapalı salyangozlu rotodinamik pompalardaki farklı hacimsel debiler, özgül hıza göre ulaşılabilir ortalama verim Şekil 3.5 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Değişken özgül hıza göre ulaşılabilir ortalama verim grafiği (TÁrbosan, 2017).

**Pompa mil çapı hesabı:** Pompa mili seçiminde, iletilecek moment, devir sayısı, sıvı akışkan tipi ve bu özelliklere bağlı olarak malzeme tipinin seçimi gibi hususlar önem teşkil etmektedir. Mil çapının seçimi mukavemet hesaplarına göre seçilmektedir. Pompanın mil gÁcÁ( $N_e$ ), mil momenti (Nm) ile açısal hızının  $N_e$ (rad/s) çarpımıdır (TÁrbosan, 2017).

$$N_e \quad M \quad (3.12)$$

Açısal hız bağıntısı Denklem (3.13) ile verilmiştir.

$$\frac{n}{30} \quad (3.13)$$

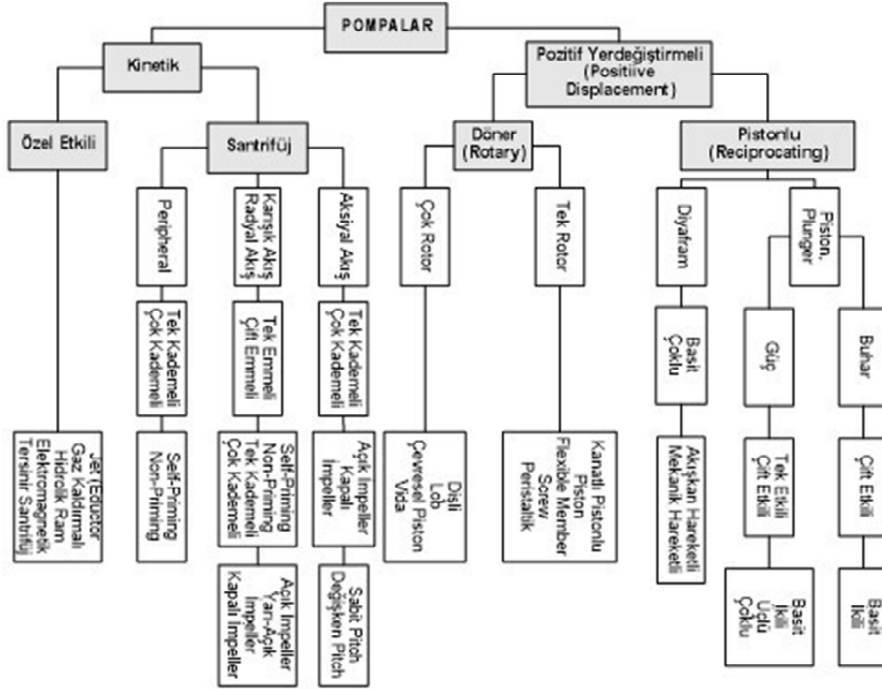
Bu denklemde, n pompanın d/d dönme sayısıdır. Pompanın mil çapının (m) hesaplanması Denklem (3.14) ile verilmiştir (TÁrbosan, 2017).

$$d \quad \sqrt[3]{\frac{16M}{\pi \cdot \sigma}} \quad (3.14)$$

Burada, emniyetli kayma gerilmesidir (Pa). Emniyetli kayma gerilmesi, mil malzemesine göre, 45-115 MPa değerleri arasında değer alabilmektedir (TÁrbosan, 2017).

### 3.2. Pompa tipleri

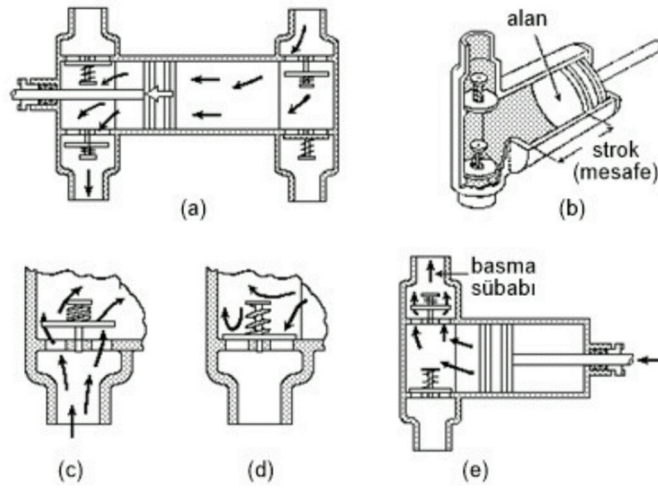
Pompalar çok çeşitlidir ve dekilik íekillerde sınıflandırılabilir. Éekil 3.5 ile gösterildiði gibi pompalar genel olarak, pozitif yer dekilírmeli ve kinetik pompalar olmak Ázere iki sınıfta toplanabilir. Pozitif yer dekilírmeli pompalarda pompa içindeki akılkan hacmi dekilímektedir. Bir baíka ifade ile çalıíma sadece mekanik ve statik kurallara baílı kalmaktadır. Hacimsel pompalar, döner (rotary) ve pistonlu olmak Ázere iki sınıfta incelenebilir. Kinetik pompalar özel etkili ve santrifÁjlÁ pompalar olmak Ázere ikiye ayrılır. Ancak bunun báýÁk bir kısmını santrifÁjlÁ pompalar oluíturmaktadır. Jet pompalar, gaz kaldırmalı pompalar, hidrolik ram pompalar, elektromanyetik pompalar ve tersinir santrifÁjlÁ pompalar gibi pompalar ise özel etkili pompalar baílící altında toplanmaktadır (Beíergil, 2020).



Şekil 3.5 Pompaların genel olarak sınıflandırılması (Beíergil, 2020).

### 3.2.1 Pozitif Yer Değiştirmeli Pompalar

**Pistonlu pompalar:** Bu tip pompalar, içinde akan akıllkana, piston yoluyla sıvı akıllkan içerisine enerji veren sistemlerdir. Piston bir buhar motoru veya bir elektrikli motorla tahrik edilebilmektedir. Pistonun her bir hareketinde pompadan sabit miktarda sıvı akıllkan boıaltılır ve yeniden doldurulur. Sisteme giren akıllkan miktarı, silindirin hacmine ve içindeki pistonun hareket sayısına bağılıdır. Gerçekte bu pompa sistemine gönderilen akıllkan miktarı, silindirin doldurulması sırasındaki kaçaklar ve pistondan olabilecek sızıntılar nedeniyle pompanın teorik değeriinden daha dÁÁk değerkedir. Bu nedenle "hacimsel (volumetrik) verim" tanımı ortaya çıkmıtır. Hacimsel verim, gerçekte iletilen akıllkan hacmi ile teorik iletilen akıllkan hacmine oranı olarak tanımlanabilir. Bu oran iyi tasarlanmış ve bakımı sÁresince yapılmı pompalar için %95 değeriinin Ázerindedir. Diğeri bir önemli tanım ise, yapılan íller ile ilgilidir. Bu noktada verim tanımlanabilir. Akıllkanın Ázerine yapılan íl ile pompanın Ázerine yapılan ílin oranı pompanın verim değeriini vermektedir. Pistonlu pompa sistemlerinde, piston silindirde álağı çekildiğinde (sıvı giriili) pompadan akıllkan çıkıllı durur. Bu nedenle sıvı iletimi kısım kısım gerçekteılmektedir. Kısım kısım akıll durumu, bir çift etkili pompa kullanarak veya silindir sayısını artırarak azaltılabilir (Beıergil, 2020).

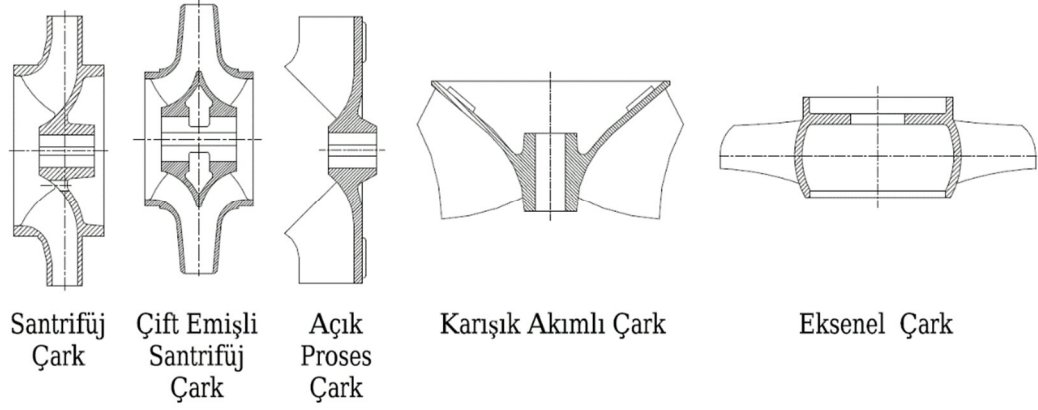


Şekil 3.6 Pistonlu pompadaki piston, silindir ve klepelerin çeıitli konumları (a,b,c,d ve e) gösterilmiştir

**Döner (Rotary) Pompalar:** Bu tÁr pompalarda sıvı akıllkan pompa sistemi içerisine dönme etkisi ile alınır ve dönme hareketiyle dılları boıaltılır. Döner pompalar, akıllkan giriil ve çıkıllının çek vanalarla (klepeler) kontrol edildiği pistonlu pompalardan farklıdır; bir miktar sıvıyı yakalar (kapan gibi) ve basma noktasına kadar götÁrÁr. Örneğiri diilli pompalarda, sıvı akıllkan,

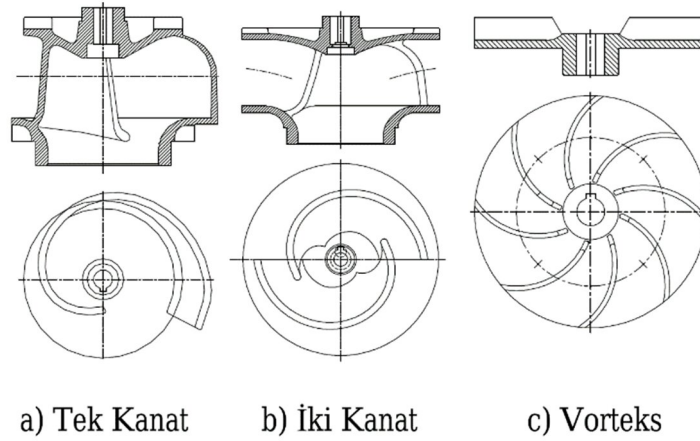


kullanılarak hesaplanan özgül hız değeri, pompanın en yüksek verimle çalışacağı çark tipini belirlemektedir. Rotadinamik (kinetik) çark tipleri Şekil 3.8 ile gösterilmiştir (TÁrbosan, 2017).



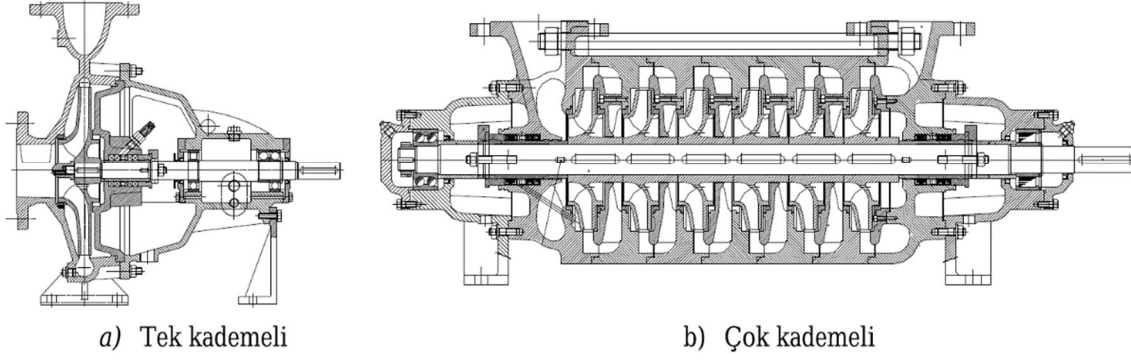
**Şekil 3.8** Rotadinamik (kinetik) bazı çark tipleri (TÁrbosan, 2017).

Rotadinamik pompalar ile katı parça içeren sıvı akışkanları basabilmek için tek kanatlı, iki kanatlı veya vorteks kanatlı olmak üzere 3 farklı çelit çark içeren pompa kullanılmaktadır. Bu tip pompaların tıkanma problemleri yoktur.



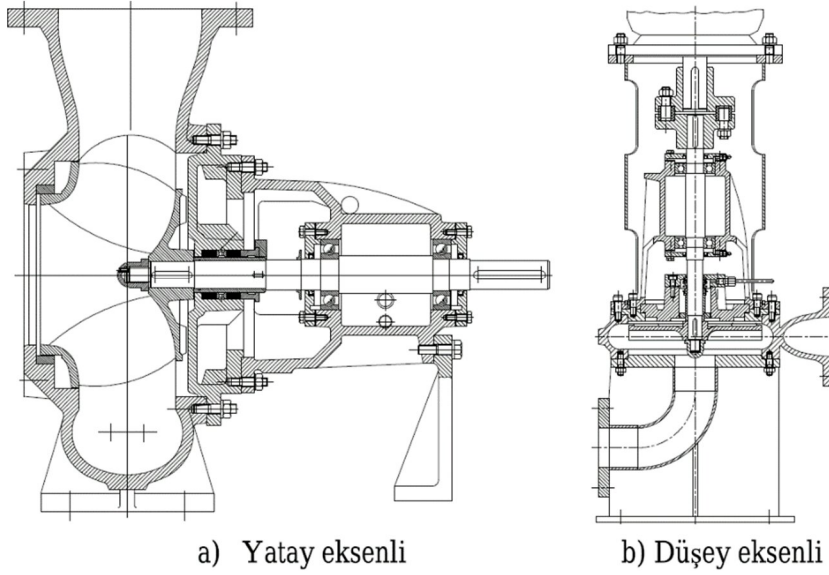
**Şekil 3.8** Pis su pompa çarkları (TÁrbosan, 2017).

Rotadinamik (kinetik) pompalar, çark sayılarına göre, pompa milinin pozisyonuna göre, girilme açısına göre, çalıştıkları konuma göre ve bastıkları sıvıların özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Çark sayılarına göre, Şekil 3.9 ile gösterildiği gibi tek kademeli ve çok kademeli santrifüj pompa olarak sınıflandırılabilir (TÁrbosan, 2017).



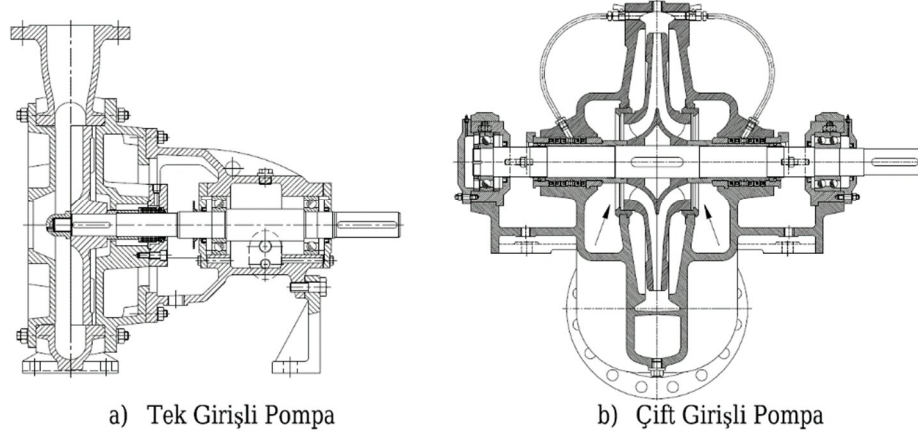
**Şekil 3.9** a) Tek kademeli b) çok kademeli santrifaj pompa (TÁrbosan, 2017).

Rotadinamik pompanın mil pozisyonuna göre, yatay eksenli, dÁey eksenli ve eÁ eksenli olarak 3 sınıfa ayrılabilir. Éekil 3.10 ile yatay eksenli ve dÁey eksenli rotadinamik pompalar gösterilmiÁtir.



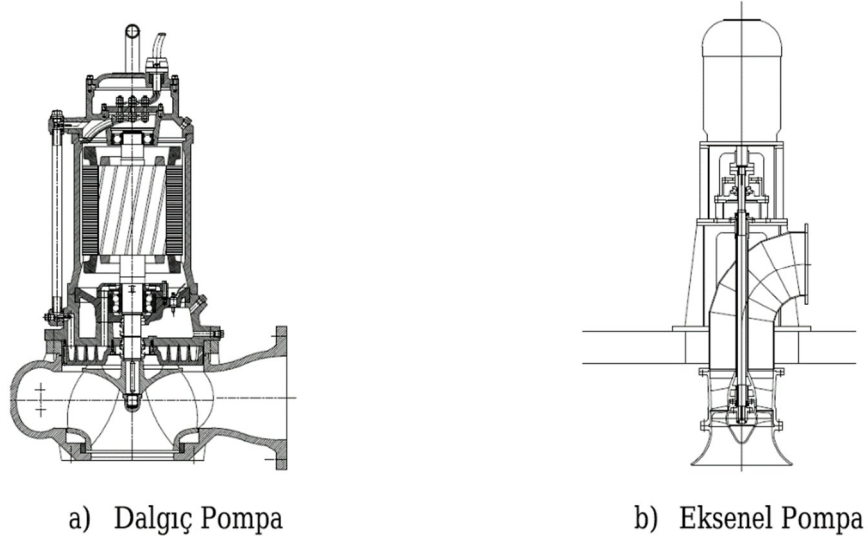
**Şekil 3.10** a) Yatay eksenli b) dÁey eksenli rotadinamik pompa (TÁrbosan, 2017).

Rotadinamik pompalar, giriÁ aÁız sayısına göre sınıflandırılırsa, tek giriÁli ve Áift giriÁli olarak 2öye ayrılabilir. Éekil 3.11 ile tek ve Áift giriÁli kinetik pompaların teknik çizimi gösterilmiÁtir.



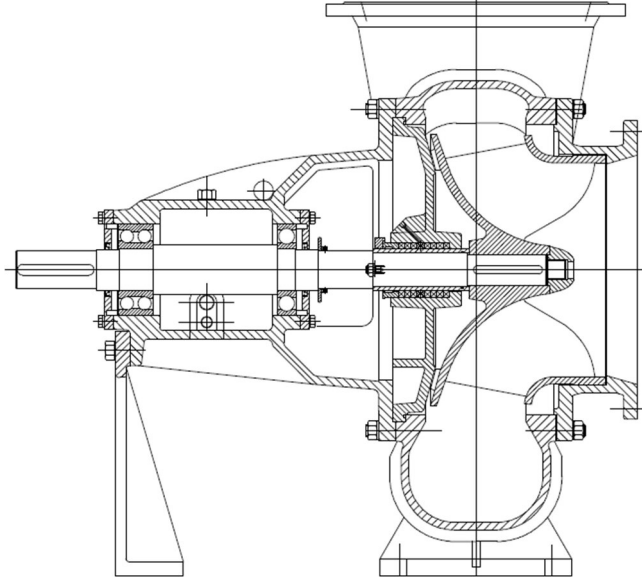
Şekil 3.11 a) Tek girişli pompa b) Çift girişli pompa (TÁrbosan, 2017).

Rotadinamik (kinetik) pompa çalıştıkları konuma göre, dalgıç pompa ve derin kuyu pompaları olarak ayrılabilirler. Éekil 3.12 ile dalgıç pompa ve eksenel pompa tipleri gösterilmiştir.



Şekil 3.12 a) Dalgıç pompa b) eksenel rotadinamik pompa (TÁrbosan, 2017).

Rotadinamik pompaların çalışma akıllkanlarına göre sınıflandırılmasına göre, kızgın yak, çamur ve sirkÁasyon pompası olarak 3 sınıfa ayrılabilir. Éekil 3.13 ile örnek bir çamur pompası teknik çizimi gösterilmiştir.



Şekil 3.13 a) Çamur pompası (TÁrbosan, 2017).

**Santrifüj Pompalar:** Santrifüj pompalar, yapılarının basitliği, tasarımının kolaylığı, bakım masraflarının dÁÁk olması ve kullanım koÁullarında esneklikler göstermesi gibi özelliklerinin neticesinde, geniÁ bir uygulama alanına sahip olmuÁtur. Mekanik yapılarının uygunluğundan dolayı geniÁ ölçÁde basma yÁksekliđi özelliğine sahiptir. Basitçe bir santrifüj pompa, bir gövde ve gövde içinde dönen bir fandan oluÁur (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Tek kademeli bir santrifüj pompanın kesit resmi (Grundfos pompa el kitabı,2004)

Santrifaj pompalarda, çarkın oluşturduğu merkezkaç kuvveti ile su emilir ve çark döndükçe gövde, sıvı akışkanı çıkıla yönlendirir. Böylelikle akışkan pompa sistemine girdiğinden daha yüksek bir hız ve basınca çıkmaktadır . Fan ne kadar hızlı dönerse sıvının hareketi o kadar hızlanır. Sıvı akışkan fanın emme ağızından, fan kanatçığının uç kısmına doğru giderken akışkanın kinetik enerjisi artırılır. Kinetik enerjiyi doğuran hız, kanatçığı terk ettikten sonra basıncın yükselmesi ile sonuçlanır. Fanlar (çarklar) santrifaj pompanın en önemli parçalarıdır ve sıralı kanatlardan oluşur. Kanatların yapıları, sayıları ve şekilleri, akışkana uygulanacak mekanik itici kuvvetlerin ve santrifaj etkisinin en uygun şekilde akışkanın kinetik enerjisine dönüştürmesini sağlayacak şekilde tasarımı yapılmalıdır (Beşergil, 2020).

**Derin kuyu dalgıç pompalar:** Derin kuyu pompası, toprak yüzeyinin altında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Derin kuyu dalgıç pompa, tamamen akışkan sıvıya daldırılabilir çalışmaya başlayacaktır. Pompa motorunun soğutmasını, bastığı akışkan ile yaptığı için su içinde çalışması elzemdir. Derin kuyu pompası, suyu zeminden emen, yüzey pompa sisteminin aksine, suyu yüzeye itmek için tasarlanmıştır. Su pompasının gövdesine akupile, hava geçirmez şekilde kapatılmış motordan oluşur. Motor tahrik çarkı tek bir shaft üzerine monte edilmiştir. Ünitenin geri kalanı motora bağlı bir kablo ve suyu yüzeye ve depolama tankına taşıyan bir borudan oluşur. Bu, şehir ve şehir su temini için genel enerjisi pompalama sisteminde kullanılan en yaygın motor pompa setidir. Bu konfigürasyonun avantajları, genellikle esnek boru tesisatı ile kolay kurulumdur ve suyun derinliklerine batırılır, böylece olası hasarlardan uzak durur. Sulama pompası seti ile birlikte hem AC hem de DC motorlar kullanılabilir ve AC sistemler için bir invertör gereklidir. Derin kuyu dalgıç pompalar iklimden daha fazla korunur ve yer altı suyunu doğal bir besleme sıvısı olarak kullanır. Özellikle genel enerjisi için tasarlanmış dalgıç pompaların çoğu, % 40-70'lik bir genel verime sahiptir (Sontake and Kalamkar, 2016). Şekil 3.15 ile Derin kuyu dalgıç pompa örneği gösterilmiştir.



**Şekil 3.15** Derin kuyu dalgıç pompa örneği(Grundfos product center)

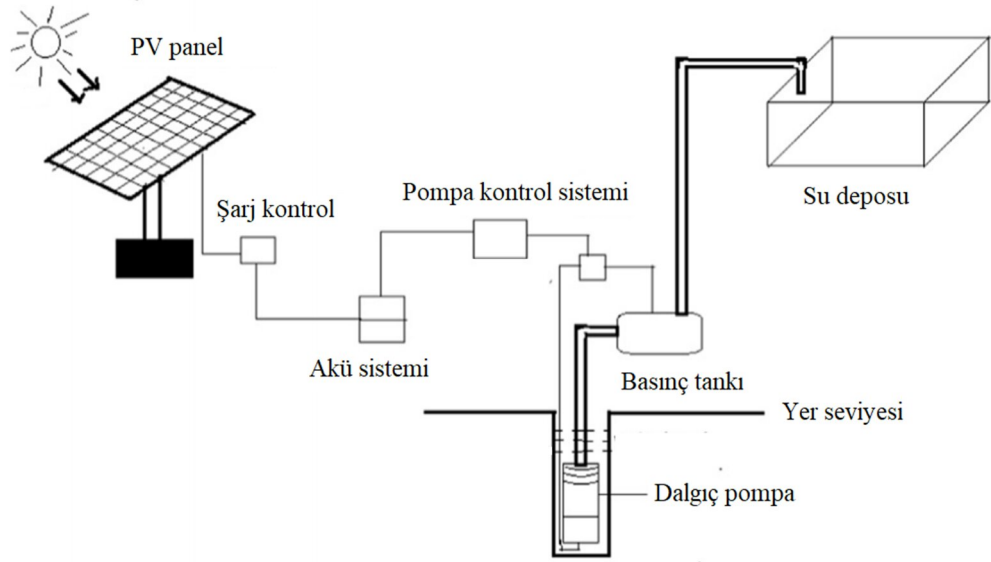
## 4. GÜNEŞ ENERJİLİ POMPA SİSTEMİ

### 4.1. Güneş enerjili pompa sistemleri genel özellikleri

Güneş enerjili su pompalarında, su pompalarına güneş saqlamak için güneş enerjisinden faydalanmak yeni bir teknolojidir. Güneş enerjili pompa teknolojisi, fosil yakıt ile çalışılan geleneksel su pompalarına çevre açısından uygun bir alternatif sunmaktadır. Evsel, tarımsal veya hayvancılık gibi ilgili alanlara su saqlayan güneş enerjili pompa sistemleri, kullanıcılar tarafından kabul görmüş güvenilir sistemlerdir. Dahası, güneş enerjili pompalar, ulusal elektrik şebekesinin bağılı olmadığı, güneş enerjisinin bol olduğu ve ulaşım olanaklarının yeterince iyi olmadığı pompalama sahalarında kullanılması gibi birçok avantajları vardır. Yukarıda belirtilen avantajlara ek olarak, güneş enerjili pompalar, kar ve buz gibi zorlu hava koşullarına karşı dayanıklıdır. Su pompalama sistemlerini çalıştırmak için güneş enerjisinin kullanılması en uygun seçimdir. Çankaya su gereksinimi ile güneş enerjisinin mevcudiyeti arasında doğal bir ilişki vardır (Sontake and Kalamkar, 2016). PV güneş panelleri tarafından elde edilen elektrik enerjisi, pompa tarafından mekanik enerjiye dönüştürülen bir motora (DC veya AC) bağlanır (Chandel et al, 2015). Güneş enerjili pompalar, mekanik - elektrik ve elektronik bileşenler olarak gruplandırılabilen 2 farklı bileşenlerden oluşur. Bu bileşenlerin farklı yapıları, çalışma ve performans özellikleri vardır. Bu yüzden bu sistemi oluşturmak için bu çeşitli bileşenlerin entegrasyonu ve senkronizasyonu gereklidir. Bu açıdan tüm sistemin entegre çalışması iletim zorlukları yaratır ve genel olarak zayıf performansa yol açmaktadır (Sontake and Kalamkar, 2016).

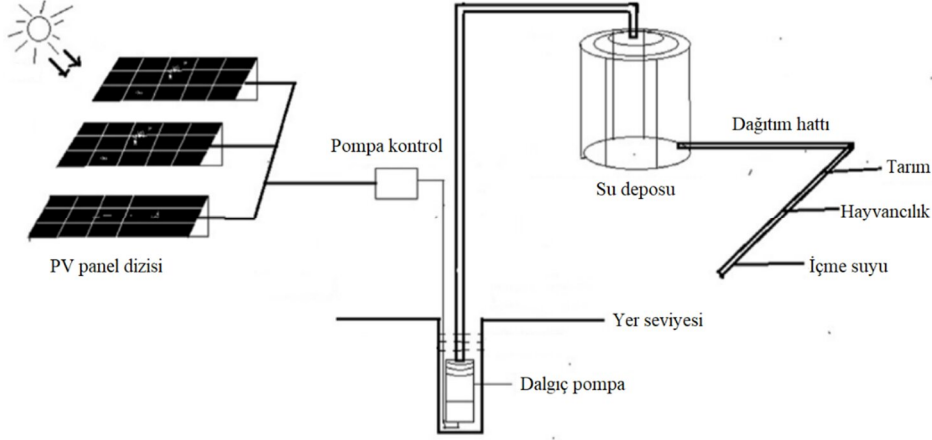
### 4.2. Güneş enerjili pompa uygulamaları

Güneş enerjili pompalar, enerji depolama tipine, elektrik enerjisi girişi tipine, kullandığı pompa tiplerine ve güneşli izleyip izlemediğine göre sınıflandırılabilir. Enerji depolama tipine göre sınıflandırmada, üretilen elektriğin akülerde depolanması ve pompayı çalıştırmak için doğrudan kullanılması olarak ikiye ayrılabilir. Akülerin güneş enerjili pompa uygulamasında kullanılması, güneş ışıının az olduğu kış aylarında, bulutlu günlerde ve gece vakitlerinde sisteme su pompalanmasını saqlar. Şekil 4.1 ile dalgıç tip, akü bağlantıları kullanan güneş enerjili pompa sistemi gösterilmiştir (Sontake and Kalamkar, 2016).



Şekil 4.1 Dalgıç tip, akübağlantılı güneş enerjili pompa sistemi (Sontake and Kalamkar, 2016).

Direkt kullanımlı güneş enerjili pompa sisteminde, PV modülleri tarafından üretilen elektrik enerjisi doğrudan pompaya verilir. Pompa, suyu pompalamak için bu elektrik enerjisini kullanır. Elektrik enerjisi bu sistemde bulunmadığı için, pompa sistemi sadece gündüzleri su pompalar. Bu sistemin avantajı, akübağlantılı güneş enerjili pompaya göre daha az, basit ve düşük maliyetli olmasıdır. Ancak gece boyunca su pompalamak için kullanılamazlar. PV panele düşen güneş ışıınımı miktarı gün boyunca değiştiği için, gün içinde pompalanan su miktarı da değişir. Bununla birlikte, sabahın erken saatlerinde (7:30-9:30) ve öğleden sonraki saatlerde (14:00-17:30), pompanın verimi azalır ve bu da çok düşük su hacminin sisteme iletilmesi ile sonuçlanır. Bulutlu günlerde ve gece saatlerinde daha az su pompalanır veya hiç pompalanmaz. Bu durum, gerekli güneş enerjili pompa boyutundan daha büyük tasarlanarak telafi edilebilir. Bununla birlikte, su depolama tankının boyutu da optimize edilerek de bu problem çözülebilir (Sontake and Kalamkar, 2016). Şekil 4.2’de doğrudan bağlı güneş enerjili PV su pompalama sisteminin şeması gösterilmektedir (Sontake and Kalamkar, 2016).



**Şekil 4.2** Doğrudan bağlı güneş enerjili PV su pompalama sisteminin şeması (Sontake and Kalamkar, 2016).

PV paneli tarafından üretilen akım DC'dir. Bu, bir invertör ile AC'ye dönüştürülebilir. Buna göre, güneş enerjili pompa DC veya AC tahrikli olarak sınıflandırılır. DC motor iki tiptedir - fırçalı geleneksel DC motor ve fırçasız DC motor. PV paneli DC elektrik ürettiğinden, AC pompalama sisteminde DC'yi AC'ye dönüştürmek için uygun bir invertör gereklidir. Bununla birlikte, invertör kullanımı, güneş enerjili pompa genel verimliliğini azaltır. AC su pompalama sisteminin avantajı, gece saatlerinde veya bulutlu günlerde PV üretilmemesi durumunda şebeke ile de çalışabilmesidir (Sontake and Kalamkar, 2016).

Güneş enerjili pompa sistemi kullanılan pompa tipine göre yüzey ve derin kuyu pompalama sistemli güneş enerjili pompalar olarak 2 sınıfa ayrılabilir. Yüzeye monte DC / AC motor pompa sistemleri, su yüzeyinin yakınında bulunur ve esas olarak suyu bir boru hatından geçirmek için kullanılır. Ancak, derin kuyu su pompası, toprak yüzeyinin altında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Derin kuyu dalgıç pompa, tamamen sıvıya daldırılmadıkça çalışmayacaktır. Derin kuyu su pompaları, suyu zeminden emen yüzeye monte pompa sisteminin aksine, suyu yüzeye itmek için tasarlanmıştır (Sontake and Kalamkar 2016).

Tezin oluşturulma döneminde, güneş enerjili pompa sistemini yakından görmek amacıyla, İzmir ilinin Ödemiş ilçesinde tarımsal bir alanda kurulu olan bir güneş enerjili pompa sistemi incelenmiştir. Bu sistem, 3 kW dalgıç pompa, 20 adet 230 W panelden oluşan bir PV dizisinden oluşmaktadır. Şekil 4.3 ile PV panel sistemi gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Ziyaret edilen gÁneġ enerjili pompanın, PV dizi sistemi

Ėlekil 4.4 ile dalgıç pompadan elde edilen yeraltı suyunun, su toplama bölgesine gönderen tesisat sistemi görŰlmektedir.



Şekil 4.4 Ziyaret edilen gÁneġ enerjili pompanın tesisat sistemi

Ėekil 4.5 ile dalgıç pompa ile yeraltından edinilen suyun, tesisattan geçtikten sonra, su toplama/depolama bölgesi gösterilmektedir.



Ėekil 4.5 Ziyaret edilen gnel enerjili pompanın su toplama/depolama bölgesi

Ėekil 4.6 ile, ziyaret edilen gnel enerjili pompa sisteminin su deposundan eim sayesinde, akan suyun, yağmurlama sistemi ile sulama yapılan bölgesi gösterilmektedir.



Ėekil 4.6 Ziyaret edilen gnel enerjili pompanın yağmurlama ile sulama sistemi

## 5. GEREÇ VE YÖNTEM

### 5.1. PV güç sistemli sulama yapılacak arazi yapısı ve özellikleri

Tarımsal bir arazi içinde sulama yapılabilmesi için gerekli su ihtiyacının belirlenmesi, ekili alanın ne büyüklükte olacağına karar verilmesi, ekinin, gerekli ne kadar suya ihtiyacının olduğunun hesaplanması, atmosferik hava koşullarına ve toprak özelliklerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu açıdan çalışma kapsamında, fotovoltaik (PV) güç sistemli sulama arazisi olarak Manisa ilinin Salihli ilçesi belirlenmiştir. Salihli, İç Ege Bölgesinde 38,483 kuzey enleminde ve 28,123 doğu boylamında konumlanmıştır. Denizden yüksekliği 111 m'dir (Meteoroloji, 2020).

Yıllık ortalama sıcaklık Manisa için 16,8 °C'dir. En yüksek ortalama sıcaklık Ağustos ayında 44,5 °C ve en düşük ortalama sıcaklık ise Ocak ayında 2,9 °C olarak saptanmıştır. Bölgede 40 yıllık verilere göre ortalama gerekli güneşlenme süresi 6,3 saat/gün olarak hesaplanmıştır (Meteoroloji, 2020).

Çalışma kapsamında, Manisa Salihli'de mısır bitkisinin 2 hektarlık alanda ekildiği varsayılacak ve sulama yöntemleri arasında en verimli olan, damlama sulama yöntemi seçilecektir. Bu bölge için gerekli enerjili sulama sisteminin en uygun tasarımı teorik olarak gerçekleştirilecektir.

### 5.2. Bitkinin su ihtiyacı

Gerekli enerjili pompa sistemindeki bileşen seçiminin yapılabilmesi için ilk olarak bitkinin tüketimi belirlenmesi ve bu bitkinin ne kadar suya ihtiyacı olduğunun hesaplanması gerekmektedir. Bitkinin ne kadar su ihtiyacının olduğunun hesaplanması sulama yönteminin de belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Yağmurlama sisteminin geçerli olduğu sistemler kapsamında net sulama suyu ihtiyacı ( $d_n$ ) belirlenmesinde bitkinin su tüketim oranından ( $Etc$ ) etkili yağış miktarı ( $P_e$ ) çıkarılır.

$$d_n = Etc - P_e \quad (5.1)$$

Yağmurla sulama yöntemi için Denklem (5.2)öde belirtilen eğitlik kullanılmaktadır.

$$T_{ETc} = \frac{Ps}{85} \quad (5.2)$$

Denklemdaki,  $T$  (mm) D zelt lm   bitki su tüketim miktarını ve  $Ps$  (%) bitki tarafından gölgelenen alanı temsil etmektedir.  $Ps$  değeri dikim yerine ve şekline göre, Tablo 5.1 deki değerleri alabilmektedir (Tarımsal Araştırmalar, 2016).

**Tablo 5.1** Dikim İekline göre bitki tarafından gölgelenen alan (Tarımsal Araştırmalar, 2016)

| <b>Dikim Şekli</b>                                                                | <b><math>P_s</math> (%)</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Tarla bitkileri ve sebzelerde                                                     | 80                          |
| Bağ ve sık dikim yapılan meyve ağaçlarında (sıra aralığı 4 m'den sık)             | 75                          |
| Genil dikim aralıklarına sahip meyve ağaçlarında (sıra aralığı 4 m ve daha genil) | 70                          |

Tablo 5.1’de görüldüğü gibi, dikim aralıklarının gölgelemeye etki etmektedir ve bitkinin su ihtiyacını etkilemektedir. Çalışma kapsamında mısır ekinlerinin tarlada ekildiği varsayılarak kabul edilerek  $P_s$  değeri %80 olarak hesaplamalara eklenmiştir. Denklem 5.3 ile damlama sulama için gereken net sulama suyu ihtiyacı verilmiştir.

$$dn = T - P_e \quad (5.3)$$

Denklem 5.3 içerisindeki  $P_e$  etkili yağış (mm) miktarını temsil etmektedir. Dâiren yağışın %80'ı etkili yağış olduğu kabul edilmiştir ve hesaplamalara dahil edilmiştir. Toplam sulama suyu ihtiyacı Denklem 5.4 ile hesaplanmaktadır.

$$dt \frac{dn}{E_a E_c} \quad (5.4)$$

Denklem 4.4 içerisinde verilen,  $E_a$  su uygulama verimini ve  $E_c$  su iletim verimini temsil etmektedir. Su iletim verimi sulama yöntemlerine göre y $\acute{a}$ zdesel olarak Tablo 5.2 ile verilmi $\acute{s}$ tir. Çalışma kapsamında, su uygulamasının y $\acute{a}$ zeyaltı damla sulama olduğu kabul edilerek  $E_a$  değeri %90 olarak alınmi $\acute{s}$ tir. Ayrıca su iletim verimi ise %98 olarak hesaplamalara dahil edilmi $\acute{s}$ tir (Tarımsal Araştırmalar, 2016).

**Tablo 5.2** Sulama yöntemlerine göre su uygulama verimleri (Tarımsal Araştırmalar, 2016).

| Yöntem                                          | $E_a$ (%) |
|-------------------------------------------------|-----------|
| Taınabilir Yağmurlama sulama                    | 70        |
| Sabit Yağmurlama sulama                         | 75        |
| Dönme eksenli ve dokrusal yağmurlama ile sulama | 82,5      |
| Akaçaltı Mikro yağmurlama sulama                | 87,5      |
| Yüzey damla sulama                              | 87,5      |
| Yüzeyaltı damla sulama                          | 90        |

Hesaplamalar sonucunda Temmuz ayındaki sulama suyu ihtiyacını miktarının hesaplamalara dahil edilmesine karar verilmiştir. Çünkü mısır bitkisi en fazla Temmuz ayında suya ihtiyaç duymaktadır (Tarımsal Araştırmalar, 2016). Göl içerisinde genel ılınımının yüksek olduğu saatlerde pompanın çalıştığı varsayılarak, pompanın çalışma süresi 6 saat olarak belirlenmiştir. 2 hektarlık alan için toplam sulama ihtiyacı  $151,4 \text{ m}^3/\text{göl}$  ve sistemin pompa debisi  $25,2 \text{ m}^3/\text{h}$  olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 5.3.** Temmuz ve Ağustos ayı için sulama suyu ihtiyacı hesaplamaları (Tarımsal Araştırmalar, 2016)

| Bitki: Mısır                                    | TEMMUZ<br>(Dönemler) |      |      | AĞUSTOS<br>(Dönemler) |      |      |
|-------------------------------------------------|----------------------|------|------|-----------------------|------|------|
|                                                 | I.                   | II.  | III. | I.                    | II.  | III. |
| <b>Sulama tipi:</b> Damlama                     |                      |      |      |                       |      |      |
| Bitki su tüketimi (Etc) (mm)                    | 71,1                 | 71   | 76,8 | 66,6                  | 63,6 | 62,2 |
| Damlama için bitki su tüketimi(T) (mm/göl)      | 66,9                 | 66,8 | 72,3 | 62,7                  | 59,9 | 58,5 |
| Yağış (P) (mm/göl)                              | 2,4                  | 3,2  | 1,5  | 2,8                   | 1,4  | 1,6  |
| Etkili yağış (Pe) (mm/göl)                      | 1,9                  | 2,6  | 1,2  | 2,3                   | 1,1  | 1,3  |
| Net sulama suyu ihtiyacı,dn (mm)                | 65                   | 64,2 | 71,1 | 60,4                  | 58,8 | 57,2 |
| Toplam sulama suyu ihtiyacı,d <sub>t</sub> (mm) | 73,7                 | 72,8 | 80,6 | 68,5                  | 66,6 | 64,9 |
| Aylık Ağ dönemin su ihtiyacı (mm)               | 227,1                |      |      | 200                   |      |      |

### 5.3. Pompanın modellenmesi

Su ihtiyacının belirlenmesinin hemen ardından bu su ihtiyacını karşılayabilecek uygun pompanın seçiminin yapılması uygun olacaktır. Doğru bir pompa seçimi yapabilmek için borulama tesisatının durumu ve toplam yağ kayıplarının hesaplanması gerekmektedir. Denklem 5.5'de pompa motorunun tükettiği güç hesaplanmıştır.



$$h_B = f \frac{L}{2gd} \quad (5.7)$$

Denklemdaki  $L$  (m) boru uzunluğunu,  $d$  borunun iç çapını (m),  $f$  Reynolds sayısına bağlı boru hattının sürtünme faktörü ve  $v$  (m/s) akışkanın hızını temsil etmektedir.

$$\frac{4V}{d^2} \quad (5.8)$$

Denklemler 5.7 ile 5.8 arasındaki ilişkiyi kullanarak  $f$  değeri yalnız bırakılarak bu değer hesaplanabilir.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2,0 \log \left( \frac{D}{3,7} \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (5.9)$$

Burada,  $D$  (mm) boru çapıdır ve borunun malzemesine göre farklı değerler almaktadır.  $K_k$ , kayıp katsayısıdır ve bu değer boru hattında kullanılan tüm boru elemanlarına göre değişiklik göstermektedir (Muhsen et al., 2018; Çengel and Cimbala, 2012).

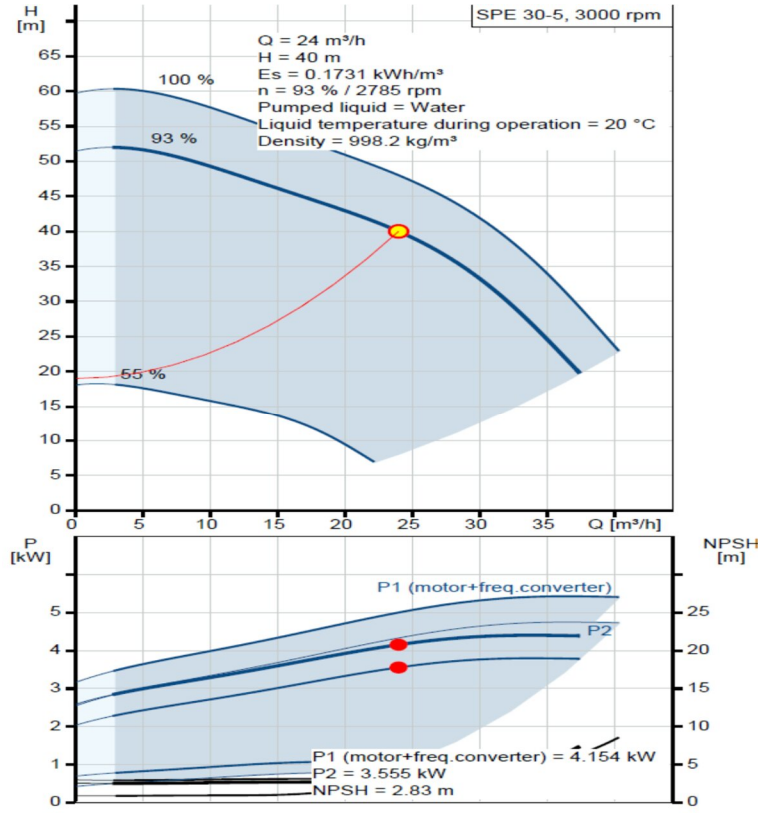
$$h_b = K_k \frac{v^2}{2g} \quad (5.10)$$

Çalışma kapsamında, pompa seçimi için hazır bir program kullanılmıştır (Grundfos, 2020). Pompanın statik yüksekliği 19 m, dinamik yüksekliği ise 5 m olarak kabul edilmiştir. Boru uzunluğu 50 m ve boru çapı ise 63 mm olarak programa eklenmiştir. Böylelikle boruda meydana gelen sürtünme kayıpları 5,73 m (PE DN 63- 50m boru), bağlantı elemanları nedeniyle yüksek kaybı ise 0,372 m (1 vana, 1 çekvalf, 4 adet 90° dirsek bağlantı ve 2 adet 45° dirsek bağlantısının olduğu varsayılmıştır) olarak bulunmuştur. Sonuç olarak borudaki toplam yüksek kaybı 30,1 m olarak hesaplanmıştır. Akma basıncı veya final basıncı dediğimiz son noktadaki basıncı, 10 mss olarak kabul edersek, toplam sürtünme kaybı 40,1 mss olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 5.4** Seçilen pompanın özellikleri (Model: Grundfos SPE 30-5) (Grundfos, 2020)

| <i>Seçilen pompa özellikleri</i>     | <i>Değeri</i>        |
|--------------------------------------|----------------------|
| Şebekeden çekilen güç (P1)           | 4154 W               |
| Pompanın debisi                      | 24 m <sup>3</sup> /h |
| Pompanın basma yüksekliği            | 40 m                 |
| Ağırlık                              | 49 kg                |
| Pompa malzemesi (Pompa, çark, motor) | Paslanmaz çelik      |

Ėekil 5.2 ile verilen pompa grafiğindeki, *P1* Ėebekeden çekilen gÁcÁ, *P2* mil gÁcÁnÁ, *NPSH* (net positive suction head request) pompanın emilinde ki istenen net pozitif yÁkseklik değerini göstermektedir.

**Şekil 5.2** Pompanın karakteristik ekrileri (Grundfos,2020)

#### 5.4. Eğik Yüzeye gelen Işınım Hesabı

GÁnel Ėenerjili pompanın ihtiyacı olan toplam panel sayısının bulunabilmesi için eğik yÁzeeye gelen toplam ılınımın bulunabilmesi gerekmektedir. Denklem 5.11 ile izotropik gök

yaklaşımı kullanılarak eğik yüzeye gelen g<sub>A</sub> ılnım miktarı (Mj/m<sup>2</sup>) hesaplanabilir (Duffie ve Beckman, 2012).

$$I_T = I_b R_b + I_d \frac{1 + \cos \theta}{2} + I_g \frac{1 + \cos \theta_s}{2} \quad (5.11)$$

$\theta$  : yüzey eğimi (°)

$\theta_s$  : yerin aklık derecesi (-)

$R_b$  : Eğik yüzey üzerindeki direkt ılnım ile yatay yüzey üzerindeki direkt ılnım oranı (-)

Projenin kurulacağı bölgedeki aylık ortalama g<sub>A</sub> ılnım verileri ( $\bar{H}$ ) hesaplanmalıdır.  $\bar{H}$  değerinin kullanılması ile  $I_b$  (saatlik direkt ılnım) ve  $I_d$  (yayılı ılnım) elde edilir. Denklem 5.12 ve Denklem 5.13 ile g<sub>A</sub> atmosfer dışı aylık ılnım değeri ve bu değere bağlı olan aylık ortalama açıklık endeksi hesaplanabilir.

$$H_o = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{1000} \left[ 1 - 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right] \times \cos \theta \cos \theta_s \sin \phi_s + \frac{180}{\pi} \sin \phi \sin \phi_s \quad (5.12)$$

Burada,  $G_{sc}$  g<sub>A</sub> sabitini (1367 W/m<sup>2</sup>),  $n$  Ayın g<sub>A</sub> sayısını,  $\phi$  (°) bölgenin enlemi,  $\phi_s$  (°) deklinasyon açısı,  $\theta_s$  (°) ise g<sub>A</sub> saat açısını temsil etmektedir.

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} \quad (5.13)$$

Denklem 5.14 ve Denklem 5.15 kullanılarak, g<sub>A</sub> ortalama aylık yansıyan ılnım, aylık ortalama açıklık endeksinin bir bağılantısı olarak hesaplamalara dahil edilebilir. Hesaplamalarda, ilgili ayın ortalama g<sub>A</sub> değeri ve o ayın değeri birbirine çok yakın değerlerdir. Bu yüzden,  $\bar{H}_o$  değeri yerine  $H_o$  denklemi (Denklem 5.12) kullanılmıştır. Aylık ortalama açıklık endeksinin bir fonksiyonu olan g<sub>A</sub> ortalama aylık yansıyan ılnım Denklem 5.14 ve Denklem 5.15 kullanılarak hesaplanabilir (Duffie ve Beckman, 2012).

Eğer,  $\theta_s = 81,4^\circ$  ve  $0,3 \leq \bar{K}_T \leq 0,8$  ise;

$$\bar{H}_d = 1,391 - 3,560\bar{K}_T + 4,189\bar{K}_T^2 - 2,137\bar{K}_T^3 - \bar{H} \quad (5.14)$$

Eğer  $\theta_s > 81,4^\circ$  ve  $0,3 < \bar{K}_T < 0,8$  ise;

$$\bar{H}_d = 1,311 - 3,022\bar{K}_T + 3,427\bar{K}_T^2 - 1,821\bar{K}_T^3 - \bar{H} \quad (5.15)$$

Saatlik toplam ılnım miktarı aylık ortalama g<sub>A</sub>nlık ılnım değerine bağlı olarak Denklem 5.16 ile elde edilebilir (Duffie ve Beckman, 2012).

$$I = r_t \bar{H} \quad (5.16)$$

$I$  ile  $\bar{H}$  oranının elde edilebilmesi için Denklem 5.17'den yararlanılmıştır (Duffie ve Beckman, 2012).

$$r_t = \frac{a - b \cos \left( \frac{\cos \theta_s - \cos \theta_z}{\sin \theta_s \cos \left( \frac{\theta_s}{180} \right)} \right)}{24} \quad (5.17)$$

Denklem 5.18 ve 5.19 kapsamında  $a$  ve  $b$  katsayıları elde edilmiştir.

$$a = 0,409 - 0,5016 \sin \theta_s - 60 \quad (5.18)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin \theta_s - 60 \quad (5.19)$$

Denklem 5.20'da saatlik toplam yayılı ılnım ve aylık ortalama g<sub>A</sub>nlık yayılı ılnım kullanılmıştır.  $r_d$  değeri, d<sub>A</sub>nyanın kendi eksenini etrafında saatte  $15^\circ$  dönmesinden kaynaklı olarak g<sub>A</sub>nelin yerel meridyenin doğusunda veya batısında açılmalık yer de $\tilde{g}$ iltirmesi olarak açıklanabilir. Bu de $\tilde{g}$ er ö $\tilde{g}$ leden sonra pozitif ve ö $\tilde{g}$ leden önce negatif de $\tilde{g}$ er almaktadır.  $r_d$  değeri ise Denklem 5.21 ile hesaplanabilmektedir (Duffie ve Beckman, 2012).

$$I_d = r_d \bar{H}_d \quad (5.20)$$

$$r_d = \frac{\cos \theta_s \cos \phi_s}{24 \sin \theta_s \cos \phi_s} \quad (5.21)$$

Saatlik toplam direkt ı́ınım ise Denklem 5.22 ile gösterilmiştir (Duffie ve Beckman, 2012).

$$I_b = I + I_d \quad (5.22)$$

Elde edilmiş olan t<sub>A</sub>n değilkenler Denklem 5.11'de yerine yerleştirilerek eğik d<sub>A</sub>zleme gelen saatlik ı́ınım değeri hesaplanabilir. G<sub>A</sub>n içerisinde eğik d<sub>A</sub>zleme gelen saatlik ı́ınım miktarları (*I<sub>T</sub>*) toplandıķında (*H<sub>T</sub>*) değeri hesaplanmaktadır (Duffie ve Beckman, 2012).

### 5.5. PV panel modeli

Bu blnde fotovoltaiķ panelin g<sub>A</sub>c<sub>A</sub>n<sub>A</sub>n ve veriminin hesabı yapılmaktadır. PV panelin ıkıl g<sub>A</sub>c<sub>A</sub>n<sub>A</sub>n hesabı Denklem 5.23 ile hesaplanmaktadır.

$$P_{pv} = \eta_{pv} A_{pv} I_T \quad (5.23)$$

Burada,  $\eta_{pv}$  PV panelin verimini ve  $A_{pv}$  (m<sup>2</sup>), panelin y<sub>A</sub>zey alanını temsil etmektedir. Denklem 5.24 kapsamında PV panelin verimi elde edilir (Bakelli et. al.; 2011; Habib et al., 1999).

$$\eta_{pv} = \eta_r \eta_{pc} \left( 1 - \eta_{pv} \frac{T_c - T_{cref}}{T_c} \right) \quad (5.24)$$

$\eta_r$  : referans panel verimliliği,

$\eta_{pc}$  : g<sub>A</sub> İartlandırma verimi (MPPT m<sub>A</sub>kemmel olarak kabul edilirse 1 olarak alınır),

$\eta_{pv}$  : Fotovoltaiķ panel sıcaklık katsayısı (sıcaklık başına 0,004-0,006 arasında değilim gösterir),

$T_c$  : h<sub>A</sub>cre sıcaklıķı (°C),

$T_{ref}$  : referans h cre sıcaklıktır ( C).

H cre sıcaklıktının hesaplanması için Denklem 5.25 kullanılır.

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{800} I_T \quad (5.25)$$

Burada  $T_a$  ( C) hava sıcaklıktını ve  $NOCT$  ( C) nominal h cre çalıma sıcaklıktını temsil etmektedir.  alıma kapsamında kullanılacak olan panelin  zellikleri Tablo 5.5 verilmiştir (Solimpeks, 2020)

**Tablo 5.5** PV panel verileri (Solimpeks, 2020)

| Değişken                  | Değer              | Değişken           | Değer                |
|---------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| PV markası                | Solimpeks Monoperc | PV panel tipi      | Monokristal          |
| Maks. Güç                 | 325 W              | Sıcaklık Katsayısı | 0,38%                |
| Maks. Güç noktası voltajı | 33,6 V             | Açık Devre Voltajı | 41,1 V               |
| Maks. Güç noktası akımı   | 9,68 A             | Kısa Devre Akımı   | 10,2 A               |
| Verimlilik                | 19,72%             | Alanı              | 1,636 m <sup>2</sup> |
| $NOCT$                    | 45  C              |  invent r Verimi   | 92%                  |
|                           |                    |                    | (Yahyaoui, 2016)     |

PV panelin referans verimi (  $\eta_r$  ) %19,72, nominal h cre çalıma sıcaklıktını ( $NOCT$ ) 45 C,

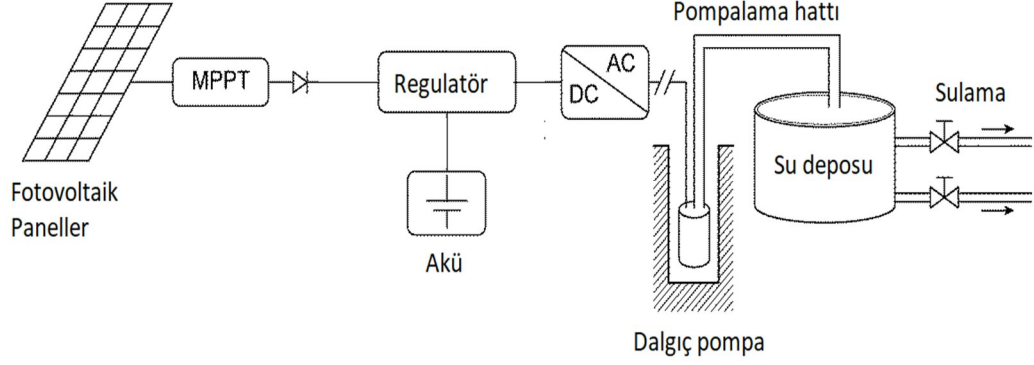
yüzey alanı ( $A_{PV}$ ) 1,636 m<sup>2</sup> ve PV panel sıcaklık katsayısı (  $\beta_{PV}$  ) ise 0,0038 olarak

hesaplamalara dahil edilmiştir.

## 5.6. Boyutlandırma algoritmasının oluşturulması

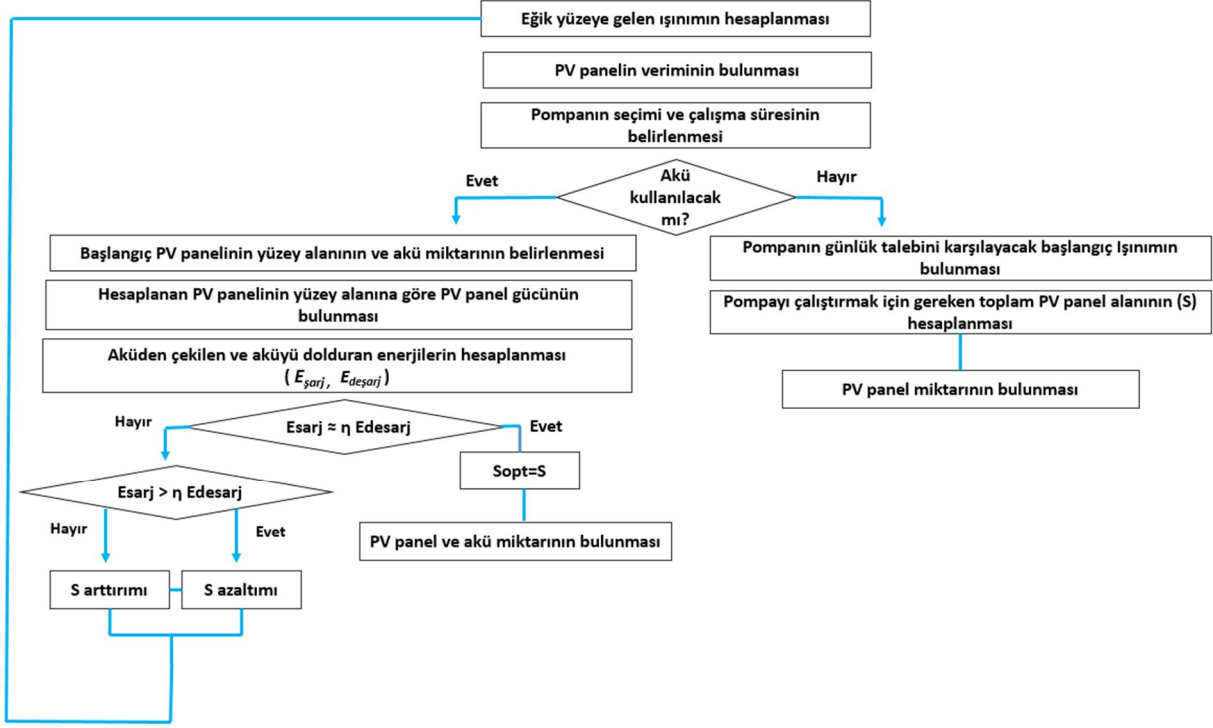
Sistemin ihtiya ı olan elektrik ihtiya ının karşılanabilmesi için Fotovoltaik (PV) pompanın uygun oranda ve doğru bir şekilde boyutlandırılması gerekir. Kullanılacak bitkinin y alamı boyunca ihtiyaç duyacağı su miktarı, ekinin ekim alanının coğrafi nitelikleri, g nel ılınımı verileri, PV panel özellikleri ve ak  kapasitesinin verileri, g nel enerjili pompanın boyutlandırılması için önem arz etmektedir.  alıma kapsamında oluşturulan boyutlandırma algoritmasının amacı, ak y derin deşarj veya alçı  arjdan korunurken ekinin sulama ihtiya ı için gereken su miktarını sağlamak için gün boyunca yük beslemesini uygun bir şekilde sağlamaktır (Yahyaoui, 2016).

Çalışma içerisinde algoritma hem akıllı hem de akılsız sistemler için uygulanmıştır. Algoritma MATLAB programı kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 ile Güneş enerjili pompa sisteminin bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Güneş enerjili pompa sistemi bileşenleri (Yahyaoui, 2016)

Şekil 5.4 ile MATLAB programı kullanılarak oluşturulan boyutlandırma algoritmasının tasarımı gösterilmektedir. Boyutlandırma algoritması, öncelikle eşik değere gelen ıllının hesaplanması ile başlanmaktadır (Denklem 5.11). Daha sonra PV panel ve pompa verilerinin hesaplamalara dahil edilmesi ile devam etmektedir. Bir sonraki aşamada, sistemde akıllı kullanılıp kullanılmayacağı belirlendikten sonra algoritma iki farklı hesaplama uygulamaktadır (Şekil 5.4). Algoritmanın detaylı açıklaması adımlar ile açıklanmıştır.



Şekil 5.4 PV pompa sisteminin boyutlandırma algoritması (Almarshoud, 2014; Yahyaoui, 2016, Demir vd., 2020)

**Adım 1:** Denklem 5.11 kullanılarak eğik yüzeyde oluşan ışıınım hesaplaması gerçekleştirilmiştir.

**Adım 2:** Denklem 5.24 ile verilen formül ile PV panel verimi hesaplanmıştır.

**Adım 3:** Bitkinin günlük su ihtiyacının hesaplanmasından sonra pompa seçimi yapılmıştır. Seçilen pompanın güç ve pompa çalışma süreleri algoritmaya eklenmiştir.

**Adım 4:** Algoritma akü ve aküsüz sistem için bu alıamadan sonra iki farklı şekilde hesaplanmaktadır.

#### PV pompa sisteminin akü içermesi durumunda:

**Adım 5.** Denklem (5.26-5.28) kullanılarak PV panelin yüzey alanı, toplam güç ve akü miktarı hesaplanmaktadır (Yahyaoui, 2016).

$$S_i = \frac{W_{pompa} \cdot t}{H_T \cdot n_{pv}^2 \cdot \eta_{akü} \cdot \eta_{kablo} \cdot \eta_{reg} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{birleşim} \cdot \eta_{opt,ısıt}} \quad (5.26)$$

PV panelin toplam güç (W) Denklem 5.27'de hesaplanmıştır.

$$P_{pv,i} = \eta_{pv} \cdot \eta_{reg} \cdot \eta_{birleşim} \cdot \eta_{opt, ısı} \cdot S_i \cdot I_T \quad (5.27)$$

Burada,  $\eta_{akü}$ , akünün elektriksel verimini,  $\eta_{kablo}$  kablolama verimini,  $\eta_{reg}$  regülatör verimini,  $\eta_{inv}$  invertör verimini,  $\eta_{birleşim}$  panel elleştirme verimini,  $\eta_{opt, ısı}$  panelin optik, ısı performansını  $W_{pompa}$  (W) pompanın güç,  $t$  (s) pompanın çalışma süresini temsil etmektedir.

$$n_{bat,i} = \frac{E_{sarj}}{V_{akü} C_{akü} \cdot dod_{max}} \quad (5.28)$$

$V_{akü}$  : akü voltajı (V)

$C_{akü}$  : akünün kapasitesi (Ah)

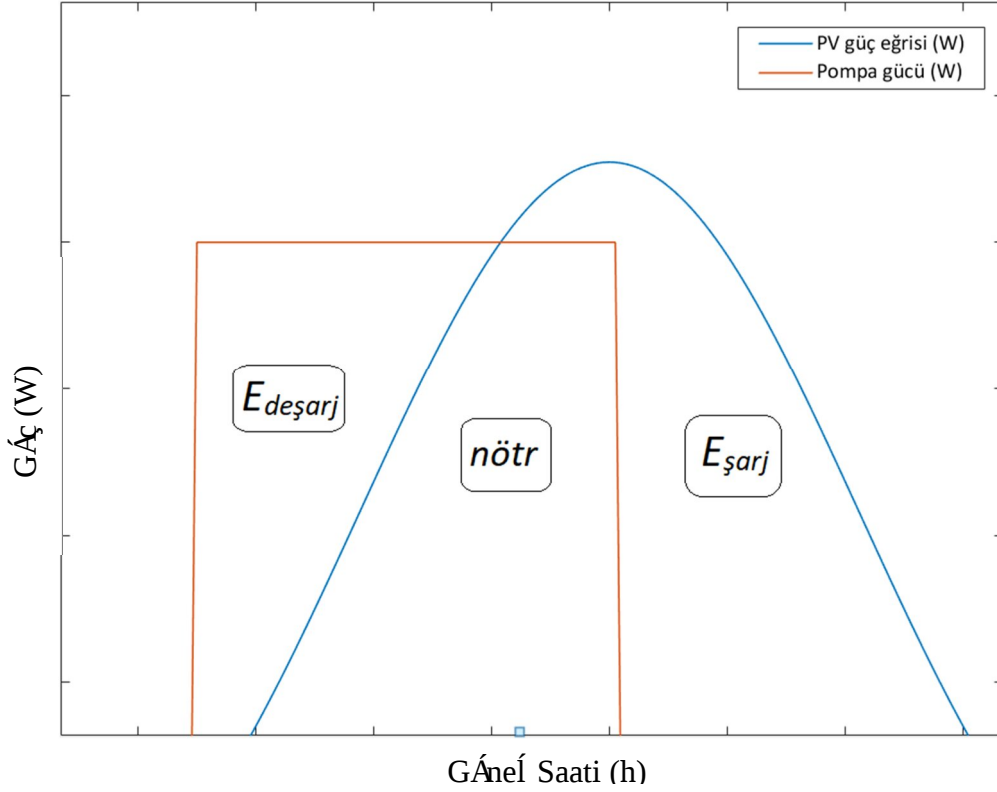
$dod_{max}$  , maksimum  $dod$  (derin deşarj) varyasyonu

Çalışma kapsamında,  $\eta_{akü} = 0,9$ ,  $\eta_{inv} = 0,92$ ,  $\eta_{kablo} = 0,95$ ,  $\eta_{birleşim} = 0,8$ ,  $\eta_{opt, ısı} = 0,9$ ,  $\eta_{reg} = 0,9$  ve  $dod_{max} = 0,78$  olarak hesaplamalara dahil edilmiştir. Akünün kapasitesi 210 Ah ve gerilim değeri 12 V'dur (Yahyaoui, 2016).

**Adım 6:** Denklem 5.26 ve Denklem 5.27'deki PV panelinin yüzey alanı ( $m^2$ ) ve toplam güç (W) algoritmaya eklenmektedir.

**Adım 7:** Bu adımda, aküden çekilen enerjinin miktarı ( $E_{deşarj}$ ) ile PV panel tarafından aküye gönderilen enerji ( $E_{sarj}$ ) hesaplanmıştır. Verimlilik katsayısı ( $dod$  değerinin  $dod_{max} = 0,78$  değerinden az olmasını sağlar) akünün derin deşarjlara karşı korunmasını sağlamaktadır. Böylelikle değeri hesaplamalara 1,28 olarak eklenmiştir. Denklem 5.29 ile birlikte akü üzerinden enerji dengesi elde edilmektedir (Yahyaoui, 2016).

$$E_{sarj} = E_{deşarj} \quad (5.29)$$

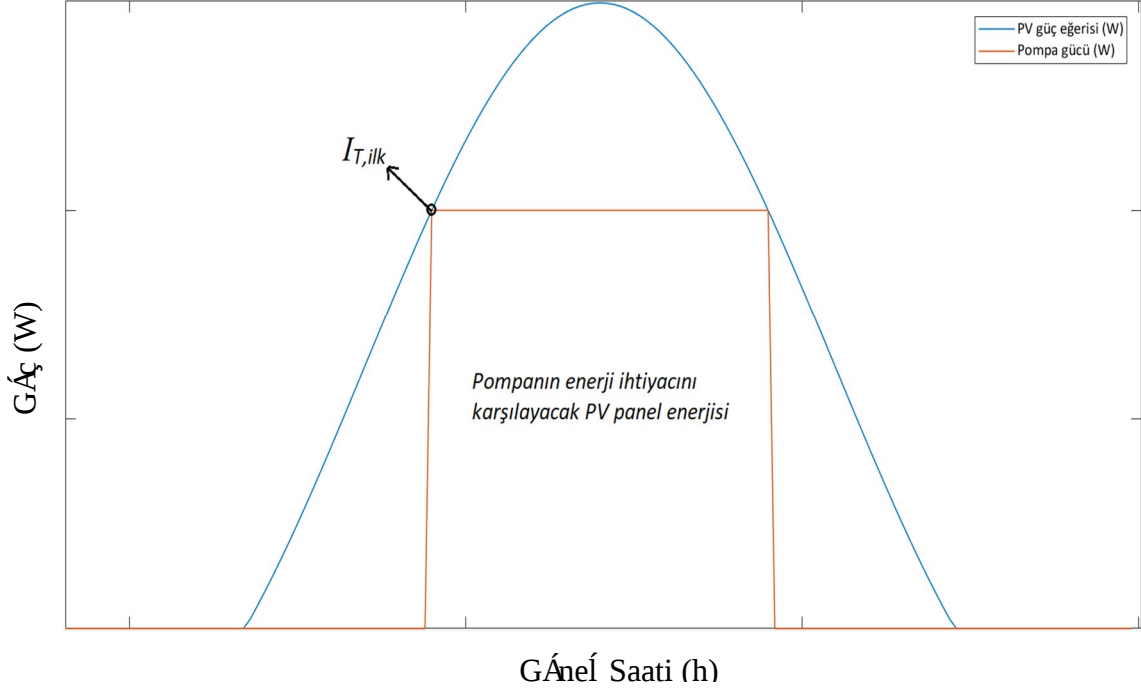


Şekil 5.6 Aküde gerçekleştirilen enerji dengesinin zamana göre dağılımı (Yahyaoui, 2016)

**Adım 8:** Bu adımda,  $E_{şarj}$  ve  $E_{deşarj}$  algoritma tarafından değerlendirilir, Denklem 5.29'daki değerlendirmede  $E_{şarj} > \eta E_{deşarj}$  elde ediliyor ise panelin yüzey alanının azaltılması gerekir. Aksi durumda ise panel yüzey alanı arttırılmalıdır. PV paneldeki artış ya da azalış miktarı  $0,25 \text{ m}^2$  olarak belirlenmiştir. Eğer  $E_{şarj}$  ve  $\eta E_{deşarj}$  yaklaşık olarak ( $100 \text{ W}$ ) birbirine eşit ise iterasyon durdurulur ve uygun panel alanı bulunmuş olur.

### PV pompa sisteminin akü içermemesi durumunda

**Adım 5:** Pompa ihtiyacının karşılanabilmesi için ilk güneş ısıtım değerinin ( $I_{T,ilk}$ ) elde edilmesi gerekir.  $I_{T,ilk}$  değeri, Şekil 5.7 ile gösterilmiştir ve matematiksel olarak, matrisler yardımı ile bu değer elde edilmektedir (Almarshoud, 2016).



Şekil 5.7 Pompa ile PV panel arasındaki enerji dengesinin zamana göre gösterimi (Almarshoud, 2016).

**Adım 6:** Denklem 5.30 ile pompanın çalıştırılabilmesi için gerekli PV panel yüzey alanı hesaplamaları verilmiştir. (Almarshoud, 2016; Yahyaoui, 2016).

$$S = \frac{W_{pompa} \cdot t}{I_{T,ilk} \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_{kablo} \cdot \eta_{reg} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{birleşim} \cdot \eta_{opt,ışıl}} \quad (5.30)$$

Sistemde aküler almadığı için akü verimi ile ilgili olan bölün denkleminden çıkarılmıştır. Bunun yerine yataya gelen ırlım ile pompa çalışma süresinin çarpımı eklenmiştir.

**Adım 7.** PV panelin yüzey alanının yani panel miktarının, pompayı çalıştırabilecek enerji miktarının karşılayabilmesi sağlanmıştır. Yüzey alanının PV panel yüzey alanına bölünmesi ile ne kadar panel sayısı gerektiği bulunabilir (Almarshoud, 2016).

## 6. BULGULAR

### 6.1. Algoritmanın doğruluğunun test edilmesi

Çalışmada güneş enerjili pompa düzenekinin boyutlandırma algoritmasının doğruluğunun test edilmesi için (Yahyaoui, 2016) referansı kapsamında oluşturulan boyutlandırma algoritması kullanılmıştır. Tablo 6.1 ile bu iki modelin algoritma sonuçları aylara göre gösterilmiştir. Referans model ile çalışmada oluşturulan modelin, pompa verileri, PV panel verileri, alan verileri ve iklim koşulları aynı şartlarda olduğu kabul edilmiştir.

**Tablo 6.1** Çalışmada oluşturulan algoritma ile (Yahyaoui, 2016) referansında oluşturulan algoritmanın karşılaştırılması

|                       | Mart           |       | Nisan          |       | Mayıs          |       | Haziran        |       |
|-----------------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| Değerler              | Referans model | Model | Referans model | Model | Referans model | Model | Referans model | Model |
| $E_{deşarj}$ [Wh]     | 10991          | 10332 | 14481          | 14079 | 10239          | 12620 | 12511          | 11217 |
| $E_{şarj}$ [Wh]       | 18725          | 13488 | 23035          | 17336 | 16807          | 16232 | 18033          | 12636 |
| $E_{pompa}$ [Wh]      | 11258          | 11250 | 18615          | 18585 | 33350          | 33345 | 44716          | 44685 |
| $S$ [m <sup>2</sup> ] | 37,5           | 34,34 | 41,5           | 45,78 | 54,5           | 77,97 | 61,5           | 90,99 |
| $n_{bat}$ [adet]      | 4              | 5,35  | 5              | 6,88  | 4              | 6,44  | 5              | 5,01  |

Referans model ile çalışma kapsamında oluşturulan modelin kıyaslanması sonucunda, özellikler  $E_{deşarj}$ ,  $E_{şarj}$ ,  $E_{pompa}$  ve  $n_{bat}$  verilerinin birbirine yakın çıktığı ancak, PV panel yüzey alanının aylara göre bir belirli bir farkın olduğu gözlemlenmiştir. Bu farkların en önemli sebeplerinden bazıları; kabullerin farklı bir biçimde yapılması, farklı denklemlerin kullanılması, hesaplama yönteminin farklı bir biçimde uygulanması ve bazı iklim verilerinin model algoritmaya eklenmemesi olabilmektedir.

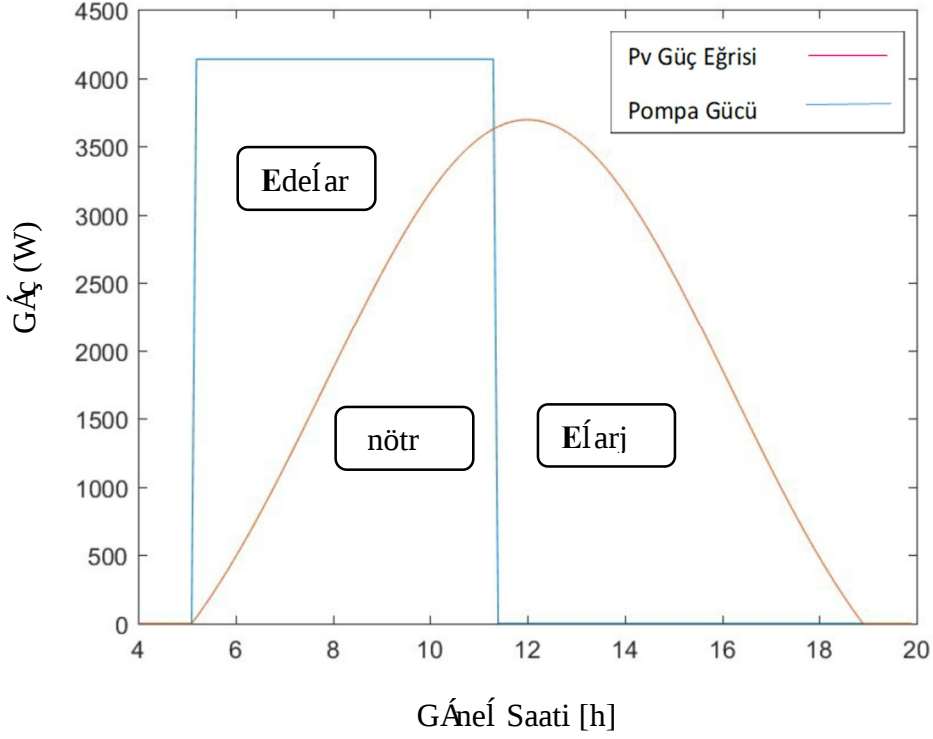
### 6.2. Algoritma Çıktıları

Algoritmaya göre hem akıllı sistemde hem de akılsız sistemdeki sonuçlar aşağıda belirtilmiştir. İlinin ve ortalama hava sıcaklıkları ile ilgili bilgilerin her biri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün resmi internet sitesi üzerinden alınmıştır (Meteoroloji, 2020). Tablo 6.2 ile Temmuz ayında Manisa İl Salihli ilçesinde 2 hektarlık alanda mısır bitkisi için akıllı güneş enerjili pompa sisteminin boyutlandırma algoritmasının çıktı özeti gösterilmiştir.

**Tablo 6.2** Algoritma çıktı özetleri (AkÁÁ)

| <b>Algoritma sonuçları</b>                                          | <b>Miktar</b> | <b>Birim</b>   |
|---------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| GÁn içinde toplam PV panel alanına gelen toplam enerji              | 310.136       | Wh/gÁn         |
| PV panelin gÁnelíten elde edilebileceki maksimum enerji             | 29.229        | Wh/gÁn         |
| PV sisteminin gÁnelíten yararlanma oranı (panel, regÁlatör, akÁvb.) | 9,42          | %              |
| Pompanın harcadığı toplam enerji                                    | 24.924        | Wh/gÁn         |
| PV panel tarafından elde edilen ve israf edilen enerji              | 4.305         | Wh/gÁn         |
| AkÁden çekilen toplam enerji ( $E_{deşarj}$ )                       | 13.499        | Wh             |
| AkÁye gönderilen enerji ( $E_{şarj}$ )                              | 17.181        | Wh             |
| Sistem için gerekli PV panel yÁzey alanı                            | 47,12         | m <sup>2</sup> |
| Sistem için gerekli PV panel miktarı                                | 28,8          | Adet           |
| Kullanılması gereken akÁmiktarı                                     | 8,74          | Adet           |

Tablo 6.2 ile verilen akÁÁ gÁnelí enerjili pompa sisteminde, 4154 W pompa gÁçÁ için gereken PV panel ve akÁmiktarı sırasıyla 28,8 ve 8,74 adettir. PV panellerin toplamına, gÁn içerisinde gelen toplam enerji miktarı 310.136 W/m<sup>2</sup>’dir. PV panelin hem optik hem de ilgili cihazların (regÁlatör, akÁ kablolama vb.) kayıplarının hesaba katılması ile bu enerji miktarı 29.229 W/m<sup>2</sup> değerine dÁlmektedir. Bu açıdan, PV sisteminin gÁnelíten yararlanma oranı %9,42 olarak hesaplanmıtır. GÁnelí enerjili pompa sisteminde pompanın toplam harcadığı enerji 24.924 Wh/gÁn’dır. GÁnelí enerjili pompa sisteminin boyutlandırılmasında, PV panel miktarının azaltılabilmesi için akÁsistemi kullanılmıtır. Bu açıdan, akÁsisteminden çekilen enerji,  $E_{deşarj}$ , ve akÁye aktarılan enerji,  $E_{şarj}$ , sırası ile 13.499 Wh ve 17.181 Wh olarak hesaplanmıtır (Éekil 5.6). Éekil 5.6’da Nötr ile gösterilen alanda, pompanın çalışması için gereken enerji direkt olarak PV panelden çekilerek karlılanmaktadır.  $E_{deşarj}$  alanında, pompanın çalışması için gereken enerji yetmemektedir. Bu yÁzden gerekli enerji akÁsisteminden elde edilmektedir.  $E_{şarj}$  alanında ise, pompa çalışmamaktadır. Ancak panele hala gÁnelí enerjisi gelmektedir. Bu gÁnelí enerjisi akÁye aktarılmaktadır.  $E_{deşarj}$  ile  $E_{şarj}$  arasındaki farkın sebebi, akÁsisteminin derin dełarjlara karlı korumasını sağlamaktır (  $dod_{max}=0,78$ ).



**Şekil 6.1** AkÁde gerçekleştirilen enerji dengesinin zamana göre değilimi(Matlab)

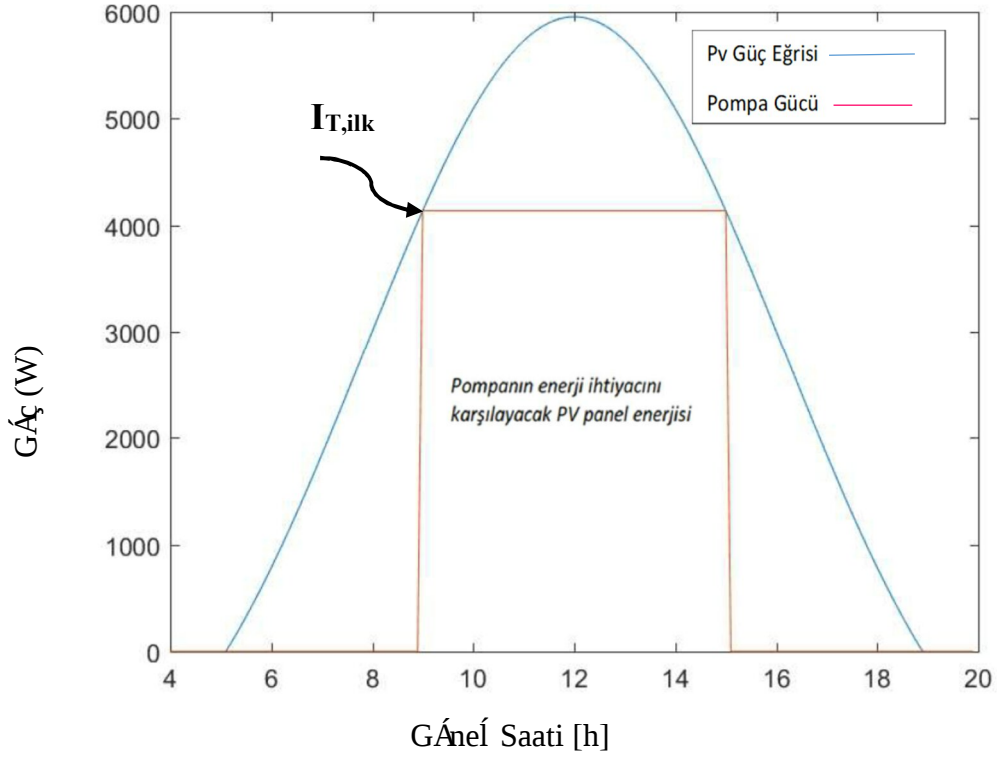
Tablo 6.3 ile AkÁsÁz gÁnel enerjili pompa sisteminin algoritma çıktı özeti verilmiştir. Bu sistemde herhangi bir depolama sistemi hesaba katılmamıştır. Maksimum sulama ihtiyacının gerektiği Temmuz ayına göre hesaplamalar tamamlanmıştır.

**Tablo 6.3** Algoritma çıktı özeti (AkÁsÁz)

| Algoritma sonuçları                                            | Miktar  | Birim          |
|----------------------------------------------------------------|---------|----------------|
| GÁn içinde toplam PV panel alanına gelen toplam enerji         | 477.497 | Wh/gÁn         |
| PV panelin gÁnelten elde edilebileceği maksimum enerji         | 47.375  | Wh/gÁn         |
| PV sisteminin gÁnelten yararlanma oranı (panel, regÁlatör vb.) | 9,92    | %              |
| Pompanın harcadığı toplam enerji                               | 24.924  | Wh/gÁn         |
| PV panel tarafından elde edilen ve israf edilen enerji         | 22.451  | Wh/gÁn         |
| Sistem için gerekli PV panel yÁzey alanı                       | 72,55   | m <sup>2</sup> |
| Sistem için gerekli PV panel miktarı                           | 44,35   | Adet           |

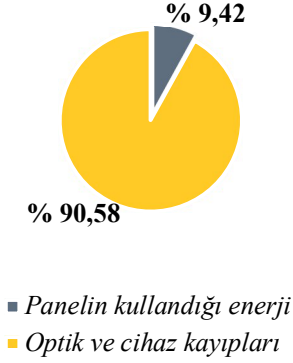
Bu sistemin içerisinde akÁveya su deposu gibi bir depolama sistemi desteği bulunmadığı için bulutlu gÁnlerde ılınım miktarının azalmasıyla birlikte PV panellerden pompayı çalıştıracak kadar enerjinin elde edilememesi gibi bir risk söz konusudur. AkÁsÁz bu sistemde pompayı çalıştıracak gÁcÁn elde edilebilmesi için gerekli PV panel miktarı 44,35 adet olarak

hesaplanmıştır. Bu miktar akış sistem hesaplamaları ile karşılaştırıldığında zaman 16 adet daha fazladır. Günde PV panel alanına gelen toplam enerji 477.497 Wh/gündür. PV panelin günden elde edilebileceği maksimum enerji 47.375 Wh/gündür ve PV sisteminin toplam verimi % 9,92'dir. Bu sistemin akış kullanılmadığı için akış kayıpları hesaplamalara dahil edilmemiştir. Bu yüzden, PV sisteminin toplam verimi akış sisteme göre yüksektir.

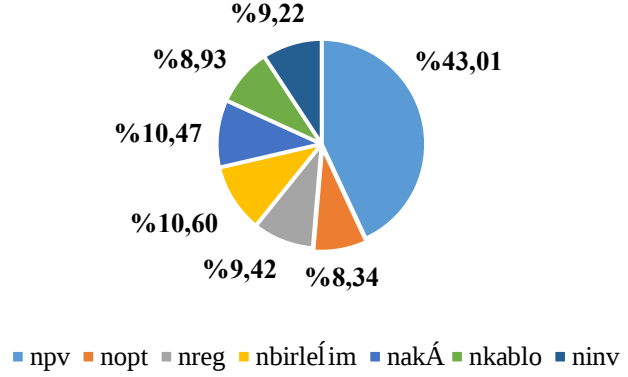


Şekil 6.2 Pompa ile PV panel arasındaki enerji dengesinin zamana göre gösterimi,(Matlab)

Ayrıca bu sistemde, depolama aracı olmadığı için günde PV panele gelen enerji akış sisteme göre daha yüksek miktardaki güneş enerjisini israf etmektedir. Böyle harcanan bu enerji miktarı 22.451 Wh/gündür. Ekil 6.3 ile akış güneş enerjili pompa sisteminin enerji dengesi pasta grafiği gösterilmiştir.

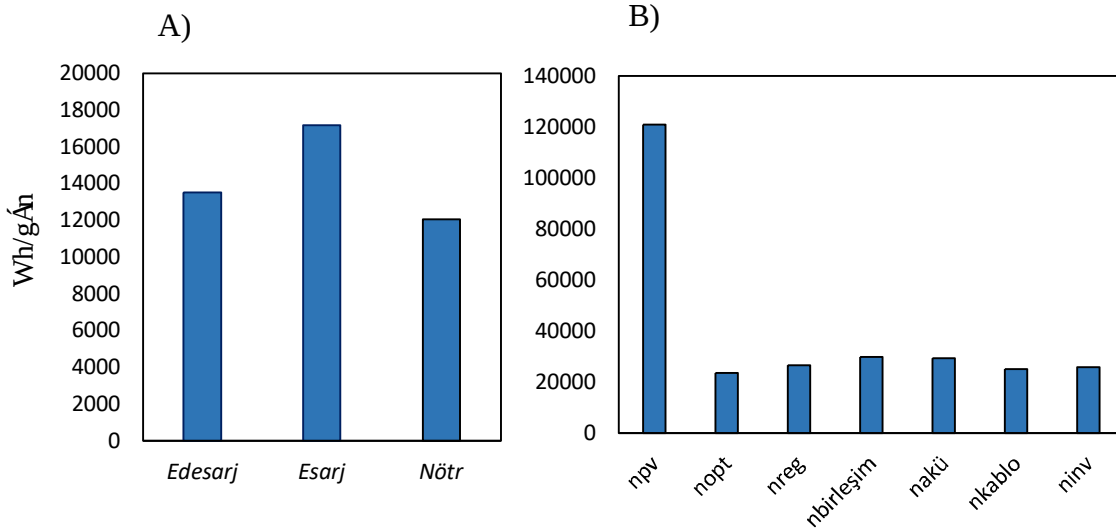
A - G<sub>A</sub>’den gelen toplam enerji %100

B - Optik ve cihaz kayıpları %100



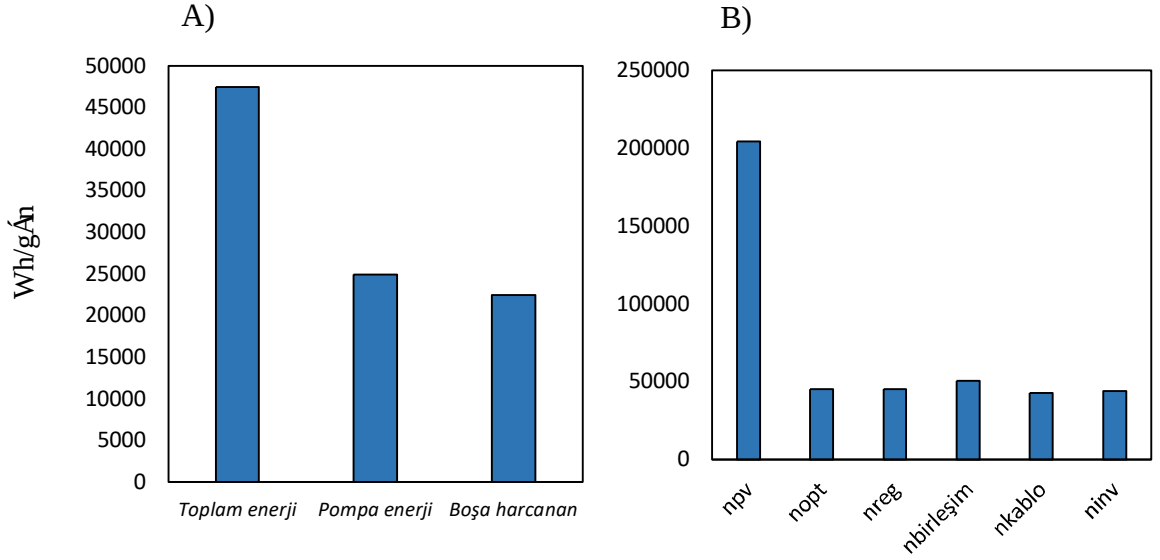
Şekil 6.3 Ak<sub>A</sub>’g<sub>A</sub>’den gelen toplam enerji dengesi pasta grafiği A- G<sub>A</sub>’den gelen toplam enerji (W/m<sup>2</sup>) B- PV panelin optik ve cihaz kayıpları (W/m<sup>2</sup>)

G<sub>A</sub> içerisinde g<sub>A</sub>’den gelen toplam enerji %100 olarak kabul edilirse, PV panel sistemi %9,42 kadarını kullanmaktadır. Ayrıca, bu %90,58’lik kısım, Şeklin B bölümünde %100 olarak kabul edilirse, kayıpların en büyük kısmı %43,01 ile PV panelin enerji dönüşüm veriminden kaynaklıdır ( $n_{opt}=19.72$ ) Bunu %10,60 ile panel elverişime verimi takip etmektedir. Ak<sub>A</sub> sisteminin PV panel dengesinin performans kaybına katkısı ise %10,47 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.4 A) Pompa, ak<sub>A</sub> ve PV panel arasındaki enerji dengesi B- PV panelin optik ve cihaz kayıpları (Wh/g<sub>A</sub>)

Ėekil 6.4 (A) öde Pompa, akÁ ve PV panel sistemi arasında gerçekteleğn enerji dengesinde kullanılan değilkenlerin miktarlarını gösterilmiğtir. Buradaki Nötr (Wh/gÁn) pompanın çalığması sırasında enerjinin PV panelden direkt olarak kullanıldığını gösterir ve değeri 24.924 Wh/gÁn olarak hesaplanmığtır. Ėekil 6.4 (B) öde ise PV panel sisteminin optik ve cihaz kayıplarının ( $W/m^2$ ) miktarlarını göstermektedir. Buradaki en bÁyÁk kayıp 120.818  $W/m^2$  ile PV panelin enerji dönÁĖimÁnden meydana gelmektedir.



Ėekil 6.5 A - Pompa ile PV panel arasındaki enerji dengesini B- PV panelin optik ve cihaz kayıpları (Wh/gÁn)

Ėekil 6.5 (A) ile, akÁsÁz gÁnel enerji pompa sisteminde PV panellerinin toplam alana göre gelen toplam gÁnel enerjisini göstermektedir (Wh/gÁn), 4.154 W gÁcÁndeki pompanın harcadığı toplam enerji ve PV paneli Ázerine gelen ve kullanılmayan (boĖa harcanan) enerji miktarını göstermektedir. Burada, boĖa harcanan enerji, pompanın çalığtırılabilmesi için gereken enerjiden bile daha fazla enerji gerektiği gösterilmiğtir. Pompanın harcadığı toplam enerji 24.924 Wh/gÁn iken, boĖa harcanan enerji miktarı 22.451 Wh/gÁn olarak hesaplanmığtır. Ėekil 6.5 (B) ile, akÁsÁz sistemindeki PV panel sisteminin optik ve cihaz kayıplarının miktarları gösterilmiğtir. Burada, panel sayısı akÁÁ sisteme göre fazla olduğu için, bu kayıplar akÁÁ sistemdeki kayıp miktarlarına göre daha yÁksek olduğu görÁlmektedir.

### 6.3. Maliyet Analizi

Tez kapsamında gerçekleştirilen akÁÁ ve akÁÁz gÁnel enerji pompa sisteminin boyutlandırılma algoritmasından sonra çıkan sonuca göre basit maliyet analizi bu bölÁnde gerçekleştirilmiştir. Hem akÁÁhem de akÁÁz sisteminin adet ve birim fiyat listesi, *Solimpeks Enerji San ve Tic. A.Ş, Federal Otomasyon ve Alternatif Enerji ile Grundfos Pompa San.Tic.Ltd.Şti* firmasından elde edilmiştir. AkÁÁPV panel sisteminin maliyet analizi Tablo 6.4 ile gösterilmiştir. AkÁÁPV sistem için toplam akÁmıktarı 8,74 adet olarak hesaplanmasına rağmen, akÁ sisteminin uyumu için bu değer 8 olarak seçilmiştir. AkÁÁ sistem için toplam maliyet 13.755 \$ olarak hesaplanmıştır.

| AKÜLÜ SİSTEM             |      |            |                  |
|--------------------------|------|------------|------------------|
| ÜRÜN                     | ADET | FİYAT (\$) | TOPLAM FİYAT(\$) |
| GÜNEŞ PANELİ(320 WAT)    | 29   | 110        | 3190             |
| AKÜ(12 V 200 AMP)        | 8    | 380        | 3040             |
| AKILLI İNVERTÖR-ÇEVİRİCİ | 2    | 700        | 1400             |
| SOLAR SÜRÜCÜ             | 1    | 350        | 700              |
| SOLAR KABLO              | 50   | 2,5        | 125              |
| MONTAJ                   | 1    | 1200       | 1200             |
| PARATONEL                | 1    | 900        | 900              |
| POMPA                    | 1    | 2500       | 2500             |
| TOPLAM                   |      |            | 13.055           |

**Tablo 6.4** AkÁÁPV panel sistemi için maliyet analizi

AkÁÁz PV panel sisteminin maliyet analizi Tablo 6.5 ile verilmiştir. AkÁÁ sistemden farklı olarak bu sistemde daha fazla gÁnel paneli, kablo miktarı ve yapı montaj maliyeti daha yüksek olmasına rağmen toplam ilk yatırım maliyeti akÁÁden daha avantajlıdır. AkÁÁz sistem için toplam maliyet 10.700 \$ olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 6.5** AkÁÁz PV panel sistemi için maliyet analizi

| AKÜSÜZ SİSTEM |      |              |                  |
|---------------|------|--------------|------------------|
| ÜRÜN          | ADET | FİYAT(DOLAR) | TOPLAM FİYAT(\$) |
| GÜNEŞ PANELİ  | 45   | 110          | 4950             |
| SOLAR SÜRÜCÜ  | 1    | 350          | 350              |
| SOLAR KABLO   | 80   | 2,5          | 200              |
| MONTAJ        | 1    | 1800         | 1800             |
| PARATONEL     | 1    | 900          | 900              |
| POMPA         | 1    | 2500         | 2500             |
| TOPLAM        |      |              | 10.700           |

Sonuç olarak akÁsÁz sistem akÁÁsisteme göre %22 daha ekonomiktir. Bu sonucun en önemli sebebi akÁ fiyatı ve akıllı sÁrÁcÁ maliyetlerin eklenmesidir. Éebekeye bağımsız gÁneÉ enerjili pompa sistemlerinde, akÁÁ sistemin daha pahalı olduğu anlaÉılmaktadır. Ancak kesin bir sonuca varılmadan önce ileriye yönelik geniÉ kapsamlı ekonomik analizlerin yapılması uygun olacaktır.

## 7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışma kapsamında, 2. Bölümde PV panellerin, hücrelerinin yapısı ve çalışma prensibi hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bu bölümün içerisinde PV hücrenin elektriksel eldeçer modeli ve karakteristiği hakkında genel veriler verildikten sonra, PV karakteristiklerini etkileyen faktörler üzerine durulmuştur. Ardından, PV paneller için oldukça önemli bir algoritma olan Maksimum Güç Noktası (MPP) hakkında bilgiler paylaşılmıştır. Sonraki aşamada, PV panel sistemini oluşturan bileşenler hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 3 içerisinde, pompalar ile ilgili genel bilgiler paylaşılmıştır. Dahası 3. bölüm içerisinde, su pompalama sistemlerinde pompa seçimine etki eden faktörler anlatılmıştır. Daha sonra, pompa performans parametreleri üzerine bilgiler paylaşılmıştır. Bölüm 4'te güneş enerjili pompa kullanılarak sulama yapılacak arazi yapısı ve özellikleri üzerine bilgi verilerek belirlenmiştir. Ardından seçilen arazi ve bitki için sulama suyu ihtiyacı hesaplanmıştır. Bitkinin su ihtiyacı belirlendikten sonra bu ihtiyacı karşılayacak pompanın seçimi için gerekli hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, PV panellerin üzerine gelen (eğik yüzeye) güneş ışıınımı denklemleri verilmiştir. Bunu takiben, PV panelin güneşin ve veriminin hesabının nasıl yapılacağı hakkında bilgi verilmiştir. Böylelikle, güneş enerjili pompanın bileşenlerinin boyutlandırılması için gerekli denklemler bu bölümde tamamlanmıştır. Bu çalışmanın bir sonraki aşamasında, bir güneş enerjili pompanın boyutlandırma algoritmasının nasıl yapılacağı aşamalar ile gösterilmiştir. Boyutlandırma algoritması **MATLAB** programı içerisinde, iterasyon metodu uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Boyutlandırma algoritması, hem akış hem de akışız güneş enerjili pompa sistemine göre çalışmaktadır. Algoritmanın oluşturulmasından sonra, algoritmasının doğruluğu test edilmiştir ve örnek bir uygulaması gerçekleştirilmiştir. Örnek uygulama Manisa ilinin Salihli ilçesinde mısır bitkisi için uygulanmıştır. Mısır bitkisinin 2 hektarlık alan için uygulandığı kabul edilmiştir. Kritik ay olarak temmuz ayı olarak bulunmuştur ve hesaplamalar bu ayın ortalama güneş için gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, 2 hektarlık mısır bitkisi için toplam su ihtiyacı 25,2 m<sup>3</sup>/h olarak hesaplanmıştır. Bu su ihtiyacına göre, 4154 W güneşteki bir pompa seçilmiştir. Pompanın çalışma şresi, gün içerisinde gelen güneş ışıınım miktarı yüksek olan şre dikkate alınarak 6 saat olarak kabul edilmiştir. PV panel tipi olarak perc yapıllı monokristal, maksimum 325 W güneşinde ve verimliliği %19,72 olan bir model kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ek olarak, akış ve akışız sistem için ekonomik analiz yapılarak iki sistem için gerekli maliyet karşılatırılması yapılmıştır. Çalışmada elde edilen önemli sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

AkÁÁsistem için 4154 W pompayı çalıştırmak için gereken panel sayısı 28,8 iken akÁÁsistemde 44,35 adet olarak hesaplanmıştır. AkÁÁ sistemin akÁÁ sisteme göre daha az miktarda PV panel gerekmektedir. Ayrıca, akÁÁsistem için gerekli toplam akÁmıktarı, 8,74 adet olarak hesaplanmıştır.

AkÁÁsistemdeki algoritmada PV panel seçimi yapılırken, akÁiçerisindeki enerji alı verili hesaba katıldığı için gÁnel enerjili pompa sistemi için en uygun PV panel miktarını hesaplamaya çalışır. Bu yüzden gÁn içerisinde PV panel Ázerine gÁn içerisinde gelen toplam gÁnel ılımından olabildiğince fazla yararlanarak bu enerjinin boÁa harcanması önlenir. Ancak, akÁÁsistem hesaplamalarında akÁ olmadığı için böyle bir enerji dengesi kurulamamaktadır. Bu yüzden akÁÁsistemde, gÁn içerisinde gelen gÁnel ılımını yÁsek oranda israf edilmektedir. AkÁÁs gÁnel enerjili pompa sisteminde, PV panelin gÁnel ten elde edilebileceği maksimum enerji 47.375 Wh/gÁn iken, israf edilen enerji 22.451 Wh/gÁndır.

AkÁÁ sistemdeki PV panel sistemi gelen gÁnel ılımının %9,42’lik bir yÁzdesinden yararlanabilmektedir. Bu %90,58 ÷ik boÁa harcanan enerji %100 olarak kabul edilirse, kayıpların en bÁyÁk kısmı %43,01 ile PV panelin enerji dönÁÁmÁ veriminden kaynaklıdır (nopt=%19,72) Bunu %10,60 ile panel elÁtirme verimi takip etmektedir.

AkÁÁ ve akÁÁs sistemin basit maliyet analizinde, arazi maliyetleri, pompa maliyetleri vb. elÁdeğer maliyet, ortak maliyet olarak kabul edilmiştir. Maliyet analizi sonucunda, akÁÁs sistem akÁÁ sisteme göre %22 daha ekonomik olduğu hesaplanmıştır.

AkÁÁ sistem yapılan çalışmada %22 daha maliyetli olmasına rağmen, sistemin sÁekliliği, enerji dengesinin iyi olması, anlık ılınlardan etkilenmemesi, gece sulama yapılabilmesi gibi bir çok avantajları vardır.

AkÁÁs sistemlerin ılınmıdan etkilendiği ve ılımının maksimum olduğu saatlerde pompanın verimli çalıştığı diğer saatlerde kesintili çalışması ve enerji dengesini verimli saklayamadığı için çoğu enerjinin boÁa harcandığı anlaşılmıştır.

Gerçekte, bir gÁnel enerjili pompa sisteminin boyutlandırılıp kurulabilmesi için sadece en zor koÁulları temel alan bir hesaplamanın yanında, sistemin ekonomikliğinin de hesaba katılması oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında oluÁturulan boyutlandırma algoritması, daha kapsamlı meteorolojik veriler içeren yöntemler (Bulutlu gÁnlerin hesaba katılması, vb.), su deposu hesaplamaları, daha kapsamlı sulama suyu ihtiyacı hesaplama yöntemleri ve en önemlisi daha kapsamlı ekonomik analiz ve amorti analizi eklenerek algoritma daha hassas ve doğru hale getirilebilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akgün, A.**, 2006. Mikro Denetleyici Tabanlı Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretim Sisteminin Tasarımı. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 111s.
- Aktaş, A.**, 2013. 3 Fazlı 4 Telli Lebeke Bağlantılı Sistemler İçin Maksimum Güç İzleyen 4 Kollu Evirici Tasarımı. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 131s.
- Almarshoud A. F.** 2016. "Sizing Of Pv Array For Water Pumping Application", 32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference And Exhibition, At Munich, Germany.
- Amin, N., Ahmad Shahahmadi, S., Chelvanathan, P., Rahman, K. S., Istiaque Hossain, M., & Akhtaruzzaman, M. D.** 2017. Solar Photovoltaic Technologies: From Inception Toward the Most Reliable Energy Resource. Encyclopedia of Sustainable Technologies, 11-26. doi:10.1016/b978-0-12-409548-9.10092-2.
- Ba, A., Aroudam, E., Chighali, O. E., Hamdoun, O., & Mohamed, M. L.** 2018. Performance Optimization Of The Pv Pumping System. Procedia Manufacturing, 22, 788-795.
- Bakelli, Y., Arab, A. H., Azoui, B.** 2011. "Optimal Sizing Of Photovoltaic Pumping System With Water Tank Storage Using Lpdp Concept", Solar Energy, Vol. 85, P.288-294.
- Başoğlu, M.E.**, 2013. Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası İzleyicili Yükseltici Da-Da Dönüştürücü Analizi ve Gerçekleştirilmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 2013, 96s.
- Bayram, O.** 2019. Endüstrilerde kullanılan santrifüj pompaların enerji verimliliklerinin analizi (Master's thesis, Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Bedeloğlu, A., Demir, A., & Bozkurt, Y.** 2010. Fotovoltaik teknolojisi: Türkiye ve dünyadaki durumu, genel uygulama alanları ve fotovoltaik tekstiller. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(2), 43-58.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bharti, R.N. And Mandal, R.K.,** 2014. Modeling And Simulation Of Maximum Power Point Tracking For Solar Pv System Using Perturb And Observe Algorithm. International Journal Of Engineering Research&Technology (Ijert),3(7):2278-0181
- Chahartaghi, M., & Hedayatpour Jaloodar, M.** 2019. Mathematical Modeling Of Direct-Coupled Photovoltaic Solar Pump System For Small-Scale Irrigation. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, And Environmental Effects, 1-22.
- Chandel, S. S., Nagaraju Naik, M., & Chandel, R.** 2015. Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 49, 1084ñ1099. doi:10.1016/j.rser.2015.04.083.
- Garg, R., Singh, A. And Gupta, S.,** 2014. Pv Cell Models And Dynamic Simulation Of Mppt Trackers. International Conference On Computing For Sustainable Global Development (Indiacom), 978-93-80544-12- 0/14/\$31.00
- Ghoneim, A. A.** 2006. Design Optimization Of Photovoltaic Powered Water Pumping Systems. Energy Conversion And Management, 47(11-12), 1449-1463.
- Gorjian S., Shukla A.** 2020 Photovoltaic Solar Energy Conversion Technologies, Applications and Environmental Impacts, Elsevier, 462 Pages, DOI: 10.1016/C2018-0-05265-2.
- Habib, M.A., Said, S.A.M., El-Hadidy M. A., Al-Zaharna I.** 1999. Optimization Procedure Of A Hybrid Photovoltaic Wind Energy System, Energy, Vol. 24, P.919-929.
- Çalışkan, E.,** 2011. Sistemler İçin Dsp Temelli Güneş Çeviricisi Tasarımı Ve Uygulaması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 133s.
- Çengel, Y., Cimbala, J.M.** 2012. Akıllıkanlar Mekaniği Temelleri Ve Uygulamaları, Güneş Yayınları, Isbn: 978-975-6240-18-2.
- Çetinbaş, İ.,** 2014. Güneş Enerjili Sistemlerde Kullanılan Maksimum Güç Noktası. Takibi Yöntemlerinin Zeki Algoritmalar Yardımıyla Uygulanması. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 123s.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çifci, A., Kırbaş, İ., & İşyarlar, B.** 2014. GÁnel Pili Kullanılarak Burduröda Bir Evin Ortalama Elektrik İhtiyacının Karlılanması. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri EnstitÁÁDergisi, 5(1), 14-17.
- Demir,A.,v.d** 2020,Fotovoltaik (PV) Pompa Sisteminin BileÉenlerinin Hesabı.MÁhendis ve Makine Cilt 61, sayı 701, 2020.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A.** Solar Engineering Of Thermal Processes, Fourth Edition, John Wiley And Sons, Isbn 978-0-470-87366-3.
- Düzenli, A.,** 2010. GÁnel Enerjili Su Pompalama Sistemleri. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri EnstitÁÁ YÁksek Lisans Tezi, İstanbul, 214 S.
- Kaplan, Z.,** 2012. Fotovoltaik Sistem Tasarımı. Dumlupınar Üniversitesi, YÁksek Lisans Tezi, KÁtahya, 78s.
- Koryürek, E.,** 2008. Sistemlerin Binalarda Kullanımı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri EnstitÁÁ YÁksek Lisans Tezi, İstanbul, 163s
- Köksal, M. A.** 2012. GÁnel Enerjisiyle Su Pompalama Üzerine Bir AraÉtırma. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri EnstitÁÁ YÁksek Lisans Tezi.
- Khameneh A. T.** 2016, Master Thesis, Universidad de Oviedo, Modelling and Simulation of a Multifunctional PV Electrochemical Storage System,AIT Austrian Institute of Technology,DOI: 10.13140/RG.2.2.25857.86889.
- Massawe, H.B.,** 2013. Grid Connected Pv Systems With Smart Grid Functionality. Norwegian University Of Science And Technology, Master Of Science, Norwegian, 79s
- Masters, G. M.,** 2004. Renewable And Efficient Electric Power Systems. Wiley, Usa, 676s.
- Meteoroloji,** <https://www.mgm.gov.tr> (EriÉim Tarihi 13.11.2020)

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Meral, M. E., & Dinçer, F.** 2011. A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2176-2184. doi:10.1016/j.rser.2011.01.010
- Mohanty, P., Muneer, T., & Kolhe, M. (Eds.).** 2016. *Solar Photovoltaic System Applications. Green Energy and Technology*. doi:10.1007/978-3-319-14663-8.
- Muhsen, D. H., Khatib, T., Abdulabbas, T. E.** 2018. Sizing Of A Standalone Photovoltaic Water Pumping System Using Hybrid Multi-Criteria Decision Making Methods, *Solar Energy*, Vol. 159 P.1003-1015.
- Onat, N., & Ersöz, S.** Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Karşılaştırılması.
- Patil, M. And Deshpande, A.,**2015. Design And Simulation Of Perturb And Observe Maximum Power Point Tracking in Matlab And Simulink. 2015 International Conference On Smart Technologies and Management For Computing, Communication, Controls, Energy And Materials (Icstm), 6 - 8 Mayıs, 459-465
- Rathore, N., Panwar, N. L., Yettou, F., & Gama, A.** 2019. A Comprehensive review on different types of solar photovoltaic cells and their applications. *International Journal of Ambient Energy*, 1-4
- Sontake, V. C., & Kalamkar, V. R.** 2016. Solar photovoltaic water pumping system - A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1038-1067. doi:10.1016/j.rser.2016.01.021
- Setiawan, A. A., Purwanto, D. H., Pamuji, D. S., & Huda, N.** 2014. Development Of A Solar Water Pumping System In Karsts Rural Area Tepus, Gunungkidul Through Student Community Services. *Energy Procedia*, 47, 7-14.
- Şerefoğlu, Ş.,** 2014. *Solar Sistemler İçin Akıllı Evirici Tasarımı ve Uygulaması*. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 92s.
- Tarlak, H.** 2018. *Elektrikli Araçlar İçin İki Yönlü Akıllı Şarj Devresi* (Master's thesis, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tarımsal Araştırmalar ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Politikalar Genel Müdürlüğü**, 2016. Türkiye'de sulanan bitkilerin bitki su tüketimi rehberi, Ankara
- Turbosan Pompa ve Pompa Sistemleri El Kitabı**, <http://www.turbosan.com/> (Erişim Tarihi 19.12.2020)
- Uluğ, M., & Bingöl, O. (2017).** PV TABANLI SU POMPALAMA SİSTEMİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİSİ UYGULAMASI. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 9(1), 71-82.
- Varınca, K. B., & Gönüllü, M. T.** 2006. Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. Ulusal güneş ve hidrojen enerjisi kongresi, 21-23.
- Yahyaoui, I.** 2016. Specifications Of Photovoltaic Pumping Systems In Agriculture Sizing, Fuzzy Energy Management And Economic Sensitivity Analysis, Elsevier Inc., Isbn: 978-0-12-812039-2.
- Yang, Y., Kim, K. A., & Ding, T.** 2018. Modeling and Control of PV Systems. Control of Power Electronic Converters and Systems, 243-268. doi:10.1016/b978-0-12-805245-7.00009-3
- İnternet Erişim Tarihleri:**
- Beşergil**, <http://bilsenbesergil.blogspot.com> (Erişim Tarihi:14.12.2020)
- Grundfos**, [www.product-selection.grundfos.com](http://www.product-selection.grundfos.com) (Erişim Tarihi: 10.11.2020)
- IMO**, <http://www.imo.org.tr> (Erişim Tarihi 13.07.2020)
- Meteoroloji**, <https://www.mgm.gov.tr> (Erişim Tarihi 13.11.2020)
- Solimpeks**, <https://solimpeks.com.tr> (Erişim Tarihi: 02.11.2020)
- Turbosan Pompa ve Pompa Sistemleri El Kitabı**, <http://www.turbosan.com/> (Erişim Tarihi 19.12.2020)

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan, yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile yüksek lisans tezimi bitirmemde büyük emeği olan, değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Hâşeyin Gânerhanöa sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman ilgisini ve önerilerini esirgemeyen, değerli arkadaşım doktora öğrencisi, F.Mertkan Arslanöa sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mesleki gelişmemde desteklerini esirgemeyen ve tüm kolaylıkları sağlayan İirketim Grundfos Pompa San ve Tic.Ltd.İti ve satış yöneticisi Ali Rıza Dağlıoğluöa teşekkürlarım bir borç bilirim.

Tez hazırlama aşamasında teknik destek, teknik veri, görsel ekipman ve eğitimlerini esirgemeyen Solimpeks A.İ., Federal Otomasyon ve Alternatif Enerji, Tasarım Elektronik, Technicall ve Güvenli Enerjiöye teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan elim Aylen Demirö ve teze zaman ayırmamdan dolayı, oyun zamanından aldığım kızım Miraç Demirö sonsuz İşkranlarımı sunarım.

15 / 02 / 2021

İmzası

Ahmet DEMİR

## ÖZGEÇMİŞ

İlkokul, ortaokul ve liseyi İstanbul'da tamamladı.1997 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Makine mühendisliğine başladığı öğrenim hayatını 2001 yılında tamamladı.2019 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisansa başladı. Sırası ile Murat Makine San. Tic. Ltd. Şti'de servis mühendisi, Neumo Mühendislik ve Paslanmaz Çelik San.öde satıl mühendisi, Ksb Pompa Armatür San. Ve Tic. A.Ş'de endüstri segmenti satıl sorumlusu ve son olarak 2013'den beri Grundfos Pompa San. Tic. Ltd. Şti'de Ege bölgesi satıl mühendisi olarak çalışmaktadır.Evli ve bir çocuk sahibidir.

