DOĞU AZERBAYCAN BÖLGESİNDE GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF APPLICABILITY OF SOLAR PUMPING SYSTEMS FOR EAST AZERBAIJAN REGION

HAMED JAHED

PROF. DR. NECDET BAŞTÜRK
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2018

HAMED JAHED' in hazırladığı "**Doğu Azerbaycan Bölgesinde Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemlerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması**" adli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **TEMİZ TÜKENMEZ ENERJİLER ANABİLİM DALI**' nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Rahmi YAĞBASAN
Başkan .....

Prof. Dr. Necdet BAŞTÜRK
Danışman .....

Prof. Dr. Aynur Eray
Üye .....

Doç. Dr. Akın BACIOĞLU
Üye .....

Doç. Dr. Ufuk ŞAHİN
Üye .....

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

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

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

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

☐ **Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**
(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etseniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

■ **Tezimin/Raporumun 25/05/2020 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**
(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım taktirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

☐ **Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

☐ **Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

25 / 05 / 2018

HAMED JAHED

ETİK

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

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

beyan ederim.

25/05/2018

HAMED JAHED

ÖZET

DOĞU AZERBAYCAN BÖLGESİNDE GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Hamed JAHED

Yüksek Lisans, Temiz Tükenmez Enerjiler Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Necdet BAŞTÜRK

Mayıs 2018, 104 sayfa

Günümüzde çok sayıda enerji kaynağı varken enerji üretimi için fosil yakıt veya çevreye zarar verecek her hangi bir kaynağı kullanmak zorunda değiliz. Hidrojen, biokütle ve hatta nükleer gibi alternatif enerji çözümleri yetersiz ve tehlikelidir. Enerji şirketlerinin öne sürdüğü propagandanın ve kendine hizmet eden çözümlerin ötesine bakıldığında güç üretimi için çok sayıda temiz, bol ve yenilenebilir enerji kaynağı görülebilir. Güneş enerjisi toplumca iyi biliniyor ancak bu kaynakların gerçek potansiyeli açıklanmıyor. Güneşten elde edilen güneş enerjisi o kadar verimlidir ki öğle vakti gelen bir saatlik ışık tüm dünyanın bir yılda tükettiği enerjiden daha fazladır. Yani mesele alternatifsizlik değil bunu kullanacak teknolojidir.

Bu çalışmada güneş enerjili fotovoltaik (FV) su pompalama sistemleri konusunda yapılan araştırmalar ve mevcut teknolojiler gözden geçirilip, İran'ın Doğu Azerbaycan eyaletinde bulunan Tebriz ovasının iklim şartlarında bu sistemlerinin teknik olarak uygulanabilirliği incelenmiştir. Bunun için Tebriz ovasının iklim koşulları, mevcut su kuyularının karakteristikleri, yetiştirilen tarım ürünleri ve bu ürünlerin yetiştirilmesinde kullanılan su miktarı dikkate alınarak çeşitli güneş enerjili fotovoltaik sistemler tasarlanmıştır.

Bölgedeki tarımın sulama suyu miktarlarını gerçekçi bir şekilde hesaplamak için Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (Food And Agriculture Organization of the

United Nations - FAO) tarafından geliştirilen CLIMWAT ve CROPWAT programları kullanılmıştır. Güneş enerjili su pompalama sistemleri tasarımları ise Lorentz Compass programıyla modellenmiştir.

Sonuç olarak çalışma bölgesindeki tarımın sulama ihtiyaçlarını karşılayabilmek için güneş enerjili fotovoltaik su pompalama sistemleri kullanımı teknik olarak uygun bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemleri, Fotovoltaik Su Pompalama Sistemi, Fotovoltaik Pompalama Sistemi, Su Pompalama Sistemi, Fotovoltaik, Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistem, Doğu Azerbaycan, SPVWPS, SPVPS, WPS, SAPS

ABSTRACT

INVESTIGATION OF APPLICABILITY OF SOLAR PUMPING SYSTEMS FOR EAST AZERBAIJAN REGION

Hamed JAHED

Master of Science, Department of Renewable Energies

Supervisor: Prof. Dr. Necdet BAŞTÜRK

May 2018, 104 pages

Today, we do not have to use fossil fuels or any source that will contaminate the environment for energy production when there are many energy sources available. Alternative energy solutions imposed by the establishment, such as hydrogen, biomass and even nuclear are highly insufficient, dangerous, and exist only to perpetuate the profit structure the industry has created. Looking beyond the propaganda and self serving solutions that energy companies put forward, there are a number of clean, abundant and renewable sources of energy available for power generation. Solar energy is well known in society, but the real potential of these sources remains unexpressed. Solar energy, derived from the sun, has such abundance, that one hour of light at high noon contains more energy than what the entire world consumes in a year. Furthermore the issue is not the lack of alternative but the technology that will use it.

This study aims at investigating solar powered photovoltaic (PV) water pump systems and the technological feasibility of these systems in the climate conditions of the Tabriz in East Azerbaijan province of Iran.

In this regard, various solar powered photovoltaic systems are designed according to the climate conditions of the Tabriz lowland, the characteristics of the existing water wells, the cultivated agricultural products and the amount of water used in the cultivation of these products.

The CLIMWAT and CROPWAT programs that developed by the United Nations Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) were used in this study to calculate realistic amounts of irrigation water for the agriculture in the study area. Solar powered water pump systems are modeled by using Lorentz Compass program.

As a result, the use of solar photovoltaic water pumping systems has been found technically feasible to meet the irrigation needs of agriculture in the study area.

Keywords: Solar Photovoltaic Water Pumping System, Solar Water Pumping System, Photovoltaic Pumping System, Water Pumping System, Photovoltaic, Stand-Alone Photovoltaic System, East Azerbaijan, SPVWPS, SPVPS, WPS, SAPS

ANNEME;

Hayattaki öğrendiğim her şey için, sana borçluyum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
ÇİZELGELER viii
ŞEKİLLER ix
SİMGELER VE KISALTMALAR xi
1. GİRİŞ 1
1.1. Tarihçe 2
1.2. Sistemin Bileşenleri 3
1.2.1. Enerji Depolama Açısından Sınıflandırma 4
1.2.2. Elektrik Güç Girişi Baz Alınarak Sınıflandırma 6
1.2.3. Pompanın Türü Baz Alınarak Sınıflandırma 7
1.2.4. Fotovoltaik Panel / Dize Baz Alınarak Sınıflandırma 10
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 11
2.1. Farklı Sahalarda Verimlilik ve Performans Çalışmaları 11
2.2. Farklı Tip Pompalarda Verimlilik ve Performans Çalışmaları 18
2.3. Farklı Tip Panellerde Verimlilik ve Performans Çalışmaları 23
2.4. SPVWPS'lerin Optimizasyonu 26
2.5. Düşük Maliyetli Düşük Kapasiteli SPVP'larda Teknolojinin Konumu 30
3. İRANI'IN DOĞU AZERBAYCAN BÖLGESİ 32
3.1. Tez Çalışma Sahasının Sınırlandırılması 32
3.2. Tebriz'in Sınırları ve Coğrafi Özellikleri 33
3.3. Tebriz Ovasının Yer Şekilleri ve Rakımı 34
3.4. Tebriz Ovasının İklimi 35
3.5. Tebriz Ovasının Hidrografyası 36
3.6. Tebriz Ovasında Tarımın Konumu 37
4. MATERYAL VE METOT 38
4.1. Sulama Suyu İhtiyacının Hesaplaması 39
4.1.1. Geliştirilmiş Penman-Monteith Yöntemi 40
4.1.2. Penman-Monteith Yönteminin Tebriz Uygulaması 40
4.2. Lorentz Compass ile SPVWPS Tasarımı 43
5. SONUÇLAR 49
5.1. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 55

5.2. İleride Bu Alanda Yapılabilecek Çalışmalar 56
5.3. Sonuç 57
KAYNAKLAR: 58
EKLER 61
Ek-1. Tebriz CROPWAT Programı Değerleri 61
Ek-2. Tebriz'deki Bitkilerin Ay ve Yıl Bazında Günlük Ortalama Sulama Suyu Miktarı ..63
Ek-3. Modellemede Kullanılan Dalgıç Pompaların Özellikleri 72
Ek-4. Modellemede Kullanılan Poli Kristal Modüllerin Özellikleri 82
Ek-5. SPVWP Sistem Bileşenleri Veri Sayfaları.....84
Ek-6. Lorentz Compass Simülasyon Sonuçları.....92
ÖZGEÇMİŞ.....104

.

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 1 Önceki Çalışmaların verimlilik ve performans inceleme sonuçlarını 17
Çizelge 2. WEWPS ve SPVWPS ayrıntıları 18
Çizelge 3. Farklı tipteki pompaların Performans Karşılaştırması [31] 22
Çizelge 4. Boyutlandırma metodolojisi için gerekli girdi bilgileri [36] 24
Çizelge 5. Düşük kapasiteli, düşük maliyetli pompaların incelemelerinin özeti 31
Çizelge 6. Tebriz Şehrinde Tarım Alanı Dağılımı 37
Çizelge 7. Tebriz CROPWAT Programı Değerleri 41
Çizelge 8. Tebriz Bölgesindeki Yağış ve Etkili Yağış Değerleri 42
Çizelge 9. Tebriz'de Yetişen Bitkilerin Ay ve Yıl Bazında Günlük Ortalama Sulama Suyu Miktarı 43
Çizelge 10. Compass Programı Tasarım Girdi Bilgileri 47
Çizelge 11. Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi 55

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 1. Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemlerinin Sınıflandırma Grafiği 2

Şekil 2. Bataryaya Bağlı Dalgıç Pompalı Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemi [8] 5

Şekil 3. Doğrudan Sürülen Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemi Şeması [8].....5

Şekil 4. AC SPVWPS Şeması [8] 7

Şekil 5. Yüzey Montajlı SPVWPS'nin Yerleşimi [8].....8

Şekil 6. Yüzen pompa ile SPVWPS yerleşimi [8].....9

Şekil 7. Ilık bir gündeki sabit ve izleyen ışık şiddetleri (Mart 3,1996, Bushland, TX) [16]. 13

Şekil 8. Bushland TX (1996)'da dalgıç pompa ile günlük pompalanan su hacmi [16] 13

Şekil 9. Bushland TX (1996)'da sabit ve takip eden Solarjack pompa verimliliği [16].....13

Şekil 10. 640W ve 480W gücündeki iki fotovoltaik dizelerinin 50, 75 ve 100m pompalama derinliklerinde sistem verimliliği [28]. 18

Şekil 11. 640W ve 480W gücündeki iki fotovoltaik dizelerinin üç farklı pompalama derinliği için ölçülen akış hızı [28].....19

Şekil 12. 480W gücündeki iki fotovoltaik dizesinin üç farklı pompalama derinliği için günlük su hacmi (Bushland TX) [28]. 19

Şekil 13. 640W gücündeki iki fotovoltaik dizesinin üç farklı pompalama derinliği için günlük su hacmi (Bushland TX) [28]. 19

Şekil 14. 4,5kWp sistemi için yapılmış birim hacim başına su maliyeti, fotovoltaik ve dizel su pompalama sistemlerinin basma yüksekliği fonksiyonu olarak günlük su çıktısı [29] ...20

Şekil 15. Satış fiyatlarının fonksiyonu olarak mevcut fiyatlar [29].....21

Şekil 16. 30 metrelik manometrik yüksekliğinde pompa verimliliği [30] 21

Şekil 17. 70 metrelik manometrik yüksekliğindeki debisi [30] 21

Şekil 18. Diyafram pompalarının pompalama eğrileri [30] 22

Şekil 19. Güneş enerjili pompaların teknik-ekonomik analizinin yaklaşımı [33].....23

Şekil 20. Fotovoltaik Panel Boyutunun Belirlenmesi için Bir Yöntem [37] 24

Şekil 21. Sahada ölçülen, laboratuvarda ölçülen ve simüle edilen su debisinin fotovoltaik dize gücüne fonksiyonu olarak grafiği [29].....25

Şekil 22. Fotovoltaik dizelerin, sistem ve alt sistemlerin yıllık ortalama verimliliklerinin fotovoltaik dizenin gücüyle olan değişimi [29].....26

Şekil 23. Yıllık ortalama su hacmi ve birim hacim su maliyetinin fotovoltaik dize gücü fonksiyonu olarak değişimi [29].....26

Şekil 24. PV pompa sistemin tasarımındaki Etkenler [39] 27

Şekil 25. Mevcut motor-pompa modelinden ve üreticinin veri sayfası bilgilerinden elde edilen güneş enerjili su pompası karakteristiği karşılaştırması [42].....28

Şekil 26. Mevcut yöntemle ve PVCAD yazılımı kullanılarak elde edilen 16 Eylül 2002 günü için su debisi [42] 29

Şekil 27. İran'ın Doğu Azerbaycan eyaleti 32

Şekil 28. Doğu Azerbaycan'ın fiziki haritası.....33

Şekil 29. Tebriz Şehri ve Çevresi Yükselti Basamakları Haritası [52] 34
Şekil 30. Tebriz Ovasında Ortalama sıcaklık ve yağış [53] 35
Şekil 31. Tebriz Ovasının Hidrografyası 1991-2016 (1370-1395 Hicri Şemsi Takvimi) [54] 36
Şekil 32. Lorentz Compass Programı 38
Şekil 33. Compass Programı Başlangıç Sayfası 44
Şekil 34. SPVWPS Yerleşim Diyagramı 45
Şekil 35. Compass Programının Veri Giriş Sayfası 46
Şekil 36. Compass Programı Simülasyon Sonucu Sayfası 47
Şekil 37. SPVWP Sistem Bileşenleri 48
Şekil 38. Buğday-H20m Bağlantı Şeması 49
Şekil 39. Buğday-H20m Mayıs Ayı Çıktısı ve Kablo Kayıpları Yüzdesi 49
Şekil 40. Buğday-H35m Bağlantı Şeması 50
Şekil 41. Buğday-H35m Mayıs Ayı Saatlik Çıktısı 50
Şekil 42. Buğday-H50m Bağlantı Şeması 51
Şekil 43. Buğday-H50m Mayıs Ayı Saatlik Çıktısı 51
Şekil 44. Patates-H20m Bağlantı Şeması 52
Şekil 45. Patates-H20m Temmuz Ayı Saatlik Çıktısı 52
Şekil 46. Patates-H35m Bağlantı Şeması 53
Şekil 47. Patates-H35m Temmuz Ayı Saatlik Çıktısı ve Kablo Kayıpları Yüzdesi 53
Şekil 48. Patates-H50m Bağlantı Şeması 54
Şekil 49. Patates-H50m Temmuz Ayı Saatlik Çıktısı ve Kablo Kayıpları Yüzdesi 54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

AC	Alternatif Akım (Alternating Current)
ASM	Asenkron motor (Asynchronous Motor)
BLDC	Fırçasız Doğru Akım (Brushless Direct Current)
CP	Santrifüj Pompa (Centrifugal Pump)
DC	Doğru Akım (Direct Current)
DOD	Deşarj Derinliği (Depth of Discharge)
DSP	Dişli Kutulu Şaftlı Pompa (Divided Shaft Pump)
EAC	Yıllık Eşdeğer Maliyeti (Equivalent Annualized Cost)
EU	Avrupa Birliği *(European Union)*
FEMM	Manyetik Sonlu Eleman Yöntemi (Finite Element Method Magnetics)
GI	Galvanizli Demir (Galvanized Iron)
HP	Beygir Gücü *(Horse Power)*
IM	İndüksiyon Motor - Asenkron motor (Induction Motor)
IRR	Iç Karlılık Oranı (Internal rate of return)
kW_P	Kilovat Pik (Peak kilowatt)
LLP	Yük Kaybı Olasılığı (Loss of Load Probability)
LCC	Ömür Boyu Maliyeti (Life Cycle Cost)
LOEP	Loss of Energy Probability
LWC	Seviyelendirilmiş Su Pompalama Maliyeti (Levelised Cost of Water Pumping)
MHP	Orta Basma Yükseklikte Pompa (Moderate Head Pump)
MLPT	Minimum Kayıp Noktası Takibi (Minimum Losses Point Tracking)
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takibi (Maximum Power Point Tracking)
NOCT	Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı *(*Nominal Operation Cell Temperature)
NPV	Güncel Net Değer (Net Present Value)
PDP	Pozitif Deplasmanlı Pompa (Positive Displacement Pump)
PMBLDC	Sürekli Mıknatıslı Fırçasız Doğru Akım (Permanent Magnet Brushless Direct Current)
PMDC	Doğal Mıknatıslı Doğru Akım (Permanent Magnet Direct Current)
PMSM	Doğal Mıknatıslı Senkron Motor (Permanent Magnet Synchronous Motor)
PTS	Pasif İzleme Sistemi (Passive Tracking System)
PV	Fotovoltaik (Photovoltaic)
PVPS	Fotovoltaik Pompalama Sistemi (Photovoltaic Pumping System)
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
RFCP	Radyal Akımlı Santrifüj Pompa (Radial Flow Centrifugal Pump)

RMS Etkin Değer (Root Mean Square)

SAPS Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistem (Stand-Alone Photovoltaic System)

SPVS Güneş Enerjili Fotovoltaik Sistem (Solar Photovoltaic System)

SPWS Güneş Enerjili Su Pompaları (Solar Powered Water Pumps)

SPWPS Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemi (Solar Powered Water Pumps System)

SPVWPS Güneş Enerjili Fotovoltaik Su Pompalama Sistemi (Solar Photovoltaic Water Pumping System)

TDH Toplam Basma Yüksekliği (Total Dynamic Head)

WEWPS Rüzgar Enerjili Su Pompalama Sistemi (Wind Energy Water Pumping System)

WPS Su Pompalama Sistemi (Water Pumping System)

Simgeler

B_c Batarya Tip Katsayısı

d İndirim Oranı

f Frekans

g Genel Enflasyon Oranı

$\bar{H}$ Yatay Bir Alan Üzerindeki Aylık Ortalama Güneşlenme

I Akım

$\bar{L}i$ Saatlik yük bilgisinin aylık ortalaması

N_A Ortalama Batarya Ömrü

R_S Seri Direnç

R_{Sh} Şönt Direnç

$(T\alpha)$ Aylık Ortalama Çevre Sıcaklığı

W Vat

W_P Vat Tepe Değeri

Y Ekonomik Değerlendirme Süresi

Φ Enlem

β Hücre Verimliliği İçin Sıcaklık Katsayısı

η_d Yaşlanma Faktörü

η_{VR} Gerilim Regülatörü Verimliliği

η_c Kablolama Verimliliği

η_T Maksimum Güç Noktası Takibi Verimliliği

η_w Fotovoltaik Dize Verimliliği

η_B Ortalama enerji verimliliği

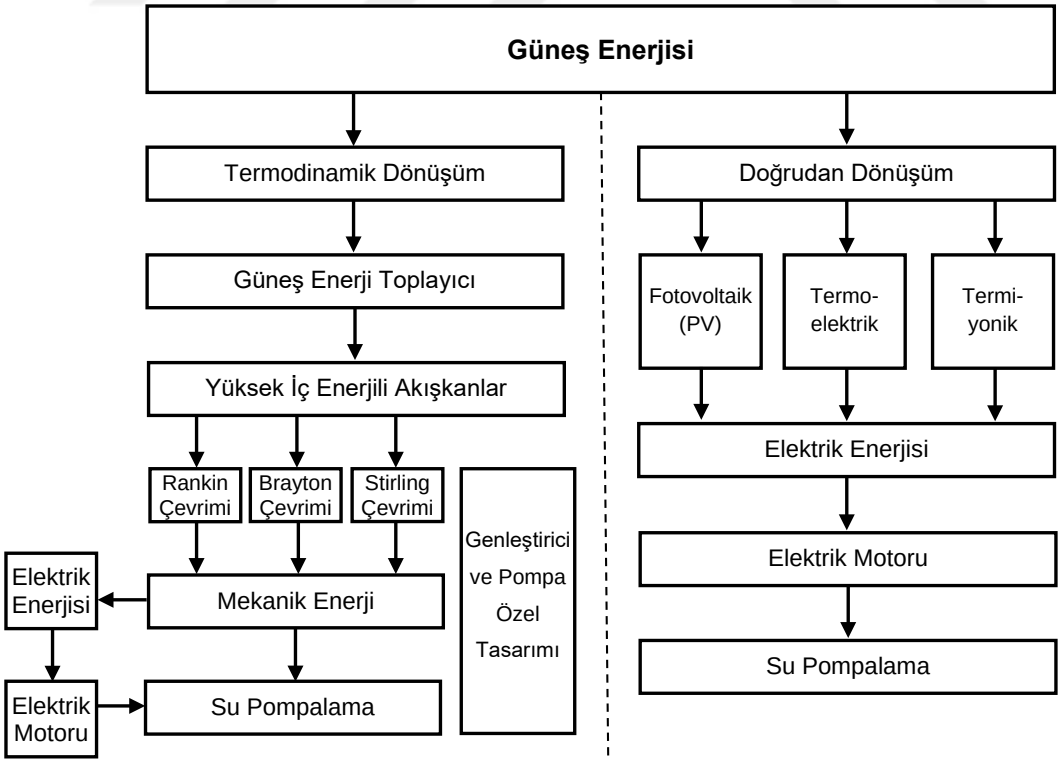
1. GİRİŞ

Günümüzde, su pompalarına güç sağlamak için güneş enerjisinin kullanımı beraberinde bazı teknolojik sorunlar doğurmuştur. Ancak güneş enerjisi ile çalışan pompalar fosil yakıtlarla çalışan konvansiyonel su pompalarına göre çevresel açıdan daha uygundurlar. Bunun yanında, petrol rezervlerinin sürekli olarak azalması, İran gibi gelişmekte olan ülkelerin önemli kaygılarından biri olan elektriğin dengesiz dağılımı ve sürekli artan maliyeti, solar fotovoltaik enerjinin su pompalarında kullanımının önemini arttırmıştır. Dünyada şebekeden uzak yerlerdeki ev, hayvancılık ve tarım su ihtiyaçları, güneş enerjili su pompalama sistemleri (Solar Photovoltaic Water Pumping System - SPVWPS) tarafından sağlanması, güvenilirlik ve performans açısından ciddi kabul görmüştür. SPVWPS kurulumlarının, elektrik şebekesi olmayan fakat bol miktarda güneş enerjisinin müsait olduğu ve enerji nakil hatlarının yeterince iyi olmadığı alanlar için çok fazla avantajları vardır. Bu avantajlara ek olarak, bu sistemler karlı ve buzlu ağır hava koşullarına dayanabilirler [1]. Ayrıca, su pompalama gereksinimiyle güneş enerjisinin potansiyeli arasında doğal bir bağlantı olduğu için, güneş enerjili fotovoltaik gücün su pompalama sistemlerinde kullanılması en uygun seçenektir [2]. Bu tezde fotovoltaik su pompalama sistemleri yerine güneş enerjili su pompalama sistemleri veya SPVWPS denilmiştir.

SPVWPS, mekanik, elektrik ve elektronik bileşenler olarak gruplandırılabilecek birçok farklı bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenlerin çok farklı yapıları, çalışma ve performans karakteristikleri vardır. Bu farklı bileşenlerin SPVWPS gibi bir sistem oluşturmak için entegrasyonu ve senkronizasyonu işleyişte zorluklar oluşturur ve bu da sistemde genel olarak düşük performansa sebebiyet verir. Bunun yanında, sistemdeki komplike ve disiplinler arası teknolojinin varlığı, sistemin işleyişi ve bakımı için çeşitli teknik uzmanlıklar gerektirir. SPVWPS gibi bir sistemin bütünleşmiş ve komplike olmasının yanı sıra, su pompalama yöntemi olarak seçilmesinin bir diğer kıstası da maliyetidir. Yukarıda söz edilen unsurlar, dünyanın dört bir yanından ve tüm mühendislik alanlarından araştırmacıları, SPVWPS'nin daha verimli, uygun maliyetli ve basit bir yapıda su pompalama sistemine katkıda bulunmak üzere harekete geçirmiştir. Bu araştırma alanı, SPVWPS'yi popüler ve verimli bir su pompalama yöntemi yapacak özgün bir çalışma ortaya koymak için geniş bir kapsama ve imkana sahiptir.

1.1. Tarihçe

Mekanik enerji veya elektrik enerjisi kullanılarak su pompalamanın tarihi 15.-19. yüzyıllar arasına kadar uzanmaktadır. Güneş enerjili fotovoltaik (PV) pompanın ilk örneği 1964 yılında Sovyetler Birliğinde görülmüştür. Fakat su pompalama sistemlerinin debisi ve basma yüksekliği küçüktü, buna rağmen bu çalışmalar ileride geliştirilecek olan güneş odaklı su pompalama sistemlerinin dönüm noktasıydı [3]. İlk büyük ölçekli fotovoltaik pompalama sistemi ise 1977 yılında Mead, Nebraska'da deney bazlı kurulmuştur. Sistemin su pompalama kapasitesi dakikada 3,8 m^3 idi ve günde sadece 12 saat çalışabiliyordu. Yine benzer bir çalışmada, Bahadori [4] su pompalarında kullanılmak üzere güneş enerjisinin mekanik ya da elektrik enerjisine çevrilmesinin farklı yöntemlerini incelenmiştir. Bahadori bu yöntemleri iki geniş kategoride, termodinamik ve doğrudan dönüşüm olarak sınıflandırılmıştır. Bu detaylı sınıflandırma Şekil 1 içerisinde verilmiştir. Doğrudan dönüşüm yöntemi, güneş enerjisini doğrudan pompayı sürecek olan DC/AC motorlarını besleyecek elektrik enerjisine çevirir. Yazara göre termodinamik dönüşümü kullanan yöntemler, doğrudan dönüşüm yöntemlerine göre ucuz olsa da, fazlasıyla bakım gerektiren düşük verimli yöntemlerdir.



Şekil 1. Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemlerinin Sınıflandırma Grafiği

Ward ve Dunford [5], güneş enerjili su pompalarının Zimbabwe'nin meteorolojik koşulları altında teknolojik ve ekonomik fizibilitesini ve performansını inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Raporlarında kademeli pompaların en ekonomik ve verimli pompa türü olduğunu belirtmişlerdir.

Mankbadi ve Ayad [6] tarafından yapılan benzer bir çalışmada ise, çeşitli türlerdeki güneş enerjili su pompalama sistemlerinin Mısır'ın meteorolojik koşulları altında teknolojik uygulanabilirliği incelenmiştir. Ayrıca, çalışma prensibine bağlı olarak, SPWPS'ler, solar fotovoltaik, solar termal ve diğer solar su pompalama yöntemleri olarak sınıflandırılmıştır.

Güneş enerjili su pompalama sistemlerinin detaylı tasarım talimatları ise Chowdhury ve diğerleri [7] tarafından ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Çalışmalarında, farklı kapasitelere sahip beş farklı SPVWPS, Wyoming - ABD'de beş farklı bölgede kullanılmak üzere tasarlanmıştır. İki yıl boyunca detaylı performans ve güvenilirlik çalışmaları yapıldıktan sonra, fotovoltaik gücün uzak bölgeler için en uygun maliyetli seçenek olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, fotovoltaik sistemlerinin çalışma performanslarının çok iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Herhangi bir sistem arızası, kuyuların çökmesi ve/veya kuvvetli rüzgar ile ilişkilendirilebilir ancak bu parametrelerin PV sistemiyle ilgili olmadığı belirtilmiştir.

70-80'li yıllardaki araştırma ve incelemelere baktığımızda, güneş enerjili su pompalama sistemlerinde temel olarak termodinamik dönüşümüne ağırlıklı olarak odaklanılmıştır. Bu tarihlerdeki çalışmalardan ve incelemelerden ancak birkaç tanesinde, doğrudan dönüşüm sınıfında, su pompalama enerji kaynağı olarak fotovoltaik teknolojisi rapor edilmiştir.

1.2. Sistemin Bileşenleri

Güneş enerjili su pompalama sistemleri, fotovoltaik panel, dizi ve dize, pompa/motor, pompa kontrolörü, şarj kontrolörü, akü, evirici, taşıyıcı konstrüksiyonu, kablolama ve boru tesisatı, depolama tankı, şamandıralı anahtar, basınç anahtarı, düşük su seviyesi sensoru ve güvenlik çiti bileşenlerinden oluşmaktadır.

Sistemin bileşenlerine bağlı olarak güneş enerjili su pompalama sistemleri

- Enerji depolama türü baz alınarak bataryaya bağlı veya doğrudan bağlı sistemleri
- Elektrik güç girişi baz alınarak DC SPVWPS 'i veya AC SPVWPS 'i
- Pompanın türü baz alınarak yüzey pompaları veya derin kuyu pompaları
- FV panel/dize baz alınarak sabit FV panelleri/dizeleri veya güneşi izleyen FV panelleri/dizeleri

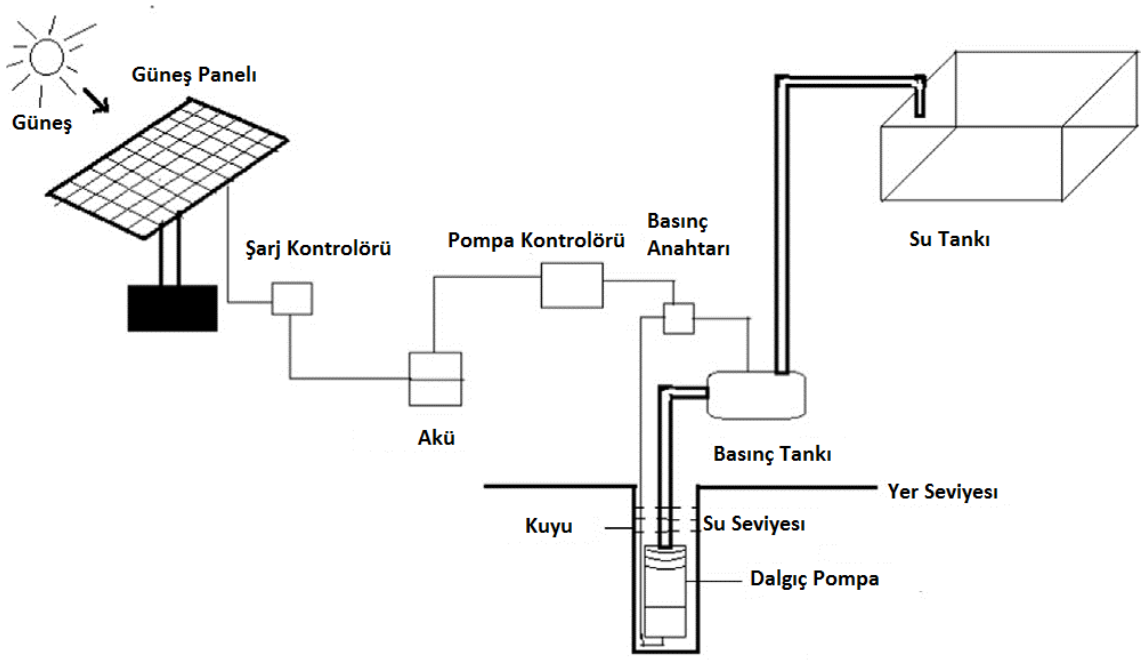
olarak sınıflandırılabilmektedir. Tüm bu konfigürasyonların birbirlerine göre getirileri ya da götürüleri vardır. Belirli bir uygulama için en uygun sistemi seçmek çeşitli unsurlara bağlıdır.

1.2.1. Enerji Depolama Açısından Sınıflandırma

Güneş enerjili su pompalama sisteminde üretilen elektriğin bir pil ya da şarj ünitesinde depolanmasına ya da doğrudan pompayı sürmek üzere kullanılmasına göre sınıflandırılmaktadır.

1.2.1.1. Bataryaya Bağlı

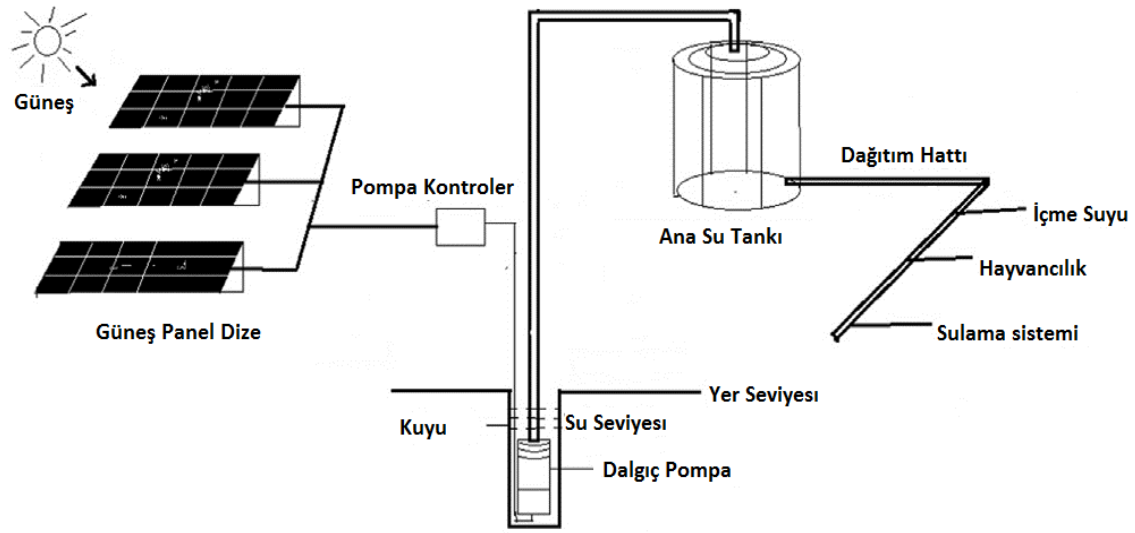
Bataryaya bağlı SPVWPS Şekil 2 'de gösterildiği gibi FV panel, şarj kontrolörü, aküler, pompa kontrolörü, basınç anahtarı, depolama tankı ve doğru akım (DC) su pompasından oluşmaktadır. Gün içerisinde, FV paneller solar enerjiyi elektrik enerjisine çevirerek bataryaları şarj ederler. Bu bataryalar, ihtiyaç olduğunda su pompalayacak pompayı enerjilendirirler ve böylece su pompalama süresini arttırır, bulutlu günlerde ve hatta geceleri de su pompalamayı mümkün hale getirirler. Sıcaklığa ve bataryaların şarj olmalarına bağlı olarak sağladıkları gerilim FV panellerin maksimum güneş ışığı koşullarında sağladıkları gerilimin altında olabilirler. Ayrıca batarya kullanımı sistemin maliyetini ve karmaşıklığını da arttırıp, fotovoltaik panellerin geriliminden farklı bir çalışma gerilimini gerektireceğinden, sistemin verimliliğinin düşmesine yol açmaktadır. Bu yüzden, güneş enerjili su pompalama sistemleri uygulamalarında batarya kullanımı önerilen bir uygulama değildir [8].



Şekil 2. Bataryaya Bağlı Dalgıç Pompalı Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemi [8]

1.2.1.2. Doğrudan Bağlı

Doğrudan sürülen güneş enerjili su pompalama sistemi Şekil 3.'te gösterilmiştir. Fotovoltaik modüllerden üretilen elektrik doğrudan pompaya verilir ve pompa su pompalamak için kullanır. Bu sistemde yedekte bekletilen enerji olmadığı için, sistem sadece gün içerisinde güneş enerjisi mevcut olduğu sürece çalışabilir. Gün içerisinde panel yüzeyine gelen ışınım pompalanacak olan suyun miktarını belirler.



Şekil 3. Doğrudan Sürülen Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemi Şeması [8]

Doğrudan bağlı sistemin bataryaya bağlı SPVWPS‘e göre en büyük avantajları, batarya kullanılmaması, basit yapısı ve bunların da sonucu olarak uygun maliyetli olmasıdır. Buna karşılık, batarya olmadığı için gece su pompalamakta kullanılamazlar. Fotovoltaik panel yüzeyine gelen ışınımın yoğunluğu ve açısı gün içerisinde değişmektedir. Bu yüzden, pompalanan su miktarı da gün içerisinde değişmektedir. Bu tür SPVWPS’ler bulutsuz günlerin öğlen saatlerinde %100 ya da buna yakın bir verimlilikte çalışabilmekteler. Ancak sabah (7:30-9:30) ve öğleden sonra (16-17:30), pompalama sistemin verimliliği düştüğü için, pompalanan suyun hacmi de azalmaktadır. Bulutlu günlerde ise verimlilik çok daha fazla düşecektir.

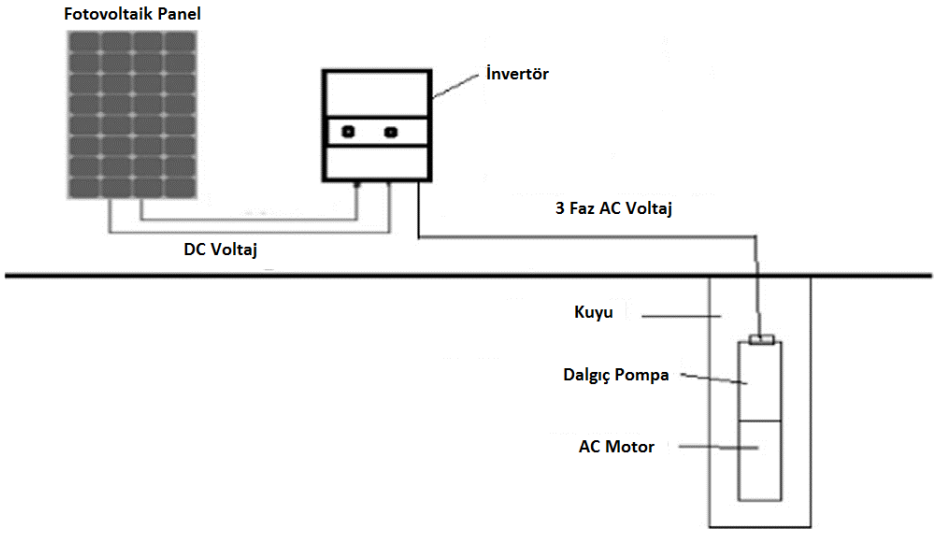
Farklı ışık koşullarında, SPVWPS’yi verimli çalıştırmak için ve suyun akış hızındaki bu dalgalanmaları telafi etmek için pompanın ve FV modüllerin uygun eşleştirilmesi gerekmektedir. Bulutlu günlerde ve gece saatlerinde suyun pompalanmaması, gereken SPVWPS’den daha büyük bir tasarım ile telafi edilebilir. Güneşli günlerdeki fazladan pompalanmış su, büyük su tanklarında depolanabilir ve buradan da yer çekimi sayesinde gerektiği zaman daha küçük tanklara aktarılabilir. Ancak, su depolama tankının büyüklüğü depolama maliyetini kontrol etmek için optimize edilebilir. Genelde İki ila beş günlük su, saklama için yeterlidir.

1.2.2. Elektrik Güç Girişi Baz Alınarak Sınıflandırma

Fotovoltaik Paneller tarafından üretilen akım doğru akımdır (DC). Bu akım, bir evirici yardımıyla alternatif akıma (AC) çevrilebilir. Buna bağlı olarak, SPVWP sistemleri doğru akım (DC) ya da alternatif akım (AC) sistemler olarak sınıflandırılabilir.

1.2.2.1. AC SPVWPS

Alternatif akım (AC) su pompalama sistemleri, Şekil 4.’te gösterildiği gibi AC motorla sürülen pompa setlerinden oluşur. Fotovoltaik paneller doğru akım ürettiğinden dolayı, doğru akımı alternatif akıma çevirmek için uygun bir eviriciye ihtiyaç duyarlar. Fakat kullanılan bu evirici, sistemin genel verimliliğini düşürür. AC pompalama sisteminin en büyük faydası ise, gece saatlerinde ya da bulutlu günlerde fotovoltaik gücün olmadığı zamanlarda şebeke veya jeneratörden beslenerek çalışabilmesidir. İndüksiyon ya da senkron AC motorlar, pompayı çalıştırmak için kullanılabilir.



Şekil 4. AC SPVWPS Şeması [8]

1.2.2.2. DC SPVWPS

Bu tür SPVWPS'lerde, doğru akım ile sürülen motorların kullanıldığı pompalar bulunmaktadır. Doğru akım motorlar iki çeşittir, fırçalı tip konvansiyonel DC motorlar ve fırçasız tip DC motorlar (Brushless Direct Current - BLDC). Konvansiyonel DC motor, fotovoltaik dizilerden motorun şaftına elektriği transfer ederken karbon fırçalar kullanırlar. Bu fırçalar zamanla aşınacağı için sürekli değiştirilmeleri gerekir. Bu da bu motorların işletme ve bakım maliyetlerini arttırır. Fırçasız tip DC motorlar elektronik komütatörleriyle birlikte kendiliğinden senkron makinelerdir. BLDC motor şaftına fotovoltaik panellerin gücünü transfer etmek için manyetik tetikleme prensibi kullanılır.

Sürekli mıknatıslı ve fırçasız DC motorlu dalgıç pompalar (Permanent Magnet Brushless Direct Current - PMBLDC), fırça içermediğinden, yüksek verimlilikleri, sessiz çalışmaları, kompakt boyutları ve düşük bakım gereksinimleri nedeniyle SPVWPS türleri arasında en popüler seçenektirler. DC su pompalama sistemleri, bataryaya bağlı ya da doğrudan sürülen konfigürasyonlarda kurulabilirler.

1.2.3. Pompanın Türü Baz Alınarak Sınıflandırma

Kurulum yapılacak yerin su seviyesi ve pompanın konumuna göre, pompalar yüzey ya da derin kuyu dalgıç tipi olarak sınıflandırılır.

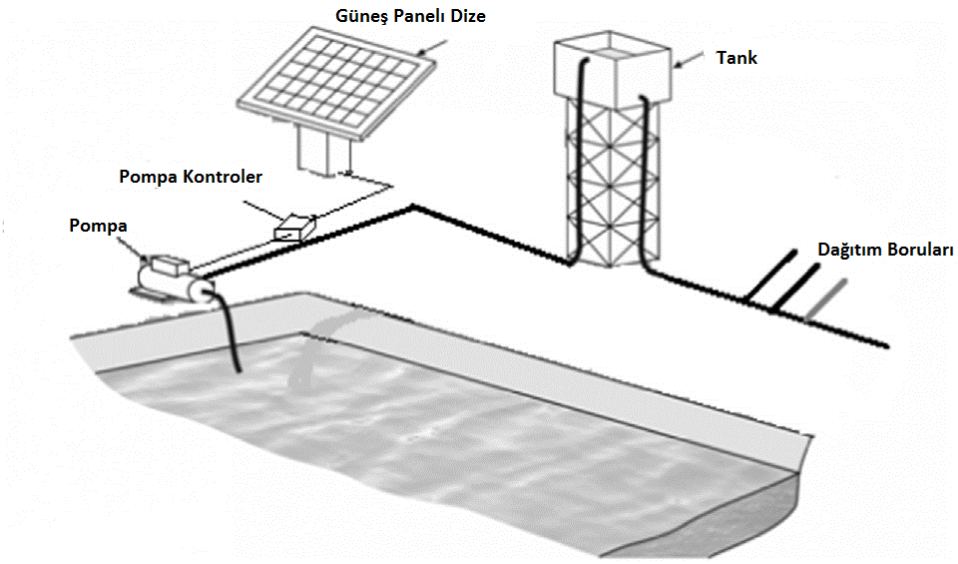
1.2.3.1. Yüzey Pompaları

Yüzey Montajlı Doğru Akım/Alternatif Akım motor pompa suyun yüzeyine yakın yerlerde kullanılır ve suyu boru vasıtasıyla taşırlar. Bazı yüzey montajlı pompalar çok büyük basma yüksekliği değerine sahiptirler ve özellikle yüksek ya da uzun

mesafelere su taşımak için uygundurlar. Bu pompalar, dalgıç tipi pompaların erişebileceği mesafelerle karşılaştırıldığında, emme güçleri kısıtlı oldukları için genellikle derin kuyularda tercih edilmezler.

Shurflow [9], Gaiam [10] ve Dankoff [11] gibi üreticilerden alınan özelliklere göre, güneş enerjili yüzey tipi pompaların emme-basma yükseklikleri 3 metre ile 6 metre arasındadır. Kuyulardan su çekme miktarının değişken olduğu ve su seviyesinin dinamikliğinden dolayı bu pompa türlerinde mekanik problemlere ve arızalara daha fazla rastlanır. Ayrıca yüzey tipi pompalar sert iklim koşullarına daha fazla maruz kaldıklarından, donlara ve sert hava koşullarına karşı daha savunmasızdırlar.

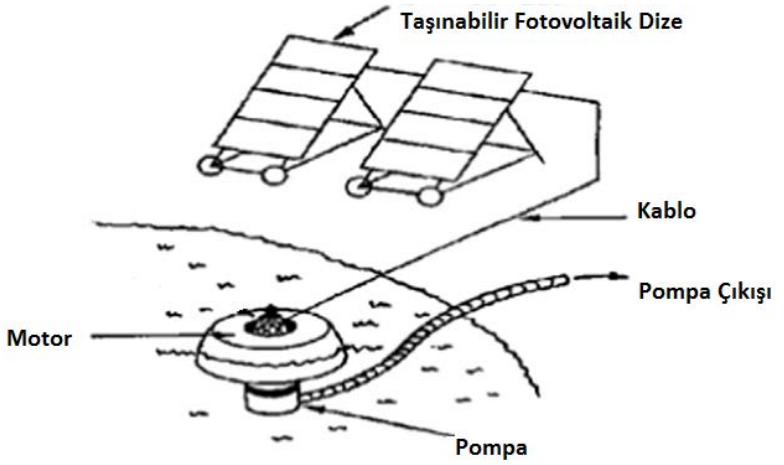
Bu pompa türlerinde pompanın yanmaması için başlatıcı akışkan (su) gereksinimi vardır. Bu suyun olmaması durumunda, motor yüksüz olarak (no-load) çalışır ve koruma devresi olmadığı takdirde, motorun yanması kaçınılmaz olacaktır. Yüzey montajlı pompalarda kovuklaşma yaygın bir sorundur. Şaft rulmanlarındaki güç kaybından kaynaklanan düşük verimlilik ve yüksek izolasyon maliyeti, yüzey montajlı pompanın diğer önemli dezavantajlarındandır. Şekil 5.'te yüzey montajlı SPVWPS'nin yerleşimi görülmektedir.



Şekil 5. Yüzey Montajlı SPVWPS'nin Yerleşimi [8]

Çok fonksiyonlu yüzey montajlı yüzen üniteler Şekil 6.'de gösterildiği gibi kanallardan ve açık kuyulardan sulanan sulama pompaları için ideal bir çözümdür. Bu tür pompalar yüksekliklerini ayarlama yetenekleri sayesinde su depolarından su çekerler. Bu tür SPVWPS'lerde, pompa seti kolaylıkla taşınabilir ve sulama pompasının susuz çalışma ihtimali neredeyse yoktur.

En çok kullanılan türlerinde motor olarak fırçasız tipte (elektronik olarak yönünü değiştiren) DC motorları kullanılır. Bu tarz sistemlerde FV paneller genellikle taşınabilir şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 6. Yüzen pompa ile SPVWPS yerleşimi [8]

1.2.3.2. Derin kuyu pompaları

Derin kuyu pompa setleri, toprak yüzeyinin altında çalışmak için tasarlanmıştır. Bu pompalar, sıvı içerisine daldırılmadan çalıştırılamazlar. Derin kuyu pompaları, yüzeyden su emen yüzey montajlı pompa sistemlerinin aksine, yüzeye su çıkarmak için tasarlanmıştır. Tipik bir derin kuyu pompası 60-120 santimetre uzunluğunda ve 7-13 santimetre çapındadır. Bu tür pompalar, ana gövdeye entegre edilerek, hava geçirmeyen bir motor içerir. Motoru süren çark ise tek bir şaft üzerine monte edilmiştir. Ünitenin geri kalanı ise motora bağlı bir kablo ve suyu yüzeye depolama tankına ileten boru hattından oluşur. Bu pompa türü kasaba ve şehir su kaynakları için kullanılan en yaygın tipteki güneş enerjili pompadır. Bu konfigürasyonun faydaları ise kolay kurulumu, esnek boru çalışması ve iklimsel olarak pompayı etkileyecek potansiyel tehlikeleri önleyecek olan suyun içine daldırılmış olmalarıdır.

Sulama pompa seti için hem alternatif akım hem de doğru akım motorlar kullanılabilir fakat alternatif akım uygulamaları için eviriciye ihtiyaç duyulur. Derin kuyularda dalgıç tipi pompalar iklim koşullarından daha az etkilenirler ve başlatıcı su olarak yeraltı suyunu kullanırlar. Güneş enerjisi uygulamaları için tasarlanan dalgıç tipi pompaların çoğu %40 ile %70 arasında verimliliğe sahiptirler [8].

1.2.4. Fotovoltaik Panel / Dize Baz Alınarak Sınıflandırma

SPVWPS'ler, fotovoltaik panellerin ve dizelerin enerji kaynağını (güneşi), gün boyunca izleyip izlenmemesine bağlı olarak sınıflandırılmıştır.

1.2.4.1. Sabit Solar Fotovoltaik Paneller/Dizeler

Sabit montajlı SPVWPS uygulamaların fotovoltaik panelleri, belirli bir açıda eğimli bir şekilde sabit bir metal yapı üzerine monte edilir. Yıllık ortalama enerji üretimi baz alındığında, optimum eğim açısı pompalama yerleşimin enlem açısına eşit alınır. Bu tarz sabit montajlı sistemlerin maliyeti, hareketli güneş izleme sistemlere göre çok daha düşüktür fakat sabit montajlı sistemlerinin su pompalama performansını arttırmak için eğim açısı en çok su pompalama ihtiyacı olacak aya göre ayarlanmalıdır. Örneğin yaz aylarında maksimum performans baz alınarak eğim açısı 15-20 dereceye sabitlenir [8].

1.2.4.2. Güneşi İzleyen Fotovoltaik Paneller/Dizeler

SPVWPS uygulamalarının performansını arttırmak için güneşi takip eden sistemler kullanılabilir. Elle kumanda edilen, pasif ve otomatik olarak adlandırılan üç farklı güneş izleme sistemi uygulanabilir. Fotovoltaik modüller, modüllerin ağırlığına, bölgesel kar yüküne ve saatte 150 kilometre hızı bulabilecek rüzgar hızına dayanacak şekilde yeterince güçlü aynı zamanda uygun bir tasarımla bir metal yapıya monte edilir. Güneşi izleyen güneş enerjili su pompalama sistemlerinde kullanılan destek mekanizması genelde sıcak daldırma galvanizli çeliktir. Bu destek mekanizmasıyla sunulan olanaklar:

- Sezona göre eğim açısının ayarlaması (Güney Kuzey - Tek Eksen)
- Gün boyunca azimut açısının ayarlanması (Doğu Batı – Tek Eksen)
- Gün boyunca güneşi takip edilmesi (Çift Eksen)

Solar panel montajı için kullanılan galvanizli çelik yapılar yıl boyunca en uygun eğim açısını elle kumanda ederek ya da otomatik olarak ayarlayacak şekilde tasarlanabilmektedir. Bunun basit bir örneği gün içerisinde üç defa elle kumanda ederek güneşe dönük olacak optimum açıyı ayarlamak olabilir. Bu ayarlama, FV panel yüzeyine gelen güneş ışınımını önemli derecede arttırmak için sabah, öğleyin ve öğleden sonra yapılabilir. Bu provizyon sayesinde, motor günün başlangıç saatlerinden öğleden sonraya kadar verimli bir şekilde çalışabilir ve bunu yaparken de pompa sisteminin toplam çıkışını %25 ile %50 arasında arttırır [8].

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

SPVWPS uygulamalarının disiplinler arası bütünleşik yapısı sayesinde, birçok farklı mühendislik alanlarından araştırmacılar bu alanı daha verimli, uygun maliyetli ve bakıma ihtiyacı olmayacak hale getirmek için katkılarda bulunmuşlardır. Bunları göz önüne alarak, SPVWPS ile alakalı detaylı literatür çalışmaları aşağıdaki kısımlarda sınıflandırılmış ve ele alınmıştır.

2.1. Farklı Sahalarda Verimlilik ve Performans Çalışmaları

Hamza ve Taha [12] Sudanın şebekeden uzak alanlara sulama ve içme suyu ihtiyacını karşılamak için, SPVWPS'nin saha testlerini yapmışlardır. 3 farklı noktaya, 3 tane Grundfos SP4-8 dalgıç tipi pompa kurup, yerel iklim şartlarında, uzun zamanlı ve kısa zamanlı çalışma koşulları altında performans analizleri yapmışlardır. Kısa zamanlı testler, her pompanın gün içerisindeki karakteristik eğrilerini bulmak amacıyla yapmıştır. Sistemin farklı güneş ışınımlar altındaki verimliliği ve pompayı başlatabilmek için gereken minimum ışınım değeri tahmin edilmiştir. Uzun zamanlı testlerde ise günlük toplam güneş ışınımı ve pompanın günlük hacimsel debisi ölçülmüştür. Çalışmaya göre pompanın çalışma performansını tüm parametreler arasında en çok panel üzerine düşen güneş ışınımı etkilemiştir. Pompaların gerçek performansları ise üreticinin beyan ettiği değer göre %10 ile %25 arasında daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Reshef ve diğerleri, Kuzey Queensland – Avustralya'daki James Cook Üniversitesi'nde deneylerle ve bilgisayar modellemesiyle SPVWPS'nin verimliliğini ve performansını incelemişlerdir. Bunu yaparken fotovoltaik dizi, bir adet MPPT ve bir adet üç kademeli Grundfos CR2-30 doğal mıknatıslı DC motoruyla sürülen santrifüj pompa kullanmışlardır. Raporlarında, Maksimum Güç Noktası Takibini gerçekleştirerek FV panel dizisinin büyüklüğünü optimize ettiğini ve sistemin genel verimliliğini arttırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca, optimum performans için yük karakteristiğinin ve FV dizisi boyutunun doğru bir şekilde eşleşmeli olduğunu da vurgulamışlardır [13].

Yahya ve Sambo Nijerya'daki Usmanu Danfodiyo Üniversitesi'nde konvansiyonel alternatif akım pompaların SPVWPS ile değiştirmesinin tasarımını ve testini yapmışlardır. Çalışmalarında, üç fazlı 1,5 beygir gücündeki indüksiyon motoruyla sürülen dalgıç tipi pompa ve seri olarak bağlanmış 28 adet 60 Wp FV modül

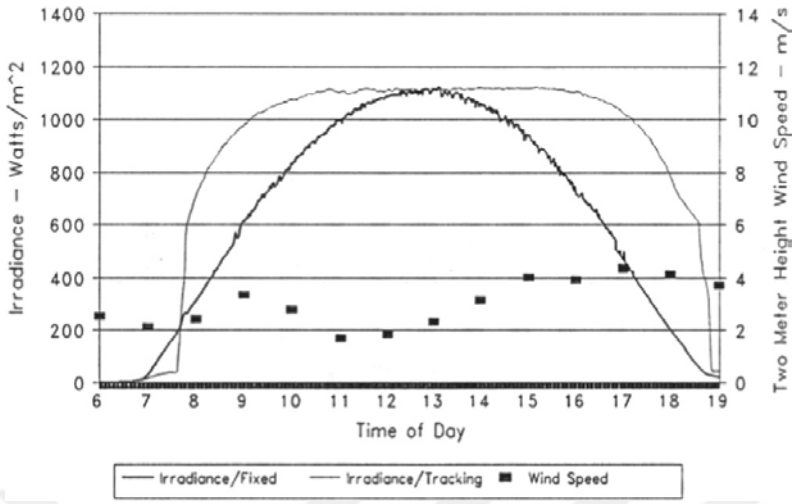
kullanılmıştır. Raporlarında, SPVWPS'nin başarılı bir performans için günlük 20m^3 su ihtiyacını karşılaması gerektiğini belirtmişlerdir [14].

Posorski [15] ve GTZ Almanya, Arjantin, Brezilya, Endonezya, Ürdün, Filipinler, Tunus ve Zimbabve'de "Fotovoltaik Su Pompalarının saha testleri için uluslararası bir program" adında bir deneme projesine başlamışlardır. Seçili alanlardaki insanlara içilebilir su sağlamak için 90 adet 180Wp gücünde güneş enerjili su pompalama sistemi kurulmuştur. Bu proje, güneş enerjili su pompalama sisteminin çalışma koşulları altındaki yeterliliğini, teknik matürite ve efektif maliyet-hizmet değerini göstermeyi amaçlıyordu. Yüksek güçte güneş enerjili pompa sistemlerinin, dizel pompalara göre daha uygun maliyetli olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, fotovoltaik pompa sistemlerinin, kurulum, devreye alma ve bakımı sağlanırsa, içme suyu uygulamalarında dizel motorların yerini alabileceği belirtilmiştir.

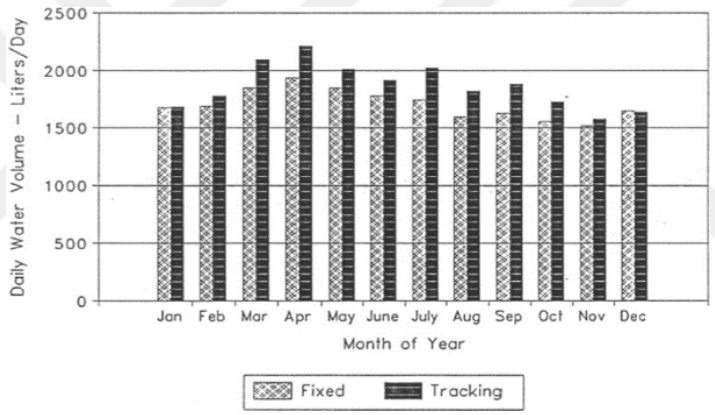
SPVWPS uygulamalarının performansı FV panel üzerine düşen ışınıma bağlıdır. Işınımın yoğunluğu ve yönü gün içerisinde değişmektedir. Maksimum ışınımı yakalayabilmek için FV paneller güneşi izlemeli/takip etmelidir. Bu da pompalanan su miktarı arttırmakla birlikte kurulum maliyetini de yükseltmektedir. Bu konularla ilgili bir kaç inceleme [16,17] rapor edilmiştir. İki adet özdeş 100W fotovoltaik panelden beslenen diyaframlı pompaların (model: SDS D-228) performansı Clark ve Vick [16] tarafından Bushland, Texas'ta 30 metre derinlikte incelenmiştir. Birinci sistemde fotovoltaik paneller sabit açıda monte edilmişken diğerinde PV paneller pasif takip sistemine (Passive Tracking System - PTS) bağlanmıştır. İki takım pompanın bir yılı aşkın bir süre ürettiği bilgiler analiz edilmiş ve çıkan sonuca göre takip eden sistem yıl boyunca daha fazla güneş enerjisi sağlamıştır ve ışınım şiddeti seviyesini 800 W/m^2 arttırmıştır. Bununla birlikte, pompa ilave miktarda su üretmek için artan radyasyon şiddetinden yararlanamamıştır. Ayrıca, güneşi takip eden sistemin maliyeti su miktarındaki artış miktarını karşılayamayacak kadar yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9. SPVWPS uygulamasında sabit panel ve güneşi takip eden sistemlerin karşılaştırılmalarını göstermektedir. Aynı yazarlar [17] SPVWPS'nin pasif takip sistemi (PTS) ve sabit panel ile performansı konusunda çalışmışlardır. Kullanılan pasif takip sistemi Freon gazını içermekte ve Freon güneş ışınımı ile ısıtılıp fotovoltaik paneli doğudan batıya doğru çevirmek için

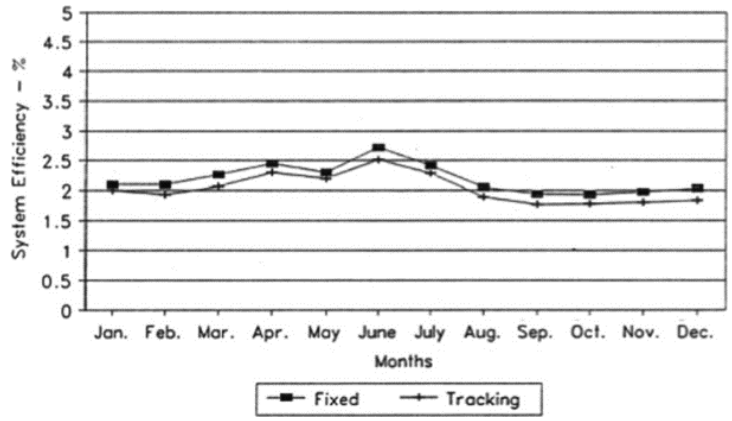
kullanılmaktadır. PTS, sistemin kış ve yaz boyunca ürettiği güneş enerjisini %19 arttırsa da, pompanın sadece %15 fazla su ürettiği rapor edilmiştir.



Şekil 7. Ilık bir gündeki sabit ve izleyen ışık şiddetleri (Mart 3,1996, Bushland, TX) [16].



Şekil 8. Bushland TX (1996)'da dalgıç pompa ile günlük pompalanan su hacmi [16]



Şekil 9. Bushland TX (1996)'da sabit ve takip eden Solarjack pompa verimliliği [16]

Recife (PE-Brezilya)'deki iklim koşulları altında, sabit, takip eden ve V şeklinde ışınımı yoğunlaştırarak güneşi takip eden SPVWPS uygulamaları, Bione ve diğerleri

tarafından incelenmiştir. Takip eden sistemler ve ışınımı yoğunlaştıran sistemlerin sabit sistemlere göre su pompalama maliyetini %19 ve %48 oranında azalttığı rapor edilmiştir. Kazanç oranı (pompalanan su miktarı türünden), sabit sistemlerde 1,23 iken, takip eden sistemde 1,41 olarak gözlenmiştir. Bu oran sabit sistemlerde 1,74 olduğunda, yoğunlaştırıcı güneş kolektörü için 2,49 olarak gözlenmiştir [18].

Pompalanan su debisi ile ışınım arasındaki lineer olmayan bağlantıdan dolayı, doğrudan bağlı güneş enerjili su pompalama sistemlerinin performansını tahmin etmek çok zordur. Birçok araştırmacı [19,20] ışınım şiddetine bağlı olan su debisi ile ışınım eşiğinin ilişkisini tahmin etmek için matematiksel ve simülasyon modeller hazırlamışlardır.

Kou ve diğerleri fotovoltaik pompa sistemlerinin (Photovoltaic Pumping System - PVPS) performansını tahmin etmek için bir benzetme modeli geliştirmişlerdir. Optimum çalışma noktası için fotovoltaik panel dizisinin konfigürasyonu, panel sıcaklığının etkileri, aylık ve yıllık pompalanan su miktarı ayrıca belirlenmiştir.

Foto akım (Light current - I_L), karanlıktaki akım (Dark current - I_O), seri direnç (Series resistance - R_S), paralel direnç (Shunt resistance - R_{sh}) ve ısıl gerilim (Thermal voltage – V) parametrelerini kullanılarak, saat bazında simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Bu parametreler güneş ışınımına ve panelin sıcaklığına bağlıdır. Bu simülasyon sonuçlarının, TRNSYS modelinin sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu rapor edilmiştir [19].

Hamrouni ve diğerleri [20] Tunus'un iklim koşulları altında, bağımsız SPVWPS uygulamasının performansının üzerinde teorik ve deneysel incelemeler yapmıştır. Sistem, fotovoltaik paneller, DC-DC çevirici, DC-AC evirici, dalgıç tipi pompa, asenkron motor ve depolama tankından oluşmaktadır. Çalışmalarında, fotovoltaik panel, düzenleyici çevirici (Buck Converter), evirici, asenkron motor ve pompayı modellemek için SIMULINK kullanmışlardır. Bu çalışmada, güneşten gelen ışınım ve çevre sıcaklığı, simülasyonların girdisi olarak belirlenmiştir. Buna göre, FV panellerin elektrik üretiminin ve pompanın su debisinin yüksek oranda ışınıma bağlı olduğu rapor edilmiştir. Bunun yanında, iklim koşullarındaki değişimin pompanın performans karakteristiğini bozduğu gözlenmiştir. Deneysel çalışmaya göre, en iyi su pompası karakteristiği gün ortasında elde edilmiştir. Ayrıca, deneysel sonuçlarla teorik çalışmaların da uyuştuğu belirtilmiştir.

Arab ve diğerlerinin çalışmasında [21] iki santrifüj pompasının (CP) performansları karşılaştırılmıştır. İlk santrifüj pompa tek kademeli 450W fırçasız DC motorlu ve ikincisi ise 400W gücündeki bir DC motoruna bağlanan çok boşluklu dalgıç pompadır. Bu çalışma için Cezayir'de Algiers, Bechar, Oran ve Tamanrasset isimli dört farklı bölge seçilmiştir. Santrifüj pompaları için bir simülasyon modeli kullanılmıştır. Bu simülasyon modelinde, farklı yük profilleri, tank kapasiteleri, farklı güçte iki fotovoltaik modül ve dizilim konfigürasyonları ve pompa manometrik mesafeleri girdi olarak kullanılmıştır. Bunun sonucunda düşük manometrik mesafeler için tek kademeli pompanın daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Yüksek manometrik mesafelerde ise, yüksek kavitasyonlu çok kademeli pompalar yüksek verimlilik göstermişlerdir. Ayrıca, pompanın çalışma performansının jeolojik konumdan etkilendiği de gözlenmiştir.

Fraidenraich ve Vilela [22] SPVWPS performansını tahmin etmek için bir uygulama yöntemi sunmuşlardır. Bu uygulama yöntemiyle pompa sisteminin pompalayabildiği maksimum su hacmini hesaplamışlardır. Güneş enerjili su pompalama sistemlerinin debisi, panel üzerine düşen ışınıma lineer olmayan bir şekilde bağlıdır. Yazarlar, SPVWPS debisinin uzun vadeli ortalamasını hesaplamak için analitik bir ifade çıkarmışlardır. Bu yöntemden elde edilen sonuçlar hesaplanan PVPS tarafından pompalanan maksimum su hacmiyle doğrulanmıştır. Bu fotovoltaik pompa sistemleri, Brezilya'nın dört farklı iklim gösteren bölgelerinde yer alan belirli şehirlere kurulmuş ve bu iki yöntemden elde edilen sonuçların sadece %1,7'lik maksimum sapma ile iyi bir uyum içinde olduğu sonucuna varılmıştır.

SPWPS uygulamalarının sistemin verimliliği sadece güneş ışınımı ve ortam sıcaklığına değil, aynı zamanda kuyudaki su seviyesine de bağlıdır. Eğer bir kuyuda su seviyesi korunursa, sürtünme kayıpları ihmal edilerek pompanın basma yüksekliği sabit varsayılır. Sürtünme kayıplarını minimumda tutmak için daha büyük çapta boru kullanılmalıdır. Eğer pompalama oranı kuyunun maksimum kapasitesinin altında ise, kuyu içerisindeki su seviyesi sabit kalacaktır [23].

Narvarte ve ark. [23], pompadaki maksimum akış oranını hesaplamak için FV pompa imalatçısının grafik araçlarını kullanarak kuyudaki su seviyesinde ufak bir değişime neden olan basit bir yöntem önermişlerdir. Elde edilen sonuçlar, DASTPVPS yazılımından ve üreticinin grafik aracı ile elde edilen sonuçları ile

doğrulanmıştır. Önerilen yöntemden elde edilen sonuçlarla yazılımdan elde edilen sonuçların büyük bir uyum içerisinde olduğu rapor edilmiştir.

Mahjoubi ve diğerleri [24], Tunus çöllerinde, SPVWPS uygulamalarının dizel jeneratörden daha ekonomik olarak kullanılabilme kapasitesini incelemişler ve her iki sistem için ömür boyu maliyet analizi yapmışlardır. Bu çalışmaya göre, SPVWPS uygulamalarının ömür boyu maliyet analizi (LCC), dizel jeneratörünkine göre %50 daha az olduğu rapor edilmiştir. Bununla birlikte, SPVWPS kullanımı Tunus çöllerinde yaşayan göçebelerin su ihtiyaçlarının karşılanmasını ve belirli bölgelere yerleşmelerini sağlamıştır. Bu da göçebelerin hayatlarına sosyal ve ekonomik değişikler getirmiştir.

Pande ve diğerleri [25] bir meyve bahçesi sulama uygulaması için damlama tipi sulama yapacak SPVWPS sistemi tasarlayıp test etmişlerdir. 900 Wp gücündeki fotovoltaik dizeler, bir adet 800 W gücündeki doğru akım (DC) tek gövdeli motor ve üç adet açılabilir alçak basınçlı damlatıcı ile saha testleri yapılmıştır. Çalışmalarında, ışınımın ve damlatıcıların içerisindeki basınç dengesinin, pompa boyutunda, su ihtiyacında ve pompa basıncının gün içerisindeki değişimine olan etkileri incelenmiştir. SPVWPS 70-100 kPa basınç altında, her damlatıcıda saatte 3,4-3,8 litre su tahliyesi ile çalıştığı rapor edilmiştir. Bu su miktarı, bir hektar alanı iki saat içerisinde sulayabilmektedir. Bunun yanında, sistemin geri ödeme zamanı yaklaşık olarak altı yıl olarak rapor edilmiştir.

Chaurey ve diğerleri [26] Hindistan'ın iklim koşullarında yedi FV pompa sistemin performansını araştırmışlardır. İncelemelerinde Üç fazlı AC motorla çalışan 0,102m çaplı çok kademeli dalgıç santrifüj pompa (CP) kullanmışlardır. Pompalama sistemleri Haryana, Tripura, Kuzey Rajasthan, AruNachal Pradesh, Maharashtra, Batı Rajasthan ve Karnataka'da bulunan yedi farklı yere kurmuşlardır. Raporlarına göre, tüm fotovoltaik pompalama sistemlerinin verimliliği, pompanın azami basma yüksekliğini geçen tasarımlarda, düşmektedir. Tüm çok kademeli dalgıç santrifüj pompalarda, tasarlanan parametrelerle maksimum verimliliğe ulaşmışlardır. Günlük ortalama su çıkışının ise, tipik bir Hint köyünün su ihtiyacını karşılamak için yeterli seviyede olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 1 ’de, güneş enerjili su pompalama sistemlerinin sahaya özel verimliliğinin ve performansının inceleme çalışmalarının sonuçları verilmiştir.

Çizelge 1 Önceki Çalışmaların verimlilik ve performans inceleme sonuçlarını

Yazar [Ref.]	Ülke	Işin Kapsamı	Sonuç
Hamza ve Taha [12]	Sudan	İçme ve sulama suyu ihtiyaçlarını karşılamada SPVWPS'nin uzun ve kısa dönem uygunluğunun kontrol edilmesi.	Sudanın köylerinin su ihtiyacını karşılamak için solar pompalar uygun ve güvenilirlerdi.
Reshef ve diğerleri [13]	Avustralya	Numerik ve deneysel olarak SPVWPS'nin performansının ve verimliliğinin incelenmesi.	Sistemin optimum performansı için, yük karakteristiği ile FV dizisinin uygun ayarlanması gerekmektedir.
Yahya ve Sambo [14]	Nijerya	Konvansiyonel AC su pompasının fotovoltaik pompalarla değiştirilmesi ve uygunluğunun değerlendirilmesi.	FV pompaların performansı günde 20m^3 su ihtiyacını karşılanması için yeterli bulundu.
Posorski [15]	Almanya	Fotovoltaik pompaların kapasitesini ve teknik yeterliliğini göstermek ve uygun maliyetliliğini arttırmak için GTZ Almanya tarafından yapılan deneme projesi.	İçme suyu sağlayıcı sistemler için, fotovoltaik pompa sistemleri dizel motorların yerine kullanılabilir.
Clark ve Vick [16,17]	A.B.D.	Güneş izlemeli ve sabit, iki özdeş fotovoltaik pompa sistemlerinin performans karşılaştırılması.	İzleme sisteminin maliyeti yüksek mesafeye pompalanan su miktarının artışını doğrulamamıştır.
Bione ve diğerleri [18]	Brezilya	Sabit, izleyen ve konsantre izleyen SPVWPS uygulamalarının performansının incelenmesi	Sabit sisteme göre, izleyen sistem ile pompalanan su maliyeti(m^3/gün %19, yoğunlaşan sistem ile %48 azaltıldı.
Arab ve diğerleri [21]	Cezayir	Tek kademeli ve çok kademeli güneş enerjili santrifüj pompaların performanslarının karşılaştırılması.	Tek kademeli fotovoltaik pompalarda düşük manometrik mesafelerde yüksek verim gözlenirken, çok kademeli pompalar yüksek manometrik mesafelerde de yüksek verim gösterdi.
Fraidenraich ve Vilela [22]	Brezilya	Fotovoltaik pompaların günlük hacim debisinin tahmin edilmesi için kullanılırlık metodunun uygulanması	Pompalanan su miktarı ile 10 yıllık güneş ışınım verilere dayanan simülasyon sonuçları arasında maksimum %1.7 sapma oranı gözlendi.
Mahjoubi ve diğerleri [24]	Tunus	Tunus çöllerinde yaşayan göçebelerin su ihtiyaçlarını karşılamak için, SPVWPS'nin ekonomik uygulanabilirlik çalışması.	Göçebeler SPVWPS ile su ihtiyaçlarını karşılayıp ve o bölgeye yerleşmişlerdir.
Pande ve diğerleri [25]	Hindistan	Meyve bahçesinin su ihtiyacının karşılanması için SPVWPS'nin tasarımı ve test edilmesi	Sistemin mükemmel çalıştığı ve geri ödeme zamanının 6 yıl olduğu rapor edilmiştir
Chaurey ve diğerleri [26]	Hindistan	7 farklı bölgedeki 7 farklı güneş enerjili pompa performansı incelenmiştir.	SPVP kurulum bölgelerindeki su ihtiyacını karşılamak için ya da mekanik el pompalarının yerine uygun görülmüştür.

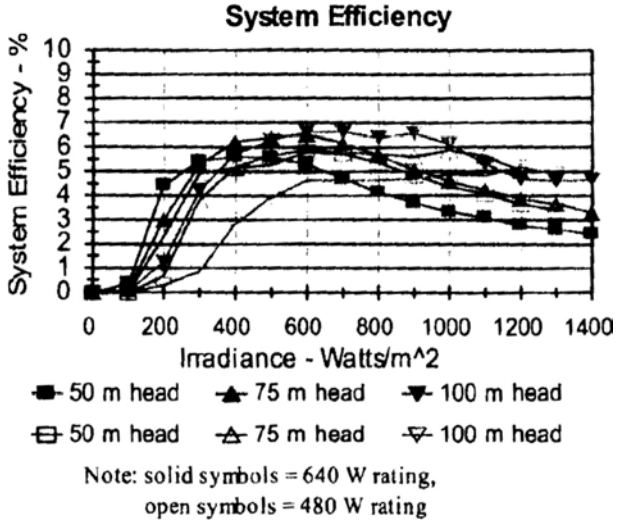
2.2. Farklı Tip Pompalarda Verimlilik ve Performans Çalışmaları

Vick ve Nolan [27] iki rüzgar enerjili su pompalama sistemi (Wind Energy Water Pumping System - WEWPS) ile iki SPVWPS'nin pompalama performanslarını karşılaştırmışlardır (Çizelge 2).

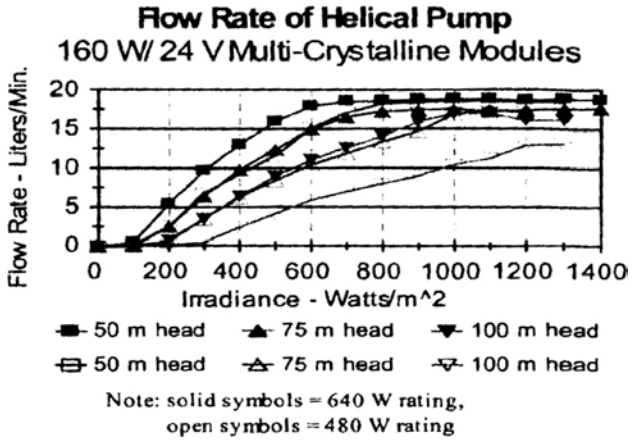
Çizelge 2. WEWPS ve SPVWPS ayrıntıları

	WEWPS	SPVWPS
Sistem	1,0kW ve 1,5kW Rüzgar Hızı12 m/s	0,1kW ve 0,9kW Güneş Işınım 1000 W/m^2
Rotor çapı	2,75m ve 3,05m	Solar panel alanı 1 m^2 ve 17 m^2
Motor ve Pompa tipi	Tek faz 230V AC Asenkron motorlu santrifüj pompa Üç faz 230V AC Asenkron motorlu santrifüj pompa	DC motorlu Diyaframlı küçük kapasiteli pompa, İndüksiyon motorlu santrifüj büyük kapasiteli pompa

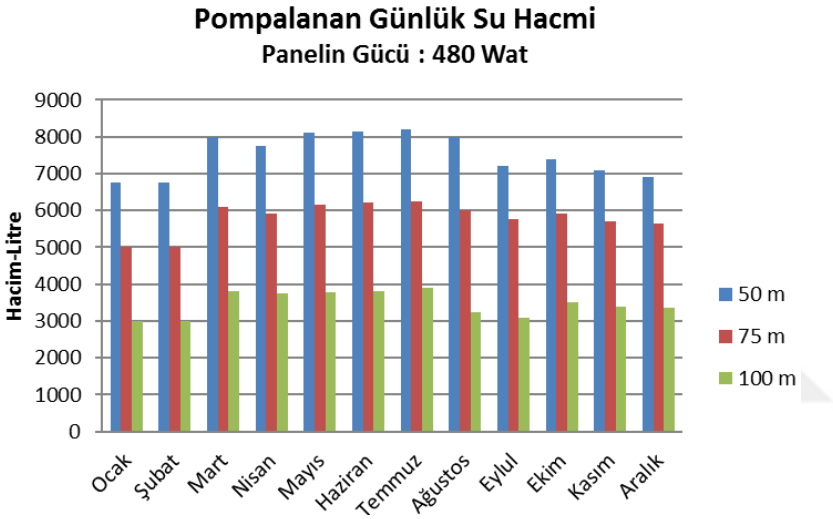
Bu sistemler, Bushland, Texas'ta USDA-Tarım Araştırma Servisi, Koruma ve Üretme Araştırma Laboratuvarı'nda test edilmiştir. Buna göre, 30m basma yüksekliği için, WEWPS 'nin verimliliği SPVWPS 'inden fazla olduğu rapor edilmiştir. Aynı yazarlar [27], 480 ve 640Wp fotovoltaik panellerle çalışan helis dişli pompayı üç farklı basma yüksekliğinde (50m, 75m ve 100m) test etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13 'te verilmiştir. FV panellerden enerjilendirilen helis dişli pompanın tüm basma yüksekliklerinde iyi performans gösterdikleri rapor edilmiştir. Helis dişli pompalı SPVWPS 'lerin gelişmekte olan ülkelerdeki küçük ölçekli çiftçiler için ekonomik ve yararlı olduğu ayrıca belirtilmiştir.



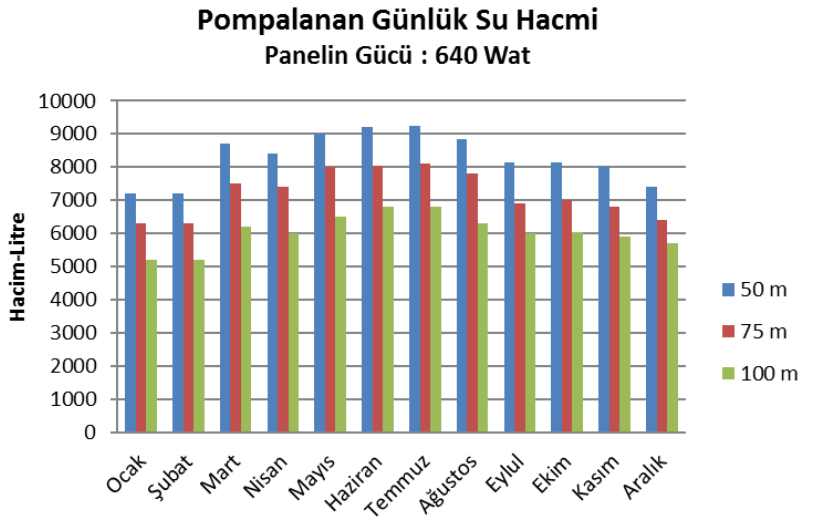
Şekil 10. 640W ve 480W gücündeki iki fotovoltaik dizelerinin 50, 75 ve 100m pompalama derinliklerinde sistem verimliliği [28].



Şekil 11. 640W ve 480W gücündeki iki fotovoltaik dizelerinin üç farklı pompalama derinliği için ölçülen akış hızı [28]



Şekil 12. 480W gücündeki iki fotovoltaik dizesinin üç farklı pompalama derinliği için günlük su hacmi (Bushland TX) [28].

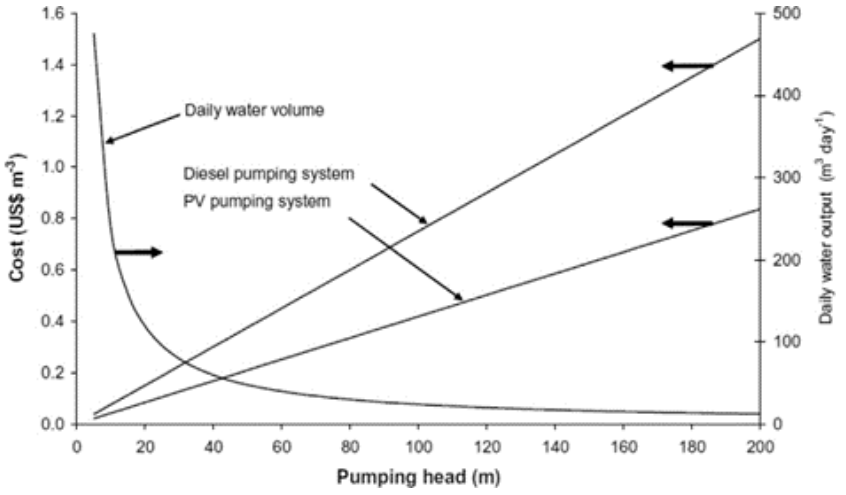


Şekil 13. 640W gücündeki iki fotovoltaik dizesinin üç farklı pompalama derinliği için günlük su hacmi (Bushland TX) [28].

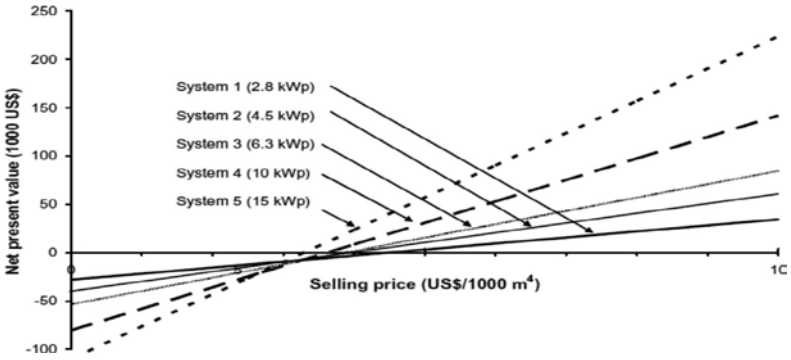
Odeh ve diğerleri [29] Ürdün'ün iklim koşulları altında, SPVWPS ve dizel su pompalama sistemlerinin ekonomik olarak uygulanabilirliklerini incelemişlerdir. Beş farklı boyutta 2,8-15 kWp aralığındaki SPVWPS'ler üzerinde çalışılmıştır. Gerçek çalışma bilgileri mevut olan üç santrifüj pompası, indüksiyon motoru ve eviriciden oluşan üç takım SPVWPS kurulmuştur. Geriye kalan iki tanesi sadece simülasyonu yapılmış sistemlerdir ve iki sistem diğer üç tanesinden elde edilen bilgilerin değerlendirilmesiyle (extrapolate) elde edilen bilgileri kullanmaktadır. Kıyaslayabilmek amacıyla aynı kapasiteye sahip beş takım dizel motorlu WPS bölgelere yerleştirilmiştir. Eşdeğer hidrolik enerji (m^4), faiz oranı, fotovoltaik panellerin ve dizel sistemin bileşenlerinin ömrü, hurda değeri, güneşlenme seviyesi ve akaryakıt fiyatı için ekonomik uygulanabilirlik çalışması yapılmıştır. Buradan şu sonuçlar elde edilmiştir:

- SPVWPS eşdeğer hidrolik enerji için daha ekonomik olsa da dizel pompalama sistemleri büyük ölçekli uygulamalar için daha ekonomiktir.
- Belirli bir basma yüksekliği için, SPVWPS pompalama maliyeti daha uygundur.
- Dengesiz su ihtiyacı SPVWPS'nin ekonomik uygulanabilirliğini düşürmektedir.

Şekil 14 ve şekil 15, bu beş SPVWPS için ekonomik uygulanabilirliği etkileyen maliyet parametrelerini göstermektedir.

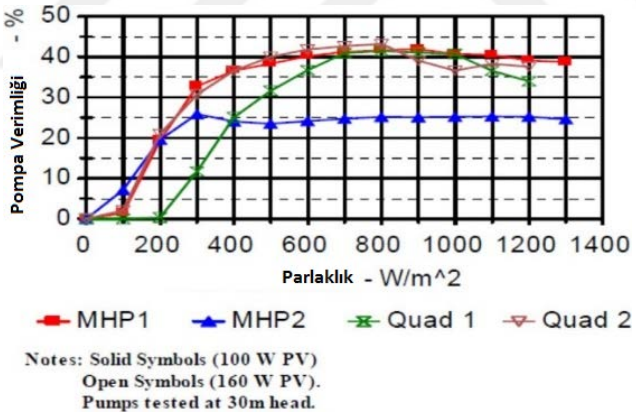


Şekil 14. 4,5kWp sistemi için yapılmış birim hacim başına su maliyeti, fotovoltaik ve dizel su pompalama sistemlerinin basma yüksekliği fonksiyonu olarak günlük su çıktısı [29]

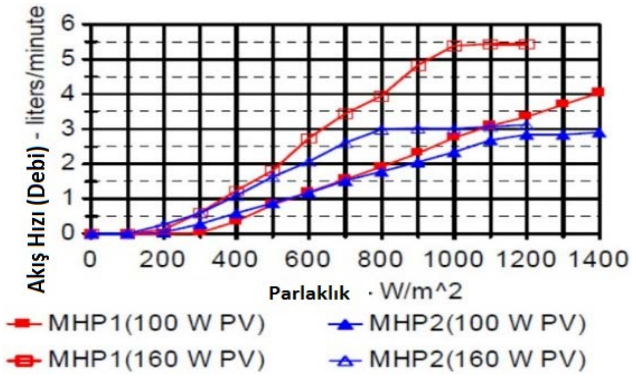


Şekil 15. Satış fiyatlarının fonksiyonu olarak mevcut fiyatlar [29]

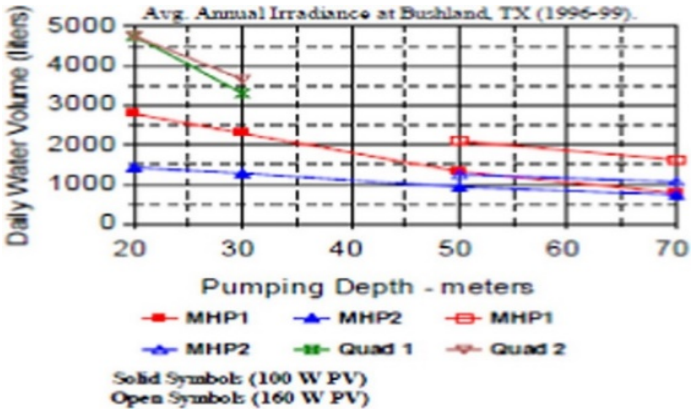
Vick ve Clark [30] USDA-ARS, Bushland, TX araştırma laboratuvarında dört adet güneş enerjili diyafram pompaların performansını incelemişlerdir. Düşük debiler (dakikada 2 - 8 litre) ve düşük-orta manometrik yükseklikler (3 - 70 m) için, MHP-1 ve MHP-2 isimli iki pompa kullanılmıştır. Bu pompalar 100 W gücündeki fotovoltaik panellerle 20, 30, 50 ve 70 metre manometrik yüksekliği ve 160 W gücündeki fotovoltaik panellerle 20 ve 30 metre manometrik yüksekliği için test edilmiştir. Quad-1 ve Quad-2 isimli diğer iki pompa ise orta dereceli debi (dakikada 9-15 litre) ve düşük manometrik yükseklikler için (10-30 metre) kullanılmıştır. Performans ve pompalama eğrisi şekil 16, şekil 17 ve şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 16. 30 metrelik manometrik yüksekliğinde pompa verimliliği [30]



Şekil 17. 70 metrelik manometrik yüksekliğindeki debisi [30]



Şekil 18. Diyafram pompalarının pompalama eğrileri [30]

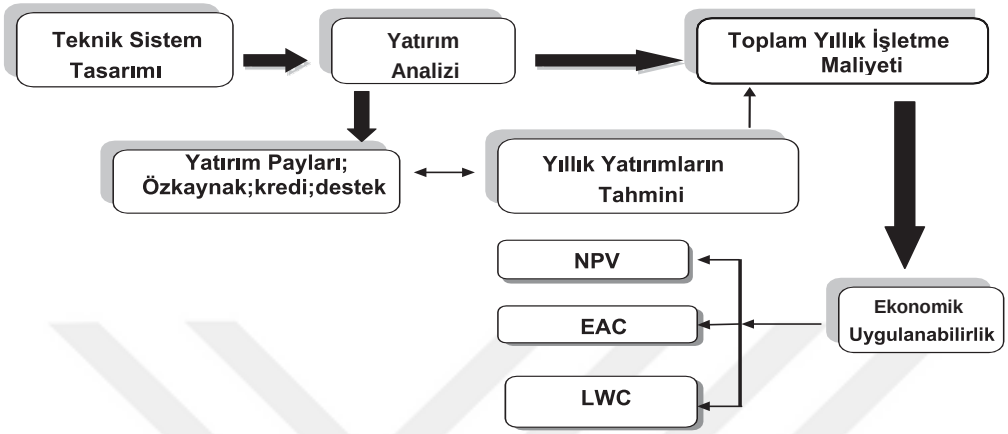
Çalışmalarının sonucunda diyafram pompalarının, 70 ve 30 metre manometrik yükseklikler için sırasıyla günde 1650 litre ve 3650 litre su pompaladığı gözlemlenmiştir. Aynı yazarlar [30,32] helis dişli rotor, diyafram ve santrifüj pompaların performansını da incelemişlerdir. Bu pompaların test detayları ve sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Farklı tipteki pompaların Performans Karşılaştırması [31]

Pompa Tipi		Sonuç
Diyafram Pompa	- Sun pompa yüksek manometrik - Shurflow yüksek manometrik - Sun pompa ortala debili pompa	- Sun pompa Shurflow pompadan daha iyi güvenilirlik sergiledi. - Düşük manometrik mesafelerde, Shurflow yüksek manometrik mesafeli pompa, yüksek manometrik mesafeli Sun pompadan daha iyi performans sergiledi.
Helisel Rotorlu Pompa	- Grundfos 6SQF-2 pompa - Lorentz HR07-2 pompa	- Grundfos pompaların üç yıldaki toplam kayıpları, Lorentz pompaların bir yıllık toplam kayıplarının yarısından azdır. - Helisel Rotorlu pompalar yüksek manometrik mesafeli (50-150 metre) uygulamalara uygundur.
Santrifüj Pompa	- Tek faz 230 V motorlu santrifüj pompa - Üç faz 230 V motorlu santrifüj pompa	- Santrifüj pompalar yüksek debi ve düşük manometrik yükseklikleri için en uygun seçenektir. - Santrifüj pompaların performansları yüksek ve motor maliyetleri aynı olduğu için tek faz yerine üç faz motor tercih edilir.

Parajuli ve diğerlerinin [33] çalışmalarında Nepalde, SPVWPS'nin teknik-ekonomik fizibilitesi incelenmiş ve Barchen bölgesindeki uzak bir köyde üç enerji alternatifi karşılaştırılmıştır: Petro-Dizel, Jatrofa bazlı Biyo-Dizel ve SPWP. Güncel net değeri (NPV), yıllık eşdeğer maliyeti (EAC) ve seviyelendirilmiş su pompalama maliyeti (LWC) gibi ekonomik parametreler incelenmiş ve Şekil 19'da gösterilmiştir. Herhangi

bir sübvansiyon olmaksızın, %100 dizel ve %50 Biyo-Dizel kullanan pompalanan suyunun birim litre başına LWC'si sırasıyla %27 ve %23 olarak rapor edilmiştir. Bu rakamların SPWS maliyetinden daha fazla olduğu belirtilmiştir. Bunun yanında, SPVWPS'nin, ilgili köyün iklim koşulları altında en cazip ve ekonomik enerji alternatifi olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 19. Güneş enerjili pompaların teknik-ekonomik analizinin yaklaşımı [33]

2.3. Farklı Tip Panellerde Verimlilik ve Performans Çalışmaları

FV paneller, SPVWPS bileşenlerinin en önemlisi ve yüksek maliyetli ekipmanlarıdır. Toplam maliyetin neredeyse %80'ini oluşturmaktadır [34]. Güneş enerjili su pompalama sistemlerinin maliyetlini düşürmek için, FV dizelerin boyutunu optimize etmek gerekmektedir. Gereğinden fazla boyuttaki bir FV dize, sistemin maliyetini arttıracak ya da düşük boyuttaki bir dizenin kullanımı sistemin beklenen performansını etkileyecektir (hacimsel debi gibi).

Groumpos ve Papageorgiou [35] şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerin optimum boyutlandırma ve maliyeti optimizasyonu konularına değinmişlerdir. "Dengeleyici Parametre (M)" adını verdikleri bir ifade tanımlamışlar ve bu M parametresini, panel dizesi ve batarya boyutuyla ilişkilendirecek bir matematiksel model önermişlerdir. Bu optimizasyon algoritması ile, şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemin yaşam boyu maliyetini güvenilir seviyeye düşürebilmek için dengeleyici parametrenin optimum değerine, M_{opt} ulaşılmıştır. Güvenilirlik kriteri için ise "Yük Kaybı Olasılığı (LLP)" kullanılmıştır. Bu algoritma kullanılarak fotovoltaik dizelerin boyutlandırmasında %22 oranında maliyet tasarrufu sağlanmıştır.

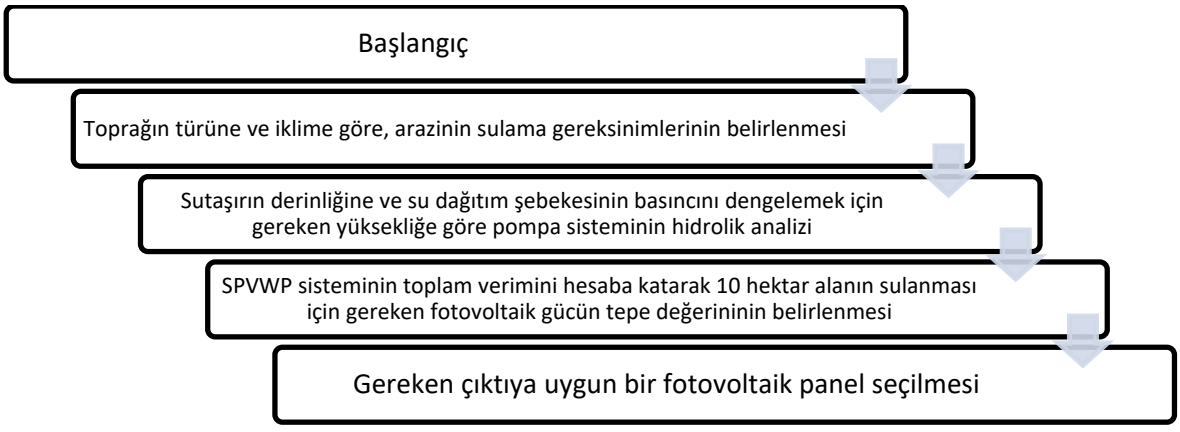
Soras ve Mokias [36] aylık ortalama meteorolojik verileri kullanarak şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem (Stand-Alone Photovoltaic System - SAPS) boyutunun

optimize edilmesi için özgün bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde “Enerji Kaybı Olasılığı (Loss of Energy Probability - LOEP)” kıstası kullanılmıştır ve şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemin optimum boyutu, yaşam döngüsü maliyetinin minimum olması ve istenen güvenilirlik seviyesi garanti altına alınmıştır. Çizelge 4 ‘te bu yöntemde kullanılan parametrelerin detayları verilmiştir.

Çizelge 4. Boyutlandırma metodolojisi için gerekli girdi bilgileri [36]

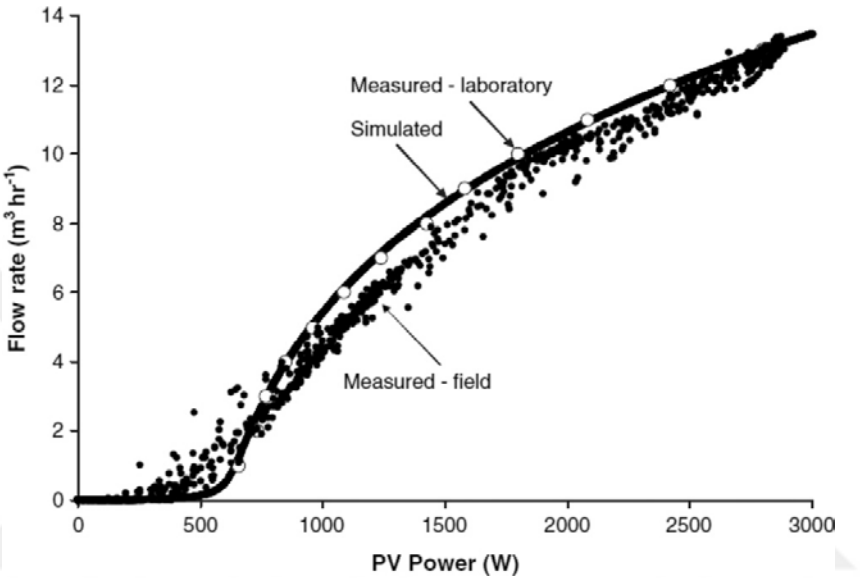
Giriş Verileri	
Lokasyon Bilgisi	Enlem (*Φ)*, toprak yansıma oranı (*ρ)*, yatay bir alan üzerindeki aylık ortalama güneşlenme (*H*), aylık ortalama çevre sıcaklığı (*Tα*).
Yük Bilgisi	Aylık ortalama saatlik yük (L_i).
Fotovoltaik Dize Bilgisi	Güneşlenmenin ve sıcaklığın referans durumlarındaki verimlilik ηR, hücre verimliliği için sıcaklık katsayısı β, normal çalışmadaki hücre sıcaklığı (NOCT), yaşlanma faktörü ηd.
Batarya Bilgisi	Ortalama enerji verimliliği ηB, maksimum izin verilen deşarj derinliği DODs, batarya tip katsayısı Bc, batarya ortalama ömrü NA.
Güç Koşulları	Fotovoltaik Dize Bağlanma Verimliliği ηw, Maksimum Güç Noktası Takibi Verimi ηT, gerilim regülatör verimliliği ηVR, kablolama verimi ηc.
Ekonomik Bilgiler	Bileşen Maliyetleri, yapı ve kurum maliyetleri, ekonomik değerlendirme süresi Y, genel enflasyon oranı g, indirim oranı d, artış oranı O ve M için

Cuadros ve diğerleri [37] İspanyanın Badajoz bölgesindeki bir zeytinyağı tarlasının güneş enerjili damla sulama sisteminde kullanılacak FV panellerin boyutunu tahmin edecek bir tasarım yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemin ana hatları Şekil 20’de gösterilmiştir. Herhangi bir ülke ve ekin için, toprak karakteristiği ve özel bitki parametreleri sağlandığı sürece, sulama için gereken panel boyutunu tahmin edebileceği rapor edilmiştir.



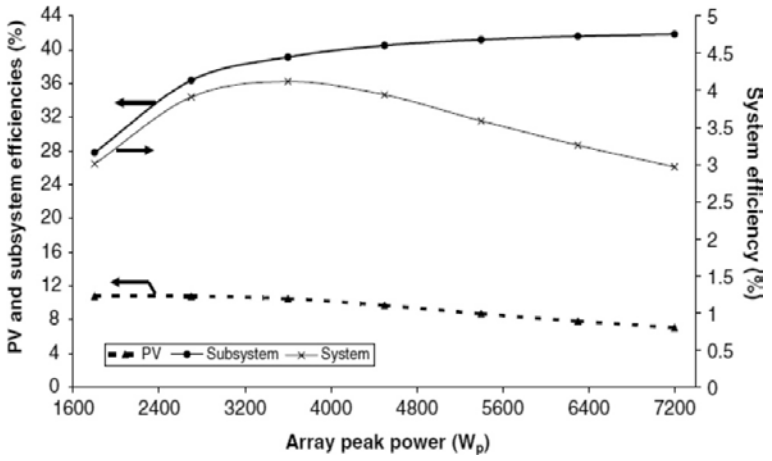
Şekil 20. Fotovoltaik Panel Boyutunun Belirlenmesi için Bir Yöntem [37]

Odeh ve diğerleri [38] AC moturlu SPVWPS'lerin Ürdün'ün farklı iklim koşullarındaki performansını incelemek için TRNSYS yazılımında bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu model, sistemin alt ekipmanları ve fotovoltaik dizelerinin herhangi bir zaman dilimi için anlık ve ortalama verimliliklerini belirlemiştir. Simülasyon modelinin, laboratuvar ve saha testlerinin sonuçları Şekil 21'de gösterilmiş ve simülasyon modelinin sonuçları laboratuvar ve saha testlerin sonuçları ile doğrulanmıştır.



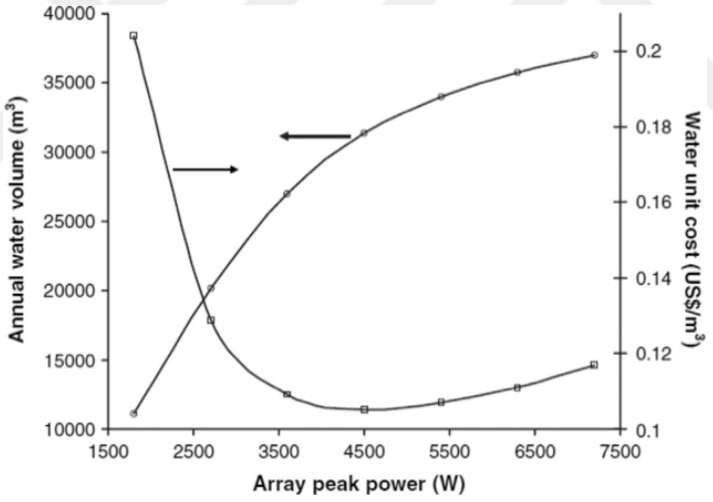
Şekil 21. Sahada ölçülen, laboratuvarda ölçülen ve simüle edilen su debisinin fotovoltaik dize gücüne fonksiyonu olarak grafiği [29]

Elde edilen debi sonuçlarının laboratuvar testi sonuçlarıyla uyumlu çıktığı ve saha testleriyle sadece %2,6 farklı çıktığı rapor edilmiştir. Sapma, simüle edilmiş ve ölçülen FV güç değerleri arasındaki %5,7 varyasyondan kaynaklandığı ifade edilmiştir. Bunun yanında, bu model SPVWPS'nin performansını, pompanın manometrik yüksekliğinin, ışınımın ve fotovoltaik dize gücünün fonksiyonu olarak inceleyebilmektedir. Şekil 22 'de, FV dize artışının yıllık verimliliği düşürdüğü gösterilmiştir. Yüksek güçlerdeki dizeler, sistemin verimliliğinde keskin düşüşlere neden olmaktadır.



Şekil 22. Fotovoltaik dizelerin, sistem ve alt sistemlerin yıllık ortalama verimliliklerinin fotovoltaik dizenin gücüyle olan değişimi [29]

Şekil 23 ise FV panellerin gücünün optimum değerinden daha büyük kullanımının pompalanan suyun birim maliyetini az miktarda arttırırken, optimum değerden daha küçük bir fotovoltaik gücün kullanımının pompalanan suyun birim maliyetinde keskin bir artışa sebep olduğunu göstermektedir.



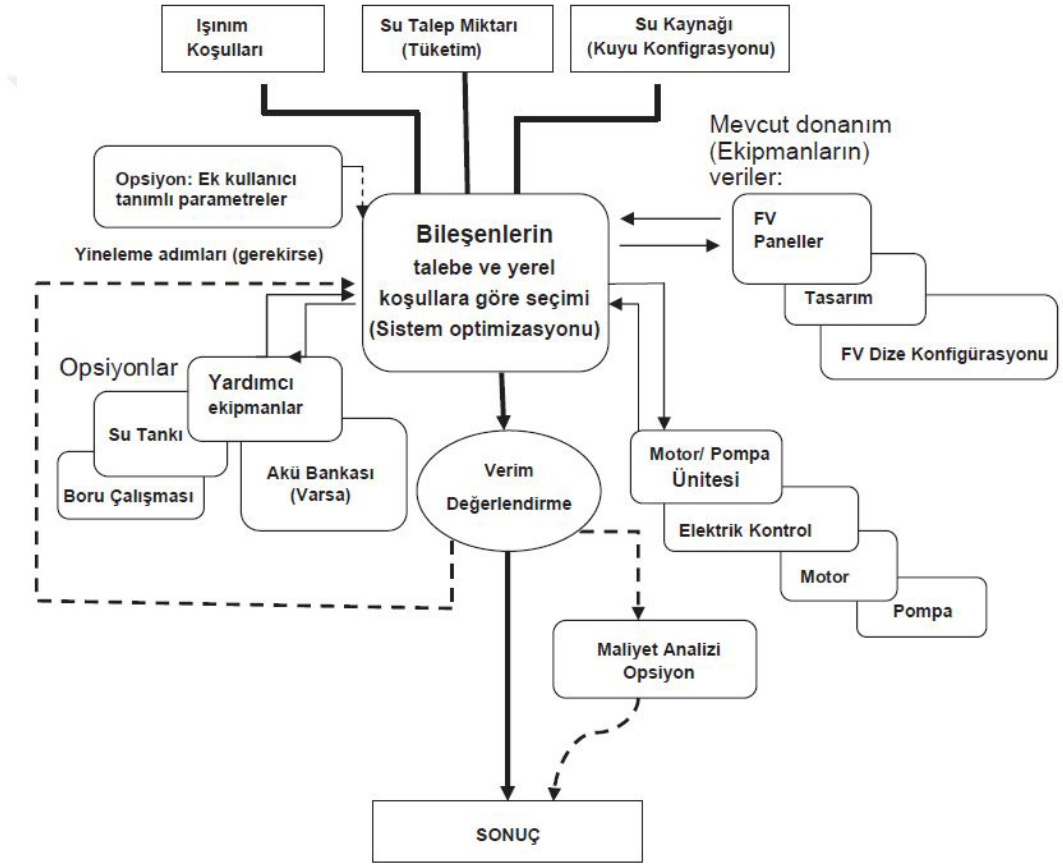
Şekil 23. Yıllık ortalama su hacmi ve birim hacim su maliyetinin fotovoltaik dize gücü fonksiyonu olarak değişimi [29]

2.4. SPVWPS'lerin Optimizasyonu

Fotovoltaik panellerin verimi genellikle çok düşüktür (%10-18) ve bu yüzden fotovoltaik gücün çok etkin bir biçimde kullanılması gerekmektedir. Bu da, SPVWPS bileşenlerinin çalışma parametrelerinin optimum seçilmesi ile sağlanmaktadır.

Bucher [39] SPVWPS'lerin farklı bileşenlerini tekno-ekonomik açıdan incelemiştir. DC ya da AC sürücülü dalgıç, yüzey ve piston pompa setlerinin ayrıntılı deneylerini yapmıştır. Bu sistemlerde pompanın en kritik bileşen olduğunu ve çalışma esnasındaki kayıplarının göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca,

fotovoltaik sistemin dönüştürebileceği güneş enerjisinin bir limiti olduğunu ve belirtilen manometrik yükseklikte yeterli debiyi elde edebilmek için fotovoltaik sistemin boyutu ve pompanın sınıfı her zaman tasarlanan değerden fazla olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Çalışma sırasındaki enerji akışı ve enerji kayıplarının iyi bir şekilde bilinmesi tasarımcının SPVWPS bileşenlerinin optimum boyutunu elde etmelerine yardımcı olacağı vurgulanmıştır. Verimin hesaplanması, pompa bileşenlerinin doğru seçimi ve enerji dönüşüm sistemleri için yazar kusursuz bir yöntem ileri sürmüştür. Şekil 24 pompa sistemi tasarımında ve verim tahminindeki farklı parametrelerin ilişkisini göstermektedir.



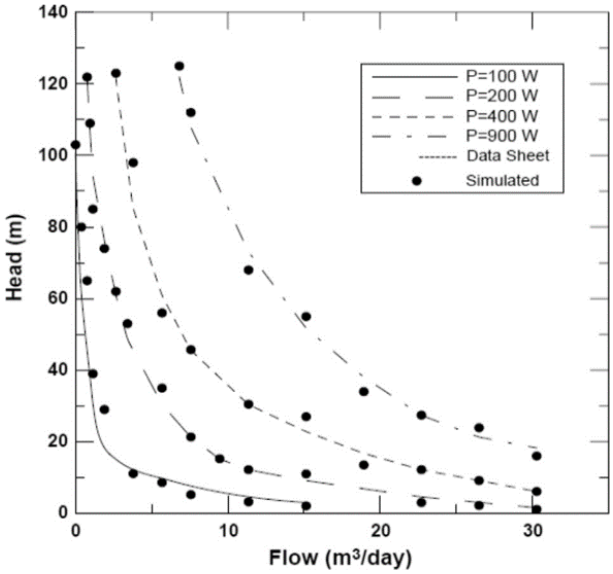
Şekil 24. PV pompa sistemin tasarımındaki Etkenler [39]

Benlarbi ve diğerleri [40] çalışmalarında bulanık mantık kontroler (fuzzy logic controller) kullanarak SPVWPS'nin geniş çağlı verimliliğini optimize etme yöntemini geliştirmişlerdir. Çalışmalarındaki su pompalama sistemi ayrı ayrı uyarılmış, DC motor, doğal mıknatıslı senkron motor (PMSM) ve indüksiyon motoru (IM) tarafından sürülen santrifüj pompasından oluşmaktadır. Buradaki optimizasyon parametresi

ise motorun sürülme hızıdır. Bulanık optimizasyon metodu geniş çaptaki verimi arttırarak suyun çıkış debisini arttırmıştır.

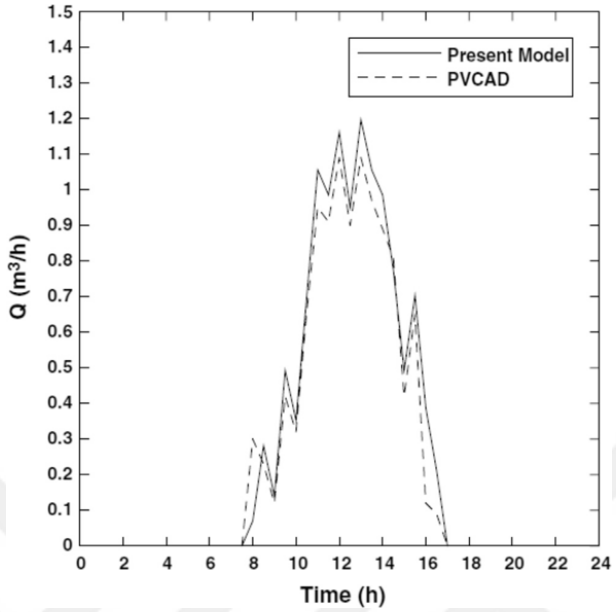
Fıratoğlu ve Yeşilata [41] Şanlıurfa'nın iklim koşullarında direkt kuplaj SPVWPS'nin performansını arttırmak için çok kademeli optimizasyon yöntemi kullanmışlardır. Bu çok kademeli optimizasyon yönteminde (1985-2001) yılları arasındaki uzun zamanlı meteorolojik veriler kullanılmıştır. Çalışmalarının sonucunda ise, uzun zamanlı hava tahmin bilgileri sağlandığı sürece, dünya üzerindeki her bölgeye bu yöntemin uygulanabileceği rapor edilmiştir. Bu yöntem fotovoltaik panel konfigürasyonlarının istenen debi miktarına göre optimize edilmesinin hesaplama zamanını kısaltmıştır.

Ghoneim [42] Kuveyt'in iklim koşullarındaki doğrudan bağlı SPVWPS'nin uzun dönemli performansının tahmin edilmesi ve optimizasyonu için bir simülasyon programı geliştirmiştir. Bu programı kullanarak, maksimum güç noktası takibi yapan fotovoltaik dizenin, dalgıç tipi santrifüj pompanın ve DC motorun modellenmesi tamamlanmıştır. Bu model, fotovoltaik modülün, pompanın ve motorun bilgilerini girdi bilgisi olarak kullanmıştır. Fotovoltaik dizenin gücü ve yönünü, pompa motor hidrolik sistem karakteristiklerini değiştirerek sistemin performansı optimize etmiştir. Simülasyon sonuçları SQFlex - Grundfos solar pompasının veri sayfası bilgileriyle doğrulanmıştır. Şekil 25'te gösterildiği gibi her iki sonuç da sadece %2,5'lik bir etkin değer farkıyla iyi bir uyum içindedir.



Şekil 25. Mevcut motor-pompa modelinden ve üreticinin veri sayfası bilgilerinden elde edilen güneş enerjili su pompası karakteristiği karşılaştırması [42]

Mevcut modelin etkenliği ve pompadaki simüle edilmiş su debisi miktarı PVCAD [43] yazılımından elde edilen debi miktarı ile karşılaştırılmış ve sonuçları Şekil 26'da gösterildiği gibi uyum içerisinde olduğu (%4,5 sapma ile) rapor edilmiştir.



Şekil 26. Mevcut yöntemle ve PVCAD yazılımı kullanılarak elde edilen 16 Eylül 2002 günü için su debisi [42]

Gad ve Sayfa [44], Toshka'nın iklim koşulları altında direk bağlı SPVWPS'nin boyutlandırma ve performans tahmini için bir MATLAB programı geliştirmişlerdir. Bu program ışınım bilgisi, farklı eğim açılarına sahip fotovoltaik dize bilgisi, izleme bilgisi ve pompa denetleyicileri için modeller kullanılmıştır. Yazarlara göre farklı tasarımlar ve çalışma parametrelerinde öne sürülen simülasyon modeli, boyutlandırma, optimizasyon ve performans tahmini için etkili ve doğru sonuçlar verdiği rapor edilmiştir.

Bakelli ve diğerleri [45] de Cezayir'in iklim koşulları altında SPVWPS için MATLAB kullanarak bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu model güç kaynağı kaybı olasılığını ve yaşam döngüsü maliyet analizlerini kullanarak farklı konfigürasyonlar (fotovoltaik modül sayısı ve depolama gün sayısı) üzerine kurulmuştur. Güç kaynağı kaybı olasılığı (Loss Of Power Supply Probability - LPSP) ve yaşam döngüsü maliyeti (Life Cycle Cost - LCC) kavramları sırasıyla sistemin güvenilirliğini ve ekonomisini değerlendirmek için kullanılmıştır. Su tüketimi profilini, toplam basma yüksekliğini, tank kapasitesini ve fotovoltaik gücün tepe değerini baz alarak bir optimizasyon modeli ortaya konulmuştur. Bu model pompa çıkışıyla elektrik güç girdisi ve toplam basma yüksekliği arasında bir bağlantı kurmaktadır. Fotovoltaik sistemin ve su depolama tankının kapasiteleri simülasyon için boyutlandırma

parametreleri olarak düşünülmüştür. Buna göre yüksek pompa sistemi güvenirliği ancak sistemin konfigürasyonunun aynı tank kapasitesinden yüksek tutulmasıyla sağlanabilmektedir. Bunun yanında, ortalama fotovoltaik modül sayısı ve su depolama tankı için, yaşam döngüsü maliyeti düşüktür.

Correa ve diğerleri [46] şebekeden bağımsız SPVWPS'de kullanılan indüksiyon motoru için birleştirilmiş maksimum güç noktası takibi (MPPT) ve minimum kayıp noktası takibininin (MLPT) sonuçlarını hesap edecek bir yöntem öne sürmüşlerdir. Minimum kayıp noktası takibi (MLPT) algoritması minimum giriş akımına dayalıdır. Bu algoritma, kayıpları azaltmak için motor statorunun gerilimini denetlemekte ve eviricinin temel frekansı aracılığıyla fotovoltaik dizenin maksimum güç noktasını takip etmektedir. Bu yöntemle motor kayıplarında kayda değer miktarda azalma sağlanmış ve %8'e varan enerji tasarrufu elde edilmiştir.

2.5. Düşük Maliyetli Düşük Kapasiteli SPVP'larda Teknolojinin Konumu

Küçük SPVWPS uygulamaları içme suyu, sulama ve hayvancılığın diğer ihtiyaçları için ideal olduğunu kanıtlamıştır. Buna rağmen, bugün bile yatırım maliyetleri gelişmekte olan ülkeler için yüksektir. Maliyeti dışında, bu sistemlerin sürdürülebilirliği, güvenilirliği, verimliliği ve konumu gereği kolay bakımı güneş enerjili su pompalama uygulamalarının diğer gereksinimleridir.

Çizelge 5, düşük maliyetli, düşük kapasiteli güneş enerjili pompaların üzerindeki incelemeleri özetlemektedir. Surendra ve diğerleri [47], Polyene Group Hyderabad tarafından geliştirilen fotovoltaik panelden beslenen DC yüzen pompanın, ekonomik ve yaşam döngüsü maliyet analizlerini sunmuşlardır. Bu pompa özellikle açık sığ kuyulardan 10 metrelik basma yüksekliği olan, üç beş dönümlük arazilerde günde $50m^3$ ile $120m^3$ arasındaki su ihtiyacı olan küçük çiftlikler için tasarlanmış ve 1,17 beygir gücündeki doğal mıknatıslı DC motoruna bağlı dökme demirden yapılmış tek kademeli santrifüj pompasından oluşmaktadır. Küçük kapasiteli SPVWPS'lerin Hindistan gibi ülkelerdeki küçük çiftliklerin sulanmasında iyi bir seçenek olduğu rapor edilmiştir. Küçük fotovoltaik pompaların potansiyellerini arttıran parametreler; maliyetteki azalma, temiz ve güvenilir güç kaynağı, özellikle karbondioksit gibi sera gazlarındaki azalma, yeni iş fırsatlarının yaratılması ve küçük çiftliklere daha iyi bir yaşam sağlanması sayılabilir.

Çizelge 5. Düşük kapasiteli, düşük maliyetli pompaların incelemelerinin özeti

Yazar [Ref.]	Ülke	Çalışma Amacı	Sonuçlar
Surendra ve diğerleri [47]	Hindistan	Gelişmekte olan ülkelerdeki küçük çiftçiler için fotovoltaik pompaların yaşam döngüsü ve analizi ve ekonomik analizinin sunulması	Küçük kapasitedeki pompalar Hindistan gibi gelişmekte olan ülkeler için fazlasıyla uygundur.
Dietmar Stuck [48]	Avusturya	Yeni tip solar fotovoltaik pompaların geliştirilmesi	Bu pompaların uygulanmasıyla su pompalama maliyeti önemli miktarda azaltılabilir.
Williams ve diğerleri [49]	Gana	Düşük maliyetli solar fotovoltaik pompa performanslarının çalışması tasarımı ve test edilmesi	Pompaların yerel sektörde üretilmesiyle maliyeti %60 azalabilir.

Dietmar Stuck, [48] yaptığı öncü çalışmasında yeni solar pompa (NSP) isimli bir pompa tasarlayıp üretmiştir. Derin kuyu pompası olan bu pompa bakıma gereksinim duymayan, tuzlu suya dayanıklı, verimli ve 100 metreden daha derinlikten kolayca su çıkarabilmektedir. Tasarımında, fotovoltaik panellerden üretilen enerji batarya kullanılmadan fırçasız tip elektrik motoruna transfer ederek çıkrığının dönmesine ve bunun sonucunda pompa kaldıracının aşağı yukarı hareketine sebep olan bir dişliyi sürmektedir. Bu aşağı yukarı hareketi ise suyu yüzeye doğru pompalamaktadır.

Williams ve diğerleri [49] çalışmalarında Gana'nın Kumasi bölgesindeki iklim koşulları altında düşük maliyetli solar fotovoltaik pompa tasarlayıp ve performansını test etmişlerdir. Bu güneş enerjili pompa, 400 Wp (60 Volt ve 6,67 Amper) gücündeki fotovoltaik dizeye direk bağlı doğal mıknatıslı DC motorlu (Permanent Magnet Direct Current - PMDC) dairesel akışlı santrifüj pompası (Radial Flow Centrifugal Pump - RFCP) idi. Bu tip pompalarda, 165 mm, 135 mm, 125 mm ve 115 mm olan dört farklı çark çaplarında üretilmiştir. Motorun fotovoltaik panellere doğrudan bağlanması, elektronik denetleyiciyi ortadan kaldırarak maliyeti azaltmıştır. 115 mm çapındaki çarka sahip SP115 solar pompalar 600 W/m^2 ışınıma gerek duydukları için (bu ışınım SP165 için 700W/m^2) SP165 pompalara göre hem daha ucuz maliyetli hem de daha verimli olduğu yazarlar tarafından not edilmiştir. Düşük ışınımlarda çalışma kabiliyeti olan bu pompa, sabahın erken saatlerinde ve bulutlu günlerde bile daha yüksek performans sağlamaktadır. Çalışmalarının sonucunda, pompanın yerel sektörde üretilmesiyle maliyetin %60 'a kadar azalmasının mümkün olduğunu rapor etmişlerdir.

3. İRANI'IN DOĞU AZERBAYCAN BÖLGESİ

İran'ın Doğu Azerbaycan eyaleti (Enlemi: Kuzey 36°54' - 39°26' , Boylamı: Doğu 45°07' - 48°20') ülkenin kuzeybatısında yer almaktadır. Toplam alanı 47.830km² dir ki bu da İran yüzölçümünün %2,81'ine tekabül eder. Eyalet Kuzeyden Azerbaycan, Ermenistan ve Nahcivan batıdan ve güneybatıdan Batı Azerbaycan Eyaleti, Doğuda Erdebil Eyaleti, güneydoğuda Zencan Eyaletleriyle çevrilidir. Doğu Azerbaycan Eyaleti kuzeyinden ve kuzeydoğudan 510 km Azerbaycan Cumhuriyeti, Ermenistan ve Nahcivan ile ortak sınıra sahiptir. Bu nedenle, İran'ın uluslararası ilişkileri açısından, Doğu Azerbaycan, stratejik bir önem arz etmektedir [50].



Şekil 27. İran'ın Doğu Azerbaycan eyaleti

3.1. Tez Çalışma Sahasının Sınırlandırılması

Doğu Azerbaycan dağlık bir bölge olarak çok sayıda dağ ve yükseklikliere sahiptir. Kuzeyinde Gere, Mişo ve Maru dağları, merkezinde ve güneyinde Sabalan, Bozkuş, Ün İbni–Ali (Eynalı) ve Sehend dağları, batısında da Taleş, Selevat ve Horoslu dağları olmak üzere toplam 10 dağlık bölgeyi kapsamaktadır. Doğu Azerbaycan bir dağlık bölge olarak tanınmasına rağmen alüvyonlardan oluşan düzlüklere de sahiptir. Bu düzlüklerin önemli olanları Mogan (3500 km²), Tebriz (3000 km²), Serab (1890 km²) ve Miyane (800 km²) ovalarıdır.

Doğu Azerbaycan, dağlık bir bölge olmasından dolayı genellikle karasal iklim etkili olmaktadır. Aynı zamanda bu eyalet, üç iklim bölgesine ayrılabilir. Bu iklim bölgeleri

soğuk bölge (Sabalan ve Sehend), ılıman bölge (Tebriz, Serab, Ahar) ve sıcak bölgeden (Mogan, Aras kıyıları) ibarettir [51].

Bu Tez'de ilk kez İran'ın Doğu Azerbaycan eyaleti, Tebriz ovasında güneş enerjili tarımsal sulama sistemlerinin uygulanabilirliğini örnek bölge çalışması (case study) olarak incelemekteyiz.

3.2. Tebriz'in Sınırları ve Coğrafi Özellikleri

Tebriz şehri konum olarak 38˚1' - 38˚9' kuzey enlemleri ile 46˚11' - 46˚23' doğu boylamları arasındadır. Tebriz, İran'ın kuzeybatısında yer alan Doğu Azerbaycan'ın en büyük şehri olup 1350 m yükseklikteki bir havzada bulunmaktadır.



Şekil 28. Doğu Azerbaycan'ın fiziki haritası

Tebriz şehri İran şehirleri arasında, Tahran'dan sonra ikinci gelişmiş şehir konumundadır. Coğrafi konumu açısından gelişimini sürdüren Tebriz, günümüzde 25.232 hektarlık bir alana sahiptir.

Şehir, İran ile Türkiye'yi birbirine bağlayan eski İpek Yolu üzerinde kurulmuştur. Ayrıca Mehran ile Kömür çaylarının birleşmesinden oluşan Acı-çayı da şehrin burada kurulmasında oldukça etkili olmuştur [51].

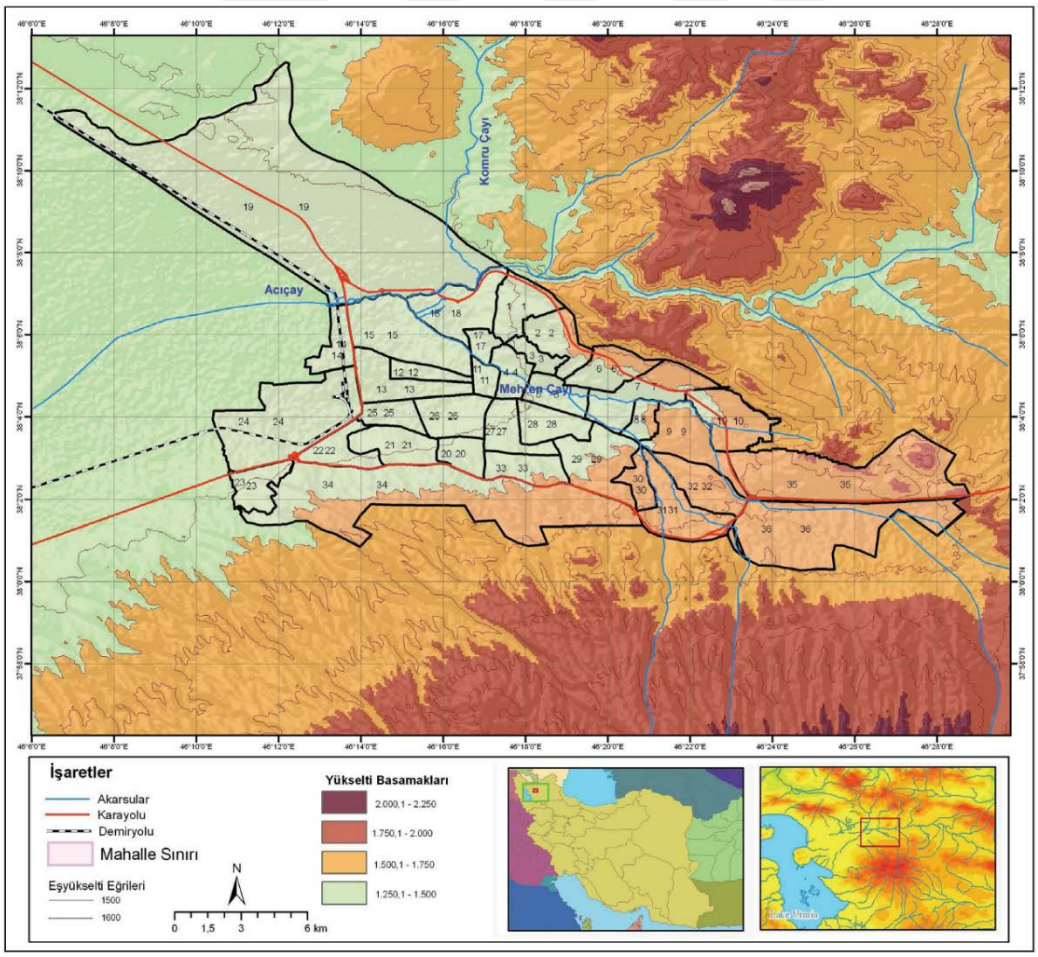
3.3. Tebriz Ovasının Yer Şekilleri ve Rakımı

Tebriz şehri, yer şekilleri bakımından iki dağın arasında bulunan ve kendi adını taşıyan ovada kurulup gelişmiştir. Ovanın kuzeyinde Eynalı Dağı ve güneyinde de Sehend Dağı yer almaktadır. Şehrin bulunduğu ova, doğudan batıya ve güneybatıya Urmiye Gölü'ne doğru genişleyerek uzanmaktadır.

Yükselti basamaklarını gösteren fiziki harita üzerinde, yükseklik değerlerini incelediğimizde, Tebriz şehrinin bulunduğu sahanın 1250 – 2000 metreler arasında olduğu görülür. Ancak şehrin büyük bir bölümü 1300 -1400 metre yüksekliğinde bulunmaktadır. Dolayısıyla şehir rakım açısından üç kısma ayrılabilir (Şekil 29).

Buna göre [52];

1. Batı ve orta kısımların yüksekliği 1250–1400m arasındadır.
2. Güney ve doğu kısımları 1400–1700m yükseklik katlarında gelişmiştir.
3. Kuzey kısmı 1400–1600m yüksekliğe sahiptir.



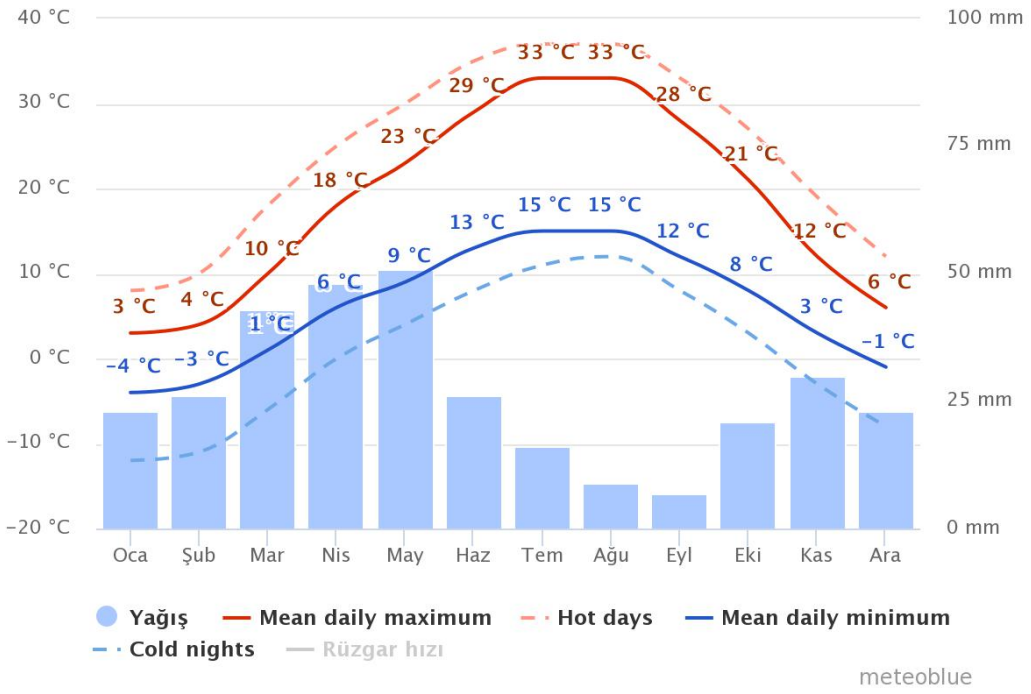
Şekil 29. Tebriz Şehri ve Çevresi Yükselti Basamakları Haritası [52]

3.4. Tebriz Ovasının İklimi

İklim bakımından İran, birbirinden çok farklı bölgelerin bulunduğu bir ülkedir. Hazar Denizi'ne bakan kısımlar çok nemli ve daima yağışlıdır. Bu bölge dışındaki bütün İran toprakları astropikal kurak bölge içindedir.

Tebriz, kuzey ve güneyinden doğuya doğru birbirine yaklaşarak uzanan yüksek dağların arasındaki vadi boyu ile güneybatıdaki Urmiye Gölü'ne doğru genişleyen bir ovada bulunduğundan dolayı, yazları sıcak geçmektedir. Hatta yaz mevsiminin bazı aylarında sıcaklık 40 dereceye kadar yükselmektedir. Buna karşılık kışları soğuk hatta sert geçmektedir.

Tebriz yıllık ortalama 350 mm yağışa sahiptir. Yağış en fazla ilkbaharda Mart, Nisan, Mayıs ve sonbaharda Ekim ve Kasım aylarında ve en az yağış ise Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında görülmektedir. Bu aylarla beraber Eylül ayını da içine alan üç aylık devrede genel olarak kuraklık hüküm sürer. Şekil 30 'da Tebriz'in Meteoblue'dan alınan iklim diyagramı gösterilmektedir. Meteoblue iklim diyagramları, 30 yıllık saatlik hava modeli simülasyonlarını temel alır ve Dünya üzerindeki her yer için kullanılabilir. Bu diyagramlar tipik iklim modelleri ve beklenen iklim koşulları için göstergeler sunmaktadır (sıcaklık, yağış, gün ışığı ve rüzgar) [53].



Şekil 30. Tebriz Ovasında Ortalama sıcaklık ve yağış [53]

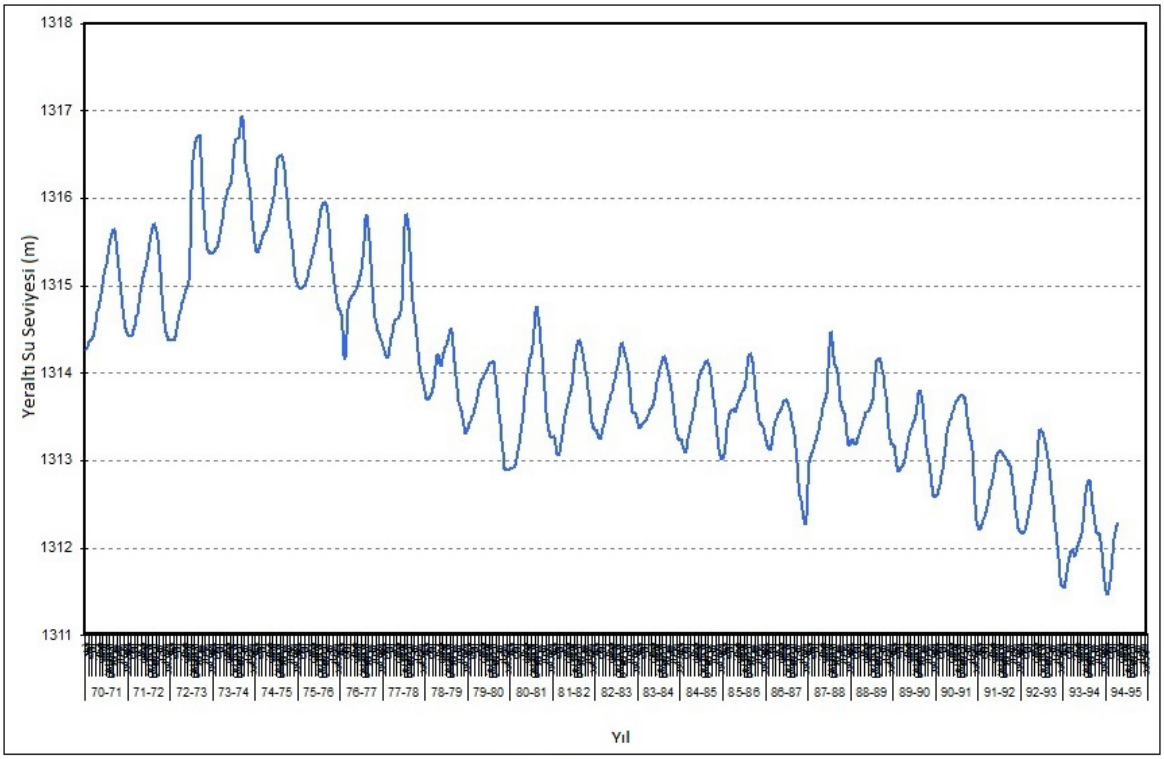
3.5. Tebriz Ovasının Hidrografyası

Son yıllarda Tebriz ovasında nüfusun artışı ve yağış miktarının azalmasından dolayı önceden faydalanılan Acı Çayı, Kömür Çayı ve Sınık Çayı gibi yüzey su kaynaklarına ilaveten yer altı kaynaklarından da faydalanılması gündeme gelmiştir.

İran Su Kaynakları Yönetim Kurumu tarafından yayınlanan Mart 2017 raporuna göre Doğu Azerbaycan eyaletinde 36.366 adet derin ve orta derinlikte aktif kuyu mevcuttur. Bu kuyuların en derini 352m, ortalama derinlikleri ise 30,2m ve toplamda 212.823,05 hektarlık tarım arazisinin tarımsal su ihtiyaçları bu kuyulardan karşılanmaktadır. Geriye kalan 25.157,30 hektarlık arazi alanları ise pınar veya kehriz gibi su kaynaklarından yararlanmaktadır [54].

Bu rapora göre sadece Tebriz ovasında 4.987 adet orta derinlikte kuyu mevcuttur. Bu kuyuların 2.327 adedi elektrikli pompa ve 2.660 adedi ise dizel pompalardan oluşmaktadır. Kuyuların azami derinlikleri 48m iken ortalama derinlikleri 17m ve yıllık çıkarılan su miktarı ise 62.127.760,00m^3 'e karşılık gelmektedir [54].

Şekil 31 de Tebriz ovasının 1991-2017 yılları arası hidrografyası gösterilmektedir.



Şekil 31. Tebriz Ovasının Hidrografyası 1991-2016 (1370-1395 Hicri Şemsi Takvimi) [54]

3.6. Tebriz Ovasında Tarımın Konumu

Tebriz şehrinin, şehirsel alanını çepeçevre saran tarım alanları, belediye sınırları içerisinde kalan alanın % 45,8'ini kaplamaktadır. Tarım alanları şehrin içinde görülse de genel olarak şehrin çevresinde yoğunluk kazanmaktadır. Özellikle Tahran yolu üzerinde, Merend yolu çevresinde ve Merage yolu civarında tarım alanları genişlemektedir.

Çizelge 6. Tebriz Şehrinde Tarım Alanı Dağılımı

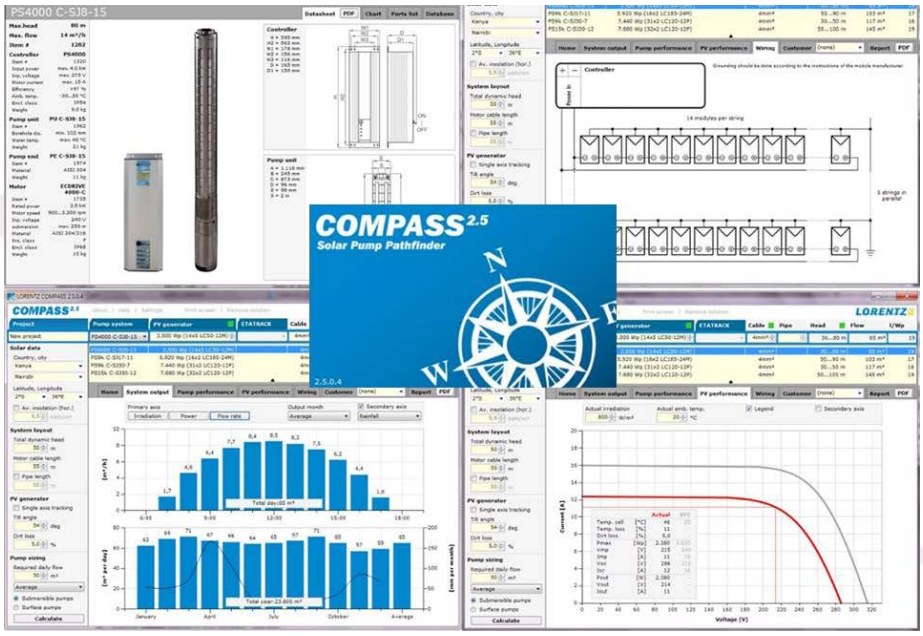
Kullanım Türü	**Alanı (hektar)**	**%**
Bahçe alanı	396,0	3,42
Çiçek ve bitki sera alanı	8,0	0,07
Nadas (kullanılmayan tarım alanı)	7083,5	61,2
Tarım alanı	3876,0	33,5
Akarsu alanı	187,0	1,62
Genel toplam	12050,5	100

Arazi kullanımı içerisinde, tarım alanları ekili tarım alanları ve dikili tarım alanları olarak iki gruba ayrılabilir. Tebriz'deki dikili alanları genelde meyve bahçeleri ve bağlar oluşturmaktadır. Meyve bahçelerini genelde elma, Şeftali, erik, vişne, kaysı, kiraz, armut, ceviz ağaçları oluşturmaktadır. Bu bahçeler günümüzde Tebriz şehrinin doğu, güneybatı ve kuzeybatısında görülmektedir ki elma ağaçları bütün meyve ağaçlarının içinde birinci sırada yer almaktadır.

Tarım alanlarının, %63'ü sulu tarım alanıdır. Sulu tarım alanlarının sulanması için sondaj kuyuları vasıtasıyla yer altı suyu kullanılmaktadır. Ayrıca Mehran Çayı ve Kömür Çayı'ndan da bu alanların sulanması amacıyla su çekilmektedir. Sulu tarım alanlarında, çoğunlukla domates, patates, kabak, maydanoz ve diğer sebzeler yetiştirilmektedir. Tahıllar da diğer tarımsal ürünler gibi Tebriz şehrinin çevresindeki tarım alanlarında yetiştirilir. Ekili alanlar içinde olan tahıllar buğday, arpa, mısır, çavdar ve yulaf gibi bitkilerdir [52].

4. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Doğu Azerbaycan eyaletinde Tebriz ovasının iklim koşulları, mevcut su kuyularının karakteristikleri, yetiştirilen tarım ürünleri ve bu ürünlerin yetiştirilmesinde kullanılan su miktarını dikkate alınarak çeşitli güneş enerjili fotovoltaik sistemler tasarlanmıştır. Bu tasarımlar güneş enerjili fotovoltaik su pompalama sistemleri konusunda dünya lideri olan Lorentz firmasının COMPASS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [55].



Şekil 32. Lorentz Compass Programı

Tasarımlarda belirlenmesi gereken materyaller ve bilgiler;

- Pompalanması gereken günlük su miktarı
- Statik su basma yüksekliği
- Simülasyon yapılması gereken dönem
- Lokasyon bilgileri
- Pompa Türü
- Fotovoltaik panellerin istikamet açısı ve meyil açısı
- Motor kablosunun uzunluğu ve çapı
- Boru uzunluğu ve çapı
- Panellerin kirlilik kayıpları
- Pompalanan suyun sıcaklığı

olarak sıralanmaktadır.

Bu doğrultuda bölgenin en yaygın tarım ürünlerinin sulaması için gereken su miktarı belirlenerek, bir hektarda minimum ve maksimum sulama suyunun hacmi elde edilmiş olacaktır.

4.1. Sulama Suyu İhtiyacının Hesaplaması

Sulama projelerinin gerçekçi bir şekilde hazırlanabilmesi için yetiştirilmesi planlanan bitkilerin tüketecekleri aylık veya günlük su miktarının bilinmesi gerekmektedir. Bu tezde günlük tüketilen su miktarı açısından iki farklı sistem tasarlanmıştır. Bu amaç için Tebriz ovasında en az ve en çok su tüketen bitkiler belirlenmiştir. Güneş enerjili fotovoltaik su pompalama sistemleri, ortalama günlük su ihtiyacının minimum ve maksimum değerlerine göre tasarlanmıştır.

Bunun için bölgedeki yaygın olan bitkilerin sulama suyu ihtiyaçları hesaplanmıştır. Sulama suyu ihtiyacının hesaplanmasında, bitkinin su tüketim miktarı belirlenmelidir. Bitkinin kökleri vasıtasıyla topraktan aldığı suyu yapraklardaki stomalardan atmosfere vermesine “transpirasyon” denir. Toprak yüzeyinden buharlaşmaya ise “evaporasyon” denilmektedir. Bu iki kayıp “evapotranspirasyon” deyimiyle birleştirilmiştir. Sağlıklı bir bitki gelişimi için evapotranspirasyon kaybının karşılanması gereklidir [56].

Bir bitkinin tüketeceği su miktarı pek çok parametreye bağlıdır. Sıcaklık, rüzgar hızı, güneşlenme süresi, Bağıl nem, yağış gibi meteorolojik faktörler; bitki cinsi, bitki gelişim evresi, kök derinliği ve bitki yüksekliği gibi bitkiye has özellikler; tarım yapılan toprağın bünyesi ve kimyasal özellikleri gibi yöresel koşullar, bitkinin ihtiyacı olan su miktarına etki eden bazı parametrelerdir.

Tartışmasız en kesin sonuç verecek olan yöntem tarım alanında yapılacak deneysel bir çalışma ile su ihtiyaçlarının belirlenmesidir. Ancak, deneysel çalışmaların pahalı olması ve uzun sürmesi nedeniyle çeşitli hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir.

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (Food And Agriculture Organization of the United Nations - FAO), gelişmekte olan ülkelerdeki sulama projelerine yardımcı olmak üzere bitkilerin su ihtiyaçlarını belirlemek için Geliştirilmiş Penman-Monteith formülünü önermiştir. 1948 yılında Penman tarafından önerilen bu yöntem, 1976’da Monteith’in düzenlemeleriyle son şeklini almıştır [57].

4.1.1. Geliştirilmiş Penman-Monteith Yöntemi

Penman 1948'de, kütle transferi yöntemiyle enerji dengesini birleştirerek ve güneşlenme, sıcaklık, nem ve rüzgar hızı gibi standart meteorolojik kayıtları kullanarak açık su yüzeyinden buharlaşma formülünü geliştirmiştir. Bu yöntem, 1976'da Monteith tarafından aerodinamik ve yüzey direnci faktörleri eklenerek bitkiler için geliştirilmiştir. Son olarak FAO tarafından, Mayıs 1990'da dünyanın çeşitli ülkelerindeki uzmanlar bir araya getirilerek, FAO Penman-Monteith yöntemi adıyla standartlaştırılmıştır. Uygulamada potansiyel su tüketiminin standart bir tanımı yapılamamıştır. Potansiyel bitki su tüketimi, ülkeler arasında, hatta aynı ülkenin farklı araştırmacıları arasında farklı anlamlarda kullanılmaktadır. Bu nedenle, potansiyel su tüketiminin yerine "referans bitki su tüketimi" kavramı yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır [58]. Bu yöntemde; tarım alanındaki günlük evapotranspirasyon, referans bitki için,

$$ET_0 = \frac{0.408\,\Delta\,(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\,u_2)} \qquad (4.1.)$$

eşitliği ile verilmektedir [58].

Burada;

- ET_0= Referans evapotranspirasyon (mm/gün),
- R_n = Bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ/m^2.gün),
- G= Zemin ısı değişim yoğunluğu (MJ/ m^2.gün),
- T= 2m yükseklikte günlük ortalama hava sıcaklığı (°C),
- u_2= 2m yükseklikteki ortalama rüzgar hızı (m/s),
- e_s= Doymuş buhar basıncı (kPa),
- e_a= mevcut buhar basıncı (kPa),
- e_s-e_a = doymuş buhar basıncı açığı (kPa),
- Δ = Buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa/°C)
- γ = Psikrometrik sabit (kPa/°C).

4.1.2. Penman-Monteith Yönteminin Tebriz Uygulaması

Geliştirilmiş Penman-Monteith yöntemiyle bitki sulama suyu ihtiyacını hesaplamak ve sulama takvimini oluşturmak için FAO'nun toprak ve su kaynaklarını geliştirme bölümü tarafından CROPWAT adlı bilgisayar programı hazırlanmıştır ve ücretsiz olarak FAO'nun internet sayfasından dağıtılmaktadır.

CROPWAT programı, referans evapotranspirasyonu, bitki su ihtiyacını, bitki sulama suyu ihtiyacını hesaplamak, çeşitli işletme koşullarında sulama programı geliştirmek ve yağış ile kuraklığın üretimdeki etkilerini hesaba katmak için geliştirilmiştir.

Bitki su ihtiyacı ve sulama suyu miktarı, iklim ve bitki verileri ile hesaplanmaktadır. Standart bitki verileri programda bulunmaktadır. Yerel farklılıklara göre bu veriler değiştirilebilir. İklim verileri ise CLIMWAT adlı veri tabanı ile sağlanmaktadır. FAO tarafından geliştirilen CLIMWAT'ta 144 ülkeden 3262 meteoroloji istasyonunun iklim bilgileri CROPWAT programında kullanılmaya hazır bir şekilde bulunmakta ve internetten ücretsiz olarak sağlanmaktadır [59].

CROPWAT programında veri girişi 6 adımda gerçekleşmektedir. Birinci adım, "aylık iklim verisi" dir. Burada, tarım yerinin kotu, enlem ve boylamı tanımlanır. Bu verilerden program bitki yüzeyindeki net radyasyonu hesaplar. İkinci adımı "referans evapotranspirasyon (ET_0)"dur. Aylık iklim verisi bölümünde, program tarafından otomatik olarak hesaplanan ET_0 değerlerini değiştirmek mümkündür.

Doğu Azerbaycan bölgesinde Tebriz için CROPWAT programı tarafından hesaplanan aylık maksimum ve minimum sıcaklıklar (santigrat derece), hava nemi (kPa), rüzgar hızı (m/s), günlük güneşlenme (saat), aylık ortalama radyasyon (MJ/m^2.gün), referans evapotranspirasyon (mm/gün) değerleri Çizelge 7 'de verilmiştir [Ek-1].

Çizelge 7. Tebriz CROPWAT Programı Değerleri

Rakım:	1361 m		Enlem:38.08 °N			Boylam:46.28 °E	
Ay	Minimum Sıcaklık (°C)	Maksimum Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/s)	Güneşlenme Süresi (saat)	Radyasyon (MJ/m^2.gün)	ET_0 (mm/gün)
Ocak	-6,6	1,2	74	2,2	3,7	7,2	0,78
Şubat	-4,5	3,8	73	2,4	5,2	10,6	1,08
Mart	0,3	10,1	63	3,0	4,5	12,5	2,01
Nisan	5,7	16,5	57	3,4	5,0	15,6	3,30
Mayıs	10,6	22,5	44	3,2	7,0	19,8	4,99
Haziran	15,2	28,6	34	4,0	8,4	22,5	7,19
Temmuz	19,6	32,9	31	5,0	9,9	24,2	9,16
Ağustos	19,0	32,3	33	4,8	9,3	21,9	8,49
Eylül	14,3	28,2	36	3,3	9,2	19,1	6,01
Ekim	8,0	19,9	54	2,4	6,5	12,7	3,08
Kasım	2,1	12,1	60	1,9	4,9	8,7	1,66
Aralık	-3,0	4,9	68	2,0	3,6	6,6	1,00
Ortalama	6,7	17,8	52	3,1	6,4	15,1	4,06

Veri girişinin üçüncü adımı, yağış miktarıdır. Etkili yağışın hesaplanması için CROPWAT programında çeşitli yöntemler bulunmaktadır [58].

Bu çalışmada;

$$P_{et} = \frac{P_{ay}(125-0.2P_{ay})}{125} \qquad (P_{ay} < 250\ mm) \qquad (4.2.)$$

$$P_{et} = 0.1P_{ay} - 125 \qquad (P_{ay} \geq 250\ mm) \qquad (4.3.)$$

denklemler ile verilen ABD Toprak Koruma Servisi (United States Soil Conservation Service - USSCS) yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemle hesaplanan Tebriz bölgesindeki yağış ve etkili yağış değerleri Çizelge 8'de gösterilmektedir [Ek-1].

Çizelge 8. Tebriz Bölgesindeki Yağış ve Etkili Yağış Değerleri

Ay	Yağış (mm)	Etkili Yağış (mm)
Ocak	25,8	24,7
Şubat	25,3	24,3
Mart	47,0	43,5
Nisan	53,6	49,0
Mayıs	41,9	39,1
Haziran	18,1	17,6
Temmuz	3,2	3,2
Ağustos	4,4	4,4
Eylül	9,4	9,3
Ekim	28,4	27,1
Kasım	28,0	26,7
Aralık	26,0	24,9
Toplam	311,1	293,7

CROPWAT programının veri girişinin dördüncü adımı; gelişim süreleri, bitki katsayıları ve kök derinlikleri gibi bitki verileridir. Veri girişinin beşinci adımı, bitki deseni veya bitki ekim yüzdeleridir. Doğu Azerbaycan bölgesinde yonca, narenciye, üzüm, mısır, patates, bakliyat, ay çiçeği, yeşillikler, domates ve buğday gibi tarım ürünlerinin ekimi yaygındır. Dolaysıyla bu bölgede en az ve en çok sulama suyu ihtiyacı olan bitkileri belirlemek için tek tek bu ürünlerin ay bazında günlük ortalama tükettikleri su miktarlarının hesaplanması gerekmektedir.

Altıncı ve son veri girişi ise, toprak türünün belirlenmesidir. CROPWAT programında, ağır, orta ve hafif olmak üzere 3 toprak türüne ait parametreler hazır olarak bulunmaktadır. Toprak; toplam kullanılabilir zemin nemi, maksimum yağış sızma hızı (mm/gün), maksimum kök derinliği (m) ve başlangıçtaki zemin nemi eksikliği (%) parametreleriyle tanımlanmaktadır. Bu parametreler sulama projesi yapılan bölgeye göre değiştirilebilir. Tebriz için orta toprak türü seçilmiştir.

Yukarıdaki adımları tamamlayarak Tebriz bölgesinde ekilen tarımın sulama suyu ihtiyaçları CROPWAT programıyla hesaplandı ve sonuçlar ay ve yıl bazında günlük ortalama olarak m^3/gün.ha birimiyle Çizelge 9'da bir araya getirildi [Ek-2].

Çizelge 9. Tebriz'de Yetişen Bitkilerin Ay ve Yıl Bazında Günlük Ortalama Sulama Suyu Miktarı

Rakım: 1361 m					Enlem:38.08 °N							Boylam: 46.28 °E	
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıl
Narenciye	0,0	0,2	1,3	8,0	24,2	46,1	65,4	63,3	42,7	15,5	3,3	0,0	22,6
Üzüm	0,0	0,0	1,5	8,9	25,6	48,1	66,8	51,3	14,8	1,4	0,0	0,0	18,4
Mısır	0,0	0,0	0,0	0,6	39,4	85,2	80,2	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	17,5
Patates	0,0	0,0	0,0	0,0	13,7	66,7	109,9	91,5	12,9	0,0	0,0	0,0	24,8
Bakliyat	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,7	94,5	100,2	26,7	0,0	0,0	0,0	20,9
Ayçiçeği	0,0	0,0	0,0	0,0	33,1	82,4	95,1	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	18,6
Yeşillikler	0,0	0,0	0,0	8,0	38,8	70,8	10,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7
Domates	0,0	0,0	0,0	3,8	30,9	79,8	108,4	62,8	0,0	0,0	0,0	0,0	24,0
Buğday	0,2	2,2	8,0	22,6	47,0	37,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,1	10,1

Çizelge 9'daki değerlere göre Tebriz bölgesinde bir hektarlık alanda Temmuz ayında patates günlük 109,9 m^3/gün.ha sulama suyu tüketerek en fazla sulama suyu ihtiyacı olan tarım olarak tespit edilmektedir. Buğday da yıl bazında ortalama günlük 10,1 m^3/gün.ha su tüketimi ile en az su tüketen bitki olarak seçilmektedir.

4.2. Lorentz Compass ile SPVWPS Tasarımı

Güneş enerjili su pompalama sistemi için verim çok önemlidir. Verimlilik, sistemin mevcut güçle ne kadar su pompalayacağını tanımlamaktadır. Verimli bir sistem, aynı miktarda suyu daha az enerji harcayarak veya aynı FV güç kaynağı ile daha fazla su pompalamaktadır. Pompa sisteminin verimliliği, pompanın girişindeki elektrik güç ve çıkışındaki hidrolik güç arasındaki orandır. Bu oran Eş.4.4 ile hesaplanmaktadır [60].

$$\eta_{PumpSystem} = \frac{P_{hydraulic_{[W]}}}{P_{VDC_{[W]}}} \tag{4.4.}$$

Pompa sisteminin girişindeki elektrik güç ve çıkışındaki hidrolik güç hesabı sırayla Eş.4.5 'te ve Eş.4.6 'da verilmektedir [60].

$$P_{VDC} = U_{input} I_{input} \tag{4.5.}$$

$$P_{hydraulic} = Q_{[m^3/s]} \rho_{[kg/m^3]} g_{[kg/N]} H_{[m]} \tag{4.6.}$$

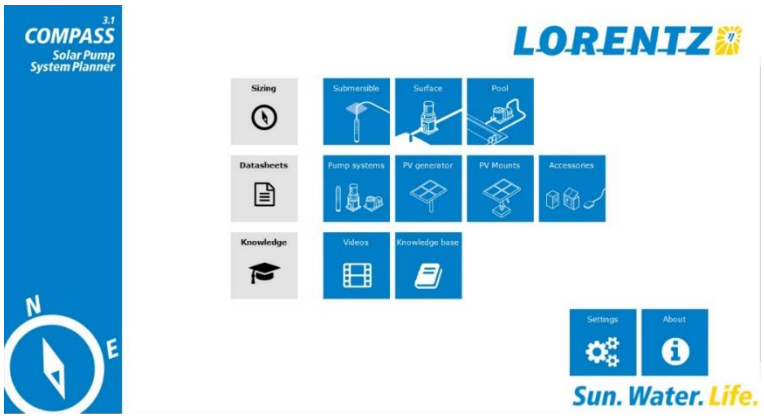
Sonuç olarak pompa sisteminin verimliliği Eş.4.7 ile hesaplanmaktadır [60].

$$\eta_{PumpSystem} = \frac{Q_{[m^3/s]}\rho_{[kg/m^3]}g_{[kg/N]}H_{[m]}}{U_{input_{[V]}}I_{input_{[A]}}} \quad (4.7.)$$

Burada;

- P_{VDC}: Sisteme sağlanan elektrik güç (W),
- U_{input}: Giriş gerilimi (V),
- I_{input}: Giriş akımı (A),
- $P_{hydraulic}$: Hidrolik güç (W),
- Q: Debi (m^3/s),
- ρ: Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3), su için: 1000 kg/m^3,
- g: Yerçekimi sabiti 9.81m/s^2 veya 9.81 N/kg,
- H: Su basma yüksekliği (m).

Lorentz Compass programı, güneş enerjisi ile beslenen pompa sisteminin verimliliğini bu yöntemle hesaplamaktadır. Bu çalışmada Tebriz ovasında tarımsal amaçlı güneş enerjili su pompalama sistemleri tasarlayabilmek için Compass programı yardımı ile gerçek veriler üzerine simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 33. Compass Programı Başlangıç Sayfası

Şekil 34'te güneş enerjili fotovoltaik su pompalama sisteminin yerleşim diyagramı gösterilmektedir.

H (Statik Basma Yüksekliği): Dinamik su seviyesinden suyun basılan en yüksek noktasına kadar olan dikey yükseklik.

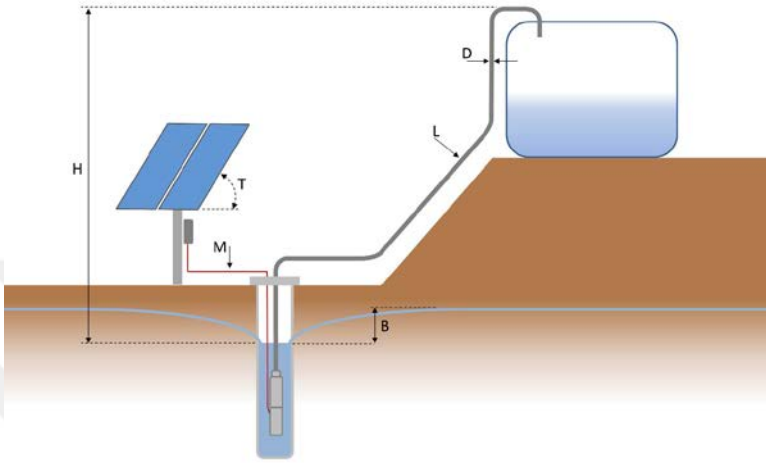
B (Su Seviyesinin İnmesi): Akış hızı ve kuyunun geri kazanım oranına bağlı olarak su seviyesinin düşmesi.

D: Borunun iç çapı

L (Boru Uzunluğu): Pompa çıkışından tank girişine kadar tüm boru hattının uzunluğu.

M (Motor Kablosu): Kontroller ve pompa ünitesi arasındaki kablonun uzunluğu.

T (Meyil Açısı): Fotovoltaik paneller ile yatay düzlem arasındaki açı.

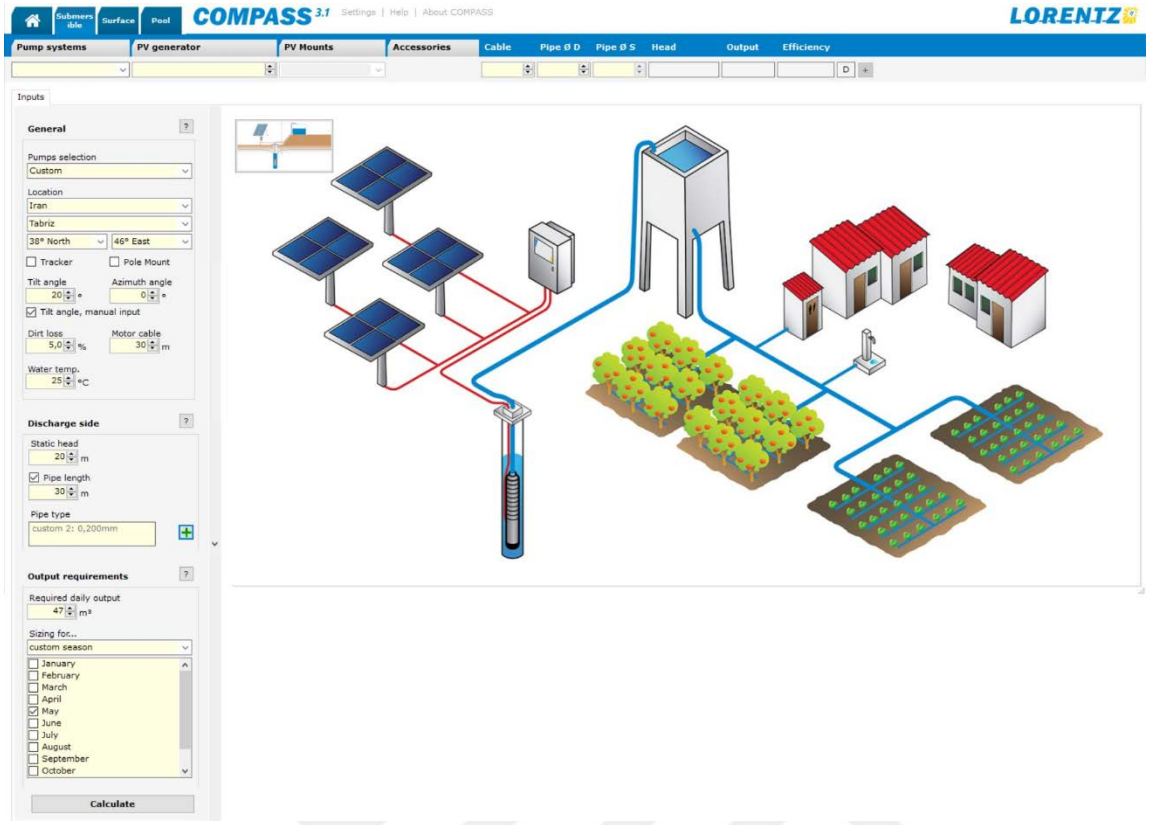


Şekil 34. SPVWPS Yerleşim Diyagramı

SPVWPS tasarımlar bölgedeki orta derinlikte olan su kuyuları için yapılacaktır. Bu doğrultuda İran Su Kaynakları Yönetim Kurumu raporuna dayanarak bölgedeki orta derinlikte olan su kuyularının maksimum 48 m derinlikte olduğu tespit edilmiştir. Değişik sistemler tasarlayabilmek amacı ile 15 m, 30 m ve 45 m üç farklı kuyu derinliği üzerine çalışılmıştır. Bu sistemlerde akü kullanmadan doğrudan elektrik motorları sürdüğümüz için üretilen enerjiyi potansiyel enerjiye dönüştürerek, pompalanan suyu 5 m yükseklikte olan depolama tankına basma planlanmıştır. Böylece statik su basma yükseklikleri 20 m, 35 m ve 50 m olarak programa işlenmiştir.

Pompa türü olarak Compass programının veri tabanında bulunan PS1200 C-SJ8-5, PS1800 C-SJ5-8, PS1800 C-SJ8-7, PS4000 C-SJ8-15 ve PS4000 C-SJ17-4 DC motor dalgıç tip pompalar kullanılacaktır. Kullanılan pompaların özellikleri EK-3 de yer almıştır.

Fotovoltaik paneller ise 260 Wp, 265 Wp ve 275 Wp sırayla %15,6 , %15,9 ve %16,5 performans oranına sahip olan çok-kristalli Q-Cells markalı panellerden oluşmaktadır. İlgili panellerin veri sayfaları Ek-4 de verilmiştir.



Şekil 35. Compass Programının Veri Giriş Sayfası

Şekil 35 'te Compass programının veri giriş sayfası gösterilmiştir. Fotovoltaik panellerin istikamet açısı tüm tasarımlarda sabit olarak uygun değer açıya (Güneye doğru) ayarlanmıştır. Ancak meyil açısı yıl bazındaki uygun değer açıya değil, en çok su tüketilen mevsime (yaz ayları) göre 20 dereceye sabitlenmiştir.

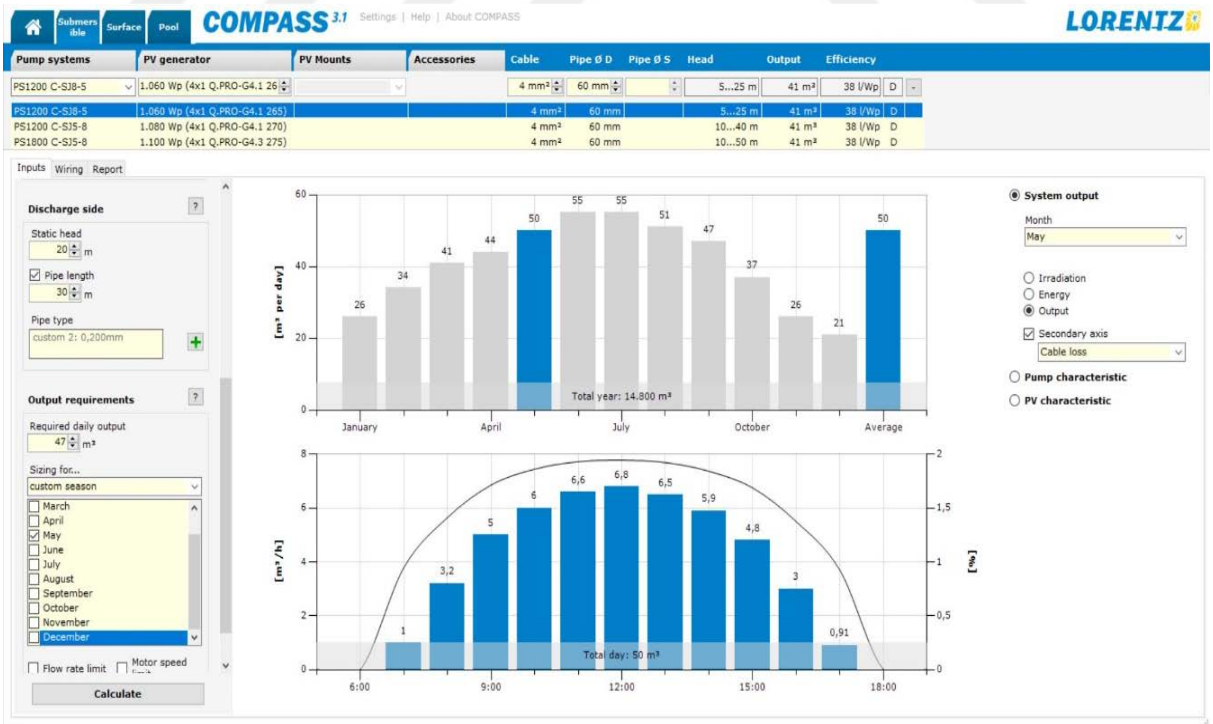
Tüm tasarımlarda fotovoltaik panellerin kirlilik oranı %5 olarak varsayılmıştır. Motor kabloları ve boru hatları uzunluğu ise statik su basma yükseklik mesafeleri artı 10 m olarak programa girilmiştir. Pompalanan suyun sıcaklığı da 25°C varsayılmıştır.

Güneş enerjili fotovoltaik su pompalama sistemlerin tasarımında en önemli kıstas, pompalanması gereken su miktarının belirlenmesidir. Bu çalışmada 1 hektarlık tarlalarda patates Temmuz ayında günlük 109,9 m^3 ve buğday Mayıs ayında günlük 47 m^3 su tüketimleri ile en çok ve en az su tüketen tarımlar olarak ele alınmışlardır. Bu doğrultuda, pompalanması gereken su miktarları Temmuz ayında 110 m^3 ve Mayıs ayında 47 m^3 olarak belirlenmiştir. Çizelge 10 'da Compass programı ile tasarlanacak 6 adet SPVWPS tasarım girdi bilgileri özetlenmiştir.

Çizelge 10. Compass Programı Tasarım Girdi Bilgileri

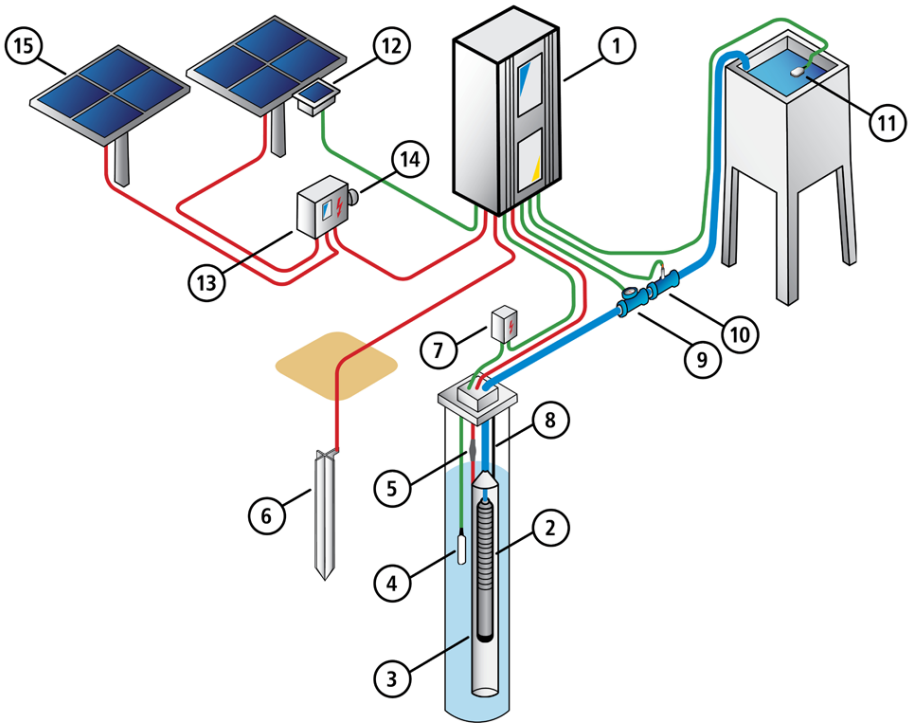
Tasarım Adı	Buğday H20m	Buğday H35m	Buğday H50m	Patates H20m	Patates H35m	Patates H50m
Pompa Türü	DC Motorlu Dalgıç Pompa					
Lokasyon Bilgileri	İran, Tebriz (38° Kuzey; 46° Doğu)					
Azimut ve Eğim Açıları	Azimut Açısı: 0° ; Eğim Açısı: 20 °					
Panellerin Kirlilik Kayıpları Oranı	%5					
Pompalanan Suyun Sıcaklığı	25°C					
Statik Su Basma Yüksekliği (m)	**20**	**35**	**50**	**20**	**35**	**50**
Motor Kablosunun Uzunluğu (m)	30	45	60	30	45	60
Boru Hattı Uzunluğu (m)	30	45	60	30	45	60
Simülasyon Yapılacak Ay	Mayıs			Temmuz		
Günlük Pompalanacak Su (m^3)	**47**	**47**	**47**	**110**	**110**	**110**

Bu veriler Compass programına işlenip hesaplamaya başlatıldığında Şekil 36 ’da gösterildiği gibi farklı tasarımlar ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada her bir simülasyon için programın önerdiği tasarımları karşılaştırarak en iyi çözüme gidilmiştir.



Şekil 36. Compass Programı Simülasyon Sonucu Sayfası

Şekil 37 ’de güneş enerjili fotovoltaik su pompalama sistemlerinin temel bileşenleri gösterilmektedir. Bu ekipmanların veri sayfaları ve özellikleri Ek-5 de verilmiştir.



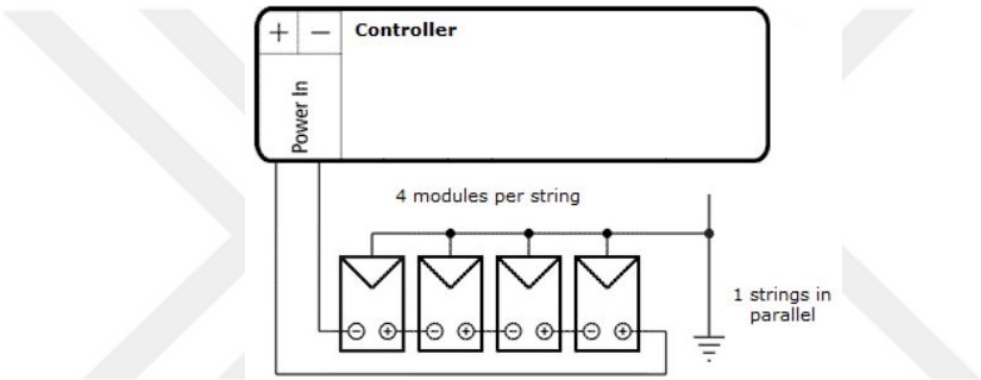
Şekil 37. SPVWP Sistem Bileşenleri

1. Kontroller
2. Dalgıç Pompa
3. Emme Süzgeç Tüpü
4. Kuyudaki Su Seviye Şamandırası
5. Kablo Ekleme Kiti
6. Topraklama Çubuğu
7. Parafudr
8. Emniyet Halatı
9. Su Sayacı
10. Basınç Sensörü
11. Tank Su Seviye Şamandırası
12. Güneş Anahtarı
13. Fotovoltaik Güç Kaynağı Ayırıcısı
14. Yıldırımdan Koruma ve Parafudr
15. Fotovoltaik Panel

5. SONUÇLAR

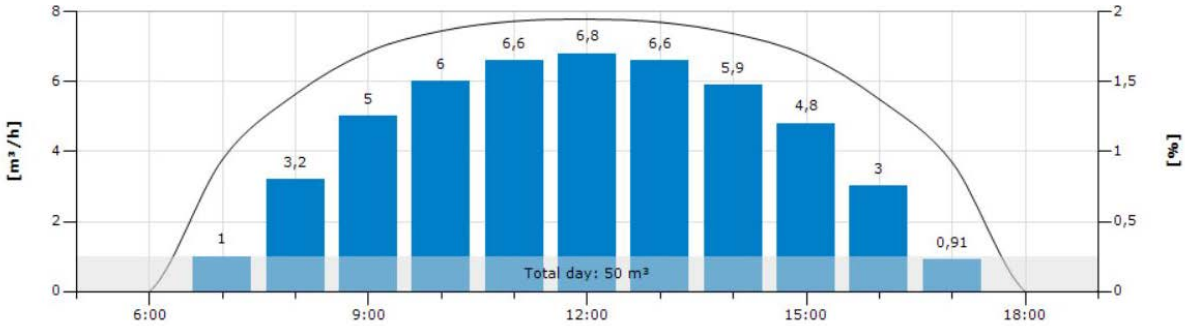
Doğu Azerbaycan eyaletinin Tebriz ovasında üç farklı kuyu derinliği ve iki farklı pompalanacak su miktarı için 6 adet şebekeden bağımsız doğrudan sürülen güneş enerjili su pompalama sistemi tasarlanmıştır.

Buğday-H20m sisteminde 1 hektarlık buğday tarlasında bulunan 15 m derinliğindeki kuyudan Mayıs ayında her gün minimum 47 m^3 suyu depolama tankına pompalayabilmek için 1 adet PS1200 C-SJ8-5 fırçasız DC motorlu dalgıç pompayı 4 adet 265 Wp poli kristal panele bağlamaktayız. İlgili simülasyonun raporu Ek-6 da verilmiştir. Bu paneller 4'lü dizi halinde 1 dize oluşturmuştur. Sistemin bağlantı şeması Şekil 38 'de gösterilmiştir.



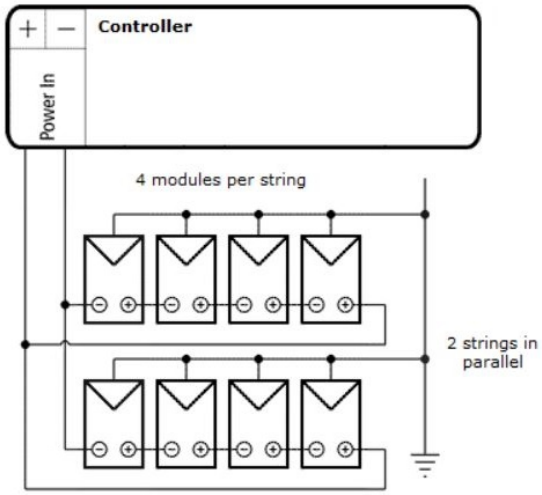
Şekil 38. Buğday-H20m Bağlantı Şeması

Motorun 30 metrelik kablo bağlantılarında kayıpların %2'nin altında kalması için 4mm^2 bakır kablo kullanılmıştır. Ayrıca yeterli debiyi sağlayabilmek ve 30 metrelik boru hattı kayıplarını azaltabilmek adına iç çapı 60mm olan borulardan yararlanmıştır. Sonuç olarak belirtilen koşullar altında tasarlanan sistem Mayıs ayında 1 hektarlık buğday tarlasına günlük 50m^3 su basma kapasitesine sahip olmuştur. Şekil 39 'da sistemin Mayıs ayında saatlik pompalayacak su miktarı ve kablo kayıpları yüzdesi bir arada gösterilmiştir [Ek-6].



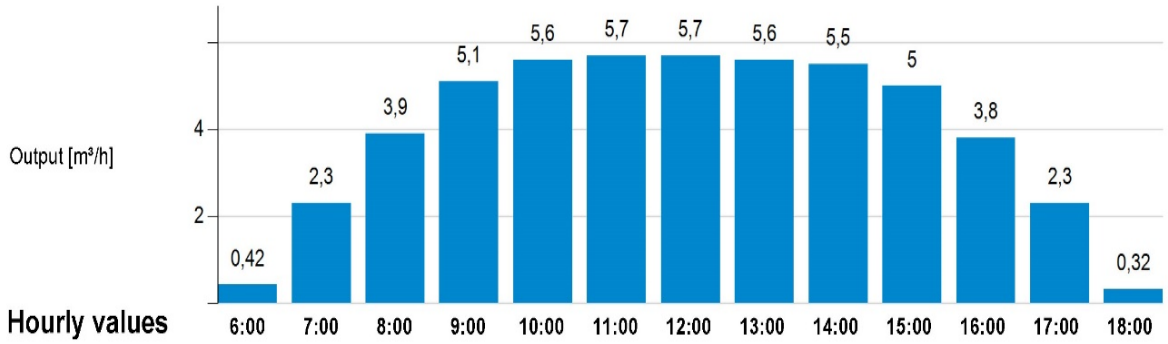
Şekil 39. Buğday-H20m Mayıs Ayı Çıktısı ve Kablo Kayıpları Yüzdesi

Buğday-H35m sisteminde 30 m derinliğindeki kuyudan Mayıs ayında her gün minimum 47 m^3/ha suyu pompalayabilmesi için PS1800 C-SJ5-8 fırçasız DC motorlu dalgıç pompayı 8 adet 260 Wp poli kristal panele bağlamaktayız [Ek-6]. Bu paneller 4'lü dizi halinde 2 paralel dize oluşturmuştur. Sistemin bağlantı şeması Şekil 40 'ta gösterilmiştir.



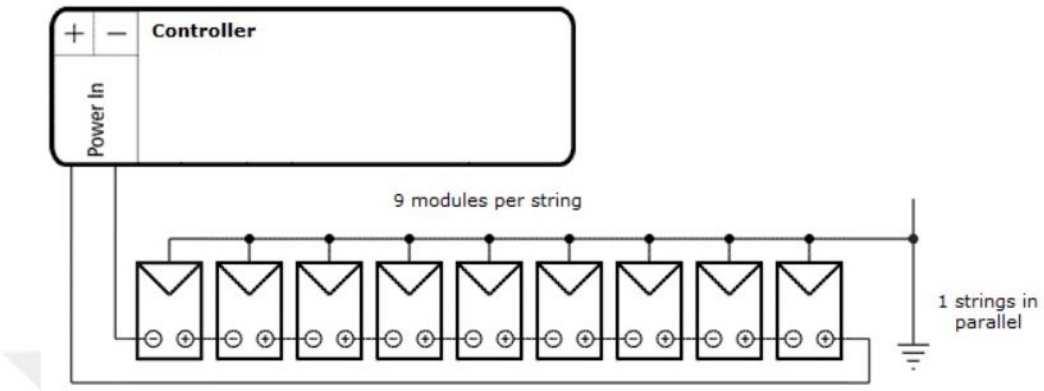
Şekil 40. Buğday-H35m Bağlantı Şeması

Motorun 45 metrelik kablo bağlantılarında kayıpların %2'nin altında kalması için 6mm^2 bakır kablo kullanılmıştır. Ayrıca yeterli debiyi sağlayabilmek ve 45 metrelik boru hattı kayıplarını azaltabilmek adına iç çapı 60mm olan borulardan yararlanmıştır. Sonuç olarak belirtilen koşullar altında tasarlanan sistem Mayıs ayında 1 hektarlık buğday tarlasına günlük 51 m^3 su basma kapasitesine sahip olmuştur. Şekil 41 'de sistemin Mayıs ayında saatlik pompalayacak su miktarı ve kablo kayıpları yüzdesi bir arada gösterilmiştir [Ek-6].



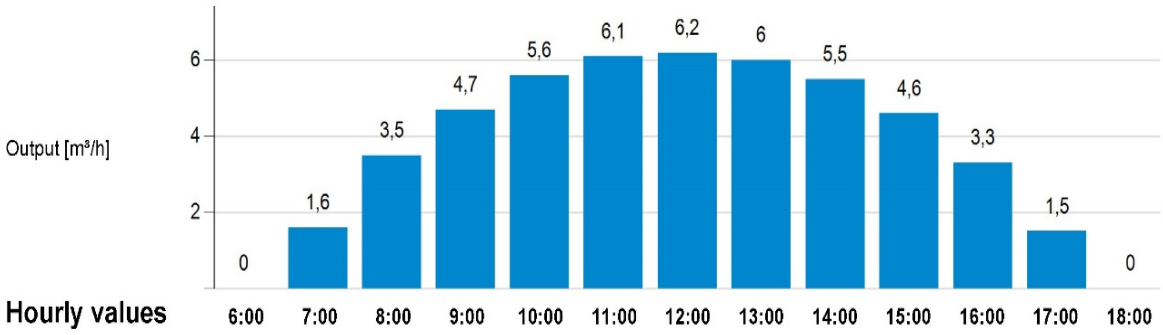
Şekil 41. Buğday-H35m Mayıs Ayı Saatlik Çıktısı

Buğday-H50m sisteminde PS4000 C-SJ8-15 fırçasız DC motorlu dalgıç pompayı 9 adet 260 Wp poli kristal panele bağlayarak 45 m derinliğindeki kuyudan Mayıs ayında her gün minimum 47 m^3/ha su pompalanacaktır [Ek-6]. Bu paneller 9'lü dizi halinde 1 dize oluşturmuştur. Sistemin bağlantı şeması Şekil 42 'de gösterilmiştir.



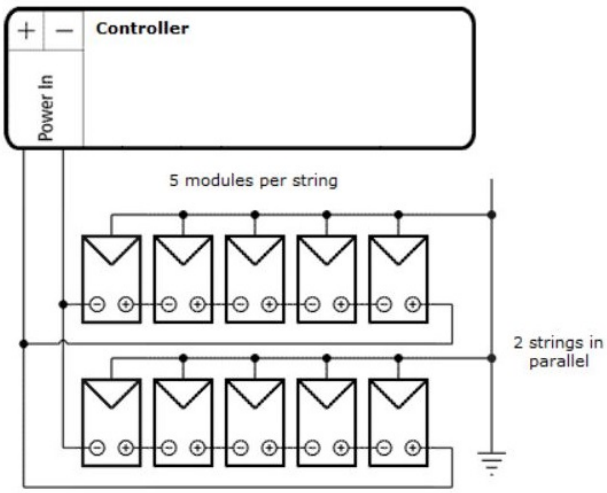
Şekil 42. Buğday-H50m Bağlantı Şeması

Motorun 60 metrelik kablo bağlantılarında kayıpların %2'nin altında kalması için 6mm^2 bakır kablo kullanılmıştır. Ayrıca yeterli debiyi sağlayabilmek ve 60 metrelik boru hattı kayıplarını azaltabilmek adına iç çapı 60mm olan borulardan yararlanmıştır. Sonuç olarak belirtilen koşullar altında tasarlanan sistem Mayıs ayında 1 hektarlık buğday tarlasına günlük 48 m^3 su basma kapasitesine sahip olmuştur. Şekil 43 'te sistemin Mayıs ayında saatlik pompalayacak su miktarı ve kablo kayıpları yüzdesi bir arada gösterilmiştir [Ek-6].



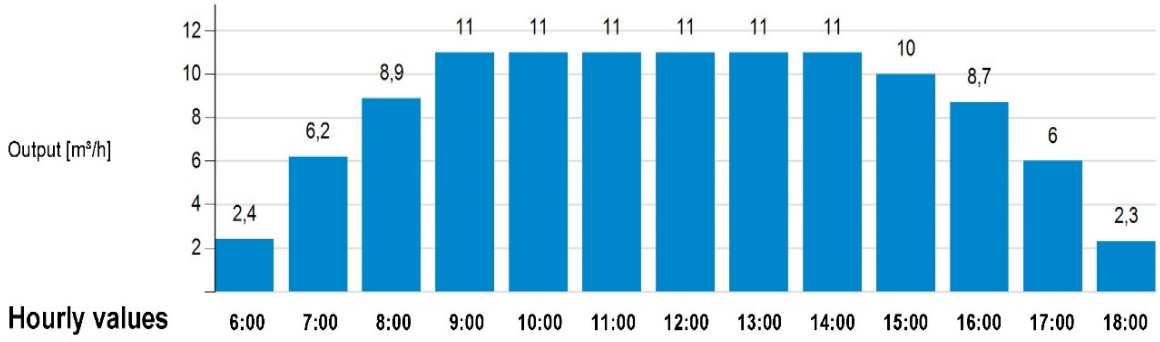
Şekil 43. Buğday-H50m Mayıs Ayı Saatlik Çıktısı

Patates-H20m sisteminde 1 hektarlık patates tarlasında bulunan 15 m derinliğindeki kuyudan Temmuz ayında her gün minimum 110 m^3 suyu depolama tankına pompalayabilmek için 1 adet PS1800 C-SJ8-7 fırçasız DC motorlu dalgıç pompayı 10 adet 260 Wp poli kristal panele bağlamaktayız. İlgili simülasyonun raporu Ek-6 da verilmiştir. Bu paneller 5'li dizi halinde 2 paralel dize oluşturmuştur. Sistemin bağlantı şeması Şekil 44 'te gösterilmiştir.



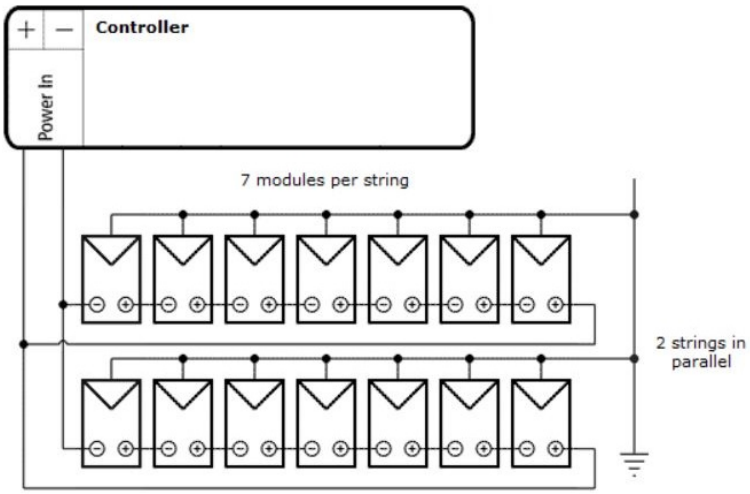
Şekil 44. Patates-H20m Bağlantı Şeması

Motorun 30 metrelik kablo bağlantılarında kayıpların %2'nin altında kalması için 4mm^2 bakır kablo kullanılmıştır. Ayrıca yeterli debiyi sağlayabilmek ve 30 metrelik boru hattı kayıplarını azaltabilmek adına iç çapı 60mm olan borulardan yararlanmıştır. Sonuç olarak belirtilen koşullar altında tasarlanan sistem Mayıs ayında 1 hektarlık buğday tarlasına günlük 111m^3 su basma kapasitesine sahip olmuştur. Şekil 45 'te sistemin Temmuz ayında saatlik pompalayacak su miktarı ve kablo kayıpları yüzdesi bir arada gösterilmiştir [Ek-6].



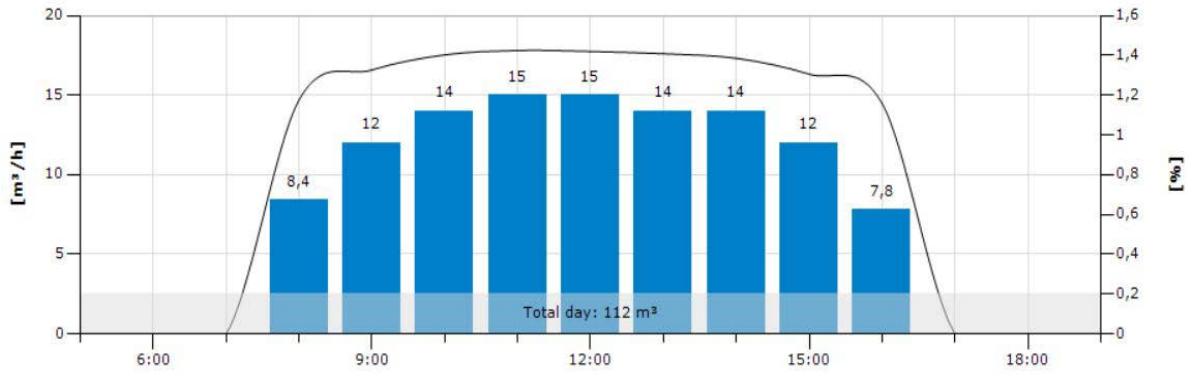
Şekil 45. Patates-H20m Temmuz Ayı Saatlik Çıktısı

Patates-H35m sisteminde 30 m derinliğindeki kuyudan Temmuz ayında her gün minimum 110 m^3/ha suyu pompalayabilmesi için PS4000 C-SJ17-4 fırçasız DC motorlu dalgıç pompayı 14 adet 260 Wp poli kristal panele bağlamaktayız [Ek-6]. Bu paneller 7'lü dizi halinde 2 paralel dize oluşturmuştur. Sistemin bağlantı şeması Şekil 46 'da gösterilmiştir.



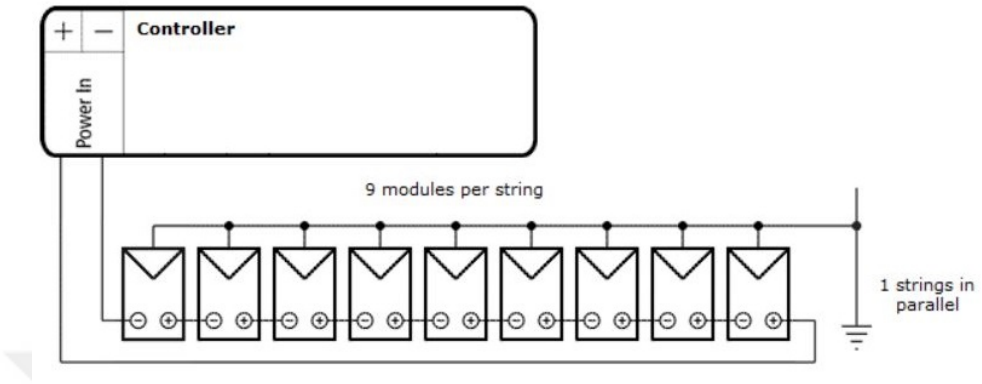
Şekil 46. Patates-H35m Bağlantı Şeması

Motorun 45 metrelik kablo bağlantılarında kayıpların %2'nin altında kalması için 6mm^2 bakır kablo kullanılmıştır. Ayrıca yeterli debiyi sağlayabilmek ve 45 metrelik boru hattı kayıplarını azaltabilmek adına iç çapı 80mm olan borulardan yararlanmıştır. Sonuç olarak belirtilen koşullar altında tasarlanan sistem Mayıs ayında 1 hektarlık buğday tarlasına günlük 112 m^3 su basma kapasitesine sahip olmuştur. Şekil 47 'de sistemin Temmuz ayında saatlik pompalayacak su miktarı ve kablo kayıpları yüzdesi bir arada gösterilmiştir [Ek-6].



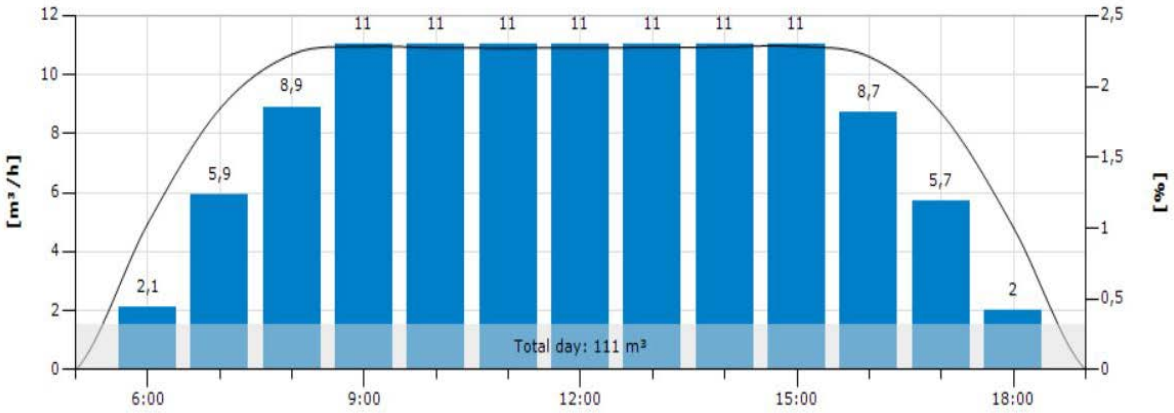
Şekil 47. Patates-H35m Temmuz Ayı Saatlik Çıktısı ve Kablo Kayıpları Yüzdesi

Patates-H50m sisteminde PS4000 C-SJ8-15 fırçasız DC motorlu dalgıç pompayı 21 adet 275 Wp poli kristal panele bağlayarak 45 m derinliğindeki kuyudan Temmuz ayında her gün minimum 110 m^3/ha su pompalanacaktır [Ek-6]. Bu paneller 7'lü dizi halinde 3 dize oluşturmuştur. Sistemin bağlantı şeması Şekil 48 'de gösterilmiştir.



Şekil 48. Patates-H50m Bağlantı Şeması

Motorun 60 metrelik kablo bağlantılarında kayıpların %2'nin altında kalması için 6mm^2 bakır kablo kullanılmıştır. Ayrıca yeterli debiyi sağlayabilmek ve 60 metrelik boru hattı kayıplarını azaltabilmek adına iç çapı 80mm olan borulardan yararlanmıştır. Sonuç olarak belirtilen koşullar altında tasarlanan sistem Mayıs ayında 1 hektarlık buğday tarlasına günlük 111 m^3 su basma kapasitesine sahip olmuştur. Şekil 49 'da sistemin Temmuz ayında saatlik pompalayacak su miktarı ve kablo kayıpları yüzdesi bir arada gösterilmiştir [Ek-6].



Şekil 49. Patates-H50m Temmuz Ayı Saatlik Çıktısı ve Kablo Kayıpları Yüzdesi

5.1. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Doğu Azerbaycan, Tebriz ovası iklim koşulları, yeraltı su kaynaklarının durumu ve tarımsal su ihtiyaçlarına göre yapılan tasarımlar ve simülasyon sonuçları Çizelge 11 ’de bir araya getirilmiştir.

Çizelge 11. Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tasarım Adı	**Buğday H20m**	**Buğday H35m**	**Buğday H50m**	**Patates H20m**	**Patates H35m**	**Patates H50m**
Kullanılan Pompa	PS1200 C-SJ8-5	PS1800 C-SJ5-8	PS4000 C-SJ8-15	PS1800 C-SJ8-7	PS4000 C-SJ17-4	PS4000 C-SJ8-15
Fotovoltaik Panel Gücü/Sayısı	265Wp 4x1	260Wp 4x2	260Wp 9x1	260Wp 5x2	260Wp 7x2	275Wp 7x3
Fotovoltaik DC Güç	1060 Wp	2080 Wp	2340 Wp	2600 Wp	3640 Wp	5775 Wp
Toplam Yıllık Enerji Üretimi (kWh)	1830	3595	4045	4495	6290	9990
Statik Su Basma Yüksekliği (m)	20	35	50	20	35	50
Motor Kablosunun Kesiti (mm^2)	4	6	6	6	6	6
Boru Hattı İç Çapı (mm)	60	60	60	60	80	80
Günlük Pompalanacak Su (m^3)	47	47	47	110	110	110
Simülasyon Yapılan Ay	Mayıs			Temmuz		
Günlük Pompalanan Su (m^3)	**50**	**51**	**48**	**111**	**112**	**111**

Simülasyon sonuçlarına göre, bu sistemlerin uygulanabilirliği, istenilen sonuçları elde ederek teknik olarak mümkün görülmüştür. Daha Küçük tarlalarda veya yıl bazında sabit su tüketimi olan seralarda, güneş enerjili su pompalama sistemleri optimum boyutlarda tasarlanabilir.

Ayrıca yılın belli aylarında su pompalanmasına ihtiyaç olmayacağından, kurulacak olan sistemler tarafından üretilen enerji, sisteme yakın olan herhangi bir elektrik tüketiminde kullanılabilir. Veya bu sistemlere sahip olan kişiler, tüketim fazlası olan enerjiyi elektrik şebekesinin olduğu yerlerde şebeke işletmesine Feed-In-Tariff fiyatından satabilirler.

5.2. İleride Bu Alanda Yapılabilecek Çalışmalar

Bu çalışmada atıfta bulunduğum literatürleri göz önünde bulundurarak, ilerleyen zamanlarda SPVWPS alanında araştırmalara konu olabilecek başlıkları aşağıdaki üç alanda sınıflandırmaktayım:

- Pompa Geliştirilmesi Üzerine Araştırmalar
  - Fotovoltaik enerjiyi verimli kullanacak hem santrifüj hem de helisel rotorlu pompa karakteristiklerine sahip hibrit (karma) pompaların geliştirilmesi.
  - Sıfır sürtünme direnci olan materyallerden üretilerek kayıpların çekirdek aileler için, küçük güç çıktısı ve dolayısıyla küçük kapasiteli paneller gerektirecek küçük kapasiteli pompaların geliştirilmesi.
- Güç Kaynağının Geliştirilmesi Üzerine Araştırmalar
  - Fotovoltaik paneller için ucuz izleme mekanizmalarının geliştirilmesi,
  - Işınım şiddetini yükseltici veya odaklayacı aynaların kullanılmasıyla SPVWPS performansının arttırılması,
  - Fotovoltaik panellere değişik soğutma teknikler uygulanmasıyla SPVWPS performansının arttırılması,
  - Fotovoltaik panel yüzeyindeki toz oluşumunu engelleyen/temizleyen ucuz teknikler geliştirilmesi.
- Güç Yönetimi Geliştirilmesi Üzerine Çalışmalar
  - Fotovoltaik panellerin boyutu için yeni optimizasyon yöntemlerinin geliştirilmesi.
  - Ucuz ve basit maksimum güç noktası takipçisi ve denetleyicilerin geliştirilmesi.

5.3. Sonuç

Dünyanın çeşitli bölgelerinden ve çeşitli araştırma alanlarından birçok araştırmacı güneş enerjili fotovoltaik su pompalama sistemlerinin matematiksel, teorik ve deneysel modellenmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu Tez çalışmasında, SPVWPS ile ilgili yayınlanmış makalelere atıflarda bulunuldu. Bu araştırma makaleleri SPVWPS'nin FV panel, pompa, izleme mekanizması, pompa denetleyicisi gibi birçok bileşeniyle alakalı araştırmaları kapsamaktaydı. Buradaki derlemelerin sonucunda ve yapılan tasarımların simülasyon neticesinde, güneş enerjili fotovoltaik su pompalama sistemleri Doğu Azerbaycan eyaletinin Tebriz ovasında sulama suyu ihtiyaçlarını karşılamak için tercih edilen pompalama yöntemi olacağı özetlenebilir. SPVWPS alanındaki araştırma fırsatları da bu çalışmada belirtilmiştir. Ayrıca bu Tez çalışması, SPVWPS alanında araştırma yapan araştırmacılar için uygun bir platform sağlamaktadır.

SPVWPS, İran'ın Doğu Azerbaycan eyaletinin coğrafi konumundan ve sahip olduğu iklim şartlarından dolayı büyük bir potansiyele sahiptir. Yapılan modellemelere göre teknik olarak SPVWP sistemlerinin bu bölgede uygulanabilirliğinde herhangi bir engel veya yetersizlik bulunmamaktadır. Günümüzde İran'da petrol ve elektrik fiyatlarının düşük olması ve SPVWP sistemlerin ilk kurulum maliyetlerinin de yüksek olması nedeniyle, güneş enerjili su pompalama sistemleri geleneksel çiftçiler arasında pek tercih edilmemektedir. Ancak ülkenin enflasyon değerlerindeki artışı ve bu sistemlerin kurulum maliyetlerinin her geçen gün azalmasını göz önünde bulundurursak, yakın bir zamanda bölgedeki tarlalarda güneş enerjili su pompalama sistemlerinin yaygınlaşmasına şahit olacağız.

KAYNAKLAR:

[1] Ghoneim AA. Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems. Energy Convers Manag 2006;47:1449–63.

[2] Hsieh JS. Solar energy engineering. New Jersey: Prantice Hall; 1986.

[3] Pytlinski JT. Solar energy installations for pumping irrigation water. Sol Energy 1978;21:255–62.

[4] Bahadori M.N. Solar water pumping. Solar Energy 1978;21:307–316.

[5] Ward Peter RB, Dunford William G. Solar powered groundwater pumping for medium heads. In: Proceedings of the Harare symposium on challenges in African hydrology and water resources. IAHS Publ. no. 144; 1984 July.

[6] Mankbadi Reda R, Ayad Samir S. Small-scale solar pumping: the technology. Energy Convers Manag 1988;28(2):171–184.

[7] Chowdhury Badrul H, Sadrul Ula, Kirk Stokes. Photovoltaic-powered water pumping – design, and implementation: case studies in Wyoming. IEEE Trans Energy Convers 1993;8(4):646–652.

[8] Sontake V.C, Kalamkar V.R. Solar photovoltaic water pumping system-A comprehensive review: Renewable and Sustainable Energy Reviews 2016;59:1038–1067

[9] ⟨www.shurflo.com⟩;

[10] ⟨www.gaiam.com⟩;

[11] ⟨www.dankoffsolarpumps.com⟩;

[12] Hamza Ali A, Taha Azmi Z. Performance of submersible PV solar pumping Systems under conditions in the Sudan. Renew Energy 1995;6(5–6):491–505.

[13] Reshef B, Suehrcke H, Appelbaum J. Analysis of a photovoltaic water pumping system. In: Proceedings of the eighteenth convention on electrical and electronics engineers in Israel; March 1995. p. 7–8.

[14] Yahya HN, Sambo AS. Design and installation of solar photovoltaic powered water pumping system at Usmanu Danfodiyo university, Sokoto. Renew Energy 1995;6(3):311–312.

[15] Posorski R. Photovoltaic water pumps, an attractive tool for rural drinking water supply. Solar Energy 1996;58(4–6):155–163.

[16] Clark R Nolan, Vick Brian D. Performance comparison of tracking and non- tracking solar photovoltaic water pumping systems. In: Proceeings of the ASAE annual international meeting. Paper no. 974003; 10–13 August 1997. p. 1–12.

[17] Clark R Nolan, Vick Brian D. Solar water pumping with fixed and passive tracking panels. In: Proceedings of the international solar energy conference on solar engineering; 2002.

[18] Bione J, Vilela OC, Fraidenraich N. Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and V-trough generators. Sol Energy 2004;76:703–711.

[19] Kou Q, Klein SA, Beckman WA. A method for estimating the long-term per- formance of direct-coupled PV pumping systems. Solar Energy 1998;64(1– 3):33–40.

[20] Hamrouni Nejib, Jraidi M, Cherif Adnene. Theoretical and experimental analysis of the behaviour of a photovoltaic pumping system. Solar Energy 2009;83:1335–1344.

[21] Arab Hadj, Chenlo F, Mukadam K, Balenzategui JL. Performance of PV water pumping systems. Renew Energy 1999;18(2):191–204.

[22] Fraidenraich N, Vilela OC. Performance of solar systems with non-linear behaviour calculated by the utilizability method: application to PV solar pumps. Solar Energy 2000;69(2):131–137.

[23] Narvarte L, Lorenzo E, Caamano E. PV pumping analytical design and characteristics of boreholes. Sol Energy 2000;68(1):49–56.

[24] Mahjoubi Ammar, Mechlouch Ridha Fethi, Brahim Ammar Ben. Economic viability of photovoltaic water pumping systems in the desert of Tunisia. In: Proceedings of international renewable energy congress; 5–7 November 2010. p. 39–43.

[25] Pande PC, Singh AK, Ansari S, Vyas SK, Dave BK. Design development and testing of a solar PV pump based drip system for orchards. Renew Energy 2003;28(3):385–396.

[26] Chaurey A, Sadaphal PM, Tyaqi D. Experiences with SPV water pumping systems for rural applications in India. Renew Energy 1993;3:961–964.

[27] Vick Brian D, Clark R Nolan. Performance of wind-electric and solar-PV water pumping systems for watering livestock. J Solar Energy Eng 1996;118(4):212–216.

[28] Vick BD, Clark, RN. Water pumping performance of a solar-PV helical pump. In: Proceedings of ISES 2005 solar world congress: solar energy – bringing water to the world. p. 6–12.

[29] Odeh I, Yohanis YG, Norton B. Economic viability of photovoltaic water pumping Systems. J Sol Energy 2006;80:850–860.

[30] Vick Brian D, Clark R. Nolan. Comparison of solar powered water pumping systems, which use diaphragm pumps. In: Proceedings from the 36th ASES annual conference; 2007: 1. p. 253–258.

[31] Vick Brian D, Clark R. Nolan. Determining the optimum solar water pumping system for domestic use, livestock watering or irrigation. In: Proceedings from the 38th ASES annual conference; 2009: 4. p. 2212–2239.

[32] Vick B, Clark R. Experimental investigation of solar powered diaphragm and helical pumps. Sol Energy 2011;85:945–954.

[33] Ranjan Parajuli, Pokharel Govind Raj, Ostergaard Poul Alberg. A comparison of diesel, biodiesel and solar PV-based water pumping systems in the con- text of rural Nepal. Int J Sustain Energy 2014;33(3):536–553.

[34] Hamidat A. Simulation of the performance and cost calculations of the sur- face pump. Renew Energy 1999;18:272–281.

[35] Groumpos PP, Papageorgiou BG. An optimal sizing method for stand-alone photovoltaic power systems. Solar Energy 1987;38(5):341–351.

[36] Soras C, Makios V. A novel method for determining the optimum size of stand-alone photovoltaic systems. Sol Cells 1988;25(2):127–142.

[37] Cuadros F, Lopez-Rodrıguez F, Marcos A, Coello J. A procedure to size solar powered irrigation (photo irrigation) schemes. Sol Energy 2004;76:465–473.

[38] Odeh I, YohanisY, Norton B. Influence of pumping head, insolation and PV array size on PV water pumping system performance. Solar Energy 2006;80 (1):51–64.

[39] Bucher W. Aspects of solar water pumping in remote regions. Energy Sustain Dev 1996;3(4):8–27.

[40] Benlarbi K, Mokrani L, Nait-Said MS. A fuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water pumping system. Solar Energy 2004;77:203–216.

[41] Firatoglu Z Abidin, Yesilata Bulent. New approaches on the optimization of directly coupled PV pumping systems. Solar Energy 2004;77:81–93.

[42] Ghoneim AA. Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems. Energy Convers Manag 2006;47:1449–1463.

[43] ⟨www.pvcomplete.com/pvcad⟩;

[44] Gad Helmy E, Safya M. Using photovoltaic array for solar water pumping in Toshka region. In: Proceedings of the fifteenth international water technol- ogy conference. IWTC15 2011. Egypt.

[45] Bakelli Y, Arab AH, Azoui B. Optimal sizing of photovoltaic pumping system with water tank storage using LPSP concept. Solar Energy 2011;85:288–294.

[46] Perpetuo Correa Tomas, Seleme Jr. Seleme Isaac, Silva Selenio Rocha. Effi- ciency optimization in stand-alone photovoltaic pumping system. Renew Energy 2012;41:220–6.

[47] Surendra TS, Subbaraman SVV. Solar PV water pumping comes of age in India. In: Proceedings of conference record of the twenty-ninth IEE photo- voltaic specialists conference. 19–24 May 2002. p.1485–1488.

[48] Rural water supply system: NSP solar pump, ⟨http://www.newsolarpump. com/nsp-solar-pumps.html⟩, ⟨http://www.pumpmakers.com⟩.

[49] Williams Daniel E, Obeng Dennis M, Anaman Kwaw, Akuffo Fred O. Tests on photovoltaic radial centrifugal pump systems. Renewable Energy Trans- forming Business. p.402–413.

[50] ⟨www.tr.wikipedia.org⟩;

[51] N. KIVRAK, Tebriz'de Sanayi ve Sanayiye Dayalı Çevre Sorunları, Marmara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi; 2009.p.18.

[52] G. Mahmoudi, Tebriz Şehrinde Arazi Kullanımı, Coğrafi Bilimler Dergisi, CBD 8 (2), 169-187 (2010)

[53] ⟨www.meteoblue.com⟩;

[54] ⟨www.wrbs.wrm.ir⟩;

[55] ⟨www.lorentz.de⟩;

[56] T, Acatay, Sulama Mühendisliği, Dokuz Eylül Üniversitesi Vakfı, İzmir (1996), 598 s,

[57] A, İ, İlhan, M, Utku, GAP Sulama Alanında Bitki Su Tüketimi ve Bitki Su Gereksinimi, Tarım Orman Meteorolojisi Sempozyumu (1998), İTÜ, İstanbul,

[58] R, G, Allen, Crop Evapotranspiration, FAO Irrigation and Drainage Paper No: 56 (1998),

[59] Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2005), http://www,fao,org/ag/AGL/AGLW/Cropwat,stm

[60] https://www.partnernet.lorentz.de/en/partnernet/support/knowledge_base

EKLER

Ek-1. Tebriz CROPWAT Programı Değerleri

MONTHLY ETO PENMAN-MONTEITH DATA
(File: D:\Hamed JAHED\M.Sc. Thesis\TABRIZ.pen)

Country: Location 43 Station: TABRIZ
Altitude: 1361 m. Latitude: 38.08 °N Longitude: 46.28 °E

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind m/s	Sun hours	Rad MJ/m²/day	ETo mm/day
January	-6.6	1.2	74	2.2	3.7	7.2	0.78
February	-4.5	3.8	73	2.4	5.2	10.6	1.08
March	0.3	10.1	63	3.0	4.5	12.5	2.01
April	5.7	16.5	57	3.4	5.0	15.6	3.30
May	10.6	22.5	44	3.2	7.0	19.8	4.99
June	15.2	28.6	34	4.0	8.4	22.5	7.19
July	19.6	32.9	31	5.0	9.9	24.2	9.16
August	19.0	32.3	33	4.8	9.3	21.9	8.49
September	14.3	28.2	36	3.3	9.2	19.1	6.01
October	8.0	19.9	54	2.4	6.5	12.7	3.08
November	2.1	12.1	60	1.9	4.9	8.7	1.66
December	-3.0	4.9	68	2.0	3.6	6.6	1.00
Average	6.7	17.8	52	3.1	6.4	15.1	4.06

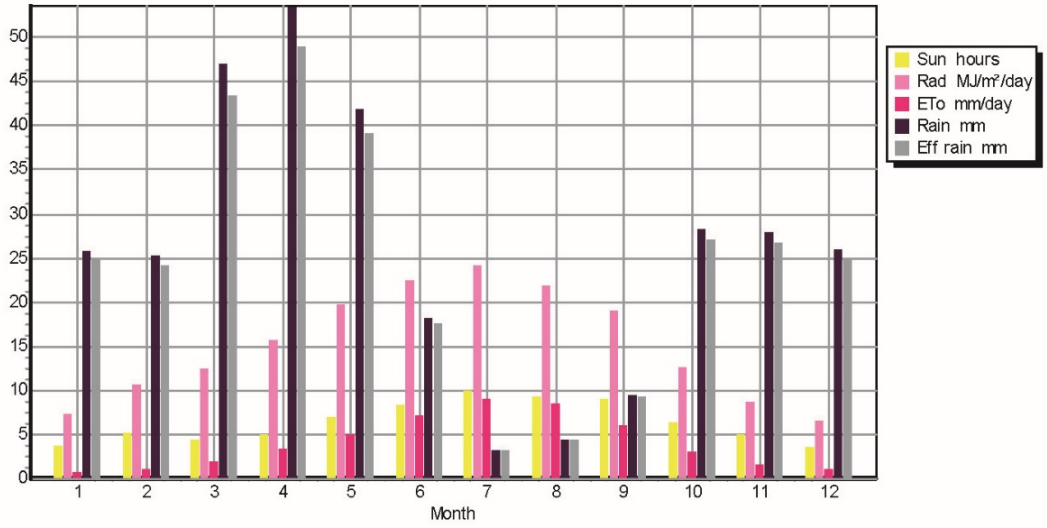
MONTHLY RAIN DATA
(File: D:\Hamed JAHED\M.Sc. Thesis\TABRIZ.cli)

Station: TABRIZ

Eff. rain method: USDA Soil Conservation Service formula:
Peff = Pmon * (125 - 0.2 * Pmon) / 125 for Pmon <= 250 mm
Peff = 125 + 0.1 * Pmon for Pmon > 250 mm

	Rain mm	Eff rain mm
January	25.8	24.7
February	25.3	24.3
March	47.0	43.5
April	53.6	49.0
May	41.9	39.1
June	18.1	17.6
July	3.2	3.2
August	4.4	4.4
September	9.4	9.3
October	28.4	27.1
November	28.0	26.7
December	26.0	24.9
Total	311.1	293.7

CLIMATE / ETO / RAIN CHART



SOIL DATA
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\FAO\MEDIUM.SOI)

Soil name: Medium (loam)

General soil data:

Total available soil moisture (FC - WP)	290.0	mm/meter
Maximum rain infiltration rate	40	mm/day
Maximum rooting depth	900	centimeters
Initial soil moisture depletion (as % TA	0	%
Initial available soil moisture	290.0	mm/meter

Ek-2. Tebriz'deki Bitkilerin Ay ve Yıl Bazında Günlük Ortalama Sulama Suyu Miktarı

DRY CROP DATA
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\FAO\CITRUS.CRO)

Crop Name: CITRUS 70% ca bare Planting date: 01/11 Harvest: 31/10

Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	60	90	120	95	365
Kc Values	0.70	-->	0.65	0.70	
Rooting depth (m)	1.40	-->	1.40	1.40	
Critical depletion	0.50	-->	0.50	0.50	
Yield response f.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cropheight (m)			4.00		

SCHEME SUPPLY

ETo station: TABRIZ Cropping pattern: East Azerbaijan
Rain station: TABRIZ

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precipitation deficit												
1. CITRUS 70% ca bare	0.0	0.5	3.9	23.9	75.0	138.3	202.6	196.2	128.1	47.9	9.9	0.0
Net scheme irr.req.												
in mm/day	0.0	0.0	0.1	0.8	2.4	4.6	6.5	6.3	4.3	1.5	0.3	0.0
in mm/month	0.0	0.5	3.9	23.9	75.0	138.3	202.6	196.2	128.1	47.9	9.9	0.0
in l/s/h	0.00	0.00	0.01	0.09	0.28	0.53	0.76	0.73	0.49	0.18	0.04	0.00
Irrigated area (% of total area)	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Irr.req. for actual area (l/s/h)	0.00	0.00	0.01	0.09	0.28	0.53	0.76	0.73	0.49	0.18	0.04	0.00

DRY CROP DATA
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\FAO\GRAPES-W.CRO)

Crop Name: Wine grapes Planting date: 01/09 Harvest: 31/08

Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	150	50	125	40	365
Kc Values	0.30	-->	0.70	0.45	
Rooting depth (m)	1.50	-->	1.50	1.50	
Critical depletion	0.45	-->	0.45	0.45	
Yield response f.	0.20	0.70	0.85	0.40	0.85
Cropheight (m)			1.80		

SCHEME SUPPLY

ETo station: TABRIZ Cropping pattern: East Azerbaijan
Rain station: TABRIZ

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precipitation deficit												
1. Wine grapes	0.0	0.0	4.7	26.7	79.4	144.3	207.2	159.0	44.3	4.3	0.0	0.0
Net scheme irr.req.												
in mm/day	0.0	0.0	0.2	0.9	2.6	4.8	6.7	5.1	1.5	0.1	0.0	0.0
in mm/month	0.0	0.0	4.7	26.7	79.4	144.3	207.2	159.0	44.3	4.3	0.0	0.0
in l/s/h	0.00	0.00	0.02	0.10	0.30	0.56	0.77	0.59	0.17	0.02	0.00	0.00
Irrigated area (% of total area)	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0
Irr.req. for actual area (l/s/h)	0.00	0.00	0.02	0.10	0.30	0.56	0.77	0.59	0.17	0.02	0.00	0.00

DRY CROP DATA
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\FAO\MAIZE.CRO)

Crop Name: MAIZE (Grain) Planting date: 01/04 Harvest: 03/08

Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	20	35	40	30	125
Kc Values	0.30	-->	1.20	0.35	
Rooting depth (m)	0.30	-->	1.00	1.00	
Critical depletion	0.55	-->	0.55	0.80	
Yield response f.	0.40	0.40	1.30	0.50	1.25
Cropheight (m)			2.00		

SCHEME SUPPLY

ETo station: TABRIZ Cropping pattern: East Azerbaijan
Rain station: TABRIZ

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precipitation deficit												
1. MAIZE (Grain)	0.0	0.0	0.0	1.8	122.0	255.6	248.5	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Net scheme irr.req.												
in mm/day	0.0	0.0	0.0	0.1	3.9	8.5	8.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
in mm/month	0.0	0.0	0.0	1.8	122.0	255.6	248.5	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0
in l/s/h	0.00	0.00	0.00	0.01	0.46	0.99	0.93	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Irrigated area (% of total area)	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Irr.req. for actual area (l/s/h)	0.00	0.00	0.00	0.01	0.46	0.99	0.93	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00

DRY CROP DATA
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\FAO\POTATO.CRO)

Crop Name: Potato Planting date: 01/05 Harvest: 07/09

Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	25	30	45	30	130
Kc Values	0.50	-->	1.15	0.75	
Rooting depth (m)	0.30	-->	0.60	0.60	
Critical depletion	0.25	-->	0.30	0.50	
Yield response f.	0.45	0.80	0.80	0.30	1.10
Cropheight (m)			0.60		

SCHEME SUPPLY

ETo station: TABRIZ Cropping pattern: East Azerbaijan
Rain station: TABRIZ

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precipitation deficit												
1. Potato	0.0	0.0	0.0	0.0	42.5	200.0	340.6	283.5	38.6	0.0	0.0	0.0
Net scheme irr.req.												
in mm/day	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	6.7	11.0	9.1	1.3	0.0	0.0	0.0
in mm/month	0.0	0.0	0.0	0.0	42.5	200.0	340.6	283.5	38.6	0.0	0.0	0.0
in l/s/h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.77	1.27	1.06	0.15	0.00	0.00	0.00
Irrigated area (% of total area)	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Irr.req. for actual area (l/s/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.77	1.27	1.06	0.15	0.00	0.00	0.00

DRY CROP DATA
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\FAO\PULSES.CRO)

Crop Name: Pulses Planting date: 01/06 Harvest: 18/09

Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	20	30	40	20	110
Kc Values	0.40	-->	1.15	0.35	
Rooting depth (m)	0.30	-->	1.00	1.00	
Critical depletion	0.60	-->	0.60	0.80	
Yield response f.	0.40	0.60	0.80	0.60	0.80
Cropheight (m)			0.40		

SCHEME SUPPLY

ETo station: TABRIZ Cropping pattern: East Azerbaijan
Rain station: TABRIZ

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precipitation deficit												
1. Pulses	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.0	292.8	310.7	80.2	0.0	0.0	0.0
Net scheme irr.req.												
in mm/day	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	9.4	10.0	2.7	0.0	0.0	0.0
in mm/month	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.0	292.8	310.7	80.2	0.0	0.0	0.0
in l/s/h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	1.09	1.16	0.31	0.00	0.00	0.00
Irrigated area (% of total area)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Irr.req. for actual area (l/s/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	1.09	1.16	0.31	0.00	0.00	0.00

DRY CROP DATA
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\FAO\SUNFLOWR.CRO)

Crop Name: Sunflower Planting date: 01/04 Harvest: 08/08

Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	25	35	45	25	130
Kc Values	0.35	-->	1.15	0.35	
Rooting depth (m)	0.30	-->	1.30	1.30	
Critical depletion	0.45	-->	0.50	0.80	
Yield response f.	0.40	0.60	0.80	0.80	0.95
Cropheight (m)			2.00		

SCHEME SUPPLY

ETo station: TABRIZ Cropping pattern: East Azerbaijan
Rain station: TABRIZ

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precipitation deficit												
1. Sunflower	0.0	0.0	0.0	0.0	102.6	247.3	294.9	32.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Net scheme irr.req.												
in mm/day	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	8.2	9.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
in mm/month	0.0	0.0	0.0	0.0	102.6	247.3	294.9	32.3	0.0	0.0	0.0	0.0
in l/s/h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.95	1.10	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Irrigated area (% of total area)	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Irr.req. for actual area (l/s/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.95	1.10	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00

DRY CROP DATA
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\FAO\VEGETABL.CRO)

Crop Name: Small Vegetables Planting date: 01/04 Harvest: 04/07

Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	20	30	30	15	95
Kc Values	0.70	-->	1.05	0.95	
Rooting depth (m)	0.25	-->	0.60	0.60	
Critical depletion	0.30	-->	0.45	0.50	
Yield response f.	0.80	0.40	1.20	1.00	1.00
Cropheight (m)			0.30		

SCHEME SUPPLY

ETo station: TABRIZ Cropping pattern: East Azerbaijan
Rain station: TABRIZ

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precipitation deficit												
1. Small Vegetables	0.0	0.0	0.0	24.0	120.2	212.3	33.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Net scheme irr.req.												
in mm/day	0.0	0.0	0.0	0.8	3.9	7.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
in mm/month	0.0	0.0	0.0	24.0	120.2	212.3	33.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
in l/s/h	0.00	0.00	0.00	0.09	0.45	0.82	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Irrigated area (% of total area)	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Irr.req. for actual area (l/s/h)	0.00	0.00	0.00	0.09	0.45	0.82	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

DRY CROP DATA
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\FAO\TOMATO.CRO)

Crop Name: Tomato Planting date: 01/04 Harvest: 23/08

Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	30	40	45	30	145
Kc Values	0.60	-->	1.15	0.80	
Rooting depth (m)	0.25	-->	1.00	1.00	
Critical depletion	0.30	-->	0.40	0.50	
Yield response f.	0.50	0.60	1.10	0.80	1.05
Cropheight (m)			0.60		

SCHEME SUPPLY

ETo station: TABRIZ Cropping pattern: East Azerbaijan
Rain station: TABRIZ

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precipitation deficit												
1. Tomato	0.0	0.0	0.0	11.3	95.9	239.5	336.0	194.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Net scheme irr.req.												
in mm/day	0.0	0.0	0.0	0.4	3.1	8.0	10.8	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
in mm/month	0.0	0.0	0.0	11.3	95.9	239.5	336.0	194.6	0.0	0.0	0.0	0.0
in l/s/h	0.00	0.00	0.00	0.04	0.36	0.92	1.25	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00
Irrigated area (% of total area)	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Irr.req. for actual area (l/s/h)	0.00	0.00	0.00	0.04	0.36	0.92	1.25	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00

DRY CROP DATA
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\FAO\W-WHEAT.CRO)

Crop Name: Winter Wheat f.f. Planting date: 01/11 Harvest: 28/06

Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	30	140	40	30	240
Kc Values	0.70	-->	1.15	0.25	
Rooting depth (m)	0.30	-->	1.50	1.50	
Critical depletion	0.55	-->	0.55	0.90	
Yield response f.	0.20	0.60	0.50	0.40	1.00
Cropheight (m)			1.00		

SCHEME SUPPLY

ETo station: TABRIZ Cropping pattern: East Azerbaijan
Rain station: TABRIZ

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precipitation deficit												
1. Winter Wheat f.f.	0.5	6.2	24.9	67.7	145.7	111.8	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9	0.3
Net scheme irr.req.												
in mm/day	0.0	0.2	0.8	2.3	4.7	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
in mm/month	0.5	6.2	24.9	67.7	145.7	111.8	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9	0.3
in l/s/h	0.00	0.03	0.09	0.26	0.54	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
Irrigated area (% of total area)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0
Irr.req. for actual area (l/s/h)	0.00	0.03	0.09	0.26	0.54	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00

Ek-3. Modellemede Kullanılan Dalgıç Pompaların Özellikleri

PS1200 C-SJ8-5

Solar Submersible Pump System for 4" wells

System Overview

Head	max. 25 m
Flow rate	max. 14 m³/h

PS DataModule – Integrated Data Logger and advanced pump management features. Allows for simple system configuration, real-time and stored data plus provides Bluetooth communication to PumpScanner Android ™ App and PS Communicator.*

Technical Data

Controller PS1200

- Controlling and monitoring
- Control inputs for dry running protection, remote control etc.
- Protected against reverse polarity, overload and overtemperature
- Integrated MPPT (Maximum Power Point Tracking)
- Battery operation: Integrated low voltage disconnect

Power	max. 1,2 kW
Input voltage	max. 200 V
Optimum Vmp**	> 102 V
Nominal voltage (battery operation)	96 V
Motor current	max. 9,5 A
Efficiency	max. 98 %
Ambient temp.	-30...50 °C
Enclosure class	IP65





Motor ECDRIVE 1200-C / ECDRIVE 1800-C

- Maintenance-free brushless DC motor
- Water filled
- Premium materials, stainless steel: AISI 304/316
- No electronics in the motor

Rated power	1,7 kW
Efficiency	max. 92 %
Motor speed	900...3.300 rpm
Insulation class	F
Enclosure class	IP68
Submersion	max. 150 m

Pump End PE C-SJ8-5

- Non-return valve
- Premium materials, stainless steel: AISI 304
- Optional: dry running protection
- Centrifugal pump

Pump Unit PU1200 C-SJ8-5 (Motor, Pump End)

Borehole diameter	min. 4,0 in
Water temperature	max. 50 °C

Standards

CE 2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC

TÜVRheinland CERTIFIED — Type Approved Safety Regular Production Surveillance — www.tuv.com ID 2000000000

IEC/EN 61010-1:2010, IEC 62103:2003, IEC/EN 60034-1:2010,
IEC/EN 60335-2-41:2003+A1+A2,
IEC/EN 60335-1:2012, EN 62233:2008
IEC/EN 61000-6-4:2007+A1, IEC/EN 61000-6-2:2005

IEC/EN 61702:1995, IEC/EN 62253 Ed.1

The logos shown reflect the approvals that have been granted for this product family. Products are ordered and supplied with the approvals specific to the market requirements.

* PS DataModule is included in all PSk2 controllers and any PS controllers with –D in their description. –D variants should be ordered if there is a potential need to use the PS DataModule features in the future as this is not a retrofit option.

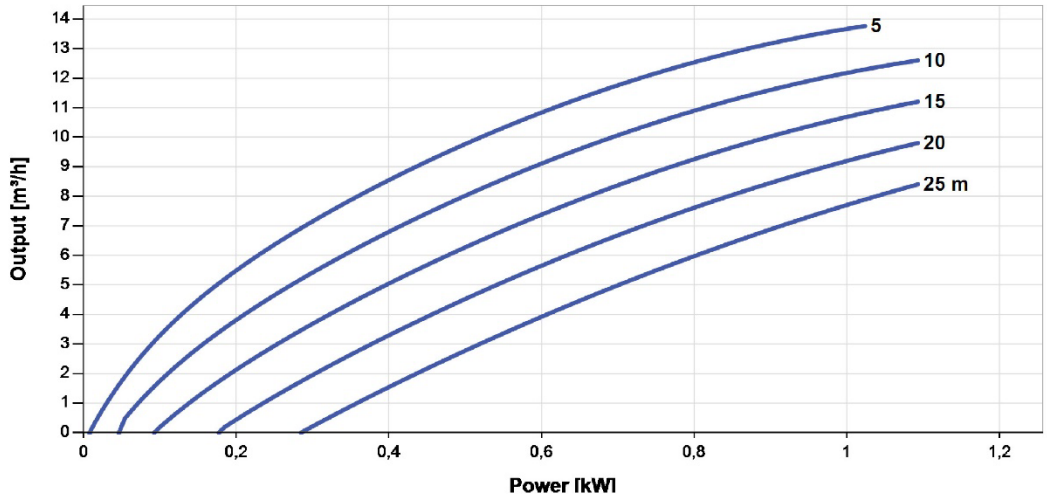
**Vmp: MPP-voltage under Standard Test Conditions (STC): 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

PS1200 C-SJ8-5

Solar Submersible Pump System for 4" wells

Pump Chart

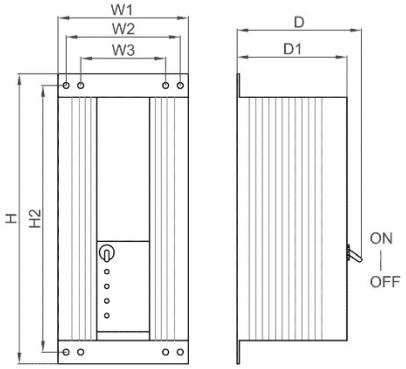
Vmp* > 102 V



Dimensions and Weights

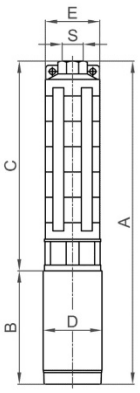
Controller

H = 396 mm
H2 = 364 mm
W1 = 178 mm
W2 = 156 mm
W3 = 116 mm
D = 165 mm
D1 = 150 mm



Pump Unit

A = 600 mm
B = 185 mm
C = 415 mm
D = 96 mm
E = 98 mm
S = 2 in



	Net weight
Controller	4,1 kg
Pump Unit	13 kg
Motor	7,0 kg
Pump End	5,7 kg

*Vmp: MPP-voltage under Standard Test Conditions (STC): 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

PS1800 C-SJ5-8

Solar Submersible Pump System for 4" wells

System Overview

Head	max. 50 m
Flow rate	max. 8,1 m³/h

PS DataModule – Integrated Data Logger and advanced pump management features. Allows for simple system configuration, real-time and stored data plus provides Bluetooth communication to PumpScanner Android ™ App and PS Communicator.*

Technical Data

Controller PS1800

- Controlling and monitoring
- Control inputs for dry running protection, remote control etc.
- Protected against reverse polarity, overload and overtemperature
- Integrated MPPT (Maximum Power Point Tracking)
- Battery operation: Integrated low voltage disconnect

Power	max. 1,8 kW
Input voltage	max. 200 V
Optimum Vmp**	> 102 V
Nominal voltage (battery operation)	96 V
Motor current	max. 14 A
Efficiency	max. 98 %
Ambient temp.	-30...50 °C
Enclosure class	IP65





Motor ECDRIVE 1200-C / ECDRIVE 1800-C

- Maintenance-free brushless DC motor
- Water filled
- Premium materials, stainless steel: AISI 304/316
- No electronics in the motor

Rated power	1,7 kW
Efficiency	max. 92 %
Motor speed	900...3.300 rpm
Insulation class	F
Enclosure class	IP68
Submersion	max. 150 m

Pump End PE C-SJ5-8

- Non-return valve
- Premium materials, stainless steel: AISI 304
- Optional: dry running protection
- Centrifugal pump

Pump Unit PU1800 C-SJ5-8 (Motor, Pump End)

Borehole diameter	min. 4,0 in
Water temperature	max. 50 °C

Standards

CE 2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC

TÜVRheinland CERTIFIED — Type Approved Safety Regular Production Surveillance — www.tuv.com ID 2050000000

IEC/EN 61010-1:2010, IEC 62103:2003, IEC/EN 60034-1:2010, IEC/EN 60335-2-41:2003+A1+A2, IEC/EN 60335-1:2012, EN 62233:2008 IEC/EN 61000-6-4:2007+A1, IEC/EN 61000-6-2:2005

IEC/EN 61702:1995, IEC/EN 62253 Ed.1

The logos shown reflect the approvals that have been granted for this product family. Products are ordered and supplied with the approvals specific to the market requirements.

* PS DataModule is included in all PSk2 controllers and any PS controllers with –D in their description. –D variants should be ordered if there is a potential need to use the PS DataModule features in the future as this is not a retrofit option.

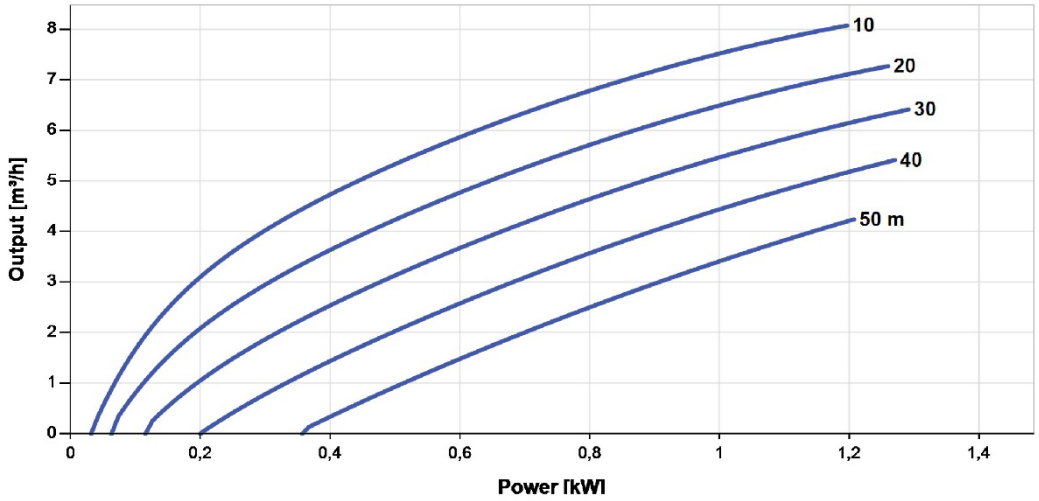
**Vmp: MPP-voltage under Standard Test Conditions (STC): 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

PS1800 C-SJ5-8

Solar Submersible Pump System for 4" wells

Pump Chart

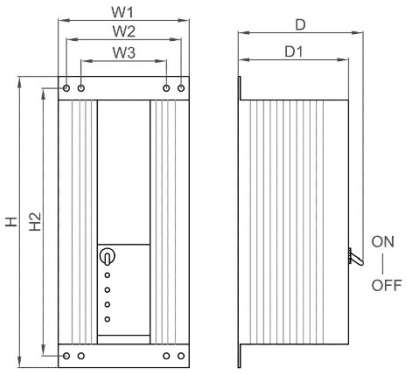
Vmp* > 102 V



Dimensions and Weights

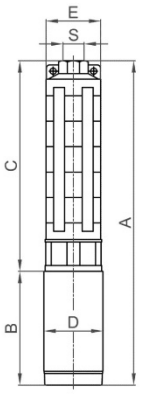
Controller

H = 396 mm
H2 = 364 mm
W1 = 178 mm
W2 = 156 mm
W3 = 116 mm
D = 165 mm
D1 = 150 mm



Pump Unit

A = 524 mm
B = 185 mm
C = 339 mm
D = 96 mm
E = 98 mm
S = 1,5 in



	Net weight
Controller	4,1 kg
Pump Unit	11 kg
Motor	7,0 kg
Pump End	4,2 kg

*Vmp: MPP-voltage under Standard Test Conditions (STC): 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

PS1800 C-SJ8-7

Solar Submersible Pump System for 4" wells

System Overview

Head	max. 40 m
Flow rate	max. 13 m³/h

PS DataModule – Integrated Data Logger and advanced pump management features. Allows for simple system configuration, real-time and stored data plus provides Bluetooth communication to PumpScanner Android ™ App and PS Communicator.*

Technical Data

Controller PS1800

- Controlling and monitoring
- Control inputs for dry running protection, remote control etc.
- Protected against reverse polarity, overload and overtemperature
- Integrated MPPT (Maximum Power Point Tracking)
- Battery operation: Integrated low voltage disconnect

Power	max. 1,8 kW
Input voltage	max. 200 V
Optimum Vmp**	> 102 V
Nominal voltage (battery operation)	96 V
Motor current	max. 14 A
Efficiency	max. 98 %
Ambient temp.	-30...50 °C
Enclosure class	IP65





Motor ECDRIVE 1200-C / ECDRIVE 1800-C

- Maintenance-free brushless DC motor
- Water filled
- Premium materials, stainless steel: AISI 304/316
- No electronics in the motor

Rated power	1,7 kW
Efficiency	max. 92 %
Motor speed	900...3.300 rpm
Insulation class	F
Enclosure class	IP68
Submersion	max. 150 m

Pump End PE C-SJ8-7

- Non-return valve
- Premium materials, stainless steel: AISI 304
- Optional: dry running protection
- Centrifugal pump

Pump Unit PU1800 C-SJ8-7 (Motor, Pump End)

Borehole diameter	min. 4,0 in
Water temperature	max. 50 °C

Standards

CE 2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC

TÜVRheinland CERTIFIED — Type Approved Safety Regular Production Surveillance — www.tuv.com ID 2000000000

IEC/EN 61010-1:2010, IEC 62103:2003, IEC/EN 60034-1:2010,
IEC/EN 60335-2-41:2003+A1+A2,
IEC/EN 60335-1:2012, EN 62233:2008
IEC/EN 61000-6-4:2007+A1, IEC/EN 61000-6-2:2005

IEC/EN 61702:1995, IEC/EN 62253 Ed.1

The logos shown reflect the approvals that have been granted for this product family. Products are ordered and supplied with the approvals specific to the market requirements.

* PS DataModule is included in all PSk2 controllers and any PS controllers with –D in their description. –D variants should be ordered if there is a potential need to use the PS DataModule features in the future as this is not a retrofit option.

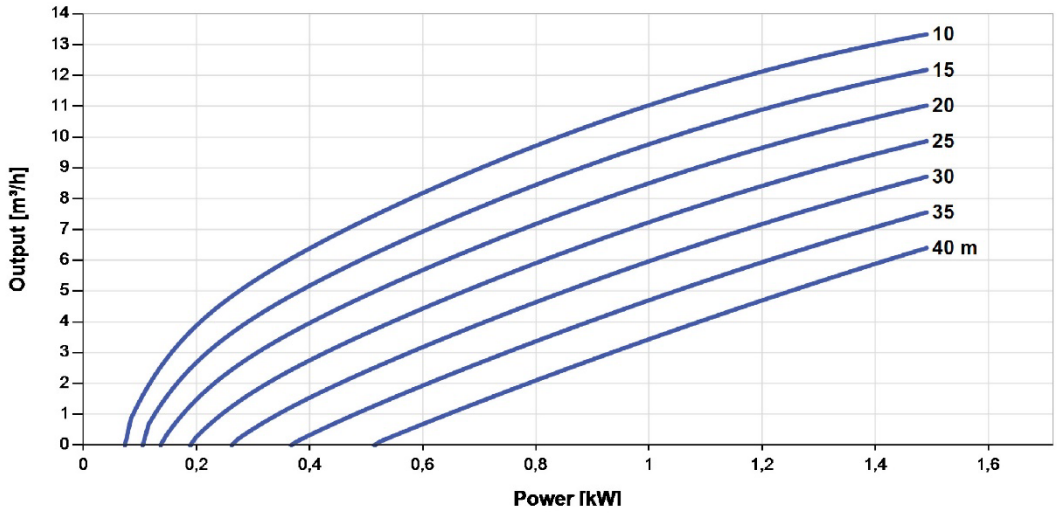
**Vmp: MPP-voltage under Standard Test Conditions (STC): 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

PS1800 C-SJ8-7

Solar Submersible Pump System for 4" wells

Pump Chart

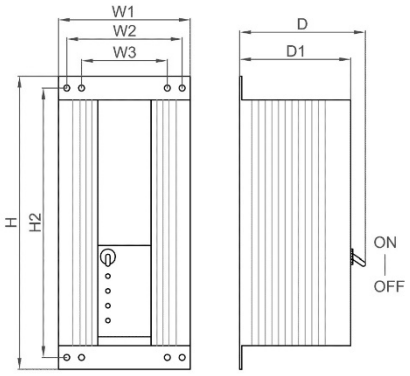
Vmp* > 102 V



Dimensions and Weights

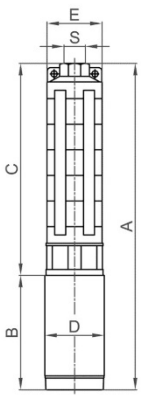
Controller

H = 396 mm
H2 = 364 mm
W1 = 178 mm
W2 = 156 mm
W3 = 116 mm
D = 165 mm
D1 = 150 mm



Pump Unit

A = 684 mm
B = 185 mm
C = 499 mm
D = 96 mm
E = 98 mm
S = 2 in



	Net weight
Controller	4,1 kg
Pump Unit	14 kg
Motor	7,0 kg
Pump End	6,5 kg

*Vmp: MPP-voltage under Standard Test Conditions (STC): 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

PS4000 C-SJ8-15

Solar Submersible Pump System for 4" wells

System Overview

Head	max. 80 m
Flow rate	max. 14 m³/h

PS DataModule – Integrated Data Logger and advanced pump management features. Allows for simple system configuration, real-time and stored data plus provides Bluetooth communication to PumpScanner Android ™ App and PS Communicator.*





Technical Data

Controller PS4000

- Controlling and monitoring
- Control inputs for dry running protection, remote control etc.
- Protected against reverse polarity, overload and overtemperature
- Integrated MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Power	max. 4,0 kW
Input voltage	max. 375 V
Optimum Vmp**	> 238 V
Motor current	max. 15 A
Efficiency	max. 98 %
Ambient temp.	-30...50 °C
Enclosure class	IP65

Motor ECDRIVE 4000-C

- Maintenance-free brushless DC motor
- Water filled
- Premium materials, stainless steel: AISI 304/316
- No electronics in the motor

Rated power	4,0 kW
Efficiency	max. 92 %
Motor speed	900...3.300 rpm
Insulation class	F
Enclosure class	IP68
Submersion	max. 150 m

Pump End PE C-SJ8-15

- Non-return valve
- Premium materials, stainless steel: AISI 304
- Optional: dry running protection
- Centrifugal pump

Pump Unit PU4000 C-SJ8-15 (Motor, Pump End)

Borehole diameter	min. 4,0 in
Water temperature	max. 50 °C

Standards

CE 2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC

TÜVRheinland CERTIFIED — Type Approved Safety Regular Production Surveillance — www.tuv.com ID 2902000000

IEC/EN 61010-1:2010, IEC 62103:2003, IEC/EN 60034-1:2010,
IEC/EN 60335-2-41:2003+A1+A2,
IEC/EN 60335-1:2012, EN 62233:2008
IEC/EN 61000-6-4:2007+A1, IEC/EN 61000-6-2:2005

IEC/EN 61702:1995, IEC/EN 62253 Ed.1

The logos shown reflect the approvals that have been granted for this product family. Products are ordered and supplied with the approvals specific to the market requirements.

* PS DataModule is included in all PSk2 controllers and any PS controllers with –D in their description. –D variants should be ordered if there is a potential need to use the PS DataModule features in the future as this is not a retrofit option.

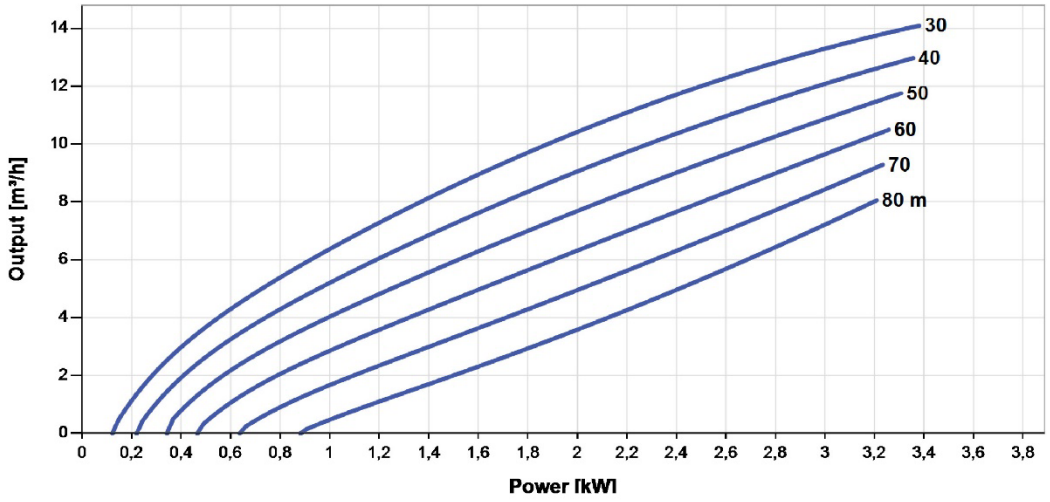
**Vmp: MPP-voltage under Standard Test Conditions (STC): 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

PS4000 C-SJ8-15

Solar Submersible Pump System for 4" wells

Pump Chart

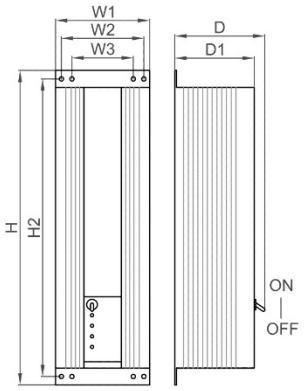
Vmp* > 238 V



Dimensions and Weights

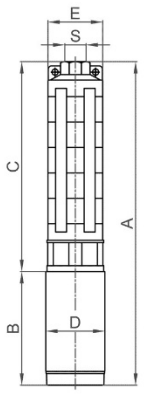
Controller

H = 595 mm
H2 = 563 mm
W1 = 178 mm
W2 = 156 mm
W3 = 116 mm
D = 165 mm
D1 = 150 mm



Pump Unit

A = 1.118 mm
B = 245 mm
C = 873 mm
D = 96 mm
E = 98 mm
S = 2 in



	Net weight
Controller	6,2 kg
Pump Unit	21 kg
Motor	10 kg
Pump End	11 kg

*Vmp: MPP-voltage under Standard Test Conditions (STC): 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

PS4000 C-SJ17-4

Solar Submersible Pump System for 6" wells

System Overview

Head	max. 45 m
Flow rate	max. 26 m³/h

PS DataModule – Integrated Data Logger and advanced pump management features. Allows for simple system configuration, real-time and stored data plus provides Bluetooth communication to PumpScanner Android ™ App and PS Communicator.*

Technical Data

Controller PS4000

- Controlling and monitoring
- Control inputs for dry running protection, remote control etc.
- Protected against reverse polarity, overload and overtemperature
- Integrated MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Power	max. 4,0 kW
Input voltage	max. 375 V
Optimum Vmp**	> 238 V
Motor current	max. 15 A
Efficiency	max. 98 %
Ambient temp.	-30...50 °C
Enclosure class	IP65



Motor ECDRIVE 4000-C

- Maintenance-free brushless DC motor
- Water filled
- Premium materials, stainless steel: AISI 304/316
- No electronics in the motor

Rated power	4,0 kW
Efficiency	max. 92 %
Motor speed	900...3.300 rpm
Insulation class	F
Enclosure class	IP68
Submersion	max. 150 m

Pump End PE C-SJ17-4

- Non-return valve
- Premium materials, stainless steel: AISI 304
- Optional: dry running protection
- Centrifugal pump

Pump Unit PU4000 C-SJ17-4 (Motor, Pump End)

Borehole diameter	min. 6,0 in
Water temperature	max. 50 °C

Standards

CE 2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC

TÜVRheinland CERTIFIED — Type Approved Safety Regular Production Surveillance — www.tuv.com ID 2000000000

IEC/EN 61010-1:2010, IEC 62103:2003, IEC/EN 60034-1:2010, IEC/EN 60335-2-41:2003+A1+A2, IEC/EN 60335-1:2012, EN 62233:2008 IEC/EN 61000-6-4:2007+A1, IEC/EN 61000-6-2:2005

IEC/EN 61702:1995, IEC/EN 62253 Ed.1

The logos shown reflect the approvals that have been granted for this product family. Products are ordered and supplied with the approvals specific to the market requirements.

* PS DataModule is included in all PSk2 controllers and any PS controllers with –D in their description. –D variants should be ordered if there is a potential need to use the PS DataModule features in the future as this is not a retrofit option.

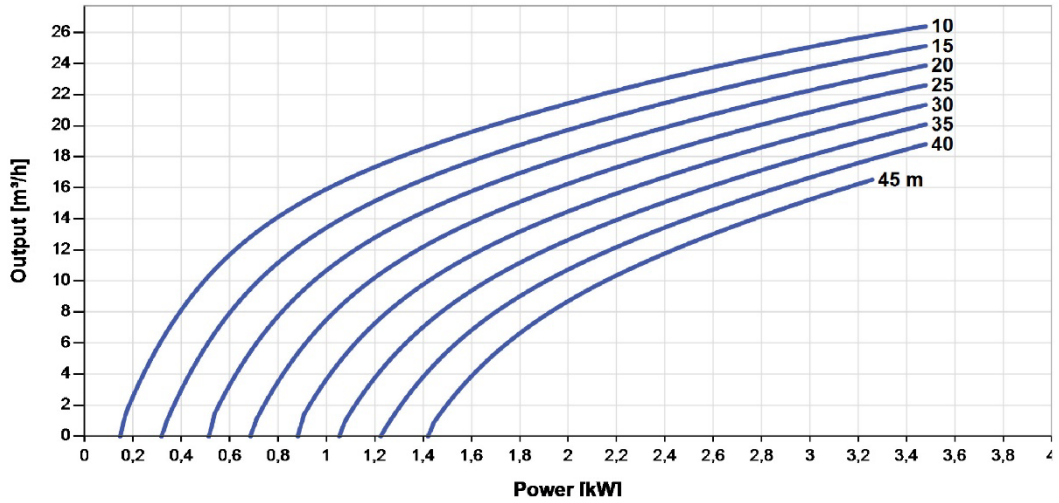
**Vmp: MPP-voltage under Standard Test Conditions (STC): 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

PS4000 C-SJ17-4

Solar Submersible Pump System for 6" wells

Pump Chart

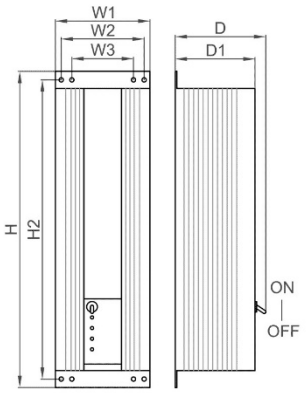
Vmp* > 238 V



Dimensions and Weights

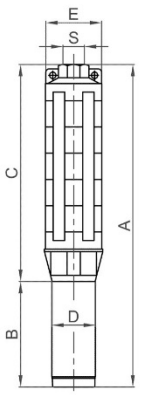
Controller

H = 595 mm
H2 = 563 mm
W1 = 178 mm
W2 = 156 mm
W3 = 116 mm
D = 165 mm
D1 = 150 mm



Pump Unit

A = 754 mm
B = 245 mm
C = 509 mm
D = 96 mm
E = 133 mm
S = 2,5 in



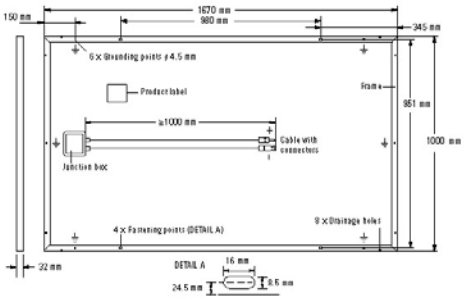
	Net weight
Controller	6,2 kg
Pump Unit	21 kg
Motor	10 kg
Pump End	11 kg

*Vmp: MPP-voltage under Standard Test Conditions (STC): 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

Ek-4. Modellemede Kullanılan Poli Kristal Modüllerin Özellikleri

MECHANICAL SPECIFICATION

Format	1670 mm × 1000 mm × 32 mm (including frame)
Weight	18.8 kg
Front Cover	3.2 mm thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
Back Cover	Composite film
Frame	Anodised aluminium
Cell	6 × 10 polycrystalline solar cells
Junction Box	66-77 mm × 90-111 mm × 15-19 mm Protection class IP67, with bypass diodes
Cable	4 mm² Solar cable; (+) ≥ 1000 mm, (-) ≥ 1000 mm
Connector	IP67 or IP68

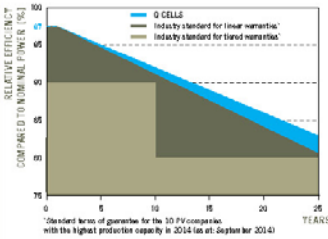


ELECTRICAL CHARACTERISTICS

POWER CLASS				260	265	270
MINIMUM PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS, STC[1] (POWER TOLERANCE +5 W / - 0 W)						
Minimum	Power at MPP[2]	P_{MPP}	[W]	260	265	270
	Short Circuit Current*	I_{SC}	[A]	9.15	9.23	9.31
	Open Circuit Voltage*	V_{OC}	[V]	37.77	38.01	38.24
	Current at MPP*	I_{MPP}	[A]	8.53	8.62	8.70
	Voltage at MPP*	V_{MPP}	[V]	30.46	30.75	31.02
	Efficiency[2]	η	[%]	≥15.6	≥15.9	≥16.2
MINIMUM PERFORMANCE AT NORMAL OPERATING CONDITIONS, NOC[3]						
Minimum	Power at MPP[2]	P_{MPP}	[W]	192.0	195.7	199.4
	Short Circuit Current*	I_{SC}	[A]	7.38	7.44	7.51
	Open Circuit Voltage*	V_{OC}	[V]	35.16	35.38	35.60
	Current at MPP*	I_{MPP}	[A]	6.68	6.75	6.81
	Voltage at MPP*	V_{MPP}	[V]	28.75	29.01	29.27

[1] 1000 W/m², 25 °C, spectrum AM 1.5 G [2] Measurement tolerances STC ± 3 %; NOC ± 5 % [3] 800 W/m², NOCT, spectrum AM 1.5 G * typical values, actual values may differ

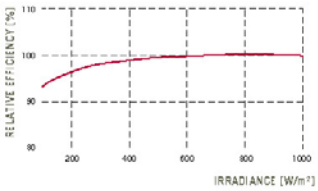
Q CELLS PERFORMANCE WARRANTY



At least 97 % of nominal power during first year. Thereafter max. 0.6 % degradation per year.
At least 92 % of nominal power after 10 years.
At least 83 % of nominal power after 25 years.

All data within measurement tolerances. Full warranties in accordance with the warranty terms of the Q CELLS sales organisation of your respective country.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE



Typical module performance under low irradiance conditions in comparison to STC conditions (25 °C, 1000 W/m²).

TEMPERATURE COEFFICIENTS

Temperature Coefficient of I_{SC}	α	[%/K]	+0.04	**Temperature Coefficient of V_{OC}**	β	[%/K]	−0.30
Temperature Coefficient of P_{MPP}	γ	[%/K]	−0.41	**Normal Operating Cell Temperature**	**NOCT**	[°C]	45

PROPERTIES FOR SYSTEM DESIGN

Maximum System Voltage	V_{SYS}	[V]	1000	**Safety Class**		II
Maximum Reverse Current	I_R	[A]	20	**Fire Rating**		C
Wind/Snow Load (in accordance with IEC 61215)		[Pa]	4000/5400	**Permitted Module Temperature On Continuous Duty**		−40 °C up to +85 °C

QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES

IEC 61215 (Ed. 2); IEC 61730 (Ed. 1), Application class A
This data sheet complies with DIN EN 50380.

PARTNER

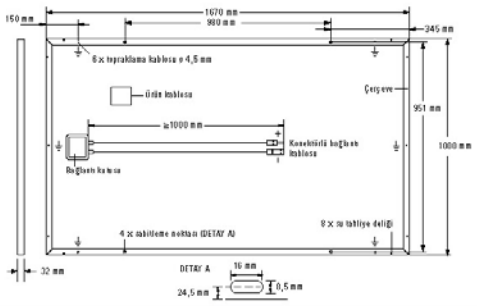
NOTE: Installation instructions must be followed. See the installation and operating manual or contact our technical service department for further information on approved installation and use of this product.

Hanwha Q CELLS (Qidong) Co., Ltd

Specifications subject to technical changes © Hanwha Q CELLS Q-PRO-G4.1_260-270_2016-11_Rev01_GL

MEKANIK ÖZELLIKLER

Format	1670 mm × 1000 mm × 32 mm (çerçeve dahil)
Ağırlık	18,8 kg
Ön kapak	Yansıma önleyici teknolojili termik öngerilimli 3,2 mm cam
Arka kapak	Bağlantı folyosu
Çerçeve	Anodize alüminyum
Hücre	6 × 10 Q.ANTUM güneş enerjisi hücreleri
Bağlantı kutusu	77 mm × 90 mm × 15,8 mm Koruma türü IP67, bypass diyotları ile
Kablo	4 mm² güneş enerjisi kablosu; (+) ≥ 1000 mm, (-) ≥ 1000 mm
Soket bağlantısı	IP67 veya IP68

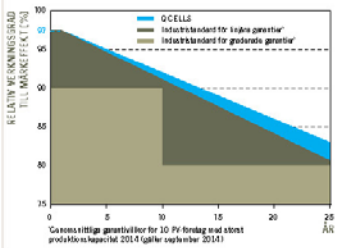


ELEKTRİKLİ TANIM VERİLERİ

GÜÇ SINIFLARI				270	275	280
STANDART TEST KOŞULLARINDA MINIMUM GÜÇ, STC[1] (GÜÇ TOLERANSI +5 W / -0 W)						
Minsta	MPP[2]'de güç	P_{MPP}	[W]	270	275	280
Minsta	Kısa devre akımı*	I_{SC}	[A]	9,29	9,35	9,41
Minsta	Açık devre gerilimi*	U_{OC}	[V]	38,46	38,72	38,97
Minsta	MPP*'de akım	I_{MPP}	[A]	8,70	8,77	8,84
Minsta	MPP*'de gerilim	U_{MPP}	[V]	31,04	31,36	31,67
Minsta	Etkinlik[2]	η	[%]	≥16,2	≥16,5	≥16,8
NORMAL IŞLETIM KOŞULLARINDA MINIMUM GÜÇ, NOC[3]						
Minsta	MPP[2]'de güç	P_{MPP}	[W]	199,6	203,3	207,0
Minsta	Kısa devre akımı*	I_{SC}	[A]	7,49	7,54	7,58
Minsta	Açık devre gerilimi*	U_{OC}	[V]	35,89	36,13	36,37
Minsta	MPP*'de akım	I_{MPP}	[A]	6,81	6,87	6,93
Minsta	MPP*'de gerilim	U_{MPP}	[V]	29,30	29,59	29,87

[1]1000 W/m², 25 °C, spektrum AM 1.5 G [2]Ölçüm toleransları STC ± %3; NOC ± %5 [3]800 W/m², NOCT, spektrum AM 1.5 G * Tipik değerler, gerçek değerler farklılık gösterebilir

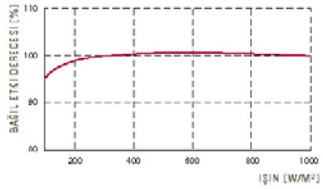
Q CELLS HIZMET GARANTISI



İlk yıl içerisinde nominal gücün en az %97'si. Ardından her yıl maks. %0,6 degradasyon.
10 yıl sonra nominal gücün en az %92'si.
25 yıl sonra nominal gücün en az %83'ü.

Ölçüm toleransları içerisindeki tüm veriler.
Ülkenizin Q CELLS satış şirketinin ilgili geçerli garantilerine göre tam ürün ve hizmet garantileri.

ZAYIF IŞIK ÖZELLIĞI



STC koşulları ile karşılaştırıldığında düşük ışınlama koşullarında tipik modül gücü (25 °C, 1000 W/m²).

SICAKLIK KATSAYILARI

Sıcaklık katsayısı I_{SC}	α	[%/K]	+0,04	**Sıcaklık katsayısı U_{OC}**	β	[%/K]	−0,29
Sıcaklık katsayısı P_{MPP}	γ	[%/K]	−0,40	**Nominal işletim hücre sıcaklığı**	NOCT	[°C]	45

SİSTEM BAĞLANTISI İÇİN TANIM VERİLERİ

Maksimum sistem gerilimi	U_{SYS}	[V]	1000	**Koruma sınıfı**	II
Geri akım yük kapasitesi	I_R	[A]	20	**Yangın sınıfı**	C
Rüzgar/Kar yükü (IEC 61215 uyarınca test yük)		[Pa]	4000/5400	**Sürekli işletimde izin verilen modül sıcaklığı**	−40 °C – +85 °C

KALİFİKASYONLAR VE SERTİFİKALAR

VDE Quality Tested; IEC 61215 (Ed. 2); IEC 61730 (Ed. 1), uygulama sınıfı A
Bu veri sayfası DIN EN 50380'e uygundur.

PARTNER

UYARI: Kurulum kılavuzundaki talimatlara mutlaka uyulmalıdır. Ürünlerin izin verilen kullanımıyla ilgili daha fazla bilgi kurulum ve işletim kılavuzundan öğrenilebilir veya teknik servisten sorulabilir.

Hanwha Q CELLS GmbH
Sonnenallee 17-21, 06766 Bitterfeld-Wolfen, Germany I TEL +49 (0)3494 66 99-23444 I FAX +49 (0)3494 66 99-23000 I EMAIL sales@q-cells.com I WEB www.q-cells.com

Teknik değişiklik hakkı saklıdır © Hanwha Q CELLS Q.PLUS-G4.3_2016-12_Rev01_TR

Ek-5. SPVWP Sistem Bileşenleri Veri Sayfaları

Well Probe

Mechanically Activated Device for Dry Run Protection in Applications with LORENTZ Solar Pump Systems

The switch can be used to detect the water level within a well. When the water level in the well dropped below the level of the well probe, the LORENTZ Controller will stop the pump and indicates Source Low LED.



ORDER INFORMATION

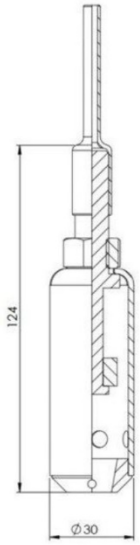
- **Item no.:** 19-000000 **product name:** Well probe sensor

FEATURES

- Reliable dry run protection
- Simple to install
- Trouble free operation
- Corrosion-free
- Splicing kit included

TECHNICAL DATA

- Max. operating temperature 55 °C
- Enclosure class: IP68
  Submersion depth: max 50 m
- Cable length: 1.5m
- Wire size: 2x 0.75mm² or AWG 19, waterproofed
- Mounted in vertical position
- Meets the requirements for CE



DIMENSION/WEIGHT

- Packaging dimensions: 260 x 170 x 40 mm
  10.3 x 6.7 x 1.6 in
- Total weight: 0.1 kg / 0.2 lbs

Float Switch

Mechanically Activated Device for Water Level Detection in Applications with LORENTZ Solar Pump Systems

The switch can be used to detect the water level within a tank. When the water level in the tank reaches the maximum, the LORENTZ Controller will stop the pump and indicates Tank Full LED.

ORDER INFORMATION

- **Item no.:** 19-000030 **product name:** Float Switch

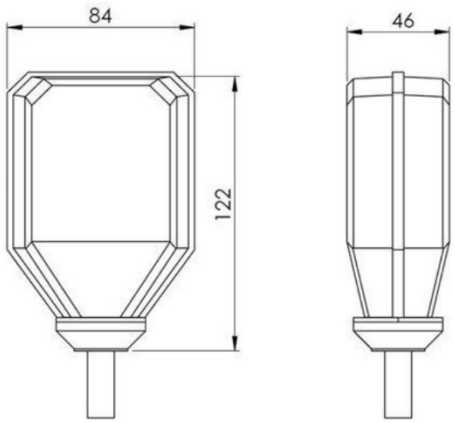


FEATURES

- **N.O.** (normally open) and **N.C.** (normally closed) function
- Reliable water level detection
- Simple to install
- Trouble free operation
- Not sensitive to rotation
- Corrosion-free

TECHNICAL DATA

- Operating temperature: -10°C to 55°C
- Storage temperature: : -10°C to 55°C
- Enclosure class: IP68
- Cable length: 3m, waterproof
- Wire size: 3x 1.0mm² or AWG 18
- Meets the requirements for CE



DIMENSION/WEIGHT

- Packaging dimensions: 230 x 160 x 55 mm
  9.1 x 6.3 x 2.2 in
- Total weight: 0.8 kg / 1.8 lbs

Liquid Level Sensor

Sensor for measuring the level of liquid in a well or tank

USE / PURPOSE

The range of liquid level sensors use pressure to measure the liquid level in a well or tank. The sensors can be used for collection of long term liquid level monitoring and also for pump control in applications where a well probe cannot be used. The liquid level sensor must be used with a compatible LORENTZ Controller (see requirements).



FEATURES

- Gauge pressure sensor, pressure measurement relative to atmosphere
- For measuring levels of liquid in a well or tank
- Accurate, robust sensor
- For use with LORENTZ PumpScanner and pumpMANAGER

REQUIREMENTS

- LORENTZ PS2 controller , LORENTZ PSk2 controller or PS Controller equipped with a licensed PS DataModule
- The cable contains a capillary tube to balance the sensor against atmospheric changes. The sensor must be ordered with the required cable length for the application as it cannot be spliced. Further cable lengths are available on demand, please contact LORENTZ.

TECHNICAL DATA

- Sensor type: 2 wire gauge sensor
- Enclosure class: IP68
- Sensor housing: stainless steel
- Connects to LORENTZ PS DataModule
- Oil resistant cable with capillary tube
- Overpressure: 2x full scale
- Output signal :4-20mA output
- Voltage : 12-28VDC
- Application temp.: -10 to 80°C
  14 to 176°F
- Accuracy class :0.5% FS
- Meets the requirements for CE

DIMENSION/WEIGHT

- Packing dimensions:
  19-005040: 350 x 350 x 100 mm / 13.8 x 13.8 x 3.9 in
  19-005050: 350 x 350 x 100 mm / 13.8 x 13.8 x 3.9 in
  19-005080: 350 x 350 x 100 mm / 13.8 x 13.8 x 3.9 in
- Weight:
  19-005040: 4 kg / 8.8 lbs
  19-005050: 5 kg / 11.0 lbs
  19-005080: 7 kg / 15.4 lbs

ORDER INFORMATION

Item #	Product	Pressure range	Cable length
19-005040	Liquid Level Sensor, 0-10m/30ft, 30m/100ft Cable	0-100 kPa 0 to 10 m / 0 to 30 ft 0 to 1 bar / 0 to 14.5 psi	30 m / 100 ft *
19-005050	Liquid Level Sensor, 0-20m/60ft, 40m/130ft Cable	0-200 kPa 0 to 20 m / 0 to 60 ft 0 to 2 bar / 0 to 29 psi	40 m / 130 ft *
19-005080	Liquid Level Sensor, 0-50m/160ft, 60m/200ft Cable	0-500 kPa 0 to 50 m / 0 to 160 ft 0 to 5 bar / 0 to 72.5 psi	60 m / 200 ft *

***Further cable length are available on demand. Please contact LORENTZ.**

Liquid Pressure Sensor

Sensor for measuring the pressure of liquid in a pipe or vessel

USE / PURPOSE

The sensors are commonly used to measure the pressure in the delivery pipeline or in a vessel. The pressure signal is used with a suitable LORENTZ pump controller to measure pressure and for pressure switching or constant presure applications. The liquid pressure sensor must be used with a compatible LORENTZ Controller (see requirements).



FEATURES

- Gauge pressure sensor, pressure measurement relative to atmosphere
- For measuring pressure in a pipe or vessel
- Accurate, robust sensor
- For use with LORENTZ PumpScanner and pumpMANAGER

REQUIREMENTS

- LORENTZ PS2 controller , LORENTZ PSk2 controller or PS Controller equipped with a licensed PS DataModule
- Care must be taken to position the sensor without turbulent water to ensure accurate measurement
- G1/4" or G1/2" female threaded filling / air vent hole is required to mount the sensor

TECHNICAL DATA

- Sensor type: 2 wire gauge sensor
- Enclosure class: IP65
- Sensor housing : stainless steel
- Connects to LORENTZ PS DataModule
- 1m (3 ft) cable length
- Overpressure: 1.5x full scale
- Output signal : 4-20 mA
- Voltage : 11-28 VDC
- Application temp.: -30 to 80°C
  -22 to 176°F
- Accuracy class : 0.5% full scale
- Thread type: G1/2" male (G1/4" with adapter)
- Meets the requirements for CS

ORDER INFORMATION

Item #	Product	Pressure range
19-004450	Liquid Pressure Sensor, LPS-500	0-500 kPa 0 to 50 m / 0 to 160 ft 0 to 5 bar / 0 to 72.5 psi
19-004460	Liquid Pressure Sensor, LPS-1000	0-1000 kPa 0 to 100 m / 0 to 330 ft 0 to 10 bar / 0 to 145 psi

DIMENSION/WEIGHT

- Packing dimensions: 190 x 180 x 80 mm
  7.5 x 7.1 x 3.2 in
- Weight: 0.6 kg / 1.3 lbs

Pressure Switch

Device for Water Pressure Detection in Applications with LORENTZ Solar Pump Systems

The switch can be used to detect the water level within a tank. When the water level in the tank reaches the maximum, the pressure will increase and the LORENTZ Controller will stop the pump and indicates Tank Full LED.

ORDER INFORMATION

- **Item no.:** 19-000310 **product name:** Pressure Switch 1-5bar

FEATURES

- Reliable water pressure detection
- Simple to install
- Trouble free operation
- Corrosion-free

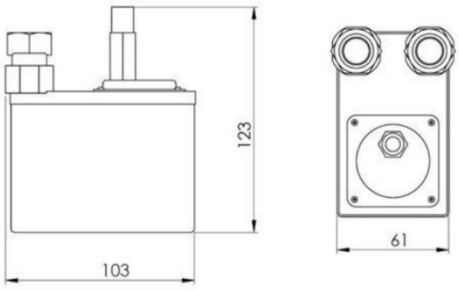


TECHNICAL DATA

- Pressure range between 1 and 5 bar
- 2x cable gland Ø 5-9mm
- G ¼'' pipe thread
- Meets the requirements for CE

DIMENSION/WEIGHT

- Packaging dimensions: 130 x 105 x 65 mm
  5.1 x 4.2 x 2.6 in
- Total weight: 0.5 kg / 1 lbs



Stilling Tube for C Pump

Device to protect the pump from dirt

Where water sources contain sand or have the potential for dirt falling into them (uncapped wells) a stilling tube is recommended to protect the pump from the dirt.

ORDER INFORMATION

- **Item no.:** 19-000230 **product name:** Stilling Tube for Centrifugal Pump
- **Item no.:** 19-000250 **product name:** Stilling Tube Adaptor for Centrifugal Pump

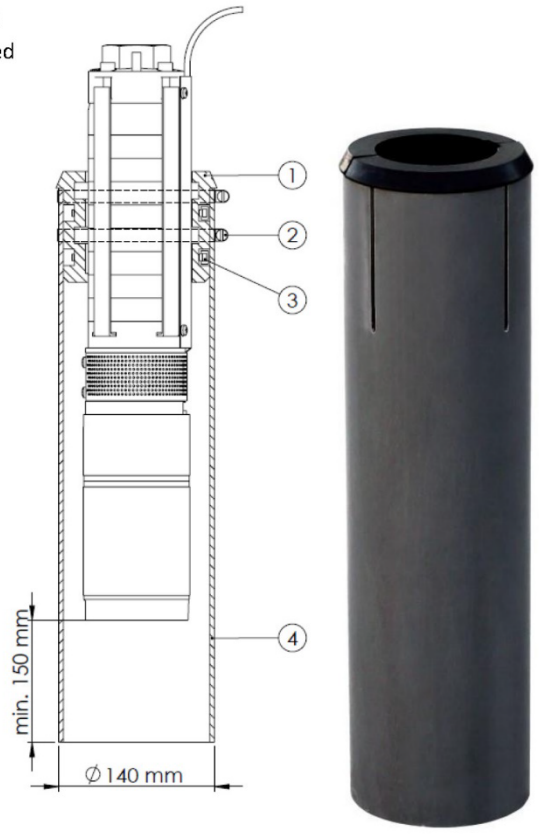
FEATURES

- Due to the large inner diameter of the stilling tube the water rises very slow, the dirt settles down at the bottom of the well
- Pump has to handle less sand, which will increase the pump's life span
- Trouble free installation
- Can be used with PS150-PS4000 C-SJ 4" Pumps
- Min. borehole diameter of 6 in (150mm) needed

SCOPE OF DELIVERY

(1) 1x stilling tube adapter
(2) 2x hose clamp
(3) 2x cable straps
(4) 1x PVC tube: ø140x4, 500 mm length

Product can be ordered without the PVC tube, then the tube must be purchased locally



DIMENSION/WEIGHT

Complete Stilling Tube device:

- Packaging dimensions: 650 x 160 x 140 mm
  25.6 x 6.3 x 5.5 in
- Total weight: 3.0 kg / 6.61 lbs

Stilling Tube Adaptor (without PVC tube):

- Packaging dimensions: 300 x 160 x 140 mm
  11.8 x 6.3 x 5.5 in
- Total weight: 1.0 kg / 2.20 lbs

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG

SunSwitch

Automatic Solar Level Switching Device

The SunSwitch can be used for any application where you need to switch depending on the solar intensity. It is an autonomous working unit that supplies itself with power from the PV-module on its rear side.

ORDER INFORMATION

- **Item no.:** 19-000050 **product name:** SUN SWITCH Light-Sensor

FEATURES



- Trouble free operation
- Pump will only run when minimum flow rates or pressure levels can be achieved which are required by certain applications
- Reduced wear on the pump and motor since the pump only starts when it will continue to run

TECHNICAL DATA

- Contact rating:
  - Max. voltage 250 VAC / 220 VDC
  - Max. current 2A
  - Max. power 60 W / 62.5 VA
- Enclosure class: IP54
- Cable length: 4 m
- Wire size: 3x 1.0mm² or AWG 18, waterproofed
- Mounted close to the solar array
- Manual with further informations is available in PartnerNet
- Meets the requirements for CE



DIMENSION/WEIGHT

- Packaging dimensions: 230 x 115 x 90 mm
  9.1 x 4.5 x 3.5 in
- Total weight: 1.2 kg / 0.6 lbs

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG

Water Meter

Device to measure the water flow rate

ORDER INFORMATION

- **Item no.:** 19-002160 **product name:** Water Meter, WP-DN40, 0.1cbm/p
- **Item no.:** 19-002170 **product name:** Water Meter, WP-DN65, 0.1cbm/p
- **Item no.:** 19-002180 **product name:** Water Meter, WP-DN80, 0.1cbm/p
- **Item no.:** 19-002190 **product name:** Water Meter, WP-DN100, 0.1cbm/p
- **Item no.:** 19-002200 **product name:** Water Meter, WP-DN125, 0.1cbm/p
- **Item no.:** 19-002210 **product name:** Water Meter, WP-DN150, 1cbm/p
- **Item no.:** 19-002202 **product name:** Water Meter, WP-DN200, 1cbm/p

FEATURES

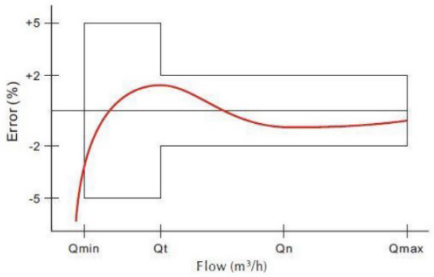
- Dry dial register ensures clear reading
- Low pressure loss, long working life
- Easy to install
- **Only for use in combination with DataModule:**
  - The water meter is equipped with a reed switch assembly which can be connected to the DataModule



TECHNICAL DATA

- Water temperature: max. 40°C
- Water pressure: max. 16 bar
- Meets the requirements for CE

Nominal Diameter	DN	40	65	80	100	125	150	200
Max. flow rate [m^3/h]	Q_{max}	20	50	80	120	200	300	500
Nominal flow rate [m^3/h]	Q_n	10	25	40	60	100	150	250
Transition flow rate [m^3/h]	Q_t	3.0	5.0	8.0	12	20	30	50
Minimum flow rate [m^3/h]	Q_{min}	0.7	0.75	1.2	1.8	3.0	4.5	7.5



BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG

Ek-6. Lorentz Compass Simülasyon Sonuçları

Hacettepe University
Beytepe Yerleşkesi, YETAM, 06800
Ankara
www.yetam.hacettepe.edu.tr

Hamed JAHED
Tel: +90-(0)532 733-8206
hamedjahed@gmail.com
jahed@hacettepe.edu.tr

Wednesday, 03 January 2018

BUĞDAY-H20m

Solar pumping project

Parameter

Location:	Iran, Tabriz (38° North; 46° East)	Water temperature:	25 °C		
Required daily output:	47 m³; Sizing for custom season	Dirt loss:	5,0 %	Motor cable:	30 m
Pipe type:	custom 2: 0,200 mm	Static head:	20 m	Pipe length:	30 m

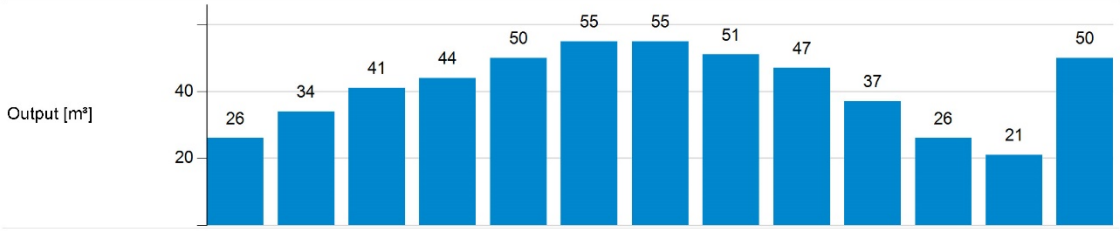
Products

	Quantity	Details
PS1200 C-SJ8-5 -D	1 pc.	Submersible pump system including controller with DataModule, motor and pump end
Q.PRO-G4.1 265	4 pc.	1.060 Wp; 4 x 1 modules; 20 ° tilted
Motor cable	30 m	4 mm² 3-phase cable for power and 1-phase cable for ground
Pipeline	30 m	60 mm (inner diameter) Pipeline
Accessories	1 set	Well Probe, Surge Protector, PV Disconnect 440-40-1

Daily output in custom season (May)

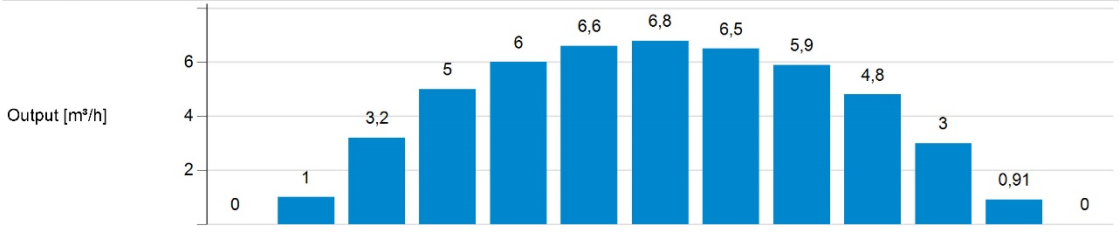
Annual Average: 41 m³

Daily values



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Av.
Energy [kWh]	3,5	4,3	5,0	5,4	6,0	6,6	6,5	6,2	5,7	4,6	3,5	3,0	6,0
Irradiation [kWh/m²]	3,3	4,1	4,9	5,5	6,2	7,0	7,0	6,6	6,0	4,6	3,4	2,8	6,2

Hourly values



	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Energy [kWh]	0,099	0,24	0,41	0,55	0,66	0,72	0,74	0,71	0,65	0,54	0,39	0,23	0,095
Irradiation [kWh/m²]	0,094	0,24	0,40	0,56	0,68	0,76	0,78	0,76	0,68	0,56	0,40	0,24	0,094

Created by LORENTZ COMPASS 3.1.0.85
All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice.

Hacettepe University
Beytepe Yerleşkesi, YETAM, 06800
Ankara
www.yetam.hacettepe.edu.tr

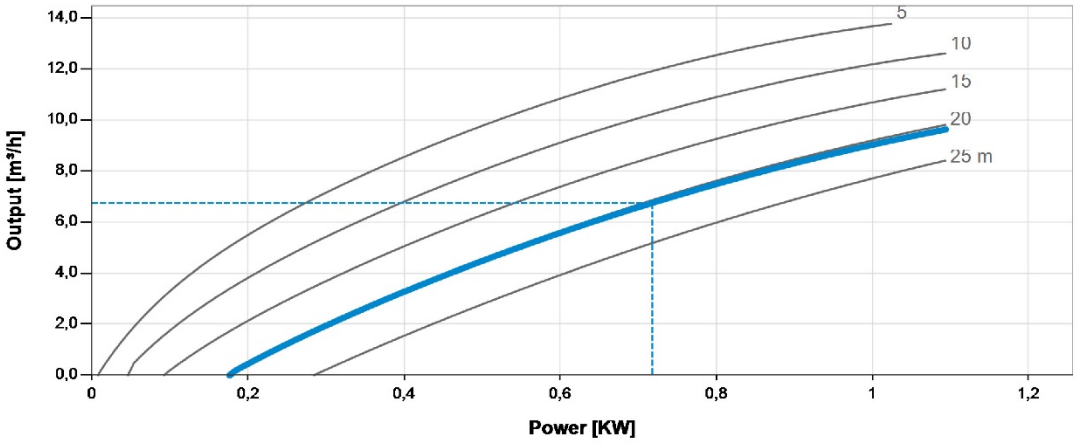
Hamed JAHED
Tel: +90-(0)532 733-8206
Fax: hamedjahed@gmail.com
jahed@hacettepe.edu.tr

Wednesday, 03 January 2018

BUĞDAY-H20m

Solar pumping project

System characteristic



			Min.	800 W/m², 20 °C	Max./STC*
PV generator	Cell temperature	[°C]		46	25
	Temperature loss	[%]		8,6	-
	Dirt loss	[%]		5,0	-
	Pmax	[Wp]		736	1.060
	Vmp	[V]		113	123
	Imp	[A]		6,5	9
	Voc	[V]		140	152
	Isc	[A]		7,1	9
	Pout	[W]		736	-
	Vout	[V]		113	-
	Iout	[A]		6,5	-
Motor cable	Power loss	[%]	0,73	1,9	2,1
Pump systems	Motor power	[W]	177	718	1.095
	Motor voltage	[V EC]	80	99	119
	Motor current	[A]	2,2	7,3	9,2
	Motor speed	[rpm]	2.475	2.810	3.150
	Flow rate	[m³/h]	0	6,8	9,6
	Efficiency	[%]	0	51	51
Pipeline	Flow speed	[m/s]	0	0,66	0,95
	Friction loss	[m]	0,000	0,33	0,65

*STC: Standard test conditions for photovoltaic modules, 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

Created by LORENTZ COMPASS 3.1.0.85
All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice.

Hacettepe University
Beytepe Yerleşkesi, YETAM, 06800
Ankara
www.yetam.hacettepe.edu.tr

Hamed JAHED
Tel: +90-(0)532 733-8206
hamedjahed@gmail.com
jahed@hacettepe.edu.tr

Wednesday, 03 January 2018

BUĞDAY-H35m

Solar pumping project

Parameter

Location:	Iran, Tabriz (38° North; 46° East)	Water temperature:	25 °C		
Required daily output:	47 m³; Sizing for custom season	Dirt loss:	5,0 %	Motor cable:	45 m
Pipe type:	custom 2: 0,200 mm	Static head:	35 m	Pipe length:	45 m

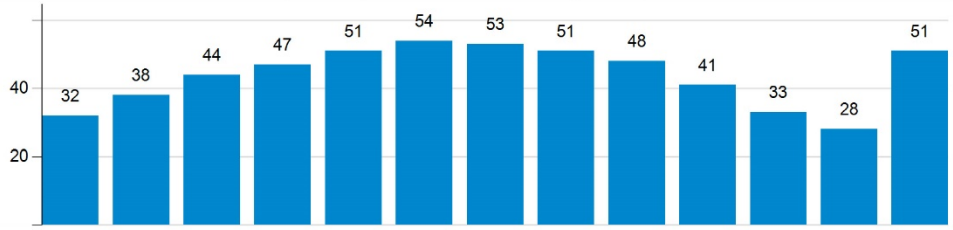
Products

	Quantity	Details
PS1800 C-SJ5-8 -D	1 pc.	Submersible pump system including controller with DataModule, motor and pump end
Q.PRO-G4.1 260	8 pc.	2.080 Wp; 4 x 2 modules; 20 ° tilted
Motor cable	45 m	4 mm² 3-phase cable for power and 1-phase cable for ground
Pipeline	45 m	60 mm (inner diameter) Pipeline
Accessories	1 set	Well Probe, SunSwitch, Surge Protector, PV Disconnect 440-40-6

SunSwitch setting requirements — min. 15 %

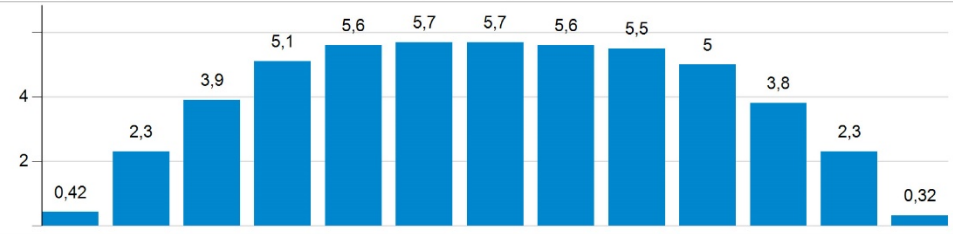
Daily output in custom season (May) — Annual Average: 43 m³

Daily values



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Av.
Energy [kWh]	6,8	8,4	9,9	11	12	13	13	12	11	9,0	6,8	5,9	12
Irradiation [kWh/m²]	3,3	4,1	4,9	5,5	6,2	7,0	7,0	6,6	6,0	4,6	3,4	2,8	6,2

Hourly values



	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Energy [kWh]	0,19	0,48	0,80	1,1	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	1,1	0,77	0,46	0,19
Irradiation [kWh/m²]	0,094	0,24	0,40	0,56	0,68	0,76	0,78	0,76	0,68	0,56	0,40	0,24	0,094

Created by LORENTZ COMPASS 3.1.0.85
All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice.

Hacettepe University
Beytepe Yerleşkesi, YETAM, 06800
Ankara
www.yetam.hacettepe.edu.tr

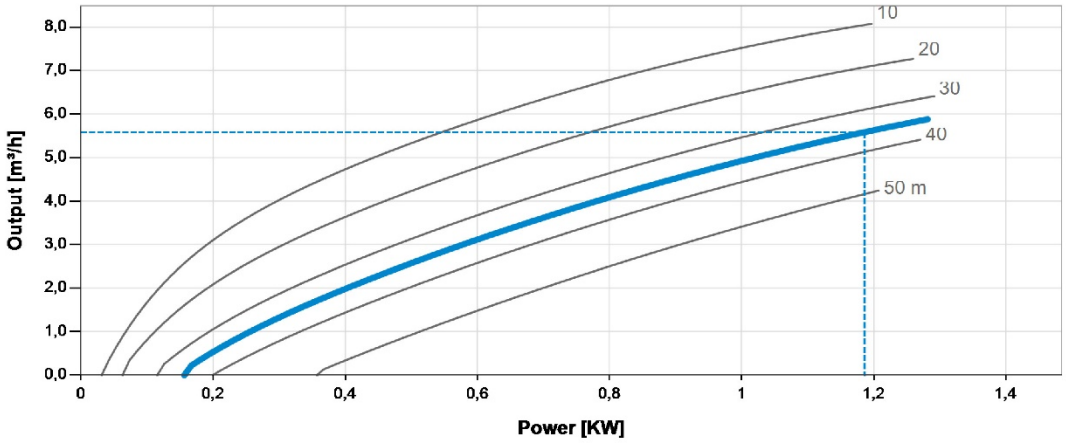
Hamed JAHED
Tel: +90-(0)532 733-8206
Fax: hamedjahed@gmail.com
jahed@hacettepe.edu.tr

Wednesday, 03 January 2018

BUĞDAY-H35m

Solar pumping project

System characteristic



			Min.	800 W/m², 20 °C	Max./STC*
PV generator	Cell temperature	[°C]		46	25
	Temperature loss	[%]		8,6	-
	Dirt loss	[%]		5,0	-
	Pmax	[Wp]		1.445	2.080
	Vmp	[V]		112	122
	Imp	[A]		13	17
	Voc	[V]		139	151
	Isc	[A]		14	18
	Pout	[W]		1.235	-
	Vout	[V]		125	-
	Iout	[A]		9,7	-
Motor cable	Power loss	[%]	1,0	3,2	3,2
Pump systems	Motor power	[W]	157	1.185	1.280
	Motor voltage	[V EC]	78	121	127
	Motor current	[A]	2,0	9,9	10
	Motor speed	[rpm]	2.230	3.195	3.290
	Flow rate	[m³/h]	0	5,6	5,9
	Efficiency	[%]	0	44	48
Pipeline	Flow speed	[m/s]	0	0,55	0,58
	Friction loss	[m]	0,000	0,34	0,38

*STC: Standard test conditions for photovoltaic modules, 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

Created by LORENTZ COMPASS 3.1.0.85
All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice.

Hacettepe University
Beytepe Yerleşkesi, YETAM, 06800
Ankara
www.yetam.hacettepe.edu.tr

Hamed JAHED
Tel: +90-(0)532 733-8206
hamedjahed@gmail.com
jahed@hacettepe.edu.tr

Wednesday, 03 January 2018

BUĞDAY-H50m

Solar pumping project

Parameter

Location:	Iran, Tabriz (38° North; 46° East)	Water temperature:	25 °C		
Required daily output:	47 m³; Sizing for custom season	Dirt loss:	5,0 %	Motor cable:	60 m
Pipe type:	custom 2: 0,200 mm	Static head:	50 m	Pipe length:	60 m

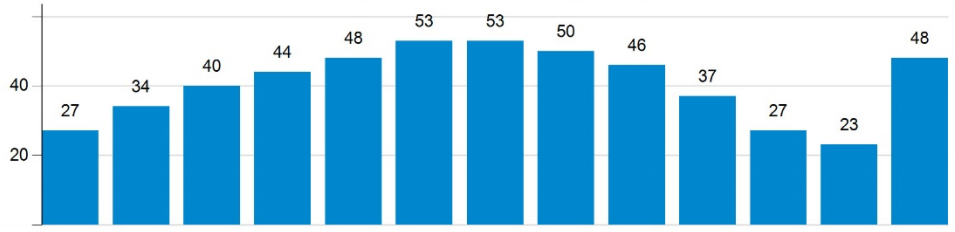
Products

	Quantity	Details
PS4000 C-SJ8-15 -D	1 pc.	Submersible pump system including controller with DataModule, motor and pump end
Q.PRO-G4.1 260	9 pc.	2.340 Wp; 9 x 1 modules; 20 ° tilted
Motor cable	60 m	6 mm² 3-phase cable for power and 1-phase cable for ground
Pipeline	60 m	60 mm (inner diameter) Pipeline
Accessories	1 set	Well Probe, SunSwitch, Surge Protector, PV Disconnect 440-40-1

SunSwitch setting requirements — min. 20 %

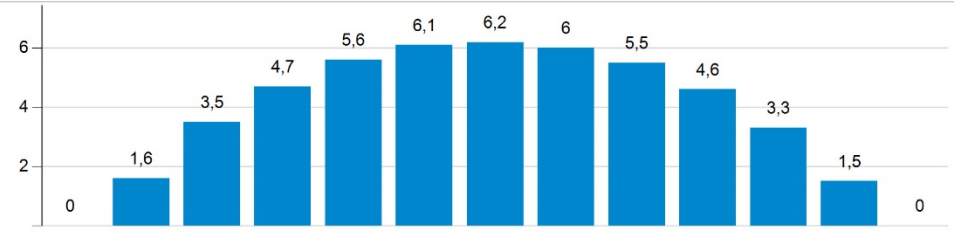
Daily output in custom season (May) — Annual Average: 40 m³

Daily values



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Av.
Energy [kWh]	7,7	9,4	11	12	13	15	14	14	13	10	7,7	6,6	13
Irradiation [kWh/m²]	3,3	4,1	4,9	5,5	6,2	7,0	7,0	6,6	6,0	4,6	3,4	2,8	6,2

Hourly values



	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Energy [kWh]	0,22	0,54	0,90	1,2	1,5	1,6	1,6	1,6	1,4	1,2	0,86	0,52	0,21
Irradiation [kWh/m²]	0,094	0,24	0,40	0,56	0,68	0,76	0,78	0,76	0,68	0,56	0,40	0,24	0,094

Created by LORENTZ COMPASS 3.1.0.85
All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice.

Hacettepe University
Beytepe Yerleşkesi, YETAM, 06800
Ankara
www.yetam.hacettepe.edu.tr

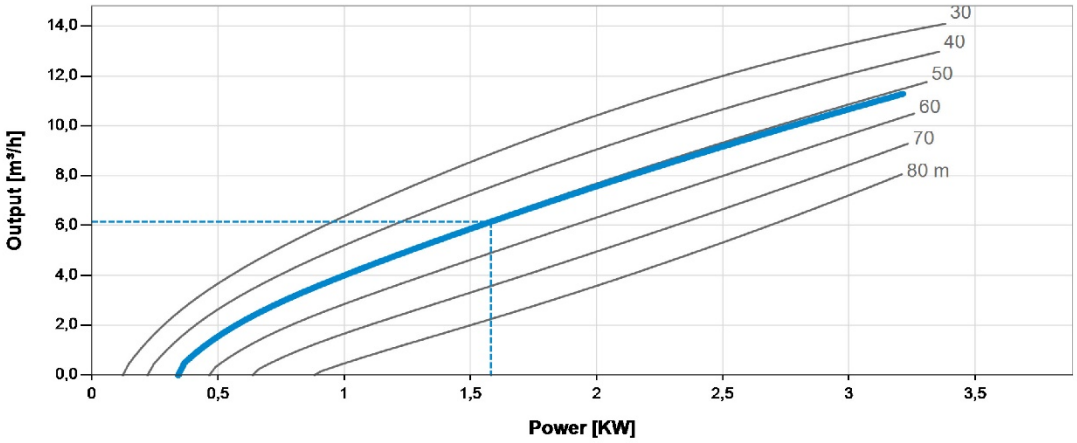
Hamed JAHED
Tel: +90-(0)532 733-8206
Fax: hamedjahed@gmail.com
jahed@hacettepe.edu.tr

Wednesday, 03 January 2018

BUĞDAY-H50m

Solar pumping project

System characteristic



			Min.	800 W/m², 20 °C	Max./STC*
PV generator	Cell temperature	[°C]		46	25
	Temperature loss	[%]		8,6	-
	Dirt loss	[%]		5,0	-
	Pmax	[Wp]		1.625	2.340
	Vmp	[V]		251	275
	Imp	[A]		6,5	9
	Voc	[V]		313	340
	Isc	[A]		7,1	9
	Pout	[W]		1.625	-
	Vout	[V]		251	-
	Iout	[A]		6,5	-
Motor cable	Power loss	[%]	0,74	1,9	2,3
Pump systems	Motor power	[W]	342	1.580	3.215
	Motor voltage	[V EC]	129	171	222
	Motor current	[A]	2,7	9,3	14
	Motor speed	[rpm]	2.215	2.520	3.070
	Flow rate	[m³/h]	0	6,2	11
	Efficiency	[%]	0	53	54
Pipeline	Flow speed	[m/s]	0	0,60	1,1
	Friction loss	[m]	0,001	0,55	1,8

*STC: Standard test conditions for photovoltaic modules, 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

Created by LORENTZ COMPASS 3.1.0.85
All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice.

Hacettepe University
Beytepe Yerleşkesi, YETAM, 06800
Ankara
www.yetam.hacettepe.edu.tr

Hamed JAHED
Tel: +90-(0)532 733-8206
hamedjahed@gmail.com
jahed@hacettepe.edu.tr

Wednesday, 03 January 2018

PATATES-H20m

Solar pumping project

Parameter

Location:	Iran, Tabriz (38° North; 46° East)	Water temperature:	25 °C		
Required daily output:	110 m³; Sizing for custom season	Dirt loss:	5,0 %	Motor cable:	30 m
Pipe type:	custom 2: 0,200 mm	Static head:	20 m	Pipe length:	30 m

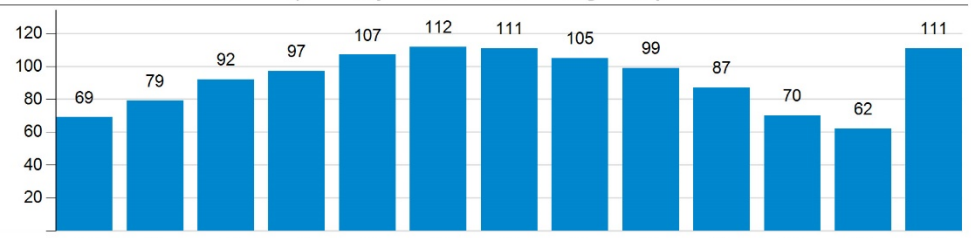
Products

	Quantity	Details
PS1800 C-SJ8-7 -D	1 pc.	Submersible pump system including controller with DataModule, motor and pump end
Q.PRO-G4.1 260	10 pc.	2.600 Wp; 5 x 2 modules; 20 ° tilted
Motor cable	30 m	6 mm² 3-phase cable for power and 1-phase cable for ground
Pipeline	30 m	80 mm (inner diameter) Pipeline
Accessories	1 set	Well Probe, SunSwitch, Surge Protector, PV Disconnect 440-40-6

SunSwitch setting requirements — min. 15 %

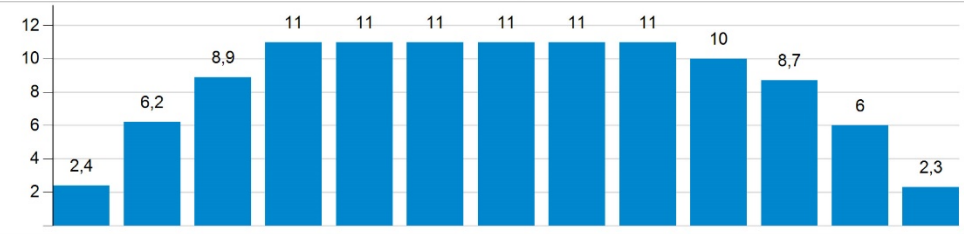
Daily output in custom season (July) — Annual Average: 91 m³

Daily values



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Av.
Energy [kWh]	8,5	11	12	13	15	16	16	15	14	11	8,5	7,4	16
Irradiation [kWh/m²]	3,3	4,1	4,9	5,5	6,2	7,0	7,0	6,6	6,0	4,6	3,4	2,8	7,0

Hourly values



	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Energy [kWh]	0,27	0,69	1,1	1,4	1,7	1,9	1,9	1,9	1,7	1,4	1,1	0,66	0,26
Irradiation [kWh/m²]	0,11	0,28	0,46	0,62	0,76	0,84	0,87	0,84	0,76	0,62	0,46	0,28	0,11

Created by LORENTZ COMPASS 3.1.0.85
All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice.

Hacettepe University
Beytepe Yerleşkesi, YETAM, 06800
Ankara
www.yetam.hacettepe.edu.tr

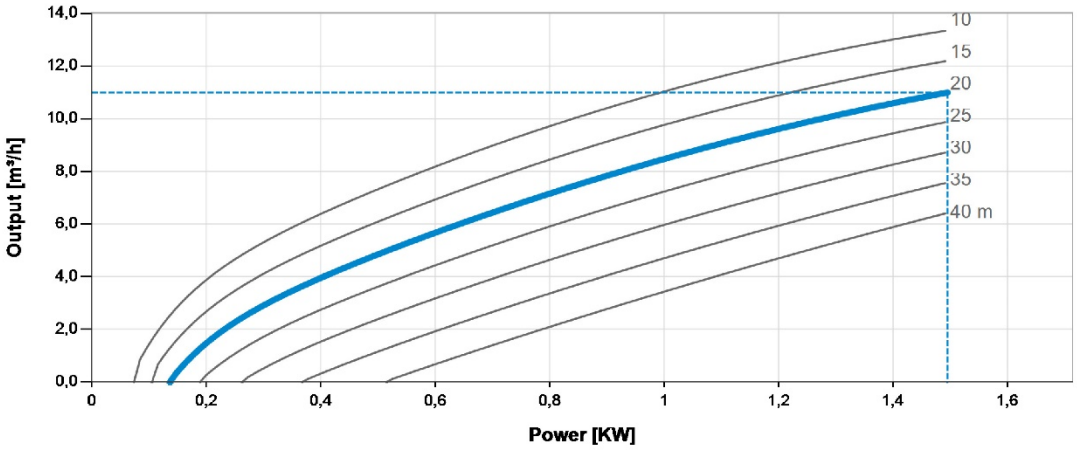
Hamed JAHED
Tel: +90-(0)532 733-8206
Fax: hamedjahed@gmail.com
jahed@hacettepe.edu.tr

Wednesday, 03 January 2018

PATATES-H20m

Solar pumping project

System characteristic



			Min.	800 W/m², 20 °C	Max./STC*
PV generator	Cell temperature	[°C]		46	25
	Temperature loss	[%]		8,6	-
	Dirt loss	[%]		5,0	-
	Pmax	[Wp]		1.805	2.600
	Vmp	[V]		140	153
	Imp	[A]		13	17
	Voc	[V]		174	189
	Isc	[A]		14	18
	Pout	[W]		1.535	-
	Vout	[V]		157	-
	Iout	[A]		9,7	-
Motor cable	Power loss	[%]	0,63	1,8	1,8
Pump systems	Motor power	[W]	137	1.495	1.495
	Motor voltage	[V EC]	62	121	121
	Motor current	[A]	2,2	12	12
	Motor speed	[rpm]	2.025	3.015	3.015
	Flow rate	[m³/h]	0	11	11
	Efficiency	[%]	0	40	53
Pipeline	Flow speed	[m/s]	0	0,61	0,61
	Friction loss	[m]	0	0,19	0,19

*STC: Standard test conditions for photovoltaic modules, 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

Created by LORENTZ COMPASS 3.1.0.85
All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice.

Hacettepe University
Beytepe Yerleşkesi, YETAM, 06800
Ankara
www.yetam.hacettepe.edu.tr

Hamed JAHED
Tel: +90-(0)532 733-8206
hamedjahed@gmail.com
jahed@hacettepe.edu.tr

Wednesday, 03 January 2018

PATATES-H35m

Solar pumping project

Parameter

Location:	Iran, Tabriz (38° North; 46° East)	Water temperature:	25 °C		
Required daily output:	110 m³; Sizing for custom season	Dirt loss:	5,0 %	Motor cable:	45 m
Pipe type:	custom 2: 0,200 mm	Static head:	35 m	Pipe length:	45 m

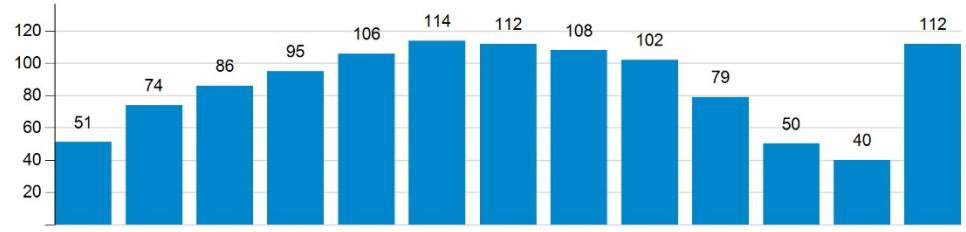
Products

	Quantity	Details
PS4000 C-SJ17-4 -D	1 pc.	Submersible pump system including controller with DataModule, motor and pump end
Q.PRO-G4.1 260	14 pc.	3.640 Wp; 7 x 2 modules; 20 ° tilted
Motor cable	45 m	6 mm² 3-phase cable for power and 1-phase cable for ground
Pipeline	45 m	80 mm (inner diameter) Pipeline
Accessories	1 set	Well Probe, SunSwitch, Surge Protector, PV Disconnect 440-40-6

SunSwitch setting requirements — min. 35 %

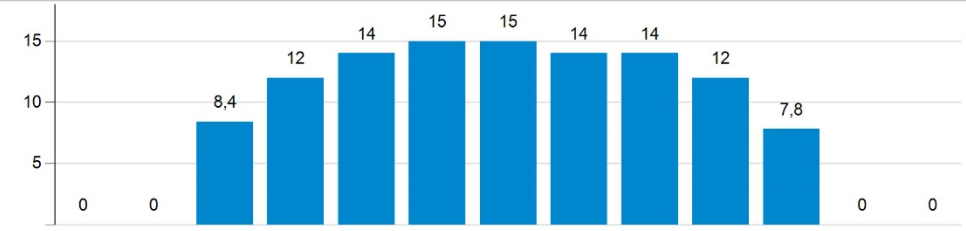
Daily output in custom season (July) — Annual Average: 85 m³

Daily values



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Av.
Energy [kWh]	12	15	17	19	21	23	22	21	20	16	12	10	22
Irradiation [kWh/m²]	3,3	4,1	4,9	5,5	6,2	7,0	7,0	6,6	6,0	4,6	3,4	2,8	7,0

Hourly values



	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Energy [kWh]	0,38	0,96	1,6	2,0	2,4	2,6	2,7	2,6	2,4	2,0	1,5	0,93	0,36
Irradiation [kWh/m²]	0,11	0,28	0,46	0,62	0,76	0,84	0,87	0,84	0,76	0,62	0,46	0,28	0,11

Created by LORENTZ COMPASS 3.1.0.85
All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice.

Hacettepe University
Beytepe Yerleşkesi, YETAM, 06800
Ankara
www.yetam.hacettepe.edu.tr

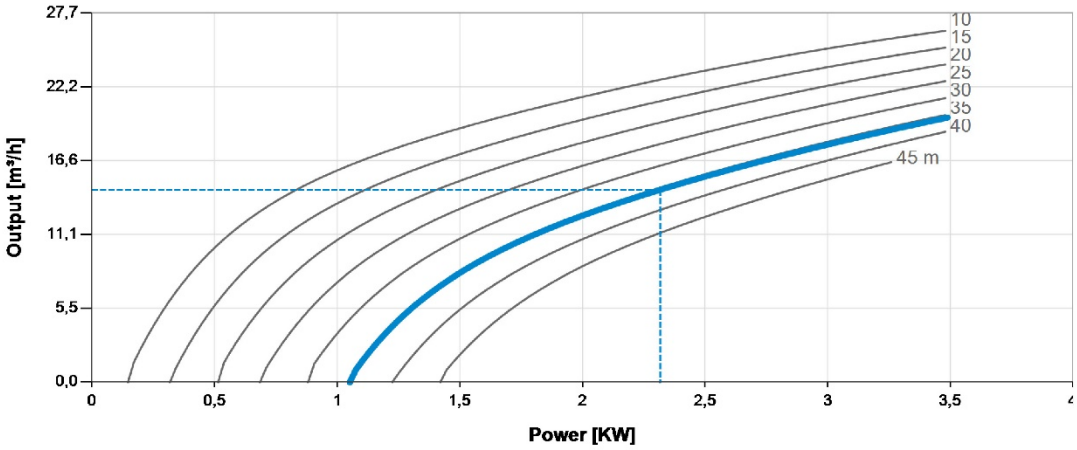
Hamed JAHED
Tel: +90-(0)532 733-8206
Fax: hamedjahed@gmail.com
jahed@hacettepe.edu.tr

Wednesday, 03 January 2018

PATATES-H35m

Solar pumping project

System characteristic



			Min.	800 W/m², 20 °C	Max./STC*
PV generator	Cell temperature	[°C]		46	25
	Temperature loss	[%]		8,6	-
	Dirt loss	[%]		5,0	-
	Pmax	[Wp]		2.530	3.640
	Vmp	[V]		195	214
	Imp	[A]		13	17
	Voc	[V]		243	265
	Isc	[A]		14	18
	Pout	[W]		2.375	-
	Vout	[V]		212	-
	Iout	[A]		11	-
Motor cable	Power loss	[%]	0,99	1,4	1,6
Pump systems	Motor power	[W]	1.050	2.320	3.490
	Motor voltage	[V EC]	168	208	242
	Motor current	[A]	6,3	11	14
	Motor speed	[rpm]	2.510	2.905	3.180
	Flow rate	[m³/h]	0	14	20
	Efficiency	[%]	0	60	60
Pipeline	Flow speed	[m/s]	0	0,80	1,1
	Friction loss	[m]	0,000	0,49	0,90

*STC: Standard test conditions for photovoltaic modules, 1000 W/m² solar irradiance, 25 °C cell temperature

Created by LORENTZ COMPASS 3.1.0.85
All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice.

Hacettepe University
Beytepe Yerleşkesi, YETAM, 06800
Ankara
www.yetam.hacettepe.edu.tr

Hamed JAHED
Tel: +90-(0)532 733-8206
hamedjahed@gmail.com
jahed@hacettepe.edu.tr

Wednesday, 03 January 2018

PATATES-H50m

Solar pumping project

Parameter

Location:	Iran, Tabriz (38° North; 46° East)	Water temperature:	25 °C		
Required daily output:	110 m³; Sizing for custom season	Dirt loss:	5,0 %	Motor cable:	60 m
Pipe type:	custom 2: 0,200 mm	Static head:	50 m	Pipe length:	60 m

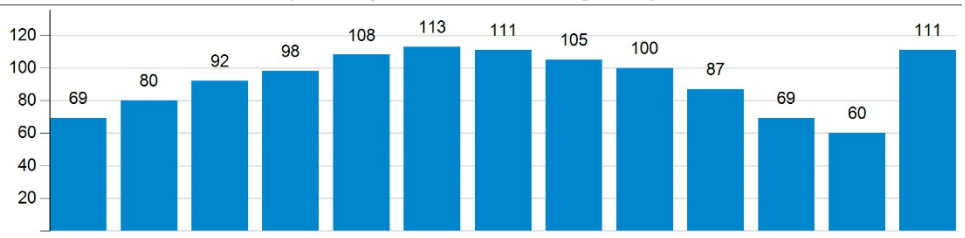
Products

	Quantity	Details
PS4000 C-SJ8-15 -D	1 pc.	Submersible pump system including controller with DataModule, motor and pump end
Q.PRO-G4.3 275	21 pc.	5.775 Wp; 7 x 3 modules; 20 ° tilted
Motor cable	60 m	6 mm² 3-phase cable for power and 1-phase cable for ground
Pipeline	60 m	80 mm (inner diameter) Pipeline
Accessories	1 set	Well Probe, SunSwitch, Surge Protector, PV Disconnect 440-40-6

SunSwitch setting requirements **min. 15 %**

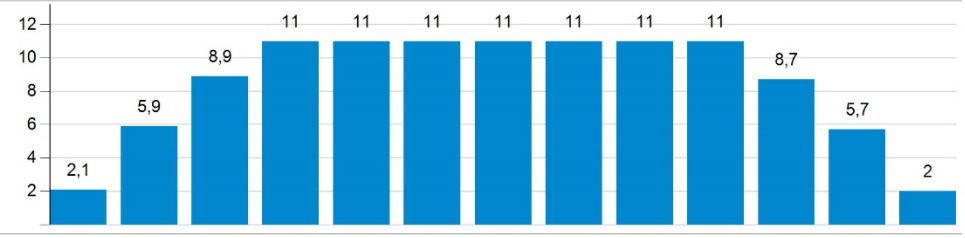
Daily output in custom season (July) **Annual Average: 91 m³**

Daily values



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Av.
Energy [kWh]	19	23	27	30	33	36	36	34	31	25	19	16	36
Irradiation [kWh/m²]	3,3	4,1	4,9	5,5	6,2	7,0	7,0	6,6	6,0	4,6	3,4	2,8	7,0

Hourly values



	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Energy [kWh]	0,60	1,5	2,5	3,2	3,8	4,2	4,3	4,1	3,8	3,1	2,4	1,5	0,58
Irradiation [kWh/m²]	0,11	0,28	0,46	0,62	0,76	0,84	0,87	0,84	0,76	0,62	0,46	0,28	0,11

Created by LORENTZ COMPASS 3.1.0.85
All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice.

Hacettepe University
Beytepe Yerleşkesi, YETAM, 06800
Ankara
www.yetam.hacettepe.edu.tr

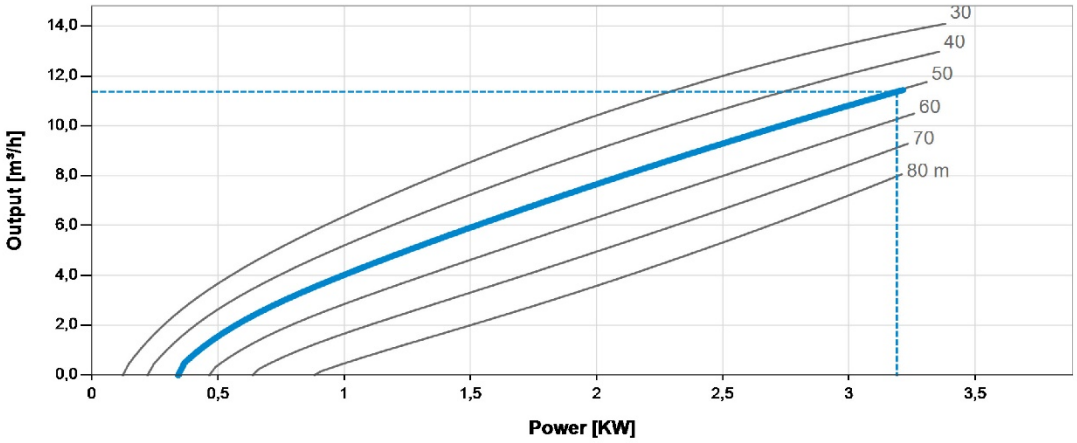
Hamed JAHED
Tel: +90-(0)532 733-8206
Fax: hamedjahed@gmail.com
jahed@hacettepe.edu.tr

Wednesday, 03 January 2018

PATATES-H50m

Solar pumping project

System characteristic



			Min.	800 W/m², 20 °C	Max./STC*
PV generator	Cell temperature	[°C]		46	25
	Temperature loss	[%]		8,4	-
	Dirt loss	[%]		5,0	-
	Pmax	[Wp]		4.020	5.775
	Vmp	[V]		202	220
	Imp	[A]		20	26
	Voc	[V]		250	271
	Isc	[A]		22	28
	Pout	[W]		3.290	-
	Vout	[V]		228	-
	Iout	[A]		14	-
Motor cable	Power loss	[%]	0,74	2,3	2,3
Pump systems	Motor power	[W]	342	3.190	3.215
	Motor voltage	[V EC]	129	222	223
	Motor current	[A]	2,7	14	14
	Motor speed	[rpm]	2.215	3.060	3.070
	Flow rate	[m³/h]	0	11	11
	Efficiency	[%]	0	48	54
Pipeline	Flow speed	[m/s]	0	0,63	0,63
	Friction loss	[m]	0,000	0,41	0,42

*STC: Standard test conditions for photovoltaic modules, 1000 W/m² solar iradiance, 25 °C cell temperature

Created by LORENTZ COMPASS 3.1.0.85
All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Hamed JAHED
Doğum Yeri : Tebriz
Medeni Hali : Evli
E-posta : hamedjahed@gmail.com
Adresi : Hacettepe Üniversitesi, Temiz Tükenmez Enerjiler Böl. Beytepe/Ankara

Eğitim

Lisans: AZAD ÜNİVERSİTESİ
Yüksek Lisans: HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ

Yabancı Dil ve Düzeyi

Azerice: Native, Farsça: Native, Türkçe: Native, İngilizce: Advanced

İş Deneyimi

- Soleos Enerji San. ve Tic. A.Ş., Şirket Kurucusu, Nisan 2017 ‘den beri,
- Akmeşe Enerji Ltd. Şti., Solar FV Uzmanı ve Şirket Ortağı, Eylül 2015 ‘den beri,
- Omron Endüstriyel Otomasyon, Solar FV Uzmanı, Eylül 2014 – Eylül 2015,
- Motif Proje Ltd. Şti., Solar FV Uzmanı, Eylül 2012 – Eylül 2014,
- Tebriz Petrokimya, Elektronik ve Enstrümantasyon Mühendisi, Ocak 2009 - Eylül 2011,
- Shibrah Mühendislik Müşavirlik, Elektrik Mühendisi, Nisan 2007 – Ocak 2009.

Deneyim Alanları

- Şebeke bağlantılı güneş enerji santralleri tasarımı,
- Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler tasarımı,
- Güneş enerji santralleri yatırım ve teknik danışmanlığı,
- Güneş enerji santralleri test ve performans analizi,
- Güneş enerji santralleri SCADA ve izleme sistemleri,
- Güneş enerji santralleri bakım ve işletmesi.

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi: -

Tezden Üretilmiş Yayınlar: -

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar: -

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEMİZ TÜKENMEZ ENERJİLER ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 31/05/2018

Tez Başlığı / Konusu: DOĞU AZERBAYCAN BÖLGESİNDE GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 81 sayfalık kısmına ilişkin, 31/05/2018 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

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

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

Gereğini saygılarımla arz ederim.

HAMED JAHED
31.05.2018

Adı Soyadı:	HAMED JAHED
Öğrenci No:	N 10231678
Anabilim Dalı:	Temiz Tükenmez Enerjiler
Programı:	
Statüsü:	☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Necdet Baştürk

Prof. Dr. Necdet BAŞTÜRK