





**PVSYST YAZILIMI KULLANILARAK ÖRNEK BİR  
GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMİ  
TASARLANMASI VE KONVANSİYONEL SİSTEMLERLE  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**DESIGNING A SAMPLE SOLAR POWERED WATER  
PUMPING SYSTEM BY USING PVSYST SOFTWARE  
AND COMPARING WITH CONVENTIONAL SYSTEMS**

**EMRAH SARI**

**PROF. DR AYNUR ERAY**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı için Öngördüğü

Yüksek Lisans TEZİ olarak hazırlanmıştır.



EMRAH SARI'nın hazırladığı "PVSYST YAZILIMI KULLANILARAK ÖRNEK BİR GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMİ TASARLANMASI VE KONVANSİYONEL SİSTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından TEMİZ TÜKENMEZ ENERJİLER ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA

Başkan



Prof. Dr. Aynur ERAY

Danışman



Doç. Dr. A.Ufuk ŞAHİN

Üye



Doç. Dr. Merih Aydınalp Köksal

Üye



Doç. Dr. Şule ERGÜN

Üye



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

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



Değerli Eşim ve Oğlum Salih Vefa'ya...





## ETİK

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

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

beyan ederim.

17 / 10 / 2019

EMRAH SARI





## YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKKLARI BEYANI

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

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

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

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

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

(İmza)

EMRAH SARI



## **ÖZET**

### **PVSYST YAZILIMI KULLANILARAK ÖRNEK BİR GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMİ TASARLANMASI VE KONVANSİYONEL SİSTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI**

**EMRAH SARI**

**Yüksek Lisans, Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aynur ERAY**

**Ekim 2019, 63 sayfa**

Sunulan tez çalışması kapsamında mevcut durumda yaygın olarak kullanılan konvansiyonel(jeneratör veya şebeke elektriği ile sulama) sulama sistemlerinin yerine Güneş Enerjili Su Pompalama(GESP) sistemlerinin kullanılabilceği değerlendirilmiştir. Bu kapsamda PVSYST programı kullanılarak GESP sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan GESP sisteminin kurulum maliyeti ile mevcut konvansiyonel yakıtlı sistemin ekonomik karşılaştırması yapılmıştır. Diğer bölümde ülkemizde GEPS sistemleri konusunda farkındalık yaratmak, yenilenebilir enerji kullanımının arttırılmasını sağlamak amacıyla ülkemizde yetişen ürünlerin su ihtiyaçlarına göre tarım üreticilerin kullanabileceği bir Excel programı geliştirilmiş, programda ürünlerin su ihtiyaçlarına göre GESP sistem tasarımı yapılmıştır. Geliştirilen yazılım sayesinde tarım üreticileri ekim alanlarının büyüklüğü ve yetiştirdikleri ürünlerin su ihtiyacına göre GESP sistem tasarımı yaparak, GESP sistem ekipmanları ve kurulum maliyetleri konusunda kolayca bilgi edinebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** PVSYST ile Güneş Enerjili Sulama Sistemi Tasarımı, Güneş Enerjisiyle Su Pompalama, Bitkilerin Su İhtiyacına Göre Güneş Enerjili Su Pompalama

## **ABSTRACT**

# **DESIGNING A SAMPLE SOLAR POWERED WATER PUMPING SYSTEM BY USING PVSYST SOFTWARE AND COMPARING WITH CONVENTIONAL SYSTEMS**

**EMRAH SARI**

**Master of Science, Department of Clean Renewable Energy**

**Supervisor: Prof. Dr. Aynur ERAY**

**October 2019, 63 pages**

Within the scope of the thesis, it has been evaluated that solar water pumping (SWP) systems can be used instead of conventional irrigation systems (generator or grid electricity). In this context, SWP system was designed by using PVSYST program. In order to raise awareness of SWP systems in our country and to increase the use of renewable energy, an excel program was developed according to the water needs of the products grown in our country. The cost of installation of the designed SWP system was compared with the existing conventional fuel system. In the other section, in order to raise awareness about SWP systems in our country and to increase the use of renewable energy, an Excel program was developed according to the water needs of the products grown in our country and the SWP system was designed according to the water needs of the products. Thanks to the developed software, agricultural producers can easily obtain

information about SWP system equipment and installation costs by designing SWP system according to the size of the plantation area and the water requirement of the products they grow.

**Keywords:** Designing the Solar Pumping Systems, A Sample of Solar Powered Water Pumping System, Solar Powered Water Pumping System Comparing with Conventional Systems



## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Aynur Eray'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen ve uzun süreçte inancımı tazelememi sağlayan değerli eşim Tülay Őimőek SARI' ya teőekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme de sonsuz teőekkürler ederim.

# İÇİNDEKİLER

ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMLERİ .....	8
2.1. GESP Sisteminin Çalışma Prensipleri .....	8
2.2. GESP Sistem Çeşitleri.....	11
2.3. GESP Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi.....	13
2.4. GESP Sistemlerinin Tasarımı .....	15
2.5. GESP Sistem Tasarımında Kullanılan Yazılımlar .....	18
3. PVSYST Yazılımı Kullanılarak Örnek Bir Güneş Enerjili Su Pompalama(GESP) Sistemi Tasarlanması Ve Konvansiyel Sistemlerle Karşılaştırılması .....	21
3.1. Seçilen Sahanın Özellikleri ve Konvansiyonel Sulama Sistemi .....	21
3.2. Konvansiyonel Sistem Yerine Önerilen GESP Sistem Tasarımı.....	24
3.3. Optimum Kurulu Güç Seçimi .....	29
3.4. GESP Sistemi İle Konvansiyonel Sistemin Ekonomik Karşılaştırması....	34
4. TÜRKİYE’DE ÇEŞİTLİ BÖLGELERDE YETİŞEN ÜRÜNLERİN SU İHTİYAÇLARINA GÖRE EXCEL YAZILIMI İLE GESP Sistemi TASARLANMASI.....	38
4.1. Programın Kullanımı .....	39
4.1.1. Ürün ve Bölge Seçimi.....	39
4.1.2. Günlük Toplam Su İhtiyacının Belirlenmesi.....	39
4.1.3. Güneş Işınım Miktarının Belirlenmesi.....	40
4.2. Dinamik Düşü Hesabının Yapılması .....	45

4.3. Pompa Seçimi .....	48
4.4. FV Sistem Seçimi .....	50
4.5. Sonuç Çıktısı .....	51
4.6. Yapılan Tasarıma Göre Ekipman ve Malzeme Listesinin Belirlenmesi...	52
4.7. GESP Sistemi ve Konvansiyonel Sistemin Karşılaştırılması.....	52
5. SONUÇLARIN DEĞELENDİRİLMESİ.....	52
6. KAYNAKLAR.....	57
EKLER .....	60
EK 1 – Kuyu Ruhsatı .....	60
EK 2 – Etik Kurul İzin Belgesi .....	61
EK 3 - Tez Çalışması Orjinallik Raporu .....	62
ÖZGEÇMİŞ .....	63

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.Dünya kırsal nüfus oranları .....	1
Şekil 1.2.Dünya ışınım haritası kWh/kWp .....	2
Şekil 2.1.Doğru akımla çalışan örnek GESP sistemi.....	8
Şekil 2.2.Alternatif akımla çalışan örnek güneş enerjili sulama sistemi .....	9
Şekil 2.3 Doğru akımla çalışan su pompası örneği.....	9
Şekil 2.4. Alternatif akımla çalışan su pompası örneği .....	10
Şekil 2.5a. Akü destekli GESP sistemi .....	11
Şekil 2.5b. Direkt(Akü desteksiz) GESP sistemi.....	12
Şekil 2.6. Tek Eksenli Otomatik Bir Güneş İzlemeli .....	13
Şekil 2.7. Güneş enerjili sulama pompalarının kapasitelerindeki artış.....	14
Şekil 2.8 FV hücre fiyatlarının yıllara göre değişimi \$/Wp .....	14
Şekil 2.9 Toplam dinamik düşü(TDH) .....	17
Şekil 2.10 Bulutsuz bir günde ışınım miktarı .....	18
Şekil 3.1. Kullanılan dizel jeneratör .....	22
Şekil 3.2. GESP sisteminin kurulabileceği alan ve jeneratörün sulama anındaki akım ve gerilim değerleri.....	22
Şekil 3.3. Ekili arazi ve su kaynağının girişi .....	23
Şekil 3.4. Proje Sahasının Özelliklerinin Girilmesi.....	26
Şekil 3.5. Proje sahasının meteonorm meteoroloji veri tabanından alınan parametreleri .....	26
Şekil 3.6. FV Modül Açısının Seçildiği Ekran .....	27
Şekil 3.7. FV modül açısı optimizasyon ekranı .....	27
Şekil 3.8. Kuyu/ ve boru karakteristiklerinin veri giriş ara yüzü .....	28
Şekil 3.9. Panel seçimi ve dize dizaynı.....	34
Şekil 3.10. Pompa seçimi .....	35
Şekil 3.11. GESP sisteminin kurulumu nakit akışı.....	37
Şekil 4.1. Günlük su ihtiyacının belirlenmesi .....	40
Şekil 4.2. Güneş ışınım değerlerinin hesaplanması .....	44
Şekil 4.3. Dinamik düşü düşü ve boru kaynaklı sürtünmelerin hesaplanması.....	46
Şekil 4.4. Düşü ve boru kaynaklı sürtünmelerin hesaplanması .....	46
Şekil 4.5. Toplam dinamik düşünün hesaplanması.....	47

Şekil 4.6. Programda pompa seçiminin yapılması .....	49
Şekil 4.7. Pompa seçiminin grafiksel gösterimi.....	49
Şekil 4.8. FV panel seçimi .....	50
Şekil 4.9. Seçilen FV modülün özellikleri .....	51

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Mevcut konvansiyonel sistemin pompaj karakteristikleri .....	23
Çizelge 3.2. Mevcut konvansiyonel sistemin genel parametreleri .....	23
Çizelge 3.3a. 265 watt bir adet FV modül ile yapılan simülasyon sonucu.....	30
Çizelge 3.3b. 265 Watt bir adet FV modül ile yapılan simülasyon sonuç tablosu ... ..	30
Çizelge 3.4a. 265 W iki panelli sistemin simülasyon sonuçları. ....	31
Çizelge 3.4b. 265 W iki panelli sistemin simülasyon sonuç tablosu .....	31
Çizelge 3.5. 265 W üç panelle yapılan simülasyon sonucu.....	32
Çizelge 3.6. Tank Hacmi 10 m <sup>3</sup> , 265 watt tek panelle yapılan simülasyon sonucu .....	32
Çizelge 3.7. Simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması. ....	33
Çizelge 3.8. 2018 yıl sonu dizel yakıt fiyatlarına göre yıllık işletme maliyeti. ....	35
Çizelge 3.9. GESP sisteminin kurulum maliyeti .....	36
Çizelge 3.10. GESP sistemi ve konvansiyonel sistemin kazanç karşılaştırması .....	36
Çizelge 4.1. Optimum açıda Akdeniz Bölgesi için ışıınım miktarları (kWh/m <sup>2</sup> /ay). ....	41
Çizelge 4.2. Optimum açıda Marmara Bölgesi için ışıınım miktarları (kWh/m <sup>2</sup> /ay).....	41
Çizelge 4.3. Optimum açıda Orta Karadeniz Bölgesi için ışıınım miktarları (kWh/m <sup>2</sup> /Ay) .....	42
Çizelge 4.4. Optimum açıda İç Anadolu Bölgesi için ışıınım miktarları (kWh/m <sup>2</sup> /ay)...	42
Çizelge 4.5. Optimum açıda Doğu Anadolu Bölgesi için ışıınım miktarları (kWh/m <sup>2</sup> /ay) .....	43
Çizelge 4.6. Optimum açıda Güney Doğu Anadolu Bölgesi için ışıınım miktarları (kWh/m <sup>2</sup> /ay).....	43
Çizelge 4.7. Optimum açıda Ege Bölgesi için ışıınım miktarları (kWh/m <sup>2</sup> /ay) .....	44
Çizelge 4.8. Bağlantı elemanlarına göre kayıp katsayıları .....	47
Çizelge 4.9. Yapılan örnek tasarıma göre oluşan malzeme/ekipman listesi .....	52
Çizelge 4.10. GESP sisteminin ve konvansiyonel sistemin karşılaştırılması(tl) .....	53
Çizelge 5.1. GESP sistemleri ve konvansiyonel sulama sistemlerinin karşılaştırılması	56

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

M	Metre
M <sup>3</sup>	Metreküp
M <sup>3</sup> /g	Metreküp/Gün
kWh	Kilowatt saat
kWp	Kilowatt pik
Lt	Litre
Wp	Watt peak
Q	Debi
Kg	Kilogram

### Kısaltmalar

GESP	Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemi
DA	Doğru Akım
AA	Alternatif Akım
FV	Fotovoltaik
VSD	Çeşitli Hızlarla Çalışabilen Güç Dönüştürücü
LCC	Ömür Döngü Maliyeti
TDH	Toplam Dinamik Düşü
SWL	Statik Düşü
FD	Sürtünme Kayıpları Sonucu Oluşan Düşü Kaybı
DH	Dinamik Basma Düşüsü
USD	Amerikan Doları
GAP	Güneydoğu Anadolu Projesi

IPCC

Hükûmetlerarası İklim Değişikliği Paneli

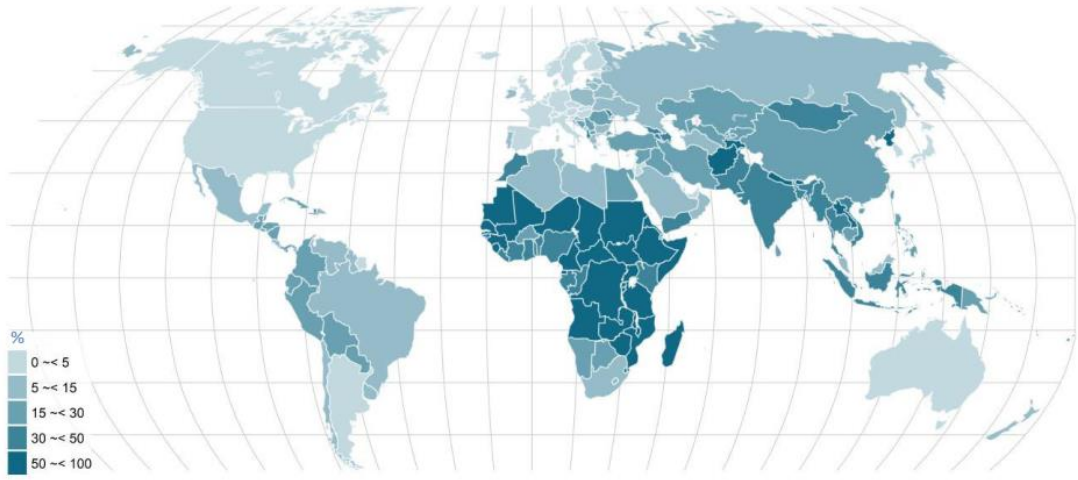
GAPTAEM

GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü



# 1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızlı artışına paralel olarak, gıda ve enerji gereksinimi de hızla artmaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü raporlarında, 2018 verilerine göre, dünyada nüfusunun yüzde %45'i kırsal alanlarda yaşamakta 2 milyarın üzerinde insan (%26,7) yaşamlarını tarıma dayalı olarak sürdürmektedir. Şekil 1.1'de görüldüğü üzere Dünya üzerinde bulunan 570 milyondan fazla tarım arazisinin %90'dan fazla kısmı bireysel veya aileler tarafından ekilmekte ve dünya genelinde tarım üretiminin %80'den fazlası bu aileler tarafından yapılmaktadır[1,2].



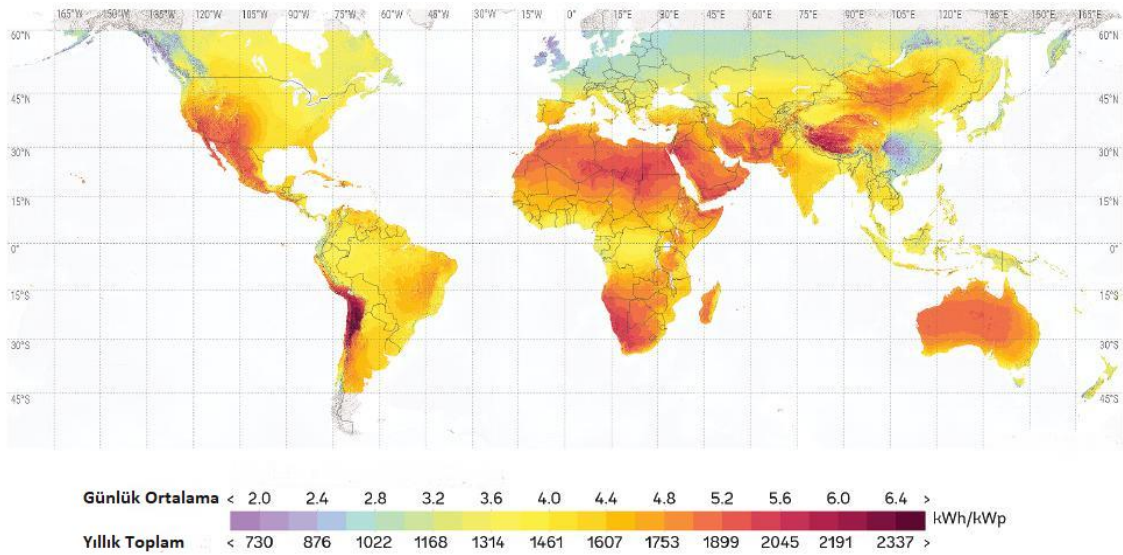
Şekil 1.1.Dünya kırsal nüfus oranları[2]

Sulama, tarımsal bitkilerin büyümesine yardımcı olmak amacıyla bitki köklerine kontrollü bir şekilde, gerekli olduğu zamanlarda, suyun verilmesi olduğundan, tarımsal üretimde büyük miktarda suya gereksinim duyulmaktadır. Sulama suyu olarak kullanılacak üç kaynak; yüzey suyu, yeraltı suyu ve geleneksel olmayan kaynaklarla elde edilen işlem görmüş atık su (treated wastewater) ve tuzdan arındırılmış su (desalinated water) 'dur.

Bazı bölgelerde sulama dönemi yalnızca bitkinin büyüme dönemleri olurken bazı bölgelerde yıl boyu sulama gerekebilmektedir. Bu durum sulama bölgesinin güneşlenme miktarı, yer altı sularının miktarı, yağmur, toprak yapısı ve ürüne göre değişiklik göstermektedir[3]. Sulama amaçlı olarak ihtiyaç duyulan bu suyu bir yerden başka yere taşımak için de elektrik pompalarına ve dolayısıyla elektriğe gereksinim vardır.

Günümüzde Güneş Enerjili Su Pompalama (GESP) Sistemleri Dünya genelinde büyük ölçüde kabul görmeye başlamakta birlikte fosil yakıtlarla(dizel ve elektrik) çalışan konvansiyonel sistemlere çevreci bir alternatiftir. Gelecekte fosil yakıt rezervlerinin azalacağı ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde elektrik iletim altyapı yatırımlarının yüksek maliyetlere sebep olması GESP sistemleri daha önemli hale getirmektedir. GESP sistemleri, özellikle uzak kırsal arazilerde kullanım suyu ve sulama suyu temini sağlarken güvenilir ve kabul edilebilir bir performans sağlar. İletim hattı altyapısının bulunmadığı bölgelerde, GESP sistemleri giderek yaygınlaşmaktadır[4].

GESP sistemleri özellikle yüksek ışınım miktarı bulunan Afrika, Güney Amerika, Güney Asya, Güneydoğu Asya gibi bölgelerde konvansiyonel sistemlere göre çok avantajlı olmaktadır. Şekil 1.2’de gösterildiği gibi dünya ışınım haritasında ışınım miktarının yüksek olduğu tüm bölgelerde GESP uygulamaları günümüzde çok cazip hale gelmiştir[5].



Şekil 1.2.Dünya ışınım haritası kWh/kWp [5]

Dünya üzerinde en yüksek Güneş ışınım değerleri ekvatora yakın bölgelerdedir. Bu bölgelerde kış ve yaz aylarındaki ışınım miktarları birbirine çok yakındır. Ekvatordan uzak bölgelerde ise en yüksek ışınım miktarları yaz aylarında görülmektedir. Genellikle, bitkilerin ekilme ve büyüme dönemleri sırasıyla ilkbahar ve yaz aylarıdır. Dolayısıyla bu dönemlerdeki ışınım değerleri GESP uygulamalarının analiz edilmesi adına kritik öneme sahiptir.

Literatürde, Dünya genelinde GESP sistemleriyle konvansiyonel su pompalama sistemlerini (Dizel jeneratör, şebekeye bağlı sistemler) karşılaştıran, GESP uygulamalarının avantajları ve dezavantajları ortaya koyan çalışmaların [3,4,6,7,8,9,10,11,12,13] bazıları özetle aşağıda verilmiştir:

- Massachusetts Üniversitesi ve Kral Fahd Üniversitenin ortak çalışmasında [3] GESP uygulamalarının teknik ve ekonomik olarak uygulanabilirliği araştırılmıştır. Çalışma, İspanya Badajoz, Suudi Arabistan Riyad, Amerika Birleşik Devletleri Albuquerque, Lübnan Tell Amara ve Ürdün Wadi-Wala şehirleri seçilerek, dünyanın beş ayrı bölgesinde yapılmış, uygulanan bölgelerin iklim, su kaynağı verilerine göre GESP sistemleri ile dizel jeneratörle sulama, şebekeye bağlı sulama sistemleri ekonomik olarak karşılaştırılmıştır. Günlük ışınlam miktarının yüksek olduğu yerlerde yüksek su gereksinimlerinde ve çok yüksek düşülerde (500 m) bile FV dize alanı toplam alanın %2,5 ini geçmediği belirtilmektedir. Çalışmada yapılan ekonomik analizde Dünyanın 5 ayrı bölgesindeki ekonomik şartlar göz önünde bulundurulularak Yaşam Döngü Maliyeti(LCC) analizi yapılmış ve GESP sistemin yatırım maliyetinin dizel sisteme göre çok daha yüksek olduğu, ancak yaşam döngü maliyetinin çok daha az olduğu sonucu elde edilmiştir.
- Çin Su Kaynakları ve Hidroelektrik Enerji Enstitüsü ve İsveç Royal Teknoloji Enstitüsünün ortak çalışmasında, [6] Çin'in Qinghai eyaletinde yer alan otlakların sulanması amacıyla 3,15 hektar büyüklüğünde bir alan seçilerek GESP sistemi için teknik ve ekonomik fizibilite çalışması yapılmıştır. Fizibilitede dizel sistemle GESP sistemi karşılaştırılmıştır. Ekonomik analiz yapabilmek için dizel sistem için ön kabuller yapılmıştır. Buna göre 4 kW gücünde dizel motoru ve 2.3 kW gücünde jeneratör seçilmiştir. Jeneratör tüketimi 295g/kWh olarak alınmıştır. Dizel jeneratörün yatırım maliyeti 4000 CNY(Çin Para Birimi), pompanın yatırım maliyeti 1600 CNY olarak alınmıştır. Sistemin bakım onarım maliyeti 650 CNY olarak belirlenmiştir. Ayrıca dizel jeneratörün amortisman süresi 10 yıl olarak belirlenmiştir. Bölgede bulunan otlak alanlarının sulama dönemlerinin mayıs ve ağustos ayları olarak alınması, GESP sistemini avantajlı hale getirmektedir. Sonuçta, GESP sisteminin ilk yatırım maliyeti daha yüksek olmasına karşın, 7900 CNY'e karşılık 900 CNY'ile işletme maliyetinin daha düşük olduğu ve bir metreküp suyun pompalanması için GESP sistem maliyetinin dizel sisteme göre %38 daha az olduğu belirtilmiştir.

- Türkiye’de yapılan akademik çalışmalar arasındaki Isparta İli Eğridir İlçesi Mobil GESP Projesi, Süleyman Demirel Üniversitesi’nce modellenmiştir[7]. Modellemede, 0,5hektar Elma Bahçesi olan sulama sahasının maksimum su ihtiyacı, temmuz ayında 18 m<sup>3</sup>/gündür ve her sulamada maksimum 54 m<sup>3</sup> suya ihtiyaç olduğu öngörülmüştür. Sulama Dönemi, Mayıs-Ekim ayları arasında her beş günde bir, damla sulama şeklinde öngörülmüştür. Üç günde tank dolarak sistem sulamaya hazır hale gelecek, 4. ve 5. günlerde sistem yedekte tutulacak şekilde depolama tankı kullanılmıştır. Çalışmaya göre tasarlanan sistem 20 m düşü için sulama döneminde sistemden elde edilmesi gereken maksimum su miktarı olan 18 m<sup>3</sup> değerinin daha fazlasını sağlayabilmektedir. Çalışmada ekonomik analiz Yaşam Döngü Maliyeti(LCC) yöntemi ile yapılmıştır. Yaşam Döngü Maliyeti(LCC)analizi yanında yatırımın geri dönüş süresini belirten İç Karlılık Oranı (IRR) da kullanılmıştır. Konvansiyonel sistem için 2 kW gücünde bir dizel jeneratör seçilmiş, FV modül fiyatı 4 USD/Watt olarak alınmıştır. Günümüzde bu değer 0,4 USD/Watt civarındadır. Yıllık dizel jeneratör bakım maliyeti toplam yatırım maliyetinin %10 kadar alınmıştır. Yatırımın ilk yıl peşin olarak yapılması halinde iskonto oranı %8 olarak belirlenmiştir. Yatırım ödemesinin yıllık taksitlerle kredi sağlanarak ödenmesi durumundaysa iskonto oranı %10, yıllık faiz oranı %8 olarak alınmıştır. Çalışmanın yapıldığı 2011 yılında dizel yakıt fiyatı 2 USD/lit olarak alınmıştır. Günümüzde bu değer 1,2 USD/lit ‘dir. Yakıt fiyatının yıllık artışı %10 olarak kabul edilmiştir. Inverter ve pompa ömrü 8 yıl dizel jeneratör ömrü ise 5 yıl olarak öngörülmüştür. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından yayınlanan “Kırsal Kalkınma Yatırımlarının Desteklenmesi Programı kapsamında Bireysel Sulama Makine ve Ekipman Alımlarının Desteklenmesi” Hakkında Tebliğin 14 Mayıs 2014 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanmasıyla program kapsamında güneş enerjisi ile sulama yapacak gerçek ve tüzel kişilere % 50 oranında hibe desteği verilmiştir. Hibe desteği gerçek kişiler için 100.000 TL, tüzel kişilerde için 200.000 TL olarak sınırlandırılmıştır[14]. Damla sulama sisteminin ekonomik analizi üç ayrı durumda aşağıdaki şekillerle verilmiştir. Bunlar GESP sistemi için herhangi bir teşvik getirilmediğinde dizel sistemle karşılaştırması, FV modülleri haricinde damla sulama sistemi ekipmanlarına verilen %50 hibe desteği eklenmesi durumu ve FV modülleri de %50 hibe desteği içerisine alınması durumudur. Her üç durumda da GESP sisteminin LCC değerinin dizel sistemin LCC değerinden daha az olduğu

görülmektedir. Bu durum GESP sistemleri ülkemiz için de uygulanabilir olabileceğini göstermektedir[7].

- Harran Üniversitesi Kampüsü'nde kurulan 260 Wp kurulu gücündeki GESP sistemi sayesinde güneş ışınımı açısından zengin bir bölge olan GAP bölgesinde GESP sistemlerinin uygulanabilir olduğu gösterilmiştir. Sistem açık bir günde dakikada 12 ila 14 litre su pompalayabilmektedir[15].
- GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından GAP projesini destekleme kapsamında kurulması planlanan “Güneş Pili Sulama Kanalı Pilot Projesi” sayesinde sulama kanalı üzerine 200-250 kWp civarında bir güçle güneş pili sisteminin kurulumu yapılacaktır. Projede temel olarak, kanaldaki suyun pompalanması, pompalama yapılmayan zamanlarda üretilen elektrik enerjisinin GAPTAEM koruklu işletmesinde kullanılması, FV modüllerin kurulmasıyla kanaldan sezonluk yaklaşık 5400 ton suyun buharlaşmasının engellenmesi amaçlanmıştır[16].

Literatürde incelemesi yapılan dünyada gerçekleştirilmiş GESP sistem örnekleri incelendiğinde;

- Chep Payan tarafından [8], 2012 Kasım ayında Afganistan-Kunduz bölgesinde kurulan sistem 10 kW kurulu güce sahiptir. Sistem sayesinde 300 aileye su temini sağlanmaktadır. GESP sistemi kurulmadan önce kullanılan dizel jeneratör saatte 5 lt yakıt tüketmekteydi. Jeneratörde çıkan arızalar sebebiyle halk yük hayvanlarıyla su taşımak zorunda kalmıştır. Projenin kaynak derinliği 135 m, statik düşü 30 m, deşarj yüksekliği 13,3 m, toplam dinamik düşü ise 160 m'dir. Sistem günlük 52 m<sup>3</sup> su sağlayabilmektedir.
- Estacion Torres [8] tarafından Northwest Meksika Torres şehrinde kurulan sistem ülke genelinde kurulan 346 GESP sisteminden ilk kurulan sistemdir. Toplam kurulu gücü 480 Wp'dir. Sis-temin toplam dinamik düşüsü 16 m'dir. Sistem dakikada 33 lt su sağlayabilmektedir. Sistem 1994 yılında kurulmuş 2003 ve 2013 yıllarında 2 ayrı teknik değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Sistemin toplam ekipman maliyeti 6.000 USD'dir. Pompa 14 yıl çalıştıktan sonra yenisiyle değiştirilmiştir. Sistem 19 yıldır çalışmakta 300 büyük baş hayvanın ve küçük bir bölgenin su ihtiyacını karşılamaktadır. Dizel yakıtı projenin kurulduğu dönemde şu andan çok daha ucuz olmasına rağmen projenin yatırım geri dönüşü 4 yıl içerisinde sağlanmıştır. Dizel jeneratör sistemiyle karşılaştırıldığında 90.000 lt üzerinde yakıt tüketimine karşılık

enerji sistemden sağlanmıştır. Meksika’da dizel yakıtı litre fiyatı proje kurulduğunda 0,28 USD iken 2013 yılında 0,88 USD’ye yükselmiştir. Bu durumda 50.000 USD tutarında yakıt ve jeneratör bakımlarından tasarruf sağlanmıştır.

Literatür çalışmalarından da görüldüğü gibi, Güneş enerjili su pompalama sistemleri, yakın gelecekte güneş elektrik dönüşümünün yaygın kullanılacağı uygulamalarından biridir. Ülkemizde tarım sektörü, birçok bölge için geçim kaynaklarının başında yer aldığından, tarımsal amaçlı sulama sistemlerinde güneş enerjisiyle su pompalama sistemlerinin kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Türkiye’de halen tarımsal sulama şebekeye erişim olmayan bölgelerde fosil yakıtlı jeneratörlerden enerji elde edilerek yapılırken, elektrik şebekesinin bulunduğu bölgelerde şebeke elektriği kullanılmaktadır. GESP sistemleri, güneş enerjisini kullanarak şebeke elektriği veya fosil yakıtlara ihtiyaç duymadığından, bu sistemlerin işletme maliyetleri konvansiyonel sistemlere göre çok daha düşük değerlerdedir. Türkiye yıllık güneş enerjisi bakımından önemli bir potansiyele sahip olması nedeniyle güneş enerjisi ile yapılan tarımsal sulamaların ekonomik, sessiz ve çevreci olması beklenmektedir.

Ülkemizde tarımsal sulama; elektrik şebekesi vasıtasıyla elektrikle ya da mazot, petrolün kullanıldığı konvansiyonel enerji kaynaklarıyla çalışan su pompaları ile yapılmaktadır. Günlük bakım isteyen yakıtlı sistemler, genellikle şebekeye erişimin bulunmadığı yerlere kurulabilmektedirler. GESP sistemleri ise günlük bakım istemedikleri gibi yeterli güneşlenmeye sahip herhangi bir sahada kurulabilmektedirler. Bu tip pompaların ilk kuruluş masrafları yüksek olmasına karşın, yakıt ve bakım gereksinimleri olmadığından kısa zamanda ekonomik duruma geçmektedir.

Bu tez çalışmasında, konvansiyonel sistemlere bir alternatif olarak güneş enerjili su pompalama sistemleri ekonomik ve teknik olarak incelenecektir. Bu amaçla, tez çalışmasında;

- Türkiye’de konvansiyonel sistemlerle sulama yapılan bir bölge için gerçek saha verileri kullanılarak elde edilen verilere göre ilgili saha için PVSYST yazılım kullanılarak GESP sistemi tasarlanmış,
- Tasarlanan sisteminin mevcut sisteme bir alternatif olup olamayacağının teknik ve ekonomik açıdan incelenmiş,

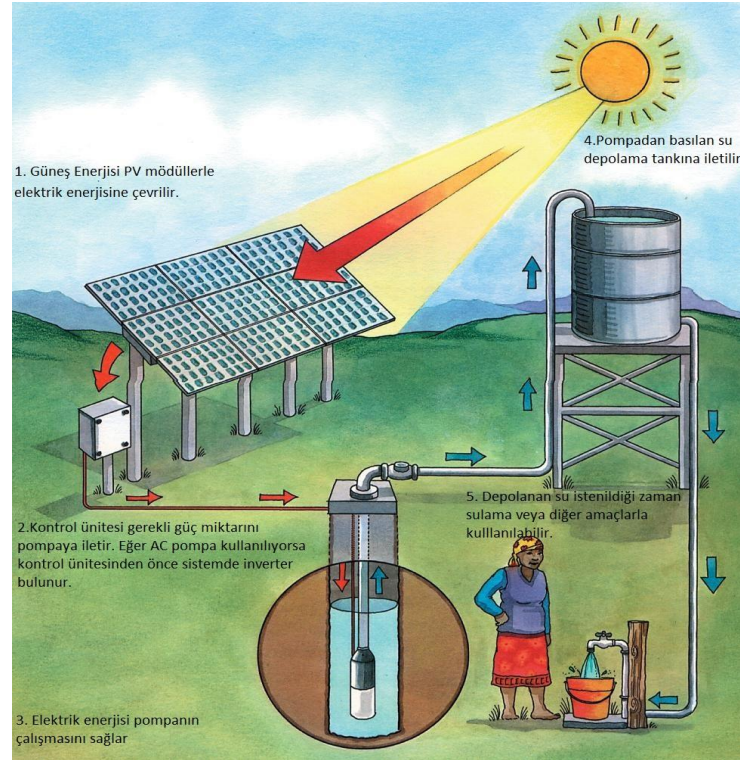
- Ayrıca mevcut sahadan bağımsız olarak Microsoft Excel programı kullanılarak, Türkiye’de il bazında, ihtiyaç duyulan su miktarı ve basma yüksekliklerinin kullanıcı tarafından programa girilerek GESP sistem tasarımı yapabilme imkanı sağlayan bir algoritma geliştirilmiştir.

## 2. GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMLERİ

Bu kesimde öncelikle GESP sistemlerin çalışma ilkesi, sistem bileşenleri, türleri, uygulamalarının gelişimi ve GESP sistemlerinin tasarımı aktarılacaktır. GESP sistemlerinin tasarımında kullanılan yazılımlar ve bu çalışmada kullanılan PVYST yazılımı da bu kesimde açıklanacaktır.

### 2.1. GESP Sisteminin Çalışma Prensibi

GESP sistemleri, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, **Fotovoltaik (FV) modüller**, **pompa** (DC veya AC), **akü**, **şarj regülatör** (kontrol ünitesi) ve **su deposundan** (isteğe bağlı) oluşmaktadır. Sistem tasarımında bu elemanların doğru seçilmesi çok önemlidir. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, yer yüzüne ulaşan güneş enerjisi FV modüller vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. FV modüllerden elde edilen elektrik enerjisi pompa motoruna kontrol ünitesi tarafından ihtiyaç dahilinde iletilmektedir. Pompanın çalışmasıyla birlikte kaynaktan bulunan su depolama tankına borular vasıtasıyla iletilmektedir. Depolanan su istenildiği zaman sulama veya kullanım suyu olarak kullanılabilir. Şekil 2.2’de alternatif akımla çalışan GESP sisteminin çalışma prensibi verilmiştir. Doğru akımla çalışan sistemden farklı olarak FV modüllerden gelen enerji evirici sayesinde alternatif akıma çevrilerek pompaya enerji verilmektedir[5,17].



Şekil 2.1. Doğru akımla çalışan örnek GESP sistemi[5]



Şekil 2.2. Alternatif akımla çalışan örnek güneş enerjili sulama sistemi[18].

GESP sistem bileşeni izleyen kesimde özetle açıklanmıştır:

- **Fotovoltaik Modül:** Yüzeyle gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren FV modüller, güç talebine bağlı olarak birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak, bir kaç Watt'tan MEGA Watt'lara kadar sistem oluşturulur[19].
- **Pompa:** GESP sistemlerinde kullanılan pompalar çektiği elektrik akımına göre veya çalışma şekillerine *Doğru Akımla Çalışan Su Pompaları* ve *Alternatif Akımla Çalışan Su Pompaları* olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır ve her iki tür için gerek yüzeyde çalışan gerekse dalgıç şeklinde tasarlanmış pompalar bulunmaktadır. **Şekil- 2.3'de** doğru akımla çalışan dalgıç su pompa örneği, **Şekil- 2.4'de** alternatif akımla çalışan su pompa örnekleri verilmiştir.



Şekil 2.3.Doğru akımla çalışan su pompası örneği[20]



Şekil 2.4. Alternatif akımla çalışan su pompa örnekleri[20]

Güneş panelleri (fotovoltaik) doğru akım (DA) üretmesine karşın, sulamada kullanılan pompalar alternatif akım (AA) ile çalıştığından, eviricilerle (inverter) doğru akım alternatif akıma çevrilir. Doğru akımla çalışan su pompalarının sulama sistemlerinde kullanılmasının, evirici maliyeti bulunmaması ve ekstra sistem kurulumunun olmaması nedeniyle maliyet açısından daha avantajlı olacağı düşünülmektedir. Şekil 2.1’de, doğru akımla çalışan GESP sistemi görülmektedir. Sistemde doğru akımla çalışan pompa kullanıldığı için dönüştürücü(inverter) kullanılmamıştır. Şekil 2.2’de ise sistemde alternatif akımla çalışan pompa kullanıldığından şemada dönüştürücüye(inverter) yer verilmiştir. DA pompalar AA pompalara göre verimleri yüksek ve düşük güçlerde çalışabilen GESP sistemlerine uygun pompalardır. AA pompa kullanılması durumunda dönüştürücü kullanıldığından inverter kayıpları sistem verimini olumsuz etkilemektedir [5,20,21,22].

- **Güç dönüştürücüleri ve Kontrol Üniteleri** FV panellerden alınan DA gücü sistemde bulunan pompa motorunun güç gereksinimine göre ayarlayan ekipmanlardır. Güç dönüştürücülerinin DA-DA, DA-AA ve VSD (Variable Speed Drive) çeşitleri mevcuttur. VSD güç dönüştürücüler daha kompleks yapıya sahip olup FV dize akımı ve voltajına göre pompa performansını optimum hale getiren güç dönüştürücüleridir. VSD güç dönüştürücüler programlanabilir olması sebebiyle güneş ışınımının düşük olduğu kapalı havalarda, çok değişken ışınım miktarlarının gerçekleştiği parçalı bulutlu havalarda pompa verimini yükseltmektedir. VSD güç dönüştürücülerinin sistem devreye alınırken IEC 62253 standardında belirtilen testlere tabi tutulması gerekmektedir[5]. Günümüzde büyük pompa üreticileri pompaları satarken güç dönüştürücüleri de paket olarak kullanıcıya tedarik etmektedir.

## 2.2. GESP Sistem Çeşitleri

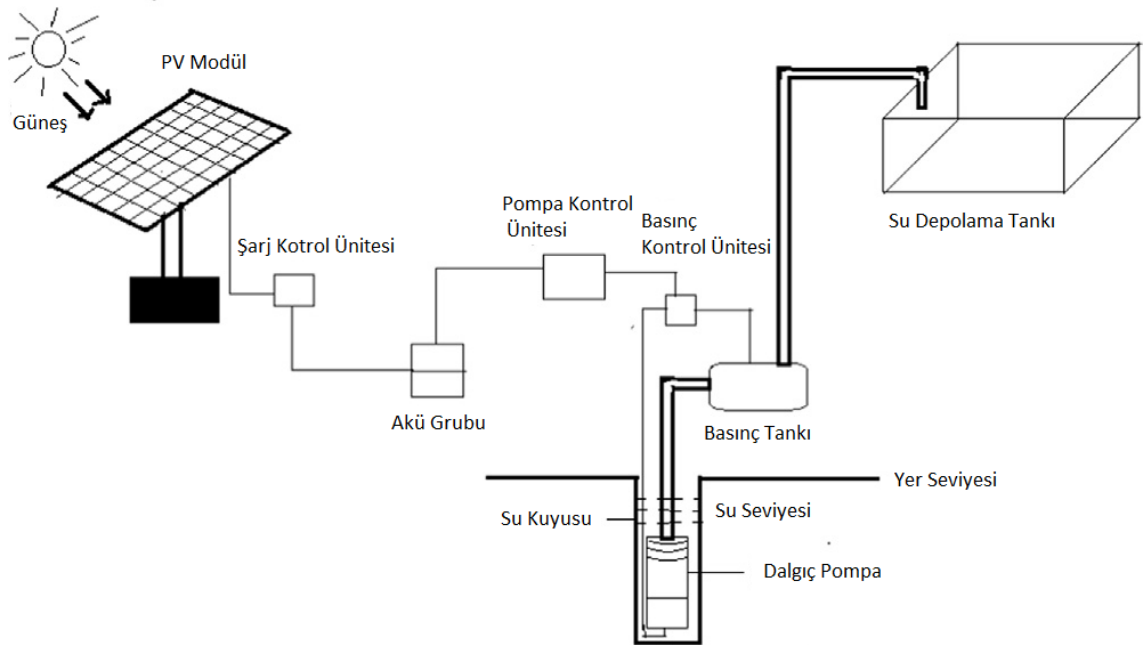
GESP sistemleri üzerlerindeki ekipmanların özelliklerine göre;

- Enerji depolama durumuna göre akülü ve direkt sistemler
- Kullanılan pompa türüne göre santrifüj pompalı sistemler, emiş (Submersible-Deep Well) pompalı sistemler
- FV Dizelerin hareketine göre, sabit ve güneş izlemeli sistemler

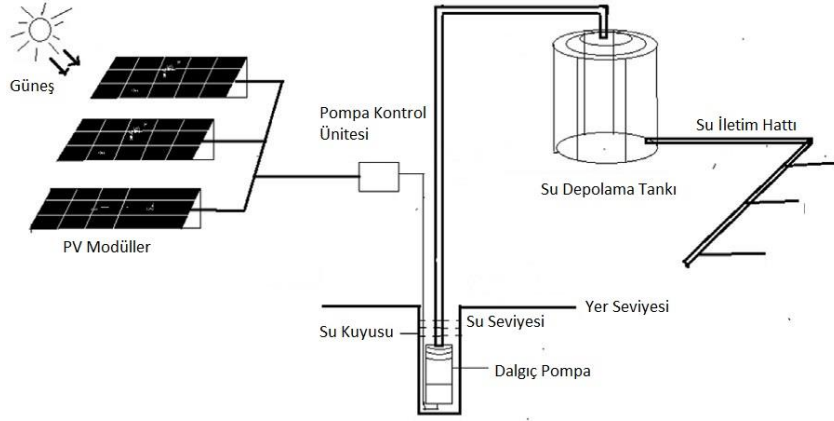
olarak sınıflandırılabilir[5].

**Akü Destekli Sistemlerde**, GESP sisteminde enerji depolamaya yarayan aküler bulunur. Aküler sistemde enerji üretimi yapılamayan dönemde pompalama işleminin durmaması için devreye girerek pompayı çalıştırır. Bu sistemlerde depolama tankı genellikle bulunmamaktadır[4].

**Direkt Sistemlerde**, akü bulunmamaktadır. Buna karşın enerjinin depolanması için depolama tankı bulunmaktadır. Şekil 2.5a' de akü destekli sistem ve Şekil 2.5b' de direkt sistemler gösterilmektedir[4].



Şekil 2.5a. Akü destekli GESP sistemi[4]



Şekil 2.5b. Direkt(Akü desteksiz) GESP sistemi[4]

**Santrifüj Pompalı Sistemler,** Su yüzeyine yakın bir yere monte edilirler. Genellikle yatay mesafelerde boru hattına gönderilmesi için kullanılırlar. Kaynak dışında suyun pompaya kendi cazibesıyla ulaşması mümkün ise suyun istenilen yüksekliğe basılması için bu tip pompalar kullanılmaktadır.

**Emiş (Submersible-Deep Well) Pompalı Sistemler,** Emiş pompaları yer yüzeyinin altında çalıştırılmak için tasarlanmıştır. Emiş pompaları tamamen su içerisinde bulunmaz ise çalışmazlar. Yer altında bulunan su kaynağından suyu depolama tankına iletirler. Emiş pompaları en yaygın kullanılan FV pompalarıdır. AA veya DA olarak kullanılabilirler.%40-70 arasında verimlere sahiptirler[4].

**Sabit Sistemlerde,** FV dizeleri sabit bir metal platforma monte edilmiştir. Eğim açısı değeri genellikle GESP sisteminin kurulacağı bölgenin enlem değeridir. Sabit sistemlerin yatırım maliyetleri izleme sistemlerine göre daha azdır. Ancak verimleri izleme yapılan sistemlere göre daha azdır.

**Güneş İzlemeli Sistemler,** GESP sisteminin performansını arttırmak için kullanılabilir. Üç şekilde izleme yapılabilmektedir. Bunlar, manuel izleme ve otomatik izlemedir. Sezon içerisinde yılda 2 kez veya manuel olarak günde sabah öğle ve öğleden sonra 3 kez olmak üzere manuel olarak izleme yapılabilmektedir. Otomatik izleme ise bir yazılım vasıtasıyla hem iki eksenli hem de üç eksenli olarak yapılabilmektedir. Saatlik olarak güneşin hareketine göre sistem yıl boyunca hareket etmektedir. Tek eksenli bir Güneş izlemeli sistem, Şekil 2.6'da verilmiştir. Buna göre kuzey güney doğrultusunda FV modüller güneş hareketlerine göre hareket ederek optimum açıda maksimum üretim yapmaktadır[4,23].



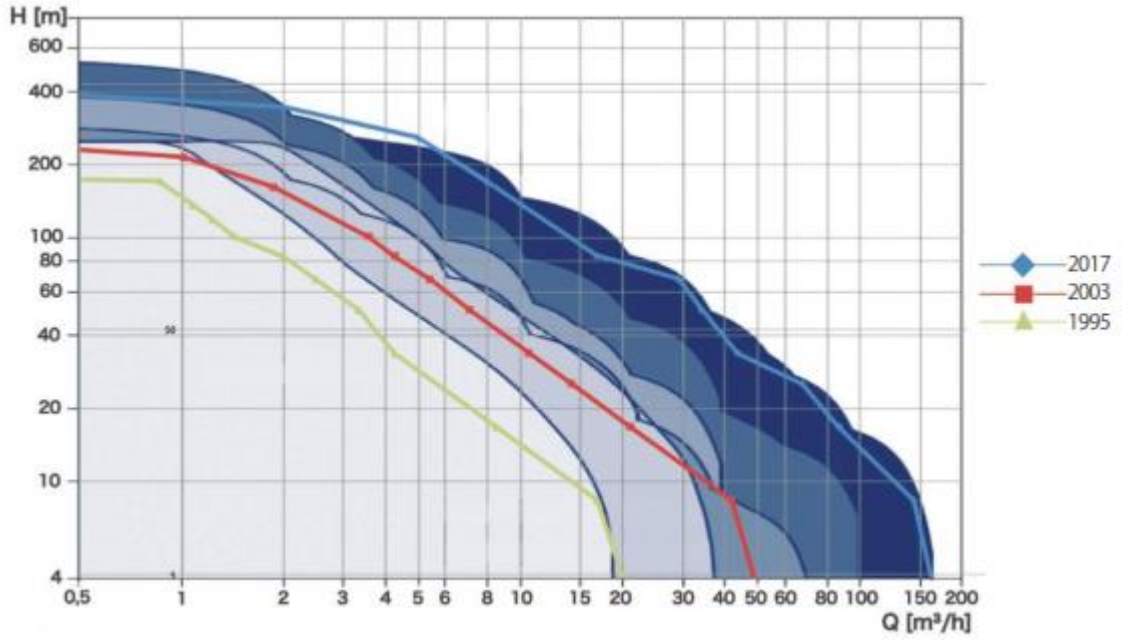
Şekil 2.6. Tek eksenli otomatik bir güneş izlemeli sistem[8]

### 2.3 GESP Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

Güneş enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi 15-19. Yüzyıllar arasında araştırılmıştır. GESP sistemleriyle ilgili ilk araştırma raporu 1964 yılında Pytlinski tarafından Sovyetler birliğinde yayınlanmıştır. Yayınlanan bu raporda incelenen sistem çok küçük bir debi ve çalışma yüksekliğine sahiptir. İlk büyük ölçekli GESP sistemi 1977 yılında ABD'nin Nebraska eyaletinin Mead şehrinde kurulmuştur. 12 saat boyunca çalışabilen sistemin pompalama kapasitesi  $3,8 \text{ m}^3/\text{dk}$  olarak belirtilmiştir[4].

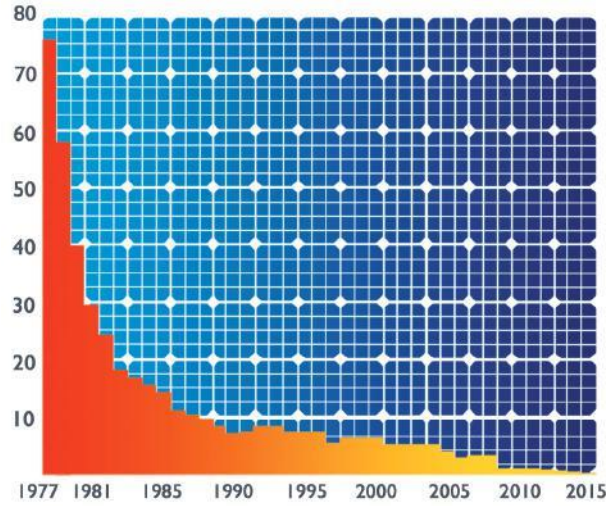
Son on yılda Dünyada GESP uygulamaları teknolojik olarak büyük gelişme göstermiştir. Bunun yanında GESP kurulum maliyetlerinde çok ciddi düşüş gerçekleşmiştir. İlgili gelişmeler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Şekil 2.7'de görüldüğü gibi GESP sistemlerinin kapasiteleri ve yetkinlikleri, yıllar içinde, artış göstermiştir. 10 yıl önceki teknolojiye GESP sistemlerinin kısıtlı performansları sebebiyle derin sularda ( $>200 \text{ m}$ ) ve yüksek debi ( $500 \text{ m}^3/\text{g}$ ) gerektiren hallerde GESP sistemleri uygun olmamaktaydı ancak günümüzde  $500 \text{ m}$  üzerindeki derinliklerde ve  $1500 \text{ m}^3/\text{g}$  debisinde GESP sistemleri çalışmaktadır[5].



Şekil 2.7. Güneş enerjili sulama pompalarının kapasitelerindeki artış[5]

- Şekil 2.8’de görüldüğü üzere FV panellerin fiyatlarının önemli ölçüde düşmüş olması GESp sistemlerinin kurulum maliyetlerini çok düşürmüştür. 2000 ‘li yılların başında 5 \$/Wp olan FV hücre fiyatları günümüzde 0,4 \$/Wp seviyelerine düşmüştür.



Şekil 2.8 FV hücre fiyatlarının yıllara göre değişimi \$/Wp [5]

- GESp sistem elemanlarının üreticilerinin Dünya çapında artış göstermesi pazarda rekabet doğurmuş ve fiyatların düşmesini tetiklemiştir. Dünya genelinde GESp



sistemleri dizel jeneratör veya rüzgar enerjili pompalama sistemleri karşısında rekabet edebilir hale gelmiştir[5].

#### 2.4. GESP Sistemlerinin Tasarımı

GESP tasarımı yapılırken *su talebi, su kaynağı, tasarım debisi, su depolama, toplam dinamik düşü, FV dize tasarımı, ışınım miktarı* parametrelerinin analizinin en iyi şekilde yapılması gerekir. İlgili parametrelere göre sistem boyutlandırması yapılarak ürün seçimi yapılır ve sistem maliyeti hesaplanır. Bu parametreler izleyen kesimde açıklanmıştır:

- **Su Talebi:** GESP sistemlerinin büyüklükleri su talebiyle doğrudan ilgilidir. Su talebi sulamada, içme suyu, çiftlik hayvanlarının ihtiyaçları gibi parametrelere göre m<sup>3</sup>/gün cinsinden hesaplanır. Örneğin kişi başı su gereksinimi standart 30 lt/gün olarak alındığında, 2000 nüfusu olan bir yerleşim biriminin içme suyu ihtiyacı günlük 60 m<sup>3</sup> olacaktır. Sulama suyu talebinin belirlenmesi daha kompleks ve zor bir iştir. Sulama suyu ihtiyacı sulama alanının büyüklüğü, buharlaşma özellikleri, toprak yapısı, ekilen ürünün cinsi, sulama dönemi, sulama tipi vb. parametrelere bağlıdır. Sulama suyu ihtiyacı standart olarak ilgili ülkenin su işleri bakanlıkları veya sular idareleri tarafından belirlenmektedir.
- **Su Kaynağı:** Tatlı su kaynakları genellikle ırmak, nehir, baraj, göl gibi yer üstünde veya su kuyuları gibi yer altında toplanmaktadır. Kırsal alanlarda genellikle kuyu suları kullanılmaktadır.

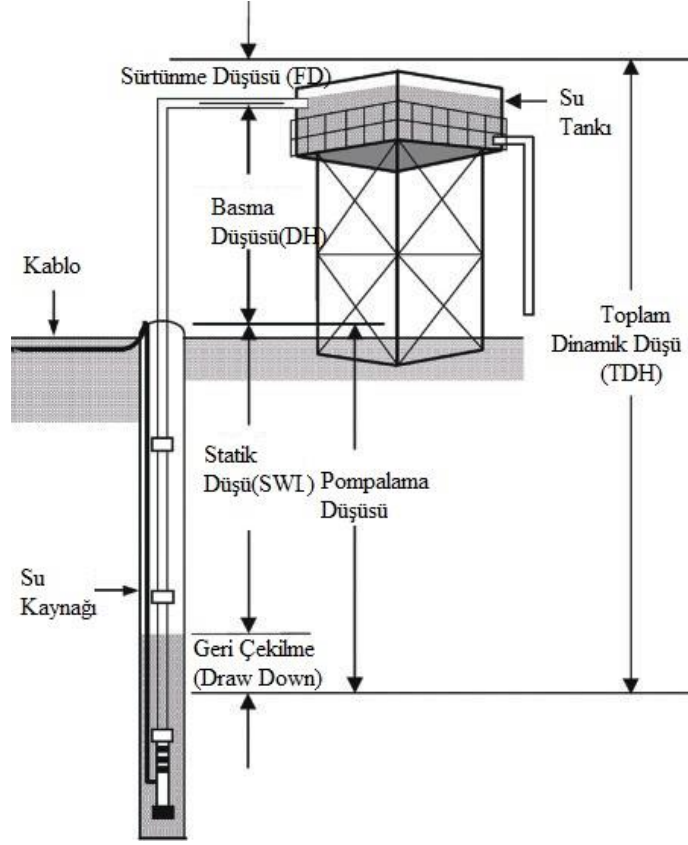
Yüzey suyu kaynaklarını değerlendirirken, su mevcudiyeti ve pompalama seviyeleri ile su kalitesi değerlendirilmelidir. Mevsimsel değişimlerin muhasebeleştirilmesi kritik derecede önemlidir. Bazı kaynaklar kuruyabileceğinden, diğerleri taşkın ve yüksek riskli olabilir. Su seviyesi Pompalama yüksekliğini etkileyerek mevsimler arasında önemli farklılıklar gösterebilir. Pompa girişinde düzgün bir şekilde filtre edilmemişse, silt ve tortu pompaya zarar verebilir.

Yeraltı suyu da yaygın olarak kullanılan bir su kaynağıdır. Yeraltı suyu doğal akiferlerde bulunur. Kuyu veya sondaj tarafından erişilen yeraltı su depoları içim pompalama testi yapılır. Belli bir akiferden pompalanabilecek su miktarını değerlendirilir. Yapılan testler kaynağın kalitesini belirler. Testler sonucu verim (m<sup>3</sup>/saat), geri çekilme(drawdown) su derinliği ve su seviyesi belirlenir. Sondaj deliğindeki

su seviyesi belirli durumlarda belli süre boyunca düşer, Geri çekilme akifer tarafından dinamik olarak yenilenir. Her zaman düşük seviyelerde geri çekilme(drawdown) istenir[9]. Bir akiferin üretimini aşan su talebi, aşırı pompalamaya neden olabilir. Aşırı pompalamada geri çekilme(drawdown) maksimum sevededir. Bu durum pompada ağır metallerin çökmesine ve demirin oksidasyonuna neden olabilir. Bu duruma bağlı olarak pompa için servis maliyetlerinin artmasına kaçınılmazdır[5].

- **Tasarım Debisi:** Geleneksel mühendislik tasarımında, bir pompanın tasarım debisi, günlük su talebini bir günde toplam pompalama saati sayısına bölerek elde edilir. Bununla birlikte, GESP uygulamaları günlük pompalama saatlerini tahmin etmek için güneşlenme süresi baz alınır. Tasarım debisi, kaynaktan pompalanabilecek maksimum debi miktarını aşmamalıdır. Tasarım debisi su basıncı düşüşü hesaplamaları ve boru boyutlandırması için kullanılır.
- **Su Depolama:** Çoğu GESP sisteminde performans ve güvenilirliği artırmak için su depolama kapasitesi gereklidir. Güneşli saatlerde pompalanan suyu depolamak için bir depolama tankı kullanıldığında sistemin güvenilirliği artırılarak su ihtiyacı gece, bulutlu havalarda veya sistemin kapalı kalma süresi durumunda karşılanır. Genel olarak, depolama tankları en az 2-3 gün su temini depolayacak şekilde boyutlandırılmalıdır.. Saha araştırması verileri, birçok depolama tankının çok küçük olduğunu bunun sonucunda gündüz su taşması ve akşam su kıtlığı yaşandığını göstermiştir. Optimum tank boyutlandırması, saatlik su talebi ve tankın konulacağı alana bağlı olarak yapılmalıdır[5,24].
- **Toplam Dinamik Düşü:** Pompalama sistemlerinde, “düşü”, suyun normal seviyesine göre (örneğin yeraltında) pompalanması gereken yüksekliği ifade eder. Toplam Dinamik Düşü (TDH-Total Dynamic Head), Şekil 2.9 da belirtildiği gibi, statik düşü (SWL-Static Water Level), sürtünme kayıpları (FH-Friction Head) Basma düşüsü (DH-Discharge Head ) olarak belirtilen üç ana parametrenin toplamına eşittir [20,24].



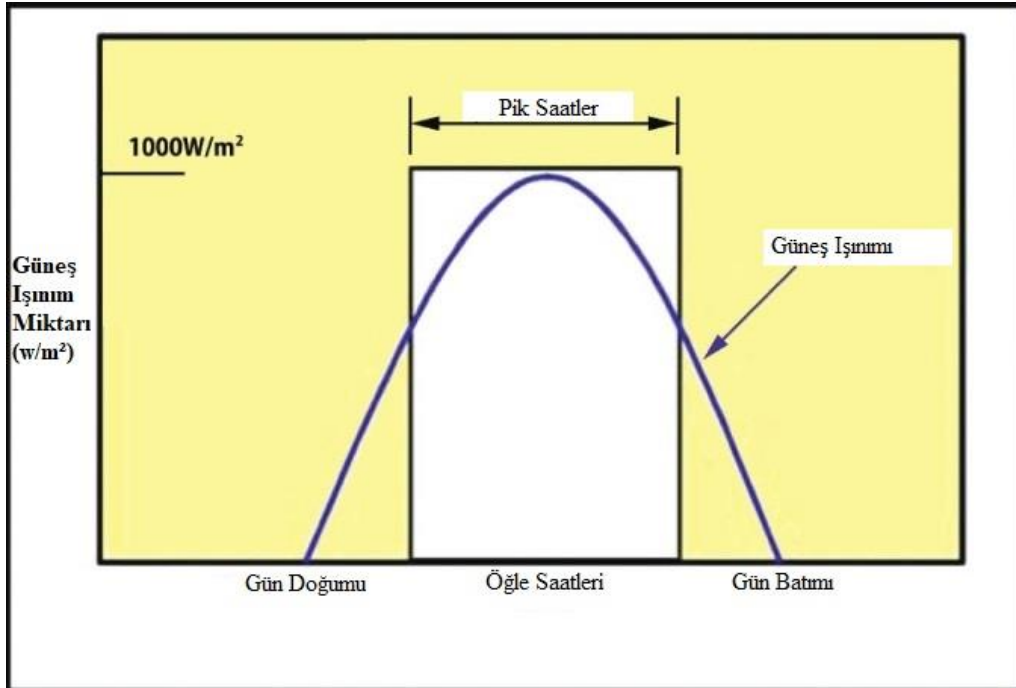


Şekil 2.9. Toplam dinamik düşü(TDH)[5]

**Statik düşü,** su kaynağının yer yüzeyinden derinliğidir. Geri çekilme seviyesine(drawdown) göre artabilir veya azalabilir. **Basma düşüsü,** yer yüzeyinden su tankına suyun verildiği nokta arasındaki yükseklik farkına eşittir. **Sürtünme kayıpları,** borularda oluşan sürtünme kayıplarının oluşturduğu düşü kayıplarıdır. Boru çapına, türüne göre değişkenlik göstermektedir.

- **FV Dizelerinin Tasarımı:** İlk sistem boyutlandırması için kritik olmamakla birlikte, FV panelleri pompaya ve su kaynağına yakın, ilgili enlemde en uygun eğim açısına ve yılın herhangi bir bölümünde gölge oluşmayacak şekilde kurulmalıdır. Paneller genellikle güvenli ve emniyetli bir yere yerleştirilmelidir. Bu sorunlar, nihai tasarım ve kurulum sırasında hassas bir şekilde ayarlanabilir, ancak ön tasarım amaçları için, FV dizelerin pompaya yakın bir şekilde yerleştirilmemesi sonucunda daha uzun kablo gereksinimleri oluşabilir Bu durum, dize kablolarındaki güç kaybını artırır [5,24].
- **Işınım Miktarı:** Güneş ışınım miktarı, belirli bir alanda belirli bir süre boyunca alınan toplam ışınımın bir ölçüsüdür ve kWh/ m<sup>2</sup>.gün olarak ifade edilir. Belirli bir alandaki güneş ışınım miktarını etkileyen faktörler arasında enlem, bulutlu

dönemlerin yaygınlığı, nem, atmosferik netlik ve mevsimsel değişimlerdir. Işınım, güneş açısından etkilenir ve Şekil 2.10'da görüldüğü gibi, Güneşin gökyüzünde konumu gün içinde değiştiğinden, sabahları ışınımın en yüksek olduğu öğle saatlerine kadar artar, sonrasında gün batımına kadar azaldığından (günün herhangi bir saatinde FV modülün güneş ışınlarına dik olduğu durumlarda ışınım en yüksek seviyededir. Meteoroloji istasyonlarından elde edilen uzun dönem istatistiksel hava durumu verileri, genellikle yatay bir yüzeyde güneşlenme için aylık ortalama veri şeklinde sağlanır ve bu güneşlenmenin günlük varyasyonlarını içerir. GESP sistemlerinin boyutlandırılmasında Ekvator'a doğru yönlendirilmiş yatay veya eğimli olmayan güneş ışınlarının hesaba katılması gerekir. Bu veriler üzerinden doğru optimizasyon yapabilmek için istatistiksel temelli bilgisayar yazılımlarına ihtiyaç vardır [5,24].



Şekil 2.10. Bulutsuz bir günde ışınım miktarı[5]

## 2.5. GESP Sistem Tasarımında Kullanılan Yazılımlar

GESP sistemlerinin tasarımında kullanılan birçok yazılım bulunmaktadır[9]. Boyutlandırma ve simülasyon amaçlı kullanılan yazılımlardan, **COMPASS**, Güneş Enerjisi pompası üretici olan Lorentz tarafından geliştirilmiştir. **PVSYST**, herhangi bir FV sistemi(şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler, GESP sistemleri) boyutlandırmak ve modellemek için kullanılabilen, tasarımda mühendislik bilgisi

gerektiren profesyonel ücretli bir yazılımdır. **HOMER** (*Homer Enerji firmasının tasarladığı yazılım*), mühendislik bilgisi gerektirmeden temel enerji dengelerini modellemek için kullanılabilen ve yıllık simülasyonları gerçekleştiren bir yazılımdır. Bu yazılımlar kullanılarak, programlara girdi olarak su ihtiyacı , sistemin tasarlanacağı yer , depolama ihtiyacı gibi parametreler girilmektedir. Programlar girdilere göre simülasyonlar yaparak teknik ve ticari açıdan optimum tasarımın yapılmasını amaçlamaktadır[5].

Bu çalışmada, PVSYST yazılımı kullanılmıştır. PVSYST programında üç ana bölüm/ara yüz bulunmaktadır[24].

- **Ön Tasarım:** Bu ara yüzde, gerçek sistem bileşenlerini belirtmeden, az sayıda genel sistem özelliği veya parametresi kullanarak, sistem verimi değerlendirmeleri hızlı bir şekilde gerçekleştirilir ve sistem maliyetinin kaba bir tahmini elde edilir. **Şebekeye bağlı sistemler** ve özellikle binaya etkin sistemler için, mevcut alan, FV teknolojisi, gereken güç veya istenen yatırım hakkında bilgi girilmesi gereklidir. **Şebekeden bağımsız sistemler** için bu kısım, yük profili ve gerekli FV gücü ve akü kapasitesinin boyutlandırılmasını sağlar. **Pompalama sistemleri** için su gereksinimleri ve pompalama derinliği ile bazı genel teknik seçenekleri gösteren bu ara yüz, gereken pompa gücünü ve FV dizisi boyutunu kaba olarak belirlemeye yardımcı olmaktadır.

- **Proje Tasarımı:** Bu ara yüzde, ayrıntılı saatlik simülasyonlar kullanarak kapsamlı bir sistem tasarımının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bir "proje" çerçevesinde, farklı sistem simülasyonu işlemleri yapabilmekte ve karşılaştırabilmektedir. Kullanıcı varsa düzlem oryantasyonunu (izleme sistemleri) tanımlamalı ve belirli sistem bileşenlerini seçmelidir. Seçilen bir evirici markası, akü grubu veya pompa için, verilen FV dizisinin tasarımında diğer bir deyişle seri ve paralel FV modülleri sayısında, yazılım optimum seçimlerin yapılmasına yardımcı olmaktadır. Daha ayrıntılı parametrelerin belirlendiği ikinci adımda, sistemin termal davranışı, kablolama, modül kalitesi, uyumsuzluk ve açığı kayıpları, ufuk (uzak gölgeleme) veya dizideki yakın nesnelere kısmi gölgelenmesi gibi detaylı parametrelerin analizi gerçekleştirilebilmektedir. Pompalama sistemleri için, çeşitli sistem tasarımları davranış ve verimlilikleri detaylı bir analizi ile test edilebilir ve karşılaştırılabilir. Sonuçlar, aylık, günlük veya saatlik değerlerde görüntülenebilen ve hatta başka bir yazılıma aktarılan birçok değişkeni içerir. "Kayıp Diyagramı", sistem tasarımında güç kayıplarını göstermek için yararlanılan bir alt moddür. Simülasyon sonunda, kullanılan tüm

parametreler ve ana sonuçlar dahil olmak üzere her simülasyon çalışması için bir rapor hazırlanır.

- **Veri Tabanı Oluşturma:** Coğrafi alanların oluşturulması ve yönetimi, saatlik meteorolojik verilerin oluşturulması ve görselleştirilmesi, önceden tanımlanmış çeşitli kaynaklardan veya özel ASCII dosyalarından meteorolojik verilerin programa aktarılması ile sağlanabilmektedir. Tez çalışmasında proje alanı olarak alınan Nevşehir İli Gülşehir İlçesi veri tabanında olmamasına rağmen veri tabanı oluşturma yöntemiyle Meteonorm veri tabanından programa aktarılmış proje alanının enlem ve boylamına göre meteorolojik veriler program tarafından oluşturulmuştur.

Program aynı zamanda yeni üretilen veya veri tabanında bulunmayan FV modülleri, eviriciler, Regülatörler, Jeneratörler, Pompalar, vb. bileşenlerin parametrelerini programa girerek veri tabanı yönetimi yapmayı kullanıcılara sağlamaktadır [24].

### **3. PVSYST YAZILIMI KULLANILARAK ÖRNEK BİR GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA(GESP) SİSTEMİ TASARLANMASI VE KONVANSİYONEL SİSTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI**

#### **3.1. Seçilen Sahanın Özellikleri ve Konvansiyonel Sulama Sistemi**

Tez çalışması kapsamında ilk adım olarak GESP sistem kurulumunun uygun olabileceği alanlar ve bölgeler için incelemeler yapılmıştır. Bu kapsamda tezin anlaşılmasına en uygun ve mümkün olduğunca ölçülebilir parametreleri olan alanlar incelenmiştir. İncelenen alanlarda gözetilen kriterler aşağıdaki gibidir:

- **Su Kaynağına İlişkin Parametreler:** Seçilen bölgedeki su kaynağının teknik parametrelerinin bilinmesi özellikle de kaynağın kuyu ruhsatının bulunması tasarımda kolaylık sağlamaktadır.
- **Güneş Işınım Değerleri:** Seçilen bölgenin yıllık güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi açısından kabul edilebilir seviyelerde olması gerekmektedir.
- **Arazi Büyüklüğü ve Yapısı:** Seçilen bölgenin arazi büyüklüğünün çok büyük olmaması ve eğimli olmaması tasarım hesapları açısından kolaylık sağlamaktadır.
- **Seçilen Bölgede Konvansiyonel Sistem Kurulu Olması:** Seçilen bölgede sulamanın konvansiyonel sistemlerle özellikle de dizel jeneratörle yapılıyor olması teknik ve ticari karşılaştırma açısından kolaylık sağlayacaktır.

Belirtilen parametrelerin tümünü sağlayan Nevşehir İli Gülşehir ilçesinde yer alan ve ceviz üretimi için kullanılan 3000m<sup>2</sup>'lik alan proje alanı olarak seçilmiştir. Bu alandaki sulama sisteminde, su temini için dalgıç pompa, enerji sistemi olarak dizel jeneratör kullanılmaktadır.

Seçilen saha ile ilgili sulama ve enerji tüketimi parametrelerinin belirlenmesi için kayıt işlemlerine 2017 yılında başlanmıştır. Bu kapsamda üretici dizel jeneratörün çalışma saatini her ay kayıt etmiş ve bu sayede tüketilen yakıt miktarı hesaplanmıştır. Gülşehir Belediyesi'nden alınan ve *EKI*'de verilen ruhsat belgesinde su kuyusunun tüm özellikleri yer almaktadır. Kuyu ruhsatında belirtilen karakteristikler tez çalışmasında referans olarak kullanılmıştır. Seçilen saha ile ilgili resimler Şekil 3.1, Şekil3.3'de verilmiştir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, kullanılan dizel jeneratöre ait bilgiler jeneratör üzerinde yer almaktadır. Ayrıca jeneratörün harcadığı gücü belirlemek amacıyla bir

elektrik panosu yer almaktadır (Şekil 3.2). Panoda akım ve gerilim değerleri yer almaktadır ve bu değerler vasıtasıyla jeneratörden çekilen güç belirlenmektedir.

Güneş enerjili su pompalama sisteminin tasarımını yapabilmek için gerekli en önemli parametre, Bölüm 2.4’de açıklandığı gibi, sulamada gerekli su miktarının ve pompa basma yüksekliğinin belirlenmesidir. Bu çalışmada seçilen sahada kuyu ruhsatında belirtilen basma yüksekliği baz alınacaktır. Gerekli su miktarı ise jeneratörün nominal düşü ve nominal kuyu yüksekliğinde çalışması sırasında ana su borusundan elde edilecek su miktarının ölçülmesi ile belirlenecektir. Nominal düşü ve basma yüksekliğinde jeneratörün sağladığı su miktarı yapılan ölçümlerde 1.5 lt/s olarak belirlenmiştir.

Sulama sezonu boyunca jeneratörün çalışma süresi kayıt edildiğinden sezon sonunda harcanan toplam su miktarı bu sayede hesaplanacaktır. Seçilen saha ile ilgili resimler Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kullanılan dizel jeneratör



Şekil 3.2. GESP sisteminin kurulabileceği alan ve jeneratörün sulama anındaki akım ve gerilim değerleri



Şekil 3.3.Ekili arazi ve su kaynağının girişi

Çizelge 3.1’de mevcut konvansiyonel sistemin genel özellikleri verilmiştir. Çizelge 3.2’de de bu sistemde kullanılan 6.3kW’lık jeneratörün çalışma süreleri, harcadığı enerji, yakıt tüketimi ve pompalan su miktarı verilmiştir;

- **Jeneratör çalışma süreleri**, ceviz bitkisinin sulanma ihtiyacına göre sulama yapılan sürelerdir. Ağustos ayında sulama miktarı azaldığından çalışma miktarı diğer aylara göre daha azdır. Yaz dönemi haricinde sulama yapılmamaktadır.
- Jeneratör çalışma süresi ile nominal güç çarpılarak **jeneratörün harcadığı enerji** hesaplanmıştır.
- **Jeneratörün tükettiği yakıt miktarı**, jeneratör üreticisinin kullanım kılavuzunda belirlenen nominal güçteki yakıt tüketimi değeri (2,35 lt/saat) toplam çalışma süreleriyle çarpılarak hesaplanmıştır.
- **Pompalanan su miktarı** hesaplanırken, sahada yapılan ölçümlerde nominal düşüde jeneratörün ana sulama borusuna 1,5 lt/s su bastığı sahada yapılan ölçümlerle tespit edilmiştir. Bu durumda sistemin sulama dönemi boyunca ihtiyacı olan su miktarı diğer bir deyişle pompalan su miktarı, jeneratörün çalışma süresi ile sistemden elde edilen debi miktarı çarpılarak bulunmuştur.

Çizelge 3.1.Mevcut Konvansiyonel Sistemin Pompalama Karakteristikleri

<b>Kuyu Statik Seviyesi</b>	9,25 m
<b>Kuyu Dinamik Seviyesi</b>	22 m
<b>Pompa Seviyesi</b>	85 m
<b>Pompa Çıkış Boru Çapı</b>	50 cm
<b>Jeneratör Nominal Gücü</b>	6,3 kW

Çizelge 3.2.Mevcut konvansiyonel sistemin genel parametreleri

	<b>Mayıs</b>	<b>Haziran</b>	<b>Temmuz</b>	<b>Ağustos</b>
<b>Jeneratör Çalışma Süreleri (saat)</b>	30	30	39	18
<b>Jeneratörün Harcadığı Enerji (kWh)</b>	189	189	245,7	113,4
<b>Jeneratörün Yaktığı Yakıt Miktarı(Lt)</b>	70,5	70,5	91,65	42,3
<b>Pompalanan Su Miktarı(m<sup>3</sup>)</b>	167,4	162	217,62	100,44

### 3.2. Konvansiyonel Sistem Yerine Önerilen GESP Sistem Tasarımı

Bölüm 3.1’de belirtilen konvansiyonel sistemin özellikleri temel alınarak, PVSYST programında sistem tasarlanmıştır. Sistem tasarımı için gerekli olan toplam basma yüksekliği ve gerekli su miktarı Kesim 3.1’deki verilere göre belirlenmiştir ve tasarımda kullanılacak veriler:

Saha Koordinatları: 38,50 Kuzey, 32,34 Doğu

Kuyu Statik Seviyesi: 9,25 m

Kuyu Dinamik Seviyesi :22 m

Pompa Seviyesi :85 m



Pompa Çıkış Boru Çapı: 50 mm

olarak alınmıştır. Sistemde pompalanacak su, 50 mm'lik borularla yeni kurulacak su depolama tankına iletilecektir.

Tasarlanacak sistemde pompalanan su boyutları yazılımla belirlenecek bir depolama tankına iletilecektir. Belli bir yükseklikte olan depolama tankından su istenilen her durumda tankta su bulunması halinde sulamada kullanılacaktır. PVSYST programı güneş radyasyonunun devamlı olmaması ve gece sulamalarının daha verimli olması sebebiyle su depolama esasına göre çalışmaktadır. Depolama tankı tasarımı olmadan PVSYST programında tasarım yapılamamaktadır. Sisteme ait genel şematik gösterim Şekil 2.1'de ve Şekil 2.9'da yer almaktadır. Buna göre programda girilmesi gereken ve şemada gösterilmiş kavramlara ait açıklamalar şu şekilde özetlenebilir:

**Statik Düşü(SWL):** Yer altı suyunun yerden yüksekliğidir. 9,3 m olarak kuyu ruhsatından alınmıştır.

**Pompa Yüksekliği:** Pompanın su giriş bölümünün yerden yüksekliğidir. Pompanın bulunduğu seviyede mevcut durumda 85 m'dir.

**Dinamik Düşü(DH) :** Pompaj sırasındaki su seviyesidir. 22 m olarak kuyu ruhsatından alınmıştır.

Basma yüksekliği ve gerekli su miktarı verilerinin programa girilmeden önce GESP sisteminin kurulacağı bölge koordinatlarının programa girilmesi ve PVSYST programına kaydedilmesi gerekmektedir. PVSYST programı bulunulan bölgenin meteorolojik karakteristiğini Şekil3.4'de gösterildiği gibi Meteonorm veri tabanını kullanarak kullanıcıya vermektedir.

Geographical Coordinates | Monthly meteo | Interactive Map

### Project location

**Location**

Site name: Gümüşkent Köyü

Country: Turkey | Region: Europe

**Geographical Coordinates**

Sun paths

Latitude: 38.83 [°] 38 50 (+ = North, - = South hemisph.)

Longitude: 34.53 [°] 34 32 (+ = East, - = West of Greenwich)

Altitude: 1050 M above sea level

Time zone: 3.0 Corresponding to an average difference

Legal Time - Solar Time = 0h 42m

**Meteo data Import**

Meteonom 7.1  
 NASA-SSE

**Import**

**Tabular I/O (Excel)**

**Import**

**Export line**

**Export table**

Şekil 3.4. Proje Sahasının Özelliklerinin Girilmesi

Geographical site parameters

Geographical Coordinates | Monthly meteo | Interactive Map

Site: **Gümüşkent Köyü (Turkey)**

Data source: Gümüşkent Köyü\_MN71.SIT -- Meteonom 7.1 (2005-2013), Sat=73%

	Global Irrad.	Diffuse	Temper.	Wind Vel.
	kWh/m <sup>2</sup> .mth	kWh/m <sup>2</sup> .mth	°C	m/s
January	64.1	30.3	-0.8	2.20
February	87.9	35.8	0.7	2.60
March	125.9	57.9	6.2	2.79
April	158.1	66.0	10.8	2.80
May	205.9	65.8	15.6	2.60
June	227.6	65.5	20.1	2.99
July	236.6	64.9	23.9	3.20
August	222.6	49.2	23.9	3.00
September	173.6	39.6	18.2	2.49
October	118.0	42.6	13.1	2.30
November	75.1	32.9	6.2	1.89
December	62.4	23.9	1.0	1.99
<b>Year</b>	<b>1757.8</b>	<b>574.4</b>	<b>11.6</b>	<b>2.6</b>

**Required Data**

Horizontal global irradiation  
 Average Ext. Temperature

**Extra data**

Horizontal diffuse irradiation  
 Wind velocity

**Irradiation units**

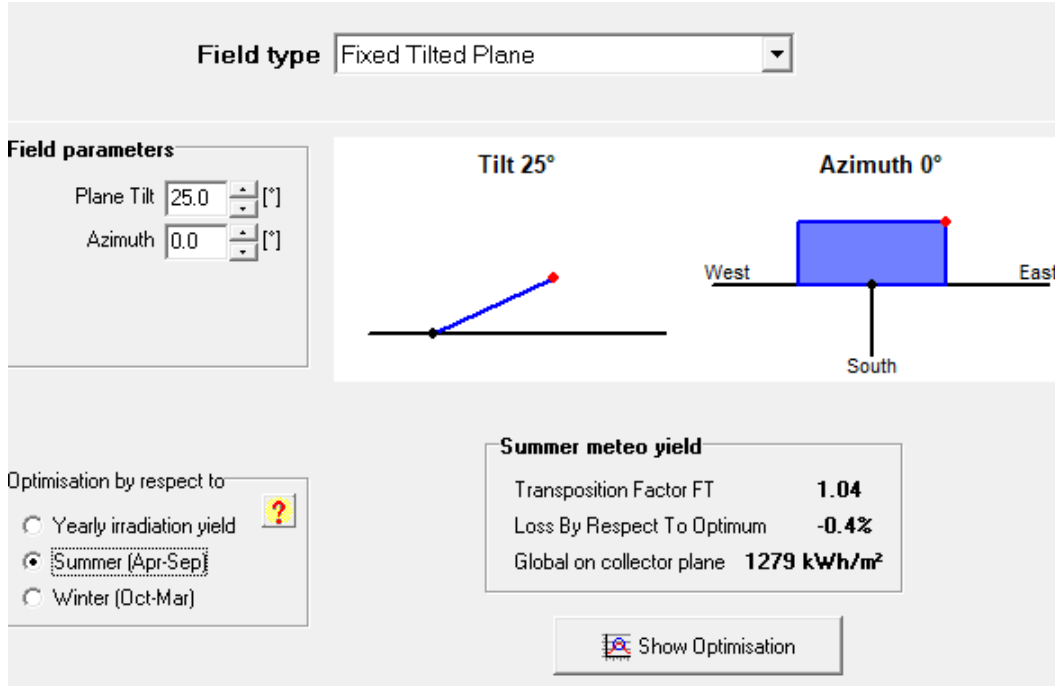
kWh/m<sup>2</sup>.day  
 kWh/m<sup>2</sup>.mth  
 MJ/m<sup>2</sup>.day  
 MJ/m<sup>2</sup>.mth  
 W/m<sup>2</sup>  
 Clearness Index Kt

**Print** **Close**

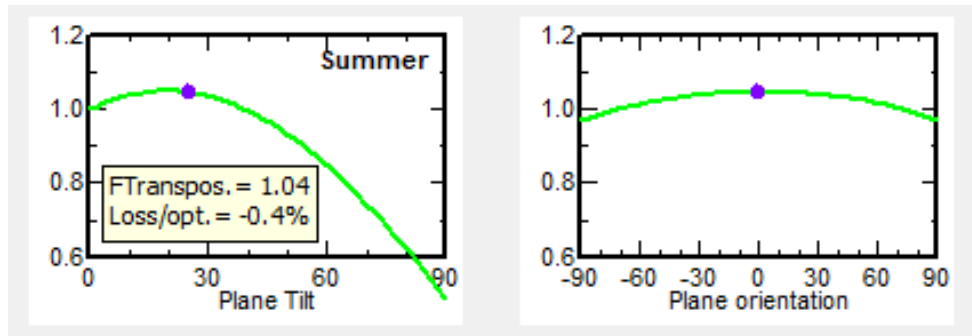
Şekil 3.5. Proje sahasının meteonorm meteoroloji veri tabanından alınan parametreleri

Şekil 3.5 de gösterildiği gibi programda proje bölgesinin meteorolojik verilerinin alınması sonrasında kurulacak GESP sisteminin karakteristikleri “orientation” kısmında belirlenmiştir. Sulama döneminin yaz aylarına denk gelmesi sebebiyle sistemden yaz aylarında en yüksek verimin alınması amaçlandığından optimizasyon seçeneği yaz

olarak girilmiştir. Optimizasyona göre 25 derecelik açı program tarafından uygun görülmüştür, *Şekil 3.6, Şekil 3.7.*

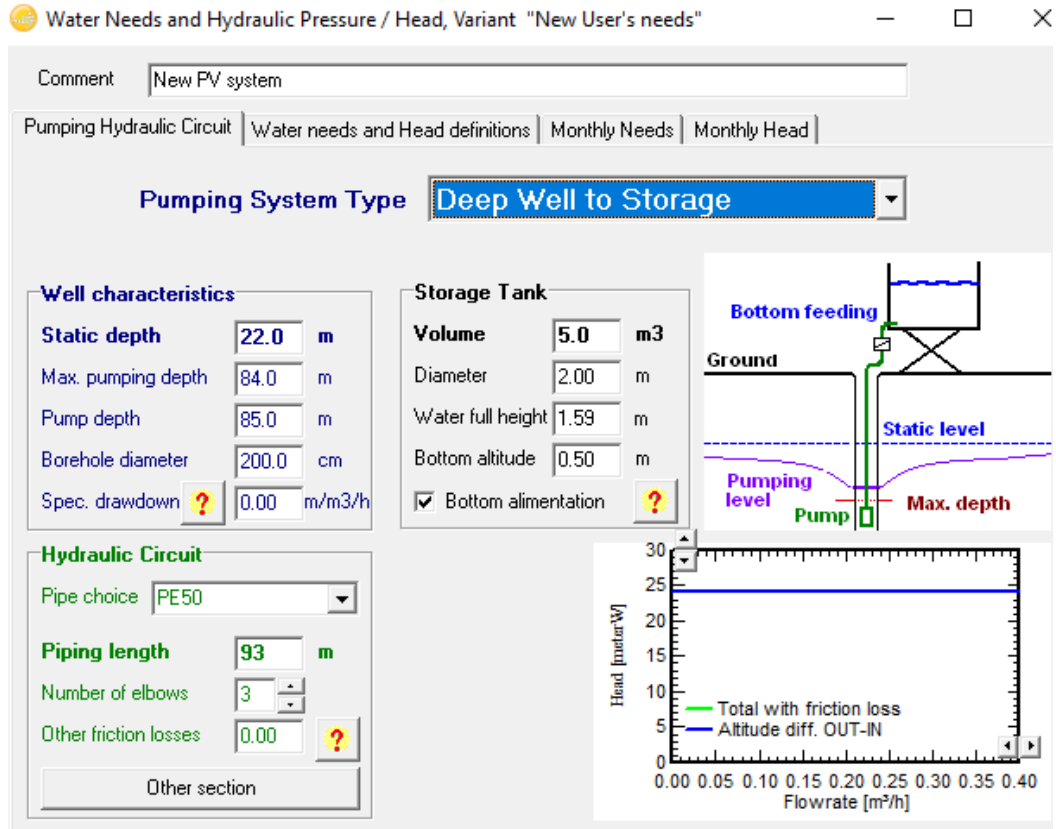


Şekil 3.6.FV Modül Açısının Seçildiği Ekran



Şekil 3.7.FV modül açısı optimizasyon ekranı

Sonrasında tasarlanan sisteme ait statik, dinamik düşü, pompa yüksekliği, tanka kadar olan tasarlanan toplam boru uzunluğu, depolama tankının özellikleri, sistemde kullanılan dirsek bağlantılarının sayısı, aylık olarak sistemin basması gerekli su miktarlarının girişi yapılmıştır. Bu veri girişlerini gösteren ara yüz, Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8 Kuyu/ ve boru karakteristiklerinin veri giriş ara yüzü

Sistemden istenen verilerin girilmesi sonrasında talep edilen su miktarının istenilen yüksekliğe basılabilmesi için “sistem” sekmesinden FV modül ve pompa seçimine geçilir. System seçiminde öncelikle PVSYST programının önerdiği ve ön boyutlandırma (presizing) olarak adlandırılan bölüme göre hareket etmek gerekir. Bu bölümde girilen verilere göre FV sistemin nominal gücünün ve kullanılabilen pompaların nominal gücünün ne miktarda olması gerektiği konusunda yönlendirme yapılmaktadır. Bu çalışmada, girilen verilere göre PVSYST öneri olarak:

Tank hacmi:  $7\text{m}^3$ ,

Pompa gücü: 101 watt,

FV modüllerin toplam gücü: 127 Wp

olarak önermiştir. Ancak önerilenlerin her zaman sistemden istenilenleri sağladığı söylenemez. Tank maliyetlerinin yüksek oluşu ve tankların sahada çok yer kaplaması sebebiyle mümkün olduğunca küçük tank hacmi seçilmelidir.

### 3.3. Optimum Kurulu Güç Seçimi

GESP sistemi, 5 m<sup>3</sup> hacimli depolama tankı ve PVSYST programının önerdiği 127 Wp gücü sağlayan, piyasada bulunabilen 265 Wp gücündeki tek bir adet FV modülle modellendiğinde, sonuç raporunda sistemin ihtiyaç duyulan su miktarını tanka pompalayamadığı ve sulamanın tam anlamıyla gerçekleşemediği görülmüştür. Buna göre Mayıs ve Haziran aylarında tek panelli sistem ile istenilen su miktarı pompalanamamaktadır. Çizelge 3.3b'de verilen sonuç raporunda görüldüğü gibi:

- Pompalan toplam su miktarı 642.1 m<sup>3</sup>, kullanılan toplam su miktarı 639,6 m<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir.
- Çizelge 3.2'de görüldüğü üzere proje sahasının toplam su ihtiyacı 647,5 m<sup>3</sup>'tür. Bu durumda toplamda 7,906 m<sup>3</sup> su pompalanamamış, Mayıs ayında 4.747 m<sup>3</sup>, Haziran ayında 2.271 m<sup>3</sup>, Temmuz ayında ise 0,888 m<sup>3</sup> su pompalanamamış proje sahasına gereken su miktarı temin edilememiştir.
- PVSYST yazılımı günlük olarak simülasyon yaptığından dolayı kullanılan su miktarı 639,6 m<sup>3</sup> olarak kalmıştır.
- Sistem verimliliği %22,9 olarak belirlenmiştir.

Sistem kurulu gücünün gerekli su miktarını pompalayamaması sebebiyle kurulu gücün artırılması gerektiği anlaşılmıştır. Panel sayısı bir adet artırılarak toplam iki adet panelle simülasyon tekrar edilmiştir. Yeni simülasyona göre sistem kurulu gücü 530 Watt olarak belirlenmiştir. Çizelge 3.4a ve 3.4b'de iki panelli sistem için simülasyon sonuçları verilmiştir. Çizelge 3.4a ve 3.4b'den alınan sonuçlara göre:

- Pompalan toplam su miktarı 650 m<sup>3</sup>, kullanılan toplam su miktarı 647,5 m<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir.
- Çizelge 3.2'de görüldüğü üzere proje sahasının toplam su ihtiyacı 647,5 m<sup>3</sup>'tür. Bu durumda tüm aylarda ihtiyaç duyulan su miktarı pompalanmıştır.
- Sistem kurulu gücünün gerekli su miktarını pompalayabilmesi sebebiyle kurulu gücün yeterli olduğu görülmüştür.
- Sistem verimliliği %11,7 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 3.3a.** 265 watt bir adet FV modül ile yapılan simülasyon sonucu

Pumping PV System: Main results			
<b>Project :</b>	<b>Tez Çalışması</b>		
<b>Simulation variant :</b>	<b>New simulation variant2</b>		
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Deep Well to Storage</b>	
System Requirements	Basic Head	24.1 meterW	Water needs 1.8 m³/day (aver.)
Pump	Model / Manufacturer	Solarjack SDS-Q-128 / Sun Pumps	
PV Array	Model / Manufacturer	JKMS265PP-60 Maxim / Jinkosolar	
	Nb. of modules	1 in series	Array Power 265 Wp
System Configuration	Control Strategy	<b>Fixed V DC-DC converter</b>	
<b>Main simulation results</b>			
System Production	<b>Water Pumped</b>	<b>642 m³</b>	Specific 1045 m³/kWp/bar
	Water needs	647 m³	Missing Water 0.8%
	Energy At Pump	101 kWh	Specific 0.16 kWh/m³
	Unused PV energy (Tank full)	215 kWh	Unused Fraction 49.0 %
	System efficiency	22.9 %	Pump efficiency 41.2 %
Investment	Global incl. taxes	1369 €	Specific 5.17 €/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 5.0%, 20 years)	110 €/yr	Running Costs 0 €/yr
Specific Cost	<b>Water Cost</b>	<b>0.17 €/m³</b>	Energy cost 1.09 €/kWh

**Çizelge 3.3b.** 265 Watt bir adet FV modül ile yapılan simülasyon sonuç tablosu

New simulation variant2								
Balances and main results								
	GlobEff	EArrMPP	E PmpOp	ETkFull	H Pump	WPumped	W Used	W Miss
	kWh/m²	kWh	kWh	kWh	meterW	m³	m³	m³
January	85.2	22.00	0.45	15.39	23.63	2.5	0.0	0.000
February	109.9	28.06	0.00	19.76	0.00	0.0	0.0	0.000
March	137.2	33.98	0.00	24.68	0.00	0.0	0.0	0.000
April	157.6	38.07	0.00	27.45	0.00	0.0	0.0	0.000
May	190.8	44.79	25.04	6.60	23.58	161.3	162.7	4.747
June	202.5	46.47	24.97	8.44	23.67	159.7	159.7	2.271
July	214.0	48.16	33.68	1.50	23.49	216.3	216.7	0.888
August	219.1	48.99	16.25	18.20	23.90	101.4	100.4	0.000
September	191.6	44.10	0.12	30.19	24.05	0.8	0.0	0.000
October	144.1	34.63	0.00	26.15	0.00	0.0	0.0	0.000
November	100.5	25.24	0.00	18.81	0.00	0.0	0.0	0.000
December	92.7	23.88	0.00	17.61	0.00	0.0	0.0	0.000
Year	1845.2	438.37	100.53	214.79	23.63	642.1	639.6	7.906

Legends: GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings H Pump Average total Head at pump  
EArrMPP Array virtual energy at MPP WPumped Water pumped  
E PmpOp Pump operating energy W Used Water drawn by the user  
ETkFull Unused energy (tank full) W Miss Missing water

Çizelge 3.4a. 265 W iki panelli sistemin simülasyon sonucu

Pumping PV System: Main results			
<b>Project :</b>	<b>Tez Çalışması</b>		
<b>Simulation variant :</b>	<b>New simulation variant2</b>		
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Deep Well to Storage</b>	
System Requirements	Basic Head	24.1 meterW	Water needs 1.8 m <sup>3</sup> /day (aver.)
Pump	Model / Manufacturer	Solarjack SDS-Q-128 / Sun Pumps	
PV Array	Model / Manufacturer	JKMS265PP-60 Maxim / Jinkosolar	
	Nb. of modules	2 in series	Array Power 530 Wp
System Configuration	Control Strategy	<b>Fixed V DC-DC converter</b>	
<b>Main simulation results</b>			
System Production	<b>Water Pumped</b>	<b>650 m<sup>3</sup></b>	Specific 525 m <sup>3</sup> /kWp/bar
	Water needs	647 m <sup>3</sup>	Missing Water -0.4%
	Energy At Pump	102 kWh	Specific 0.16 kWh/m <sup>3</sup>
	Unused PV energy (Tank full)	293 kWh	Unused Fraction 33.4 %
	System efficiency	11.7 %	Pump efficiency 41.2 %
Investment	Global incl. taxes	1558 €	Specific 2.94 €/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 5.0%, 20 years)	125 €/yr	Running Costs 0 €/yr
Specific Cost	<b>Water Cost</b>	<b>0.19 €/m<sup>3</sup></b>	Energy cost 1.22 €/kWh

Çizelge 3.4b. 265 W iki panelli sistemin simülasyon sonuç tablosu

**New simulation variant2**  
**Balances and main results**

	<b>GlobEff</b>	<b>EArrMPP</b>	<b>E PmpOp</b>	<b>ETkFull</b>	<b>H Pump</b>	<b>WPumped</b>	<b>W Used</b>	<b>W Miss</b>
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	meterW	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
<b>January</b>	85.2	44.01	0.39	22.11	23.74	2.5	0.0	0.000
<b>February</b>	109.9	56.13	0.00	26.55	0.00	0.0	0.0	0.000
<b>March</b>	137.2	67.98	0.00	32.65	0.00	0.0	0.0	0.000
<b>April</b>	157.6	76.16	0.00	34.39	0.00	0.0	0.0	0.000
<b>May</b>	190.8	89.59	26.12	12.37	23.78	166.3	167.4	0.000
<b>June</b>	202.5	92.96	25.75	13.76	23.85	162.0	162.0	0.000
<b>July</b>	214.0	96.34	33.93	7.50	23.71	217.3	217.6	0.000
<b>August</b>	219.1	97.98	15.97	24.14	23.97	101.1	100.4	0.000
<b>September</b>	191.6	88.21	0.14	36.16	23.99	0.8	0.0	0.000
<b>October</b>	144.1	69.28	0.00	32.90	0.00	0.0	0.0	0.000
<b>November</b>	100.5	50.50	0.00	26.54	0.00	0.0	0.0	0.000
<b>December</b>	92.7	47.78	0.00	24.14	0.00	0.0	0.0	0.000
<b>Year</b>	1845.2	876.92	102.30	293.23	23.81	650.0	647.5	0.000

Legends:	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	H Pump	Average total Head at pump
	EArrMPP	Array virtual energy at MPP	WPumped	Water pumped
	E PmpOp	Pump operating energy	W Used	Water drawn by the user
	ETkFull	Unused energy (tank full)	W Miss	Missing water

Benzer şekilde üç adet 265 watt panelle simülasyon yapıldığında sistemde gereğinden fazla enerji üretildiği ve enerjinin kullanılmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Çizelge 3.5’de simülasyona ilişkin sonuçlar yer almaktadır. Buna göre iki panelli sistemde sistem verimi %11,7 iken 3 panelli sistemde verim %7,8 e düşmektedir. Tek panelli

sistemde verim %22,9 olmasına rağmen sistem gereken su miktarını sağlayamamaktadır.

Çizelge 3.5. 265 W üç panelle yapılan simülasyon sonucu

<b>Main simulation results</b>				
System Production	<b>Water Pumped</b>	<b>650 m<sup>3</sup></b>	Specific	350 m <sup>3</sup> /kWp/bar
	Water needs	647 m <sup>3</sup>	Missing Water	-0.4%
	Energy At Pump	102 kWh	Specific	0.16 kWh/m <sup>3</sup>
	Unused PV energy (Tank full)	323 kWh	Unused Fraction	24.6 %
	System efficiency	7.8 %	Pump efficiency	41.3 %
Investment	Global incl. taxes	1746 €	Specific	2.20 €/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 5.0%, 20 years)	140 €/yr	Running Costs	0 €/yr
Specific Cost	<b>Water Cost</b>	<b>0.22 €/m<sup>3</sup></b>	Energy cost	1.37 €/kWh

Diğer bir seçenek ise tek panel kullanarak tank hacmini büyütmektir. Tank hacminin 5 m<sup>3</sup> yerine 10 m<sup>3</sup> alınarak simülasyon yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Simülasyona göre 10 m<sup>3</sup>'lük bir tank ve tek panel kullanıldığında pompalanan su miktarı ihtiyaç duyulan su miktarını karşılamaktadır. Ancak tank boyutunun büyümesi sahada kullanılan alanın artışına ve tank maliyetinin yükselmesine sebep olmaktadır. İki panelli 5 m<sup>3</sup> veya tek panelli 10 m<sup>3</sup> sistemden hangisinin seçileceği saha koşullarına ve maliyete göre değişiklik gösterecektir.

Çizelge 3.6. Tank Hacmi 10 m<sup>3</sup>, 265 W tek panelle yapılan simülasyon sonucu

<b>Pumping PV System: Main results</b>				
<b>Project :</b>	<b>Tez Çalışması</b>			
<b>Simulation variant :</b>	<b>New simulation variant2</b>			
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Deep Well to Storage</b>		
System Requirements	Basic Head	24.1 meterW	Water needs 1.8 m <sup>3</sup> /day (aver.)	
Pump	Model / Manufacturer	Solarjack SDS-Q-128 / Sun Pumps		
PV Array	Model / Manufacturer	JKMS265PP-60 Maxim / Jinkosolar		
System Configuration	Nb. of modules	1 in series	Array Power 265 Wp	
	Control Strategy	<b>Fixed V DC-DC converter</b>		
<b>Main simulation results</b>	<b>Water Pumped</b>	<b>652 m<sup>3</sup></b>	Specific	1054 m <sup>3</sup> /kWp/bar
System Production	Water needs	647 m <sup>3</sup>	Missing Water	-0.8%
	Energy At Pump	103 kWh	Specific	0.16 kWh/m <sup>3</sup>
	Unused PV energy (Tank full)	212 kWh	Unused Fraction	48.4 %
	System efficiency	23.5 %	Pump efficiency	41.1 %
Investment	Global incl. taxes	1369 €	Specific	5.17 €/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 5.0%, 20 years)	110 €/yr	Running Costs	0 €/yr
Specific Cost	<b>Water Cost</b>	<b>0.17 €/m<sup>3</sup></b>	Energy cost	1.07 €/kWh

Sonuç olarak, yapılan simülasyonlar değerlendirildiğinde, Çizelge 3.7. de verildiği gibi, proje sahasının sınırlı olması sebebiyle 5 m<sup>3</sup> tank hacmi ve iki panelli sistemin en optimum seçim olduğu belirlenmiştir. PVSYST programının önerisine göre piyasadan bulunabilecek panel markalarından olan Jinkosolar markasının 265 Wp gücündeki



JKMS 265 PP-60 marka FV modül seçilmiştir [11]. PVSYS yazılımı FV modül sayısının ne kadar olması gerektiği konusunda da yönlendirme yapmaktadır. Şekil 3.9'da verilen ekran görüntüsünde görüldüğü gibi, seçilen markadaki FV modüle göre 2 adet modülün seri bağlantısı önerilmektedir. Modüllerin seçimine ek olarak pompa için DA-DA evirici kullanılması gerekmektedir. Evirici seçimi marka model olmadan programda yapılmaktadır. Evirici verimleri hesaplarda dikkate alınmaktadır.

Çizelge 3.7. Simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Simülasyon Şartları	Tank Hacmi (m <sup>3</sup> )	Gerekli Su Miktarı (m <sup>3</sup> )	Pompalanan Su Miktarı(m <sup>3</sup> ) (Wpumped)	Kullanılan Su Miktarı(m <sup>3</sup> ) (Wused)	Pompalana mayan Su Miktarı(m <sup>3</sup> ) (Wmiss)	Sistem Verimi (%)
265 W Tek Panel	5	647,5	642,1	639,8	7,906	22,9
265 W Tek Panel	10	647,5	652,5	647,5	0	23,5
265 W İki Panel	5	647,5	650	647,5	0	11,7
265 W Üç Panel	5	647,5	650	647,5	0	7,8

The screenshot displays the 'Pre-sizing suggestions' and 'Pump definition' sections of the PVSYS software. The 'Pre-sizing suggestions' section shows average daily needs: Head min. 24.1 meter/W, Head max. 24.1 meter/W, Volume 1.8 m<sup>3</sup>/day, and Hydraulic power 23 W (very approximative). It also shows 'Requested autonomy' set to 1 day(s) and 'Accepted missing' set to 5%. Suggested tank volume is 7.0 m<sup>3</sup>, Suggested Pump power is 101 W, and Suggested PV power is 127 Wp (nom.).

The 'Pump definition' section is set to 'SubArray Design'. System information includes Chosen pump: Solarjack SDS-Q-128, Technology: Membrane/Diaphragm, Max. power: 120 W, and Head Range. The 'Presizing help' section has 'No Sizing' selected, with 'Enter planned power' set to 0.1 kWp and 'or available area' set to 0 m<sup>2</sup>.

The 'Select the PV module' section shows 'Available Now' as the selection criteria. The selected module is 'Jinkosolar 265 Wp 25V Si-poly JKMS265PP-60 Maxim Since 2015 Manufacturer/Maxim 2016'. Approx. needed modules is 0. Sizing voltages are Vmpp (60°C) 25.3 V and Voc (-10°C) 40.9 V.

The 'Select the control mode and the controller' section has 'Universal controller' checked and 'Control mode' set to 'Fixed V DC-DC converter'. A note states: 'The operating parameters of the generic default controller will automatically be adjusted according to the properties of the system.'

The 'PV Array design' section shows 'Number of modules and strings' with 'Mod. in serie' set to 2 and 'Nb modules' set to 2. 'Area' is 3 m<sup>2</sup>. Operating conditions include Vmpp (60°C) 51 V, Vmpp (20°C) 61 V, Voc (-10°C) 82 V, Plane irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, Impp 9.0 A, Isc 9.5 A, and Isc (at STC) 9.5 A. Max. operating power at 1000 W/m<sup>2</sup> and 50°C is 0.5 kW, and Array's nom. power (STC) is 0.5 kWp.

Şekil 3.9. Panel seçimi ve dize dizaynı

Pompa seçimi yapılırken de benzer durum söz konusudur. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi, girilen verilere göre seçilebilecek pompaların listesi yeşil renkle gösterilmektedir.

Verilere göre 22 metre olan pompaj yüksekliğine göre nominal basma yüksekliği 20-25 metre arasında olan ve gücü 100 Watt değerinin üzerinde olan pompaların seçimi uygun olacaktır. Buna göre Sun Pumps firmasının 120 watt gücündeki pompası seçilmiştir.

**Pre-sizing suggestions**

Average daily needs :	Requested autonomy	11 day(s)	Suggested tank volume	7.0 m <sup>3</sup>
Head min. 24.1 meter/W	Accepted missing	5 %	Suggested Pump power	101 W
Head max 24.1 meter/W			Suggested PV power	127 Wp (nom.)
Volume 1.8 m <sup>3</sup> /day				
Hydraulic power 23 W (very approximative)				

**Pump definition** | SubArray Design

**Pump(s) model and layout**

Sun Pumps

120 W 3-31 m Well, DC, Membrane/Diaphragm Solariack SDS-Q-128

1 Pumps in serie

1 Pumps in parallel

**Pump characteristics**

Pump technology	Membrane/Diaphragm		
Motor	DC motor		
Maximal power	120 W	Voltage	24 V
		Max. Current	3.9 A
Head Min / Nom / Max	3	21	31 meterW
Corresp FlowRate	0.8	0.7	0.6 m <sup>3</sup> /h
Corresp Power	51	93	117 W
Efficiency	12.8	41.0	43.4 %

**Units for this project**

Flow rate: m<sup>3</sup>/h

Head: meterW

Power: kW

Energy: kWh

**Hydro Energy calculation tool**

You can type here any values, not necessarily related to your project

Flow rate: 0.6 m<sup>3</sup>/h

Head: 24.1 meterW

Power: 0.042 kW

Şekil 3.10.Pompa seçimi

### 3.4. GESP Sistemi İle Konvansiyonel Sistemin Ekonomik Karşılaştırması

Konvansiyonel sistemde çalışan jeneratörün yakıt maliyetinin hesaplanması için jeneratörün çalışma saati ve ortalama yakıt tüketimi çarpılır. Sonrasında dizel yakıt fiyatına göre aylık ve toplam yakıt maliyeti bulunur. Çizelge 3.2'de jeneratörün yaktığı yakıt miktarları bulunmuştu. Yakıt miktarları güncel yakıt fiyatları(Kasım 2018) ile çarpıldığında elde edilen yakıt tutarları Çizelge 3.8'de verilmiştir [26].

Çizelge 3.8. 2018 Yıl Sonu Dizel Yakıt Fiyatlarına Göre Yıllık İşletme Maliyeti

	<b>Mayıs</b>	<b>Haziran</b>	<b>Temmuz</b>	<b>Ağustos</b>
<b>Yakıt Miktarı(lt)</b>	70,5	70,5	91,65	42,3
<b>Birim Fiyat(TL/lt)</b>	6,14	6,14	6,14	6,14
<b>Toplam(TL)</b>	432,9	432,9	562,7	259,7
<b>Genel Toplam(TL)</b>	1.658,22			

Dizel jeneratör için bakım maliyeti jeneratörün amortisman süresi 10 yıl olarak kabul edilirse jeneratörün fiyatı olan 3.000 TL'nin %10 u olarak belirlenmiştir. Buna göre jeneratör bakım maliyeti senelik 300 TL olarak kabul edilmiştir.

GESP sisteminin kurulum maliyetleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Fiyatlar güncel piyasa verilerine göre belirlenmiştir. Kurulum maliyeti yaklaşık olarak verilmiştir.

GESP sistemleri genellikle bakım istemeyen sistemlerdir bu nedenle çok az işletme ve bakım maliyetleri vardır. FV panellerin 25 yıl amortismanı olduğu varsayılırsa sistemin bakım maliyeti panel ve konstrüksiyon yatırım maliyetinin %4 olarak alınabilir. Buna göre yıllık bakım maliyeti 84,52 TL olarak alınmıştır. Pompa konvansiyonel sistemde de pompa elemanının bulunması sebebiyle hesaba katılmamıştır.

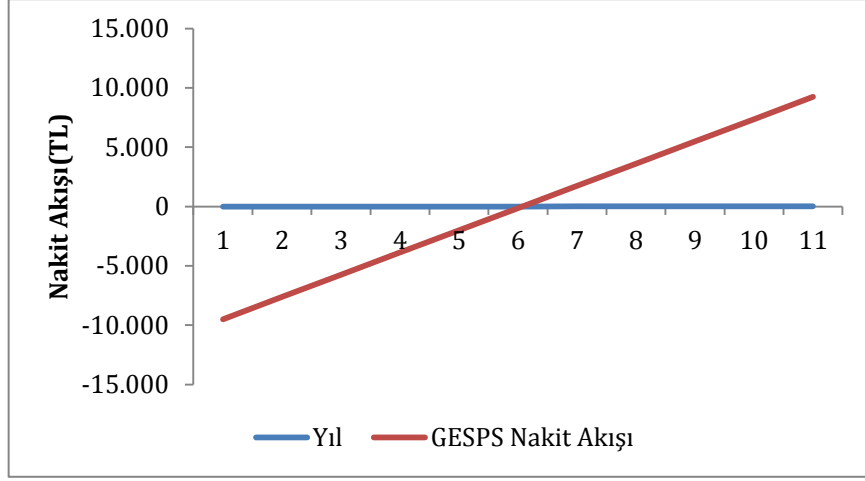
Çizelge 3.9.GESP sisteminin kurulum maliyeti

Malzeme Adı	Ürün Tipi	Miktar	Birim	Fiyat(USD)
Dalgıç Pompa	Sun Pumps 120 Watt	1		100
Jinko 270W 30 Volt FV Module j/box ile		2		230
FV Kontrüksiyon Sistemi		1		300
SunPumps PCA-30-M1 45 Volt DC Solar Pompa Kontrol Cihazı ve Su Seviye Sensörü		1		100
#10 UF Solar Kablo		100	metre	90
Bakır Topraklama Çubuğu		2,5	metre	25
PVC Boru	0,5	150	metre	70
Boru Bağlantıları	Sürgülü Vana, Tam Açık	1		20
	Çalparalı Çek Valf	1		20
	90 Derece Dirsek	8		12
	Standart T Dirsek	1		2
Depolama Tankı	PVC	5000	Litre	670

GESP sisteminin kurulmasıyla oluşan maliyetler Çizelge3.9’da, konvansiyonel sistemin devam ettirilmesi sonucunda oluşan karşılaştırma tablosu Çizelge3.10’da verilmiştir. Şekil 3.11’de de GESP sisteminin surulumu nakit akışı gösterilmiştir. Bu verilere göre GESP sisteminin kurulması halinde ilk 5 yıl içerisinde kurulum maliyetinin karşılandığı görülmektedir. 6. yıldan itibaren önemli ölçüde tasarruf elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 3.10.GESP sistemi ve konvansiyonel sistemin kazanç karşılaştırması

Yıl	Kazanç Miktarı(TL)	
	GESP	Dizel Jeneratör
0	-9.501	9.501
1	-7.627	7.543
2	-5.753	5.585
3	-3.878	3.627
4	-2.004	1.669
5	-130	-289
<b>6</b>	<b>1.744</b>	<b>-2.247</b>
7	3.619	-4.205
8	5.493	-6.163



Şekil 3.11.GESP Sisteminin Kurulumu Nakit Akışı

#### **4. TÜRKİYE'DE ÇEŞİTLİ BÖLGELERDE YETİŞEN ÜRÜNLERİN SU İHTİYAÇLARINA GÖRE EXCEL YAZILIMI İLE GESP SİSTEMİ TASARLANMASI**

Türkiye’de yapılan tarım uygulamalarında sulama büyük önem taşımaktadır. Ekilen birçok ürün sulama olmaksızın neredeyse tüm bölgelerde verimli olarak yetiştirilememektedir. Sulama uygulamaları genellikle tarım arazisinin yakınlarındaki göl, nehir vb. su kaynaklarından veya yer altı sondajlarından elde edilen suyun pompalanmasıyla yapılmaktadır. Pompalama için gereken enerji kırsal alanlarda elektrik erişiminin sınırlı olması sebebiyle dizel yakıtların kullanılmasıyla çalıştırılan jeneratörlerden elde edilmektedir. Dizel yakıt fiyatlarının neredeyse Dünyanın en yüksek fiyatları olduğu ülkemizde dizel jeneratörle yapılan sulamalar çiftçiye büyük maliyet oluşturmaktadır. Güneş enerjisi ile su pompalama sistemleri dizel jeneratörler yerine kullanılabilir bakım gerektirmeyen operasyon maliyetleri neredeyse olmayan sistemlerdir.

Üçüncü bölümden elde edilen sonuçlarda görüldüğü gibi GESP Sistemleri dizel jeneratöre göre çok daha ekonomik bir çözümdür. GESP sistemlerini yaygınlaştırmak ve tanıtmak amacıyla sistem tasarım metodunu çiftçilerin kullanabileceği hale getirmek ve ürettiği ürüne göre ihtiyacı olan su miktarını belirleyebileceği bir program yapılması bu bölümde amaçlanmıştır. Bu bölümde yapılan uygulama temel ve 500 m<sup>2</sup> alana kadar olan araziler için bilgilendirme ve farkındalık yaratmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yazılan Excel programı sayesinde bilgisayarı olan tüm çiftçiler rahatlıkla bu programı kullanarak yetiştirmek istediği ürüne ve yetiştirdiği bölgeye göre GESP sistemleri konusunda bilgi edinebilecektir.

Bu bölümde ilgili programın kullanımıyla ilgili bilgiler verilerek çiftçilerin bilinçlendirilmesi ve GESP sistemlerinin uygulanmasının ülke genelinde yaygınlaşmasına katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Programda tasarlanacak sistem adım adım gerekli bilgiler girilerek kolaylıkla tasarlanabilmekte ve sonuçlar sunulmaktadır. Ürünlerin yetiştirildiği bölgeye göre su ihtiyaçlarının belirlenmesinde Tarım ve Su İşleri Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu “Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketim Rehberi” belirtilen bitkilerin tükettiği su miktarları çizelgeleri referans alınmıştır[27].

#### 4.1. Programın Kullanımı

Excel programında belirtilen sırada ilerlenerek ihtiyaç duyulan sistem tasarımı ve sonuçlar kullanıcıya sunulmaktadır. Program adımları ve hesaplama metotlarıyla ilgili bilgiler aşağıda verilmektedir.

##### 4.1.1. Ürün ve Bölge Seçimi

Ürün ve bölge seçimi ekranında, 7 bölge için Tarım Bakanlığı'nın yayımlamış olduğu "Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketim Rehberi" isimli yayımda yer alan çizelgeler bulunmaktadır. İlgili çizelgelerde bitkilerin su tüketimi mm cinsinden yer almaktadır. Örneğin Akdeniz bölgesi için Adana ilinde ilgili bitkilerin su tüketimini ölçen noktadaki su tüketimleri verilmiştir. Tüketilen su miktarları her bir ay 3 ayrı periyoda bölünerek verilmiştir. Örneğin Temmuz ayı için Akdeniz Bölgesinde domates bitkisinin su tüketimi 1-10 Temmuz arasında 65,6 mm 11-20 Temmuz arasında 65,5 mm , 21-31 Temmuz arasında 62,3 mm'dir.

Programa günlük su ihtiyacının girilmesi gerektiğinden güvenli bir yaklaşımla ilgili aylardaki en yüksek su tüketiminin olduğu periyot baz alınmış ve günlük su ihtiyacı;

$$\text{Maksimum Günlük Su İhtiyacı} \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{\left( \text{İlgili Periyottaki Maks. Su Tüketimi} \left( \frac{m^3}{s} \right) \times 3 \right)}{30} \quad (1)$$

denklemleri ile bulunmuştur. Buna göre domates bitkisi için maksimum günlük su ihtiyacı 6.6 mm/gün olarak hesaplanmıştır.

Kullanıcı, ürününe göre maksimum su ihtiyacına bu şekilde erişebilmektedir. Maksimum günlük su ihtiyacı belirlendikten sonra ürünün ekileceği alana göre hesaplanan günlük toplam su ihtiyacının belirlendiği "**Su İhtiyacı**" sekmesine geçilir.

##### 4.1.2. Günlük Toplam Su İhtiyacının Belirlenmesi

Şekil 4.1'de ekran görüntüsü verilen bu bölümde ve diğer tüm bölümlerde kullanıcı yalnızca yeşil renkli kısımlardaki bilgileri programa girecektir. Su ihtiyacının belirlenmesi için sulanacak arazinin alanı girilmelidir. Programda 500 m<sup>2</sup> alana kadar giriş yapılabilir.

Alan miktarının girilmesi sonrasında kullanıcı bir önceki sekmede belirlenen ürün için maksimum su ihtiyacını (mm/gün) olarak girer. Günlük su ihtiyacı:

$$\text{Günlük Su İht} \left( \frac{m^3}{gün} \right) = \frac{\text{Alan Miktarı} (m^2)}{1000} \times \text{Ürün İçin Maksimum Su İhtiyacı} \left( \frac{mm}{gün} \right) \quad (2)$$

denklemler ile hesaplanarak **günlük su ihtiyacı** belirlenmiş olur. Buna göre domates bitkisinin 500 m<sup>2</sup> alanda Akdeniz Bölgesi'nde ekilmesi durumunda günlük su ihtiyacı 3,30 m<sup>3</sup>/gün olarak hesaplanmıştır.

<b>Günlük Su İhtiyacının Belirlenmesi ve Depolama</b>															
<b>Adım 1:</b> Lütfen bir önceki sayfada yer alan tablodan ürün ve bölgenize ait bilgileri giriniz. Eğer başka bir su ihtiyacı varsa lütfen "Diğer Su İhtiyacı" bölümüne giriniz.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tarımsal Sulama İçin Su İhtiyacı</th> <th>Değer</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tarımsal Alan Miktarı(m<sup>2</sup>)</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Seçilen Ürün</td> <td>Domates</td> </tr> <tr> <td>Ürün İçin Maksimum Su İhtiyacı(mm/gün)</td> <td>6,6</td> </tr> <tr> <td><b>Ürün İçin Maksimum Günlük Su Tüketimi(m<sup>3</sup>/gün)</b></td> <td><b>3,30</b></td> </tr> <tr> <td><b>Diğer Su İhtiyacı</b></td> <td><b>0 m<sup>3</sup>/gün</b></td> </tr> <tr> <td><b>Günlük Su İhtiyacı</b></td> <td><b>3,30 m<sup>3</sup>/gün</b></td> </tr> </tbody> </table>	Tarımsal Sulama İçin Su İhtiyacı	Değer	Tarımsal Alan Miktarı(m <sup>2</sup> )	500	Seçilen Ürün	Domates	Ürün İçin Maksimum Su İhtiyacı(mm/gün)	6,6	<b>Ürün İçin Maksimum Günlük Su Tüketimi(m<sup>3</sup>/gün)</b>	<b>3,30</b>	<b>Diğer Su İhtiyacı</b>	<b>0 m<sup>3</sup>/gün</b>	<b>Günlük Su İhtiyacı</b>	<b>3,30 m<sup>3</sup>/gün</b>
Tarımsal Sulama İçin Su İhtiyacı	Değer														
Tarımsal Alan Miktarı(m <sup>2</sup> )	500														
Seçilen Ürün	Domates														
Ürün İçin Maksimum Su İhtiyacı(mm/gün)	6,6														
<b>Ürün İçin Maksimum Günlük Su Tüketimi(m<sup>3</sup>/gün)</b>	<b>3,30</b>														
<b>Diğer Su İhtiyacı</b>	<b>0 m<sup>3</sup>/gün</b>														
<b>Günlük Su İhtiyacı</b>	<b>3,30 m<sup>3</sup>/gün</b>														
<b>NOT:</b> Yalnızca yeşil kısımlara giriş yapınız. Turuncu kısımlar girilen sayılara göre hesaplanan günlük su ihtiyacını göstermektedir. Sarı renkle vurgulanan kısımlar ise günlük toplam su ihtiyacını göstermektedir.															
<b>Adım 2:</b> Solar sulama sistemlerinde düşük ışınım değerleri için depolama tankı uygulaması yapılmaktadır. Lütfen kaç günlük su ihtiyacını depolamak istediğinizi															
<b>Step 3:</b> Günlük toplam su ihtiyacını belirledikten sonra, lütfen diğer sayfaya geçiniz.															
	<b>3300 L/Gün</b>														
	872 GPD														
Depolanacak Gün Sayısı	2 Gün														
<b>Depolama Tankı Boyutu(Önerilen)</b>	<b>6,6 m<sup>3</sup></b>														

Şekil 4.1. Günlük su ihtiyacının belirlenmesi

#### 4.1.3. Güneş Işınım Miktarının Belirlenmesi

Bölüm 4.1.2'den elde edilen sonuca göre GESP sistemi 3,30 m<sup>3</sup>/gün suyu sağlayacak şekilde tasarlanacaktır. Ancak sulama yapılan günlerde ışınlanma miktarının az olması durumunda istenilen miktarı sağlamak için 2 günlük su depolamasını sağlayacak bir depolama tankı bulundurulması tavsiye edilmektedir. Kullanıcı dilerse bu miktarı kendisi gün sayısını girerek arttırabilir. Sonrasında programın diğer adımı olan Güneş Işınım Değeri sekmesine geçilir.

Güneş Işınım Değeri sekmesinde kullanıcı bulunduğu bölgeyi ve sulama sezonunu seçecektir. Program iki seçime göre ışınım miktarını hesaplamaktadır. Güneş ışınım değerleri PVGIS meteoroloji bilgi altyapısından alınan verilere göre hesaplanmıştır. PVGIS Avrupa komisyonu tarafından yayınlanan web üzerinden erişilebilen ücretsiz bilgi erişim programıdır. PVGIS üzerinden saha koordinatları girilerek bölgeye gelen aylık ışınım miktarları elde edilebilmektedir.

Buna göre Akdeniz Bölgesi için optimum açıda kurulacak bir FV sistem için sonuçlar Çizelge 4.1'de verilmiştir. Akdeniz Bölgesi ve diğer bölgeler için bitki su ihtiyaçlarının ölçüldüğü ve "Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketim Rehberi" yer alan koordinatlar(Örn. Akdeniz Bölgesi Enlem: 37,0041,Boylam: 35,3443) PVGIS programına girilerek aylık bazda ışınım verileri alınmıştır ve bu veriler **Çizelge 4.1-**



Çizelge 4.7’de verilmiştir. Işınım verileri 2010 yılından itibaren 7 yıllık olarak alınmıştır[28,29].

**Çizelge 4.1.**Optimum açıda Akdeniz Bölgesi İçin Işınım Miktarları (kWh/m<sup>2</sup>/Ay)

Ay	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ocak	82.5	116	96.3	106	125	115	108
Şubat	94	137	136	124	159	110	147
Mart	152	181	190	166	182	177	185
Nisan	193	155	185	185	195	186	205
Mayıs	207	204	188	208	206	213	199
Haziran	210	205	224	214	211	213	219
Temmuz	221	225	228	231	225	234	232
Ağustos	228	235	234	234	227	229	231
Eylül	213	214	219	208	201	205	213
Ekim	162	191	157	204	179	177	197
Kasım	158	137	141	141	140	154	155
Aralık	108	120	95.7	127	103	124	94.9

**Çizelge 4.2.**Optimum açıda Marmara Bölgesi İçin Işınım Miktarları (kWh/m<sup>2</sup>/Ay)

Ay	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ocak	55.8	85.7	81.1	71.2	66.8	80.6	80
Şubat	73.6	97.3	106	75.4	79.8	83.7	91.6
Mart	129	130	158	135	142	118	133
Nisan	183	128	181	173	157	166	187
Mayıs	209	187	190	214	174	209	180
Haziran	172	197	228	197	181	183	201
Temmuz	205	228	234	228	203	238	224
Ağustos	224	227	225	227	210	218	210
Eylül	173	198	192	183	151	161	173
Ekim	102	114	147	149	120	113	125
Kasım	112	87.6	102	86.5	68	98.9	84.5
Aralık	61.5	80.9	70.6	67.2	58.8	88.8	84.6

Çizelge 4.3.Optimum açıda Orta Karadeniz Bölgesi İçin Işınım Miktarları (kWh/m<sup>2</sup>/Ay)

Ay	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ocak	58.3	70.8	65.5	77.3	88.5	77.6	61.5
Şubat	78.8	83.3	95.8	97.3	114	75	107
Mart	134	119	116	130	134	115	137
Nisan	170	120	183	159	170	142	177
Mayıs	206	156	170	198	151	180	164
Haziran	172	175	203	194	175	141	196
Temmuz	180	193	198	188	204	195	187
Ağustos	222	176	185	193	194	190	173
Eylül	154	171	177	155	156	177	162
Ekim	98.6	111	144	149	107	95.1	124
Kasım	125	77.2	76.9	106	86.4	106	122
Aralık	73.1	77.7	54.7	79	72.4	74.4	45.6

Çizelge 4.4.Optimum açıda İç Anadolu Bölgesi İçin Işınım Miktarları (kWh/m<sup>2</sup>/Ay)

Ay	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ocak	68	84	69.4	72.5	106	84.2	62.2
Şubat	80	103	101	114	136	86.4	119
Mart	146	142	135	144	156	120	154
Nisan	170	140	182	171	187	162	195
Mayıs	208	177	180	197	180	193	176
Haziran	191	196	227	212	200	181	207
Temmuz	234	232	235	232	235	234	234
Ağustos	231	233	232	240	230	223	231
Eylül	207	205	221	197	176	207	198
Ekim	129	159	153	172	148	138	177
Kasım	143	109	107	115	101	132	136
Aralık	91.9	89	82.9	84.7	85.2	92.4	56.9

Çizelge 4.5.Optimum açıda Doğu Anadolu Bölgesi İçin Işınım Miktarları (kWh/m<sup>2</sup>/Ay)

Ay	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ocak	50.5	93.7	55.5	58.5	69.7	78.6	48.7
Şubat	67.7	84.1	98.5	70.4	116	77.8	90.6
Mart	136	150	150	132	152	139	155
Nisan	142	132	174	173	162	155	182
Mayıs	177	164	175	181	155	173	173
Haziran	189	206	209	201	202	198	185
Temmuz	214	218	211	218	218	227	219
Ağustos	217	232	215	221	212	211	211
Eylül	197	195	210	192	171	203	184
Ekim	131	149	149	165	150	129	162
Kasım	153	86.4	126	114	119	125	141
Aralık	90.6	69.7	53.9	84.4	67.8	100	64.9

Çizelge 4.6.Optimum açıda Güney Doğu Anadolu Bölgesi İçin Işınım Miktarları (kWh/m<sup>2</sup>/Ay)

Ay	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ocak	75.9	110	76.9	104	120	110	91.1
Şubat	85	116	132	111	160	96	132
Mart	147	180	174	175	175	153	181
Nisan	183	149	203	192	195	181	213
Mayıs	221	202	197	203	213	212	204
Haziran	224	223	229	231	223	226	220
Temmuz	239	239	239	242	240	242	240
Ağustos	233	239	237	241	233	231	233
Eylül	208	209	223	214	208	213	212
Ekim	155	181	159	190	168	157	194
Kasım	164	125	128	121	143	149	149
Aralık	107	124	92.3	112	84.4	126	92.7

Çizelge 4.7.Optimum açıda Ege Bölgesi İçin Işınım Miktarları (kWh/m<sup>2</sup>/Ay)

Ay	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ocak	93.7	120	121	98.6	107	108	107
Şubat	93.4	133	111	106	134	109	131
Mart	169	163	186	163	160	144	167
Nisan	200	173	190	193	186	198	212
Mayıs	223	201	200	213	205	220	202
Haziran	201	221	231	224	201	199	224
Temmuz	238	242	240	240	237	240	241
Ağustos	238	241	242	236	232	234	235
Eylül	209	214	216	219	192	197	209
Ekim	149	181	176	189	167	167	177
Kasım	120	165	133	122	124	142	132
Aralık	85.5	110	104	111	100	138	119

Programda yer alan sezon seçimi bitki sulamasının yapıldığı aylara göre girilmelidir. Yaz sezonu olarak Nisan-Eylül dönemi kış sezonu olarak Ekim-Mart dönemi, yıllık ortalama olarak da bitkinin hem yaz hem de kış döneminde sulanması durumunda seçim yapılmalıdır. Program PVGIS web sitesinden alınan aylık ışınım miktarlarını yaz, kış ve yıllık ortalama olarak günlük bazda hesaplamaktadır, **Şekil4.2**.

Buna göre örneğin Ege Bölgesi için yaz döneminde günlük ışınım miktarı 6,179 kWh/m<sup>2</sup> , kış döneminde 3,51 kWh/m<sup>2</sup>, yıllık ortalama olarak da 4,84 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

Solar Işınım: Seçilen Bölgedeki Ortalama Işınım Değerleri	
<p><b>Adım 4:</b> Sulama yapmak istediğiniz bölgeyi giriniz. Sulama dönemini "Ürün ve Bölge Seçimi" sayfasında belirleyerek seçiniz.</p> <p><b>Adım 5:</b> Işınım Değerleri belirlendikten sonra "Dinamik Düşü Hesabı" sayfasına geçiniz.</p>	<p><b>Bölge Seçiniz</b> Ege</p> <p><b>Sezon Seçiniz</b> Yaz</p> <p><b>Güneş Işınım Değeri</b> 6,18 kWh/gün</p> <hr/> <p><b>Toplam Günlük Işınım</b> 6,18 kWh/gün</p>

Şekil 4.2.Güneş Işınım Değerlerinin Hesaplanması

İhtiyaç duyulan su miktarının ve tarım arazisine gelen güneş kaynağı miktarının(Işınım) belirlenmesi sonrasında, sisteme su temin edecek kuyunun ve su iletim sisteminin parametrelerinin girildiği "**Dinamik Düşü Hesabı**" sekmesine geçilir.

## 4.2. Dinamik Düşü Hesabının Yapılması

Şekil4.3’de ara yüzü verilen, Dinamik Düşü Hesabı sekmesinde kullanıcının yeşil renkli kısımları girmesi gerekmektedir. Kullanılan parametrelerle ilgili açıklamalar üçüncü bölümdeki gibi aşağıda açıklanmıştır.

**Toplam Dinamik Düşü:** Kaynaktan pompa yardımıyla çekilecek suyun yüksekliğiyle suyun iletimi sırasında oluşan sürtünme kayıplarının toplamıdır.

**Su Seviyesi:** Kaynaktaki suyun yer yüzeyinden itibaren derinliğidir.

**Pompa Seviyesi:** Pompanın su seviyesinden itibaren yerleştirildiği derinliktir.

**Tank Yüksekliği:** Depolama tankının yerden yüksekliğidir.

**Yatay Boru Mesafesi:** Kaynaktan depolama tankına çekilecek yatay boru uzunluğudur.

**Toplam Dikey Yükseklik(Statik Düşü):** Su seviyesinden depolama tankına kadar olan yüksekliktir. Yükseklik ve Su Seviyesinin toplanmasıyla bulunur.

**Toplam Boru Uzunluğu:** Sistemde kullanılan yatay ve dikey toplam boru uzunluğudur. Statik düşü yatay boru mesafesi ve pompa seviyesinin toplanmasıyla bulunur.

Kullanıcı yukarıdaki tanımlara göre girişleri yaptıktan sonra suyun taşınacağı boru kalınlığını ve boru tipini girer. Programda sürtünme kayıpları (f), boru kalınlığı ve tipine göre, (3a) ve (3b) formülleri vasıtasıyla hesaplamaktadır[29,30]:

$$f = \left( \frac{-1}{0,86 \ln\left(\frac{e}{3,7D}\right)} \right)^2 \quad (3a)$$

$$h_L = 8f \frac{L}{D^5} \frac{Q^2}{\pi^2 g} \quad (3b)$$

Burada,

$h_L$  : Düşü kaybı( m)

$e$  : Pürüzlülük Katsayısı(boru tipine göre boyutsuz)

$Q$  : Debi(galon/dk)

$D$  : Boru Çapı(m)

g: Yer Çekimi İvmesi(m<sup>2</sup>/s)

L; Toplam Boru Uzunluğu(m)

Su Seviyesi	30 m	98 ft	Boru Çapı(inç)	Max. lt/dk
Pompa Seviyesi (Su Seviyesinden)	1 m	3 ft		
Yükseklik	2 m	7 ft		
Yatay Boru Mesafesi	12 m	39 ft		
Toplam Dikey Yükseklik(Statik)	32 m	105 ft		
Toplam Boru Uzunluğu	45 m	148 ft		
Boru çapı(inç)		1 in	0,000001524	<b>Boru Secimi</b> PVC ÇELİK DEMİR
Boru Tipi		PVC		
Boru Kaynaklı Sürtünme Kayıpları	0,036 m	0,118 ft		

Şekil 4.3.Dinamik düşü düşü ve boru kaynaklı sürtünmelerin hesaplanması

Kullanıcı tarla koşullarına göre tasarlamak istediği sisteme göre kaç adet vana, dirsek, manşon kullanmak istiyorsa ilgili adetleri Şekil4.4.'de gösterilen malzeme sekmesindeki koyu yeşil alanlara girer. Yazılımda kullanıcının mantıksız bir seçim yapması durumunda yazılım hata vermektedir.

Malzeme	Miktar	Düşü Kaybı(m)
Konik Vana Tam Açık	0	0,000
Sürgülü Vana, Tam Açık	1	0,001
Çalparalı Çek Valf	1	0,015
90 Derece Dirsek	8	0,061
45 Derece Dirsek	0	0,000
90 Derece Kuyruklu Dirsek	0	0,000
Standart T Dirsek	1	0,005
Standart T Dirsek Bransman	0	0,000
<b>Malzemelere Bağlı Sürtünme Kaybı</b>		<b>0,08 m</b>
<b>Toplam Dinamik Düşü</b>		<b>32,1 m</b>

Şekil 4.4.Sistem elemanlarından kaynaklı sürtünme miktarlarının hesaplanması

Bağlantı elemanlarındaki kayıplar hesaplanırken bağlantı elemanın oluşturduğu kayıp bağlantı elemanının türüne göre değişmektedir. Bağlantı elemanının oluşturduğu basınç kaybı bağlantı elemanının türüne göre K sabitiyle belirlenmiştir. Kayıp katsayılarıyla ilgili örnek Çizelge 4.8'de verilmiştir[29].

Çizelge 4.8.Bağlantı elemanlarına göre kayıp katsayıları

Boru Malzemesi	K (Kayıp Katsayısı)
Konik Vana, Tam Açık	8.2
Sürgülü Vana, Tam Açık	0.24
Dirsek 90 Derece	1.5
Çek Valf	2.9
Standart T Bağlantı	1.8

Bağlantı parçalarının sayılarının girilmesiyle bağlantı parçalarının, boruların oluşturduğu kayıplar programda toplanarak Toplam basınç kaybı bulunur. Toplam basınç kaybı toplam statik yükseklikle toplanarak sistemdeki Toplam Dinamik Düşü bulunmuş olur.

Su Seviyesi	30 m	98 ft	Boru Çapı(inç)	Max. lt/dk
Pompa Seviyesi (Su Seviyesinden)	1 m	3 ft		
Yükseklik	2 m	7 ft	0,75	40,6
Yatay Boru Mesafesi	12 m	39 ft	1	59
Toplam Dikey Yükseklik(Statik)	32 m	105 ft	1,5	129
Toplam Boru Uzunluğu	45 m	148 ft	2	203
Boru çapı(inç)		1 in	3	517
Boru Tipi		PVC	<b>Boru Seçimi</b>	
Boru Kaynaklı Sürtünme Kayıpları	0,036 m	0,118 ft	PVC	
			ÇELİK	
			DEMİR	

Malzeme	Miktar	Düşü Kaybı(m)
Konik Vana Tam Açık	0	0,000
Sürgülü Vana, Tam Açık	1	0,001
Çalparalı Çek Valf	1	0,015
90 Derece Dirsek	8	0,061
45 Derece Dirsek	0	0,000
90 Derece Kuyruklu Dirsek	0	0,000
Standart T Dirsek	1	0,005
Standart T Dirsek Branşman	0	0,000
<b>Malzemelere Bağlı Sürtünme Kaybı</b>		<b>0,08 m</b>
<b>Toplam Dinamik Düşü</b>		<b>32,1 m</b>

Şekil 4.5.Toplam dinamik düşünün hesaplanması

Dinamik düşü sayfasında sol alt köşede bulunan Hidrolik İş Yükü ifadesi tasarlanan sistemin Güneş Enerjisine uygun olup olmadığı konusunda fikir vermektedir.

$$\text{Hidrolik İş Yükü}(m^4) = \text{Günlük Su Miktarı} \left( \frac{m^3}{\text{gün}} \right) \times \text{TDH} (m) \quad (4)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanmaktadır Hidrolik iş yükü değerinin 1500 m<sup>4</sup> altında olması durumunda GESP uygulamalarının uygun olduğu söylenebilir. Bu değer üzerinde hidrolik yüklerde GESP sistemleri uygun seçenek olamamaktadır[31].

### 4.3. Pompa Seçimi

Sistemde kullanılacak pompayı seçebilmek için pompanın basacağı dinamik düşünün ve pompanın birim zamanda ileteceği su miktarının yani debisinin bilinmesi gerekir. Programda önceki bölümlerde bu iki değerden toplam dinamik düşü hesaplanmıştır.

Birim zamanda pompanın basması gereken su miktarı (debi)

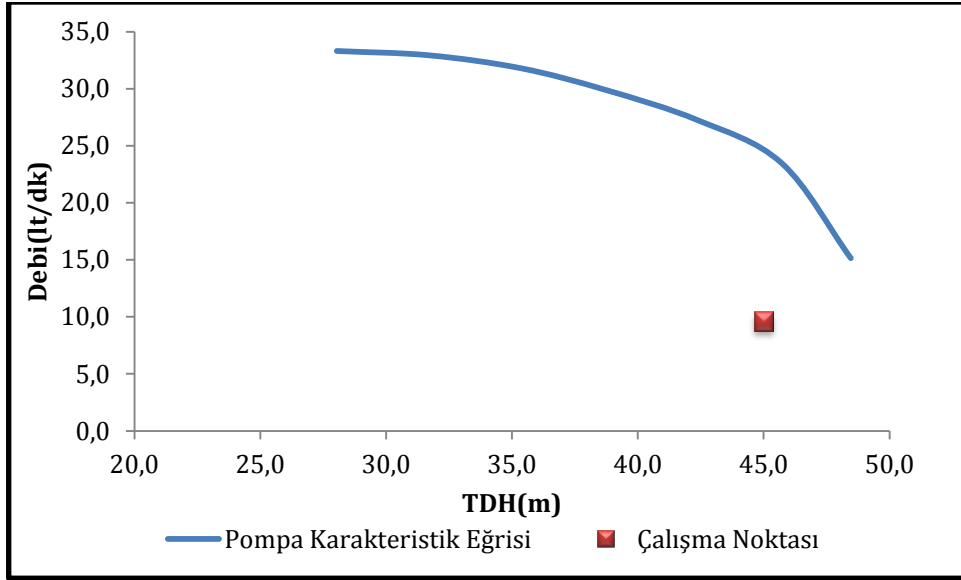
$$Q \left( \frac{m^3}{dk} \right) = \frac{\text{Günlük Su İhtiyacı}(m^3)}{\text{Günlük İşinim Miktarı}(kWh) \times 60} \quad (5)$$

formülü ile program tarafından hesaplanmaktadır[17]. Program tarafından Debi ve TDH'ın hesaplanması sonrasında bu parametrelere uygun pompa seçimi yapmak için pompa grafiklerinin kullanılması gerekir. Programda çeşitli debi ve Toplam Dinamik Düşüde(TDH) çalışabilen altı ayrı pompa türü verilmiştir. Kullanıcı TDH ve Q değerlerini kullanarak pompa grafiklerinden uygun pompayı seçmelidir. Debi ve dinamik düşü değerinin kesiştiği nokta pompa çalışma noktasıdır. Kullanıcı Sonrasında aynı sayfada verilen pompa karakteristik tablosundan FV modül pik gücü ve motor gerilimini belirlemelidir. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, aynı anda TDH değerinin yeşil ve Q değerinin turuncu olduğu seçimler uygun seçimler olarak program tarafından otomatik olarak kullanıcıyı yönlendirmektedir. Birden fazla uygun seçimin olması durumunda teorik hesaplanan güç değerinden büyük ve yakın olan seçimin yapılması maliyet açısından uygun olacaktır. Pompanın belirlenmesiyle pompa karakteristik tablosunda yer alan panel gücü ve pompa voltajı seçilerek yeşil bölümlere kullanıcı tarafından girilmelidir. Şekil 4.7'de sistemin çalışma noktasıyla seçilen pompa arasındaki ilişki verilmektedir. Buna göre çalışma noktası pompanın çalışma alanı içerisinde kalmaktadır.



SCS 10-165-60				
BL	Motor	Toplan Dinamik Düşü	Debi (lt/dk)	Pik Panel Gücü
Gerilimi (V)		(m)		(W)
30		0	36	183
		4	33	187
		7	30	190
		11	26	192
		14	22	191
		18	17	182
		21	9	153
45		25	0	123
		28	33	496
		32	33	489
		35	32	471
		39	30	444
		42	27	403
		46	23	348
		48	15	299

Şekil 4.6. Programda pompa seçiminin yapılması



Şekil 4.7. Pompa seçiminin grafiksel gösterimi

Pompa seçiminin sağlamanın yapılması için teorik olarak pompa gücünün ve pompaya bağlanacak FV modül gücünün teorik hesabının yapılması gerekir. Program aynı sayfada ilgili hesaplamayı otomatik olarak yapmakta ve kullanıcının tercihi ilgili hesaplarla kontrol etmesini sağlamaktadır. Teorik hesaplamalar

$$Pompa\ Teorik\ Gücü\ (Watt) = \frac{(0,1885 \times TDH \times Q)}{\eta_{pompa}} \quad (6)$$

$$FV\ Teorik\ Gücü\ (Watt) = \frac{Pompa\ Teorik\ Gücü\ (Watt)}{\eta_{FV}} \quad (7)$$

formülleri vasıtasıyla yapılmaktadır[31,32]. Bu formüllerde pompa verimi ( $\eta_{pompa}$ ) genellikle %35, FV sistem verimi ( $\eta_{FV}$ ) genellikle %85 alınmaktadır[30,31].

#### 4.4. FV Sistem Seçimi

Pompa seçiminin yapılması ve pompa gücünün belirlenmesi sonrasında FV sistemin seçimine geçilir. Şekil 4.8’de ara yüzü verilen bu bölümde kullanıcının girmesi gereken bir veri yoktur. Seçilen pompa ve FV sistem gücüne göre program tasarlanan sistemde kullanılacak FV modül adedini ve panel bağlantısının nasıl olması gerektiğini vermektedir. Modüllerin seri bağlanması gerekli olan gerilime ulaşmayı sağlar. Paralel bağlanması ise akım değerini artırarak gerekli güce ulaşılmasını sağlar.

Sistemde kullanılacak panel piyasada kolaylıkla bulunabilen güçte seçilmiştir. Kullanılacak panelin gücü 270 Watt olarak programda verilmiştir. Buna göre, V; FV modül nominal gerilimi, I; FV modül nominal akımı olmak üzere, seri ve paralel olarak bağlanacak panel sayısı:

$$\text{Seri Bağlanacak FV modül Sayısı} = \frac{(\text{Pompa Motor Voltajı})}{V_{\text{modül}}} \quad (8)$$

$$\text{Paralel FV modül Sayısı} = \frac{\text{Pompa Gücü}(W)}{\text{Seri Panel Sayısı} * V \times I \times \eta_{FV}} \quad (9)$$

formülleri ile belirlenmiştir. Kullanıcı dilerse farklı panel seçerek panel gücünü ve parametrelerini değiştirebilir seçtiği panele göre sistem tasarımı yapılabilir[31,32,33]. Çalışmada kullanılan FV modüllerin özellikleri Şekil 4.9’da verilmiştir.

PV Sistem Boyutlandırması		
<p><b>Adım 10: Gerekli su miktarına göre dize boyutlandırması yapılmaktadır. Bu sayfaya herhangi bir bilgi girilmesi gerekmemektedir. Diğer sayfaya giderek sistemin dizaynı için gerekli malzeme listesini ve maliyet analizini görebilirsiniz.</b></p> <p><b>Note: Modüllerin seri bağlanması gerekli olan gerilime ulaşmayı sağlar. Paralel bağlanması ise akım değerini artırarak gerekli güce ulaşılmasını sağlar.</b></p>	Pik Panel Gücü	348 W
	Motor Gerilimi	45 V
	Seri Bağlanacak Modül	2
	Paralel Bağlanacak Dize	1
	Toplam Panel Sayısı	2

PV Panel Seçimi			
Marka	Güç	V <sub>mp</sub>	Imp
Jinko	270	31,7	8,52

Şekil 4.8.FV panel seçimi

## SPECIFICATIONS

Module Type	JKM255P		JKM260P		JKM265P		JKM270P	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	255Wp	189 Wp	260Wp	193Wp	265Wp	197Wp	270Wp	200Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.8V	28.5V	31.1V	28.7V	31.4V	29.0V	31.7V	29.4V
Maximum Power Current (Imp)	8.28A	6.63A	8.37A	6.71A	8.44A	6.78A	8.52A	6.80A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.0V	35.2V	38.1V	35.2V	38.6V	35.3V	38.8V	35.4V
Short-circuit Current (Isc)	8.92A	7.26A	8.98A	7.31A	9.03A	7.36A	9.09A	7.38A
Module Efficiency STC (%)	15.57%		15.88%		16.19%		16.50%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C							
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)							
Maximum series fuse rating	15A							
Power tolerance	0~+3%							
Temperature coefficients of Pmax	-0.41%/°C							
Temperature coefficients of Voc	-0.31%/°C							
Temperature coefficients of Isc	0.06%/°C							
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C							

Şekil 4.9. Seçilen FV modülün özellikleri

FV sistemin ortaya çıkmasıyla sistem bileşenleri tamamlanmış olur. Sistem bileşenlerinin yer aldığı Malzeme listesini otomatik olarak program vermektedir.

### 4.5. Sonuç Çıktısı

Tasarlanan bir sistemin iyi sonuçlar verebilmesi için kullanıcının ihtiyaçlarını karşılayabilmesi ve ekonomik olması en önemli kriterlerdir. Tasarlanan sistemde kullanıcı sulama için belli miktarda suya ihtiyaç duymakta ve tasarlanan sistemden su miktarının tamamını depolama tankına iletebiliyor olmasını beklemektedir. Tasarlanan sistemde tanka basılabilecek su miktarı.

Güneşli Bir Günde Pompalanan Su Miktarı(Litre/Gün);

$$\frac{FV \text{ Modül Sayısı} \times V \times I \times \text{Işınım Miktarı} \left( \frac{kWh}{m^2} \right) \times 60dk / sa \times \eta_{pompa} \times \eta_{FV}}{0,1885 \times TDH} \quad (10)$$

eşitliği ile programda **Sonuçlar** sekmesinde verilmektedir. Tanka verilebilecek su miktarı havanın açık olduğu bir gün için hesaplanmıştır. Bu nedenle yaklaşık olarak belirtilmiştir.

Sonuç olarak kullanıcı programda belirlediği su ihtiyacını tasarladığı sistemden alıp almadığını sonuç sayfasındaki yukarıdaki hesap vasıtasıyla görebilmektedir. İhtiyaç duyulan su miktarının üzerinde alınan sonuçlar uygun sonuçlardır. Sonuçlar açık bir

günde hesaplanan su miktarını verdiğiinden depolama tankı kullanılması uygun olacaktır.

#### 4.6. Yapılan Tasarıma Göre Ekipman ve Malzeme Listesinin Belirlenmesi

Bu bölümde kullanıcıya bilgi amaçlı olarak dizayn edilen sisteme ait ekipman ve malzemeler, Çizelge 4.9'da verilen şekli ile listelenmektedir. Buna göre seçilen FV modül, pompa, kontrol cihazı, solar kablo vb. ana sistem bileşenlerinin adetleri otomatik olarak verilmektedir. Bu sayede kullanıcı tasarladığı sistemin maliyeti konusunda fikir elde edebilmektedir.

**Çizelge 4.9.**Yapılan örnek tasarıma göre oluşan malzeme/ekipman listesi(Tank Hariç)

Malzeme Adı	Ürün Tipi	Miktar	Birim	Fiyat
Dalgıç Pompa	SCS 10-165-60 BL	1		100
Jinko 270W 30 Volt Solar Module j/box ile		2		200
PV Kontrüksiyon Sistemi		1		300
DC Solar Pompa Kontrol Cihazı ve Su Seviye Sensörü		1		100
DC Solar Kablo		56	metre	56
Bakır Topraklama Çubuğu		8	metre	25
PVC Boru	0,5	55	metre	28
Boru Bağlantıları	Konik Vana Tam Açık	0		0
	Sürgülü Vana, Tam Açık	1		20
	Çalparalı Çek Valf	1		20
	90 Derece Dirsek	8		12
	45 Derece Dirsek	0		0
	90 Derece Kuyruklu Dirsek	0		0
	Standart T Dirsek	1		2
	Standart T Dirsek Branşman	0		0
<b>Toplam Sistem Maliyeti</b>				<b>\$863</b>

#### 4.7. GESP Sistemi ve Konvansiyonel Sistemin Karşılaştırılması

Dizel jeneratörün kurulu gücü GESP sistem kurulu gücünü karşılayabilecek ve piyasan temin edilebilecek şekilde 1 kVA olarak seçilmiştir. Jeneratörün harcayacağı enerjinin tespiti için GESP sisteminin ürettiği enerji baz alınmıştır. GESP sisteminin yıllık üretim miktarı bölüm dördte yapılan PVSYST simülasyonu sonucunda 102,30 kWh olarak

belirlenmiştir. Jeneratör aynı miktarda suyun pompalanması için harcayacağı enerji 102,30 kWsaat olarak alınabilir. 102,3 kWsaat enerji üretilmesi için jeneratörün yıllık yaklaşık 102,3 saat tam güçte çalışacağı varsayılabilir. Çizelge 5.7'ye göre 530 Watt kurulu gücündeki GESP sistem kurulumu için toplam maliyet 863 USD olarak hesaplanmıştır. GESP sistemi yerine konvansiyonel sistem kurulsaydı oluşacak maliyet ve GESP sistemi ile karşılaştırılması aşağıdaki tabloda verilmiştir. Jeneratör yakıt tüketimi kullanım kılavuzundan saatte 0,67 L olarak belirlenmiştir. Buna göre 2019 yılı benzin fiyatları ve döviz kuruna göre hazırlanmış maliyetler Çizelge 4.10'da verilmiştir [32].

**Çizelge 4.10.**GESP Sisteminin ve Konvansiyonel Sistemin Karşılaştırılması(TL)

	<b>Dizel Jeneratör</b>	<b>GESP Sistemi</b>
İlk Yatırım Maliyeti(TL)	1.500	4.663
Yıllık İşletme Maliyeti(TL)	451	0
7. yıl Sonunda Toplam Maliyet(TL)	4.657	4.663

Çizelge 4.10'da görüldüğü üzere yakıt fiyatlarının sabit kalması halinde dahi GESP sistemi kendini yaklaşık 7 yılda amorti etmektedir. GESP sisteminin maliyetine depolama tankı eklenmemiştir.

Fosil yakıtların yanması sonucu oluşan karbondioksit emisyonun engellenmesi yenilenebilir enerjinin Dünya genelinde yaygınlaşmasıyla azaltılabilir. Çizelge 4.10'da dizel yakıt kullanan konvansiyonel sistem yerine GESP sistemi kullanılması durumunda azaltılacak karbon emisyonu miktarı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır[34].

$$CO_2Miktarı\left(\frac{kgCO_2}{Yıl}\right) = e\left(\frac{kgCO_2}{TJ}\right) \times Yakıt\ Tüketimi\left(\frac{lt}{Yıl}\right) \times Isıl\ Değer\left(\frac{TJ}{lt}\right) \quad (9)$$

$e$  : Dizel Yakıtı Emisyon Faktörü:  $74.100 \frac{kgCO_2}{TJ}$  (IPCC tarafından açıklanmaktadır)

Toplam dizel yakıt tüketimi 274,95 lt/yıl olarak gerçekleşmiştir.

Dizel yakıt ısı değeri 10.200 kcal/kg olarak alınmıştır.

Dizel yakıtı yoğunluğu 0,83 kg/lt olarak alınmıştır.

Hesaplama sonucunda kurulacak sistem sayesinde 713,28 kg karbondioksit emisyonunun engellenebileceği belirlenmiştir.

## 5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sunulan tez çalışması kapsamında GESP sistemleri ile konvansiyonel fosil yakıtlı sulama sistemleri dört ana başlık halinde karşılaştırılmıştır. Öncelikle tarımsal sulamanın önemine vurgu yapılmış, Dünya genelindeki kırsal nüfusa bağlı olarak GESP sistemlerinin kurulum potansiyeli belirtilmiştir. Sonrasında GESP sistemleri ile ilgili bilgiler verilmiş GESP sistem elemanlarından bahsedilmiştir. İkinci bölümde GESP sistemleri ile ilgili literatürde yapılan çalışmalara değinilmiş özellikle GESP sistemleri ve konvansiyonel sistemlerin karşılaştırıldığı makalelerin bazılarının özetleri sunulmuştur. Aynı bölümde GESP sistem tasarımı önemli parametrelerden bahsedilmiş dikkat edilmesi gerekli noktalar belirtilmiştir. GESP sistem tasarımı yapılan yazılımlara değinilmiş üçüncü bölümde yapılan tasarım çalışmasında kullanılan PVSYST yazılımı tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde mevcut konvansiyonel sistemlerin yerine GESP sistemi kullanılması durumundaki avantajlar aktarılmış ve mevcutta kurulmuş olan bir sistem üzerinden GESP sistem tasarımı PVSYST yazılımı ile yapılarak sonuçlar verilmiştir.

Üçüncü bölümden edinilen sonuçlara göre örnek alınan işletmede GESP sistemi kurulması halinde ekonomik olarak 6 yıl içerisinde GESP sistemi daha avantajlı hale gelmektedir. GESP sistemlerinde kullanılan FV modüller 25 yıl boyunca kullanılabilir. Bu nedenle uzun yıllar boyunca GESP sistemleri güvenli bir şekilde kullanılabilir. Buna karşılık dizel jeneratörlerin ömürleri FV panellere göre daha az olmakla birlikte çalışmaları sırasında gürültüye sebep olurlar. Ayrıca egzoz gazları salınımı nedeniyle çevreye zarar verilir. Dizel yakıt fiyatlarının çok yüksek seviyelerde olduğu, elektrik fiyatlarının gün geçtikçe arttığı ülkemizde temiz ve güvenilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin sulamada kullanılmasının konvansiyonel sistemlere göre çok daha avantajlı olduğu sonuçlarda görülmektedir.

Dördüncü bölümde ülkemizde GESP sistemlerinin yaygınlaşması, daha kolay anlaşılması ve ekilen ürün cinsine göre sistem tasarımının yapılabilmesi amacıyla bir excel yazılımı oluşturulmuştur. Oluşturulan excel yazılımıyla üçüncü bölümde PVSYST ile yapılan tasarıma benzer bir tasarım yapılmıştır. Excel yazılımı mümkün olduğunca kullanıcıların anlayacağı dilde ve gerekli açıklamalar verilerek oluşturulmuştur. Excel yazılımından elde edilen sonuçlar üçüncü bölümdeki sonuçlara yakındır. Dördüncü bölümde yapılan excel çalışması ülkemizde yetişen ürünlerin su ihtiyaçlarına özgü

olarak oluşturulmuştur. Literatürde böyle bir çalışma bulunmamaktadır. Bu sayede çiftçiler bölgelerinde üretecekleri ürünlerin su ihtiyaçlarını program vasıtasıyla bilebilecek ,belirledikleri su ihtiyacı ve sulama alanına göre GESP sistem tasarımı yapabileceklerdir.

GESP sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri konvansiyonel sistemlere göre yüksek olsa da hemen hemen sıfır işletme maliyetine sahip olduğundan günümüzde avantajlı hale geldiği değerlendirilmektedir. Günümüzde sürekli olarak artış gösteren fosil yakıt fiyatları ve elektrik fiyatları göz önünde bulundurulduğunda GESP sistemlerinin yaygınlaşması tarım üreticisi için kaçınılmaz bir sonuç olarak değerlendirilmektedir.

Ülkemizde GESP sistemleri için belli teşvikler verilse de yeni kurulumlar henüz istenilen seviyeye erişememiştir. Özellikle ilk yatırım maliyetinin yüksek olması GESP sistem kurulumlarına engel teşkil etmektedir. Bu nedenle verilecek teşviklerde kurulum yapacak firma veya üreticilere elektrik faturası veya yakıt faturası öder gibi kolaylıklar getirecek bir finansal modelin uygulanması önerilmektedir. Bu kapsamda finans kurumları, Tarım Kredi Kooperatifleri ve Devlet Kurumları arasında ortak bir finans modeli geliştirilebilir.

GAP vb. kalkınma projeleri kapsamında devlet yatırımları kapsamına GESP sistemlerinin alınması ve GESP sistem kurulumlarının devlet öncülüğünde bazı bölgelerde yapılması GESP sistemlerinin yaygınlaşmasını sağlayabilir aynı zamanda da ülkemizin elektrik üretimine olumlu etki yapabilir. Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ilkbahar ve yaz aylarında yapılan sulama uygulamaları nedeniyle şebeke dalgalanmaları gerçekleşmekte ve sıklıkla elektrik kesintileri yaşanmaktadır. Çizelge 5.1.'de GESP sistemleri ile konvansiyonel sistemlerin avantaj ve dezavantajları özet olarak verilmiştir.

Çizelge 5.1.GESP sistemleri ve konvansiyonel sulama sistemlerinin karşılaştırılması

	<b>GESP Sistemi</b>	<b>Konvansiyonel Sistemler</b>
<b>Avantaj</b>	İşletme maliyeti çok düşük	İlk yatırım maliyeti düşük
	Gürültüsüz, dumansız sistem	24 saat erişilebilir enerji
	Çevreci , karbon emisyonu yok	
	Ana kaynak gerektirmez, yakıt nakliyesi veya şebeke beslemesi gerektirmez	
	Su tankı sayesinde depolanabilir enerji sağlar.	
<b>Dezavantaj</b>	İlk yatırım maliyeti yüksek	İşletme maliyeti çok yüksek
	FV modüllerin kurulumu için belli miktarda alan gerektirir	Çevre kirliliğine sebep olur Yüksek bakım maliyetleri doğurabilir.

Sonuç olarak, tez çalışması sayesinde literatüre GESP sistem tasarımıyla ilgili önemli katkı sağlanacaktır. Özellikle fosil yakıtlar ve FV teknolojisinin gelişmesine bağlı olarak FV ekipmanlarındaki fiyat dalgalanmaları GESP sistemlerinin güncel olarak uygulanabilir yatırımlar olup olmadığı noktasında sürekli değişkenlikler oluşturmaktadır. Bu bağlamda tez çalışması güncel olarak GESP tasarım yöntemleri ve GESP sistem ekonomisi adına literatüre katkı sağlayacaktır. Beşinci bölümde oluşturulan Excel programıyla üreticilere kolaylıkla GESP sistem tasarımı yapılmasına olanak sağlamaktadır. Tarım ürünlerinin su ihtiyacına göre GESP sistemi tasarlanması literatürde bulunmayan bir çalışma olması sebebiyle literatüre katkı sağlayacaktır.

Tez çalışmasında baz alınan kuyunun su seviyesinin pompalama sırasında azalma miktarının ( draw-down seviyesi) bilinmemesi nedeniyle akiferlerin su seviyelerinin pompalama sırasında sabit kaldığı varsayılmıştır. İleriki çalışmalarda draw-dawn seviyesi bilinen bir kuyu üzerinden daha kapsamlı bir çalışma yapılarak çalışma geliştirilebilir. Ekonomik analizlerde kabul edilen sabit yakıt fiyatları yerine bazı modeller kullanılarak ileriki yıllardaki yakıt fiyatları ve GESP sistem kurulum fiyatları tahmin edilerek daha detaylı ekonomik analiz yapılabilir. Ayrıca kredi kullanım seçeneğiyle birlikte finansman maliyetleri eklenerek ekonomik analiz yapılabilir.



## 6. KAYNAKLAR

- [1] Food and Agriculture Organisation(FAO), The State of Food and Agriculture In Brief,**2014**.
- [2] Food and Agriculture Organisation(FAO), World Food And Agriculture Statistical Pocketbook, **2018**.
- [3] Leah C. Kelley, Eric gilbertson ,On the feasibility of solar-powered irrigation, , Department of Mechanical Engineering Massachusetts Institute of Technology, **2010**.
- [4] Vimal Chand Sontake,Vilas R.Kalamkar ,Solar photovoltaic water pumping system A comprehensive review, , **2016**.
- [5] International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank World Bank Publications, Solar Pumping, The Basics **2018**.
- [6] Xuerui Gao,Jiahong Liu,Jun Zhang, Feasibility evaluation of solar photovoltaic pumping irrigation system based on analysis of dynamic variation of gro-undwater table, China Institute of Water Resources and Hydropower Rese-arch,Beijing,China, **2012**.
- [7] Ramazan Şenol, An analysis of solar energy and irrigation systems in TurkeySuleyman Demirel University,Technology Faculty, **2012**.
- [8] Robert Foste, Alma Cota ,Solar water pumping advances and comperative economics, ,New Mexico State Univer-sity,USA, **2013**.
- [9] P.E. Campana, S. Leduc, M. Kim, A. Olsson, J. Zhang, J. Liu, F. Kraxner, I. McCallum, H.L, J. Yan, Suitable and optimal locations for implementing photovoltaic water pumping systems for grassland irrigation in China, School of Environmental Science and Engineering, South University of Science and Technology of China, **2017**.
- [10] J. Reça, C. Torrente, R.Lopez-Luque, J. Martínez, Feasibility analysis of a standalone direct pumping photovoltaic system for irrigation in Mediterranean greenhouses, Department of Engineering, University of Almería, Department of Applied Physics, University of Cordoba, **2016**.
- [11] Stephanie Roblin, Solar-powered irrigation: A solution to water management in agriculture, Renewable Energy Focus, Elsevier, **2016**.
- [12] Asaad M. Armanuos, Abdelazim Negm, Abdel Hamid M.H. El Tahan, Life Cycle

Assessment of Diesel Fuel and Solar Pumps in Operation Stage for Rice Cultivation in Tanta, Nile Delta, Egypt, Science Technology and Maritime Transport, (AASTMT) Cairo, Egypt, **2016**.

[13] P.E. H.Li, J. Zhang, R. Zhang, J. Liu, J.Yan, Economic optimization of photovoltaic water pumping systems for irrigation, Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing, China, **2015**.

[14] [www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/12/20171207-7.htm](http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/12/20171207-7.htm) **Erişim Tarihi 30 Ağustos 2019**.

[15] Prof Dr. Bülent Yeşilata, Yrd. Doç. Dr Mehmet A. Aktacir, Harran Üniversitesi Kampüs İçi Fotovoltaik Sistem Uygulamaları, **2011**.

[16] <https://www.gapgreen.org/gunes-pilli-sulama-kanali-pilot-projesi/> GAP Bölgesi'nde Yenilenebilir Enerji (YE) Kullanımı ve Enerji Verimliliği'nin (EV) Arttırılması Projesi, **Erişim Tarihi 30.08.2019**.

[17] Grundfos, Irrigation Pump Handbook, **2019**.

[18] [www.lorentz.de/products-and-technology/products/sps2-solar-pumping-systems](http://www.lorentz.de/products-and-technology/products/sps2-solar-pumping-systems) **Erişim Tarihi 30 Ağustos 2019**.

[19] Yenilenebilir Enerjiler Genel Müdürlüğü (YEGM), [www.yegm.gov.tr/yenilenebilir\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir_enj_tekno.aspx) **Erişim Tarihi 30 Ağustos 2019**.

[20] T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Müsteşarlığı Tarımsal Uygulamalarda Güneş Enerjisi Kullanımı Araştırma Raporu / Ceylanpınar **2011**.

[21] Giuseppe A. Laudani, Paul D. Mitcheson, Comparison of cost and efficiency of DC versus AC in office buildings, Imperial College London, **2017**.

[22] Grundfos Product Guide, SQFlex, Renewable-energy based water supply systems 50/60 Hz, **2019**.

[23] Juan Reca-Cardena, Rafael López-Luque, Design Principles of Photovoltaic Irrigation Systems, University Carlos III of Madrid, Spain, 2018

[24] PVSYST Tutorial, **2019**.

[25] <https://jinkosolar.com/ftp/EN-MKT-265P-60.pdf> Jinko Solar PV Modül Özellikleri **Erişim Tarihi 30 Ağustos 2019**.

- [26] 2018 Yılı Akaryakıt Fiyatları <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/21-48-1008/akaryakit-fiyatlari> **Erişim Tarihi 30 Ağustos 2019.**
- [27] Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberi **2016.**
- [28] PVGIS-5 Geo-Temporal Irradiation Database, Monthly Radiation Report For 37.004 N, 35.344 E **2019.**
- [29] PvGis Meteorological Database [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html), **Erişim tarihi 30 Ağustos 2019**
- [30] Doç. Dr. Abdulkadir KAN, Su Temini –İletimi ve Atık Sular,**2011.**
- [31] Thomas Jenkins, Designing Solar Water Pumping Systems for Livestock, NM State University, College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences **2013.**
- [32] N. Argaw, R. Foster A. Ellis, , Renewable Energy for Water Pumping Applications in Rural Villages, National Renewable Energy Laboratory, New Mexico State University **2003.**
- [33] Semak Makine Tic. A.Ş, Palmera Jeneratör Bakım ve Kullanma Klavuzu
- [34] IPCC, Default Emission Factors For Stationary Combustion In Manufacturing Industries And Construction, Erişim Tarihi **30 Ağustos 2019.**

# EKLER

## EK 1 – Kuyu Ruhsati

**T.C.**  
**DSİ Genel Müdürlüğü**  
12. Bölge Müdürlüğü

Form No : 2.7.4  
Belge No : 12-K-NEV-04-19352  
Belge Tarihi : 16.11.2017

**YERALTISUYU KULLANMA BELGESİ**

1. Belge Sahibi : GÜLSÖM KAYA - FATİK ATEŞ - ERDEM ATEŞ - MERYEM KARŞI - YAŞAR ATEŞ  
T.C. Kimlik Numarası : 36710027860-35744066010-357410660174-36374039094-357350660302  
Adresi : GÜMÜŞKENT KOYU YENİ MAH.ÜNSAL SK. NO:3 GÜLŞEHİR /NEVŞEHİR

2. Teknik Sorumlu : HÜSEYİN UĞUR  
a) Adı Soyadı : HÜSEYİN UĞUR  
b) Mesleği : JEOLJİ MÜHENDİSİ  
c) Diploma-oda Sicil No : GEÇİCİ MEZ.1101 - 13207  
d) Adresi : YENİ MAH. KAYSERİ CAD. SAHİL İŞHANI KAT 6 D:76 MERKEZ/NEVŞEHİR

3. Sondör, Kuyucu, Galerici : HÜSEYİN UĞUR  
a) Adı Soyadı : HÜSEYİN UĞUR  
b) Mesleği : SONDÖR  
c) Diploma-Oda Sicil No : 2013-2R-5397  
d) Adresi : YENİ MAH. KAYSERİ CAD. SAHİL İŞHANI KAT 6 D:76 MERKEZ/NEVŞEHİR

4. Kuyu/Galeri Yeri : NEVŞEHİR  
İli : NEVŞEHİR  
İlçesi : GÜLŞEHİR  
Beldesi : GÜLŞEHİR  
Köy veya Mh : GÜMÜŞKENT  
Kuyunun DSİ No.su : 635013 - D 4298091 - K  
Koordinatı : GÜLŞEHİR-KIZILIRMAK KÜZEVİ  
Havza Adı : GÜLŞEHİR-KIZILIRMAK KÜZEVİ  
Ova Adı : GÜLŞEHİR-KIZILIRMAK KÜZEVİ

5. Kuyu/Galeri Verimi : 6 l/sn  
Pompajla : 0 l/sn  
Artezyen : 0 l/sn  
Statik Seviye : 9,25 m  
Dinamik Seviye(pompajda) : 22 m  
Çekilecek su miktarı : 27,11 Ton/günde ve 1626,61 Ton/yılda  
Çekilecek suyu temine yetecek enerji miktarı : 509,1 kWh  
Sayıcı Numarası : -  
Kullanma amacı : SULAMA

29.10.2017 tarihli dilekçe ile yukarıda yeri belirtilen kuyudaki suyu kullanmak istediğini bildiren GÜLSÖM KAYA - FATİK ATEŞ - ERDEM ATEŞ - MERYEM KARŞI - YAŞAR ATEŞ "ın müracaatı üzeride yapılan inceleme sonucu, istediğin kanun, tüzük ve yönetmelik hükümlerine uygun olduğu anlaşıldığından, suyun yalnız SULAMA amacıyla kullanılmasına şartıyla bu kullanma belgesi verilmiştir.

**Eklisi:** 1) Kuyu Kağıdı (1 adet)  
2) Pompaj Programı (1 adet)  
3) Analiz raporu (1 adet)  
(kullanma amacıyla uygun)  
4) Kuyu açılan alanının onaylı tapu fotokopisi

**Not:**  
-BU BELGEDEKİ KUYU 236 ADA 12 NOLU PARSELDE AÇILMIŞTIR.  
-DSİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜNÜN 28.06.2013-152 99-38174 TARİHLİ VE SAYILI YAZILARINA İTİHADEN,  
BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜNCHE -HAZIRANIN REZERV FAHİŞE İZİNİNE GÖRE ÖN YÜKLEMELİ SU SA YACI OLCUDAN SUYUN KULLANILMASI HALİNDE,  
KUYUYA MONTE EDİLECEK AKSESUARLARDA BELGE İPTAL EDİLMİŞTİR.  
-ÇEVREDE BULUNAN ÇEŞME KAYNAĞINDA VE KAYNAKLARIN ETİKİLMİŞ HALİNDE BELGE İPTAL EDİLMİŞTİR.  
-DAHA ÖNCE AÇILAN BELGELİ KUYULARIN ETİKİLMİŞ HALİNDE BU KUYUYA İTİ AÇILMASI İZİNİNDEN ÇIKARILMAYACAKTIR.  
-BU KUYUDAN POMPALARLA 0,75 L/S İLE DENİMDEN FAZLA SU ÇEKİLMİYECİKTİR.  
-KUYUDAN SU ÇEKİLMİ YAPILIRKEN KUYU KUYUNDA BULAN KIL, SİLİT V.S. MALZEMELERİN ÇERİMLİNİN GÖZLÜNDEN ÇIKARILMASI VE ÇUKURDE BULUNAN YAPILARDA HERHANGİ BİR ÇATIĞIN VEYA DEFORMASYON BELİRTİSİNİN TESPİT EDİLMESİ HALİNDE SU ÇUKURU DÜZDÜZLÜKLE ÇEKİLMİYECİKTİR.  
-SÖZLÜ VE İZLİLİ KURUMLARA HABER VERİLMESİ GEREKMEKTEDİR.

- Belgede belirtilen enerji miktarı EPDK tarafından hazırlanan "Elektrik Fiyatları Müşteri Hizmetleri Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmaması Dair Yönetmeliğin" 3. Maddesi gereği yer almaktadır olup bu belgede belirtilen tahsis miktarının kullanılmasına kuyuya monte edilen su ölçer ile ilgili olarak Genel Evrak ve Arşiv

12. Bölge Müdürü  
27 Kasım 2017



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: 14/10/2019

Tez Başlığı / Konusu: PVSYST YAZILIMI KULLANILARAK ÖRNEK BİR GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMİ TASARLANMASI VE KONVANSİYONEL SİSTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 56 sayfalık kısmına ilişkin, 14./10./2019 tarihinde ~~şahsım~~/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

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

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

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Emrah SARI

Öğrenci No: N14126376

Anabilim Dalı: Temiz Tükenmez Enerjiler

Programı:

Statüsü:  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

14.10.2019

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Aynur ERAY

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : EMRAH SARI  
Doğum yeri : İSKİLİP  
Doğum tarihi : 19/01/1987  
Medeni hali : EVLİ  
Yazışma adresi : Karapınar Mah. 1165.Cadde No:29/10  
Çankaya/ANKARA  
Telefon : 0 541 406 78 17  
Elektronik posta adresi : emrahsari19@hotmail.com  
Yabancı dili : İngilizce

### EĞİTİM DURUMU

Lisans : Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği  
Yüksek Lisans : Temiz Tükenmez Enerjiler  
Doktora :

### İş Tecrübesi

2009-2012- Eltes Enerji Mühendislik – HES Şantiye Şefi  
2012-2017- Soyak Enerji Holding – HES İşletmeler Müdürü  
2017-Halen Maxima Enerji- GES İşletmeleri Genel Direktör

