



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**GÖKÇE BARAJI ÜZERİNE 2 MW GÜCÜNDE YÜZEBİLEN GÜNEŞ
PANELİ KURULUMUNUN ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mithat SERİM
185103012**

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı Adı

Enerji Sistemleri Mühendisliği Programı

**Tez Danışmanı: Doç.Dr. Bayram KILIÇ
İkinci Danışmanı: Doç.Dr. Sunay TÜRKDOĞAN**

HAZİRAN 2021



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**GÖKÇE BARAJI ÜZERİNE 2 MW GÜCÜNDE YÜZEBİLEN GÜNEŞ
PANELİ KURULUMUNUN ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mithat SERİM
185103012**

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji Sistemleri Mühendisliği Programı

**Tez Danışmanı: Doç.Dr Bayram KILIÇ
İkinci Danışmanı: Doç.Dr. Sunay TÜRKDOĞAN**

HAZİRAN 2021

ÖNSÖZ

Tez çalışmasında analizlerime veri akışını sağladıkları için Yalova İli Meteoroloji Genel Müdürlüğüne, Devlet Su İşleri 1.Bölge Müdürlüğüne, Yalova Gökçe Barajı İşletme Müdürlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Tez dönemi ve akademik kariyerimde desteklerini esirgemeyen Doç.Dr. Bayram KILIÇ'a Doç.Dr Sunay TÜRKOĞAN'a ve Enerji Sistemleri Mühendisliği bölüm hocalarının hepsine teşekkürü borç bilirim.

MAYIS 2021

Mithat SERİM

(Elektrik-Elektronik Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	ii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiv
Sayfa No	xiv
ÖZET.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Taraması	2
1.2 Güneş Enerjisi	4
1.3 Işınımın Elektriksel Sinyale Dönüşümünün Tarihçesi	4
1.4 Dünya’da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Görünümü	5
1.5 Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	7
1.6 Türkiye’de Güneş Enerjisi Kullanımı	8
1.7 Lisanslı ve Lisansız Elektrik Üretimi.....	9
1.8 Fovoltaik Sistem Teşvik Tipleri	11
1.8.1 Kanun ve Yönetmelikler	11
1.8.2 Satın Alma Garantisi	11
1.8.3 Mahsuplaşma.....	11
1.8.4 Bölgesel ve tarımsal teşvikler	12
1.8.5 Kredilendirme.....	12
1.9 Fotovoltaik Hücre Sistemi.....	12
1.10 Fotovoltaik Hücre Çalışma Prensibi	12
1.11 Fotovoltaik Sistem.....	14
1.12 Hücre Tiplerine Göre Panel Türleri	15
1.12.1 Birinci nesil güneş pilleri	15
1.12.2 İkinci nesil güneş pilleri	16
1.12.3 Üçüncü nesil güneş pilleri	18



1.13 Fotovoltaik Panel Elektriksel Gücü.....	18
1.14 Panel Taşıyıcı ve Panel Takip Sistemi	21
1.15 Şarj Kontrol Cihazı.....	21
1.16 Solar Çevirici (İnverter)	23
1.16.1 Mikro Solar Çevirici.....	24
1.16.2 Dizi Solar Çevirici.....	25
1.16.3 Merkezi Solar Çevirici	25
1.17 Batarya Sistemi	26
1.18 Yüzer Güneş Enerji Santralleri	27
1.19 Yüzer Güneş Enerji Santralleri Dünya Görünümü	28
1.20 Türkiye Yüzer Güneş Enerji Santrali Potansiyeli	30
1.21 Yüzer Güneş Enerji Santrali Maliyetleri.....	32
2. MATERYAL VE METOD	33
2.1 Yüzer Güneş Enerji Santrali Analizi.....	33
2.2 Güneş Enerjisi Analiz Yazılımı.....	33
2.3 Güneş Enerji Santrali Kurulum Yönetmeliği	34
2.4 Bölge Seçimi	36
2.5 Gökçe Barajı.....	37
2.6 Gökçe Barajı Yıllık Işınım Miktarı	37
2.7 Gökçe Barajı Yüzer Güneş Santrali Potansiyeli	38
2.8 Gökçe Barajı 2 MW Yüzer Güneş Santrali	40
2.8.1 Güneş Paneli.....	40
2.8.1.1 Yüzer güneş enerji santrali sıcaklık ile verim artışı	42
2.8.2 Solar Çevirici.....	43
2.9 Köşk Binası	44
2.10 Düzlem Açısı.....	45
2.11 Panel Yerleşimi	46
2.12 Yüzdürücü Plastik Blok	47
2.13 Plastik Blok Sabitleme Sistemi	48



2.14 Sistem Özeti	49
3. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	51
3.1 Sistem Performansı	51
3.2 Gölgeleme	53
3.3 Normalize Üretim ve Kayıplar	54
3.4 Üretim ve Ekonomik Analiz	55
3.5 Buharlaşma Miktarı.....	58
3.6 Karbon salınımı	61
3.7 Yüzer ve Karasal Güneş Enerji Santrali Karşılaştırılması	62
3.8 Sonuç.....	64
KAYNAKLAR.....	67
EKLER	72
ÖZGEÇMİŞ	83



KISALTMALAR

FV	: Fotovoltaik
GEPA	: Güneş Enerji Potansiyeli Haritası
GW	: Gigawatt
GWh	: Gigawatt-Saat
IAM	: Incidence Angle Modifier (Geliş Açısı Değiştirici)
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IRENA	: International Renewable Energy Agency (Uluslararası Yenilenebilir)
KDV	: Katma Değer Vergisi
KWh	: Kilowatt-Saat
MPPT	: Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç İzleme Noktası)
MW	: Megawatt
MWh	: Megawatt-Saat
NREL	: National Renewable Energy Laboratory
PWM	: Pulse-Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
STK	: Standart Test Koşulları
TKDK	: Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1 : EPDK Elektrik enerjisi satın alma birim fiyatı USD/kWh.....	10
Çizelge 1.2 : Yurt içi üretim destekleri.....	10
Çizelge 1.3 : Dünyanın yüzer güneş enerji santrali potansiyeli.....	29
Çizelge 1.4 Türkiye yüzer güneş enerji santrali potansiyeli.	31
Çizelge 2.1 : FV sistemlerin frekans aralıklarındaki çalışma süresi.....	35
Çizelge 2.2 : Yalova ili iklim çizelgesi.....	36
Çizelge 2.3 : Gökçe barajı teknik özellikleri	37
Çizelge 2.4 : Yalova İli Gökçe barajı yıllık ışıınım miktarı (kwh/m ² -yıl).....	38
Çizelge 2.5 : Yalova Gökçe barajı yüzer güneş santrali potansiyeli.	40
Çizelge 2.6 : ET Solar ET-P672280 Güneş paneli teknik özellikleri.	41
Çizelge 2.7 : AE-500-NX-HE Teknik özellikleri.	44
Çizelge 2.8 : 2 MW Gücünde yüzer güneş santrali sistem özeti	49
Çizelge 3.1 : Gökçe Barajı 2 MW yüzer güneş enerji santrali maliyet listesi.	57
Çizelge 3.2 : Gökçe barajı aylık buharlaşma miktarı.....	60
Çizelge 3.3 : Enerji Kaynaklarına Göre CO2 Salınımı.....	61



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 2009-2019 Yenilenebilir enerji kaynakları kurulu gücü	6
Şekil 1.2 Güneş enerji potansiyeli Türkiye atlası	7
Şekil 1.3 2020 yılı YEGM Türkiye'nin global radyasyon değerleri (kwh/m ² -gün) ve Türkiye güneşlenme süresi (saat).....	8
Şekil 1.4 Birincil enerji kaynaklarına göre Türkiye kurulu gücü	8
Şekil 1.5 Türkiye güneş enerji santralleri kullanıcı grafiği.....	9
Şekil 1.6 n tipi katkılama	13
Şekil 1.7 p tipi katkılama	13
Şekil 1.8 p-n eklem yapısı şematik gösterimi	14
Şekil 1.9 Hücre-modül-dizi-seri sistem düzeni.....	15
Şekil 1.10 Tek kristal güneş paneli	16
Şekil 1.11 Amorf silikon güneş pili yapısı.....	17
Şekil 1.12 CdTe ve CuInSe ₂ İnce film hücre yapısı	17
Şekil 1.13 Çok eklemli güneş hücrelerinde seri ve paralel bağlantı	18
Şekil 1.14 Fotovoltaik panelin ayarlanabilir yük ile akım gerilim testi.....	19
Şekil 1.15 Fotovoltaik panel akım gerilim karakterisliği.....	19
Şekil 1.16 Fotovoltaik panellerde çıkış parametrelerinin radyasyon ve sıcaklığa bağlı değişimi [37]	20
Şekil 1.17 Fotovoltaik hücrelerde çıkış parametreleri değişim tablosu	20
Şekil 1.18 Taşıyıcı sistem örnekleri sabit açılı ve takip özellikli sistemler	21
Şekil 1.19 PWM Şarj cihazı.....	22
Şekil 1.20 PWM ve MPPT Şarj kontrol cihazı karşılaştırılması.....	23
Şekil 1.21 Solar çevirici kullanım tipleri	24
Şekil 1.22 Mikro solar çevirici.....	25
Şekil 1.23 Güneş santrali dizi tipi solar çevirici	25
Şekil 1.24 Advanced Energy firmasına ait 500 kW merkezi solar çevirici	26
Şekil 1.25 Yüzer güneş enerji santrali kurulu güç kapasitesi	30
Şekil 1.26 Yüzer güneş enerji santrali Büyükçekmece gölü.....	31
Şekil 1.27 Yüzer güneş santrali Azmak 2 Hidroelektrik santrali.....	32
Şekil 2.1 Gökçe barajı yüzer güneş santrali potansiyeli.	39
Şekil 2.2 Gökçe barajı yüzer güneş santrali panel yerleşimi	39



Şekil 2.3 Gökçe barajı 2 MW yüzer güneş santrali modellemesi	40
Şekil 2.4 Sıcaklığın akım voltaj ve çıkış gücü üzerindeki etkisi	42
Şekil 2.5 Sıcaklığın karasal ve yüzer sistemler ile karşılaştırılması	43
Şekil 2.6 Köşk binası.	45
Şekil 2.7 Köşk binası uzaktan yerleşimi.	45
Şekil 2.8 Düzlem açısı.	46
Şekil 2.9 Güneş panelleri arası saha mesafesi.....	47
Şekil 2.10 Eğim açısına sahip plastik blok	47
Şekil 2.11 Yüzer FV sistem tasarımı	48
Şekil 2.12 Plastik blok sistem özeti	48
Şekil 2.13 Su altı sabitleme sistemi.	49
Şekil 3.1 Kayıplar diyagramı	52
Şekil 3.2 Performans oranı pvsyst grafiği.	53
Şekil 3.3 Pvsyst gölgelenme faktörü grafiği.	54
Şekil 3.4 Normalize üretim ve kayıplar	54
Şekil 3.5 Karasal GES- YGES yıllık elektrik üretim miktarı.	55
Şekil 3.6 Gökçe barajı aylık üretilen elektrik miktarı.	56
Şekil 3.7 Yıllık performans düşüşü.....	56
Şekil 3.8 Geri ödeme süresi.	57
Şekil 3.9 Yalova Gökçe Barajı yıllık buharlaşma miktarı	59



GÖKÇE BARAJI ÜZERİNE 2 MW GÜCÜNDE YÜZEBİLEN GÜNEŞ PANELİ KURULUMUNUN ANALİZİ

ÖZET

Türkiye enerji kaynakları ve kullanımı bakımından yurtdışına bağımlılığı giderek azaltmayı hedeflemektedir. Yurt dışına bağımlılığın azaltılması konusunda yapılan yatırımlar ve teknolojik gelişmeler yakından takip edilmektedir. Yapılan çalışmalar ışığında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı her geçen gün artmakta ve kullanımın artması için strateji planları açıklanmaktadır. Yenilenebilir kaynakların kullanımı çevresel etkilerin azaltılması konusunda bütün dünya ülkelerinin ortak kararı niteliğindedir. Yenilenebilir kaynaklar bu kapsamda sınırlı kullanıma sahip olsalar da giderek dengeler değişmektedir. Yenilenebilir kaynaklar arasında güneş en çok tercih edilen kaynaklar arasındadır. Kullanım açısından genellikle güneş enerji santralleri (GES) kurularak elektrik enerjisi elde edilmektedir. Güneş santralleri bizlere temiz enerjinin önünü açarken birkaç noktada dezavantaj oluşturmaktadır. Dezavantajının başında kurulum alanının yüksek olması sebebiyle arazi habitat bütünlüğünde kayıpların oluşması ve tarım arazilerinde GES kurulumlarına izin verilmemesi gelmektedir. Arazi kayıplarının önüne geçilmesi, güneş santrallerinde sıcaklık nedeni ile düşen verimin artırılması ve buharlaşmanın önüne geçmek amacıyla Asya ülkeleri yüzer güneş santrallerinin (YGES) kurulumuna ağırlık vermektedir. YGES'lerin kurulumu için genellikle hidroelektrik santralleri ve barajlar tercih edilmektedir. Türkiye sahip olduğu baraj ve göller ile YGES kurulumu açısından ciddi bir potansiyele sahiptir. Su stresinin yüksek olduğu bir coğrafyada bulunması sebebiyle kayıpları YGES'ler ile azaltılabileceği ortadadır. Bu çalışmada Yalova ilinin tatlı su ihtiyacını karşılayan Gökçe Barajı'nın üzerine 2 MW gücünde YGES'in kurulum analizi yapılmıştır. Yapılan analiz çalışmasında Yalova ilinin elektrik ihtiyacının 0,32%'lik kısmı YGES'ten karşılanırken, karasal güneş enerji santrallerine göre çıkış gücünde %6 verim artışı olduğu, bir yıl içinde buharlaşma ile meydana gelebilecek 16.558 m³'lük tatlı su kaybının önüne geçildiği hesaplanmıştır. Ayrıca PVsyst, PVGIS ve Skelion programlarından yararlanılarak kurulan santralin tekno-ekonomik incelemelerinde yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzer Güneş Enerji Santrali, Yenilenebilir Enerji, Fotovoltaik Hücre, Tekno-ekonomik Analiz



ANALYSIS OF 2 MW FLOATING SOLAR PANEL INSTALLATION ON GÖKÇE DAM

ABSTRACT

Turkey aims to gradually reduce dependence on abroad in terms of energy resources and use. Investments and technological developments in reducing dependence abroad are closely monitored. In light of the studies conducted, the use of renewable energy sources is increasing every day and strategy plans are announced for increasing use. The use of renewable resources is a common decision of all countries of the world on reducing environmental impacts. Although renewable resources have limited use in this context, the balance is gradually changing. Among renewable sources, solar is among the most preferred sources. In terms of usage, electric energy is usually obtained by installing solar power plants (SPV). Solar power plants are at a disadvantage in a few points, paving the way for clean energy for us. At the beginning of the disadvantage is that due to the high installation area, losses in the integrity of the land habitat occur and GES installations are not allowed on agricultural land. Asian countries focus on the installation of floating solar power plants (FPV) in order to prevent land losses, increase the efficiency that falls due to temperature in solar power plants, and prevent evaporation. Hydroelectric power plants and dams are generally preferred for the installation of FPV. Turkey has a serious potential for the installation of FPV with its dams and lakes. Because it is located in a geography where water stress is high, it is obvious that it can reduce losses with FPV. In this study, 2 MW FPV installation analysis was performed on the Gökçe Dam, which meets the fresh water needs of Yalova province. In the analysis study, it was calculated that while 0.32% of the electricity needs of Yalova province were met from FPV, there was a 6% increase in output power compared to terrestrial solar power plants, preventing the loss of fresh water of 16,558 m³ that may occur with evaporation within a year. In addition, techno-economic reviews of the power plant, which was established using PVsyst, PVGIS and Skelion programs, were included.

Keywords: Floating solar power plant, renewable energy, photovoltaic cell, Techno-Economic Analysis

1. GİRİŞ

Enerjinin tanımına bakıldığında iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmakta ve yaşamın devam edebilmesi için vazgeçilmez olduğu ortadadır. Enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Elektrik enerjisi ulaşım, iletişim, endüstri vb. birçok alanda yoğun bir şekilde kullanılan kaynak haline gelmiştir. Elektrik enerjisi kullanımı Sanayi Devrimi başlangıcı ile kömür ve sıvı yakıtları vazgeçilemez hammadde haline getirmiştir. Günümüzde fosil yakıtlar kullanılarak elde edilen elektrik üretimi 20 yıl içerisinde %20 azalacaktır [1]. Fosil kaynakların bu şekilde kullanımı çevresel etkileri ve kaynakların tükenmesi sorununu beraberinde getirmektedir. Çevresel etkiler bizlere küresel ısınma, zehirli atıklar vb. sorunları çıkartmakta ve bilinçsiz kullanıma devam edilmesi halinde iklim değişikliği doğal hayatın yok olması gibi sorunları beraberinde getirecektir. Fosil kaynakların kullanımına bağlı olarak kaynakların azalması birim fiyatlarında artışlar meydana getirmekte buna bağlı olarak kullanıcılar en temel ihtiyaç haline gelen elektrik enerjisini bile pahalı olarak kullanmaktadır [2]. Kaynakların ömrü ve çevresel zararları göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarının hayata geçirilmesi ve kullanılması çok daha faydalıdır.

Yenilenebilir enerji alanında yürütülen çalışmalar, üretimin artması ilk kurulum maliyetlerini düşürmekte ticari kullanıcılar dışında bireysel kullanıcılara imkân sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş diğer enerji kaynaklarına göre daha kolay ulaşılabilir bir kaynaktır [2]. Güneş dünya atmosferinde bol miktarda bulunmakta ve elde etmesi kolay bir kaynak olarak tanımlanmaktadır. Kaynak olarak kullanıldığında çevresel etkileri çok ciddi bir şekilde azaltmaktadır. Dünyanın bir yılda güneşten aldığı radyasyon miktarı $1,5 \times 10^{15}$ MWh'dir. (1,5 katrilyon) Bu enerji miktarı dünya üzerindeki insanların tükettiği enerjinin tam 28,000 katıdır [3]. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) 2050'de küresel ekonominin %10'unun elektrik ihtiyacını güneşten karşılanacağını, 2030 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının büyüme hızının yıllık olarak %6 olacağını açıklamıştır [3].

Türkiye'de güneş enerji potansiyeli diğer ülkeler bakıldığında çok daha fazladır. Güneş enerjisi kullanımda ilk yatırım maliyetleri, optimizasyon sorunları, verimlilik alanında yapılan iyileştirmeler sistemin kullanımı daha çok arttıracak ve Türkiye'nin güneş potansiyeli ile birleştiğinde temiz enerji kullanımı giderek artacaktır. Türkiye güneş potansiyeli bakımından 380×10^9 kWh/yıl enerjiye sahiptir [4]. Türkiye sahip

olduğu güneş potansiyelini arazi ve çatı tipi güneş santralleri ile kullanmaktadır. Türkiye diğerk ülkelerde sıkça kullanılan yüzer güneş enerji santralleri konusunda ciddi bir potansiyele sahiptir. Türkiye’de 595 adet baraj ve 45 adet göl bulunmaktadır [5]. Türkiye’deki göllerin alanlarının %1’lik kısmı için yüzer güneş santrali analizi yapıldığında 19.500 MW’lık potansiyele sahip olduğu görölmektedir. Özellikle hidroelektrik santral ve barajlara kurulacak yüzer güneş enerji santralleri buharlaşma miktarını azaltmakta ve elektrik üretimine katkı sağlamaktadır. Arazi tipi güneş santralleri ile kıyaslandığında %6 daha yüksek verime sahiptir [6].

Bu tez çalışmasında yüzer güneş santralinin kurulum analizi, yıllık elektrik üretim potansiyeli, buharlaşma ile oluşan kayıpların ne kadarının önüne geçildiğı ele alınmıştır. Çalışma bölgesi olarak Yalova ili Gökçe Barajı seçilmiş olup 2 MW gücünde yüzer güneş enerji santrali kurulumunun analizi yapılmıştır. Ayrıca PVsyst, PVGIS, Skelion analiz programlarından yararlanılarak tekno-ekonomik analizlere yer verilmiştir.

1.1 Literatür Taraması

Güneş enerjisinin doğru kullanımında, verimi hedefleyen gelişmiş ülkeler araştırma ve geliştirme yatırımlarına büyük ölçüde önem vermektedir. Güneşten gelen ışınının panellerde en verimli şekilde dönüştürölmesi için farklı yöntemler denenmektedir. Santral yapısının bozulmadan serin bir ortamda, yeterli ışınım altında, alandan tasarruf sağlama ve suyu buharlaşmadan korumak amacıyla yüzer güneş santrali fikri ortaya çıkmıştır [7]. YGES’lerin kurulumu karasal GES’lere kıyasla çok daha yeni olup sadece 10 yıllık bir tarihe sahiptir. Bu sebeple literatürde çok fazla çalışma bulunmamaktadır.

Ueda ve diğerkleri (2008), dünyadaki ilk yüzer güneş sistemi fikrini ortaya atmış, Aichi Hidroelektrik Santrali üzerine 20 kWp kurulu güce sahip santral kurmuşlardır. Japonya Ulusal İleri Endüstri Bilimi ile yürütölen çalışmada paneller üzerine her 10 dakikada bir pompa ile su fişkırtılarak hava soğutmasının yanında su ile yapılan soğutmanın da etkileri araştırılmıştır [7].

Smyth ve diğerkleri (2011), Kaliforniya’daki şarap imalathanesi için yüzer fotovoltaik sistem kurdu. Arazinin bağ ile kaplı olması nedeniyle yanından bulunan göl üzerine 200 kWp’lik fotovoltaik sistem kurulumu gerçekleştirdi. Elde edilen enerji bağların kurumadan sulanması sağlanmışır [8].

Cazzaniga ve diğerleri (2011), Livorno ve Pisa’da 200 kWp iki adet yüzer güneş santrali kurmuştur. Verimi arttırmak amacıyla reflektör, yoğunlaştırıcı ve parabolik yoğunlaştırıcı kullanarak sistemin yıllık verimini karasal sistemlere göre %30 arttırmıştır [9].

Trapani ve diğerleri (2013), Açık denizlerde yüzer esnek film fotovoltaik hücre yapısının kullanılmasını önerdi. Fotovoltaik hücre yapısı için yapılan tekno-ekonomik analizlerde ince film yapısının denizlerde kullanılan rüzgâr türbinlerine kıyasla daha ekonomik olduğunu bulmuştur [10].

Choi ve diğerleri (2013), Güney Kore’de kurulan yüzer ve karasal güneş enerji santrallerini karşılaştırdı. Yüzer Güneş Enerji Santrallerinin karasal santrallere göre %10 daha verimli olduğunu bulmuştur [11].

Trapani ve Millar (2014), İnce film teknolojisini YGES’lerde kullanılmasında elektriksel güvenilirliğin düştüğünü ve paneller tortu yüzünden elektriksel verimlerinin %5 düştüğünü gözlemlemişlerdir [12].

Teixeira ve diğerleri (2015), Yüzer Güneş Enerji Santralini hidroelektrik santrali ile hibrit bir şekilde nasıl çalıştırdıklarına odaklanmışlardır. YGES’ fizibilite çalışmaları yürütmüşlerdir [13].

Perez ve diğerleri (2018), ABD’deki 128 hidroelektrik rezervuarına kurulacak yüzer fotovoltaik sistemin elektrik üretim potansiyelini ve su buharlaşmasının azaltılmasını incelemişlerdir. Toplam 1100 GW kurulum kapasitesine 9300 kWh yıllık elektrik üretimine sahip olduklarını bulmuşlardır. Barajların %1,5 kapasitesi kullanılarak yapılan analizlerde hidroelektrik santralleri ile aynı elektrik üretim kapasitesine sahip olduklarını bulmuşlardır [14].

Clot ve diğerleri (2018), Arıtma tesisleri için yüzer fotovoltaik sistemin entegrasyonu üzerine çalışmalar yürütmüştür. Optimum yönlendirme mesafe ile izleme sistemi kullanılmadan kompakt yüzer sistem tasarımını yapmıştır [15].

Pouran ve diğerleri (2018) Çin devletinin çöken kömür madenlerinde yenilebilir enerjinin nasıl kullanıldığını ele almıştır. Çöken kömür madenleri üzerine 70 MW gücünde yüzer güneş santrali inşa edilmiştir. Proje 63 hektar alan üzerine kurulu ve 21.000 eve elektrik sağlamaktadır. Ayrıca çalışma Çin devletinin bir milyondan fazla insanı öldüren kötü hava koşullarından nasıl etkilendiğini göstermektedir [16].

1.2 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, dünyamıza verdiği ısı ve ışık kaynağını çekirdeğinde meydana gelen füzyon tepkimesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Füzyon tepkimesini kısaca hidrojen gazının helyuma dönüşmesi olarak tanımlanmaktadır. Güneş yaydığı ısı ve ışık değeri dünyamız atmosferinin dışında 1370 W/m^2 şiddetinde ölçülmektedir. Atmosferden geçiş yapan güneş ışıını ortalama olarak $500\text{-}1100 \text{ W/m}^2$ arasında değere sahiptir [17]. Dünyamıza gelen bu enerji kullanılmakta olan enerji miktarından çok fazladır. Bu enerjinin değerlendirilmesi farklı sistemler tarafından dönüştürülerek kullanılmaktadır. Güneşim kullanım alanlarını örneklemek gerekirse ısı bacaları, ısı kolektörleri, aydınlatma bacaları, güneş santralleri, uzay araçları askeri teknolojiler, yeni nesil araçlar, şarj istasyonları vb. alanlarda kullanılmakta ve teknolojinin gelişmesi ile kullanım alanları artarak devam etmektedir.

1.3 Işıının Elektriksel Sinyale Dönüşümünün Tarihçesi

Yeryüzüne ulaşan ışıının miktarının elektriksel sinyallere dönüştürülmesi 175 yıllık geçmişe sahiptir, günümüzde bu çalışmalar hızla gelişerek devam etmektedir.

Fotovoltaik hücre keşfi Becquerel'in elektrolit sıvı içine konumlandırılan çubuklar üzerine düşen ışık huzmesi sonucunda gerilim elde etmesi ile olmuştur [18]. Fotovoltaik hücre keşfi farklı maddeler üzerine çalışmaların yapılmasının yolunu açmıştır. W.G Adams ve R.E Günde selenyum üzerinde fotovoltaik etkiyi gözlemleyerek ışığın selenyum üzerine etkisi adlı makalesini yayınlamıştır [18]. Zamanın getirdiği dezavantajlar sebebi ile fotovoltaik hücre keşif yılları uzun ve sınırlı sayıda çalışmanın ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Fotovoltaik hücrelerin bilimsel olarak temel adımların atılması 1905 yılında başlamıştır. Wilhelm Hallwachs yarı iletken malzemelerin ilk tasarımını bakır ve bakır oksit kullanarak gerçekleştirmiştir. İlk tasarım yönteminin geliştirilmesi üretim yöntemlerine bakış açısı kazandırmıştır. Tasarım ve üretim yöntemlerinin birleştirilmesi ile Gordan Teal, Czochralski tek kristalli germanyum ve silikon bazlı güneş pillerini çalışmalarında elde etmiştir [19].

Fotovoltaik hücrelerin laboratuvar ortamında çalışmalarının yapılması ve etkinliklerinin kanıtlanması 1950-1959 yılları arasında hız kazanmıştır. Bell laboratuvarları bu konuda en etkili çalışmaları yapmıştır. İlk silikon bazlı güneş

pillerini geliştirmiş yaklaşık olarak %6 verim elde edilmiştir [20]. Laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar askeri ve uzay kullanımı için zemin hazırlamıştır. Uzay alanında fotovoltaiik hücrelerin ilk kullanımı Vanguard 1 tarafından yapılmıştır. Güneş enerjisi ile çalışan ilk uydu özelliğini taşımaktadır [20]. Uzay teknolojileri ve askeri alanlarda kullanımlar teknolojinin hızla gelişmesini maliyetlerin düşmesini sağlamıştır. 1977 yılında fotovoltaiik hücre üretimi 500 kW aşarak yenilenebilir kaynakların bireysel kullanımlara önü açılmıştır. Özellikle bu dönemlerde yaşanan enerji krizleri ülkelerin bağımsız enerji politikaları mimarı yapılar fotovoltaiik sistemlerin kurulmasını teşvik haline getirmiştir. 1979 yılında mimarı yapılar yapılan tasarımlar ile on-grid ve off-grid tasarımları ortaya çıkmıştır [20].

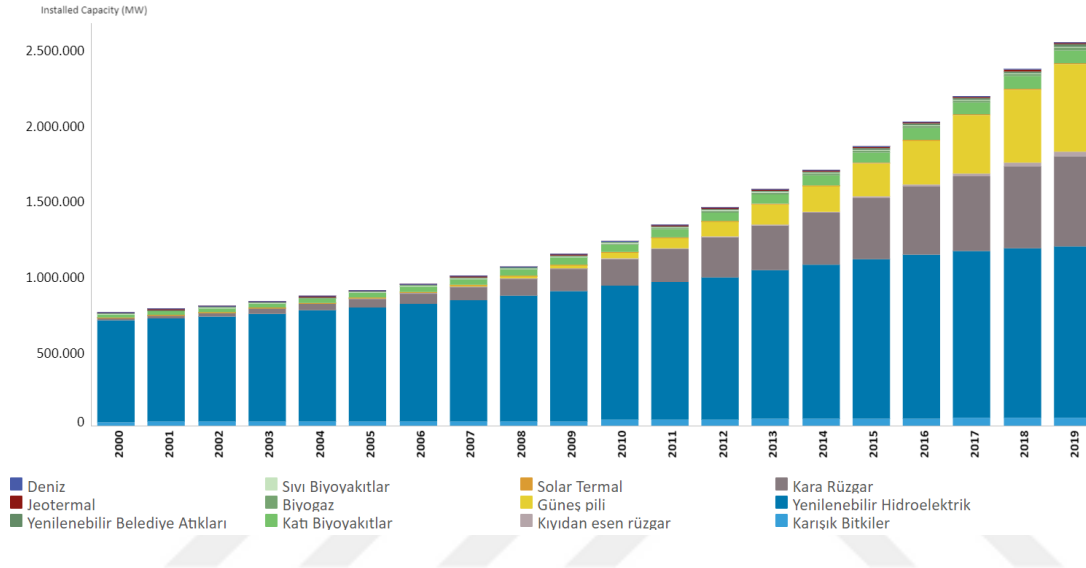
1980-2000 yılları arasında teknolojinin yavaşlama döneminde olması yeni bir teknolojiye bakış açısının yaygınlaşma evresi sebebiyle fotovoltaiik hücre yavaşlayan gelişme dönemine girmiştir. Yavaşlama dönemi maliyet olarak pahalı çalışma süresi olarak daha uzun ömürlü malzemelerin araştırılmasının önünü açmıştır. 1990 yılında L.Frass ve K.Emery %35 verime sahip GaAs/GaSb yapısına sahip fotovoltaiik hücreyi tanıtmışlardır. 1998 yılında ilk ısı-fotovoltaiik hücre tanıtımı yapılmıştır. Isı ve elektığın birlikte üretim gösterdiği yıl olmuştur [20].

Teknolojinin hız kazanması, teknolojiye olan yatırımların artması, dışa bağımlılıkların azaltılması amacıyla bütün ülkeler 2000 senesinden sonra hızlı gelişimlerin olduğu çağa girmiştir. 1975 senesinden günümüze kadar yapılan çalışmalar incelenerek daha doğru ölçümler farklı teknikler ile kullanım yüksek seviyelere çıkmıştır. 2020 senesinde Fotovoltaiik santral kurulumları 707 GW kapasiteyi aşmıştır [21]. Günümüzde silikon tabanlı güneş pilleri ticari ve bireysel kullanımlarda ön plana çıkmıştır. Yeni nesil fotovoltaiik hücre tipleri geliştirilmeye devam etmektedir [21].

1.4 Dünya’da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Görünümü

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte fosil yakıtların kullanımı azalmaktadır. Yapılan araştırmalar küresel kaynakların kullanımı sonucunda fosil kaynakların önümüzdeki yüzyıl içinde ciddi oranda azalacağını göstermektedir. Fosil kaynakların tükenmesi ve elde ettiğimiz enerjinin elde edilirken çevresel etkileri incelendiğinde yenilenebilir enerji kaynakları temiz bir çevre fosil kaynakların tüketimini azaltmak açısından bir denge getirmektedir. Teknolojik gelişmeler yenilenebilir enerji konusunda maliyetleri aşağılara çekmektedir. Dünya ülkeleri dışa bağımlılığı azaltmak ve düşen maliyetler

sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıma önem vermektedir. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) verilerine göre 2000-2019 yılları arasında Dünya üzerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güçlerinin değişimi Şekil 1.1 'de görülmektedir. Fotovoltaik hücre kurulu gücü 2007 yılı itibari ile 8.496 MW, üretim kapasitesi 3.372 GWh ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre çok düşük kalmakta iken 2019 yılı itibari ile kurulu güç 707.494 MW, üretim kapasitesi 549.833 GWh elektrik gücü sunmaktadır [21].



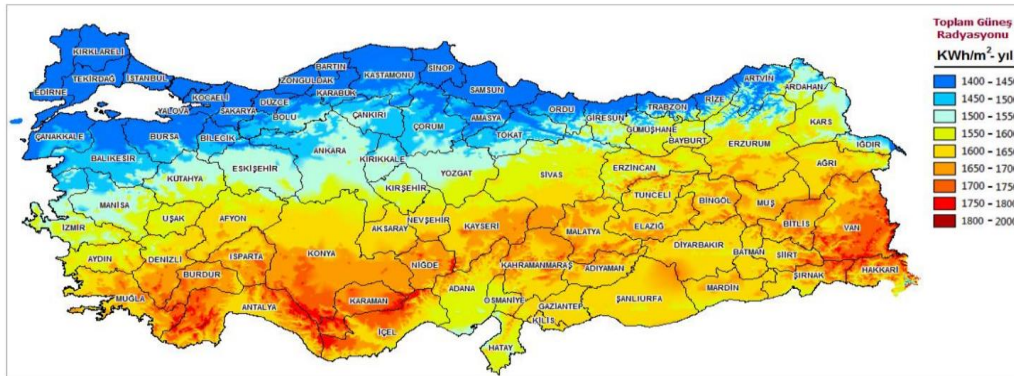
Şekil 1.1 2009-2019 Yenilenebilir enerji kaynakları kurulu gücü [21]

Ülkeler arasında yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanım açısından bir rekabet ortamı bulunmaktadır. Çin ve Amerika Birleşik Devletleri yapmış olduğu yatırımlar ile 2020’de yaklaşık %4 büyüyerek 200 GW güce ulaşmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarını yakından incelediğimizde rüzgâr ve hidroelektrik santralleri üretimin %90’ını karşıladığını ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerji sektöründe fotovoltaik sistemler incelendiğinde yüzdesel olarak sabit olduğu görülmektedir. Ancak sistemlerin kullanım alanlarının hangi sisteme elverişli olduğu bize verim açısından daha net bilgi vermektedir. Çin ve Amerika Birleşik Devletleri önümüzdeki yıllarda yenilenebilir kaynaklarını %30 arttırmayı planlamaktadır [21]. Yapılan araştırmalar Çin, Almanya, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya gibi büyük ülkeler 2020 Eylül istatistiklerine göre 2020 senesinin başında öngörülen üretim ve kurulum tahminlerini aştığı gözlemlenmektedir [22]. Uluslararası enerji ajansı IEA istatistiklerine göre 2025 yılında rüzgâr ve solar sistemlerin hidroelektrik, kömür, doğalgaz, kurulu güç kapasitelerini geçeceği öngörülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının içinde rüzgâr ve fotovoltaik sistemler 2023 yılı itibari ile kurulu güç kapasitelerini arttırarak

2025 yılı itibarı ile 2400 GW kurulu güce ulaşması öngörülmektedir [22]. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) yaptığı araştırmada yıllık olarak şebeke ölçeğinde fotovoltaik modül üretim maliyetleri %13 düşüş göstererek 0,068 USD/kWh değerine ulaşmıştır [22]. Türkiye 2019 yılı itibarı ile fotovoltaik modül maliyetini 0,0776 USD/kWh değerine düşürmüştür [22].

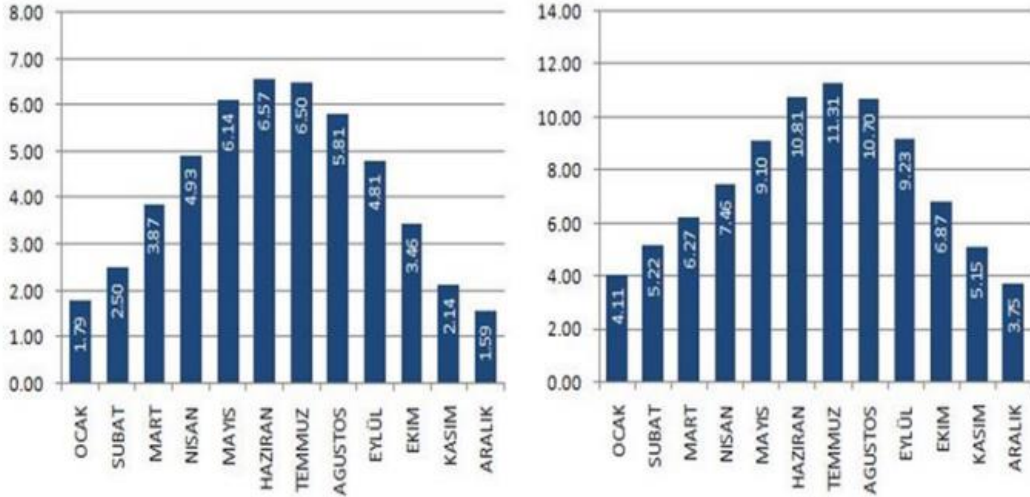
1.5 Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Güneş enerji potansiyeli bakımından Türkiye sabit ve iyi bir ışınlım değerine sahiptir. Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası’na (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresinin 2.737 saat (günlük 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisinin 1.527 kWh/m² (günlük 4,2 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye’nin sahip olduğu güneş ışınlımı teknik olarak 400 milyar kWh/yıl, ekonomik olarak potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olduğu araştırmalarla ortaya konulmuştur [23]. Türkiye’nin güneş potansiyeli haritasını incelediğimizde kuzeyden güney bölgelere gidildikçe güneş enerji potansiyeli artmaktadır. Şekil 1.2’de güneş enerjisi potansiyel atlasını bölgesel olarak incelediğimizde Marmara ve Karadeniz bölgesi 1400-1450 kWh/m²-yıl, Ege bölgesi 1550-1700 kWh/m²-yıl, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Akdeniz bölgesi 1700-2000 kWh/m²-yıl güneş potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 1.2 Güneş enerji potansiyeli Türkiye atlası [23]

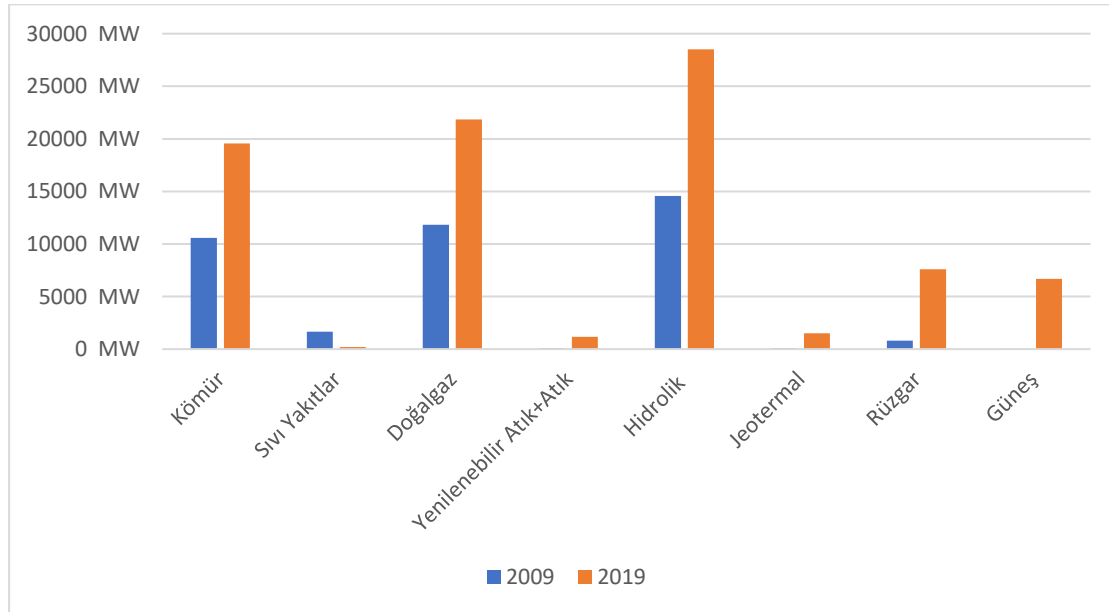
Şekil 1.3’te Türkiye’nin global olarak ay içerisindeki bir günlük toplam radyasyon değeri ve Türkiye’nin güneşlenme süreleri ay içerisindeki bir günlük toplam süre verilmektedir. Global radyasyon değerleri grafiğine bakıldığında haziran ayı ışınlım miktarı olarak en yüksek değere sahiptir. Güneşlenme sürelerine bakıldığında temmuz ayı en uzun süreye sahiptir.



Şekil 1.3 2020 yılı YEGM Türkiye'nin global radyasyon değerleri (kwh/m²-gün) ve Türkiye güneşlenme süresi (saat)

1.6 Türkiye’de Güneş Enerjisi Kullanımı

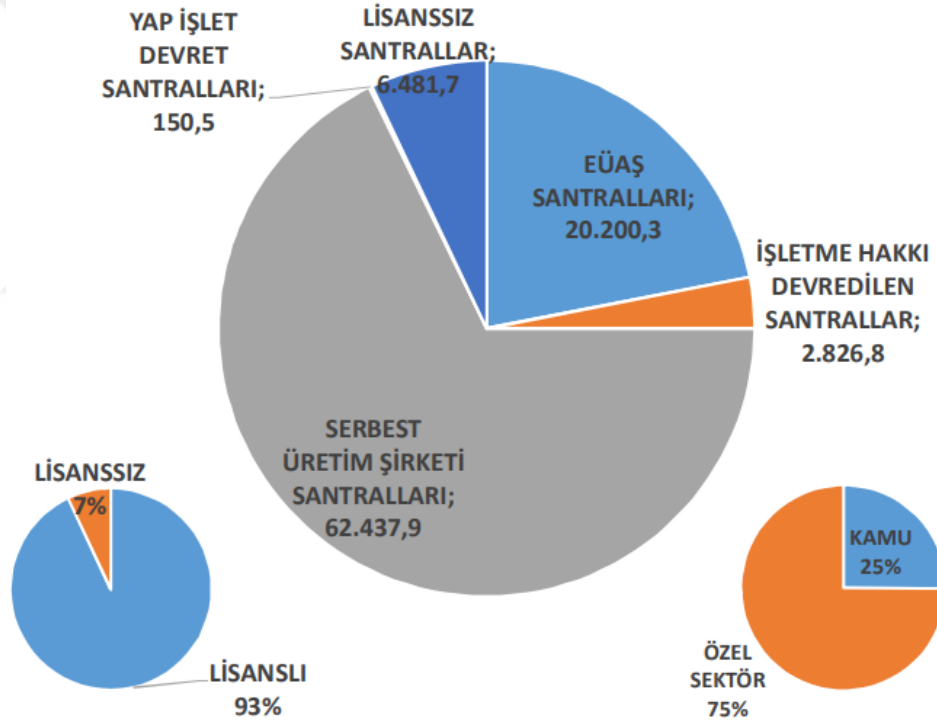
Türkiye’de lisanslı ve lisanssız üretim olarak güneş santralleri kurulmakta olup gün geçtikçe sayıları artmaktadır. Türkiye’de 2009 ile 2019 yılları arasında TEİAŞ verilerine bakıldığında güneş enerjisi ile elektrik üretimi birincil enerji üretimi kaynakları arasında %6,572’lik kısma denk gelmektedir. Bu değer güneş enerji santrallerinin yaklaşık olarak 6.688 MW güce sahip olduğunu ortaya koymaktadır [24]. Şekil 1.4’te birincil enerji kaynaklarına göre Türkiye’nin kurulu güç grafiği görülmektedir.



Şekil 1.4 Birincil enerji kaynaklarına göre Türkiye kurulu gücü [24].

1.7 Lisanslı ve Lisansız Elektrik Üretimi

Türkiye’de Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından (EPDK) 26/03/2020 tarihinde son düzenleme ile tekrar ilan edilen 5346 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ve 6446 Elektrik piyasası kanunu uyarınca bazı kurallar bulunmaktadır. Bu kanun çerçevesinde kullanıcılar iki grup içinde incelenmektedir. Lisanslı elektrik üretimi ve lisansız elektrik üretimi şeklinde incelenmektedir. Bu kanun kapsamında kullanıcının lisans alıp almayışına dair birkaç önemli nokta vardır. EPDK bu kanun kapsamında üretilen elektrik enerjisini kanun uyarınca kWh belirli bir ücret karşılığında satın almaktadır. Şekil 1.5’te güneş enerjisinden elektrik elde etmekte uyulan kanun kapsamında bulunan lisanslı ve lisansız güneş enerji santrallerinin yüzdeleri görülmektedir.



Şekil 1.5 Türkiye güneş enerji santralleri kullanıcı grafiği [24].

Lisanslı üretici 5 MW ve üstü kurulum yapan tesisler için geçerli olmaktadır. 5 MW ve üstü tesis kurmak isteyen kişiler EPDK tarafından bir taahhütname, gerekli arazi tapusu veya kira sözleşmesi, kurulacak kaynağa yönelik ölçüm ve istatistik raporları, çevre etki değerlendirme raporu, tesisin yerleşim planı, kurulum analizi, başvuru dilekçesi, şirket ortaklarından alınmış imzalar ile gerekli başvuru EPDK online portalından yapılmaktadır. EPDK belgeleri inceledikten bütün şartlar yerine getirilmiş

ise 49 yıllık Üretici Lisansı vermektedir. Lisanslı elektrik üretimi tüketim gösterme zorunluluğu bulunmamaktadır. Üretici isterse şebeke ile birleştirerek üretilen enerjiyi tek yönlü olarak satabilir. Lisanslı tesislerin devreye alınması üretilen elektriğin satılması konusunda 5346 sayılı kanun yürütülmektedir.

Lisans sahibi tüzel kişilerin bu kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı ve 31/12/2015 tarihinden önce işletmeye giren üretim tesislerinde kullanılan mekanik ve/veya elektro-mekanik aksamın yurt içinde imal edilmiş olması halinde; bu tesislerde üretilerek iletim veya dağıtım sistemine verilen elektrik enerjisi için, Çizelge 1.1’de belirtilen fiyatlara, üretim tesisinin işletmeye giriş tarihinden itibaren beş yıl süreyle; bu kanuna ekli Çizelge 1.2’de belirtilen fiyatlar ilave edilir [25].

Çizelge 1.2’de yer alan yurt içinde imalatın kapsamının tanımı, standartları, sertifikasyonu ve denetimi ile ilgili usul ve esaslar, Bakanlık tarafından çıkarılacak yönetmelikle düzenlenir [25].

Çizelge 1.1 : EPDK Elektrik enerjisi satın alma birim fiyatı USD/kWh [25].

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim	Uygulanacak Fiyatlar (USD/kWh)
a. Hidroelektrik üretim tesisi	0,073
b. Rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi	0,073
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	0,105
d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	0,133
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	0,133

Çizelge 1.2 : Yurt içi üretim destekleri [25].

Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (USD/kWh)
C- Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	0,008
	2- PV modülleri	0,013
	3- PV modülünü oluşturan hücreler	0,035
	4- İnverter (Solar çevirici)	0,006
	5- PV modülü üzerine güneş ışınını odaklayan malzeme	0,005

Lisansız elektrik üretimi 5 MW altı kullanıcılar içindir. Herhangi bir şirket kurma ve kurumlarla mahsuplaşma söz konusu değildir. Kişisel olarak kurulum yapılabilmekte kullanılabilmektedir. Ancak kullanıcıların mevcut durumda elektrik aboneliği bulunuyorsa elektriği EPDK kanunu çerçevesinde bulundukları ildeki elektrik dağıtım kurumuna gerekli şartlar sağlanıyorsa satabilme hakkına sahiptirler. Gerekli belgeler verildikten sonra gerekli incelemeler yapılarak üreticiden belirli bir ücret karşılığında elektrik satın alınmaktadır.

1.8 Fovoltaik Sistem Teşvik Tipleri

Fotovoltaik hücreler güneşten gelen ışınımı elektrik olarak elde etmemizi sağlamaktadır. Ancak üretim maliyetlerinin yüksek olması bireysel olarak kullanım için pahalı olabilmektedir. Bu sebeple büyük ölçekli işletmeler, tarım faaliyetleri ve kamu hizmet binaları bu kapsamda ön plana çıkmaktadır. Enerji tüketimlerinin yüksek olması sebebiyle güneş panelinden elde edilen enerji ve fazlasının dağıtım şirketleri tarafından satın alınması bu sektöre yatırım yapmak isteyenler için cazip gelmektedir. Yenilenebilir enerji sistemlerinde devletin bu sektöre yatırım yapmak isteyenler sağladığı çok fazla teşvik modelleri vardır. Dünya ülkeleri göz önüne alındığında fosil yakıtların tükenmesi ve dışa bağımlılığı azaltmak adına orta ve düşük ölçekli ülkeler bu şekilde yatırım faaliyetlerine hız vermektedir. Türkiye’de verilen teşvikler ve teşviklerin belirli çerçeveler içinde olması birkaç konu başlığı altında incelenmektedir.

1.8.1 Kanun ve Yönetmelikler

5346 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ve 6446 Elektrik piyasası kanunu bu kanunlar kapsamında uyulması zorunlu esaslar belirlenmiştir.

1.8.2 Satın Alma Garantisi

5346 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun eklerinde de belirtildiği üzere birim fiyatı 13,3 \$ cent/kWh fiyatı üzerinden fotovoltaik uygulamalardan satın alma garantisi vermektedir.

1.8.3 Mahsuplaşma

Kurulu fotovoltaik sistem tarafından elde edilen elektrik çift yönlü sayaçlar ile okunarak kullanıcının elde ettiği gücün ne kadarını kullanıp kullanmadığını

hesaplamaktadır. Bu hesaplama sonucunda bağılı olduğu elektrik dağıtım şirketi arasında fiyat üzerinden mahsuplaşma yapılmaktadır.

1.8.4 Bölgesel ve tarımsal teşvikler

Bölgesel olarak verilen teşvikler genellikle tarım bahçeleri üzerinde bulunan yapıların faaliyete geçmesi üzerine oluşmaktadır. TKDK bu kapsamda yenilenebilir enerji tesis kurulumuna 5.000-500.000 avro destek verilmesi ile ilgili başvuru kılavuzu yayınlamıştır.

1.8.5 Kredilendirme

Tarımsal teşviklerin önemli bir kısmı güneş enerjisi kullanımına yönelik kullanımlarda düşük faizli kredi olanağı sağlamaktadır. KDV dahil olmak üzere kurulum maliyetinin %75'i kredi olarak kullanılabilir.

- KDV ve Gümrük Muafiyeti

Bölgesel teşviklerin dışında Genel teşvik olarak 240 kW üzeri yapılacak GES yatırımlarında %18 KDV istisnası %2 Gümrük vergisi muafiyeti destekleri sağlanmaktadır.

1.9 Fotovoltaik Hücre Sistemi

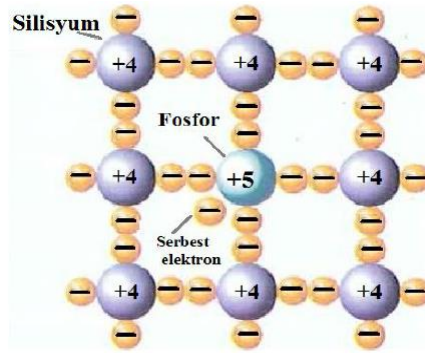
Fotovoltaik sistemler birçok ekipmanın bir araya gelmesi ile çalışan sistemlerdir. Ekipmanlar kullanım şekline göre değişiklik göstermektedir. Bir araya gelen ekipmanları sıralamak gerekirse şebekeden bağımsız sistem (OFF-GRID) için fotovoltaik hücre, şarj kontrol ünitesi, solar evirici (inverter), akü, taşıyıcı sistem, kablo ve kablolama ekipmanları olarak sıralanabilmektedir [26]. Şebekeye bağılı sistem (ON-GRID) sistem için off-grid sistemde kullanılan akü hariç tüm ekipmanlar aynı şekilde kullanılmaktadır. Şebekeye bağılı sistemde akü yerine çift yönlü sayaç kullanılmaktadır [26].

1.10 Fotovoltaik Hücre Çalışma Prensipleri

Elektrik iletkenliği bakımından bir etki görmeden elektron akışı gerçekleştirmeyen maddeler yarı iletkenlerdir. Silikon elektronik devrelerde en çok tercih edilen yarı iletken malzemedir [27]. Silisyum ve germanyum gibi saf olarak kullanılamayan yarı iletkenler katkılanarak enerji seviyeleri değişikliğe uğrattılır [27]. Enerji seviyelerinde bu değişiklik P tipi yarı iletken N tipi yarı iletken olarak karşımıza çıkmaktadır.

- N-Tipi Yarı İletken

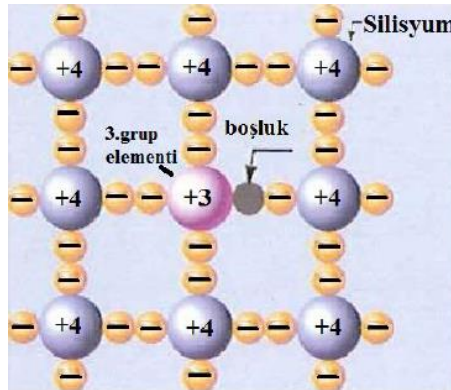
Silisyum maddesine periyodik cetveldeki 5.grup elementlerinden fosforun eklenmesi elde edilmektedir. Silisyumun maddesinin 4 elektronu fosforun 4 elektronu ile kovalent bağ oluşturur ve fosforunun boşta kalan valans elektronu serbest kalarak iletkenliği sağlar. Serbest kalan (-) yüklü elektron N tipi katkılama sonucundan ortaya çıkmaktadır. Yüklü elektron derişimi N tipi yarı iletkende görölmektedir [28]. Şekil 1.6’da N tipi katkılama görölmektedir.



Şekil 1.6 N tipi katkılama

- P-Tipi Yarı İletken

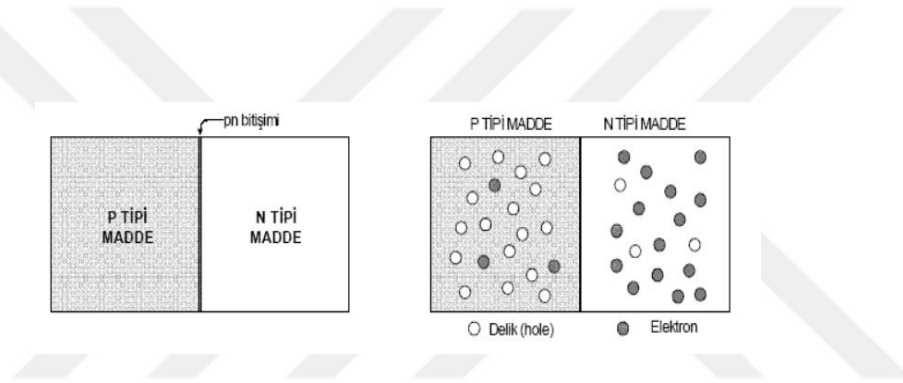
Silisyum maddesine periyodik cetveldeki 3.grup elementlerinden borun katkılanması elde edilmektedir. Silisyum maddesinin bor ile kovalent bağ oluşturması sırasında bir adet elektron eksik kalır komşu atomdan bir elektron kopararak bağ oluşturulur. Komşu atomda bir boşluk oluşur ve elektron hareketliliği başlar. Yüklü elektron hareketliliği P tipi yarı iletkende görölmektedir [28]. Şekil 1.7’de P tipi katkılama görölmektedir.



Şekil 1.7 P tipi katkılama

- P-N Eklem Yapısı

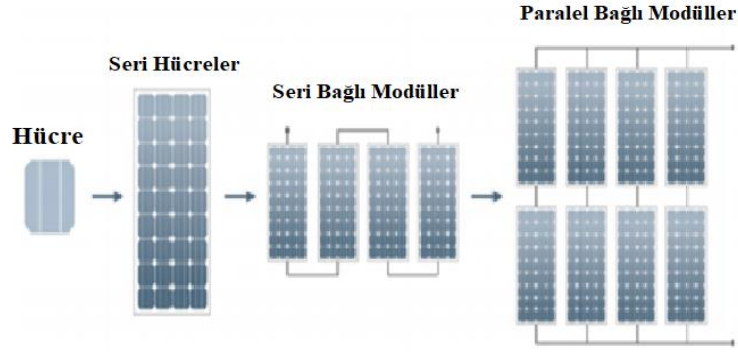
Elde edilen iki yapının bir araya getirilerek elektron geçişi sağlanmasına P-N kavşağı denilmektedir P-N kavşağında elektron hareketini sağlamak için malzemenin üretim tipi ve kullanıldığı sektöre göre kızılötesi ışın, foton, akım şeklinde olmaktadır. Fotovoltaik hücrelerde foton P-N malzemeye gönderildiğinde malzeme içerisindeki elektronlar enerjisini valans banttaki elektronlara iletilmektedir. Bu şekilde valans banttaki elektron yasak bandı geçerek iletkenlik bandına geçer bu durum elektron-hol çiftleri meydana getirmektedir. Elektron hol çiftleri elektrik alanının oluşması ile birbirlerinden ayrılmaktadır. Elektronlar N bölgesine, boşluklar (hole) P bölgesine hareket etmektedir. Bu olay sonucunda fotovoltaik hücre uçlarında bir gerilim oluşmaktadır [28]. şekil 1.8’de P ve N tipi maddelerin bir araya getirilerek oluşturulan P-N kavşağı ve bunun sonucundan ortaya çıkan yararlı bir g çıkışı gösterilmektedir.



şekil 1.8 P-N eklem yapısı şematik gösterimi

1.11 Fotovoltaik Sistem

Fotovoltaik hücre çalışma yapısında hücreler arasında faydalı bir gerilim elde edilmekteydi, bu sistemden yola çıkılarak hücreler modülleri modüller panelleri paneller sistemleri bir araya getirmektedir. Panel elde edildiğinde istenilen g ve tipe göre bağlantılar paralel veya seri şekilde yapılarak sistemleri oluşturmaktadır. şekil 1.9’da fotovoltaik hücrelerin kullanıma uygun hale getirilmesi ile oluşturulan sistem gösterilmektedir.



Şekil 1.9 Hücre-modül-dizi-seri sistem düzeni

1.12 Hücre Tiplerine Göre Panel Türleri

Panel türlerini incelediğimizde laboratuvar uygulamaları ve ticari kullanım olarak ikiye ayrılmaktadır. Laboratuvar uygulamaları stabilizasyon sorunları maliyet yüksekliği sebebiyle sınırlı çalışmalarda kullanılması amaçlanmaktadır.

Ticari kullanımda olan paneller genellikle 1.Nesil olarak adlandırdığımız silikon esaslı yapıdan meydana gelmektedir. Ticari olarak paneller incelendiğinde verimleri %14-17 arasında değişmektedir [29]. Panel üreticileri maliyet düşürmek verimi arttırmak amacıyla çalışmalarını hızla devam ettirmektedir. Geçmişten günümüze gelen çalışmaların bölümlerine bakıldığında hücre tiplerini 1.nesil, 2.nesil, 3.nesil, güneş pilleri olarak 3 grupta incelemektediriz.

1.12.1 Birinci nesil güneş pilleri

- Tek Kristal (Monokristal) Güneş Pilleri

Modül üretiminde en çok kullanılan malzeme tek kristalli silisyum malzemedir. Üretim yöntemi pahalı bir yöntemdir. Panel için bir dezavantaj oluşturmaktadır. Silindirik şekilli ignottan kesilerek elde edildiği için köşeleri oval bir şekil almaktadır. Oval şekil oluşumu verim açısından bir düşüş göstermektedir. Tek kristalli panelleri diğer panel tiplerinden ayırmak bu noktada bir kolaylık sağlamaktadır. Üretim yöntemi pahalı olmasına karşın silisyum yeryüzünde en çok bulunan elementlerden biridir. Kum ve kuvars biçiminde bulunmaktadır. Kuvars biçimi yarı iletken olan silisyumu elde etmek için kullanılmaktadır. Hücre çalışma prensibi P-N eklem diyot çalışma prensibi ile aynı özellikleri taşımaktadır. Silisyum katkılanması yapılarak P-N eklem diyotu oluşturulmaktadır. Eklem diyotun arka yüzeyi kontak ön yüzeyi ışığı

yansıtmayacak malzeme ile kaplanarak modül tasarımı tamamlanmaktadır [30]. Şekil 1.10’da tekli kristal yapıya sahip esnek güneş paneli görülmektedir.



Şekil 1.10 Tek kristal güneş paneli

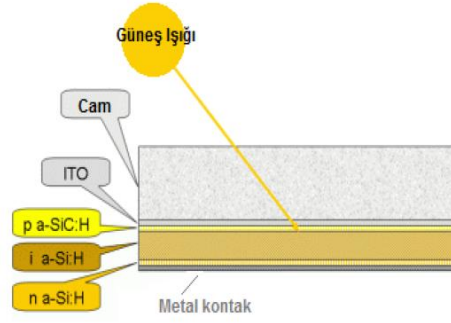
- Çok Kristal (Polikristal) Güneş Pilleri

Silisyumun eritilerek bir kaba dökülmesi metoduyla elde edilmektedir. Soğumaya bırakılan silisyum tabakası soğuduktan sonra ince tabakalar halinde kesilmektedir. Üretim maliyeti tek kristalli panellere göre çok daha ucuzdur. Verim konusunda tek kristalli panellere göre verimleri daha düşüktür. Bunun sebebi silisyum ince tabakalar halinde kesildiğinde uçlarında oluşan iç dirençler meydana gelmektedir. Verimleri %14’tür. Üretim maliyetleri açısından çoklu kristal güneş pilleri tercih edilmekte ve yenilenebilir enerji pazarı %75 olarak çoklu kristal güneş pillerini tercih etmektedir [31].

1.12.2 İkinci nesil güneş pilleri

- Amorf Silikon (A-Si-H) Güneş Pilleri

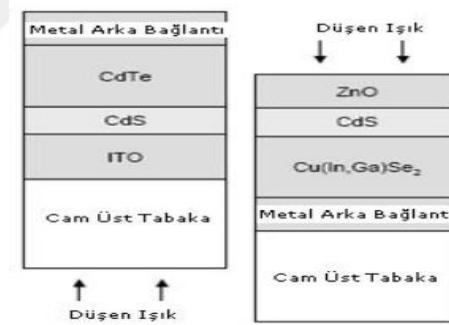
SiH_4 silane gazının 750-2000 °C kimyasal çöktürme işlemi ile elde edilmektedir. Amorf silikon yarı iletken bir malzemedir. Kristal silisyuma göre üretim sıcaklığı daha düşüktür. Maliyet açısından bakıldığında daha ucuzdur. Kristal silikon yapısı P-N şeklinde bir yapıya sahiptir. Amorf silikon yapı P-I-N yapısına sahiptir. Verimi %8-%10 arasında değişmektedir [32]. Şekil 1.11’de amorf silikon güneş pilinin yapısı görülmektedir.



Şekil 1.11 Amorf silikon güneş pili yapısı

- Cdte CuInSe₂ (CIS) Güneş Pilleri

Cdte CuInSe₂ maddeleri 650 °C sıcaklıkta cam yüzey üstüne uygulanmaktadır. Verim olarak %16-%18 bir değere sahiptir. Kristal silisyum ince film teknolojisine göre üretim metodu ucuz ancak malzeme olarak silisyum pahalı bir maddedir. [33]. İnce film teknolojisi bu konuda malzeme olarak ucuz ancak üretim metodu olarak daha zorlu bir süreçte sahiptir. Şekil 1.12’de Cdte ve CuInSe₂ malzemelerden elde edilen güneş pillerinin yapısal olarak katmanları görülmektedir.



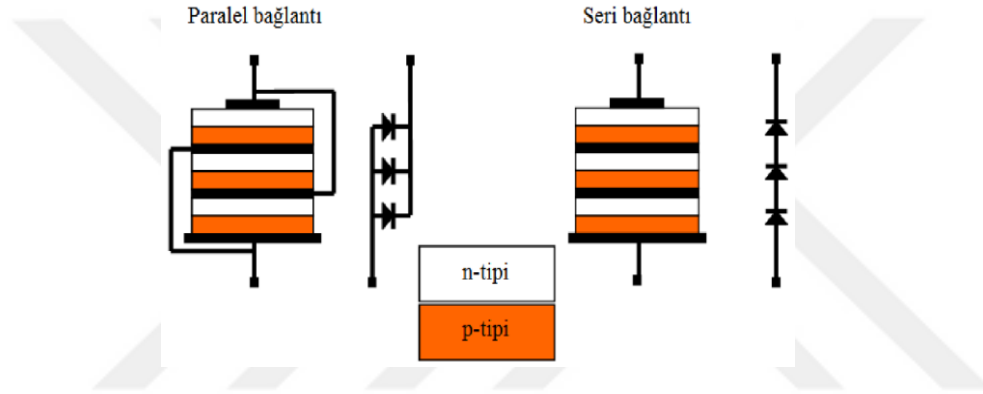
Şekil 1.12 CdTe ve CuInSe₂ İnce film hücre yapısı

- İnce Film Güneş Hücreleri

İnce film güneş pilleri içinde CIGS olarak adlandırılan yarı iletken malzemeden meydana gelmektedir. Bu üretim türünde malzeme esnek bir yüzey üzerine yerleştirilmektedir. Kristal silikon hücre %8’lik bir verime sahip iken CIGS %10’luk bir verime sahiptir. Teorik olarak hesaplamalarda Cdte ve CIGS hücrelerinin verimleri %30’dur. Ortam koşullarında yapılan ölçümlerde verim %25 civarında olmaktadır [34].

1.12.3 Üçüncü nesil güneş pilleri

Katman sayısı olarak birden fazla katmanın bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Bu şekilde tasarım yapılması güneş ışınımının her dalga boyundaki enerjiyi elektrik enerjisine çevirmesi prensibine ile çalışmaktadır. Bu şekilde tasarım ile normal bir güneş piline göre daha fazla verim elde edilmektedir. Katmanlar organik-organik organik-inorganik dizilimler ile oluşturulmaktadır. Dizilimler kendi içlerinde paralel ve seri olarak bağlanmaktadır. Katmanlı güneş pillerinin verimleri %40 civarındadır. Üretim maliyeti olarak yüksek olan bu teknoloji askeri ve uzay alanında kullanılması hedeflenmektedir [35]. Şekil 1.13'te çok eklemli güneş hücrelerinde bağlantı şekilleri görülmektedir.



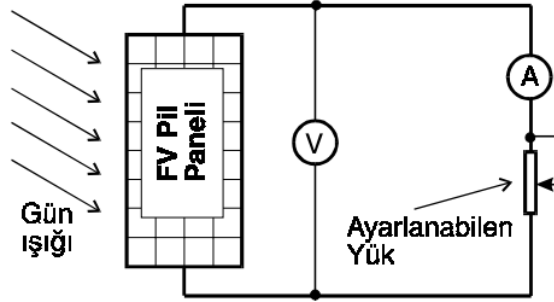
Şekil 1.13 Çok eklemli güneş hücrelerinde seri ve paralel bağlantı

1.13 Fotovoltaik Panel Elektriksel Gücü

Fotovoltaik panel üretiminde verim arttırılarak maliyetin düşürülmesi hedeflenen en büyük stratejidir. Verimin arttırılması konusundaki çalışmalar panelin malzemesi, test ortamının gerçek kullanıma yakın olması, sıcaklık değerlerinin ayarlanması ve benzeri birçok faktöre bağlıdır. Panelin elektriksel gücü kurulacak sistemin yapısı, ortamı, malzeme açısından bizlere bilgi vermektedir. Panel güç sıralamalarında elektriksel karakteristik için kısa devre akımı ve açık devre voltajı belirleyici özellik taşımaktadır.

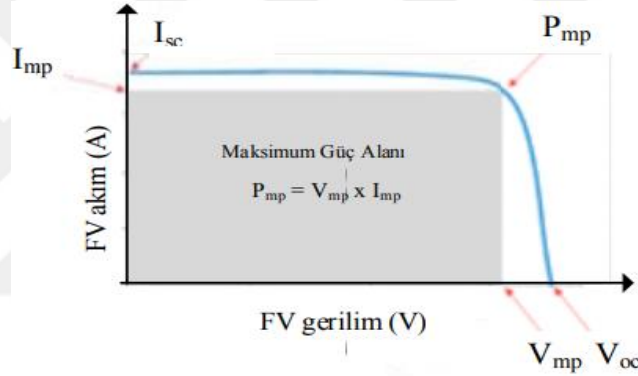
- **Kısa Devre Akımı (I_{sc}):** Ortamda bulunan sıcaklık ve ışıma değeri sabit kabul edilerek veya bir laboratuvar ortamında senaryo uygulanarak yapılan testlerde panel uçlarına bağlanan yükün açık konumdan kısa devre konumuna getirilmesi süreci olarak tanımlanmaktadır. Devreye seri olarak bağlanmış ampermetreden okunan değerler akım hakkında bize bilgi vermektedir.
- **Açık Devre Voltajı (V_{oc}):** Işıma ve sıcaklık değerlerinde herhangi bir değişim olmadığı kabul edilerek panel uçlarındaki yükün değişimi ile devreye paralel

olarak bağlanmış voltmetreden okunan değerdir. Şekil 1.14'te FV panelin kısa devre akımı ve açık devre voltaj testi görülmektedir.



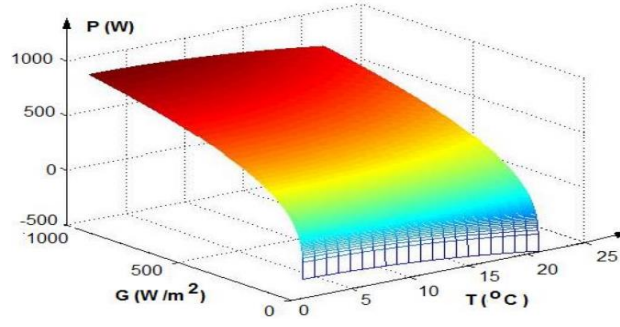
Şekil 1.14 Fotovoltaik panelin ayarlanabilir yük ile akım gerilim testi

Yapılan ölçümler ayarlanabilen yükün değişmesi ile bize bir grafik vermektedir. Şekil 1.15'te yükün değişimi ile akım ve gerilim değerlerinin grafiği görülmektedir.



Şekil 1.15 Fotovoltaik panel akım gerilim karakteristiği [36]

Panelin akım-gerilim grafik değerleri elde edilirken standart test koşulları (STK) dikkate alınmaktadır. STK (25 C derece AM 1,5 güneş spektrumu, 1000 W/m²) baz alınarak yapılan ölçüm değerlerini kapsamaktadır. Işınım değerleri güneşli bir gün için 1200 W/m² bulutlu ve kapalı günler için 200-600 W/m² arasında değişiklik göstermektedir [36]. Açık devre gerilimi ışıının artması ile değil sıcaklığın artmasına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kısa devre akımı tam aksine ışıına bağlı artış göstermekte sıcaklık değişimine bağlı olarak artış çok daha az olmaktadır [37]. Şekil 1.16'da STK ortamında yapılan testin analiz sonucu görülmektedir.



Şekil 1.16 Fotovoltaik panellerde çıkış parametrelerinin radyasyon ve sıcaklığa bağlı değişimi [37]

Şekil 1.16 incelendiğinde ışıınım ve sıcaklık miktarı arttıkça maksimum güç değerine ulaşılammıştır. Yapılan analizde maksimum değere ulaşılması 19°C derece sıcaklıkta 855 W/m² ışıınım altında 716 W olarak kaydedilmiştir [37]. Şekil 1.17’de güneşin ışıma ve sıcaklığına bağlı çıkış parametrelerinin değişim tablosu verilmektedir.

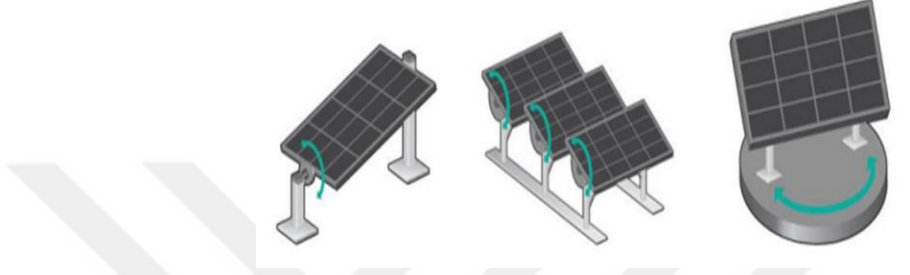
	Saat	Sıcaklık (° C)	Solar Işıma (w/m ²)	Foton Akımı (A)	Çıkış gerilimi (V)	Yük Akımı (A)	Doluluk Oranı (D)	Çıkış Gücü (W)
Hava	7:00	8.10	120	2.87	98.5	2.401	0.0941	230.7
	8:00	11.5	170	4.03	113.3	2.832	0.2380	320.9
	8:30	12.6	303	6.85	143.4	3.586	0.4129	514.3
	8:45	15.0	560	13.63	161.0	4.026	0.5918	648.2
	9:00	16.3	624	14.87	165.4	4.134	0.5973	683.6
	9:15	16.7	677	17.00	165.7	4.144	0.6710	686.8
	9:30	17.2	729	18.44	166.3	4.158	0.7517	691.7
	9:45	17.7	781	11.25	157.7	3.944	0.5664	622.2
	10:00	19.1	829	16.83	165.7	4.143	0.6238	686.7
	10:15	19.5	870	20.71	169.4	4.234	0.6792	717.1
	10:30	20.2	889	20.95	168.3	4.207	0.6791	708
	10:45	20.7	932	20.98	167.8	4.195	0.6783	703.9
	11:00	20.9	945	20.95	167.3	4.182	0.6781	699.7
	11:15	21.3	957	20.89	166.7	4.166	0.6779	694.4
	11:30	21.5	979	20.76	165.3	4.134	0.6774	683.5
	11:45	22.7	987	20.66	164.5	4.112	0.6774	676.5
	12:00	24.0	990	20.60	163.9	4.098	0.6772	671.9
	12:15	23.1	988	20.64	164.3	4.108	0.6773	675.0
	12:30	23.0	980	20.70	164.9	4.122	0.6775	679.7
	12:45	22.4	978	20.74	165.2	4.129	0.6776	682.1
	13:00	22.0	960	20.85	166.3	4.158	0.6777	691.7
	13:15	21.5	959	20.87	166.5	4.163	0.6778	693.1
	13:30	21.0	940	20.96	167.5	4.187	0.6783	701.1
	13:45	20.0	910	21.01	168.4	4.209	0.6788	708.7
	14:00	19.1	865	17.37	168.9	4.223	0.6418	713.5
	14:15	19.0	855	21.05	169.2	4.231	0.6954	716.1
	14:30	18.3	845	19.55	167.6	4.191	0.6567	702.5
	14:45	18.0	825	16.07	164.9	4.123	0.6170	679.9
	15:00	17.3	785	11.34	157.9	3.948	0.5680	623.6
	15:15	15.2	720	17.91	164.5	4.114	0.6600	675.9
	15:30	14.7	695	12.29	160.6	4.014	0.5565	644.6
	15:45	13.2	648	15.95	165.7	4.143	0.6265	686.5
	16:00	11.7	565	13.52	164.8	4.121	0.5791	679.3
	16:15	11.1	429	10.74	162.1	4.053	0.5906	657.0
	16:30	10.5	299	7.18	121.5	3.611	0.4399	521.5
	16:45	10.0	153	3.44	106.2	2.655	0.1555	282.1
	17:00	8.70	99	2.38	88.81	2.22	0.0257	197.2

Şekil 1.17 Fotovoltaik hücrelerde çıkış parametreleri değişim tablosu [37]

- **Verim:** Panelin maruz kaldığı ışımayı elektrik enerjisine dönüştürme oranı verim olarak tanımlanmaktadır. Verim hesabı yapılırken STK dikkate alınmaktadır.

1.14 Panel Taşıyıcı ve Panel Takip Sistemi

Panellerin dış yapısı ve güneş altında sürekli çalışması ısınma ve verim düşüklüğü olarak sistemlere yansımaktadır. Bu sebeple panelleri belirli bir açı ile kurulumu yapılacak bölgeye konumlandırmak verimi arttırmak ve gerekirse soğutma amacıyla taşıyıcı sistem kullanımı yapılmaktadır. Bu sayede sistemlerin sabitlenmesi gerekirse eksen takipli sistemler kurularak verimin artırılması amaçlanmaktadır. Şekil 1.18’de panel taşıyıcı sistemlerin ve takip sistemini 3 boyutlu modellemesi görülmektedir.



Şekil 1.18 Taşıyıcı sistem örnekleri sabit açılı ve takip özellikli sistemler

Panellerin konumlandırılması aşamasında kurulacak güç kurulacak alan analizi ön plana çıkmaktadır. Bu tarz analizlerin yapılması için bilgisayar programları kullanılmaktadır. Bilgisayar programlarından önce basit bir fizibilite çalışması yapılabilmesi adına kurulum yapılacak bölgenin enlem açısını bilmemiz gerekmektedir. Türkiye 36-42 kuzey enlemi 26-45 doğu boylamları arasında yer almaktadır [38]. Panelden maksimum verim elde edebilmek için Türkiye için güney cepheye konumlandırılmaktadır. Konumlandırılmak için kullanılan yöntemlerden birisi sistemin yaz kış sürekli olarak mı yoksa mevsimsel olarak çalıştırılmak istediği bilinmesi gerekmektedir. İkinci olarak bölgenin hangi enlem aralığında kaldığı bulunmalıdır [39].

1.15 Şarj Kontrol Cihazı

Şarj kontrol cihazı günümüzde şebekeden bağımsız uygulamalar için kullanılmaktadır. Şebekeden bağımlı sistemler de akü grubu kullanımı gerekli olmadığı için şarj kontrol cihazına gerek duyulmamaktadır. Şarj kontrol cihazı kullanım olarak panelden elde edilen elde elektriksel gücü akülere belirli kademelerde aktararak doldurulmasını sağlamaktadır. Şarj kontrol cihazlarında panel voltajı, akımı, akü doluluk oranı, saatlik olarak mevcut panel gücü görüntülenebilmektedir. Akü kullanılan sistemlerde direkt olarak panelden alınan güç şarj etmek için kullanılamaz. Akü şarj etmek için belirli bir

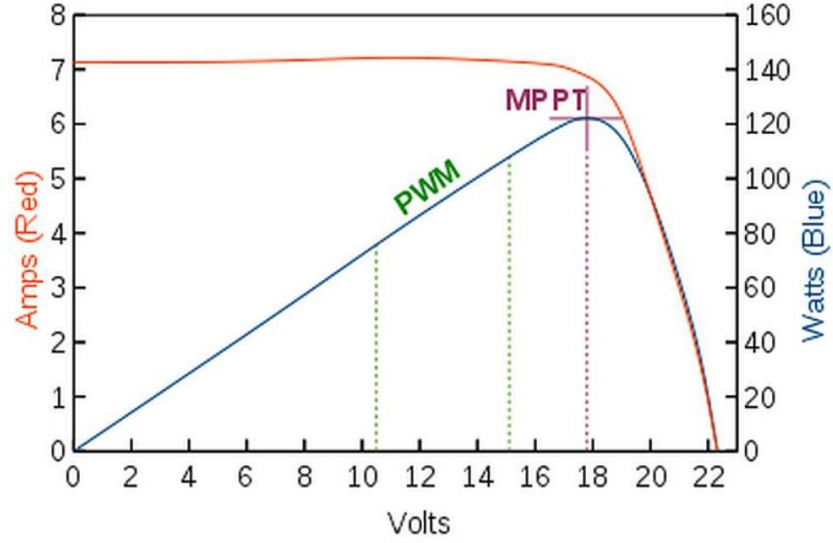
gerilim ve akım kapasitesi gereklidir. Direkt olarak panelleri aküye bağlamak birtakım sıkıntılar meydana getirmektedir. Başlıca güneş ışınımı kesildiğinde aküden ters gerilim uygulama riski bulunmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için ters gerilim diyotu paneller için kullanılmaktadır. Ancak aküden gelebilecek voltaj diyotlara hasar verebilir ve panelde hasara yol açabilmektedir. İkinci olarak akülerin tam dolun kapasitelerini ayarlayamadığı için akülerde patlama ve yapısını bozma ve benzeri durumlar gözlemlenmektedir. Şarj kontrol cihazlarını Darbe genişlik modülasyon (PWM), maksimum güç noktası izleme (MPPT) olarak iki başlık altında incelenmektedir.

- **Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM):** PWM çalışma mantığına göre elektriksel sinyallerin belirli bir aralık ile sisteme gönderilerek sistemin tetiklenmesi sağlanmaktadır [40]. PWM şarj kontrol cihazlarında akü ye belirli aralıklarla akım darbeleri göndermektedir. Akünün doluluk kapasitesine göre akım sürelerinin uzunluğu değişiklik göstermektedir. PWM cihazları ucuz olması sebebiyle kullanımda sıkça tercih edilmektedir. Şekil 1.19’da PWM şarj cihazı görülmektedir.



Şekil 1.19 PWM Şarj cihazı

- **Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT):** MPPT sistemi panellerden gelen elektriksel sinyali akülere akünün voltaj kapasitelerini izleyerek belirli bir seviyede iletmektedir. MPPT sisteminde aşırı gerilim akıma dönüştürülmektedir. Bu sayede MPPT daha kısa sürede akü şarj imkânı sağlamaktadır. MPPT cihazları diğer şarj kontrol cihazlarına göre pahalıdır ancak sistem koruması ve akü şarj etme kapasitesi bakımından MPPT 5 kW ve üzeri sistemler için tavsiye edilmektedir [40]. Şekil 1.20’de PWM MPPT cihazlarının karşılaştırma grafiği görülmektedir.



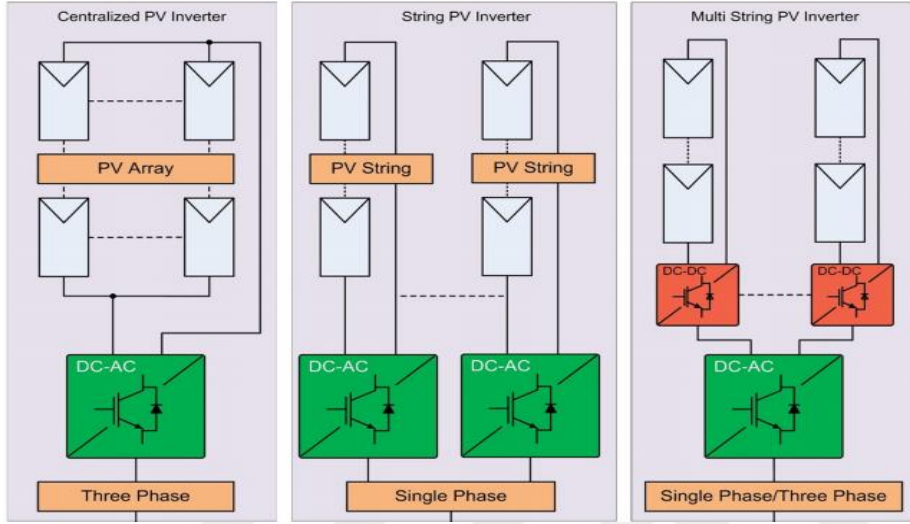
Şekil 1.20 PWM ve MPPT Şarj kontrol cihazı karşılaştırılması [41]

MPPT ile PWM kontrol cihazlarının akım-voltaj-güç grafiklerini incelediğimizde PWM cihazları grafikte görüldüğü üzere 10-15 Volt arası gücü akülere aktarabilirken MPPT cihazları her zaman gücü verimli kullanabilmek için yüksek güç bölgesini seçmektedir [41].

1.16 Solar Çevirici (İnverter)

Yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması bize elektrik, ısı ve mekanik enerji olarak geri dönüş sağlamaktadır. Elektrik enerjisi olarak ele aldığımızda elde edilene enerji çevirici yardımı ile kullanıma uygun hale getirilmektedir. Enerji direkt olarak üstlenici firmalar tarafından sağlanmakta ise bireysel kullanıcı olarak herhangi bir ekipmana ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu noktada kullanıcıyı iki kısımda incelemek gerekebilir. Yenilenebilir kaynakları üretildiği kaynaktan belirli bir ücret karşılığında satın alan kullanıcı veya yenilenebilir enerji kaynaklarını kendi bünyesinde barındıran kullanıcı olarak sınıflandırma yapılabilir. Yenilenebilir kaynakları kendi bünyesinde barındıran kullanıcı olarak yapılan sınıflamada dünya üzerinde yaygın olarak güneş, rüzgâr başlıca bireysel kullanıcıya sahip enerji dönüşüm ekipmanı olarak nitelendirilmektedir. Güneş enerjisi ele alındığında dünyamıza gelen enerji miktarı bize paneller üzerinde yararlı bir güç çıkışı sağlamaktadır. Bu gücü paneller DC olarak üretmektedir. DC olarak alınan güç kullanım alanına göre dönüştürülmesi gerekmektedir. Türkiye için mesken kullanımlarında 220V 50Hz ticari kullanımlarda 380V 50Hz şebeke elektriği kullanılmaktadır. Bu sebeple panellerden elde edilen yararlı güç solar çevirici kullanılarak mesken kullanımları için 230V 50Hz olarak

sanayi kuruluşları için 400V 50Hz dönüştürülmektedir. Mesken kullanımları için mikro ölçekli solar çevirici, sanayi kuruluşları için dizi solar çevirici, güneş santralleri için merkezi solar çevirici ve yenilenebilir enerji kaynaklarını değiştirerek kullanım için hibrit solar çevirici kullanılmaktadır. Şekil 1.21’de solar çevirici tipleri ve şebeke bağlantı şekilleri görülmektedir.



Şekil 1.21 Solar çevirici kullanım tipleri [42]

1.16.1 Mikro Solar Çevirici

Mikro solar çevirici günümüzde panellerin arkasına monte edilen ve az sayıda panelin birleştirilebildiği çevirici tipidir. Gölgeleme etkisi altında kalabilecek panellerin arka yüzeylerine yerleştirilerek gölgeleme etkisinin diğer panellere etkisini azalmaktadır. Diğer solar çevirici tiplerine göre daha az güç gerektiren kullanımlar için uygundur. Tek bir solar çevirici kullanılması arıza durumunda bütün sistemi etkilemektedir. Mikro çevirici bir veya iki panel bağlantısına sahip olduğu için arıza durumunda bağlı olduğu paneller devre dışı bırakılarak sistem kullanımına devam edilebilmektedir. Mikro çeviricilerin diğer bir avantajı ise tek bir solar çevirici kullanılan sistemlerde giriş voltajı yüksek istenmekte bunu sağlayabilmek için paneller seri bağlanmaktadır. Panellerin seri bağlanması panellerden birinin zarar görmesi veya gölgeleme durumu olduğunda paneller gerekli gücü sağlamayı kesebilmektedir. Mikro çeviriciler panel olarak tek bağlantıya sahip oldukları için gölgeleme veya panel arızasından etkilenmemektedir. Dezavantaj olarak mikro çevirici maliyetli bir sistemdir. Güneş altında ısınma problemine sahiptir. Ancak bu problem üretim maliyetlerinin düşmesi

ve soğutma sistemleri ile çözülebilmektedir [42]. Şekil 1.22’de mikro solar çevirici görülmektedir.



Şekil 1.22 Mikro solar çevirici

1.16.2 Dizi Solar Çevirici

Dizi solar çevirici küçük ölçekli saha çatı uygulamalarında tercih edilmektedir. Solar çeviricilerin bir araya getirilerek seri haline getirilmesi dizi solar çevirici grubunu oluşturmaktadır. Bu şekilde oluşturulmasındaki amaç mikro solar çevirici ye göre panellerin birinde meydana gelen arızanın sistemi etkilemesi sadece bağlı olduğu çevirici grubunu etkilemektedir. Tüm sistemi devre dışı bırakmamaktadır. Solar çevirici DC giriş gücüne göre panellerin seri bağlanarak bir dizi oluşturulmaktadır. Mesken kullanımları için 2-5 kW 230V tek faz üretim olmaktadır. 5 kW üstü ticari kullanımlar için 400V üç fazlı olarak uygulamalar yapılmaktadır. Santral uygulamalarında MW gücünü elde edebilmek için 30-40 kW solar çevirici dizileri tercih edilmektedir [43]. Şekil 1.23’te dizi tipi solar çevirici görülmektedir.



Şekil 1.23 Güneş santrali dizi tipi solar çevirici

1.16.3 Merkezi Solar Çevirici

Genellikle merkezi solar çevirici sistem büyük ölçekli güneş santrali yapılarında kullanılmaktadır. Kullanılan merkezi solar çevirici gücü kW’tan başlayıp MW’lara

kadar ulaşmaktadır. Merkezi solar çevirici sistemlerinde panellerde oluşabilecek arızaların önüne geçilmesi için DC koruma bölgesi oluşturulmaktadır. Bu sayede hem paneller hem de merkezi solar çevirici korunmaktadır. Dizi ve mikro solar çevirici tiplerine göre daha fazla panel grubu bağlantıları yapılmaktadır. Merkezi solar çevirici elde edilen gücü düşük gerilim seviyesinden alınarak trafo yardımı ile orta gerilim şebekesine 34,5 kV seviyesinden bağlantı yapılabilmektedir [44]. Şekil 1.24'te merkezi solar çevirici görülmektedir.



Şekil 1.24 Advanced Energy firmasına ait 500 kW merkezi solar çevirici [45]

1.17 Batarya Sistemi

Batarya sistemi elektrik enerjisini kimyasal yollar ile depo edebilen uçlarına bir alıcı bağlandığında elektrik enerjisi olarak kullanıcıya vermektedir. Depolama sistemleri OFF-GRID sistemler için günümüzde vazgeçilmez bir parçadır. Sistemi tamamlayan bir bütündür. OFF-GRID sistemler paneller yardımı ile elde edilen elektrik enerjisi şarj kontrol cihaz yardımı ile akülere bağlanmaktadır. Akülerde depolanan elektrik enerjisi solar çevirici yardımı ile kullanıma sunulmaktadır. Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile solar çevirici ve şarj kontrol cihazları bir araya getirilmiştir. Bu tarz sistemler maliyet açısından diğer sistemlere göre pahalı olmaktadır. Avantaj olarak bütün bilgilere tek bir panel üzerinden erişilebilmektedir. OFF-GRID sistemlerde kullanılan akü sistemin gücüne göre değişiklik göstermekte ve maliyet açısından sistemin yüzde %50'lik bir kısmını kapsamaktadır. Maliyetinin yanında sistem için ekstra yer gereksinimi doğmaktadır. OFF-GRID sistemlerde jel batarya veya AGM batarya kullanılması şarj deşarj çok fazla olduğu için daha uygun olmaktadır. Derin döngü sistemine sahip akülerin tercih edilmesi gerekmektedir. Sistem tasarımı kullanılan

malzemelerin kalitesine bağı olarak batarya sisteminin ömrü 5-7 sene arasında değişmektedir [46].

1.18 Yüzer Güneş Enerji Santralleri

Yüzer fotovoltaiik veya yüzer güneş enerji santralleri güneş enerjisinin kullanım tekniklerini genişletmek amacıyla geliştirilen yöntemler arasındadır. Arazi tipi Güneş enerji santralleri mevcut toprakların kullanımı sonucunda oluşturulmaktadır. Mevcut toprakların kullanılması tarımsal faaliyetler, doğal yaşam, maliyetler ve verim konusunda problemler çıkarmaktadır. Özellikle yüksek nüfusa sahip ülkeler arazi kullanımı için rekabet halinde olduklarından güneş enerji santrallerinin faaliyetleri ikinci planda kalmaktadır. Yüzer sistemlerin en büyük avantajlarından biri ekstra zemin ihtiyacı duyulmamasıdır. Kurulum yerleri genellikle hidroelektrik santralleri, sulama barajları ve denizlerdir. Karasal sistemlere kıyasla hidroelektrik santrali üzerine kurulan yüzer güneş enerji santrali elektrik sistemine çok kolay bir şekilde ekstra maliyet gerektirmeksizin entegre olmaktadır. Su yüzeyine yakın olması sebebiyle panel verimlerinde artış ve buharlaşma miktarının azalmasına yol açmaktadır. Yüzer sistemlerin karasal sistemlere göre verimleri kıyaslandığında verimlerinin %4 ile %8 arasında arttığı araştırmalar sonucunda ortaya konulmuştur [47]. Yüzer güneş enerji santrallerinin mevcut hidroelektrik santrallerine eklenmesi elde edilen enerji miktarına büyük katkısı olmaktadır. Eklenen yüzer güneş santrali düşük su seviyesinde gerekli olan elektrik ihtiyacını karşılamakta etkili olmaktadır. Yüzer güneş santrali avantajlarını birkaç adımda sıralayabiliriz;

- Güneş paneli ve plastik taşıyıcı dubanın gölge etkisi ile rezervuar yüzeyinden buharlaşmanın miktarını azaltmaktadır.
- Güneş ışığının su yüzeyine direkt olarak maruz kalmaması sebebiyle su altında belirli dalga formunda yaşayan alglerin üremesi sonucu su kalitesinde su altı ekolojik dengesinde iyileşmeye yol açmaktadır [48].
- Panellerin gölgelenmesi genellikle etraftaki yapılar baca ve ağaç gölgeleri şeklindedir. Yüzer güneş enerji santrallerinde panellerin birbirlerini gölgelemesi haricinde gölgelenmesi etkisi yoktur [48].
- Toz ve panellerin kirlilik seviyesi karasal sistemlere göre çok daha azdır.
- Yüksek ve hızlı kurulum aşamasına sahiptir.

Yüzer güneş santralleri karasal güneş santralleri ile çalışma yapısı olarak aynıdır. Kurulum aşamasında dikkat edilmesi gereken birkaç özellik bulunmaktadır. Bu özelliklerin başında belirli koruma sınıflarına (IP) sahip olmak gerekmektedir. Güneş panellerinin ürettiği elektriği dönüştürmek için kullanılan solar çevirici tiplerinin yüzer platform üzerine konumlandırılması düşünülüyor ise tamamen su geçirmez IP sertifikasına sahip olmak zorundadır. IP sertifikasyonunun bu denli yüksek olması sebebiyle maliyet giderek artmaktadır. Genellikle yüzer güneş santrallerinde DC toplama kutusu oluşturularak elde edilen gerilim kara da küçük boyutlarda bir solar çevirici odasında toplanmaktadır. Bu sayede bakım maliyetlerini düşürmekte arıza riskini azaltmaktadır. Yapılan bu oda sayesinde trafo köşkü de gerekli durumlarda oluşturulmaktadır.

Yüzer güneş santralleri arazi tipleri sistemlerden diğer bir farkı panellerin monte edildiği yüzeyin farklı bir yapıya sahip olmasıdır. Farklı yapı kullanılmasının en büyük sebeplerinden biri metal sistemlerin zemine olan uzaklığına bağlı olarak kurulacak sistemin yüksek dayanıma sahip olması gerekmektedir. Yüksek dayanım, su seviyesinin azalıp artması, akıntıya karşı koyulması metal konstrüksiyon sistemlerinde çok zor olmaktadır. Yüzer sistem uygulamalarında sıkça plastik blok sistem veya membran yapısı tercih edilmektedir.

1.19 Yüzer Güneş Enerji Santralleri Dünya Görünümü

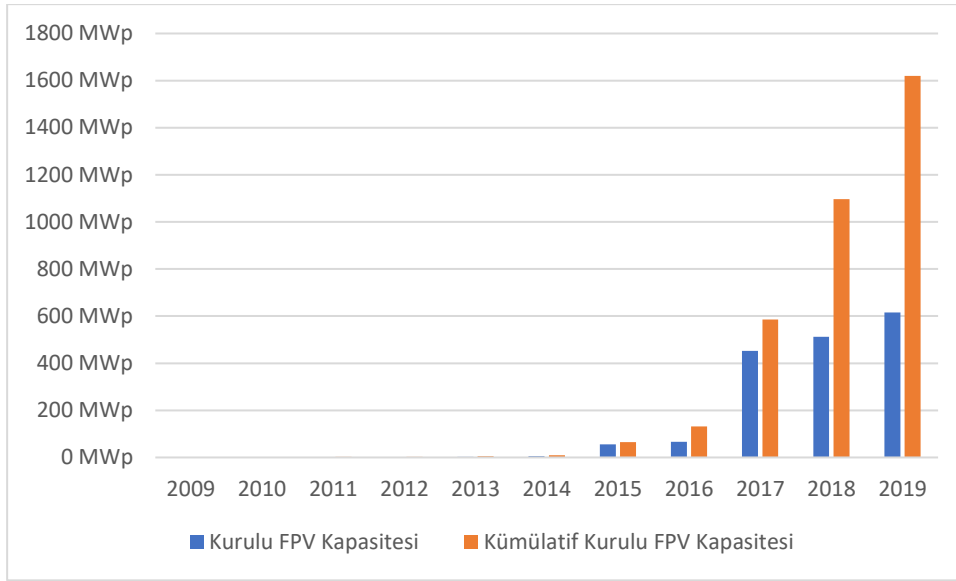
Doğal su yapılarının yüzer güneş enerji santrali için kullanımı dünya üzerinde tercih edilmemektedir. Barajlar, hidroelektrik santralleri ve denizler yüzer güneş enerji santrallerinin zemin yapısını oluşturmaktadır. Kıtalarda insan yapımı rezervuarların kurulu oldukları alanlara bakıldığında 400.000 km²'den fazla olduğu görülmektedir [49]. Yapılan hesaplamalar rezervuar yüzeylerinin tamamının kaplanması durumunda terrawatt ölçeğinde güneş potansiyeli olduğunu ortaya koymaktadır. Çizelge 1.3'te kıtalara göre rezervuarların %5'lik kısmının kullanılarak elde edilen yüzer güneş enerji santrali kurulu gücü ve yıllık elektrik enerjisi miktarı görülmektedir [49]. Dünya 2,3x10⁷ GWh/yıl elektrik tüketimine sahiptir [49]. YGES santrali ile yıllık üretilen enerji miktarı karşılaştırıldığında Dünyanın elektrik ihtiyacının %11'ini karşıladığı görülmektedir.

Çizelge 1.3 : Dünyanın yüzer güneş enerji santrali potansiyeli [49].

KITA	REZERVUAR		YÜZER GES	YILLIK
	YÜZEY	REZERVUAR	POTANSİYELİ	ÜRETİM
	ALANI (km ²)	SAYISI	(GWp)	(GWh/Yıl)
AFRİKA	101,13	724	506	835,824
ORTA DOĞU VE				
ASYA	115,6	2,041	578	643,546
AVRUPA	20,434	1,082	102	97,868
KUZEY				
AMERİKA	126,017	2,248	630	704,076
AVUSTURALYA	4,911	254	25	33,565
GÜNEY				
AMERİKA	36,271	299	181	290,573
TOPLAM	404,43	6,648	2,023	2,605,542

Çizelge 1.3'te Orta Doğu, Asya, Afrika ve Kuzey Amerika kıtalarına bakıldığında yüzer güneş enerji santrali kurulum potansiyeli yüksek ülkelerdir. Kurulum için sadece %5'lik alanlarda hesaplama yapılmıştır. Rezervuarın kullanım durumuna göre bu rakam değişiklik göstermekte ve kurulu güç kapasitesi değişebilmektedir. Kıtalar arası yüzer güneş enerji santrali adımını Japonya atmıştır. İlk yüzer güneş santralini 2007 yılında Aichi'de inşa etmiştir [50]. Dünya üzerindeki en büyük 100 yüzer güneş santralinin 73'üne Japonya ev sahipliği yapmaktadır. Japonya diğer Asya ve Avrupa ülkeleri hızla takip etmektedir. Yüzer güneş enerji santrallerine Hindistan büyük bir miktarda yatırım yapmaktadır. 2018'de dünyanın en büyük yüzer güneş enerji santralini 150 MWp güç elektrik üretimine başlamıştır [50].

Dünya üzerinde yüzer güneş santrali için 2019-2020 yılları dönüm noktası olarak kabul ediliyor. Karasal sistemlerde 2000 yılı dönüm noktası olarak kabul edilmekte idi ve çok hızlı bir sıçrayış yaşayarak yenilenebilir enerji sektöründe iyi bir konuma yükselmiştir. Yüzer güneş enerji santrallerinin dünya üzerindeki kurulu gücüne bakıldığında 2019 senesi itibarıyla 1620 MW kurulu kapasiteye sahiptir [50]. Şekil 1.25'te yüzer güneş enerji santrali kurulu gücünün yıllık kurulan kapasite miktarı ve toplam kapasite görülmektedir.



Şekil 1.25 Yüzer güneş enerji santrali kurulu güç kapasitesi [50]

Yüzer güneş enerji santralleri hakkında yayınlanan raporlarda önümüzdeki beş yıl içerisinde %20 büyüyerek hızla gelişeceği tahmin edilmektedir [50].

1.20 Türkiye Yüzer Güneş Enerji Santrali Potansiyeli

Türkiye’de 595 adet baraj ve 45 adet göl bulunmaktadır [51]. Türkiye’de kullanılan barajların tiplerine ve kullanım alanlara bakıldığında yüzer güneş enerji santrali potansiyeline sulama amaçlı barajların uygun olduğu görülmektedir. Çizelge 1.4’te barajların rezervuar alanları, yüzer güneş enerji santrali kurulabilir alanı ve kapasite bilgileri verilmektedir.

Güneş enerji santrali pazarında 330 Wp’lik paneller kullanılarak 1 MW yüzer santral kurulumu gerçekleştirildiğinde 11.000-15.000 m² arasında bir alan gerekmektedir. Çizelge 1.4’te Türkiye’nin yüzer güneş enerji santrali potansiyeli görülmektedir.

Türkiye’nin barajlardaki YGES kapasitesi yüzey alanlarının %1’i alınarak hesaplandığında 15.764 MW kapasitesi olduğu bulunmuştur. Türkiye’nin ortalama güneşlenme süresi ile hesaplama yapıldığında 41,4 milyon MWh üretim potansiyeline sahiptir. 2019 yıllık elektrik üretim miktarına kıyasla %14,3’lük kısmını YGES ile karşılama potansiyeline sahiptir.

Çizelge 1.4 Türkiye yüzer güneş enerji santrali potansiyeli.

Baraj Tipi	Rezervuar Alanı (km ²)	Yüzer GES Kurulabilir Alan %1 (km ²)	Yüzer GES Kapasite (MW)
Hidroelektrik	1965	19,6	2235
İçme suyu	1290	12,9	1529
Sulama	10200	102	12000
Toplam	13455	134	15764

Türkiye yüzer güneş enerji potansiyeli olarak yeterli konumdadır. Güneş enerjisini farklı teknikler ile elde ederek enerjide dışa bağımlılığı azaltma ve elektrik arzını çeşitlendirmede büyük rol oynayacaktır. Türkiye bulunduğu orta doğu coğrafyasında gelecek olan su sorununa yüzer santraller ile etki edebilir. Yüzer güneş enerji santrallerinin buharlaşma ve su yaşamına etkilerine bakıldığında sistemlerin tercih edilmesine olanak sağlamaktadır.

Türkiye'nin yüzer güneş enerji santrali uygulamalarında birkaç örneği bulunmaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin kurduğu 240 kW güce sahip santral bulunmaktadır [52]. Baraj tipi güneş enerji santrali olarak Ekim 2014'te Mersin Azmak 2 Hidroelektrik Santraline 20 kW gücünde bir güneş enerji santrali kurulmuştur [52]. Şekil 1.26'da Büyükçekmece Gölü üzerine kurulan 240 kW gücünde yüzer güneş santrali görülmektedir.



Şekil 1.26 Yüzer güneş enerji santrali Büyükçekmece gölü [52]

Şekil 1.27’de Mersin ilindeki Azmak 2 Hidroelektrik Santrali üzerine 20 kW gücünde kurulu yüzer güneş paneli sistemi görülmektedir.



Şekil 1.27 Yüzer güneş santrali Azmak 2 Hidroelektrik Santrali [53]

1.21 Yüzer Güneş Enerji Santrali Maliyetleri

Güneş enerji sistemleri arazi, çatı veya yüzer şeklinde kullanıldığında ilk kurulum maliyetleri yüksek olmaktadır. Yüzer güneş enerji santralleri karşılaştırılma yapılabilmesi için arazi tipi güneş enerji santralleri ile kıyaslanmaktadır. Yapı ve malzeme olarak aralarında kullanım şartlarına bağlı olarak değişen ekipmanlar bulunmaktadır. Arazi tipi güneş enerji santralleri sabit ve kuru bir zemin üstüne kurulur iken yüzer güneş enerji santralleri esnek ve ıslak zemin üstünde yer almaktadır. Yüzer güneş enerji santrallerinde maliyetlerin biraz artmasına yol açmaktadır. Yapılan üretim çalışmaları taşıyıcı sistemlerin ve ekipmanların ıslak zemine karşı duyarlılığın arttırılması ile maliyetlerin düşmesi öngörülmektedir. Kurulum maliyetleri açısından YGES’ler için 0,8-1,2 USD/Wp uygun kabul edilmektedir [54]

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Yüzer Güneş Enerji Santrali Analizi

Santral kurulumu gerçekleştirilmeden önce gerekli fiyatlandırılma, konumlandırma ve teknik hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Bu analizlerin yapılması gerçeğe yakın simülasyon verileri ile mümkün olmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında PVsyst, PVGIS ve Google Sketchup programları kullanılarak gerçeğe en yakın simülasyon ve hesaplama teknikleri kullanılmıştır.

2.2 Güneş Enerjisi Analiz Yazılımı

PVsyst yazılımı FV sistemlerin kurulumu, teknik analizleri, simülasyon yapılmasına imkân vermektedir. Dünya çapında kabul gören sıklıkla tercih edilen programdır. Programın kendi içinde birçok bilgiye ulaşabilme ve parametre değişim seçenekleri bulunmaktadır. Simülasyon adımlarında elde edilen veriler sistem türleri, coğrafi konum, meteorolojik veriler, panel hareketleri, panel özellikleri, yıllık panel verim kaybı, solar çevirici özellikleri, modül bağlantı türleri, karbon salınımı, geri ödeme süresine sahip çok kapsamlı bir yazılımdır.

PVGIS programı tarayıcı üzerinden erişim ile kullanılabilen ve aynı zamanda Google Sketchup programında entegre olarak kullanılan bir programdır. PVsyst yazılımından daha kolay bir ara yüze sahiptir. Şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız, aylık, yıllık, saatlik radyasyon değerleri, yıllık meteorolojik verileri bizlere sunmaktadır. PVGIS programı Sketchup vb. programlar ile bir arada kullanıldığında 3 boyutlu simülasyon sonuçları elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Google Sketchup 3 boyutlu modelleme yapılabilen çok geniş kapsamlı bir programdır. Skecthup programına eklenilen Skelion uzantısı içinde olan kütüphane sayesinde istenilen boyutta ve özellikte güneş paneli seçilerek analiz yapılmasına olanak sağlamaktadır. Güneş panelleri ile 3 boyutlu modelleme, gölgelenme analizleri, en kötü gölgelenme senaryoları, gerekli mimari çizimler, coğrafi koşulları canlandırma imkânı sunmaktadır. Skelion programı gölgelenme analizi yaparak paneller arası en uygun mesafeyi bulmak konusunda PVGIS, PVsyst programlarından iyi bir özelliğe sahiptir. Skelion uzantısı PVGIS programının performans aracı yüzünü kullanarak hesaplamalar yapmaktadır. Skelion programında oluşturulan 3 boyutlu modelleme PVsyst programına aktarılarak gölgelenme analizi imkânı da sunmaktadır.

2.3 Güneş Enerji Santrali Kurulum Yönetmeliği

Yüzebilen FV sistem uygulamalarında teknik analiz çok önemlidir. Teknik analiz yapılmadan önce yerel mevzuatlara bakılmalıdır. 8 Mart 2020 tarihli Resmî Gazete’de yayınlanan Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliğinde değişikliğe giderek yüzer güneş santrali kurulumu yapılmasının önü açılmıştır.

- Yüzer güneş santralleri: Hidroelektrik üretim tesisleri kapsamında su üstüne kurulan güneş enerjisi ile elektrik üretimini kapsamaktadır.
- Birden fazla kaynak kullanarak elektrik üretimi yapılan tesislerde kullanılan ikinci kaynak ana kaynağın ünitesi gibi kabul edilir tek bir ön lisans ve lisans uygulamasına tabi tutulur.
- Üretim tesisin lisans tadili ile yardımcı kaynak eklemesi yapılabilecek. Lisans tadili koşullarında sadece yarışma şartı uygulanacak olup diğer tüm kriterler geçerli olacaktır.
 - Ön lisans sahasının dışına çıkılmaması
 - Tesisin kurulu gücünün değişmemesi
 - Tesisin bağlantı şekli, noktası ve gerilim seviyesi değişmemesi
 - Yardımcı kaynak için yapılan analizlerin Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılan teknik analizlere uygun olması
 - Rezervuar alanında minimum su kotu ile işletme kotu arasında kurulan ikinci kaynağın kabulü için Devlet Su İşleri ile kira sözleşmesi imzalanması gerekmektedir.
 - Yüzer güneş santralleri hidroelektrik santrallerinin dışında Devlet Su İşleri’nden izin alınarak sulama barajlarının üstüne kurulabilmektedir [55].

Bağlantı noktalarının şebeke tepkilerine vereceği yanıtlar Elektrik şebeke yönetmeliği kapsamında ek-18’de belirtilmektedir. Ek-18’de yönetmelik 4 adımda şebeke bağlantı noktasında dikkat edilmesi gereken noktaları göstermektedir [56].

- Üretim Tesislerinin Arıza Sonrası Sisteme Katkısı

Gerilim seviyelerinden bağlı olan sistemlerin şebekede arıza olması durumunda şebekede bağlı kalmaları gerekmektedir.

- Aktif Güç Kontrolü

Sistemler TEİAŞ tarafından izleme ile sinyal yollarılarak gücünün %20-100'ü arasında kontrol edilebilir. Şebeke kısıtlamaları acil durumlar veya benzeri durumlarda sistemin değerlerinin okunması sistemsel müdahalelerin yapılabilmesi için SCADA sistemin bölgedeki yük tevzi merkezi ile uyumlu olmak zorundadır [56].

- Frekans Tepkisi

Sistemlerde üretilen elektrik frekansı belirli bir seviyede olmak zorundadır. Çizelge 2.1'de frekans değerleri ve çalışma süreleri belirtilmektedir.

Çizelge 2.1 : FV sistemlerin frekans aralıklarındaki çalışma süresi [56].

Frekans	Çalışma Süresi
50,5 Hz<f<51,5 Hz	1 saat
49 Hz<f<50,5 Hz	Sürekli Çalışma
48,5 Hz<f<49 Hz	1 saat
48 Hz<f<48,5 Hz	20 dakika
47,5 Hz<f<48 Hz	10 dakika

- Reaktif Güç

Sistemlerin iletim veya dağıtım bağlantı noktasında belirtilen sınırlar dahilindeki reaktif güç değerleri her noktada sürekli devre olmak zorundadır. Sürekli güç üretiminde aktif güç sağlarken anma gücünün yarısına yakın reaktif gücü beraberinde vermektedir [56].

TEİAŞ ile yapılacak bağlantı aşamasında aşağıdaki bilgiler sunulmaktadır.

- MW toplam kurulu güç kapasitesi
- Panel sayısı, solar çevirici sayısı, solar çevirici teknik özellikleri
- Solar çevirici şebeke bağlantı projesi
- Güneş ışınlama bağlı olarak panellerin üretim değerleri
- Güneş paneli sistemin statik ve dinamik modelleri
- 1/25.000'lik coğrafi harita üzerinde sistemin çizimi ve koordinatları [56].

2.4 Bölge Seçimi

Yüzer güneş santralleri kurulumunda hidroelektrik barajları dışında sulama barajları da sıklıkla tercih edilmektedir. Sulama barajlarının santral için tercih edilmesindeki en büyük sebep buharlaşma kayıplarının önüne geçilmesi zemin yapılarının düz bir yapıya sahip olmasıdır. Yalova ilinde bulunan Gökçe Barajı buharlaşma miktarının azaltılması, zemin yapısının kaya tip dolgu yapıya sahip olması, gölgelenme açısından çevresinde bir yapı bulunmaması sebebiyle tercih edilmiştir.

Yüzer güneş santrallerinde kullanılacak olan ekipmanların iklim koşullarına uygun olmaması durumunda arızalar meydana gelmektedir. Yalova ili makro-klima tipi iklim türüne sahiptir. Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında değişen iklim türüne sahiptir. Yalova ili 1931-2019 arasında yıllık iklim değerleri çizelge 2.2’de görülmektedir [57]. Çizelge 2.2’deki en yüksek sıcaklık değeri panellerin verim düşüşünü engellemek amacıyla ekstra soğutma tekniklerinin kullanılması gerektiği ile ilgili bize bilgi vermektedir. En düşük sıcaklık değeri de kış aylarında panellerin üzerinde kar ve buz yükü birikerek düşen üretim miktarı ile ilgili bize bilgi vermektedir. Güneşlenme süresi YGES’in yıllık üretiminin hesaplanmasında ve panellerin kaç saat üretim yapabileceği konusunda bize bilgi vermektedir.

Çizelge 2.2 : Yalova ili iklim çizelgesi [57].

YALOVA	Yıllık Değer
Sıcaklık (°C)	14,6
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19
En Düşük Sıcaklık (°C)	10,4
Güneşlenme Süresi (saat)	57,1
Yağışlı Gün Sayısı (gün)	114
Yağış Miktarı (mm)	757,1

Yalova ilinin iklim özelliklerine çizelgesine bakıldığında YGES kurulumunda paneller için suyun serinletme etkisi dışında soğutma tekniği kullanılmasına gerek olmadığına, kış aylarında kar yağış miktarı ve sıcaklık düşüşüne bakıldığında ekstra bir koruma tekniğine ihtiyaç olmadığına karar verilmiştir. Güneşlenme süresi olarak ortalama bir değere sahiptir. Ekstra ekipman kullanımı olmaması ve iklim şartlarının ağır olmaması sebebiyle kurulum ve işletme açısından maliyetleri düşürmektedir.

2.5 Gökçe Barajı

Yalova ilinin Gökçedere mevkiinde 1980-1989 yılları arasında inşa edilmiştir. Kaya gövde tipi dolgu yapısına sahip bir barajdır. Bölgesel olarak bulunduğu çevrenin su ihtiyacını karşılamaktadır. Yalova bölgesi için birincil su ihtiyacı için önemli bir barajdır. Çizelge 2.3'te DSİ 1 bölge müdürlüğünden alınan bilgiler Gökçe Barajı'nın teknik özelliklerini göstermektedir [58].

Çizelge 2.3 : Gökçe Barajı teknik özellikleri [58].

Minimum Su Seviyesi (m)	43
Minimum Su Hacmi (hm ³)	1480
Minimum Rezervuar Alanı (km ²)	0.225
Normal Su Seviyesi (m)	79.50
Normal Su Hacmi (hm ³)	21.791
Normal Rezervuar Alanı (km ²)	1.207
Maksimum Su Seviyesi (m)	80
Maksimum Su Hacmi (hm ³)	22.306
Maksimum Rezervuar Alanı (km ²)	1.237
Yağış Alanı (km ²)	86.5
Dolu Savak Eşik Kotu (m)	72

2.6 Gökçe Barajı Yıllık Işınım Miktarı

PVSYST, PVGIS programı üzerinden yapılan analizlerde Yalova ilindeki Gökçe Barajı'nın yıllık ışınım miktarı 1300-1400 kWh/m²-yıl bulunmuştur. Çizelge 2.4'te Yalova ilinde bulunan Gökçe Barajı'nın yıllık ışınım miktarı tablosu görülmektedir.

Çizelge 2.4 : Yalova İli Gökçe Barajı yıllık ısıtım miktarı (kWh/m²-yıl)

Aylar	Isıtım Miktarı kWh/m ²
Ocak	43,0
Şubat	49,7
Mart	87,7
Nisan	136,1
Mayıs	164,5
Haziran	183,0
Temmuz	188,3
Ağustos	160,1
Eylül	111,7
Ekim	72,8
Kasım	60,5
Aralık	44,5
Toplam	1301,9 (kWh/m ² -yıl)

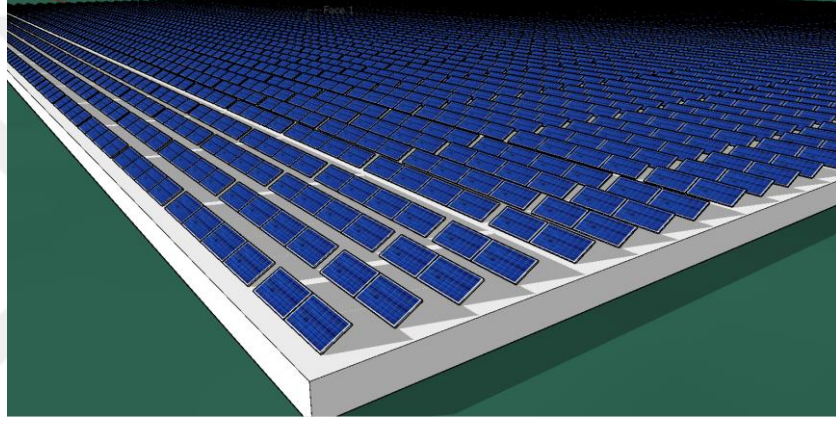
Gökçe Barajı'nın aylık olarak ısıtım miktarına bakıldığında yaz ayları özellikle temmuz ayı 188,3 kWh/m² ile en yüksek ısıtım değerine sahiptir. Gökçe Barajı 1301,9 kWh/m²-yıl ısıtım değerine sahiptir.

2.7 Gökçe Barajı Yüzer Güneş Santrali Potansiyeli

Gökçe Barajı üstüne yüzer güneş santrali kurulması için minimum su seviyesi ve zeminin bilinmesi önemli bir etkidir. Olabilecek ani değişimlerde sistemin zemine oturması parçalanması veya alttaki yapıya hasar vermesi söz konusudur. Sabitleme sisteminde su seviyesinin yıllık olarak azalma artma seviyesine göre ayar yapılmaktadır. Gökçe Barajı'nın konumu itibarı ile uzanan kolları bulunmaktadır. Bu kollarda su derinliği küresel ısınma ve su tüketiminin fazla olmasıyla mevsimsel olarak azalmaktadır. Bu durumlarda yüzer sistem zemine oturmakta olup gerekli açılma değerlerini yakalayamadığından verimli bir üretim yapamamaktadır. Şekil 2.1'de Skelion programı üzerinden yapılan analizlerde ve baraj kapaklarının bulunduğu bölge uygun nokta olarak belirlenmiştir. Şekil 2.1 de taralı bölge olarak gözükmekte olan kısım barajın YGES potansiyelini göstermektedir. Bölgenin tamamı güneş panelleri kaplıdır.



Şekil 2.1 Gökçe Barajı yüzer güneş santrali potansiyeli.



Şekil 2.2 Gökçe Barajı yüzer güneş santrali panel yerleşimi

Yüzer santral için seçilen bölge bütün yönlerden karaya 40 metre mesafededir. Kapladığı alan 300.056 m^2 'dir. Baraj alanının %24'lük kısmını kapsamaktadır. 66.560 adet 280 W'lık panel kullanılarak Skelion ve PVGIS programı ile yapılan analizlerde 18 MW güç kapasitesi olduğu hesaplanmıştır. Yıllık olarak 24.616 MWh elektrik üretimi potansiyeline sahiptir. Yalova ilinin yıllık olarak 790.500 MWh elektrik tüketimi bulunmaktadır [59]. Gökçe Barajı'nın yüzeyinin güneş panelleri ile kaplanması Yalova ilinin %3,11'lik elektrik ihtiyacını karşılayacaktır. Çizelge 2.5'te Yalova ili Gökçe Barajı'nın %24'lük kısmı kullanılarak elde edilen kurulu güç ve yıllık elektrik üretimi görülmektedir.

Çizelge 2.5 : Yalova Gökçe Barajı yüzer güneş santrali potansiyeli.

Güneş Paneli	Panel Sayısı	Panel Gücü (W)	Kurulu Güç (kW)	Üretilen Elektrik (kWh)	Yüzey Alanı (m ²)
ET-Solar	66560	280	18.636,80	24.616.817	300.056

2.8 Gökçe Barajı 2 MW Yüzer Güneş Santrali

Gökçe Barajı'nın üzerine alan tasarrufu sağlamak, elektrik tüketiminin bir kısmını yenilenebilir enerjiden karşılamak ve su buharlaşmasını engellemek amacıyla 2 MW yüzer güneş enerji santrali analizi yapılmıştır. 2 MW yüzer santral tasarımı 280 W güneş paneli, merkezi solar çevirici, plastik taşıyıcı blok ve köşk binası ekipmanlarından oluşmaktadır. Şekil 2.3'te Gökçe Barajı üzerine kurulan santralin modellenmesi görülmektedir.



Şekil 2.3 Gökçe Barajı 2 MW yüzer güneş santrali modellenmesi

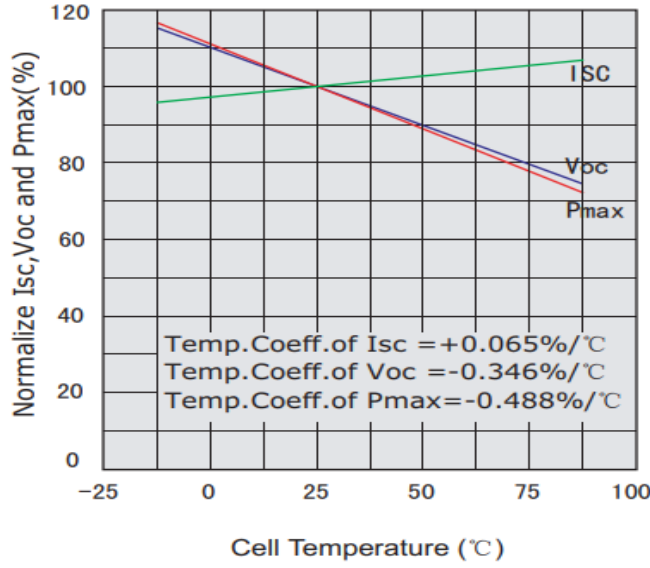
2.8.1 Güneş Paneli

Güneş paneli olarak ET Solar firmasına ait ET-P672 modeli 280 W gücünde panel kullanılmıştır. Çizelge 2.6'da ET-P672280 güneş panelinin özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.6 : ET Solar ET-P672280 Güneş paneli teknik özellikleri.

Teknik Özellikler	
Marka	ET Solar
Model	ET-P672
Hücre Sayısı	72 Hücre Seri
Tipi	Çoklu Kristal
Boyutlar	1956mm x 992mmx50mm
Ağırlık	23,0 kg
Garanti Süresi	25 Yıl
Elektriksel Özellikleri	
Güç	280 W
Anma Akımı Immp	7,63 A
Anma Voltajı Vmmp	36,72 V
Kısa Devre Akımı Isc (A)	7,98 A
Açık Devre Voltajı Voc (V)	43,78 V

ET-P672280 güneş paneli farklı ışıınım değerlerinde ve farklı hücre sıcaklıklarında akım, voltaj değerleri değişmekte buna bağlı olarak çıkış gücünde düşüşler meydana gelmektedir. Kısa devre akımı hücrenin bir derece sıcaklığının artışında %0,065 artarken açık devre voltajı %0,346 ve çıkış gücü %0,488 düşmektedir. Sıcaklığın kısa devre akımı, açık devre voltajı ve çıkış gücüne etkisini gösteren grafik Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4 Sıcaklığın akım voltaj ve çıkış gücü üzerindeki etkisi

2.8.1.1 Yüzer güneş enerji santrali sıcaklık ile verim artışı

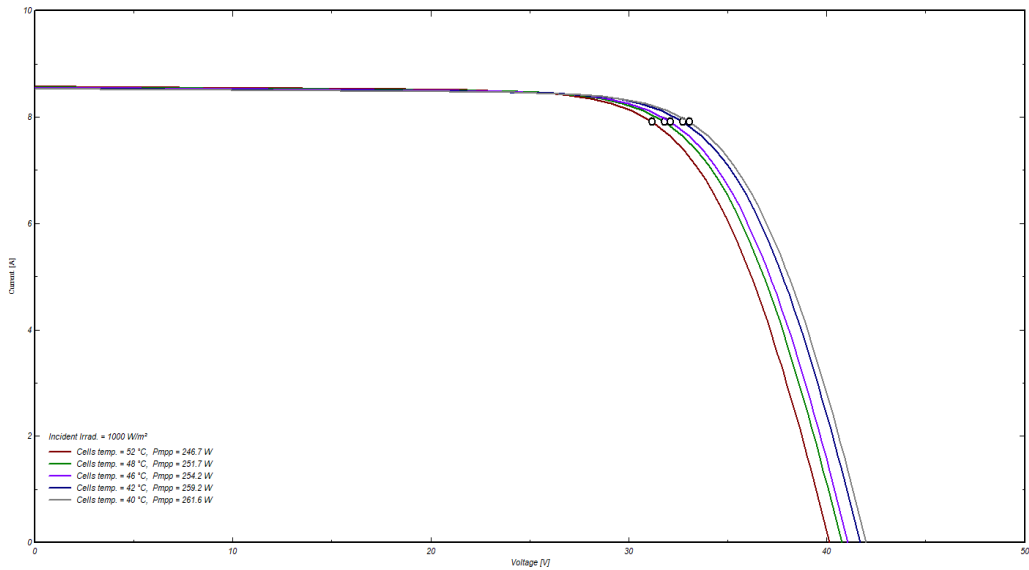
Sıcaklığın artması ile yarı iletkenlerde bant aralığı enerjisi azalmaktadır. Bant aralığı enerjisinin azalmasıyla yarı iletken daha fazla foton absorbe etmektedir. Absorbe edilen foton miktarına bağlı olarak daha fazla akım ortaya çıkmaktadır. Sıcaklık ile gücün değişimini incelediğimiz için açık devre gerilimindeki değişim miktarı da dikkate alınmaktadır. Açık devre gerilimi formülüne bakıldığında kısa devre akımı sıcaklık ile artmaktadır. Ancak saturasyon veya sızıntı akımı (I_0) sıcaklık ile büyük ölçüde değişmektedir. Bunun sebebi I_0 akımı formülünde bulunan asal taşıyıcı yoğunluğuna (n_i) bağlıdır. Asal taşıyıcı yoğunluğunu sıcaklığın artması ile artış göstermektedir. Artış formülde kare ifadesi ile çözümlendiğinde kısa devre akımına kıyasla saturasyon akımı çok daha fazla artış gösterecek açık devre voltajında büyük bir düşüş meydana gelecektir. Güç ifadesinde kısa devre akımının artışının açık devre geriliminin düşüşünün yanında çok küçük olması sebebiyle çıkış gücü düşüş göstermektedir (**Denk 2.1-2.2**).

$$V_{oc} = \left(\frac{nkt}{q}\right) \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1\right) \quad (2.1)$$

$$I_0 = qA \left(\frac{D_n}{L_n} \frac{n_i^2}{N_A} + \frac{D_p}{L_p} \frac{n_i^2}{N_D} \right) \quad (2.2)$$

Sıcaklığın panel gücündeki bu değişimi göz önüne alındığında santrallerin çok sıcak bölgelerde ekstra soğutma sistemleri kullanması gerekebilmektedir. Karasal GES ile YGES karşılaştırıldığında suyun yaptığı serinletme etkisi hücre sıcaklığını önemli ölçüde düşürmektedir.

Karasal tip güneş santrallerinde kullanılan paneller 1000 W/m^2 ışıyım 25°C sıcaklık altında hücre sıcaklığı $50\text{-}54^\circ\text{C}$ arasında olmaktadır. Yüzer güneş santrallerinde kullanılan paneller 1000 W/m^2 ışıyım 25°C sıcaklık altında hücre sıcaklığı $40\text{-}44^\circ\text{C}$ arasında olmaktadır. 52°C hücre sıcaklığında karasal sistemin çıkış gücü $246,7 \text{ W}$ iken aynı panel yüzer sistemde kullanıldığında hücre sıcaklığı 40°C 'ye kadar düşmüş çıkış gücü $261,6 \text{ W}$ 'a çıkmıştır. ET-P672280 güneş panelini sıcaklık güç eğrisini karasal ve yüzer sistemler için karşılaştırdığımızda Gökçe Barajı yüzer güneş santrali aynı koşullarda karada kurulan santrallere göre %6 daha yüksek panel verimine sahiptir. Şekil 2.5'te hücre sıcaklığının panelin farklı kullanımlarda çıkış gücüne etkisi görülmektedir.



Şekil 2.5 Sıcaklığın karasal ve yüzer sistemler ile karşılaştırılması

2.8.2 Solar Çevirici

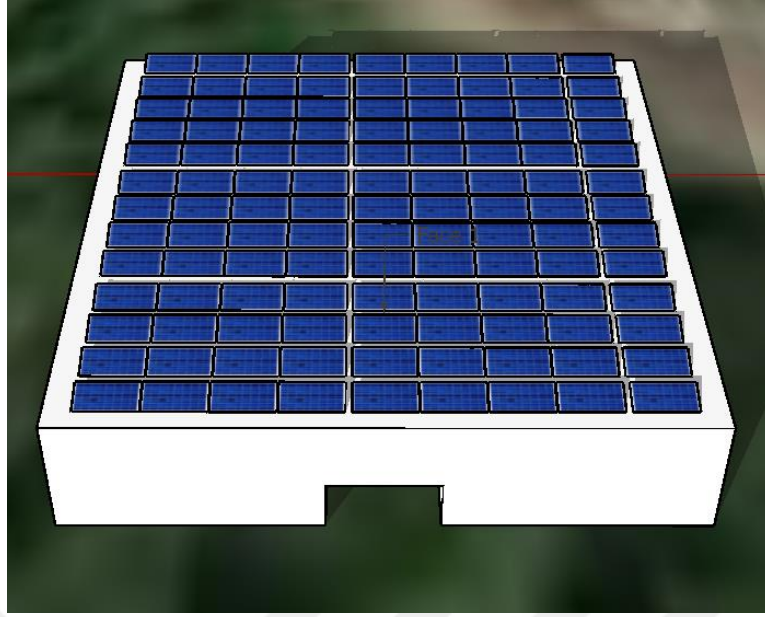
Gökçe Barajı 2 MW yüzer güneş enerji santrali tasarımı Advanced Energy firmasına ait AE-500 NX-HE modeli merkezi solar çevirici kullanılmıştır. Çizelge 2.7'de 500 NX-HE modelinin teknik özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.7 : AE-500-NX-HE Teknik özellikleri.

Teknik Özellikler	
DC Giriş	
Dizi yapılandırması	600 VDC dizeli ayrılabilir çift diziler
Maksimum Giriş Akımı	750 ADC
MPPT Voltaj Aralığı	600 Voc maksimum 330 -550 Vmp
Açık Devre Gerilimi	425 VDC
AC Çıkış	
Çıkış Gücü	500 kW 480 VAC
Voltaj Aralığı	480 VAC %10
Bağlantı Noktası	3 FAZ, Wye bağlantı
Maksimum Akım	667 Arms
Kısa Devre Arıza Akımı	667 Arms, 16 ms 432 VAC
Frekans	50 Hz
Verim	
Tepe Verimliliği	98,70%
Ağırlıklı Verimlilik	98%
Bekleme Kayıpları	<100 W
Çevresel Etki	
Çalışma Sıcaklığı	-20 C ile 50 C
Bekleme Sıcaklığı	-35 C ile 50 C

2.9 Köşk Binası

2 MW gücünde yüzer güneş santrali için 4 adet 500 kW merkezi solar çevirici kullanılmıştır. Merkezi solar çeviricinin boyutu, ağırlığı su ile olan teması göz önüne alındığında karada oluşturulacak köşk binasına konumlandırılması tercih edilmiştir. Köşk binasının iç ihtiyacı, izleme sistemi göz önünde bulundurularak köşk binasının çatısı da güneş panelleri ile kaplanmıştır. Köşk binası 20 m x 20 m x 4 m ölçülerinde tasarlanmıştır. Çatı 30 derecelik açı baz alınarak oluşturulmuştur. Köşk binasının çatısında 280 W gücünde 117 panel ile 32.76 kW solar sistem oluşturulmuştur. Şekil 2.6'da 2 MW yüzer güneş enerji santralinin köşk binası görülmektedir.



Şekil 2.6 Köşk binası.

Köşk binası 2 MW yüzer santralin arka cephesindeki burna yerleştirilmiştir. Yerleşim biçiminin arka tarafta olması güneş panelleri üzerinde herhangi bir gölgelenme etkisi yaratmamaktadır. Şekil 2.7’de köşk binasının Gökçe Barajı üzerindeki yerleşimi görülmektedir.

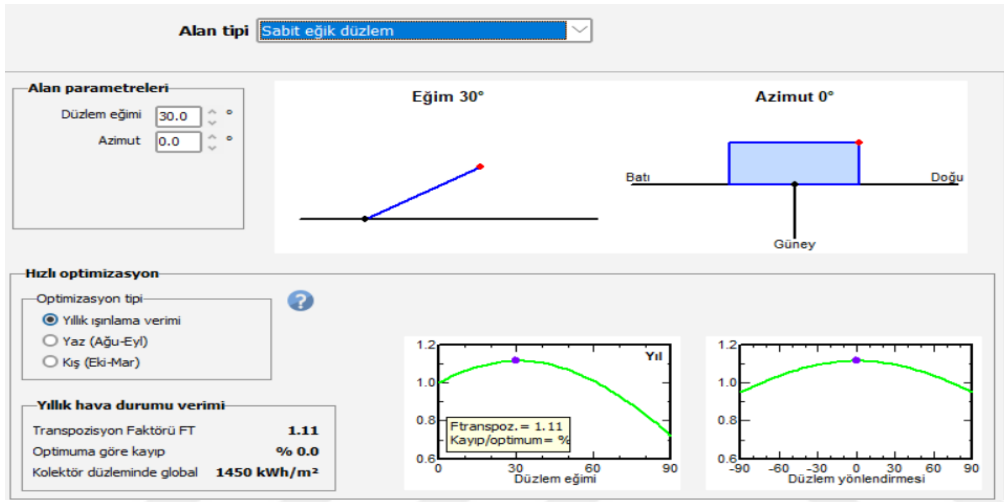


Şekil 2.7 Köşk binası uzaktan yerleşimi.

2.10 Düzlem Açısı

Belirlenen açı değeri panellerin zemin üzerine yerleşimde kullanılmaktadır. Yalova ilinde bulunan Gökçe Barajı’nın konum bilgilerine bağlı olarak düzlem açısı 30

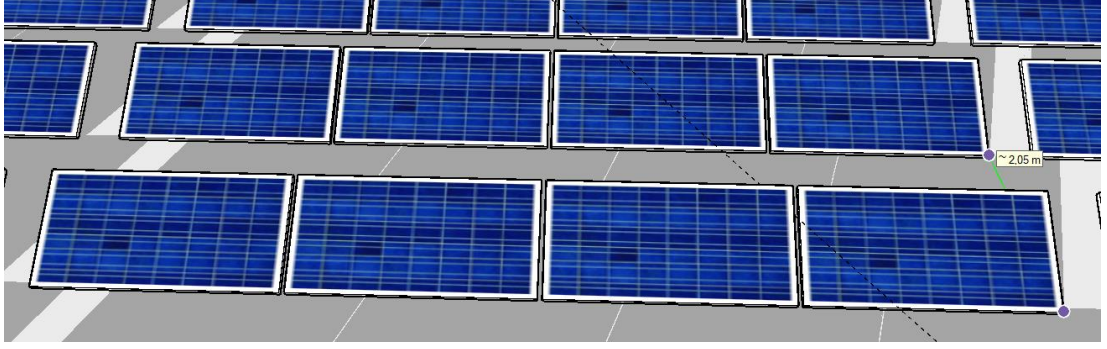
derecedir. Düzlem açısı 30 derece alındığında optimuma göre kayıp değeri %0'dır. Güneş enerji santralleri güney cephesini direkt görme şartına göre kurulum yapılmaktadır. Bazı durumlar güney cephesinde engel oluşturmakta ve farklı cephelere yönelim gerçekleştirilmektedir. Cephelere yönelim ufuk açısı ile tahin edilmektedir. Ufuk açısı yüzer güneş enerji santrallerinde güney cephenin kapalı olmaması sebebiyle 0 derece kabul edilmektedir. 2 MW yüzer güneş enerji santral tasarımında güney yönlü yerleşim yapılmakta olup azimut açısı 0 derece olarak alınmıştır. Şekil 2.8'de PVsyst programında zeminin panel ile yaptığı açının seçimi görülmektedir.



Şekil 2.8 Düzlem açısı.

2.11 Panel Yerleşimi

Panel yerleşimi yapılırken panellerde meydana gelebilecek problemlere müdahale etme, kurulum aşamasındaki zorlukların önüne geçilmesi, fazla ısınmadan dolayı birbirlerini etkilememesi gibi unsurlar göz önünde bulundurulmuştur. Paneller düzleme yatay olarak 4'lü gruplar halinde yerleştirilmiştir. Her bir panel arasında 4 cm boşluk, 4'lü gruplar arasında 40 cm boşluk bırakılmıştır. Bırakılan bu boşluk sayesinde paneller arasında hava sirkülasyonu sağlanmamaktadır. Panellerin birbirlerinin gölgelenme etkisini azaltmak için gölgenin en eğik hali 21.12 tarihi baz alınmıştır. 21 Aralık tarihi baz alınarak paneller arasındaki saha mesafesi 2,05 metre alınmıştır. Saha mesafenin 2,05 metre olmasının sebebi panellerin gölgelenme etkisi ile oluşabilecek performans düşüşlerini en aza indirmek içindir. Şekil 2.9'da paneller arası saha mesafesi görülmektedir.

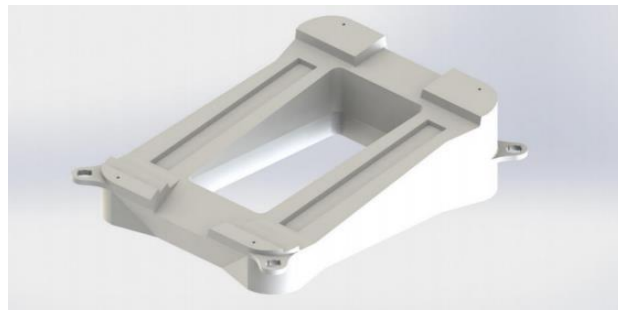


Şekil 2.9 Güneş panelleri arası saha mesafesi.

Paneller arasındaki saha mesafesi yerleşimi dikkate alınarak hesaplama yapıldığında 2 MW yüzer santral için 32.201 m² alan gereklidir.

2.12 Yüzdürücü Plastik Blok

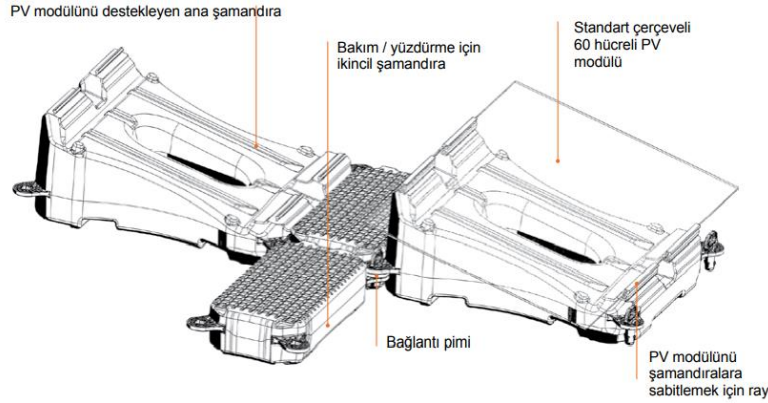
Plastik bloklar günümüzde yüzer güneş enerji santralleri ve deniz faaliyetlerinde çokça kullanılmaktadır. Yüzer güneş santrallerinde kullanılan plastik bloklar tasarım olarak özel bir yapıya sahiptir. Tasarım aşamasında bu husus dikkate alınmaz ise panellerin verimini arttırmak için verilmesi gereken açı değerini oluşturmak problem oluşturmaktadır. Problemin önüne geçmek için gerekli açı değerinin saha üzerinde analizi yapılarak tasarım yapılmalı veya gerekli plastik blok parçaları ile açı değeri yakalanmalıdır. Sistemde analiz yapılırken maliyet, ağırlık, panellerin soğutulması için eğimli plastik blok aralarında boşluk bırakılmaktadır. Gökçe Barajı için kurulacak sistemde paneller yüzey ile 30 derece açı oluşturulacak şekilde analiz yapılmıştır. Şekil 2.10’da eğim açısına sahip plastik blok yapısı görülmektedir.



Şekil 2.10 Eğim açısına sahip plastik blok

Eğim açısına sahip bloklar panellerin arka yüzeylerine monte edilmektedir. Yüzer santrallerde oluşabilecek arıza bakım ve kurulum sırasında su yüzeyinde işlem yapılabilmesi için eğim açısına sahip olmayan plastik bloklar kullanılmaktadır. Şekil

2.11’de eğimli plastik bloklar ile eğimsiz plastik bloklardan meydana getirilmiş yüzer güneş enerji santrali zemin yapısı görülmektedir.



Şekil 2.11 Yüzer FV sistem tasarımı

Taşıyıcı blok sistem fiyatlandırması özel tasarım gerektiren durumlar haricinde \$/Wp 0,12-0,19 aralığında bir fiyata sahiptir. Kullanım ömrü 25-30 sene arasındadır. Gökçe Barajı için 7224 adet 30 derece eğim açısına sahip plastik blok 56.000 adet düz plastik blok gerekmektedir. Şekil 2.12’de plastik bloklar ile oluşturulan sistemin özeti görülmektedir.

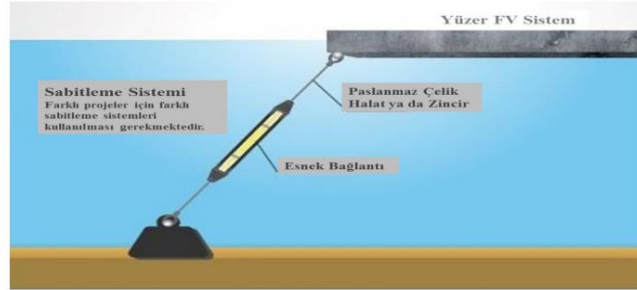


Şekil 2.12 Plastik blok sistem özeti

2.13 Plastik Blok Sabitleme Sistemi

Sabitlenme sistemi baraj, havza, açık deniz veya göletlerde oluşabilecek dalgalanma, ani su baskınları, fırtına vb. olaylardan etkilenmemek için yapılmaktadır. Sistem gemilerin karaya yanaştıklarından ya da denizlerde açık noktalarda durmaları için kullandıkları çapa atma sistemi ile benzerlik göstermektedir. Plastik blokların ucuna bağlanan bir yükün veya demir blokların su altına salınarak hareketin engellenmesi prensibine dayanır. Sistem tasarımında esnek bağlantı kullanımı tercih edilmektedir.

Gökçe Barajı'nın yıllık su buharlaşması ve su miktarının azalması incelendiğinde esnek bağlantı sistemin kurulmasına karar verilmiştir. Şekil 2.13'te ayarlanabilir su altı sabitleme sistemi görülmektedir.



Şekil 2.13 Su altı sabitleme sistemi.

2.14 Sistem Özeti

Gökçe Barajı üzerine 2 MW gücünde kurulan yüzer güneş enerji santralinin sistem özeti çizelge 2.8'de görülmektedir.

Çizelge 2.8 : 2 MW Gücünde yüzer güneş santrali sistem özeti

Sistem Özeti	
Modül Sayısı (Adet)	7224
Yüzey Alanı (m ²)	32201
Plastik Blok 30 derece (Adet)	7224
Plastik Blok Düz (Adet)	56000
Solar Çevirici Sayısı (Adet)	4
PV nominal Gücü (kWp)	1999
Maksimum PV Gücü (kWDC)	1885
Nominal AC Gücü (kWAC)	2000
Seri Modül Sayısı	24
Zincir Sayısı	298

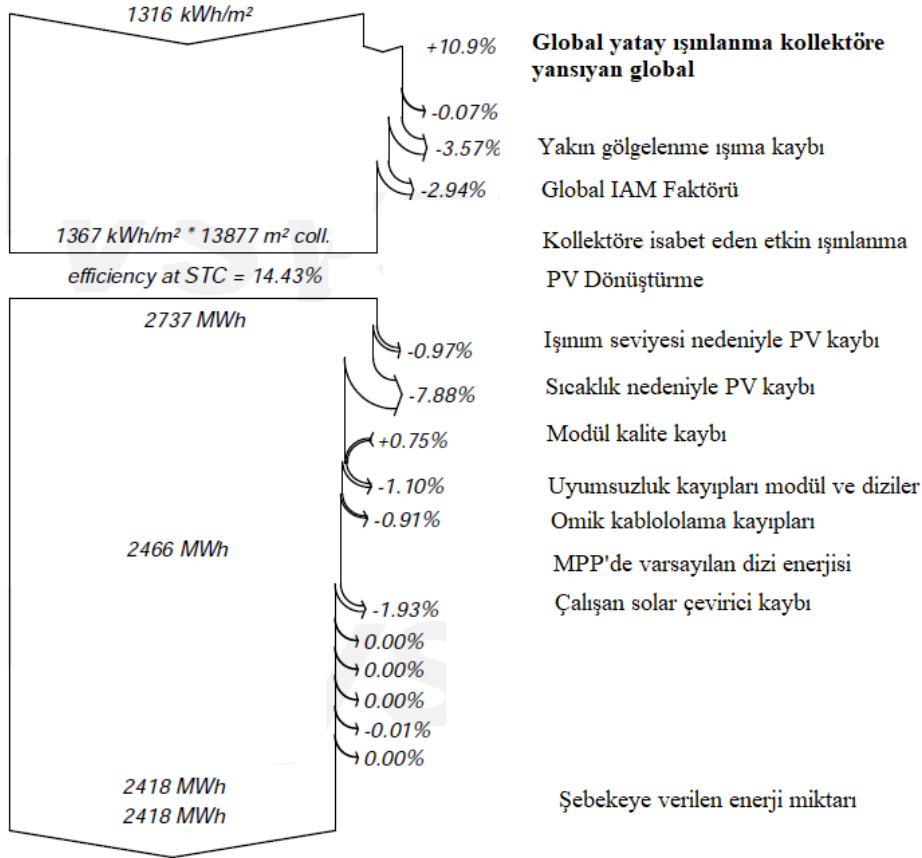


3. TARTIŞMA VE SONUÇ

3.1 Sistem Performansı

PVSyst, PVGIS ve Skelion programlarında yapılan analizler şu an için karasal güneş santralleri ile ilgili hesaplamalar yapılmasına izin vermektedir. Yüzer güneş santrallerinde suyun serinletme etkisinin panel performansını yükseltmesi analiz programları tarafından hesaba katılmamaktadır. Hücrenin sıcaklığının düşmesi ile panel performansı üsteki bölümlerde bahsedildiği üzere %6 artış göstermektedir. Bu bölümde performans oranı analizi karasal sistemlerde meydana gelen kayıplar üzerinden analiz edilmiştir.

Santral için kullanılan panellerde global yatay ışınlama 1316 kWh/m^2 değere sahiptir. Kollektör üzerine çevrenin etkisi ile yansıyan ışınlama miktarı %10,9 artış sağlarken geliş açısı değiştirici IAM faktörü ve gölgelenme etkisi %6,57 ışınlamanın düşüşüne yol açmaktadır. Kollektör üzerine isabet eden net ışınlama değeri 1381 kWh/m^2 değerine ulaşmaktadır. Yüzey alanı, isabet eden net ışınlama değeri ve panelin STK koşullarında verim değeri çarpıldığında 2737 MWh üretime sahiptir. Işınlama seviyesi nedeniyle %0,97, sıcaklık nedeniyle %7,88, uyumsuzluk nedeniyle %1,10, kablolama nedeniyle %0,91 ve çalışan solar çevirici nedeniyle %1,93 kayıp oluşmaktadır. 2737 MWh üretim kayıpların etkisiyle 2418 MWh değerine düşmektedir. Şekil 3.1’te santral için kayıplar diyagramı görülmektedir.

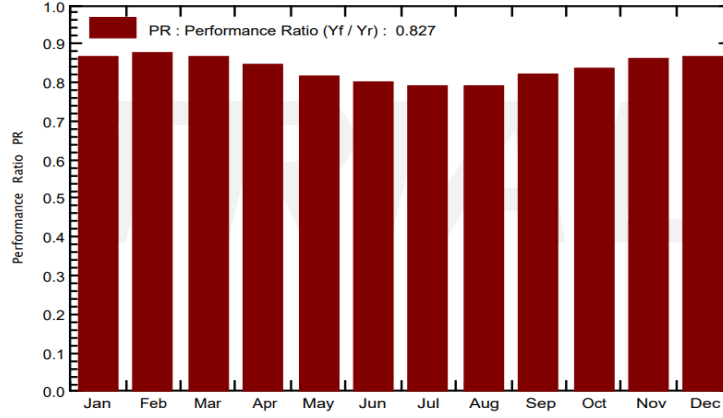


Şekil 3.1 Kayıplar diyagramı

Kayıplar göz önüne alındığında üretim miktarına bağlı olarak performans oranı analizi yapılmaktadır. Gerçekleşen üretim miktarının beklenen üretime oranıdır.

Beklenen üretim: Işınım miktarı x Panel Yüzeyi x Panel Verimliliği

2 MW gücündeki santralin performans oranı PVsyst programında yapılan analizlerde 0,827 olarak bulunmuştur. %82,7 verim açısından kabul edilebilecek bir değerdir. Performans oranının %100 olmamasının sebebi panellerin, solar çeviricilerin kendi içlerinde kayıplarının olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.2'te PVsyst programından elde edilen PR grafiği görülmektedir. Performans oranının yapılan analizlerde yaz aylarında düşük olmasının sebebi sıcaklık etkisi ile panel performansının düşmesinden kaynaklanmaktadır.

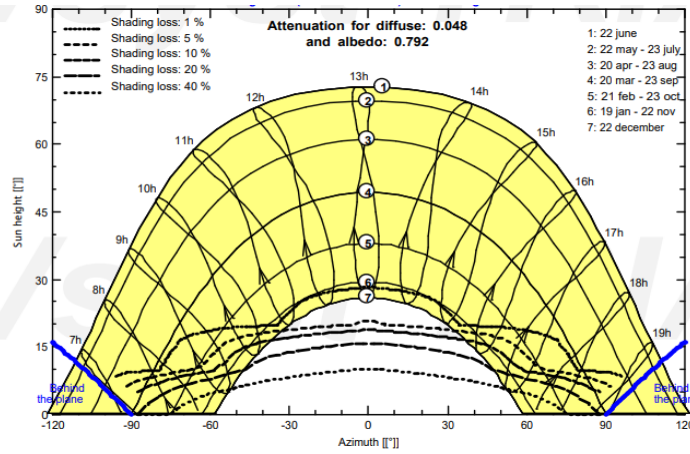


Şekil 3.2 Performans oranı PVsyst grafiği.

3.2 Gölgeleme

Güneş panelleri genellikle toprak ve çatı zeminleri üzerine uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalar hesaplamalara dayanmakta ve birçok parametre hesaba katılmaktadır. Bu parametrelerin en başında gölgeleme ve kirlilik gelmektedir. Gölgeleme etkisi panel veya panellerin ışığının bir nesne veya etki ile kapatılması durumunda güç dengesini değiştirmek şeklinde tanımlanabilmektedir. Çatı uygulamalarında sıkça rastlanan bir durumdur. Güneş santrallerinde bu durum panellerin birbirlerini gölgelemesi şeklinde olmaktadır. Bunun önüne geçilmesi için belirli aralıklar ile panel dizimi ve çevredeki yapıların kurulum yapılacak bölgeye gölge yapıp yapmadığı iyi bir şekilde etüt edilerek proje hazırlanmaktadır. Yüzer güneş enerji santrallerinde panellerin güneşin açısına bağlı olarak yaptığı gölgeleme etkisi dışında farklı bir gölgeleme çeşidine maruz kalmamaktadır. Gökçe Barajı için PVsyst programından elde edilen analizlerde gölgeleme güneşin doğuşu batışı sırasında oluşmaktadır. Yüzer güneş santrali uygulamalarında zeminin yapısının esnek olması karasal sistemlerde kullanılan eksenli güneş takip sistemi uygulamalarına olanak tanımamaktadır. Eksen takipli sistemlerde gölgeleme kaybı en aza indirilmektedir. Bu sebeple yüzer güneş santrali uygulamalarında güneşin doğuşu ve batışında oluşan kayıplar göz ardı edilmektedir. Şekil 3.3'te gölgeleme faktörü grafiği görülmektedir. Grafiğe bakıldığında gölgeleme etkisi tüm gün boyunca %1 güneşin tam tepede olduğu seviyelerde daha düşük seyretmektedir. Sabah güneşin doğumu ve akşam güneşin batışı esnasında karanlık olması sebebiyle gölgeleme kaybı %20 seviyelerine çıkmaktadır. Güneş enerji santrallerinde 10.30-15.30 arasında gölgeleme kayıplarının en az olması sistem dizaynının verimli olduğunu

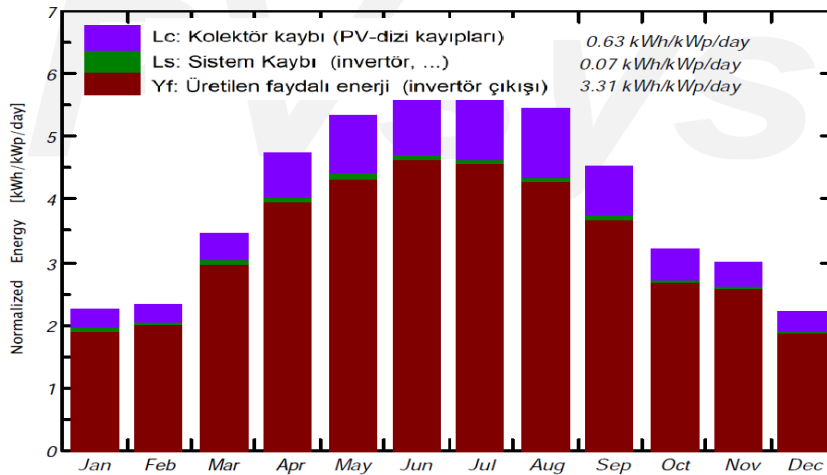
göstermektedir. Grafiğe bakıldığında 10.30-15.30 arasında gölgelenme kaybı %1'den bile düşüktür.



Şekil 3.3 PVsyst gölgelenme faktörü grafiği.

3.3 Normalize Üretim ve Kayıplar

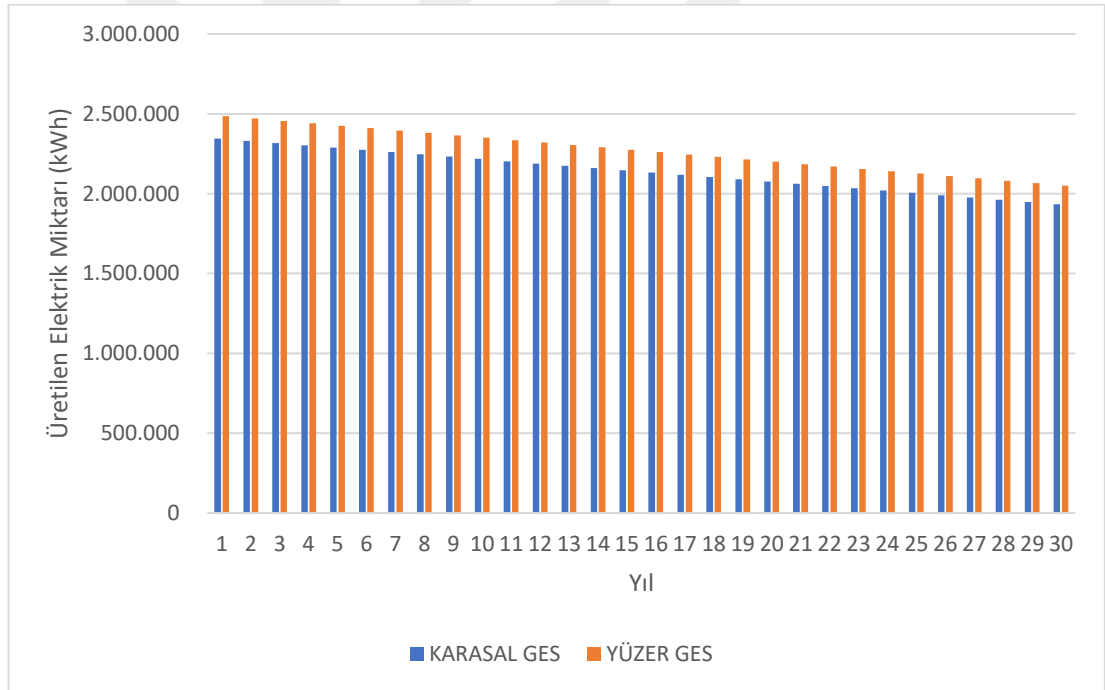
2 MW santral tasarımında kurulu tüm güneş santrallerinde olduğu gibi kayıplar mevcuttur. Bu kayıpların başında sıcaklığa bağlı olarak panel kayıpları ve kablolama iletim kayıpları gelmektedir. PVsyst programında yapılan analizlerde PV dizi kayıpları 0.63 kWh/kWp/gün, sistem kayıpları (solar çevirici, kablolama iletim,) 0.07 kWh/kWp/gün, üretilen faydalı enerjide 3.31 kWh/kWp/gün olarak bulunmuştur. Haziran, temmuz, ağustos aylarında fazlalaşan kayıpların en büyük sebebi sıcaklık ile panel verimlerinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.4'te normalize üretimin kayıplar ile karşılaştırılmasının grafiği görülmektedir.



Şekil 3.4 Normalize üretim ve kayıplar

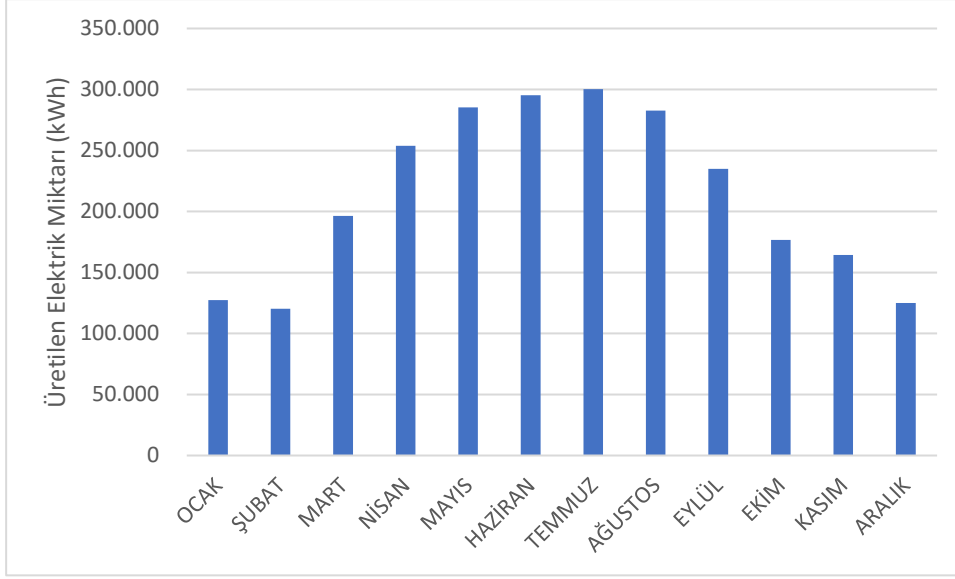
3.4 Üretim ve Ekonomik Analiz

Yüzer güneş santrallerinin elektrik üretimi konusunda karasal güneş enerji santrallerinden daha verimli olduğu önceki bölümde bahsedilmiştir. Sabit ışınlım ve sıcaklık altında yüzer güneş enerji santrallerinde kullanılan panellerin verimleri PVsyst ve teknik özellik grafikleri ile bakıldığında %6 oranında güç çıkışında artış görülmüştür. Güç çıkışındaki artış suyun serinletme etkisi sebebiyle hücre sıcaklığının düşmesine bağlıdır. 2 MW gücündeki aynı koordinatlara sahip karasal güneş enerji santrali yıllık 2417 MWh elektrik üretim kapasitesine sahipken, yüzer güneş enerji santrali 2562 MWh elektrik üretim kapasitesine sahiptir. Yüzer santral kurulumu yapılarak yıllık 145 MWh üretim arttırılmaktadır. Şekil 3.5'te panel verimlilikleri ve kayıplar hesaba katılarak yapılan hesaplamalarda 2 MW gücünde karasal güneş enerji santralleri ile 2 MW gücünde yüzer güneş santrallerinin yıllık üretim miktarı görülmektedir.



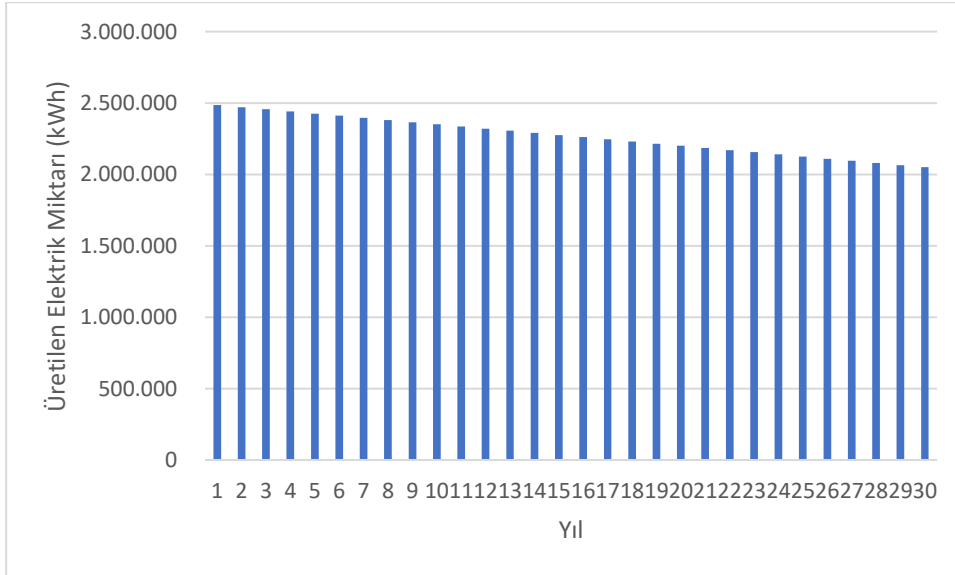
Şekil 3.5 Karasal GES- YGES yıllık elektrik üretim miktarı.

Simülasyon programları ve hesaplamalar ile elde edilen verilerle yıllık olarak 2 MW'lık yüzer güneş santrali 2562 MWh elektrik üretim kapasitesine sahiptir. Yalova ilinin yıllık elektrik tüketimi 790.500 MWh'tir [60]. 2 MW gücündeki yüzer güneş santrali Yalova ilinin elektrik ihtiyacının %0.32'lik kısmını karşılama kapasitesine sahiptir. Şekil 3.6' da 2 MW gücünde yüzer güneş enerji santralinin aylara göre elektrik enerjisi üretim miktarı görülmektedir.



Şekil 3.6 Gökçe Barajı aylık üretilen elektrik miktarı.

Yıllık üretilen elektrik miktarı panel ve solar çeviricilerin performans kaybı ile doğru orantılı olarak azalmaktadır. Paneller için üretici firmanın verdiği lineer performans garantisi göz önüne %97 ile başlayarak 30 sene sonunda %80'lere kadar gerileyen bir düşüş olmaktadır. 2562 MWh'lık ilk yıl üretimi 30 sene sonunda 2050 MWh değerine düşmektedir. Şekil 3.7'de 2 MW yüzer güneş enerji santralının 30 sene sonundaki yıllık performans düşüşü grafiği görülmektedir.



Şekil 3.7 Yıllık performans düşüşü.

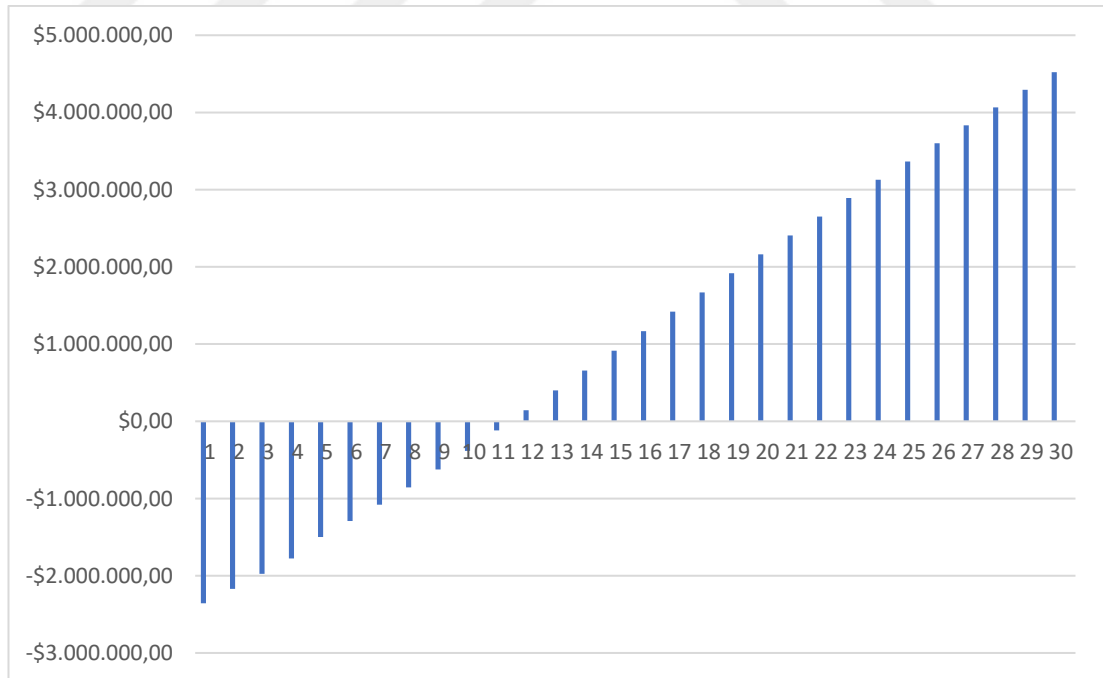
Üretilen enerji miktarına bağlı olarak EPDK tarafından belirlenen 0,133 \$/kWh alım garantisi bulunmaktadır. Kurulum maliyetleri yıllık bakım giderleri hesaba katıldığında 2 MW gücünde yüzer güneş santralının 2.536.960 \$ maliyeti

bulunmaktadır. Çizelge 3.1’de 2 MW yüzer güneş enerji santrali maliyet listesi görülmektedir.

Çizelge 3.1 : Gökçe Barajı 2 MW yüzer güneş enerji santrali maliyet listesi.

Malzeme Listesi	Adedi	Fiyatı
ET-P672280W panel	7224	\$ 1.878.240
Soloron 500/E	4	\$ 476.840
Taşıyıcı Blok Sistem	0,19 \$/W	\$ 13.300
Kurulum Maliyeti		\$ 167.500
Toplam		\$ 2.536.960

2 MW gücünde yüzer güneş enerji santralinin geri ödeme süresi hesabı yapıldığında on iki sene sonunda sistemin kendini ödediği görülmektedir. Sistemin kurulumu için \$2.536.960 banka kredisi kullanılmıştır. Kredi için 10 sene vade %4 faiz oranı uygulanmıştır [61]. Şekil 3.8’de sistemin kendini geri ödeme süresi ve bu süre sonunda elde edilen kar görülmektedir. Ek A.2’de Pvsyst programı ile elde edilen ekonomik analiz sonuçları görülmektedir.



Şekil 3.8 Geri ödeme süresi.

Sistem için maliyet göz önüne alındığında \$2.536.960 2 MW santral kurulum analizi yapılmıştır. Yüzer santralin Wp başına birim maliyeti 1,26 \$'dır. 1,26 \$/Wp Dünya Bankası araştırmalarına göre kabul edilen bir rakamdır.

3.5 Buharlaşma Miktarı

Dünyanın %74'ü sularla kaplıdır. Su miktarının çoğunluğunu deniz suları oluşturmaktadır. Ancak deniz suyunun formu insani kullanım açısından birtakım işlemlere tabi tutulduktan sonra kullanıma uygun hale gelmektedir. Deniz suyunun tatlı su kullanımına uygun hale gelmesi günümüz teknolojisi ile pahalı bir yöntem olduğu için pek tercih edilmemektedir. Su kaynaklarını kendi içinde incelendiğinde %2,5'luk kısmı insanlığın kullanımına uygun tatlı su formundadır [62]. Tatlı su kullanımı insanlık için giderek artan bir sorun haline gelmektedir. Giderek artan nüfus, bilinçsiz su kullanımı ve coğrafi koşullar sebebiyle su kaynakları tükenmekte geleceğin en büyük sorunlarının başında yer almaktadır. Su krizinin çözülmesi için su kaynaklarının korunması, buharlaşma kayıplarının önüne geçilmesi, bilinçli tüketim ile önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Dünya üzerindeki tatlı su krizini belirlemek için oluşturulmuş indeksler bizlere yardımcı olmaktadır. Yaşadığımız bölgenin su indekslerine göre planlar oluşturularak su krizini en aza indirmek mümkündür.

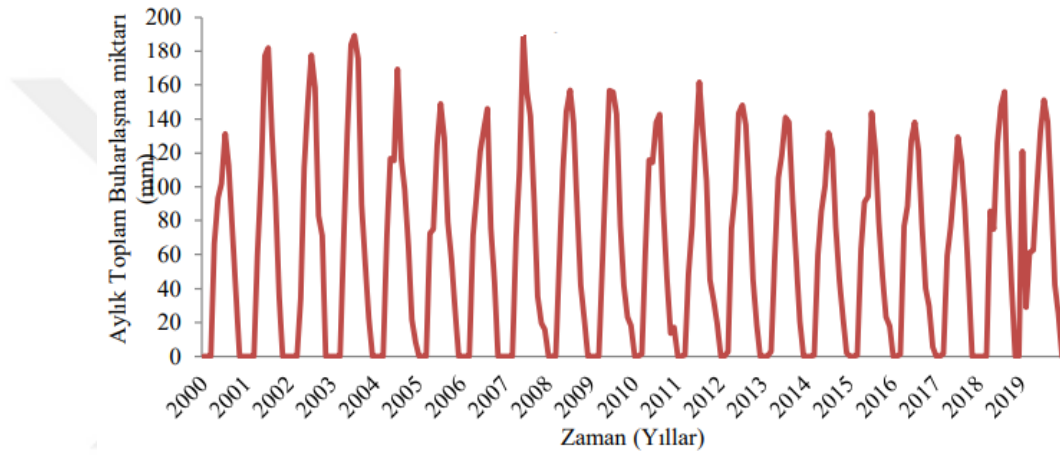
Türkiye yıllık aldığı yağış miktarı ile dünya ortalamasının altında kalmaktadır. 643 mm ortalama yağış miktarı 501 milyar m³ suya denk gelmektedir. 501 milyar m³ suyun 274 milyar m³'ü atmosferde buharlaşırken 69 milyar m³'ü kayıplar ile yeraltına sızmaktadır. Yıllık yüzeysel akış, dış ülkelerden alınan su miktarları, yeraltı suları hesaba katıldığında Türkiye'nin net su potansiyeli 112 milyar m³'tür [62].

Türkiye bulunduğu konum itibari ile 3 tarafı denizlerle çevrili bir ülke olmasına rağmen dünya tarafından kabul gören Falkenmark gösterge sınıfında su stresi bulunan ülkeler sınıfındadır [63]. Su stresini kıtlık derecesine ulaşmadan alınabilecek tedbirlerin en başında büyük ölçekli tedbirler gelmektedir. Bulunan rezervuar ve göllerin yüzeylelerinin gölge topları veya yüzer güneş santralleri kaplanması kayıp kaçaklar için hatlarının yenilenmesi alınabilecek büyük ölçekli tedbirlerin başında gelmektedir.

Türkiye'de göller ve rezervuarlardan yıllık 274 milyar m³ suyun buharlaştığı raporlar ile ortaya konulmaktadır [63]. Yüzer güneş santrali kurulumu yapılarak hem elektrik üretimine katkı sağlanması ve buharlaşma miktarının azaltılması hedeflenmektedir.

Yüzer güneş santralleri kurulduğu yüzeylerde doğal su ve göletlerde %33, yapay olarak oluşturulmuş baraj ve rezervuarlarda %50 oranında buharlaşmanın önüne geçilmektedir [64].

Marmara Bölgesi'nde bulunan Gökçe Barajı Yalova ilinin temiz su ihtiyacını karşılamakta ve Selimandıra Deresi'nden beslenmektedir. Gökçe Barajı üzerine 2 MW gücünde yüzer güneş santrali kurulum analizi yapılarak yıllık buharlaşmanın azaltılarak elektrik üretimine katkı yapılması hedeflenmektedir. Şekil 3.9'da DSİ 1 Bölge Müdürlüğü tarafından alınan Yalova Gökçe Barajı buharlaşma seviyesini gösteren grafik görülmektedir [65].



Şekil 3.9 Yalova Gökçe Barajı yıllık buharlaşma miktarı [64]

Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü'nden alınan veriler yıllık buharlaşma miktarının 1028 mm olduğunu göstermektedir. Yapılan ölçümler buharlaşma tavaşından elde edilen değerlerdir. Çizelge 3.2'de 2019 yılı aylık buharlaşma miktarları görülmektedir.

Çizelge 3.2 : Gökçe Barajı aylık buharlaşma miktarı [65].

AYLAR	SICAKLIK (°C)	BUHARLAŞMA MİKTARI (mm)
OCAK	6,4	48
ŞUBAT	6,9	11
MART	8,3	40,2
NİSAN	12,2	74,1
MAYIS	16,7	147,8
HAZİRAN	21,1	170,1
TEMMUZ	23,4	200,8
AĞUSTOS	23,4	168,8
EYLÜL	20	110,7
EKİM	16	52,3
KASIM	12	2,5
ARALIK	8,6	2,1
TOPLAM	14,6	1.028,40

Çizelge 3.2’den elde edilen bilgiler en fazla buharlaşma miktarının yaz aylarında olduğunu göstermektedir.

Gölün yıllık buharlaşma miktarı hesabı;

$$\text{Yıllık Buharlaşma seviyesi(mm)} * \text{Rezervuar alanı (m}^2\text{)} = \text{Yıllık Buharlaşma (m}^3\text{)}$$

Yüzer Güneş Enerji Santrali Buharlaşma hesabı;

$$\text{Yıllık Buharlaşma seviyesi (mm)/2} * \text{Yüzer GES Alanı (m}^2\text{)} = \text{Yıllık Buharlaşma (m}^3\text{)}$$

Gökçe Barajı 1.207 km² normal rezervuar alanına sahip rezervuar alanından yıllık olarak buharlaşan su miktarı 1.306.068 m³ tür. 2 MW gücünde yüzer güneş enerji santrali 32.201 m² kurulum alanına sahiptir. Yıllık buharlaşma miktarına bakıldığında 16.558 m³ buharlaşmanın önüne geçmektedir. Yıllık olarak %1,26 oranında buharlaşmanın önüne geçilmektedir.

Dünyada kişi başına su tüketimi yılda 800 m³ civarındadır [66]. YGES ile önüne geçilen buharlaşma seviyesi sayesinde yirmi kişinin yıllık su ihtiyacı geri kazanılmaktadır.

3.6 Karbon salınımı

Fosil yakıtlarının fazlaca kullanımı sonucunda iklim değışikliğı, küresel ısınma ve karbon salınımı gibi birbirleri ile bağılı çevresel etkenler meydana gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kaynakları bakıldığında elektrik üretim kapasitelerine oranla karbon salınımları çok daha düşüktür. Çizelge 3.3'te enerji kaynaklarının 1 GWh üretimine karşılık gelen karbon salınımı tablosu görülmektedir.

Çizelge 3.3 : Enerji Kaynaklarına Göre CO₂ Salınımı [67].

Kaynak	Karbon salınımı (Ton-CO ₂ /GWh)
Doğalgaz	499
Linyit	1054
Taş kömürü	888
İthal kömür	888
Fuel-oil	733
Nükleer	66
Hidroelektrik	26
Rüzgâr	10
Jeotermal	38
Biyokütle	26
Güneş	23

Fosil kaynaklarının azalması sebebiyle 2 MW gücünde kurulu güneş santralinin 2 MW gücünde kömür santraline oranla karbon salınımı hesabı yapılmıştır.

- 2 MW Kömür Santrali

2 MWe (megawatt- elektrik) kömür santrali, kömürün enerji içeriğı 30 MJ/kg, elektrik enerjisi dönüştürme verimliliğı %40 olan bir santral yıllık 3.083 ton karbon dioksit salınımı yapmaktadır. 30 yıl faaliyet gösterdiği dikkate alındığında 92.505 ton karbon salınımı yapmaktadır.

- 2 MW Yüzer Güneş Enerji Santrali

Güneş panellerinin üretim bandı dışında kullanılan enerji hariç GWh başına 23 Ton - CO₂ salınımı yapmaktadır. Yüzer güneş enerji santrali yıllık olarak 54 ton, 30 yıl sonunda 1.552 ton karbon salınımı yapacağı öngörülmektedir.

Kömür santrali ile yüzer güneş enerji santralleri karşılaştırıldığında yüzer güneş santralleri kömürden çıkan karbondioksit miktarının %0,74 lük kısmını oluşturmakta 30 yılın sonunda bile kömür santralinden çıkan bir yıllık değere ulaşamamaktadır.

3.7 Yüzer ve Karasal Güneş Enerji Santrali Karşılaştırılması

Yüzer ve karasal güneş enerji santrallerinin birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Avantaj ve dezavantajları 9 başlık altında incelenmektedir.

- **Yüzey Kullanımı**

Yüzer güneş enerji santrallerinde kullanıma açık alanların kapanması söz konusu değildir. Alan tasarrufu sağlamaktadır.

Karasal güneş enerji santrallerinde sistemin büyüklüğüne bağlı olarak alan işgal etmektedir. Şebeke noktasına uzak olması durumunda ekstra maliyet gerektirir. Arazi fiyatları değişkenlik göstermektedir.

- **Verim**

Yüzer güneş enerji santrallerinde su yüzeyinden etkileşim ile %6 verim artışı göstermektedir. Gölgeleme etkisi çok düşük veya yoktur. Kirlenme oranı diğer sistemlere düşüktür. Eksen takip sistemine uygun yapıya sahip değildir.

Karasal güneş enerji sistemlerinde sıcaklığın artışına bağlı olarak düşük panel performansı vardır. Eksen takip sistemine elverişli kurulum imkânı bulunmaktadır.

- **Kurulum**

Yüzer güneş enerji sistemlerinde panel montajı kolaydır. Yüzdürücü sistemin suya indirilmesi zor olmaktadır. Su yüzeyinde herhangi bir çalışma yapılmasına gerek yoktur. Sabitleme sistemi montajı maliyetli olmaktadır.

Karasal güneş enerji sistemlerinde panel montajı kolaydır. Taşıyıcı sistemin kurulumu zor olmaktadır. Arazi koşullarını uygun hale getirmek için çalışma yapılması gerekmektedir.

- **Şebeke Bağlantı Noktası**

Yüzer güneş enerji santrallerinde hidroelektrik ve baraj rezervuar kurulumlarında entegre bağlantı kullanılırsa ekstra maliyet söz konusu değildir. Entegre bağlantı olmadığı durumlarda elektriğin iletilmesi maliyetli olmaktadır.

Karasal güneş enerji santralleri arazi seçimine bağlı olarak yüksek entegrasyon maliyeti çıkmaktadır.

- Bakım

Yüzer güneş enerji santrallerinde su yüzeyine erişim ve parça değişimi kısıtlıdır. Kış aylarında bakım faaliyetlerinin yürütülmesi zordur. Sabitleme sistemlerinde gelebilecek problemlerin giderilmesi oldukça zordur. Su yüzeyinde bulunması ve kurulum sahasının güvenlik avantajından faydalanarak ekstra güvenlik gerektirmez.

Karasal güneş enerji santrallerinde kolay erişim ve parça değişim imkanına sahiptir. Bakım faaliyetleri kolay şekilde yürütülmektedir. Bakım maliyetleri yüzer sistemlere göre daha ucuzdur.

- Çevre Etkisi

Yüzer güneş enerji santrallerinde su kalitesi ve ekolojik denge için uzun vadeli net bir araştırma yapılmamıştır. Alg büyümesini kısa vadede azaltmaktadır. Suyun buharlaşma hızını düşürmektedir. Ekolojik denge üzerinde etkisi mevcuttur.

Karasal güneş enerji sistemlerinde habitat kaybı ve parçalanmalar olmaktadır. İnşaat faaliyetleri sırasında olumsuz etkiler meydana gelmektedir.

- Dayanıklılık

Yüzer güneş enerji santrallerinde korozyona karşı dayanıklı ürünler kullanılmak zorundadır. En düşük IP sınıfı 65 olmak zorundadır. Taşıyıcı sistem revizyonları gerekmektedir.

Karasal güneş enerji santrallerinde 20 yıl ve üzeri dayanıklı sistem bileşenlerinden meydana gelmektedir. Kolay bozulmayan bir yapıya sahiptir.

- Maliyet

Yüzer güneş enerji santrallerinde ek ekipmanlar gerektirdiğinden pahalı bir kurulum gerektirmektedir. Kurulum sırasında ekstra güvenlik önlemleri maliyeti arttırmaktadır.

Özel üretim taşıyıcı sistemi maliyeti arttırmaktadır. Yeni bir sistem olduğu için yatırım ve finansman destekleri yoktur.

Karasal güneş enerji santrallerinde arazi kurulumlarının yaygınlaşması ve tecrübeli kurulum maliyeti aşağı çekmektedir. Yatırım ve finansman destekleri almaktadır.

3.8 Sonuç

Dünyadaki önemli enerji kaynaklarından biri güneştir. Güneş'in radyasyon enerjisi, dünya üzerindeki fiziksel oluşumları etkileyen ana enerji kaynağıdır. Günümüzde fosil yakıtlara ek olarak kullanılmaktadır. Fosil yakıtların giderek azaldığını gösteren çalışmalar ışığında güneş en büyük enerji kaynağı haline gelmektedir. Dünyaya yansıyan güneş radyasyonu tespit edilen fosil yakıtların 160 katıdır. Güneş enerjisinin kullanım alanları giderek artmakta ve farklı yöntemler ile sistemlere entegre olmaktadır. Sıkça güneş enerji santrallerinin kara ve çatı sistemlerine konumlandırılarak kullanımları görmektedir. Kara ve çatı sistemleri sistemin gelişim evresinde çok büyük rol oynamış ve hala devam etmektedir.

Türkiye'nin yüzer güneş enerji santrali potansiyeline bakıldığında barajların %1'lik alan için 15.764 MW kurulu güç kapasitesine sahiptir. %1'lik değer kurulum için minimum olarak alınmış bir değerdir. Türkiye'nin denizler ile çevrili olduğu düşünüldüğünde yüzer santral ile dışa bağımlılık çok büyük ölçüde azaltılacaktır.

Çizelge 2.2'de Yalova ilinin iklim koşullarının sert bir yapıya sahip olmadığını bize göstermektedir. İklim koşullarının çok sıcak veya çok soğuk olması malzemelerin yapılarında kalıcı hasarlar doğurabilmektedir. Yalova ilinde bulunan Gökçe Barajı üzerine 2 MW yüzer güneş enerji santrali analizinde kullanılacak malzemeler iklimin sert bir yapıya sahip olmaması sebebiyle ekstra maliyet getirmemektedir.

Çizelge 2.4 Yalova ilinin global radyasyon değerleri hakkında bilgi vermektedir. Analiz programlarından elde edilen veriler Yalova bölgesinin 1301 kWh/m²-yıl global radyasyon değerine sahip olduğunu göstermektedir. Gökçe Barajı'nın tatlı su ihtiyacını karşılamak için kullanımında buharlaşmanın önüne geçmek ve elektrik üretimine yenilebilir enerji kaynakları ile destek olmak amacıyla yüzer santral kurulumunun analizi yapılmıştır.

Çizelge 2.5 Gökçe Barajı'nın yüzer güneş enerji santrali potansiyeli hakkında bilgi vermektedir. Gökçe Barajı'nın su seviyesinin sabit olduğu kısımlar ele alındığında

300.056 m²'lik alan içerisinde 18 MW kapasiteye sahip yüzer güneş enerji santrali kurulabilmektedir. Yıllık olarak 24.616.817 MWh üretim yapabilme potansiyeline sahiptir.

Şekil 3.5 2 MW yüzer güneş santrali ile karasal güneş santralinin üretim miktarını göstermektedir. Yüzer santral yıllık olarak 2562 MWh üretim kapasitesine sahipken karasal santral 2417 MWh üretim kapasitesine sahiptir. Panellerin serinletme etkisi ile %6 verim artışının olmasıyla yıllık olarak 145 MWh elektrik üretimine katkı sağladığı bulunmuştur.

Çizelge 3.1'de yüzer güneş enerji santrali kurulumunun maliyetini göstermektedir. Kurulum aşamasında gerekli etüt çalışmaları kurulum giderleri ekstra ekipmanların ihtiyacı kurulum maliyeti altında incelenmiştir. Karasal sisteme kıyasla metal veya alüminyum taşıyıcı sistem yerine kullanılan plastik taşıyıcı bloklar kullanılmış ve maliyeti taşıyıcı sistem olarak belirtilmiştir. Bakım maliyetleri karasal sistemlere göre daha yüksek ve zorlu koşullar gerektirmektedir. Genel olarak kurulum bedeline bakıldığında 2.536.960 \$ maliyeti bulunmaktadır. 1,26 \$/Wp kurulum maliyetine sahiptir.

Çizelge 3.2'de Yalova ili Gökçe Barajı'nın yıllık buharlaşma verilerini göstermektedir. Buharlaşmanın önüne geçebilmek yapılan çalışmalar tek başına yapıldığında geri ödeme sürelerinin uzun oluşu ve çevresel atıklar meydana getirmektedir. Buharlaşmanın önüne geçmek için gölge topları kullanılmakta ancak maliyetinin yüksek olması sebebiyle her zaman tercih edilmemektedir. Gökçe Barajı üstüne 2 MW gücünde yüzer güneş enerji santrali kurulumu elektrik üretimine destek olurken aynı zamanda buharlaşmanın da önüne geçmektedir. Yalova ili Gökçe Barajı üstüne 2 MW gücünde yüzer güneş enerji santrali 32.201 m² kurulu alana sahiptir. Yıllık olarak 16.558 m³ suyun buharlaşmasını engellemektedir.

Çizelge 3.3'te elektrik üretiminde kullanılan kaynakların karbon salınım değerlerini göstermektedir. Güneş santrali ile bir kömür santrali ele alındığında 30 sene çalışma koşullarında güneş enerji santralinin karbon salınımı 1552 ton olurken kömür santrali 92.505 ton karbon salınımı yapmaktadır. Doğanın kirletilmesi sera etkisinin azaltılması gereken dünyada güneş enerji santrallerinin yenilenebilir kaynakların kullanımı çok doğru olmaktadır. Yalova ili Gökçe Barajı 2 MW yüzer güneş santrali 30 yıl sonunda kömür santralinin %0,74'ü kadar karbon salınımı gerçekleştirmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] J. Figueroa, T. Fout, S. Plasynski, H. McIlvired, R. Srivastava, Advances in CO₂ capture technology—The U.S. Department of Energy’s Carbon, Int. J. Greenh. Gas Control 2 (2008) 9–20.
- [2] Varınca, K. B., Varank, G., 2005. Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, İçel, 24–25 Haziran.
- [3] İEA Yenilenebilir Enerji Bildirisi <https://www.iea.org/reports/renewables>, 2021.
- [4] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Güneş Raporu, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, 2021.
- [5] Planlama Raporu, DSİ 1. Bölge Müdürlüğü, Duaçınarı, Ankara Yolu Cad., No:221 16260, Yıldırım, Bursa
- [6] Luyao Liua, Qinxing Wang, Power Generation Efficiency and Prospects of Floating Photovoltaic Systems (2017)
- [7] Y. Ueda, T. Sakurai, S. Tatebe, A. Itoh, K. Kurokawa, “Performance Analysis of PV System on the Water”, Proceedings of the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Valencia, Spain, 2008, Pgs. 2670- 2673.
- [8] Smyth M, Russell J, Milanowski T, Solar Energy in the Winemaking Industry. Springer, 2011
- [9] R. Cazzaniga, M. Rosa-Clot, P. Rosa-Clot and G. M. Tina, “Floating tracking cooling concentrating (FTCC) systems,” 2012 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Austin, TX, 2012, pp. 000514-000519.
- [10] Kim Trapani, Dean L. Millar, Helen C.M. Smith, Novel offshore application of photovoltaics in comparison to conventional marine renewable energy technologies, Renewable Energy, 2013 Volume 50,
- [11] Choi, Young-Kwan, Nam-Hyung Lee and Kern-Joong Kim, “Empirical Research on the efficiency of Floating PV systems compared with Overland PV Systems.” 2013
- [12] Kim Trapani, Dean L. Millar, The thin film flexible floating PV (T3F-PV) array: The concept and development of the prototype, Renewable Energy, 2014 Volume 71, Pages 43-50,
- [13] TEIXEIRA, L. E., CAUX, J., BELUCO, A., BERTOLDO, I., LOUZADA, J. A. S. & EIFLER, R. C, Feasibility Study of a Hydro PV Hybrid System Operating at a

Dam for Water Supply in Southern Brazil Journal of Power Energy Engineering, 2015 3,70-83.

[14] Marc Perez, Richard Perez, Craig R. Ferguson, James Schlemmer, Deploying effectively dispatchable PV on reservoirs: Comparing floating PV to other renewable technologies, Solar Energy, 2018 Volume 174,

[15] Marco Rosa-Clot, Giuseppe Marco Tina, Sandro Nizetic, Floating photovoltaic plants and wastewater basins: an Australian project, Energy Procedia, 2017 Volume 134,

[16] Hamid M. Pouran, From collapsed coal mines to floating solar farms, why China's new power stations matter, Energy Policy, 2018 Volume 123, Pages 414-420,

[17] Enerji ve Tabi Kaynaklar Güneş Raporu, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, 2021.

[18] E. Becquerel, Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires. Comptes Rendus 9, (Issue date: 7 May 1935) (1839) pp 561-567.

[19] D.C. Brock, Useless no more, ed. by K. Gordon Teal, Germanium, and Single-Crystal Transistors. Chemical Heritage Newsmagazine (Chemical Heritage Foundation, Spring) 2006 vol. 24, no. 1.

[20] History of Solar Cell Development Lewis M. Fraas.

[21] İrena İstatistik Zaman Verileri, <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series>, 2021.

[22] İEA Yenilenebilir Enerji Bildirisi, <https://www.iea.org/reports/renewables>, 2020.

[23] Enerji ve Tabi Kaynaklar Güneş Raporu, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, 2021.

[24] Teiaş Üretim İstatistikleri, <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>, 2021.

[25] EPDK Üretim Raporu, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-92/elektriklisanssiz-uretim>, 2021.

[26] Evaluation and optimization of off-grid and on-grid photovoltaic power system for typical household electrification qusay Hassan, 2021.

[27] Güneş enerjisinden yararlanarak elektrik üretimi Ahmet çitiroğlu, 2000.

[28] Galatasaray Üniversitesi Ders Notu, hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/band.html#c5, 2021.

[29] NREL verimlilik, <https://www.nrel.gov/news/press/2020/nrel-six-junction-solar-cell-sets-two-world-records-for-efficiency.html>, 2021.

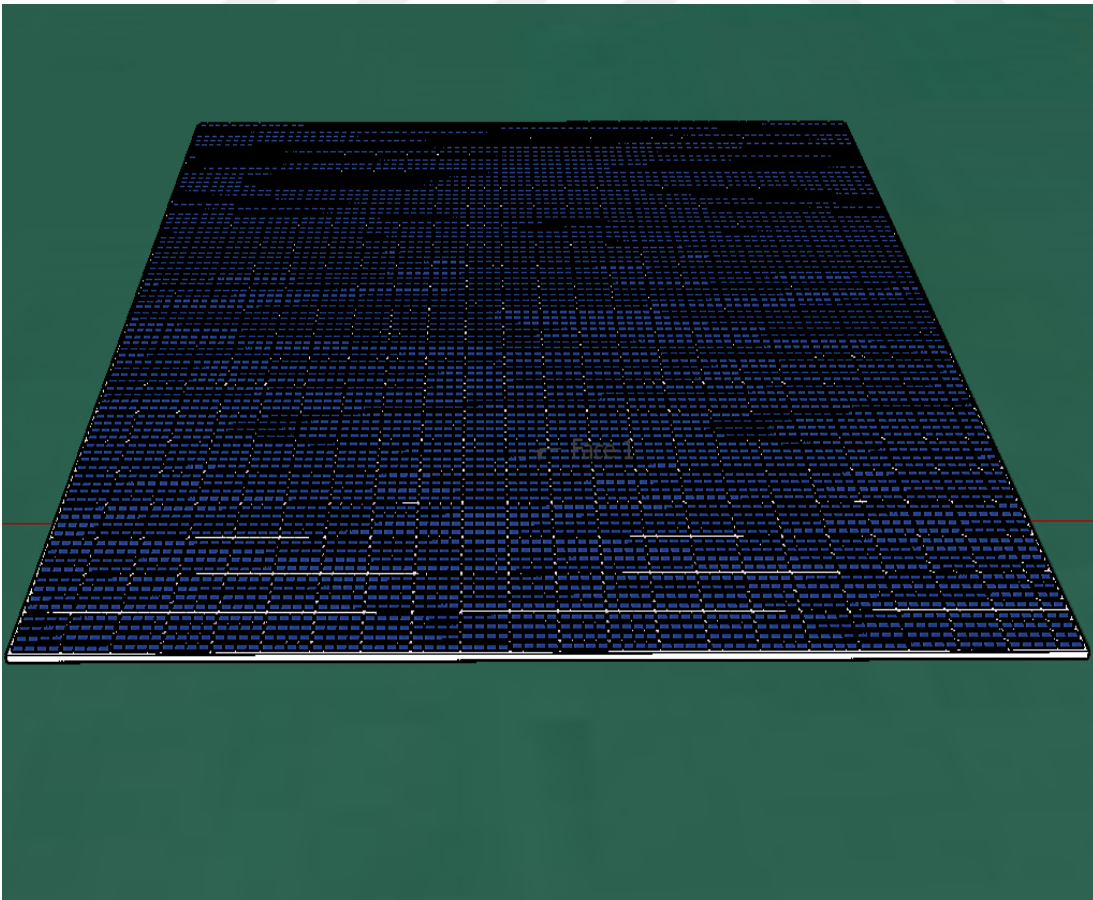
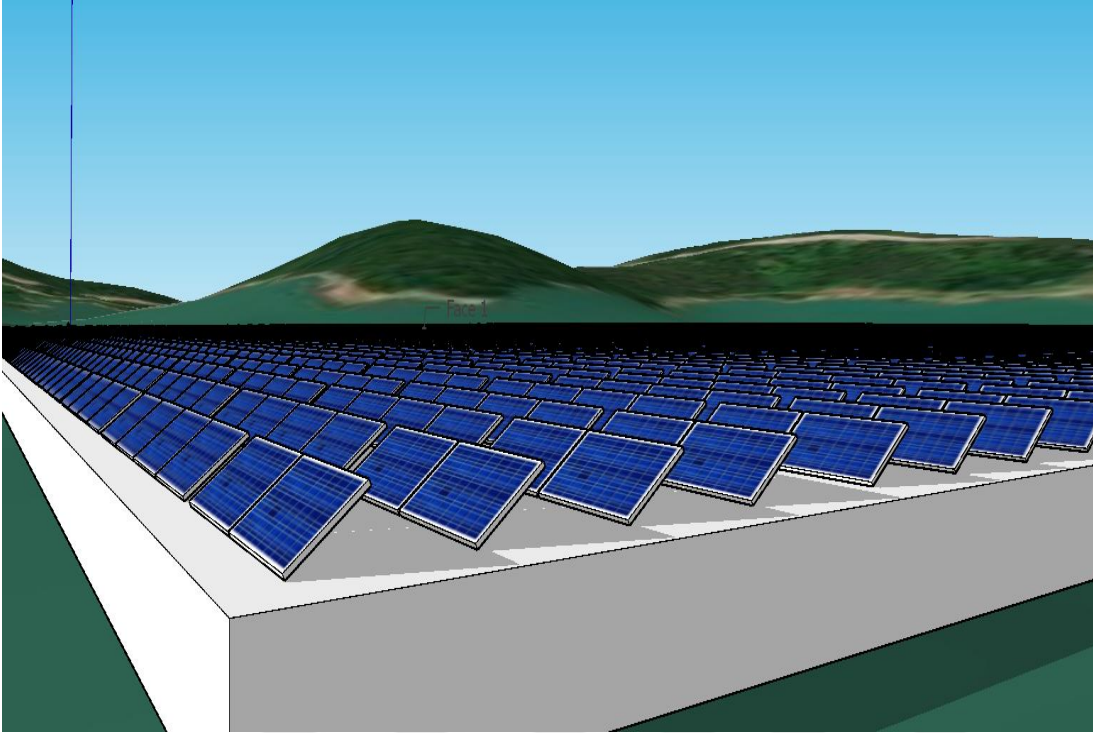
- [30] Güneş Enerjisi Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji Kitabı- H.H. ÖZTÜRK, D. KAYA, 2013.
- [31] Fotovoltaik Modüllerde Faz Değiştiren Madde Kullanımı ve Verimlerine Etkisi Ramazan KAYABAŞI, Metin KAYA, 2020.
- [32] <https://dergipark.org.tr/tr/article-file/289287>.
- [33] XuanzhiWu, Yüksek verimli polikristalin CdTe ince film güneş pilleri, 2004.
- [34] Rebecka Lindbla, Dongqin B, Byung-wook Parkı, Johan Oscarsson, Mihaela Gorgo, Hans Siegbahn, Michael Odelius, Erik MJ Johansson, ve Håkan Rensmo TiO₂ / CH₃ NH₃ PbI₃ Perovskite Güneş Pili Arayüzlerinin Elektronik Yapısı, 2014.
- [35] Masafumi Yamaguchia, Tatsuya Takamotob, Kenji Arakic, Nicholas Ekins-Daukesa, Multi-junction III–V solar cells: current status and future potential, 2005.
- [36] Fotovoltaik sistemler için mppt şebeke bağlantılı evirici tasarımı, Kocaeli Üniversitesi Doktora Tezi <http://dspace.kocaeli.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11493/862/423766.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, 2018
- [37] Süleyman Adak, Hasan Cangiz, Ahmet Serdar Yılmaz, Mathematical Modeling and Simulation of the Photovoltaic System's Output Power depends on Temperature and Irradiance, 2019.
- [38] Tarım ve Ormancılık Bakanlığı Destek Raporu <https://www.tarimorman.gov.tr/>, 2021.
- [39] Yapılarda Güneş Panel Sisteminin Kurulması Megep <https://silo.tips/downloadFile/yenleneblr-enerj-teknolojler-10?preview=1>, 2017.
- [40] Tasarımı Turgay KAYA, Hasan GÜLER Güneş Takip Sistemlerinde Maksimum Çıkış Gerilimi için Bulanık Genetik Algoritma Tabanlı Sistem, 2016.
- [41] PV Sistemin İçin Maksimum Güç Noktası İzleyicisi Tasarımı ve Uygulaması Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 4, 2016.
- [42] Yıldırım Deniz, Çelik Emre Design And Realisation Of Grid Connected Single Phase Microinverter Yıldırım, Deniz Çelik, Emre, 2015.
- [43] Wenchao Liu, Kewei Wang, Henry Shu-hung Chung, Steve Tzu-hsiung Chuang Modeling and Design of Series Voltage Compensator for Reduction of DC-Link Capacitance in Grid-Tie Solar Inverter, 2014.
- [44] H. Koniki, P. Bajpai, Central and micro inverters for solar photovoltaic integration in AC grid D, 2016.

- [45] Advanced Energy Solar Çevirici Teknik Özellikleri, <https://pdf.archiexpo.com/pdf/advanced-energy/ae-500nx/125695-243635.html>, 2021
- [46] VARTA AGM ve Jel akü raporu, <https://www.varta-automotive.com/en-nz/varta-battery-support/battery-basics/agm-batteries-vs-gel-batteries>, 2021.
- [47] Luyao Liua, Qinxing Wang, Power Generation Efficiency and Prospects of Floating Photovoltaic Systems, 2017.
- [48] Nan Zhanga, Tong Jiang, Cui Guob Lifang, Qiaoa Qing, Jia Luqi Yina, Liangmin Yuca, Petri Murtoa, Xiaofeng Xua, High-performance semitransparent polymer solar cells floating on water: Rational analysis of power generation, water evaporation and algal growth, 2020.
- [49] Dünya Bankası Solar Enerji Raporu, SERIS calculations based on the Global Solar Atlas and Lehner et al, 2019.
- [50] Dünya Bankası Yüzer Güneş Santrali Raporu, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31880?locale-attribute=es>, 2019.
- [51] Planlama Raporu, DSİ 1. Bölge Müdürlüğü, Duaçınarı, Ankara Yolu Cad., No:221 16260, Yıldırım, Bursa
- [52] Türkiye İlk YGES Kurulumu, <https://www.enerjiatlası.com/gunes/buyukcekmece-golu-yuzer-g%C3%BCnes-enerji-santrali.html>, 2021.
- [53] Yüzer FV Sistem Kurulumu, <https://tr.tyt.com.tr/hydrosolar>, 2021.
- [54] Dünya Bankası Yüzer Güneş Santrali Raporu, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31880?locale-attribute=es>, 2019.
- [55] EPDK Enerji Raporu, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/2-9206/enerji-piyasasi-duzenleme-kurumu-1-milyar-dolar>, 2021.
- [56] Elektrik Piyasası Yönetmeliği Ek-18 <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/04/20170422-8.html>, 2021.
- [57] Yalova İli meteorolojik verileri, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=YALOVA>, 2021.
- [58] Planlama Raporu, DSİ 1. Bölge Müdürlüğü, Duaçınarı, Ankara Yolu Cad., No:221 16260, Yıldırım, Bursa
- [59] EPDK Elektrik Piyasası Gelişim Raporu, <https://www.epdk.gov.tr/> 2019.
- [60] İlbank Solar Kredilendirme, <https://www.ilbank.gov.tr/solarcalculate/>, 2021.

- [61] Can Hakyemez, TSKB Su:Yeni Elmas Raporu, 2019.
- [62] Planlama Raporu, DSİ 1. Bölge Müdürlüğü, Duaçınarı, Ankara Yolu Cad., No:221 16260, Yıldırım, Bursa,
- [63] Can Hakyemez, TSKB Su:Yeni Elmas Raporu, 2019.
- [64] María E. Taboada, L. Cáceres, T.A. Graber, Solar water heating system and photovoltaic floating cover to reduce evaporation: Experimental results and modeling, 2017.
- [65] Planlama Raporu, DSİ 1. Bölge Müdürlüğü, Duaçınarı, Ankara Yolu Cad., No:221 16260, Yıldırım, Bursa,
- [66] Çevre Şehircilik Bakanlığı Su tüketimi Raporu <https://webdosya.csb.gov.tr/db/bolu/icerikler/su-20180222083149.pdf>, 2018.
- [67] Karbon Salınımı Raporu, <https://www.enerjiatlası.com/haber/elektrik-uretiminde-karbon-salinimi>, 2017.

EKLER

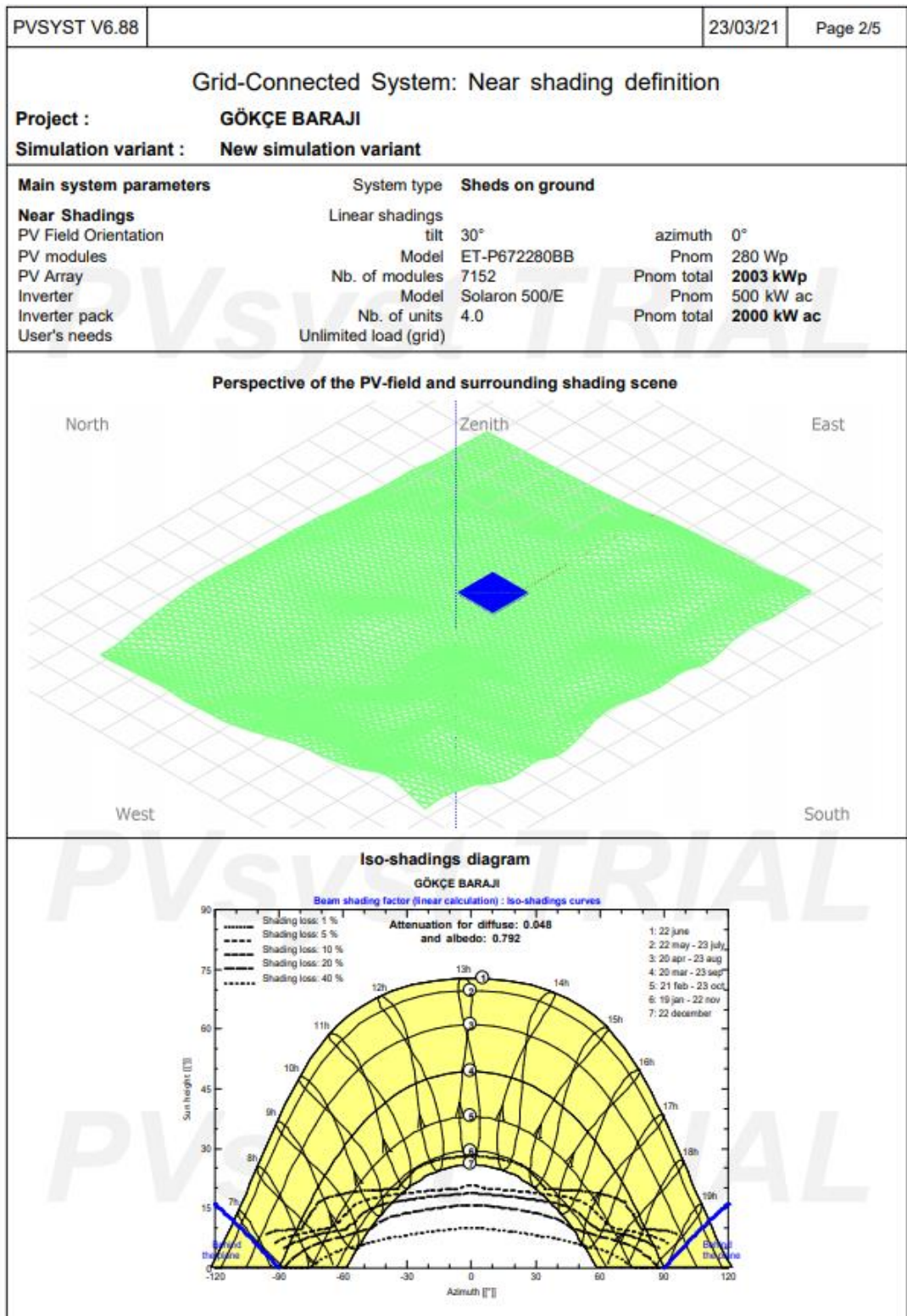
EK A-1

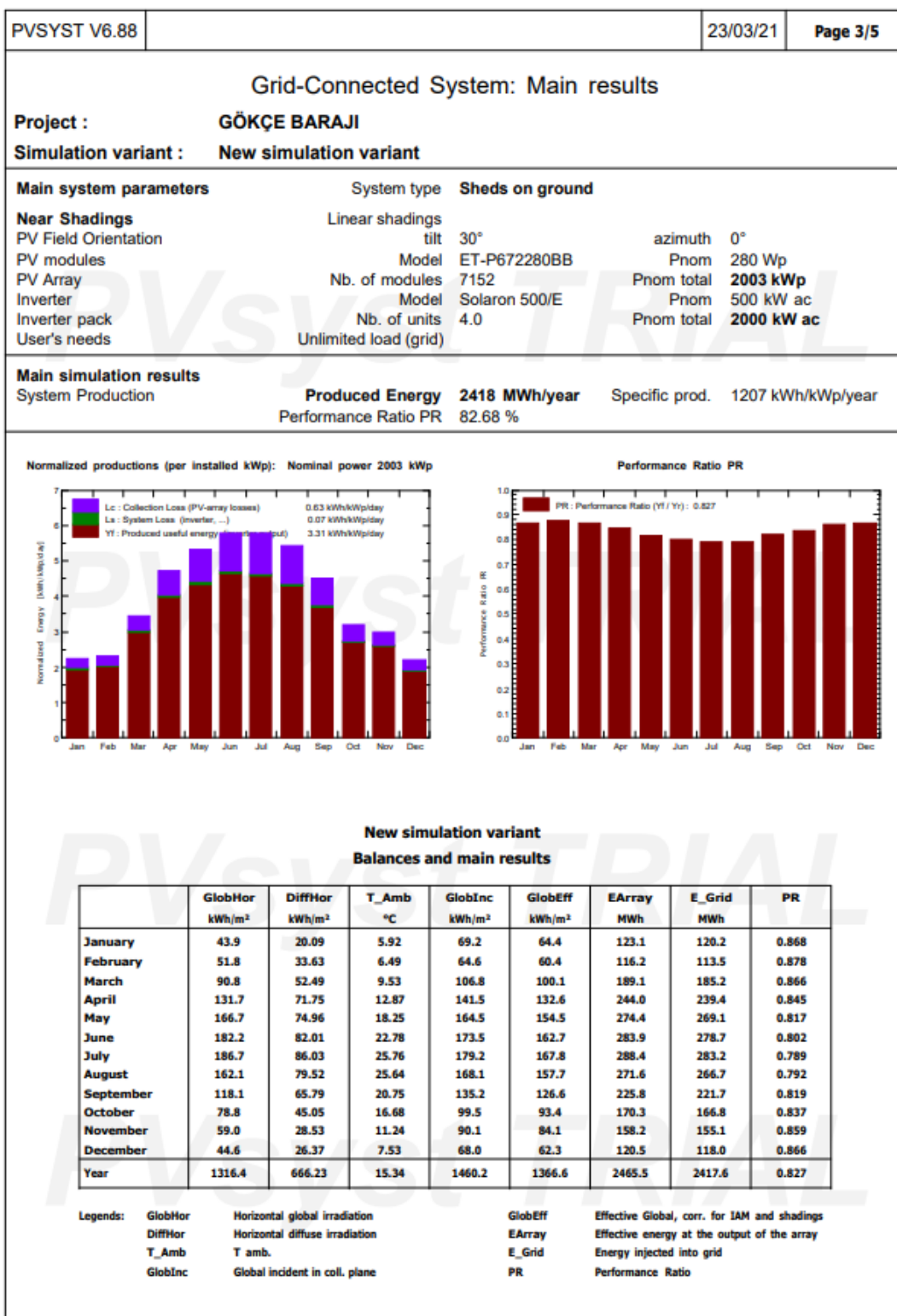


EK A.2



PVSYST V6.88			23/03/21	Page 1/5
Grid-Connected System: Simulation parameters				
Project : GÖKÇE BARAJI				
Geographical Site		Üvezli	Country	Turkey
Situation	Latitude	40.60° N	Longitude	29.20° E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+3	Altitude	110 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:		Üvezli	Meteonorm 7.2 (2004-2010), Sat=100% - Synthetic	
Simulation variant : New simulation variant				
	Simulation date	23/03/21 17h04		
Simulation parameters		System type Sheds on ground		
Collector Plane Orientation	Tilt	30°	Azimuth	0°
Sheds configuration	Nb. of sheds	7224	Collector width	0.99 m
	Sheds spacing	2.15 m	Ground cov. Ratio (GCR)	46.2 %
Shading limit angle	Limit profile angle	21.0°		
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	Linear shadings			
User's needs :	Unlimited load (grid)			
PV Array Characteristics				
PV module	Si-poly	Model	ET-P672280BB	
Original PVsyst database		Manufacturer	ET Solar	
Number of PV modules		In series	24 modules	In parallel 298 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	7152	Unit Nom. Power 280 Wp
Array global power		Nominal (STC)	2003 kWp	At operating cond. 1782 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	+/-378 V	I mpp 2358 A
Total area		Module area	13877 m²	Cell area 12532 m²
Inverter				
Original PVsyst database		Model	Solaron 500/E	
Characteristics		Manufacturer	Advanced Energy Inc.	
		Operating Voltage	+/-330-550 V	Unit Nom. Power 500 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	4 units	Total Power 2000 kWac
				Pnom ratio 1.00
PV Array loss factors				
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	5.4 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction	0.10 %
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05



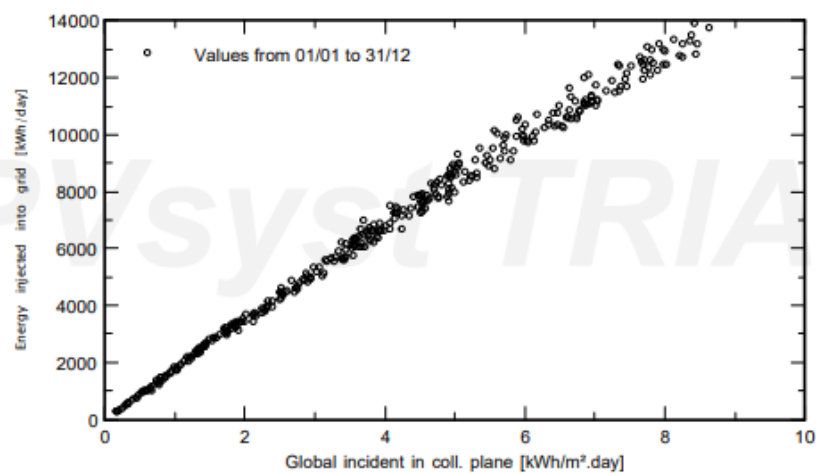


Grid-Connected System: Special graphs

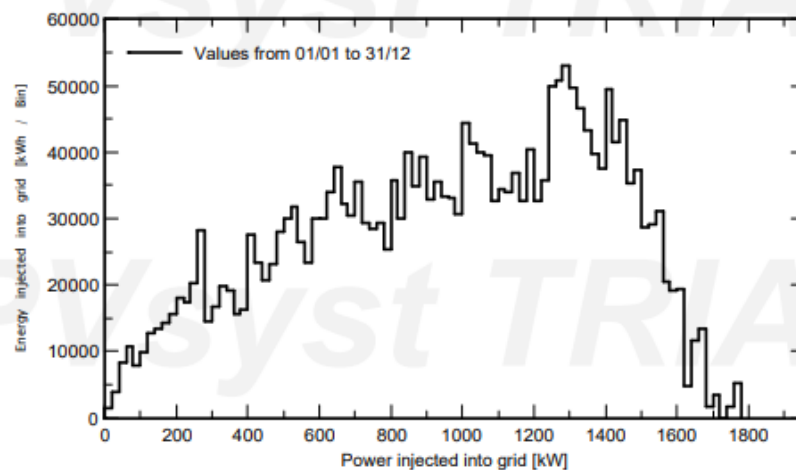
Project : GÖKÇE BARAJI
Simulation variant : New simulation variant

Main system parameters	System type	Sheds on ground
Near Shadings	Linear shadings	
PV Field Orientation	tilt	30° azimuth 0°
PV modules	Model	ET-P672280BB Pnom 280 Wp
PV Array	Nb. of modules	7152 Pnom total 2003 kWp
Inverter	Model	Solaron 500/E Pnom 500 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	4.0 Pnom total 2000 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)	

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution

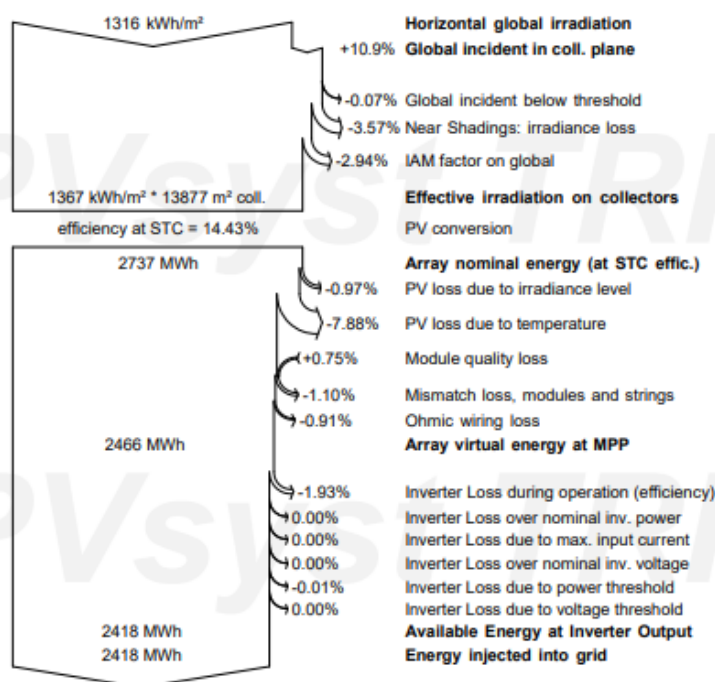


Grid-Connected System: Loss diagram

Project : GÖKÇE BARAJI
Simulation variant : New simulation variant

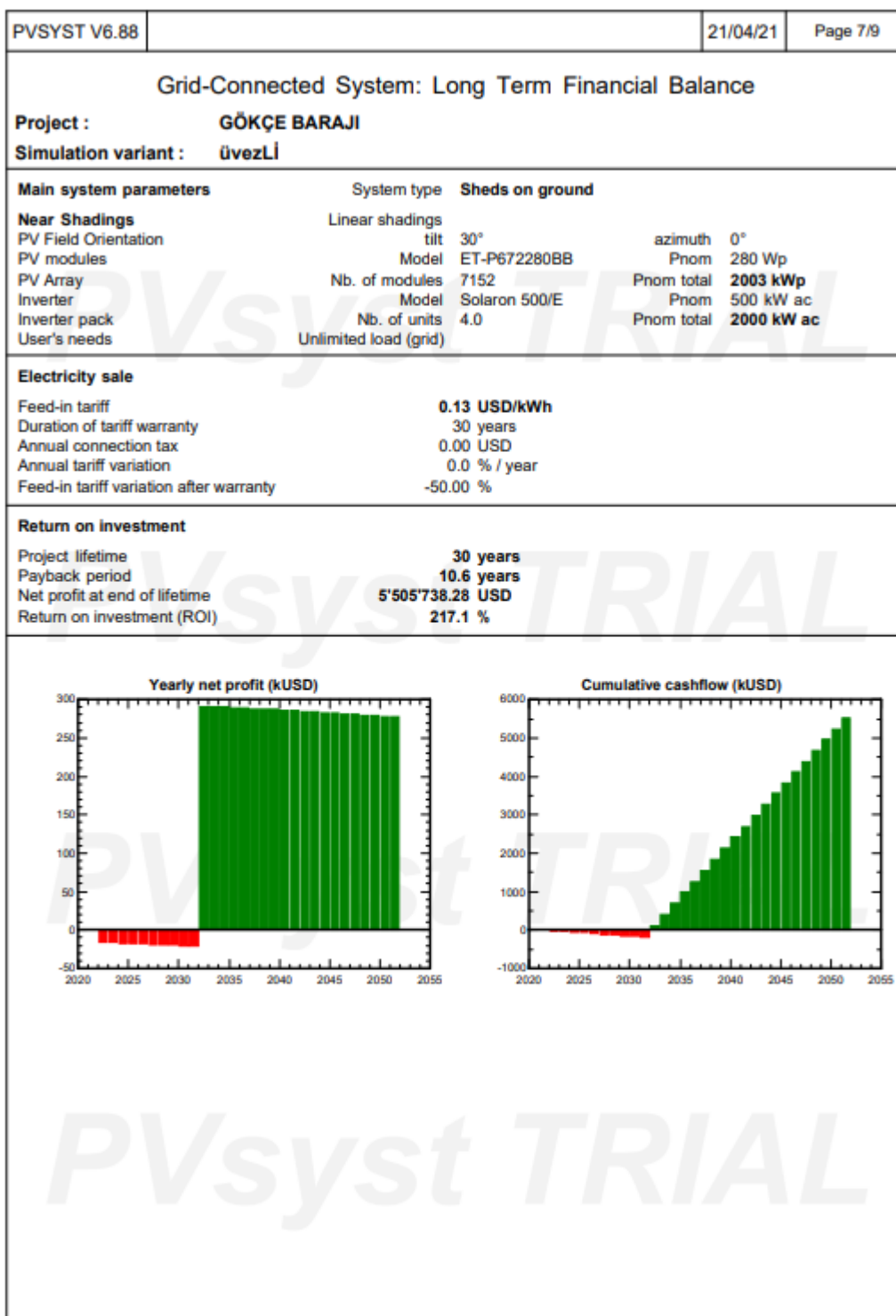
Main system parameters	System type	Sheds on ground
Near Shadings	Linear shadings	
PV Field Orientation	tilt 30°	azimuth 0°
PV modules	Model ET-P672280BB	Pnom 280 Wp
PV Array	Nb. of modules 7152	Pnom total 2003 kWp
Inverter	Model Solaron 500/E	Pnom 500 kW ac
Inverter pack	Nb. of units 4.0	Pnom total 2000 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)	

Loss diagram over the whole year



PVSYST V6.88		21/04/21	Page 6/9
Grid-Connected System: Economic evaluation			
Project :		GÖKÇE BARAJI	
Simulation variant :		üvezLI	
Main system parameters		System type	Sheds on ground
Near Shadings		Linear shadings	
PV Field Orientation		tilt	30°
PV modules		Model	ET-P672280BB
PV Array		Nb. of modules	7152
Inverter		Model	Solaron 500/E
Inverter pack		Nb. of units	4.0
User's needs		Unlimited load (grid)	
		azimuth	0°
		Pnom	280 Wp
		Pnom total	2003 kWp
		Pnom	500 kW ac
		Pnom total	2000 kW ac
Investment			
Direct costs			
Supports for modules	7152 units	260.00 USD / unit	1'859'520.00 USD
Inverters			
Solaron 500/E	4 units	110'000.00 USD / unit	440'000.00 USD
Studies and analysis			
Engineering			10'000.00 USD
Permitting and other admin. Fees			20'000.00 USD
Environmental studies			20'000.00 USD
Economic analysis			1'000.00 USD
Installation			
Transport			25'000.00 USD
Accessories, fasteners			10'000.00 USD
Wiring			20'000.00 USD
Settings			20'000.00 USD
Grid connection			10'000.00 USD
Insurance			
Building insurance			8'000.00 USD
Transport insurance			1'000.00 USD
Liability insurance			1'000.00 USD
Land costs			
Land purchase			80'000.00 USD
Land preparation			10'000.00 USD
Loan bank charges			100.00 USD
Net investment (CAPEX)			2'535'620.00 USD
Operating costs			
BAKIM			25'000.00 USD / year
Total (OPEX)			25'000.00 USD / year
Operating costs (OPEX) incl. Inflation (2.00%)			33'160.20 USD / year
System summary			
Net investment			2'535'620.00 USD
Own funds			0.00 USD
Loan (10 years)	Rate 4.00 % / year	Annuities 312'618.98 USD / year	2'535'620.00 USD
Total yearly cost (inc. inflation 2.00 % / year)			137'366.52 USD / year
Produced Energy			2418 MWh / year
Cost of produced energy			0.057 USD / kWh
(sum of costs over lifetime / total production over lifetime)			

PVsyet Evaluation mode



PVsyst Evaluation mode

PVSYST V6.88

21/04/21

Page 8/9

Grid-Connected System: Long Term Financial Balance

Project :

GÖKÇE BARAJI

Simulation variant :

üvezli

Main system parameters

System type

Sheds on ground

Near Shadings

Linear shadings

PV Field Orientation

tilt

30°

azimuth

0°

PV modules

Model

ET-P672280BB

Pnom

280 Wp

PV Array

Nb. of modules

7152

Pnom total

2003 kWp

Inverter

Model

Solaron 500/E

Pnom

500 kW ac

Inverter pack

Nb. of units

4.0

Pnom total

2000 kW ac

User's needs

Unlimited load (grid)

Detailed economic results (USD)

Year	Sold energy	Loan principal	Interest 4.00%	Run. costs	Deprec. allow.	Taxable income	Tax 0.00%	After-tax profit	Cumul. profit	% amort.
2022	321'538	211'194	101'425	25'000	84'521	110'592	0	-16'081	-16'081	7.7%
2023	321'538	219'642	92'977	25'500	84'521	118'540	0	-16'581	-32'663	15.7%
2024	321'538	228'428	84'191	26'010	84'521	126'816	0	-17'091	-49'754	24.0%
2025	321'538	237'565	75'054	26'530	84'521	135'433	0	-17'612	-67'365	32.7%
2026	321'538	247'067	65'552	27'061	84'521	144'405	0	-18'142	-85'508	41.7%
2027	321'538	256'950	55'669	27'602	84'521	153'746	0	-18'683	-104'191	51.1%
2028	321'538	267'228	45'391	28'154	84'521	163'472	0	-19'235	-123'426	60.9%
2029	321'538	277'917	34'702	28'717	84'521	173'598	0	-19'798	-143'225	71.1%
2030	321'538	289'034	23'585	29'291	84'521	184'140	0	-20'373	-163'598	81.7%
2031	321'538	300'595	12'024	29'877	84'521	195'116	0	-20'959	-184'556	92.7%
2032	321'538	0	0	30'475	84'521	206'542	0	291'063	106'507	104.2%
2033	321'538	0	0	31'084	84'521	205'933	0	290'453	396'960	115.7%
2034	321'538	0	0	31'706	84'521	205'311	0	289'832	686'792	127.1%
2035	321'538	0	0	32'340	84'521	204'677	0	289'198	975'989	138.5%
2036	321'538	0	0	32'987	84'521	204'030	0	288'551	1'264'540	149.9%
2037	321'538	0	0	33'647	84'521	203'370	0	287'891	1'552'431	161.2%
2038	321'538	0	0	34'320	84'521	202'697	0	287'218	1'839'649	172.6%
2039	321'538	0	0	35'006	84'521	202'011	0	286'532	2'126'180	183.9%
2040	321'538	0	0	35'706	84'521	201'311	0	285'832	2'412'012	195.1%
2041	321'538	0	0	36'420	84'521	200'597	0	285'117	2'697'129	206.4%
2042	321'538	0	0	37'149	84'521	199'868	0	284'389	2'981'518	217.6%
2043	321'538	0	0	37'892	84'521	199'125	0	283'646	3'265'164	228.8%
2044	321'538	0	0	38'649	84'521	198'368	0	282'888	3'548'052	239.9%
2045	321'538	0	0	39'422	84'521	197'595	0	282'115	3'830'168	251.1%
2046	321'538	0	0	40'211	84'521	196'806	0	281'327	4'111'494	262.1%
2047	321'538	0	0	41'015	84'521	196'002	0	280'523	4'392'017	273.2%
2048	321'538	0	0	41'835	84'521	195'182	0	279'702	4'671'719	284.2%
2049	321'538	0	0	42'672	84'521	194'345	0	278'866	4'950'585	295.2%
2050	321'538	0	0	43'526	84'521	193'491	0	278'012	5'228'597	306.2%
2051	321'538	0	0	44'396	84'521	192'621	0	277'142	5'505'738	317.1%
Total	9'646'130	2'535'620	590'570	1'014'202	2'535'620	5'505'738	0	5'505'738	5'505'738	317.1%

PVsynt Evaluation mode



ÖZGEÇMİŞ

4.



Ad Soyad: Mithat SERİM

Lisans: Haliç Üniversitesi – Elektrik Elektronik Mühendisliği

Yüksek Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi – Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Mithat SERİM, Bayram KILIÇ, Sunay TÜRKOĞAN, Yüzer Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Tekno-Ekonomik Analizlerinin Yapılarak 2 MW'lık Güç Kurulumunun Tasarlanması, 7. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi