



Muharrem İmal

Kahramanmaraş Sütçü İmam University, muharremimal@ksu.edu.tr,
Kahramanmaraş-Türkiye

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2023.18.1.1A0484
ORCID ID	0000-0001-5320-8858
Corresponding Author	Muharrem İmal

**HİDRO GÜÇ ÜRETEEN MENZELET BARAJ GÖLÜNE KURULACAK YÜZER GÜNEŞ ENERJİSİ
SANTRALİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ**

ÖZ

Enerji ihtiyacının her yıl arttığı dünyamızda, birincil enerji kaynakları hızlı bir şekilde azalmakta olduğu için yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırım ilgisi artmaktadır. Türkiye'nin güneşlenme oranına göre fazla güneş alan illerin başında Kahramanmaraş gelmektedir. Yıllık olarak 1800-2000 kWh/m²-yıl oranı ile güneş ışınımı alan Menzelet, coğrafi yapısı nedeniyle güneş radyasyonunu elektrik enerjisine dönüştürme potansiyeli açısından değerli bir bölgede yer almaktadır. Bu nedenle Menzelet baraj gölüne kurulacak 3 MW gücünde yüzer fotovoltaik güneş santrali projesinin kurulum maliyetleri ve nakit akışı analiz edilerek 4.4 yılda kendini amorti eden bir sistem geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Yüzer Santral,
Sürdürülebilirlik, Ekonomik Analiz,
Geri Ödeme Süresi

**SUSTAINIBILITY ANALYSIS OF A FLOATING SOLAR POWER PLANT ON A HYRO
POWER DAM LAKE IN MENZELET**

ABSTRACT

In our world, where the need for energy increases every year, the interest in investment in renewable energy sources is increasing as primary energy sources are decreasing rapidly. Kahramanmaraş comes first among the provinces that receive more sun compared to the rate of sunshine in Türkiye. Menzelet, which receives solar radiation with an annual rate of 1800-2000 kWh/m²-year, is located in a valuable region in terms of its potential to convert solar radiation into electrical energy due to its geographical structure. For this reason, a system that pays for itself in 4.4 years has been developed by analyzing the installation costs and cash flow of the 3 MW floating photovoltaic solar power plant project to be installed in the Menzelet dam lake.

Keywords: Solar Power, Floating Plant, Sustainability,
Economic Analysis, Payback Time

How to Cite:

İmal, M., (2023). Hidro Güç Üreten Menzelet Baraj Gölüne Kurulacak Yüzer Güneş Enerjisi Santralinin Sürdürülebilirlik Analizi. Engineering Sciences, 18(1):11-18,
DOI: 10.12739/NWSA.2023.18.1.1A0484.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik enerjisinin kullanımı 21. yy'da giderek daha çok yaygınlaşmaktadır. Bugün kullanmakta olduğumuz cep telefonundan elektrikli karayolu araçlarına kadar elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Elektriğin üretimine ilişkin birden fazla yöntem olmasına karşın bu kadar üretim metodunun içinde hem çevreci hem de ekonomik olan yöntem olarak güneş enerjisi santralleri çok dikkat çekmektedir. Genel olarak hem çevreci hem de ekonomik olan enerji üretim yöntemleri "yenilenebilir enerji kaynakları" olarak adlandırılmaktadır. Yenilenebilir enerji üretiminde CO₂ salınımının minimum olması son derece çevreci bir üretim olmasını sağlamaktadır. 3MW'lık bir projenin ortalama olarak yıllık CO₂ emisyonu 5530ton/yıl'dır. Hammade ihtiyacının olmaması nedeniyle ekonomik bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi santralleri (GES) Güneşin radyasyon enerjisi kaynağını en karlı şekilde değerlendirmemizi sağlamaktadır. Rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi gibi üretim metodlarının sürekli enerji üretimi yapması, fosil yakıt kullanan sistemlerde olduğu gibi sınırlı yakıt kullanımından kaynaklanan sorunlara karşı son derece avantajlı ve ekonomik bir konumda bulunmaktadır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

GES projeleri yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde proje ve kurulum aşamasında düşük ve orta maliyetli sistemler arasında yer alır. Bu sonuç HES (Hidro Elektrik Santrali) projeleri, rüzgâr santrali projeleri gibi yenilenebilir enerji sistemi projelerinin kWp/\$ bazında karşılaştırılmasıyla bulunur. GES projelerinde yaklaşık maliyet hesaplandığı zaman bu değer yaklaşık 1MWp/850000\$'dır. Yüzer fotovoltaik (FV) sistemler, arazi tipi sistemler ile aynı temel enerji üretim prensibine dayanmaktadır [1]. Sistemde kullanılan FV paneller, solar eviriciler ve elektriksel ekipmanlar her iki sistemde de aynıdır. Bu iki sistemi birbirinden ayıran temel değişiklik, sistemlerin üzerine kurulduğu alandır. Karasal tipli sistemler arazi üzerine montaj edilirken, yüzer sistemler ise göletler üzerinde bulunan yüzdürücü ekipmanlar üzerine monte edilmektedirler. Yüzer sistemlerde, çalışma sahasındaki ortam koşulları sebebi ile yüzer sistemi arazi tipi sistemden ayıran özel bir yüzdürücü sistem tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır. Yüzer FV sistemlerde, araziye ihtiyaç duyulmaması, suyun buharlaşmasını engellemesi, suyun doğal soğutucu etkisinden kaynaklı fotovoltaik panellerin verimini arttırması gibi avantajlar bulunmamaktadır. Bu avantajlar, Yüzer FV sistemleri yatırımcılar tarafından cazip kılmaktadır. Türkiye'de, Mersin'in Mut ilçesinde Azmak 2 HES gölü üzerine 2014'te yapılan yüzer fotovoltaik yüzer güneş enerjisi sisteminin ilk örneğidir. Yine 2017 yılında Büyükçekmece gölü üzerine 240kWe gücünde kurulan güneş enerjisi sistemi ilk yüzer güneş enerjisi sistemlerine örnektir.

Önemli Noktalar (Highlights):

- Yüzer güneş enerjisi sisteminin sürdürülebilirlik analizi yapılmıştır.
- Yüzer güneş enerjisi sisteminin maliyetini etkileyen kamulaştırma giderlerinin etkisi incelenmiştir.
- Yüzer güneş enerjisi sisteminin ortam koşulları etkisiyle karasal güneş enerjisi sistemlerine göre verimdeki artış gösterilmiştir.



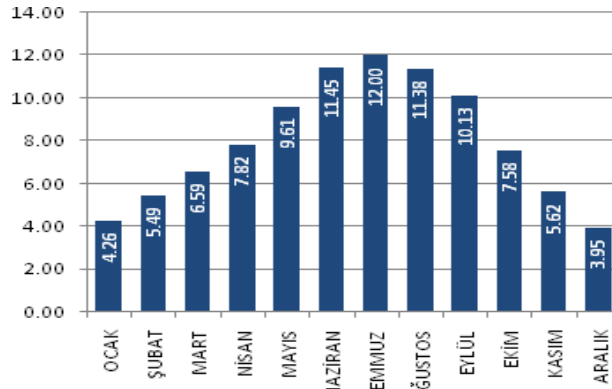
Şekil 1. Büyükçekmece'deki yüzer güneş enerjisi santrali [1]
(Figure 1. Floating solar power plant in Büyükçekmece in Türkiye [1])

3. ANALİTİK ÇALIŞMA (ANALYTIC STUDY)

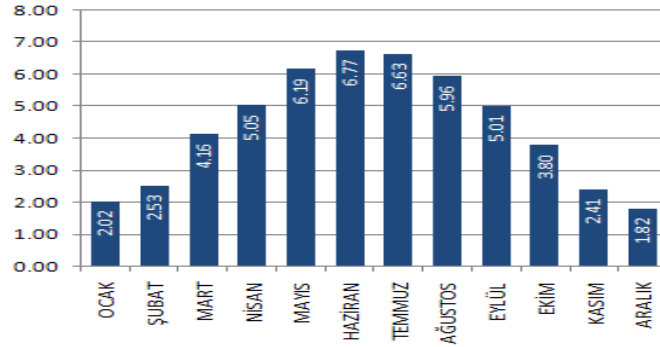
Güneş enerjisi üretim sistemlerinin simülasyonunu ve analizini yapan PVsol, Helioscope, Polysun, PVSyst gibi birçok program ve PVgis gibi online veri tabanı platformu vardır [7]. Bu çalışmada, projelendirilen yüzer fotovoltaik sistemin mevsimsel ve ekonomik analizi PVSyst simülasyon programından yararlanılarak yapılmıştır. PVSyst programı ile PV sistemlerinin detaylı projelendirilmesi, boyutlandırması ve saatlik olarak simülasyonları yapılabilmektedir. Ayrıca bu program ile birlikte çalışan meteonorm programı seçilen göl alanına en yakın istasyon verilerini alarak gerçeğe yakın hesaplamalar yapılabilmektedir. PVSyst programı ile 3 boyutlu model simülasyonları yapılarak detaylı gölgelenme etkisi analiz edilebilmektedir. PVSyst programı içerisinde en çok kullanılan güneş paneli tipleri ve inverter modelleri ve bu donanımın detaylı özelliklerine ulaşılabilmektedir.

3.1. İklim ve Çevre Koşulları (Climate and Environmental Conditions)

Yüzer fotovoltaik sistemin kurulması düşünülen Menzelet Baraj Gölü Kahramanmaraş ilinin sınırları içerisinde yer almaktadır. Bir fotovoltaik sistem kurulmadan önce dikkate alınacak en önemli noktalardan birisi kurulmanın yapılacağı alanın iklim ve çevre koşullarına ait verileridir. Güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu ortalamasının üzerinde olan proje alanlarında elektrik üretim değerleri ve verimlilik artmaktadır.



Şekil 2. Menzelet proje alanının güneşlenme süresi [8]
(Figure 2. The sunshine duration of the Menzelet project area [8])



Şekil 3. Menzelet proje alanının global radyasyon değerleri (kWh/m²gün) [2]
(Figure 3. Global radiation values of the Menzelet project area (kWh/m²Day) [2])

Yüzer fotovoltaik sisteminin kurulması için seçilen Menzelet baraj gölü alanında güneşlenme süresi ve radyasyon değerleri oldukça yüksektir. Şekil 2 ve Şekil 3'te verilen değerler yüzer güneş enerjisi sisteminin bu alana kurulmasının verimli olacağını göstermektedir. Menzelet HES'e ait güç ve göl alanı bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Menzelet HES güç ve göl alanı bilgileri
(Table 1. Menzelet HPP power and lake area information)

Elektriksel Güç (MWac)	124
En yüksek Su Seviyesi Kotu (m)	609.4
En düşük Su Seviyesi Kotu (m)	560.2
Seviye Değişimi (m)	49.2

Sistemin göl tabanına bağlantısı ve ankraj sisteminin kolay ve düşük maliyetli olması açısından en düşük su kotunun bulunduğu yer ile 100 metre açıklık bırakılarak bir güneş ada alanı oluşturulmuştur. Güneş adası boyutları 140x210 metre olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Yüzer güneş elektrik santrali yerleşim planı detayı
(Figure 4. Layout detail of floating solar power plant)

Tablo 2. Kullanılacak fotovoltaik güneş panelinin özellikleri
(Table 2. Features of the photovoltaic solar panel to be used)

Ürün	PhonoSolar
Model	PS340M-24/T
Çıkış Gücü	340W
Hücre Sayısı	72 Hücreli
Çalışma Sıcaklığı	-40°C/+85°C
Teknoloji	Mono Kristal

Fotovoltaik sistemin kurulması için tasarlanan güneş adasına 8823 adet fotovoltaik güneş paneli yerleştirilmiştir. Simülasyonda projelendirilen sistem seri olarak yerleştirilen 17 modülden ve her modülde 519 panel dizisinden oluşmuştur. Sistemde her iki modül için bir invertör olmak üzere 9 adet invertör kullanılmıştır.

Tablo 3. Sistem invertörün özellikleri
(Table 3. Features of system inverter)

Ürün	ABB
Model	PVS800-57
En Yüksek AC Gücü	250kW
En Yüksek Verim	%98.02
Çalışma Gerilimi Aralığı	450V-825V
En Yüksek Giriş Gerilimi	1000V

Güneş paneli sistemi, PVSYST programı kullanılarak modellenmiştir. Sistemin yıllık enerji üretimi miktarı ile performans oranı hesaplanmaktadır, ancak daha iyi performans analizi için farklı parametreler de değerlendirilmiştir.

3.2. Ekonomik Analiz (Economic Analysis)

Bir yüzer güneş santrali kurulumunda ekonomik olarak en önemli değişken sistemin geri ödeme süresidir. Geri ödeme süresini hesaplayabilmek için kullanılan donanımların fiyatlarını belirlemek gerekmektedir. 2021 yılı içerisinde piyasa araştırması yapılmış ve Tablo 4'te görülen donanımların maliyetleri belirlenmiştir.

Tablo 4. Maliyet tablosu
(Table 4. Cost table)

Açıklama	Maliyeti
Fotovoltaik Panel Toplam Değeri	1.008.000\$
Invertör Toplam Değeri	117.000\$
Taşıyıcı Yüzer Platform Toplam Değeri	556.000\$
Diğer Malzemeler Toplam Değeri	360.000\$
Ankraj ve Bağlantı Sistemi Toplam Değeri	112.500\$
Tasarım, Mühendislik, Kurulum, Test ve Devreye Alma Toplam Değeri	300.000\$
Yıllık Bakım Toplam Değeri	6.000\$
Güncel Dolar Kuru	1USD=8.3TL

Yüzer güneş enerjisi santralinin geri ödeme süresi hesaplanırken, $GÖS=YT/(Nng-YG)$ bağıntısı kullanılır [3].

Bu bağıntıda;

GÖS: Geri ödeme süresi(yıl)

YT : Yatırım tutarını(\$)

Nng: Net nakit girişi(\$/yıl)

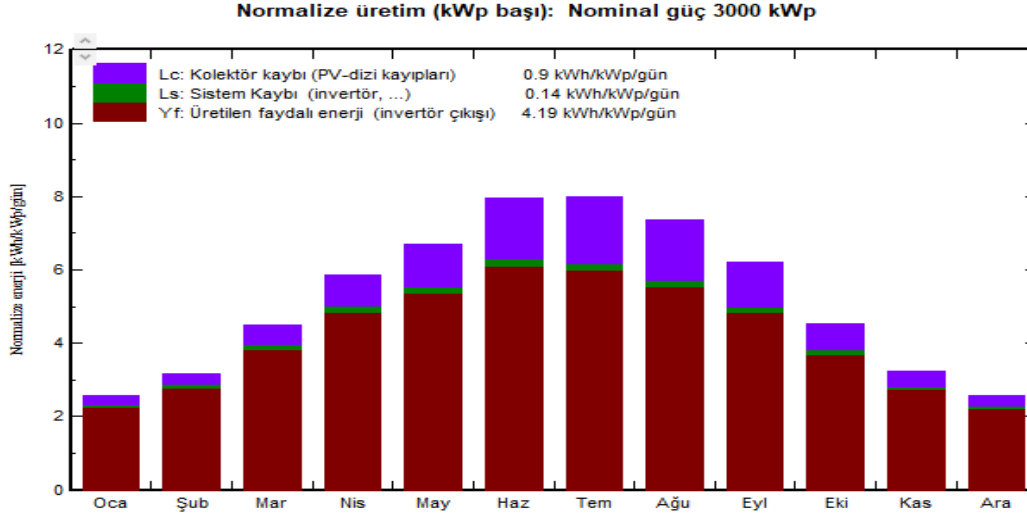
YG : Yıllık gider(\$/yıl) olarak belirlenmiştir.

Yüzer güneş enerjisi santralinin geri ödeme süresi hesaplanırken, simülasyon sonucunda elde edilen yıllık enerji üretim miktarı 4591MWh/Yıl olmuştur. 2021 yılı sonrasında kurulması planlanan güneş enerjisi santrallerinin ülke sistemine enerji satış ücreti 0.133USD/kWh'dir. Yüzer fotovoltaik sistemin yıllık enerji üretiminden elde edilecek net kazanç miktarı 610.603USD olmaktadır. Böylece Yüzer güneş enerjisi santralinin geri ödeme süresi (GÖS) değerinin 4 yıl 4 ay olarak hesaplanır.

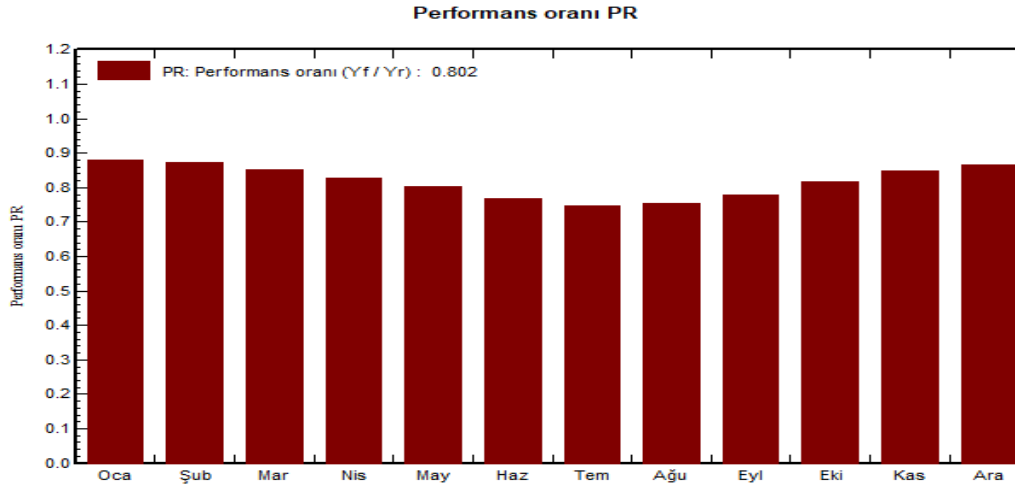
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Menzelet HES gölü üzerine kurulması planlanan fotovoltaik sistemin projelendirilmesinde kullanılan tüm donanımlara bağlı olarak PVsyst programı ile modelleme ve simülasyon yapılmıştır. Şekil 5'te PVsyst analizi ile elde edilen günlük verim, invertör ve kolektör

kayıplarının aylık değişimleri verilmiştir. Sistem kayıplarının en fazla Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında meydana geldiği görülmektedir. Yine Sistem kayıplarının en az Aralık, Ocak ve Şubat aylarında olduğu bulunmuştur.

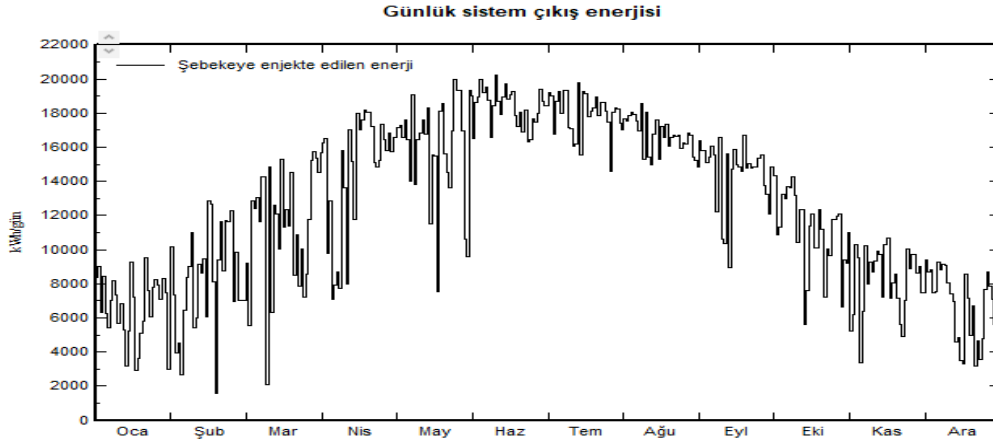


Şekil 6. Günlük en yüksek verim, dizi ve sistem kayıplarının değişimi
(Figure 6. Daily peak efficiency, variation of string and system losses)



Şekil 7. Sistem performansının değişimi
(Figure 7. Change of system performance)

Şekil 7'de sistemden elde edilen günlük üretilen enerjinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 8. Sistemin çıkış enerjisinin günlük değişimi
(Figure 8. Daily variation of the output energy of the system)

Şekil 8’de simülasyon sonucunda sistemin çıkış enerjisindeki değişim gösterilmiştir. Simülasyona göre yüzer GES düzlemine gelen küresel ışınım 1833kWh/m^2 ’dir. Standart test koşullarında sistemin verimi %17.54 hesaplanmıştır. Sistemdeki en büyük kayıp oranı sıcaklık nedeniyle panellerde oluşan %9.7’lik kayıp olmuştur. İnvertörün kaybı ise toplam %3.2’dir. Tüm enerji kayıplarından sonra merkezi şebekeye verilen enerji 4591MWh/Yıl hesaplanmıştır. Ayrıca yüzer GES sisteminin yılda 5530ton karbon salınımını önlediği hesaplanmıştır. Bu çalışmada Menzelet HES gölü üzerinde projelendirilen güneş adası ile yüzer fotovoltaik güneş santrali gerçekleştirilmiş ve bir simülasyon programı yardımıyla analizleri yapılmıştır. Yapılan simülasyon ile projelendirilen yüzer GES santralinin üretilen yıllık enerji miktarı, güneş paneli ve inverter verimliliği ile sistemde oluşan güç kayıpları detaylı olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Günümüzde güneş enerjisi santrallerinde üretilen enerjiyi merkezi şebeke yönetimi 0.133kW/cent ’e alım yetkisine sahiptir. Bu nedenle yıllık 4591MW enerji üretecek sistemin geri ödeme süresi hesaplandığında 4 yıl 4 ay olduğu bulunmuştur. Yüzer GES Sistemi ile yılda 5530ton karbon salınımının önüne geçilmesi olasıdır. Baraj göllerinin yüzeyine kurulacak bir yüzer fotovoltaik GES sisteminin arazi kamulaştırma sorunu bulunmadığından ilk yatırım maliyetleri de azalacaktır. Bu nedenle hidrolik baraj gölleri üzerine kurulacak yüzer güneş enerjisi santralleri ekonomik olarak karlılığı çok yüksek olan enerji tesisleri olarak öne çıkmaktadır.

Yakın gelecekte baraj gölleri üzerine büyük kapasitelere sahip olacak yüzen güneş enerjisi santralleri ülke yönetimleri tarafından teşvik edilmelidir. Baraj gölü yüzey alanı açısından büyük göl yüzey alanı kapasitesine sahip olan Türkiye’nin yüzen güneş santralleri kurarak enerji açığını azaltması kolaylaşacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Yazar çalışmada çıkar çatışması olmadığını bildirmektedir.

FİNANSAL AÇIKLAMA (FINANCIAL DISCLOSURE)

Yazar bu çalışma için herhangi bir mali destek almadığını beyan etmiştir.

ETİK STANDARTLAR BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Makalenin yazarı bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. Güneş Enerji Potansiyel Atlası. <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/63.aspx> (Erişim Tarihi: 23.05.2021).
- [2] Şençiçek, H., (2017). Yüzer ve Arazi Kurulumu Fotovoltaik Sistemlerin Teknik ve Ekonomik Açından İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul:İstanbul Üniversitesi Enerji Enstitüsü.
- [3] Apribowo, C., Santoso, Budi., Suyitno, S., and Vicaksono, R., (2019). Design of 1MWp Floating Solar Photovoltaic (FSPV) Power Plant in Indonesia. The 4th International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering. AIP Conference Proceedings, <https://doi.org/10.1063/1.5098188>.
- [4] Sanchez, G., Kougiyas, I., Moner-Girona, M., Fahl, Fernando., and Jager Waldau, A., (2021). Assessment of floating solar photovoltaics potential in existing hydropower reservoirs in Africa. *Renewable Energy an International Journal*, 169:687-699.
- [5] Abid, M., Abid, Z., Sagintayev, Z., Sarbassov, D., Shabbir, M., and Murtaza, R., (2019). Prospects of floating photovoltaic technology and its implementation in Central and South Asian Countries. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16:1755-1762.
- [6] Sarı, V. ve Özyiğit, F., (2020). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde güneş enerjisi santralının ekonomik analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(65):517-526.
- [7] Haydaroğlu, C. ve Gümüş, B., (2016). Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralının PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 7(3):491-500.
- [8] Kaya, M., Aksoy, M., and Köse, F., (2017). Renewable energy in Turkey: potential, current status and Future aspects. *International Journal of Engineering*, 69(1):1584-2665.
- [9] Ayvazoğluyüksel, O. and Filik, Ü., (2018). Estimation methods of global solar radiation, cell temperature and solar power forecasting: A review and case study in Eskişehir. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91:639-653.
- [10] Filik, Ü., Filik, T., and Gerek, Ö., (2015). New electric transmission systems: Experiences from Turkey. *Handbook of clean energy systems*, 16:1-13.
- [11] <http://www.guyad.org/TR,1073/ulkemizin-birincil-kaynaklara-gore-elektrik-enerjisi-ku-.html> (Erişim Tarihi:02.Kasım.2022)
- [12] Cubukcu, M. and Gumus, H., (2020). Performance analysis of a grid-connected photovoltaic plant in Eastern Turkey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 30(20):1-9.