İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BUHARLAŞMA KAYIPLARININ YÜZER FOTOVOLTAİK PANELLER İLE AZALTILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Seren KORKMAZ

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BUHARLAŞMA KAYIPLARININ YÜZER FOTOVOLTAİK PANELLER İLE AZALTILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Seren KORKMAZ
(511111008)

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511111008 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet Seren KORKMAZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"Buharlaşma Kayıplarının Yüzer Fotovoltaik Paneller ile Azaltılması"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN**	**……**
	İstanbul Teknik Üniversitesi	
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Sevinç ASİLHAN**	**……**
	İstanbul Teknik Üniversitesi	
	Doç. Dr. Ercan İZGİ	**……**
	Yıldız Teknik Üniversitesi	

Teslim Tarihi : **30 Nisan 2015**
Savunma Tarihi : **27 Mayıs 2015**

Sirakuza'da Romalılara karşı şehrini güneş ışığı ve aynaların gücü ile savunan, suyun kaldırma kuvvetini keşfederek bugün bile bizlere ilham veren büyük deha Arşimed'e,

ÖNSÖZ

Bu çalışma, ülkemizde ileride kurulması ve kullanılmasını canıgönülden istediğim Yüzer Fotovoltaik Paneller ile ilgili olarak yaptığım bir saha çalışmasıdır. Tüm saha çalışmalarında olduğu gibi ekipmanlar, uzmanlar ve arkadaşlar olmasaydı bu çalışma olamazdı. Çalışmada kullanılan ekipmanların tamama yakını DSİ Edirne 11. Bölge Müdürlüğü'ne aittir. Ekipmanları kullanmama izin veren Şube Müdürüm Sadettin MALKARALI ve Bölge Müdürüm Adil SABANCI'ya, uzmanlıkları ile desteklerini benden esirgemeyen Serdar TANRISEVEN'e (elektrik devresinin tasarımı, yapımı ve kullanılmasındaki yardımları için), DSİ atölyelerindeki ahşap, kaynak, döşeme, oto elektrik ustalarına, 9 yıldır onlarla çalışmaktan mutluluk duyduğum Rasatlar Baş Mühendisliği personeline, tabii ki heyecanı ve fedakarlığı ile zaman zaman benimle beraber saha çalışmasına gelen, imla hatalarımı tek tek belirleyip düzelten eşim Sonay KORKMAZ'a teşekkür etmek isterim. Tesadüfen, beni çalışırken görüp merak eden, ne yaptığımı anlattığımda ilgisini çeken ve zamanla benimle aynı heyecanı paylaşan iş arkadaşlarıma da teşekkür etmek istiyorum. Son söz olarak, bu çalışmayı yapma fikrini bana veren ve beni teşvik eden Danışman hocam Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN, çalışmanın gidişatı ile ilgili her zaman beni aradı, durumumu sordu. Onun ilgisi benim çalışma şevkimi arttırmıştır. Kendisine de teşekkürü bir borç bilirim.

Umarım ki 'ummanda bir katre' olan bu çalışma, ülkemizde yenilikçi teknolojilere meraklı bilim insanları ve yöneticilere ilham verir.

Nisan 2015

Mehmet Seren KORKMAZ
Meteoroloji Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 1
1.2 Literatür Araştırması 2
1.3 Hipotez 3
2. BUHARLAŞMA **5**
2.1 Hidrolojik Çevrim 5
2.2 Buharlaşma 5
2.2.1 Buharlaşma mekanizması 6
2.2.2 Isı akıları 6
2.3 Buharlaşma Ölçme metodları 7
2.3.1 Atmometre 7
2.3.2 Buharlaşma tavaları ve tankları 8
2.3.2.1 Amerikan class A tipi buharlaşma tavası 8
2.3.2.2 Rus tipi GGI-3000 buharlaşma tavası 9
2.3.2.3 Rus 20 m^2 tank 9
2.4 Buharlaşma Hesaplama Yöntemleri 10
2.5 Buharlaşma Önleme Metodları 11
2.5.1 Su yüzeyinin örtülmesi 11
2.5.2 Modüler (takılıp sökülebilen) örtüler 12
2.5.3 Gölgeleme brandası 12
2.5.4 Kimyasal (monomoleküler) örtüler 12
2.5.5 Biyolojik örtüler 13
3. GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ **15**
3.1 Tarihçesi 15
3.2 Solar Termal Güneş Enerjisi Teknolojileri 16
3.3 Fotovoltaik Teknolojiler (PV) 17
3.3.1 Multikristal silikon fotovoltaik teknolojisi 18
3.3.2 Monokristal silikon fotovoltaik teknolojisi 19
3.3.3 Kadmiyum tellür fotovoltaik teknolojisi 19
3.3.4 Bakır indiyum galyum selenit (CIGS) fotovoltaik teknolojisi 21
3.3.5 Amorf silisyum(a-Si) fotovoltaik teknolojisi 21
4. YÜZER FOTOVOLTAİK SİSTEMLER (YFS) **23**
4.1 Tarihçesi 23
4.2 Uygulama Alanları 25

5. ÇALIŞMA 27
5.1 Çalışmanın amacı 27
5.2 Çalışma Uygulama Alanı 27
5.3 Çalışma'da İzlenilen Yol 27
5.3.1 Buharlaşma tavalarının kurulması 27
5.3.2 Platform tasarımları ve yapımı 28
5.3.3 Ölçüm ekipmanları ve uygulama verisi 32
5.3.3.1 Buharlaşmanın ölçülmesi 32
5.3.3.2 Meteorolojik diğer parametrelerin ölçülmesi 33
5.3.3.3 Fotovoltaik panelin ürettiği gerçek gücün belirlenmesi 35
6. SONUÇLAR 41
6.1 Buharlaşma Kayıpları İle İlgili Sonuçlar 41
6.2 Fotovoltaik Panel ile ilgili sonuçlar 51
6.3 Öneriler 57
ÖZGEÇMİŞ 65

KISALTMALAR

PV : Fotovoltaik Panel
IPCC : Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
YPVP : Yüzer Fotovoltaik Platform
YFS : Yüzer Fotovoltaik Sistem
DSİ : Devlet Su İşleri
(T-PV) : Yüzer Fotovoltaik Platformun olduğu Buharlaşma Tavası
(T-NPV) : Yüzeyi açık olan Buharlaşma Tavası
NREL : ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuarı
MPPT : Maksimum Güç Noktası Arayıcı
VKÜ : Veri Kaydedici Ünite
CdTe : Kadmiyum Tellür
CIGS : Bakır İndiyum Galyum Selenit
RH : Bağıl Nem

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Buharlaşma örtüleri performansları..... 12
Çizelge 2.2 : Buharlaşma kaybı azaltma yöntemleri performansları..... 13
Çizelge 3.1 : Güneş enerjisi kollektörleri. 16
Çizelge 3.2 : Dünyada üretilen PV çeşitleri ve üretim miktarları..... 17
Çizelge 5.1 : Hidrostatik basınç ve su sıcaklığı sensörü..... 32
Çizelge 5.2 : Global radyasyon sensörü 33
Çizelge 5.3 : Hava sıcaklığı ve bağıl nem sensörü 34
Çizelge 5.4 : Yağış sensörü 34
Çizelge 5.5 : Veri kaydedici üniteler 34
Çizelge 5.6 : Fotovoltaik panel teknik özellikleri..... 35
Çizelge 6.1 : Buharlaşma tavalarından olan toplam buharlaşma miktarları..... 41
Çizelge 6.2 : Buharlaşma tavaları su sıcaklıkları değişkenleri 41
Çizelge 6.3 : Yağışlı günler ve yağış miktarları (mm/m2) 45
Çizelge 6.4 : Kara ve su yüzeyi güneşlenme şiddeti – ortalama güç üretimi 50
Çizelge 6.5 : Kara ve suda kurulu PV güç üretimlerinin karşılaştırılması 51
Çizelge 6.6 : Buharlaşma tavaları buharlaşan su miktarları hacmi 56
Çizelge 6.7 : Su kalitesi analizi sonuçları..... 57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Atmometre…….. 8
Şekil 2.2 : Class A Tipi Buharlaşma Tavası…….9
Şekil 3.1 : Multikristal fotovoltaik panel (Topsolarpanelsbrisbane.com, 2015) 18
Şekil 3.2 : Monokrital silikon fotovoltaik panel (New Energy Line, 2015)…….. 19
Şekil 3.3 : Kadmiyum tellür (CdTe) fotovoltaik panel (First Solar, 2015)…… 20
Şekil 3.4 : CIGS fotovoltaik panel hücresi (Fabricola.net, 2015)……..... 21
Şekil 3.5 : Amorf silisyum fotovoltaik paneller (wikipedia.com, 2015)……22
Şekil 4.1 : Yüzer fotovoltaik sistem(YFS) temsili çizim (Choi, 2014)……..23
Şekil 4.2 : Far Niente (ABD-Kaliforniya) Bağlığı göletine kurulan YFS'nin tasarımı (Trapani & Santafe, 2014)……..24
Şekil 4.3 : Far Niente (ABD Kalifornia)Bağlığı göleti ve YFS (Trapani & Santafe, 2014)……...25
Şekil 5.1 : Çalışma sahası kurulum öncesi tavaların kontrolü……28
Şekil 5.2 : Yüzer platformun alt kısmı imal edilirken…… 29
Şekil 5.3 : Yüzer fotovoltaik panel platformu imalat tamamlandıktan sonra…….29
Şekil 5.4 : YFS yerine kurulduktan sonra……..... 30
Şekil 5.5 : Beton bloklar üzerine kurulu…….30
Şekil 5.6 : Sabit platform su yüzeyi üzerinde…….32
Şekil 5.7 : Buharlaşma tavası [T-NPV] ve su seviye sensörü…… 33
Şekil 5.8 : Çalışma sahası…….. 34
Şekil 5.9 : Kyocera PV(KC70) elektriksel karakteristikleri……..... 35
Şekil 5.10 : PV üretilen güç ölçümü devre şeması…….36
Şekil 5.11 : PV üretilen güç ölçümü devre (1)…….. 37
Şekil 5.12 : PV üretilen güç ölçümü devre (2)…….. 37
Şekil 5.13 : MPPT ve diğer ekipmanlar…… 38
Şekil 5.14 : MPPT cihazı……39
Şekil 6.1 : Buharlaşma tavası [T-PV]'deki su seviyesi ve su sıcaklığı……..42
Şekil 6.2 : Buharlaşma tavası [T-NPV]'deki su seviyesi ve su sıcaklığı……...…43
Şekil 6.3 : Buharlaşma tavaları su sıcaklıkları (°C)…….. 45
Şekil 6.4 : Buharlaşma tavaları su sıcaklıkları (°C) – hava sıcaklığı(°C)……..... 45
Şekil 6.5 : Saatlik ortalama global radyasyon - hava sıcaklığı (°C)…….. 48
Şekil 6.6 : Bağıl nem (%) - hava sıcaklığı (°C)……..48
Şekil 6.7 : Yağış ve buharlaşma tavaları seviye değişimi……..... 49
Şekil 6.8 : PV saatlik ortalama güç (W)……52
Şekil 6.9 : PV saatlik ortalama Güç (W) ve güneşlenme şiddeti (W/m^2)…….. 53
Şekil 6.10 : PV saatlik ortalama güç – güneşlenme şiddeti korelasyonu(W/m^2)….. 55
Şekil 6.11 : Kara ve suda kurulu PV performanslarının karşılaştırılması……55

BUHARLAŞMA KAYIPLARININ YÜZER FOTOVOLTAİK PANELLER İLE AZALTILMASI

ÖZET

Türkiye'de serbest yüzey buharlaşma-terleme kayıpları, 274 milyar m^3 olarak hesaplanmıştır. Bu rakam, ülkemizin yıllık kullanılabilir su potansiyeli olan 110 milyar m^3 ün neredeyse 2.5 katıdır. Bitkilerden olan *terleme (transpirasyon)* ile ilgili kayıpların azaltılması teknolojik olarak mümkün olmasa da, *buharlaşma(evaporation)* kayıpları, toplam kaybın % 90'ını meydana getirdiğinden, bu kayıpların azaltılması hayati derecede önemlidir. Buharlaşma mekanizmasını tetikleyen, hava sıcaklığındaki değişimlerdir. IPCC küresel iklim senaryolarında mevcut koşullar devam ederse 2070 yılı için ülkemizin yer aldığı orta enlem kuşağında beklenilen sıcaklık artışı 4-6 ºC'dir. Bu çalışmada, son 10 yıldır dünyada farklı coğrafyalarda kullanım alanı bulan yüzer tip fotovoltaik panellerle(YFP) buharlaşma kayıplarının azaltılması konusunda bir saha araştırması yapılmıştır. 2 adet Class A tipi Buharlaşma Tavası 20 cm derinliğinde su ile doldurulmuş, bir tanesinin üzerine (T-PV), yüzeyinin yarısını kaplayacak şekilde bir yüzer fotovoltaik panel platformu (YPFP) konulmuş, diğerininin (T-NPV) yüzeyi açık bırakılmıştır. Kurulan sistem, 30 gün boyunca serbest atmosfer koşullarında 2 tavadan meydana gelen buharlaşma kayıpları çeşitli hidrometeorolojik parametreler ile kıyaslanmıştır. Ayrıca Fotovoltaik Panelin (70 W Multikristal) ürettiği gerçek güç, özel tasarlanan bir devre ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Serbest atmosferde üretilen güç değerleri ile üretici'nin laboratuardaki test verimlilik değerleri kıyaslanmıştır. Buharlaşma kayıplarına bakıldığında, (T-PV)'den 30 günde 38.7 mm buharlaşma olmuş, açık yüzeyli (T-NPV)'den 94.9 mm buharlaşma olmuştur. Buharlaşma miktarları arasındaki fark; 56.2 mm ve buharlaşma kaybındaki azalma %59.2 olarak tespit edilmiştir. PV'den üretilen ortalama güç 20.67 W olarak ölçülmüştür. Ardından beton bloklar üzerinde kurulu olan aynı niteliklere sahip bir diğer fotovoltaik panel platformu öncelikle kara(toprak) yüzeyde, ardından da su dolu buharlaşma tavası üzerine oturtulmuş ve 5'er gün boyunca güç üretimleri ile ilgili, kara ve su yüzeylerindeki performansı incelenmiş sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bunulan sonuçlara göre karayüzeyindeki PV'nin güç üretimi, su yüzeyindekine göre % 10.8 daha yüksektir. Bu da su üzerine kurulacak platformlarda PV Modülleri ile yüzey arasındaki ısı transferinin güç üretimine etkisinin olumsuz olduğunu göstermektedir. Son olarak yapılan çalışmada iki avadaki 3 defa su numunesi örnekleri mikrobiyolojik olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar çarpıcıdır. (T-PV)'de ve (T-NPV) üreyen E.Coli miktarları sırası ile 9200 koloni/100 ml, 14000 koloni/100 ml, 12800 koloni/100 ml ve 400 koloni/100 ml, 120 koloni/100 ml, 2300 koloni/100 ml olarak belirlenmiştir. Bu da pratikte uygulanması halinde su kütlesi ekosistemi üzerinde bir baskı unsuru yaratmaması açısından kullanılan yüzer platform malzemesi içeriğinin önemli olduğunu göstermektedir.

REDUCE OF EVAPORATION LOSSES WITH USING OF FLOATING PHOTOVOLTAIC PANELS

SUMMARY

Especially last 10 years, as parallel to increasing demand of energy, the most significiant improvements has been occured in Solar Energy Technologies if it is cmpared with other renewable energy technologies. In addition, as parallel to economic development, another increasing demand is about water supply. In the hydrological cycle, the biggest losses of water is evapotranspiration which is go back to the atmosfere as a form of water vapour.

In Turkey, Evapotranspiration losses was calculated as 274 km^3/year which is approximately 2.5 times bigger than annual available water potential of the country(110 km^3/year). Unfortunately, there is no technological possibility to reduce transpiration losses which are sourced by plants during their grown up processes. But evaporation which is sourced from open water surface has a ratio of 90% of evapotranspiration losses. So, It is vitally important to reduce these evaporation losses. The mechanism of evaporation is drived by the change of air temperature. If the recent climate conditions would continue, the IPCC Global Climate Scenarios signs an increase between 4-6 °C over mid-latitudes in 2070. So, the reduce of losses from water resources and maximum benefits from the renewable energy of the country will have a role which is important to mitigate during a possible natural disaster as hydrometeorological drought.

To Reduce of evaporation, there are many different type of solutions that some of them are physical solutions and some of them are chemical solutions. But every method have same approachment that is prevent irradiance that come from sun. The Physical solutions like sun shading canvas have a significant economic cost. In addition, they haven't got any any facility for money back. As well as physical solutions, chemical solutions have not guarantee to reduce loss of water. Because they vitally up to the instant weather conditions. For example, monomolecular layer which is one of chemical solutions have been applied over water surface, it can easily spread over water surface but if A heavy precipitation with strong winds occurs, it decreases the concentration of the chemical layer over water surface. So, The injection process have to be repeated again. Of course it affects the economic costs.

In recent years there is a new method to reduce of evaporation from water storage areas. Floating PV Systems. Although the first purpose for using the method is to benefit the cooling effect of the water for behind PV's especially during hot daytime, the systems also close water surface and influence the mechanism of evaporation. In some countries like Australia which takes place in Tropical Climate Zone, applications of the method spreaded rapidly.

Using of the method have a huge potential for innovative and enviromental technologies. Moreover, it depends on the most innovative renewable energy soruce

which is Solar Energy. Financial cost of using solar energy have been decreased last 20 years. So, it is the fastest growing investment zone on energy marketing. Even if the investment cost seems to have disadvantages, in years, less operation and maintenance costs provide a remarkable decrease over this investments.

This study is a field work about reduce of evaporation losses with using of floating PV Systems which are using in different geographical condition over the world in last 10 years.

In this study, firstly two class A evaporation measurement pan have cleaned and prepared to operate for the field. The pans were fulled under a depht of reference level of 20 cm. Then a floating PV Platform was designed and constructed. For the platform, water wample bottles have been used as floating element. The bottles havee been mounted each other wit using a wooden layer. The wooden layer is also used to install PV. Total area of the platform is 0.57 m^2 and Pans' surface area is 1.144 m^2. So, the floating platform close half of a Pan. The Floating PV Platform was installed over one of the pans(T-PV). The second Pan has left as open surface (T-NPV). The evaporation losses over both of the pans were measured during 30 days between 11th of April and 11th day of May 2015. This time period was selected because of different weather conditions of spring season. The most challenging problem in the study is to measure and storage instant Power production of PV . Because of the electrical charactheristic of PV's, It is hard to measure power and then connect direclty to a data logger. A new designed special electrical circuit was used to solve this problem. The Circuit was reduce and adjust current and voltage load of PV for a multichannel 0-5000 mV differential voltage datalogger. An MPPT also was used to force PV to reach peak power. After 10 day usage, the Dataloogger's two channel (one for current and one for voltage) has been adjusted with some coefficients to show same values. So, the datalogger could show same value with what it was measured over a multimeter and what it is shown over the MPPT, as well.

The results about the loss of evaporation shown that totally there is 38.7 mm of evaporation losses in 30 days from (T-PV). It has a volume of 44272.8 cm^3. The average daily evaporation over (T-PV) is 1.29 mm/day.

At the same time period, the evaporation amount of (T-NPV) is 94.9 mm. On this pan, the volume of evaporated water is 108565.6 cm^3. The average daily evaporation over (T-NPV) is 3.16 mm/day.

So, difference between covered and open surface is 56.2 mm in 30 days. The difference of the volume of evaporated water between two Pans is 64292.8 cm^3. It equals to 59.2% of open surface water.

The average power production of the Floating PV is 20.67 W. The maximum power production of PV is measured 58.2 W in 22nd of April at 03:40 p.m. The correlation coefficient between irradiance and PV Power production is determined as 0.849. The power production of PV stopped in night time and decreased in cloudy or rainy days.

Besides, in the study, another PV that has same properties with the first PV has been established over concrete blocks which is not floated. This platform firstly seated over soil surface. After that, the platform seated over water surface which is one of the evaporation pans. Both of the situation of the platform have been operated for 5 days. Then the results of power productions of the PV have been compared.

The results show that over soil surface, the power production performance of the PV is averagely 10.8% higher than over water surface's production. It means that heat fluxes from water surface has a negative effect over PV Power Production.

Lastly, It was tested the situation of changing amount of mycrobacteria. Water samples show that the bacteria of E.Coli amount inside (T-PV) are 9200 colony/100 ml and 14000 colony/100 ml and 12800 colony/100 ml for (T-PV). The samples of the pan of (T-NPV) are 400 colony/100 ml and 120 colony/100 ml and 2300 colony/100 ml. So, inside of (T-PV) which is half-covered PV Platform, there is a significiant increase of E.Coli which indicates the importance of the choosing of the material about the negative impacts over the ecology of the water body. Because used floating platform has a potential risk for contain perfect conditions for bacterial growth. So, It is highly recommended that for floating platform material should be have an antibacterial and antifungal properties.

1. GİRİŞ

Ülkemizin yıllık su potansiyeli 501 milyar m^3'tür. Bunun 69 milyar m^3'ü yeraltı suyuna karışmaktadır. Yıllık su potansiyeli'nin yalnızca 110 milyar m^3'ü kullanılabilir su potansiyelidir. Ülkemizde ortalama yağış 643 mm/yıldır. Hesaplanan buharlaşma miktarı 274 mm/yıldır. Bunun 28 milyar m^3'ü pınar ve kaynaklarla tekrar yerüstü suyunu beslemektedir. Bu durumda su kaynaklarımızın %55'i kullanılmadan atmosfere karışmaktadır. Türkiye'nin kişi başı kullanılabilir su miktarı 1528 m^3/yıldır. Nüfus projeksiyonlarına göre 2050'de bu rakam 1087 m^3/yıla düşecektir (Bilen, 2008). Öte yandan, yalnızca rezervuar alanları için yapılan hesaplamalara göre 352 depolama alanından (göl, baraj, gölet, regülatör) hesaplanan buharlaşma 6,8 milyar m^3/yıl'dır (Gökbudak & Özhan, 2006).

Yalnızca İstanbul için düşünüldüğünde İstanbul'a su temin eden baraj, göl ve göletlerden olan buharlaşma miktarı 65,488 milyon m^3/yıldır (Gökbudak & Özhan, 2006).

Türkiye enlemsel olarak orta kuşakta (30-60° K) yer almaktadır. Gelecek iklim senaryolarına bakıldığında, 2080-2100 arası dönem için orta enlem ülkeleri'nde tahmin edilen ortalama sıcaklık artışı 4-6 °C derecedir (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013). Bunun su kaynakları açısından anlamı; gelecekte çok daha fazla buharlaşma olacağıdır. Dolayısı ile mevcut su kaynaklarımızın korunması çevresel olduğu kadar sosyo-politik olarak da önemlidir.

Ülkemiz gibi dünyada pekçok ülke bu ve benzeri durumlardan daha az etkilenmek açısından çeşitli önlemler almaktadır. Bunların en başında da mevcut su kaynaklarının korunmasına verilen öncelik vardır.

1.1 Tezin Amacı

Son yıllarda dünyada kullanımı hızla artan Güneş Enerjisi Teknolojileri'nin uygulama

alanlarından bir tanesi Yüzer Fotovoltaik Sistemler (YFS)'dir. Dünya'da farklı coğrafyalarda farklı iklim ve topoğrafya şartlarında kurulup kullanılmış olmaları çok önemlidir. Türkiye gibi farklı iklim ve topoğrafyalara sahip bir ülkede kullanılmasının da büyük faydalar getireceği aşikardır. Bu çalışmada amaç, ülkemizin kuzeybatısında yer alan Edirne şehir merkezinde açık yüzey su buharlaşması ölçüm metodu olan Tava Buharlaşması üzerine yüzeyinin yarısını kapatacak şekilde kurulacak Yüzer Fotovoltaik Platform(YPVP)'un buharlaşma kayıplarındaki azalmaya etkisinin ne olacağının belirlenmesi ve Platform üzerindeki Fotovoltaik Panelin ürettiği gücün tespit edilmesidir. Ayrıca çalışmada, kara ve su yüzeylerine kurulan PV'lerin performansları da karşılaştırılmıştır. Çalışma bahar aylarında yapılmıştır. Her ne kadar araştırmacı, 2 aylık bir periyodu hedeflese de hem mevcut hava şartlarındaki gidişat hem de ölçümlerdeki birtakım aksaklıklar ve veri kayıpları ancak 11 Nisan – 11 Mayıs arasındaki 30 günlük periyotta bu çalışmayı yapmaya imkan tanımıştır.

1.2 Literatür Araştırması

2. Bölüm'de Buharlaşma mekanizması ve buharlaşma engelleme metodlarından bahsedilmiş, Beyazıt'ın *Hidroloji(2003)* kitabı ve WMO 'nun *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation(2008)* rehberinden faydalanılmıştır. Ayrıca Buharlaşma Önleme Metodları konusunda, E. Schmidt'in *Reducing Evaporation from Dams(2005)* adlı çalışması incelenmiş, ayrıca Libya'dan Ikweiri ve ark çalışması ile Mısır'dan Reda ve ark'ının örnek çalışmaları da katkı sağlamıştır.

3. Bölüm'de daha çok Kalegirou'nun *Solar Energy Engineering(2009)* kitabı ve US Department of Energy'nin *Basic Photovoltaic Principles and Methods(1982)* kitabı ile *2013 Renewable Energy DataBook(2014)* kitaplarından faydalanılmıştır.

4. Bölümde, özellikle son yıllarda fotovoltaik teknolojisinin yenilikçi bakış açıları ile sürekli evrilmesi ile farklı tasarımlara ait çalışmalar ve bunların sonuçları konusundaki incelemelerden faydanılmıştır. Bunlardan en önemlisi, Trapani ve Santafe'ye ait 2007-2013 yılları arasında dünyada farklı coğrafyalarda yapılan Yüzer Fotovoltaik Sistemlerin incelendiği *A Review of Floating Photovoltaic Installations:2007-2013(2014)* adlı çalışmadır. Bu çalışmada mevcuttakilerin yanısıra planlama-proje aşamasındakiler hakkında da bilgiler

verilmektedir. Bunun haricinde G. Kore'deki Hapcheon Baraj Gölünün üzerine kurulan YFS'nin kurulması projesinin anlatıldığı *A Case Study on Suitable Area and Resource for Development of Floating Photovoltaic System(2014)* ve burada yapılan çalışmanın sonuçlarının irdelendiği *A Study on Power Generation Analysis of Floating PV System Considering Environmental Impact(2014)* adlı çalışmalar da kayda değerdir.

1.3 Hipotez

Çalışmanın amacında da belirtildiği gibi, ülkemizin de yer aldığı orta kuşak enlemlerindeki ülkelerde, mevcut su kaynaklarının korunması ve etkili kullanımı çok önemlidir. Bunun anlamı da kayıpların en asgariye indirilmesi, aynı zamanda sürdürülebilir gelişmenin önünü açan yenilikçi teknolojilerin uygulama alanlarının arttırılmasının sağlanmasıdır. Buharlaşma sürecini yöneten en önemli hidrometeorolojik parametre, hava sıcaklığıdır (Beyazıt, 2003). Bu sebeple hava sıcaklığının artacağına dair gelecek iklim projeksiyonları aynı zamanda buharlaşmanın da artacağına işaret etmektedir. Yüzer Fotovoltaik Sistemler ülkemizde kurulmuş veya kurulması planlanan baraj, gölet veya regülatör gibi su depolama yapılarında bu buharlaşma kayıplarının azaltılmasında etkili olacaktır. Bu çalışma, kayıpların azaltılması ve ne kadar enerji sağlanabileceği konusundadır. YFS'lerin kurulup işletilmesi konusunda deneyimli şirketlerden bir tanesi olan ABD'li SPG Power System'in iddiası, *YFS kurulan su toplama alanlarında % 70'e varan oranlarda buharlaşma kaybında azalma görülmektedir* şeklindedir (SPG Power System, 2011).

2. BUHARLAŞMA

2.1 Hidrolojik Çevrim

Suyun farklı fiziksel hallerde doğada dönüp durduğu mecraların tümüne birden hidrolojik çevrim denir (Beyazıt, 2003).

Atmosferde gaz formunda bulunan suyun yoğuşarak bulutlardan yer yüzüne inmesi ile yağış meydana gelir. Bu yağış % 60-75'i buharlaşma ve bitkilerden terleme yolu ile tekrar atmosfere karışır. Kalan %40-25'lik kısım, bitkilerce tutulur, zeminden toprağın alt katmanlarına sızar (Sızma). Geriye kalan su, akarsulardan akarak deniz veya göllere ulaşır (Yüzeysel Akış). Toprağın alt katmanlarına sızan su da, yeraltı akışı yolu ile sonunda yer yüzeyine çıkar, yüzeysel akışa katılır. Bu şekilde denizlere-göllere karışan sular, buralardan tekrar gaz formunda atmosfere karışır (Beyazıt, 2003).

Sistem olarak ele alındığında; ana girdi, yağış, ana çıktılar da sızma, buharlaşma-terleme'dir. Havzalarda hidrolojik su dengesi formülü aşağıda verildiği gibidir.

$$\Delta S = P - ET - Q - D \qquad (2.1)$$

P :Yağış
ET: Buharlaşma – Terleme (evapotranspirasyon)
Q: Yüzeysel Akış
D: Yeraltı Depolaması

2.2 Buharlaşma

Tanım olarak buharlaşma, sıvı haldeki suyun, buhara dönüşerek sıvı yüzeyi terk etmesidir. Su, farklı özellikli yüzeylerden buharlaşabilmektedir (Göl, nehir, baraj, gölet, deniz, kara, toprak

ve bitki). Bitki yapraklarından büyüme esnasında, stomalarında sıvı halde tutulan su, serbest atmosfere su buharı formunda verilir. Bu işleme transpirasyon (terleme) denir. Yeryüzeyinden gaz formundaki su buharının atmosfere karışması işlemine evapotranspirasyon (buharlaşma-terleme) denir (Beyazıt, 2003). Yapılan araştırmalar göstermiştir ki, evapotranspirasyon mekanizmasının yaklaşık %90'ı açık su yüzeylerinden % 10'a yakın kısmı bitkilerden terleme yolu ile çok küçük bir kısmı da buzullardan sublimasyon (katı halden doğrudan gaz forma geçme) yolu ile olmaktadır (Swin University Astronomy Australia, 2015).

2.2.1 Buharlaşma mekanizması

Suyun her sıcaklıkta buharlaşabildiği bilinmektedir. Bu sebeple, hem su hem de havadaki sıcaklığın artış-azalışı buharlaşmayı tetiklemektedir. Açık su yüzeyi ile hava yüzeyi arasındaki yüzeyde sürekli olarak hava-su arasında molekül transferi olmaktadır. Su sıcaklığı arttıkça, sıvı yüzeyindeki gerilim azalacağından, su molekülleri serbest kalıp atmosfere karışabilmektedir. Bu durumu zorlayan kuvvet, güneş radyasyonundaki artış-azalış ve su yüzeyinin derinliğidir. Isıl dengede olan açık su yüzeyinden buharlaşmayı başlatan mekanizma, sıcaklığın artmasıdır. Ayrıca ısıl dengeyi korumaya çalışan da suyun derinliğidir (Beyazıt, 2003).

Diğer bir bilimsel bakış açısı da, bu mekanizmayı akı terimleri ile açıklamaktadır. Atmosferik sınır tabaka içerisinde güneş radyasyonu rüzgar hızı ve yönü, basınç, bağıl nem ve sıcaklık, hissedilebilir ve gizli ısı, atmosferdeki gazların konsantrasyonu ısı akıları yolu ile yüzeyler arası ısı transferine sebep olur (Burba, 2013).

2.2.2 Isı akıları

Genellikle sıcaklık olarak tespit edilemeyen ısıl değişimleri *Gizli Isı Akısı(Q_E)* terimi tanımlar. Çoğunlukla da atmosferdeki su buharının faz değişimi esnasındaki ısıl işlemlerle bağlantılı olarak kullanılır (Burba, 2013). *Hissedilebilir ısı akısı (Qh),* termometre ile ölçülebilen sıcaklık değişimlerindeki ısı akısıdır. Gizli ve Hissedilebilir ısı akıları arasında ters bir orantı vardır. Bunun açıklandığı sabite de Bowen sabiti (B) denir.

$$B = \frac{Q_H}{Q_E} \qquad (2.2)$$

Q_H= Hissedilebilir Isı Akısı
Q_E= Gizli Isı Akısı

Bowen oranı, çoğunlukla bir maddenin ısıl kayıp-kazancının hesaplanmasında kullanılır.

B < 1 ise yüzeydeki mevcut ısı enerjisi atmosfere gizli ısı akısı şeklinde transfer olmaktadır. Bazı durumlar, (kurak yüzeylerde) Bowen sabiti ile açıklanmak istendiğinde yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple *Evaporative Fraction* (EF) kavramı ortaya atılmıştır.

$$\mathrm{EF} = \frac{\mathrm{Q_E}}{\mathrm{Q_E} + \mathrm{Q_H}} = \frac{1}{1 + \mathrm{B}} \qquad (2.3)$$

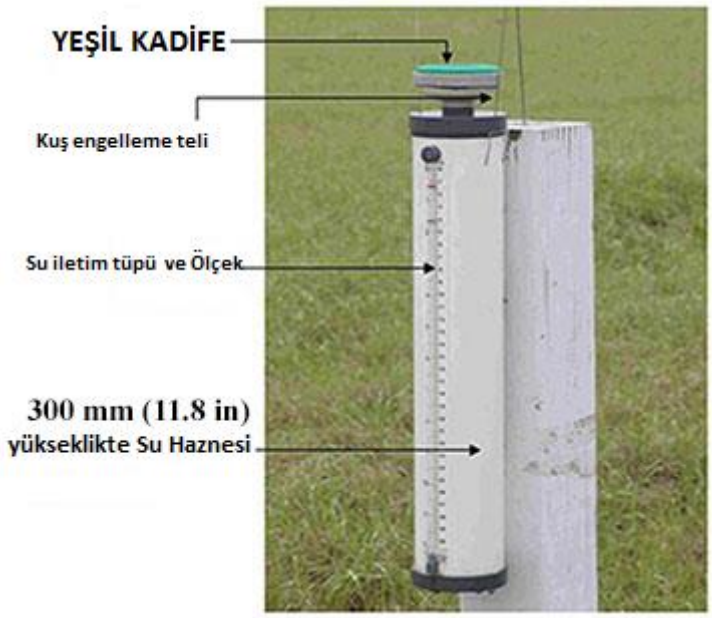
Isı akılarının hesaplanmasında kullanılan birçok metod vardır. Son yıllarda en çok kullanılan metod 'eddy-covarince metodu'dur (Burba, 2013). Bu metod ile atmosferdeki (veya başka bir serbest ortamdaki) gazların konsantrasyonları incelenebilmekte, değişimleri gözlenebilmektedir.

2.3 Buharlaşma Ölçme metodları

2.3.1 Atmometre

Atmometreler ülkemizde pek kullanılmasa da yurtdışında özellikle çiftçiler tarafından buharlaşma miktarının ölçülmesinde sıkça kullanılır. Tamamı ile suya doymuş pürüzlü bir seramik yüzey ve onun bağlantılı olduğu su dolu hazne (metal, plastik veya cam) den oluşur. Hazne üzerinde ölçek vardır. Pürüzlü seramik yüzeyin üzeri gelen güneş radyasyonunun ölçüme etkisini engellemek için yeşil bir kadife ya da gor-tex© malzeme ile kapatılmıştır. Ayrıca yağan yağmurun hazneden içeri girmesini engellemek için seramik kabın altında da ince bir membran vardır. Bu membranın alt kısmında kalan haznedeki su, yüzeydeki seramik üzerindeki su buharlaştıkça ince kılcal bir tüp içerisinden yüzeye gelir. Doyma seviyesine

gelinceye kadar gün boyu buharlaşan su miktarı haznenin yanındaki ölçekten ölçülür (WMO, 2008)(Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Atmometre.

Kullanım kolaylığının yanı sıra, ölçümleri de (bir takım düzeltmeler yapılırsa) Penman Eşitliği ile uyumlu çıkmaktadır (WMO, 2008).

2.3.2 Buharlaşma tavaları ve tankları

Farklı şekil ve ölçülerde tasarlanmış ve kullanılan buharlaşma tavaları ve tankları vardır.

2.3.2.1 Amerikan class A tipi buharlaşma tavası

25.4 cm derinliğinde 120.7 cm çapında silindirik olarak dizayn edilmiştir. Yer yüzeyinden 3-5 cm yukarıda bir tahta platform üzerinde kurulur. Üstünden 5 cm bırakılacak kadar içerisine su doldurulur. Yapıldığı malzeme, galvanizli metal (demir bakır veya alaşım) ve boyasızdır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Class A Tipi Buharlaşma Tavası.

2.3.2.2 Rus tipi GGI-3000 buharlaşma tavası

Silindirik biçimde 3000 cm^2 alana sahip, 60 cm yüksekliğinde tasarlanmıştır. Tavanın tabanı konik şeklindedir. Tavanın ortasında bir valf vardır. Burası bir depo ile bağlantılıdır ve ölçüm yapıldıktan sonra tavayı tekrar referans seviyesine doldurmakta kullanılır. Yanına genellikle GGI-3000 tipi bir yağış ölçer kullanılır.

2.3.2.3 Rus 20 m^2 tank

20 m^2 alana sahip 5 m çapında silindirik biçimde dizayn edilmiştir. Tabanı düzdür ve derinliği 2 m'dir. Su seviyesi 5 mm'den daha fazla düşmez. Bu sebeple bakımının yapılması gereklidir. İç ve dış yüzeyi beyaz boyalıdır. Yan tarafında küçük bir hazne bulunur. Alttan bir ince boru yardımı ile tankla hazne arasında bağlantı kurulur. Ölçümler bu ölçekli haznede yapılır.

Buharlaşmanın doğrudan ölçüldüğü tüm bu yöntemlerde, ölçümler bir rasatçı tarafından periyodik yapılabildiği gibi geliştirilen elektro-mekanik aksamların ilave edilmesi ile otomatik çalışmaları da sağlanmıştır (WMO, 2008).

Ancak sürekli olarak bakım yapılması zorunludur. Çünkü temiz olmaları ve katı maddelerce kirletilmemiş olmaları sağlanmalıdır. Tava Buharlaşmalarından elde edilen sonuçlar gerçek açık yüzey buharlaşmasından fazladır (Beyazıt, 2003).

Bunun sebebi üzerindeki hava ve güneş radyasyonundan açık su yüzseylerine göre daha kolay etkilenmesidir. Ayrıca su bulunduğu tavanın çeperleri ile de ısıl etkileşim halindedir. Dolayısı ile yapılan ölçümlerin belirlenen bir katsayı ile düzeltilmesi gerekmektedir. Class A tavalar da ülkemizde MGM ve DSİ de kullanılan katsayı 0.7'dir[1] (Keskin, Şorman, & Terzi, 2005).

2.4 Buharlaşma Hesaplama Yöntemleri

Buharlaşma direkt olarak ölçülebildiği gibi farklı meteorolojik parametrelere bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Bunlardan en bilineni Penman Metodu'dur (Penman, 1948).

$$E = \frac{\frac{\Delta}{Y}(R_n + E_a)}{\frac{\Delta}{Y} + 1} \tag{2.4}$$

$$R_n = R_n - R_{nlg} \tag{2.5}$$

$$E_a = 0{,}26(0{,}5 + 0{,}7U_2)(e_a - e_d) \tag{2.6}$$

$$R_n = \left[(1-\alpha)R_g - \epsilon\frac{(352{,}8 - 0{,}195\sigma T^4)(0{,}1 + 0{,}9\frac{n}{N})}{59}\right] \tag{2.7}$$

[1] Bu çalışmada aynı nicel ve nitel özelliklere sahip iki tava üzerindeki buharlaşma farkları karşılaştırılacağından açık yüzey buharlaşmasında kullanılan bu katsayılar kullanılmamıştır. Gerçek su yüzeylerinde karşılaştırmalı olarak yapılacak benzer çalışmalar için bu katsayıların kullanılması gereklidir.

E : Buharlaşma miktarı

R_n : Solar Denge (Su seviyesi için)

R_{ns}: Kısa dalga Radyasyonu

R_g: Gerçekte güneş ve gökyüzünden alınan kısa dalga radyasyonu

α : Yansıtma katsayısı (0,04-0,09 arası)

R_{nlg}: Uzun dalga radyasyonu (Hassan, T.H.Hekal, & Mansor, 2007)

Dr. Süleyman Özhan tarafından tablo ve nomograf halinde Penman Metodunun kullanılması gösterilmiştir (Özhan, 1979).

(Beyazıt, 2003)'de Buharlaşma-Terleme için Penman Formülünün kullanılmasına yönelik açıklamalar ve uygulamalar vardır.

2.5 Buharlaşma Önleme Metodları

Açık su yüzeylerinden olan buharlaşmayı önlemek için kullanılan yöntemler aşağıda belirtilmiştir:

1) Su yüzeyinin örtülmesi
2) Modüler örtü
3) Gölgeleme brandası
4) Kimyasal (monomoleküler) örtüler
5) Özel tasarımlar
6) Biyolojik örtüler

2.5.1 Su yüzeyinin örtülmesi

Farklı malzemelerden mamul (ağırlıklı olarak polietilen) olurlar. Havuz, su, içme göleti gibi küçük ölçekli tesislerde su yüzeyinin tamamı kapatılabilmektedir. Oldukça efektif olmakla birlikte maliyeti yüksektir (Çizelge 2.1).

2.5.2 Modüler (takılıp sökülebilen) örtüler

Genellikle Avustralya'nın büyük çiftliklerinde bulunan sulama ve hayvan içme suyu göletlerinde kullanılır. Altıgen veya daire şeklinde birbirine geçmeli, takılıp sökülebilen, sert plastik karışımı malzemeden mamuldür. Su üzerinde yüzer vaziyette durabilen hafif malzemelerdir. Buharlaşmanın çok olduğu kurak periyot sonunda yeniden toplanıp bir depoda saklanabilirler. Büyük su toplama alanları için pratik bir çözüm değildir.

2.5.3 Gölgeleme brandası

Su üzerine serilen örtüler gibi kurulurlar. Ancak su ile temas etmezler. Gergin vaziyette güneş ışığından yıpranma olmaması açısından yüksek kaliteli branda kumaşı vb. malzemeler kullanılır. Rüzgar etkisine karşı oldukça mukavimdirler. Ancak maliyetleri yüksektir.

2.5.4 Kimyasal (monomoleküler) örtüler

Genellikle alkol esaslı bileşikler su üzerinde tabaka halinde kaldıklarından bu malzemeler sıvı veya toz halinde açık su yüzeyine dökülür. Bu şekilde su yüzeyinde ince, yarı saydam bir tabaka oluştururlar. Suyun güneş ışığı ve serbest atmosferle direkt teması kesildiğinden buharlaşma olmaz (veya kısmen daha az olur).

Diğer yöntemlerle kıyaslanırsa ucuz ve pratik bir çözümdür. Ancak hava şartlarına bağımlıdır. Özellikle rüzgar, bu tabakayı su yüzeyinden kaldırır. Ayrıca yağmur yağdığında yüzeydeki alkol konsantrasyonu düşer, yeniden dozlama uygulanması gerekir.

Örtülerin buharlaşma kaybı azaltma performansları Çizelge 2.1'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca tüm yöntemlerin karşılaştırmaları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Buharlaşma Örtüleri Performansları.

ÜRÜN	ORTALAMA (%)	ORAN (%)
Water$avr (Sıvı Monomoleküler Tabaka)	26	10-40
E-VapCap (Kenarlara Sabitlenmiş Örtü)	96	94-100
E-VapCap (Gergin Örtü)	91	83-97
NetPro (Gölgeleme Brandası)	70	69-71
Raftex © (Modüler Tasarım)	87	80-100

Bütün yöntemlerde ana fikir su ile havanın temasının azaltılması yada tamamen kesilmesidir. Tamamı geri dönüşsüz hatta sarf malzemelerle maliyeti yüksek ancak pratik olmayan çözümlerdir.

Çizelge 2.2 : Buharlaşma Kaybı Azaltma Yöntemleri Performansları (%).

ÜRÜN	DÜŞÜK	ORTA	YÜKSEK
Serili örtü	85	90	95
Gölgelenme Brandası	60	70	80
Monomoleküler Sıvı Tabaka	5	15	30

Örneğin; Libyadaki 'Ömer Muhtar Su Depolama Alanı' için yapılan çalışmada iki eşdeğer su tankından (275 m^3) birine monomoleküler bir kimyasal sıvı olarak Water SAVR© uygulanmış, 46 günlük gözlem sonrası aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1) Water SAVR© uygulanan tankta 229 mm buharlaşma, uygulanmayan tankta 274 mm buharlaşma meydana gelmiştir. Buharlaşma kaybına etki, %16.4'tür.

2) Her ne kadar mikrobiyolojik analiz yapılmamış olsa da gözle görülür mavi-yeşil alg varlığı meydana gelmiştir.

3) Uygulanan dozajın etkisinin rüzgardan kaynaklı olarak film tabakasını kaldırdığı ve bu sebepten koruyucu etkinin azaldığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak uzmanlar, Ömer Muhtar Su Depolama Alanı için kimyasal dozlama yöntemini yetersiz bulmuşlar ve uygulama yapılmamıştır (Ikweiri ve diğ, 2008).

2.5.5 Biyolojik örtüler

Diğerleri kadar efektif olmasa da örneğin su mercimeğinin (duckweed) buharlaşmayı %10'a kadar azalttığı belirtilmektedir (Controlling evoporation losses from farmdams, 2005 - Australia). Güney Doğu Asya'da balık ve tavuklar için hayvan yemi olarak kullanılan bu bitki farklı türleri ile özellikle kirli suların arındırılması konusunda başarılı olduğundan biyolojik arıtma amacı ile tercih edilir (Bünyelerine yoğun oranda ağır metal alabilmektedirler).

3. GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ

3.1 Tarihçesi

Fransız fizikçi Edmond Beckquerel (1820-1891) 1839 yılında fotovoltaik etkiyi ilk defa gözlemlemiş ve solar hücrelerin teorisini ortaya atmıştır (US Department of Energy (NREL), 1982). Yaptığı deneyde, gümüşklorürü bir asit çözeltisi içine yerleştirmiş ve platin elektrotlarla temas etmesi ile gerilim elde etmiştir. Bu şekilde gümüşklorür aydınlanmıştır. Bilim tarihinde fotovoltaik etki[2] (yada Beckquerel etkisi) diye bilinen bu mekanizma aynı zamanda ilk fotovoltaik hücredir (www.solarenergyworld.com/solar-histrory-edmondbeckquerel).

1870'li yıllarda katı hal fiziğinde fotovoltaik etki ilk olarak selenyum üzerinde denenmiş ve 1880'lerde selenyum fotovoltaik hücresinden %1 verimlilik ile enerji üretilmiştir (Tull, 2015).

1920 ve 30'lu yıllarda gelişen Kuantum Fiziği, hassas sensörler ve verimli cihazların yolunu açacak şekilde ışık ve atomun yapısını anlamamızı sağlamıştır (US Department of Energy-NREL, 1982). Ardından 40 ve 50'li yıllarda BELL telefon laboratuarlarında bugün bile ticari olarak en yaygın kullanılan malzeme olan silicon, yüksek oranlarda kristalize edilmek suretiyle saflaştırılmış (Czochralski metodu) ve geliştirilen hücreler, %4 verimle enerji üretmeyi başarmış ve sonrasında sırasıyla verim %6 ve %11'e çıkmıştır.

---

[2] **Fotovoltaik etki:** Birbirinden farklı iki malzemenin (literatürde p ve n olarak geçer) ortak temas bölgesinin (common junction) foton enerjisi (planck kanunu) ile aydınlatılması sonucu iki malzeme arasında oluşan elektriksel gerilimdir.

$$c = \lambda \cdot f$$

c: Işık hızı (3.10^8 m/s) λ:Dalga boyu (m) f:Frekans (hz)

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

E: Foton Enerjisi (j) h: Planck Sabiti ($6{,}626 \cdot 10^{-34}$J·s

Bu ürünler kısmi de olsa ticari bir başarı sağlamakla beraber, hem AR-GE hemde satış-pazarlama konusunda asıl başarı, 1970'lerdeki büyük petrol krizi sonrası yaşanmıştır (Wikipedia, 2015),(Middlebury College, 2015).

3.2 Solar Termal Güneş Enerjisi Teknolojileri

Güneşten gelen enerjinin ısı enerjisine dönüştürülerek mevcut ortam dışında kullanılmasını sağlayan teknolojilerdir (Kaligreu, 2009). Tipik olarak ikiye ayrılırlar. Birincisi konsantre, diğer bir deyişle (içbükey odaklanmış), ikincisi konsantre olmayan (düz yüzey).

Hareket özelliklerine bağlı olarak 3'e ayrılırlar.

Çizelge 3.1 : Güneş Enerjisi Kollektörleri (Kaligreu, 2009).

Hareket	Kollektör Tipi	Absorblama Tipi	Konsantrasyon Oranı	Etkin Sıcaklık Aralığı (°C)
Stasyoner	Düz yüzey kollektör (DYK)	Düz	1	30-80
	Tahliyeli Tüp Kollektör (TTK)	Düz	1	50-200
	Birleşik Parabolik Kollektör	Tüp	1-5	60-240
Tek Eksenli Hareket			5-15	60-300
	Doğrusal Fresnel Yansıtıcı	Tüp	10-40	60-250
	Silindirik Kollektör	Tüp	15-50	60-300
	Parabolik Kollektör	Tüp	10-85	60-400
İki Eksenli Hareket	Parabolik Çanak Yansıtıcı	Noktasal	600-2000	100-1500
	Heliostat Alan	Noktasal	300-1500	150-2000

Kollektör

Not: Konsantrasyon oranı, kollektör alanı alıcı / absorblayıcı alandan bağımsız tanımlanmıştır.

3.3 Fotovoltaik Teknolojiler (PV)

Teknolojik gelişimi süresince Fotovoltaik Paneller, farklı malzemelerle, farklı ortam ve amaçlara hizmet edecek şekilde çok çeşitli tasarlanmış ve üretilmişlerdir (Kaligreu, 2009).

Fotovoltaik paneller veya modüller, yenilikçi teknolojilerdir. Bu sebeple sürekli farklı bir çeşidi üretilebilmektedir. Tamamen şeffaf fotovoltaik hücrenin 2014 yılında üretildiğine dair haberler çıkmıştır[3].

Ancak ticari olarak üretimde olan PV Paneller ve dünyadaki üretim miktarları ve toplam üretimdeki oranları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

(REN21 , 2014), (U.S. Department of Energy: Efficiency & Renewable Energy , 2014).

Çizelge 3.2 : Dünyada PV Çeşitleri ve Üretim Miktarları (U.S. Department of Energy: Efficiency & Renewable Energy , 2014).

PV Çeşitleri	Üretim Miktarı (MW)	Üretim Payı (%)
Multikristal Silikon	24 467	65
Monokristal Silikon	9 354	24
CdTe	1 640	4
CIGS	1 271	3
a-Si	1 254	3
Diğerleri	380	1

[3] Aslında bu bir hibrid fotovoltaik hücredir. Yani güneş ışığının UV ve IR bantlarda yayımlanan fotonların hücreye gelince yoğunlaştırılması ve IR olanların geri yansıtılması esnasında hücre içerisinde elektriksel gerilim meydana gelmesine dayanan yeni bir teknolojidir. Nisan 2015 itibari ile Apple© şirketine ait henüz üretilmeyen IPhone© 7 cep telefonunun ekranında kullanılması planlanmakta, böylece pil ömrünün arttırılması hedeflenmektedir (Boehrer, 2014).

3.3.1 Multikristal silikon fotovoltaik teknolojisi

Farklı yapılarda heterojen silikon kristalleri PV hücrelerinin temel malzemesidir. Monokristal PV'lere göre üretim prosesleri daha az olduğundan üretim maliyetleri de daha düşüktür. Bu sebeple çok talep görmekte ve üretilmektedir. Dünyada üretimin %65'i Multikristal PV'lerden yapılmaktadır.

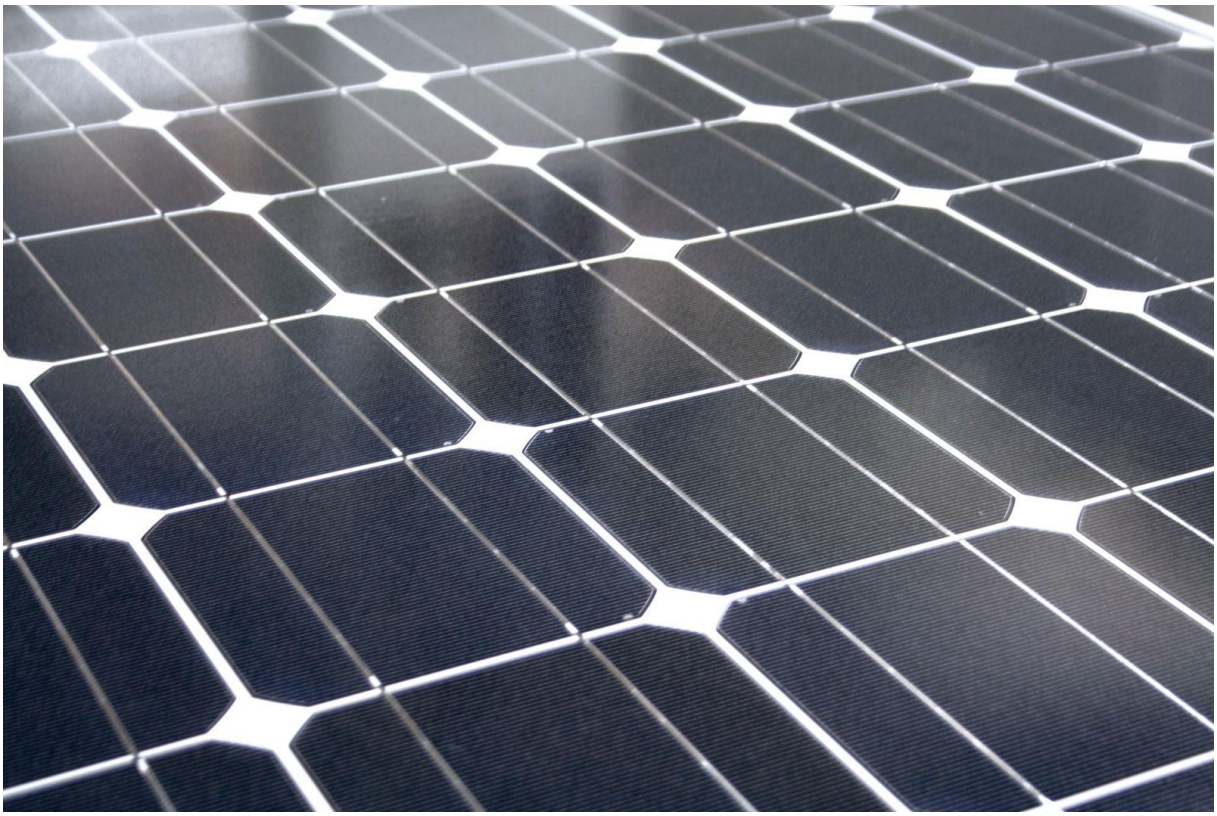
Multikristal silicon fotovoltaik teknolojisi'ndelaboratuar şartlarında ulaşılan en yüksek verimlilik değeri %20.4 olarak tespit edilmiştir (NREL, 2015) (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Multikristal fotovoltaik panel (Topsolarpanelsbrisbane.com, 2015).

3.3.2 Monokristal silikon fotovoltaik teknolojisi

Monokristal silikon fotovoltaik teknolojisi'nde hücreler, Multikristal silikon hücrelerden farklı şekilde ek ısıl proseslerle neredeyse tamamı(%99.7) saf silisyum kristallerden meydana gelir. En önemli avantajı verimlilikleridir. Bu sebeple tercih edilirler. Ancak üretimlerindeki saflaştırma prosesleri dolayısı ile maliyetleri fazladır. Laboratuar ortamında, en yüksek verimlilik değeri %25.0 olarak tespit edilmiştir(NREL, 2015) (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Monokrital silikon fotovoltaik panel (New Energy Line, 2015).

3.3.3 Kadmiyum tellür fotovoltaik teknolojisi

Kadmiyum tellür PV'ler, kristal silisyum teknolojisi yerine ince film yarı-iletken teknolojisine dayanır. Teknolojisi 1950'li yıllara kadar uzansa da özellikle 2000'li yıllarda büyük bir ilerleme göstermiş, en son 2014 yılında %21.5 hücre verimliliğine ulaşılarak rekor kırılmıştır. Avantajı, kristal PV'lere göre ucuz ve hafif olması iken, birçok dezavantajı da içerisinde barındırır. Öncelikle doğada kadmiyum elementi saf halde bulunmaz ve işlenirken kadmiyum

klorit ($CdCl_2$) bileşiği gibi zararlı bir bileşik halinde işlenir. Ekonomik ömürleri biten PV'lerin geri dönüşümlerinin nasıl olacağı henüz bilinmemektedir. Ayrıca dünyada tellür kaynakları sınırlıdır. Daha doğrusu henüz net olarak bilinmemektedir. Bu sebeple ileride oluşacak talebin nasıl karşılanacağı da belirsizdir. Dünyadaki toplam tellür metali üretimi 800 ton/yıl'dır. Tellür ayrıca, demir-çelik endüstrisi başta olmak üzere birçok metal için dayanıklılık arttırmada kullanılır. Bununla beraber CdTe PV'lerin üretimi söz konusu olduğunda; 1 GW'lık panel üretimi için yaklaşık 93 ton tellür gereklidir. Bu sebeple CdTe PV üretiminde üretim hızını kısıtlayan bir süreç meydana gelmektedir (Şekil 3.3).

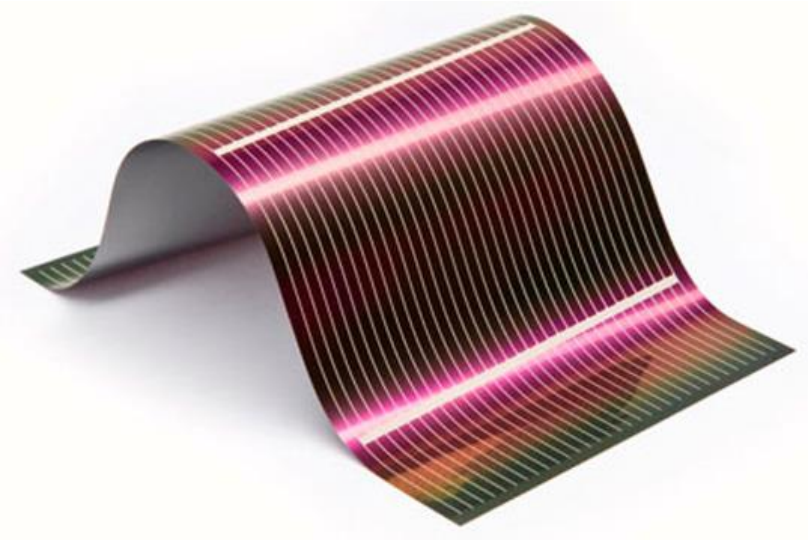


Şekil 3.3: Kadmiyum tellür (CdTe) fotovoltaik panel (First Solar, 2015).

3.3.4 Bakır indiyum galyum selenit (CIGS) fotovoltaik teknolojisi

İnce Film PV Teknolojileri arasında en yüksek verime sahip olanlar (%23.3), bakır indium galyum selenit (CIGS) PV'lerdir (NREL, 2015). En önemli özellikleri sıcaklık farkından kaynaklı performans değişimlerinden az etkilenmeleridir. PV hücrelerinin absorbsiyon katsayısı çok yüksektir, güneş ışınımını çok iyi absorblarlar. Oldukça esnek ve hafif bir malzeme olduğundan taşınabilirliği dolayısı ile bireysel kullanıma yönelik çok sayıda ürün geliştirilmiştir (Şekil 3.4).

Fakat, indiyum metali kaynakları doğada kısıtlı bulunmaktadır. Ayrıca indiyum, dokunmatik ekran teknolojisine sahip tablet pc ve akıllı telefonlarda da yoğun olarak kullanıldığından, ileride tükenme ihtimali yüksek bir metal olarak görülür. Bu da dolayısı ile bu teknolojiden ilerisi için faydalanılma ihtimalini azaltmaktadır.



Şekil 3.4 : CIGS fotovoltaik panel hücresi (Fabricola.net, 2015).

3.3.5 Amorf silisyum(a-Si) fotovoltaik teknolojisi

Kristalize silikon yerine amorf (dağınık bırakılmış mikro ölçekli) silikon atomları kullanılan hücrelerden oluşur. Bu sayede silisyum atomları ince bir filme dökülüp burada birleştirilebilirler, böylece 'ince film silikon' fotovoltaik paneller oluşturmak mümkün olabilmektedir(Şekil 3.5). Kristal PV'lerde kıyaslanırsa verimlilikleri çok daha düşüktür. En

yüksek verimlilik değeri'ne % 13.4 ile ulaşılmıştır ancak ucuz olmaları ve kurulum kolaylıkları yönüyle tercih edilmektedirler (NREL, 2015), (Kaligreu, 2009).



Şekil 3.5 : Amorf silisyum fotovoltaik paneller (wikipedia.com, 2015).

4. YÜZER FOTOVOLTAİK SİSTEMLER (YFS)

Buharlaşma kayıpları ve önleme metodları söz konusu olduğunda mevcut yöntemlerden tamamen farklı, sürdürülebilir, geri dönüşü olan ancak prensip olarak yine su yüzeyini örterek suyun serbest atmosfere gitmesini yani buharlaşmayı önlemek amacı ile yaklaşık 10 yıldır kullanılan bir diğer uygulama Yüzer Fotovoltaik Sistemler (YFS)'dir (Şekil 4.1).

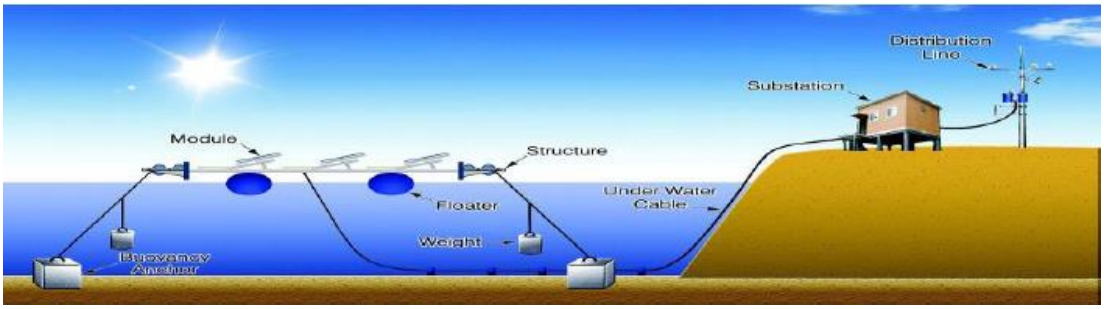
Bir YFS'nin elemanları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Choi, 2014):

Yüzer Platform: İki Parçadan (Şamandıralar + Platform) oluşur. PV Panellerinin konulduğu yüzeydir.

Çipalama Elemanları: YFS'nin suyun düşey ve yatay hareketinden etkilenmeden sabit durmasına yardımcı olacak parçalardır. Suyun dibinde dururlar.

PV Sistemi: Fotovoltaik Panellerden meydana gelen güç ünitesidir.

Yer Altı Kabloları: Üretilen enerjinin karaya transferinin sağlandığı kablolardır.

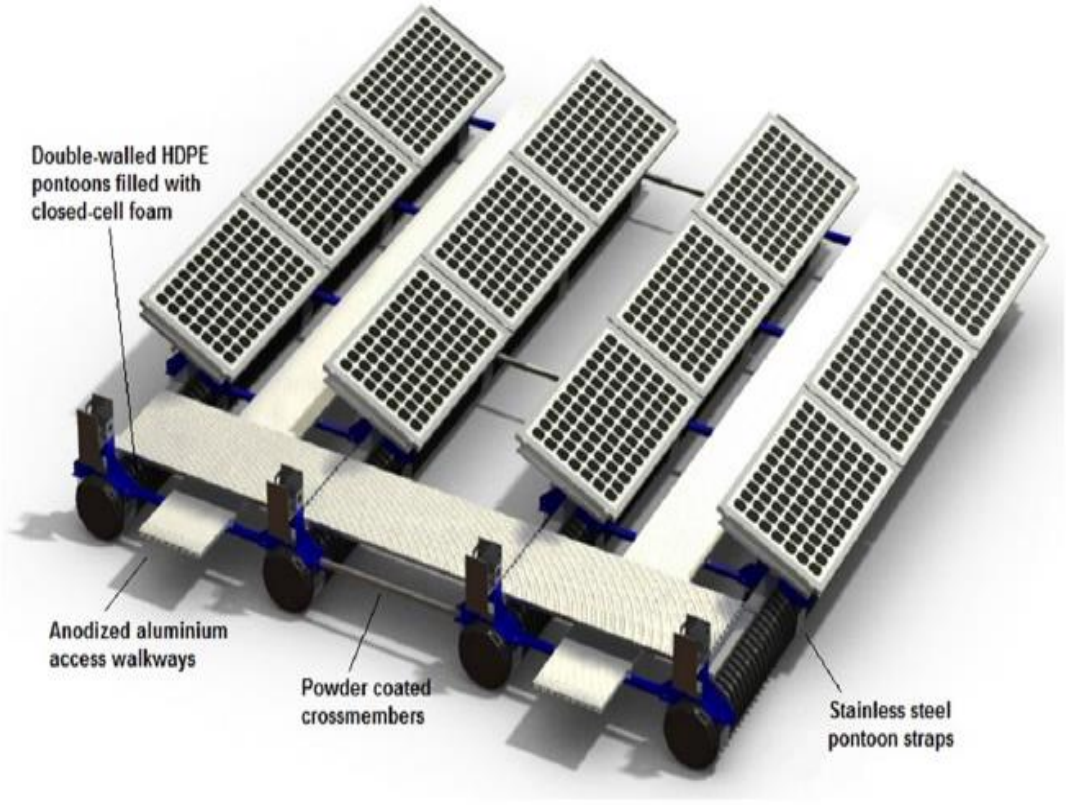


Şekil 4.1 : Yüzer fotovoltaik sistem(YFS) temsili çizim (Choi, 2014).

4.1 Tarihçesi

İlk olarak 2007 yılında Japonya Aichi'de yer alan bir Hidroelektrik Barajının haznesinde 20 kW kurulu gücünde bir yüzer fotovoltaik sistem kurulmuştur. Bu sistem yalnızca su ve hava soğutmalı PV'lerin performanslarının araştırılması amacıyla Japonya Ulusal İleri Endüstri Bilim ve Teknoloji Enstitüsü tarafından

kurulmuştur (Trapani & Santafe, 2014). Yapılan uygulama prototip aşamasında iken su soğutmalı yüzer sisteme ayrıca 10 dakikada bir pompa ile barajdan su çekilip panellerin yüzeylerinin fiskiye ile temizlenmesi de sağlanmıştır (Ueda ve diğ, 2012). Bundan 1 yıl sonra 2008'de ABD'nin Kaliforniya eyaletinde kurulu bir bağ ve şarap imalathanesindeki yapay göletin üzeri sahibi tarafından yüzer Fotovoltaik Panellerle kapatılmak istenmiştir. İşletmecinin amacı hem bedava elektrik üretmek hem de sıcak iklim kuşağında yer alan üzüm bağlarının kurumasını engellemek için daha çok sulama yapmak istemesidir. Bunun yanısıra mevcut gölet haricinde kurulmak istense bile etrafı tamamı ile yetişmiş üzüm bağları ile çevrili olduğundan başka bir yere kurma şansı da yoktur. Bu sebeple SPG Solar Şirketi ile anlaşarak göletin üzerine 200 kW gücünde fotovoltaik sistem kurulur (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).



Şekil 4.2 : Far Niente (ABD-Kaliforniya) Bağlığı göletine kurulan YFS'nin tasarımı (Trapani & Santafe, 2014).



Şekil 4.3 : Far Niente (ABD Kalifornia)Bağlığı göleti ve YFS (Trapani & Santafe, 2014).

Bu iki tesisten sonra dünyada farklı coğrafyalarda farklı iklimlerde farklı amaçlarla bilinen 20'nin üzerinde Yüzer Fotovoltaik Sistem kurulmuştur (Trapani & Santafe, 2014).

4.2 Uygulama Alanları

Her ne kadar bu sistemlerin çoğunluğu mevcutta geliştirilmiş bir fotovoltaik panel teknolojisini (Kristal Silikon) kullanıyor olsa da son yıllarda özellikle film ve rulo halinde üretilen fotovoltaik paneller veya yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojileri de kullanılmaya başlanılmıştır.

YFS'ler, Japonya ve Güney Kore'deki çalışmalarda özellikle deniz aşırı kurulum için mevcut teknolojilerin denenmesi veya yenilikçi teknolojiler geliştirmek amaçlansa da Avustralya veya Hindistan gibi sıcak iklim kuşağında yer alan ülkelerde çoğunlukla zorunluluktan kaynaklı olarak tesis edilmektedirler. Mesela Avustralya'da büyük hayvan çiftliklerinde yapılmış yapay hayvan içme suyu göletlerinde özellikle sıcak aylarda aşırı buharlaşma olması dolayısı ile çiftlik sahipleri hayvanlarını sulayamamakta dolayısı ile ekonomik zarara uğramaktadırlar. Her ne kadar mevcut yöntemlerle önlem alınsa da farklı faktörler dolayısı ile (kum fırtınaları, ani aşırı yağışlar vs.) bu mekanik çözümler işe yaramamakta veya kısmen yaramaktadır.

(Controlling evoporation losses from farmdams , 2005 - Australia) Hindistan'da ise, ülkenin en büyük şirketi olan TaTa Corp. tarafından 2012 yılında bir baraj üzerinde yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojisinin kullanıldığı bir YFS deneme amaçlı olarak kurdurulmuştur[4]. Başarılı olması halinde yaygınlaştırılacağı söylenmektedir (TaTaPower, 2015) . Hindistan bunun haricinde açık sulama kanallarının üzerlerini Fotovoltaik Panellerle kapatan bir projeye de ev sahipliği yapmaktadır. Sudbury, Kanada'da da ince film teknolojisinin kullanıldığı prototip olarak test edilen 0.5 kW'lık bir esnek YFS Uygulaması yapılmıştır (Trapani & Santafe, 2014). Ayrıca henüz tasarım aşamasında olan batabilen yüzer ince film teknolojilerinin kullanılmasına yönelik çalışmalar da vardır. Amaçlanan, sıcaklık artışı sebebiyle düşen panel verimliliğini tekrar yükseltmek olsa da uygulama henüz yapılmadığından sonuçlarının neler olacağı henüz bilinmemektedir.

[4] Burada yapılan çalışma, bir deneme çalışmasıdır ama aynı zamanda yeni bir teknoloji olan Yoğunlaştırılmış Yüzer Fotovoltaik Sistemler kullanılması açısından ilginçtir. Bu da göstermektedir ki standart bir YFS Uygulaması yoktur ve kendisi de yenilikçi bir uygulama olan YFS'lerde, Yenilikçi teknolojiler pekala uygulanabilmektedir (Sunengy Liquid Solar Array, 2015).

5. ÇALIŞMA

5.1 Çalışmanın amacı

Bu çalışmada öncelikli amaç, yüzeyinin yarısı yüzer bir platform ile kapatılmış Class A Tipi Buharlaşma Tavası (T-PV) ile, yüzeyi açık bırakılan aynı nitliklerde bir başka Class A Tipi Buharlaşma Tavası (T-NPV)'nın açık atmosfer koşullarında buharlaşma kayıpları bakımından kıyaslanmasıdır.

Çalışmada ikinci olarak amaçlanan ise, yüzer platform üzerine 45º'lik açık yerleştirilmiş 70 W Maximum güç üretebilen multikristal bir Fotovoltaik Panel (PV)'nin bu atmosfer koşullarında ürettiği gerçek gücün tespit edilmesidir

Çalışma'da üçüncü olarak amaçlanan, toprak yüzeyi ve su yüzeyi üzerine 45 º 'lik açı ile kurulu başka bir PV Platformu (yüzer olmayan-sabit) arasındaki güç üretim performanslarının kıyaslanmasıdır.

5.2 Çalışma Uygulama Alanı

Çalışma, 41º 39' 55" K ve 26º 34' 16" D koordinatlarında Edirne şehir merkezinde bulunan DSİ 11. Bölge Müdürlüğü arazisi sınırları içerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma, 11 Nisan – 11 Mayıs 2015 arasındaki 30 günlük periyodu kapsamaktadır.

5.3 Çalışma'da İzlenilen Yol

5.3.1 Buharlaşma tavalarının kurulması

DSİ 11. Bölge Müdürlüğü tarafından geçmişte proje geliştirme aşamasından hidrometeorolojik etüdlerde kullanılmış daha sonra depoya kaldırılan galvanizli metal malzemeden mamul 2 adet Class A tip buharlaşma tavası kullanılmıştır. Buharlaşma tavaları çalışma sahasında tahta paletler üzerine yerleştirilmiştir.

Bu tavalar ilk olarak göz ile kontrol edilmiş, ardından üzerlerinde belirli olan referans seviyelerine kadar şehir şebeke suyu ile doldurulmuştur. Herhangi bir çatlak ve buna bağlı sızıntı olup olmadığını tespit etmek amacı ile 2 gün 2 gece bu halde bırakılmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : Çalışma sahası kurulum öncesi tavaların kontrolü.

Bir tavada taşıma esnasında olması muhtemel çatlak tespit edilmiş ve bu çatlak, su geçirmez jel silikon ile kapatılmıştır.

5.3.2 Platform tasarımları ve yapımı

5.3.2.1 Yüzer platform tasarımı

Tavaların bir tanesinin üstüne yerleştirilmek üzere yüzer vaziyette hafif malzemelerden mamul sağlam bir platform tasarlanmış ve yapılmıştır.

Şekil 5.2'de görüleceği gibi Platform, 4 parça ve hepsinin üzerini saran bir örtüden meydana gelmiştir. Ebatları 0.60 x 0.95 m'dir. Kalınlığı 7 cm'dir. En altta sert plastik numune alma şişeleri sıra sıra dizilmiş, bir branda kumaşı ile üstündeki sunta parçaya havalı kompresör ile zımbalanmıştır (Şekil 5.3). Suntanın üstünde binalarda dış yalıtım malzemesi olarak kullanılan sert strafor ve onun da üzerine 2 cm'lik

MDF'den yapılmış tahta plaka vardır. Hepsinin üzeri balonlu ambalaj naylonu ile sarılmış ve zımbalanmıştır.



Şekil 5.2 : Yüzer platformun alt kısmı imal edilirken.

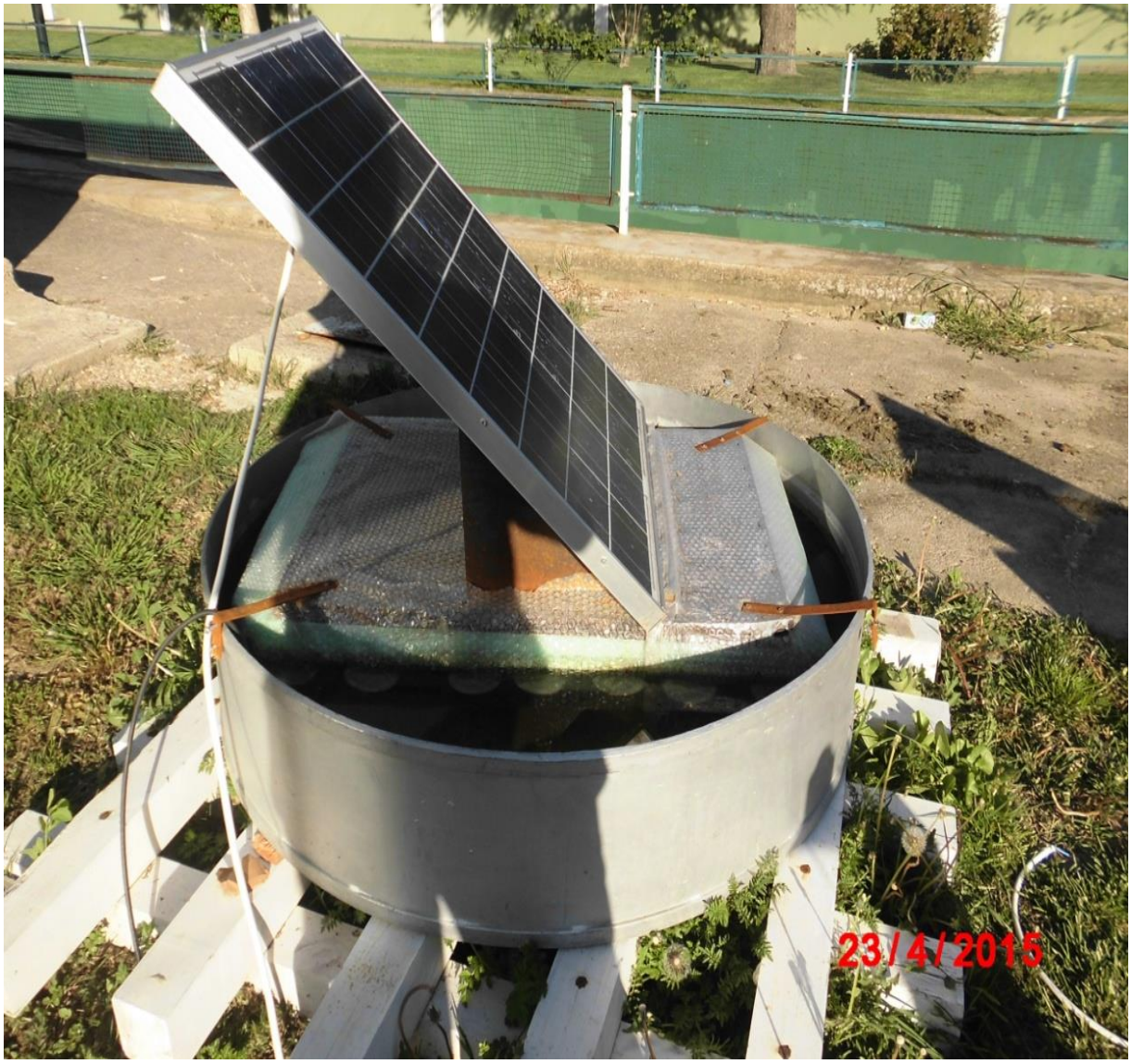


Şekil 5.3 : Yüzer fotovoltaik panel platformu imalat tamamlandıktan sonra.

Tasarımdaki hedef, suyla temas eden platformun sudan etkilenip şişmesini engellemek, üzerindeki fotovoltaik panelin dengesini sağlamak, ve su üstünde yüzer halde kalabilmesini sağlamaktır.

Planlanan şekli ile yapılan platformun üzerine, 45º'lik açıda hazırlanmış 2 adet demir destek ayağı sabitlenmiş, ardından da PV Panel, bu demirlere monte edilmiştir (Şekil 5.3).

Son olarak El GPS'i ile tespit edilen tam güney istikametine yönlendirilmiş platform, buharlaşma tavasının 4 tarafına 4 adet kanca ile sabitlenmiş, rüzgardan hareket etmesi önlenmiş olarak yüzer vaziyette bırakılmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4: YFS yerine kurulduktan sonra.

5.3.2.2 Sabit beton blok platform tasarımı

Çalışmanın için yüzer platform haricinde, 4 adet 25cmX25cmX25cm'lik beton küpler üzerine yüzer platformdaki ile aynı niteliklere sahip başka bir Fotovoltaik Panel 45°'lik açı ile monte edilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 : Beton bloklar üzerine kurulu sabit platform toprak(kara) yüzeyinde.

Yüzer Platform'dan farklı olarak bu yeni düzenekde PV'nin arka yüzeyi açık bırakılmıştır.

Öncelikle 01-05 Haziran 2015 arasındaki 5 günlük periyotta, düzenek, Kara yüzeyinde kurulu bırakılmıştır.

Ardından 08-12 Haziran 2015 arasındaki dönemde bir tane buharlaşma tavasının içi 20 cm derinliğinde su ile doldurulup düzenek su dolu tavanın içine oturtulmuştur (Şekil 5.6).

Bunun yapılmasındaki amaç, PV'nin arka yüzeyinin buharlaşan su ile temas etmesinin sağlanması, bu sayede de su buharının PV güç üretimi performansına etkisinin görülmesidir.

Her iki sistem 5'er günlük periyotlarda çalışmış ve farklı güneşlenme şiddetleri ve farklı güç üretimi değerleri elde edilmiştir. Bunu gidermek için iki sistemde de

ortalama Güneşlenme şiddetlerine karşılık üretilen ortalama güç değerleri hesaplanmış ve grafik üzerinde dağılımlarına bakılmıştır.



Şekil 5.6 : Sabit platform su yüzeyi üzerinde.

5.3.3 Ölçüm ekipmanları ve uygulama verisi

5.3.3.1 Buharlaşmanın ölçülmesi

Buharlaşma kaybının tespiti amacı ile aşağıdaki Çizelge 5.1'de teknik özellikleri verilen hidrostaik basınç sensörleri kullanılmıştır. Bu sensörlerden her iki tavaya da birer tane sabitlenerek kurulmuştur (Şekil-5.7).

Çizelge 5.1 : Hidrostatik basınç-Su sıcaklığı sensörü.

Marka	KELLER
Model	36X
Sensör Fiziki Yapı	316L Paslanmaz Çelik
Sensör Çıkış	4-20 mA Analog
Çalışma Aralığı	-20 ºC - + 80 ºC
Hassasiyet	5.1% FS



Şekil 5.7 : Buharlaşma tavası [T-NPV] ve su seviye sensörü.

Bu sayede her saat, referans seviyesine (20 cm) göre olan buharlaşma kaybı su derinliğindeki değişime bağlı olarak belirlenmiştir.

Aynı sensörler üzerinde bulunan su sıcaklığı sensörleri de suyun sıcaklığını ölçmüş, aynı şekilde her saat başında saatlik ortalama su sıcaklığını kaydetmiştir (Şekil 5.5).

5.3.3.2 Meteorolojik diğer parametrelerin ölçülmesi

Bu çalışma'da çeşitli meteorolojik parametrelerin, Buharlaşma ve PV Güç Üretim performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amacı ile, Global Radyasyon (W/m^2), Hava Sıcaklığı (ºC), Bağıl Nem (%) ve Yağış (mm/m^2) ölçülmüştür. (Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4) Ayrıca bu sensörlerin verileri farklı periotlarla Veri Kaydedici Ünitelere kaydedilmiştir (Çizelge 5.5) (Şekil 5.8).

Çizelge 5.2: Güneşlenme Şiddeti(Irradiance) sensörü (Piranometre).

Marka	DELTA OHM
Model	LP Pyra 02 AC
Sınıf	ISO 9060 First Class
Ölçüm Aralığı	0-2000 W/m^2
Hassasiyet	10 W/m^2
Çalışma Aralığı(°C)	-40 °C - + 80 °C
Çıkış	4-20 mA Analog

Çizelge 5.3: Hava sıcaklığı ve bağıl nem sensörü.

Marka	MetOne INSTRUMENTS
Model	083E Temp&RH
Ölçüm Aralığı	-50 °C - + 50 °C Sıcaklık
	0 - 100 % RH
Doğruluk	±0.1 °C Sıcaklık
	±2 % Bağıl Nem
Çıkış	Direnç Köprüsü Sıcaklık
	0-1 V Gerilim RH
Radyasyon Siperliği	41003 – 5

Çizelge 5.4: Yağış sensörü (Plüvyograf).

Marka	TEXAS Electronics
Model	TR – 525 USW
Çözünürlük (mm)	0.2
Çalışma Prensibi	Devrilen Kova (Tipping Bucket)

Çizelge 5.5: Veri kaydedici üniteler.

Veri Kaydedici	Kaydedilen Parametre
Campbell Scientific CR850	Hava Sıcaklığı, Bağıl Nem, Yağış
Campbell Scientific CR850	PV Güç Ölçümü
Danes Libor (DN 4000)	Global Radyasyon
Akım Elektronik PLT – 02	Su Seviyesi, Su Sıcaklığı



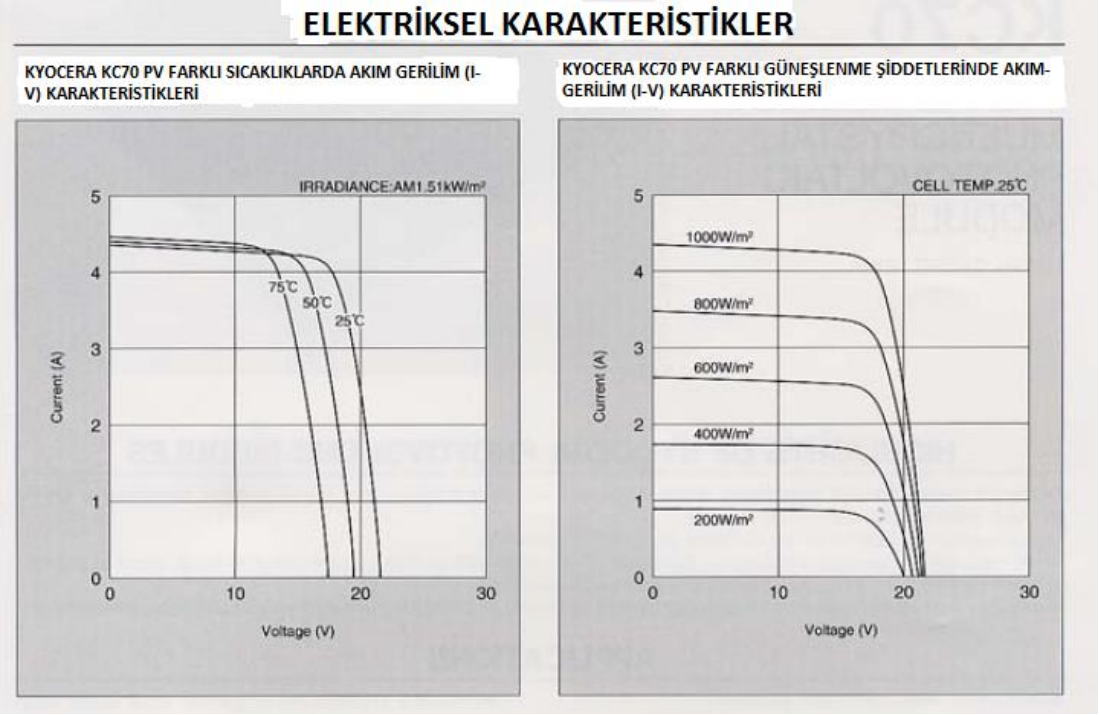
Şekil 5.8 : Çalışma sahası.

5.3.3.3 Fotovoltaik panelin ürettiği gerçek gücün belirlenmesi

Kullanılan Fotovoltaik Panelin elektriksel karakteristikleri Şekil 5.9'da verilmiştir. Bu çalışmada araştırmacıyı en çok zorlayan konu, Fotovoltaik Panel tarafından üretilen gerçek gücün tespit edilmesi ve kayıpsız olarak kayıt edilmesidir.

Çizelge 5.6: Fotovoltaik panel teknik özellikleri.

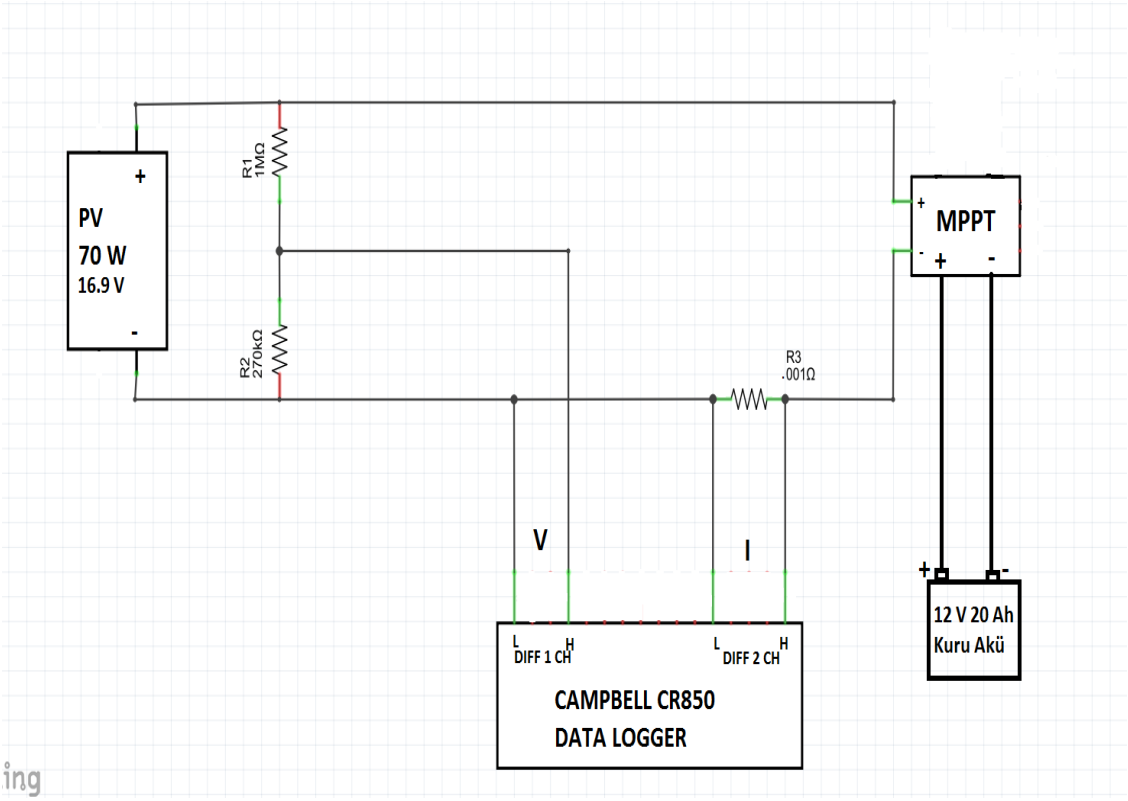
Marka	KYOCERA
Model	KC70
Sınıf	Multikristal Silikon PV
Boyutlar(mm)	865 x 652 x 56
Ağırlık(kg)	7.0
Maksimum Güç(W)	70
Maksimum Gerilim(V)	16.9
Maksimum Akım(A)	4.14
Hücre Verimliliği(%)	>14



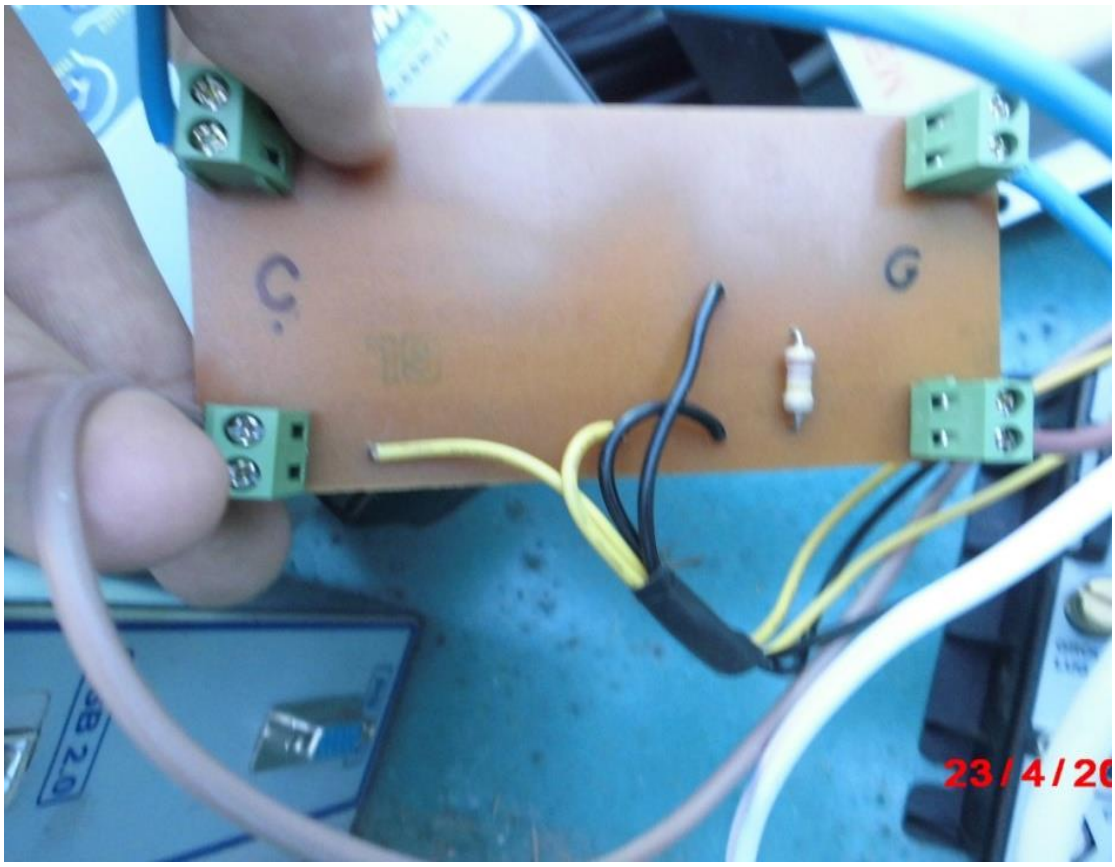
Şekil 5.9 : Kyocera PV(KC70) elektriksel karakteristikleri.

Elektrik üretimi değişkenleri olan akım ve gerilim, veri kaydedici üniteler tarafından direkt olarak kaydedilemeyen değişkenlerdir. Mesela, gerilimi ve akımı, multimetre cihazları ile ölçebilirken bunun bir veri kaydedici ile kayıt edilmesini sağlamak için özel bir devre tasarımı yapmak gerekmektedir. Çünkü PV (veya diğer güç jeneratörleri) tarafından üretilen elektrik sinyaller aslında birer analog sinyal iken veri kaydedici üniteler bunları düşük gerilim (0-5 V) veya akım (4-20 mA) aralığında dijital olarak okumaya ve kaydetmeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Bu sebeple de

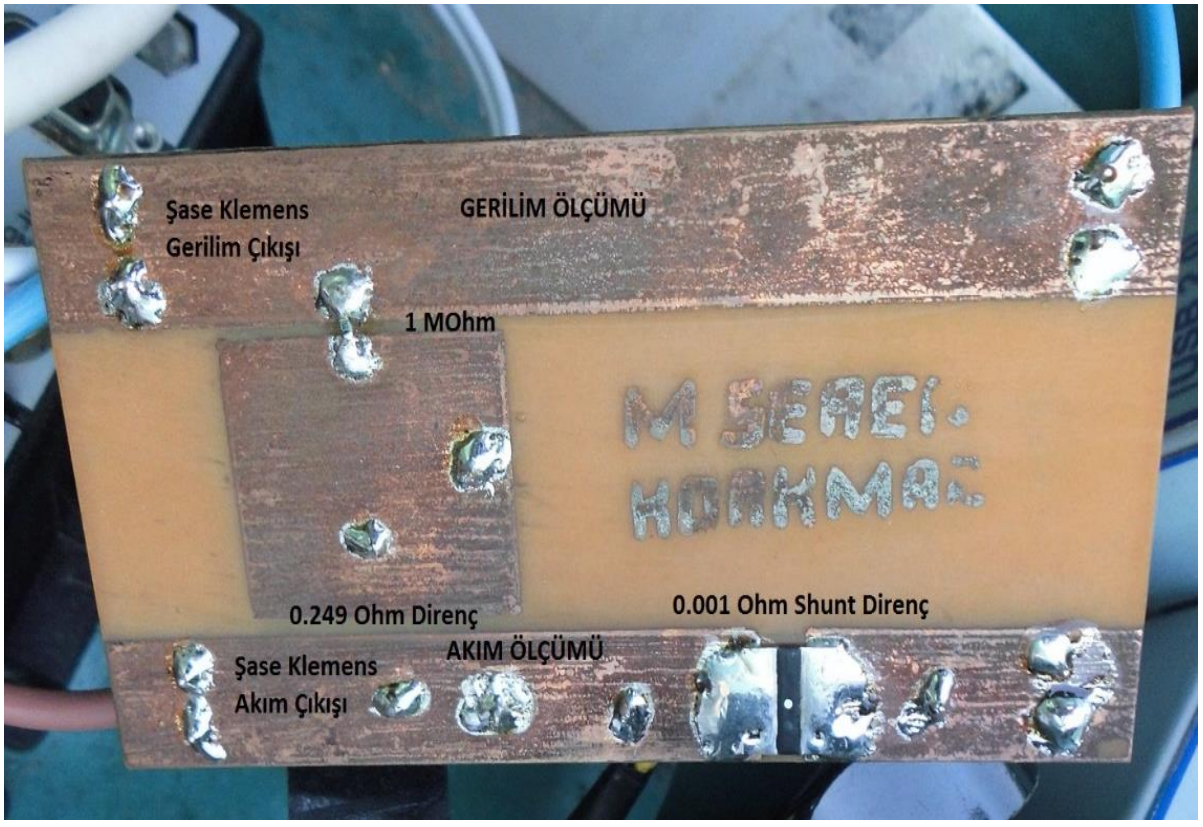
her sensör veya transducer'in özel bir devre ile bu sinyalleri uygun biçime çevirmesi (convert) gereklidir. Araştırma esnasında, çok çeşitli elektrik devre tasarımları yapılmış,sinyal çeviricilerden yararlanılmak istenmiş,sonuç alınamamış, en sonunda Şekil 5.10'da şeması gösterilen devre tasarlanmış ve yapılmıştır (Şekil 5.11), (Şekil 5.12).



Şekil 5.10 : PV üretilen güç ölçümü devre şeması.



Şekil 5.11: PV üretilen güç ölçümü devre (1).



Şekil 5.12: PV üretilen güç ölçümü devre (2).

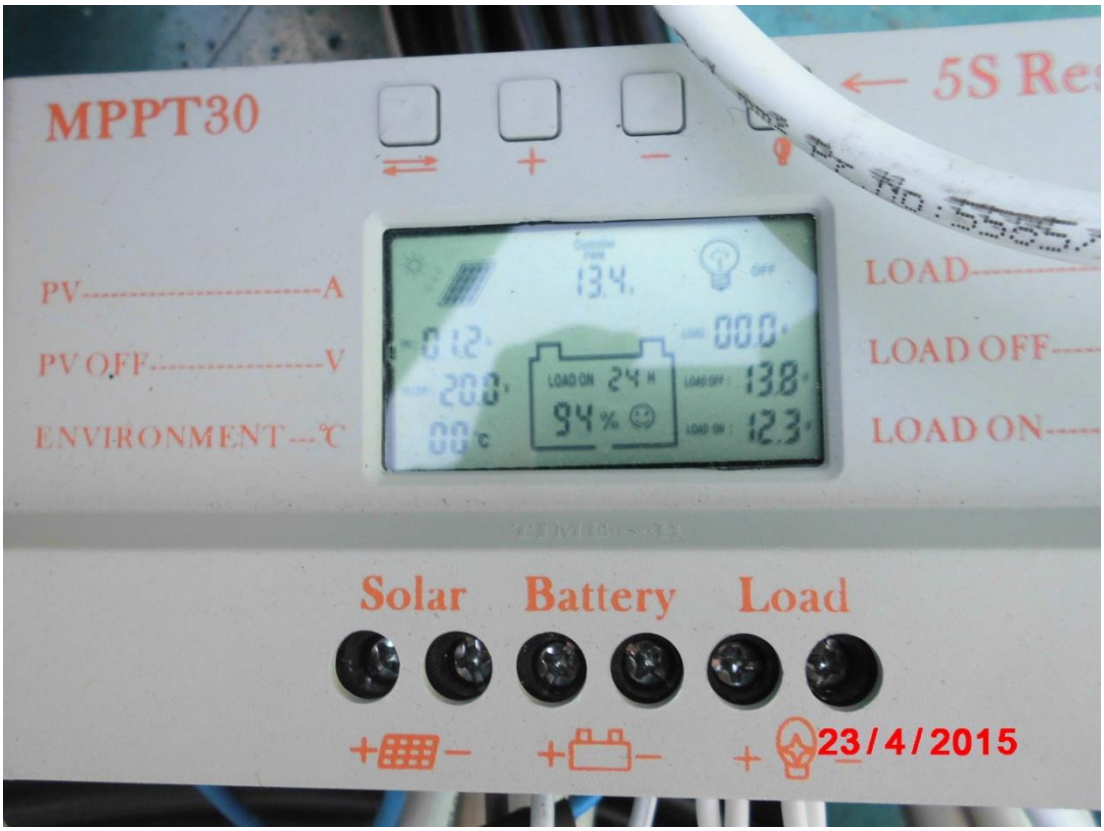
Devre'nin kullanılmasındaki amaç,bir veri kaydeci ünitenin (VKÜ), PV'nin ürettiği analog gerilim ve akım sinyallerini her 5 saniyede bir okumasını, ve her 1 dakikada bir de bu verilerin ortalamasını kaydetmesini sağlamaktır (Şekil 5.13).

Fakat, Devre'ye bağlanan 12 V 20 Ah lik Kuru Akü 13.8 V'a çıktığında kendini korumaya almaktaydı. Bundan sonra da PV'den herhangi bir akım çekmesi söz konusu olmamaktaydı. Bu sebeple, 13.8 V a yükseldiğindeki Akü'den dışarıdaki bir gücün beslenmesi ile bu değer düşürülmeye çalışılmıştır. Bir MPPT[5](Şekil 5.14) kullanılarak akü'nün 13.8 V a gelmesi ile birlikte 2 adet 20 W'lık akkor ampül yanarak akünün doluluk oranının %90-95 (yani 13.0-13.5)'lere çekilmesi sağlanmaktaydı.



Şekil 5.13: MPPT ve diğer ekipmanlar.

[5] MPPT: Maksimum Güç Noktası arayıcı olarak çevirebileceğimiz cihazlar, Fotovoltaik Panellerden maksimum güç elde etmek amacı ile kullanılırlar. Standart Şarj Kontrol ünitelerinden ve invertörlerden farklı olarak üzerlerinde Akü veya İnvertörlerle ilgili ayarlamalar yapmaya imkan tanırlar. Her panelin üretimi esnasında Laboratuar ortamında belirlenen Akım-Gerilim eğrisinde güneş ışınımının geliş durumuna göre belirlenen bir pik noktası vardır. MPPT'ler bu noktaya ulaşmak için farklı algoritmalarla programlanmış oldukça faydalı cihazlardır (Wikipedia, 2015).



Şekil 5.14: MPPT cihazı.

Bunun sonucunda PV'den sürekli güç çekilmesi sağlanmaktadır.

Yine de tasarlandığı hali ile yapılan baskı devrenin iç direncinin özellikle akım ölçümünde ciddi bir etkisi olmuştur. Üretilen akım değerleri küçük değerlerdir. Bu sebeple iç dirençten kaynaklı akım düşmelerinin manuel olarak tespit edilmesi gereklidir. Multimetre'nin devreye seri bağlanması ile MPPT üzerinden gösterilen akım ve gerilim değerlerinin ölçülenler ile aynı olup olmadığı, farklı zamanlarda denenip tespit edilmiş ve değerlerin (neredeyse) aynı olduğu görülmüştür. Veri Kaydedici Ünite(Campbell Scientific CR850 Serisi)'ye yazılan program ve bağlantılar ise akım ve gerilimin 0-5000 mV aralığında gerilim farkına bağlı olarak akım ve gerilimi ayrı ayrı kanallarda ölçmesini sağlamıştır. Son olarak ölçülen değerlerin gerçek değerleri temsil etmesi için akım parametresine 0.264 katsayısı, gerilim parametresine ise 4.52 katsayısı belirlenmiş ve kullanılmıştır.

6. SONUÇLAR

6.1 Buharlaşma Kayıpları İle İlgili Sonuçlar

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de sırasıyla üzerinde yüzer fotovoltaik platform olan buharlaşma tavasında (T-PV) ve üzeri açık bırakılan (T-NPV) buharlaşma tavasından ölçülmüş su derinliği ve su sıcaklığı görülmektedir.

(T-PV)'den 30 günde toplam 38.7 mm buharlaşma olmuştur (Çizelge 6.1). Günlük ortalama buharlaşma kaybı 1.29 mm/gün'dür.

(T-NPV)'den 30 Günde toplam 94.9 mm buharlaşma olmuştur (Çizelge 6.1). Günlük ortalama buharlaşma 3.16 mm/gün'dür.

Çizelge 6.1: Buharlaşma tavalarından olan toplam buharlaşma miktarları.

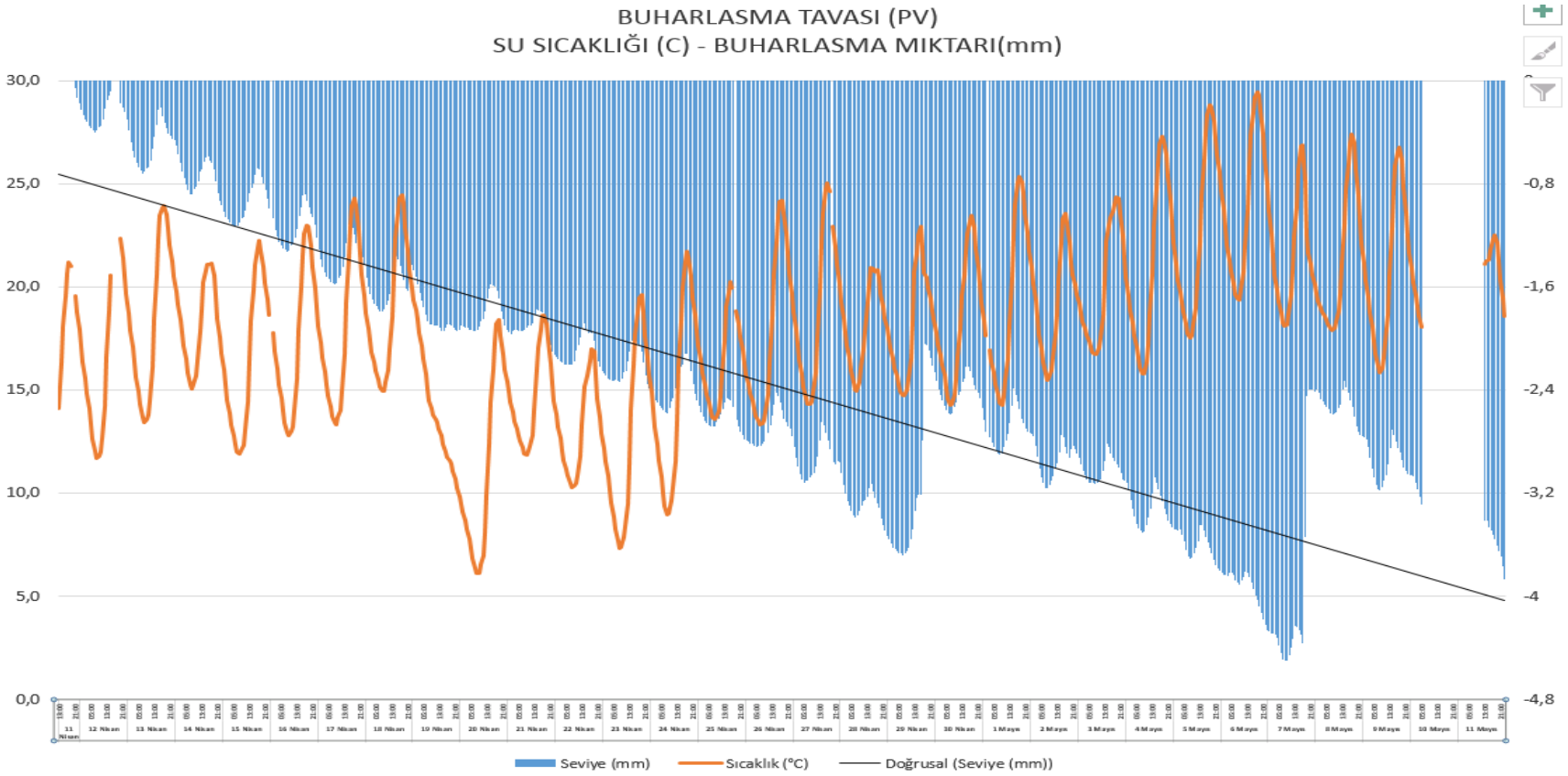
Buharlaşma T.	SU SEVİYESİ (mm)	
	11.04.2015	**11.05.2015**
T-PV	0.0	-38.7
T-NPV	0.0	-94.9

Buharlaşma'da en önemli meteorolojik değişken sıcaklıktır. Sıcaklığı etkileyen en önemli faktör de güneş radyasyonu'dur.

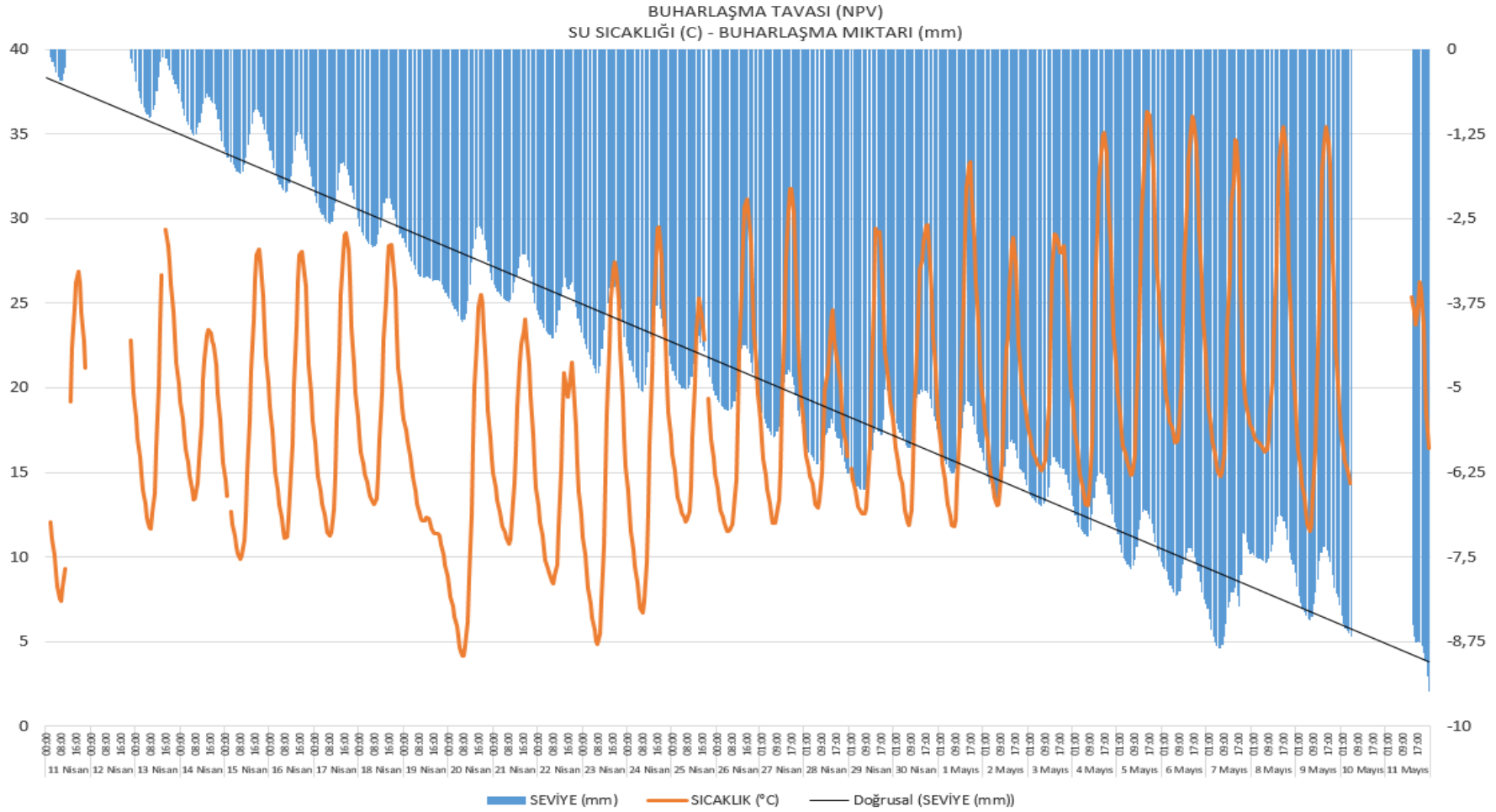
Su sıcaklıklarına bakarsak, değişimler oldukça dikkat çekicidir (Şekil 6.3). Güneş Radyasyonunu tamami ile alan [T-NPV]'deki Ortalama Sıcaklık; 21.4 °C ve standart sapma; 6.9 °C, güneş ışığının % 50'sini alabilen [T-PV]'de ortalama sıcaklık; 18.9 °C ve standart sapma; 4.5 °C'dir (Çizelge 6.2). Ortalama Su Sıcaklıkları arasındaki fark; 2.5 °C iken standart sapmalar arasındaki fark; 2.4 °C'dir. Bu yüzden su sıcaklıklarındaki farka bakarak buharlaşma ile doğrudan bir ilişki kurmak için sıcaklık salınımlarının bir göstergesi olan standart sapma da belirleyici olmaktadır.

Çizelge 6.2: Buharlaşma tavaları su sıcaklıkları değişkenleri.

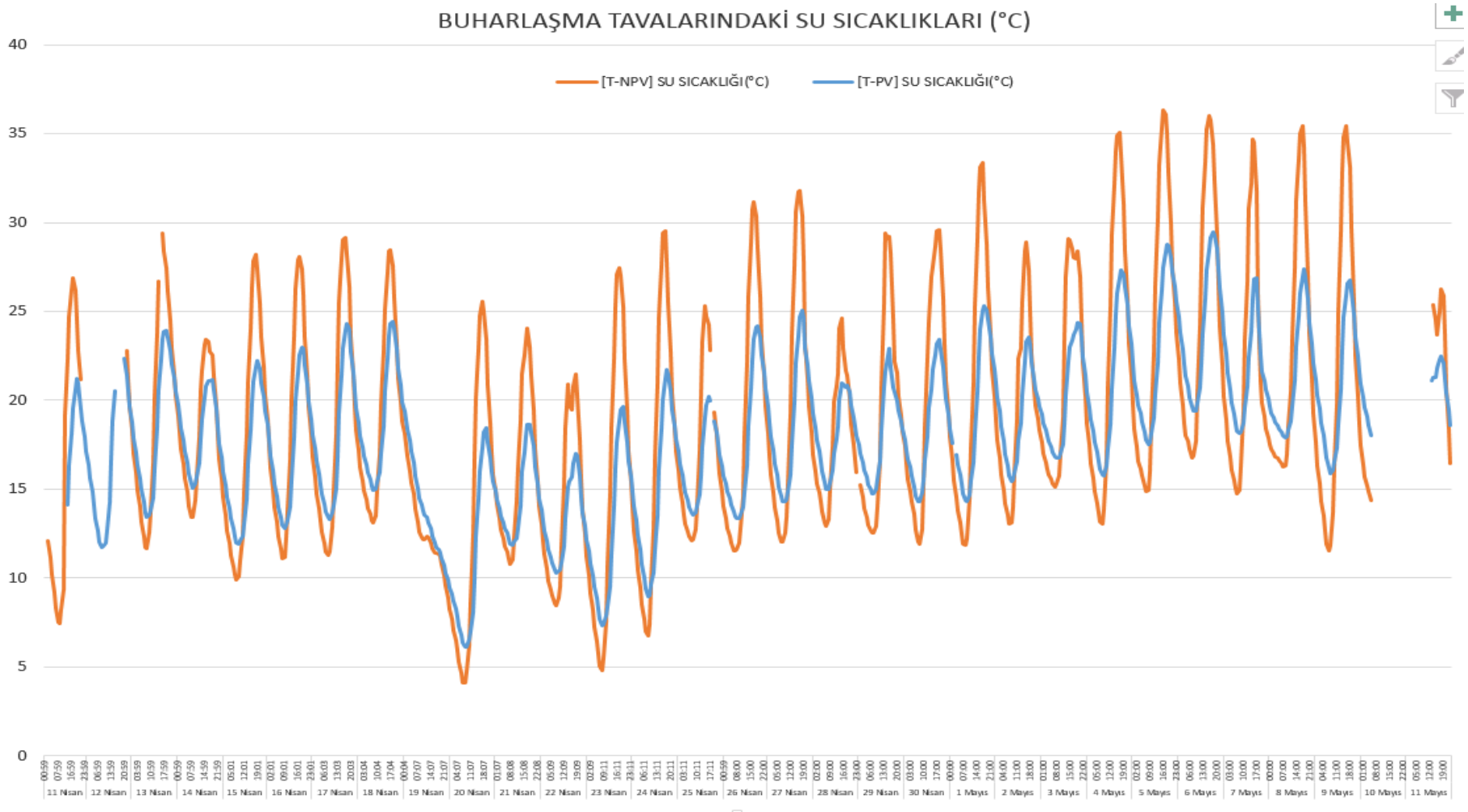
Buharlaşma T.	Ort. Su Sıc.(°C)	Standart Sapma(°C)
T-PV	18.9	4.5
T-NPV	21.4	6.9



Şekil 6.1: Buharlaşma tavası [T-PV]'deki su seviyesi ve su sıcaklığı.



Şekil 6.2: Buharlaşma tavası [T-NPV]'deki su seviyesi ve su sıcaklığı.



Şekil 6.3: Buharlaşma tavaları su sıcaklıkları (°C).

Şekil 6.5'de ölçülen hava sıcaklığı ve global radyasyon arasındaki ilişki açıkça görülebilmektedir. Ayrıca hava ve buharlaşma tavalarındaki su sıcaklıkları'na bakılırsa; gündüz saatlerinde T-PV'deki su sıcaklığı ile hava sıcaklığı birbirine yakın olmakta, ancak gece saatlerinde üzerinde PV bulunmayan tava olan T-NPV ile yakınlaşmakta ama çoğunlukla daha da düşük olmaktadır(Şekil 6.4).

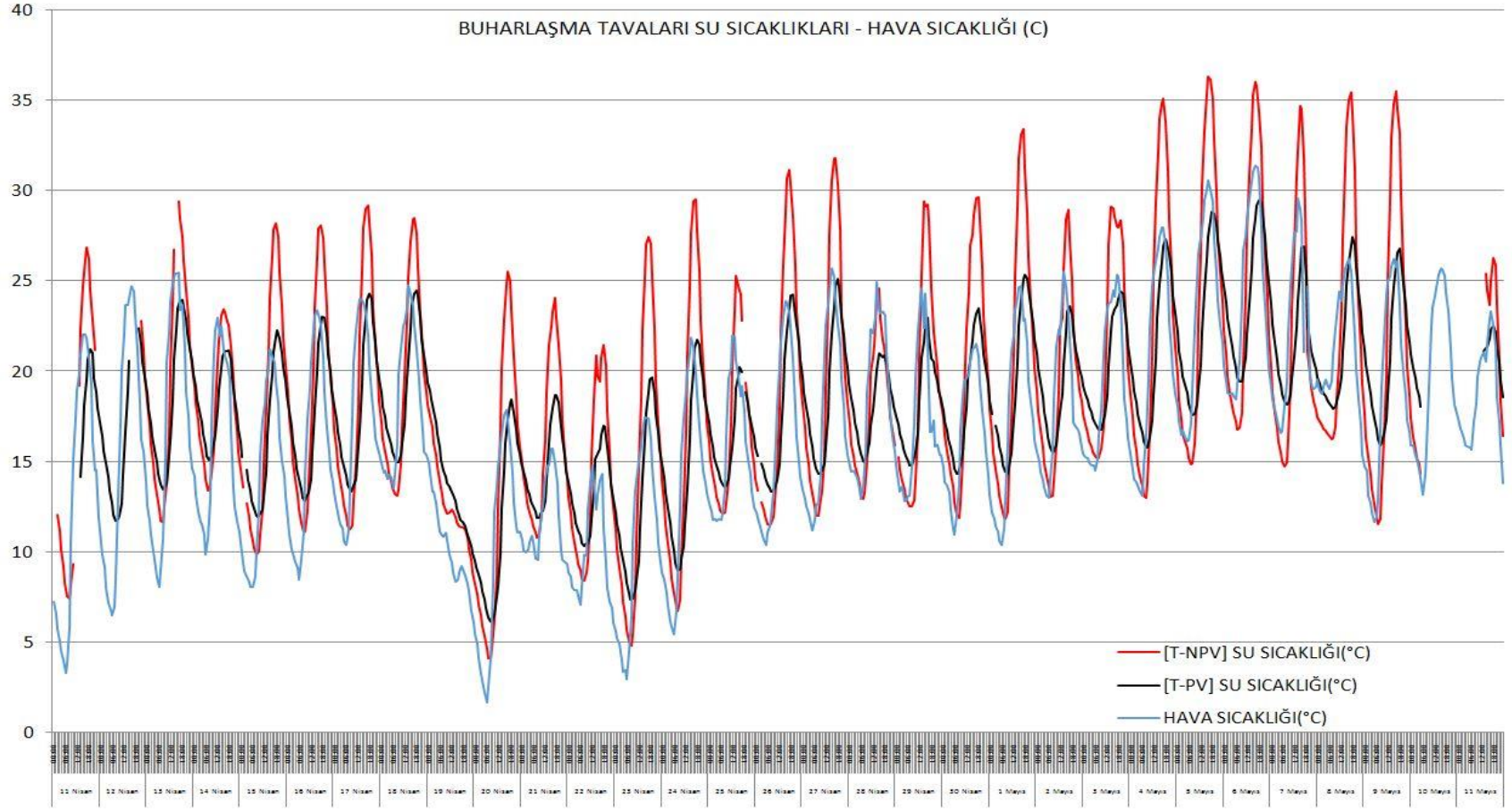
Ayrıca buharlaşma ile doğrudan ilgili bir diğer meteorolojik değişken de Bağıl Nem'dir. Bağıl nem, sıcaklık arttıkça azalır (Koçak, 2001). Bağıl Nemin azalması ile buharlaşma da artmaktadır (Şekil 6.6).

Bunların yanı sıra ölçüm periyodunda yağış da gözlemlenmiştir. Bu gözlemlenen yağışlar sonrası buharlaşma tavalarındaki hacim artışı da Şekil 6.7'da görülmektedir.[6] Yağışlı günler ve yağış miktarları aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.3).

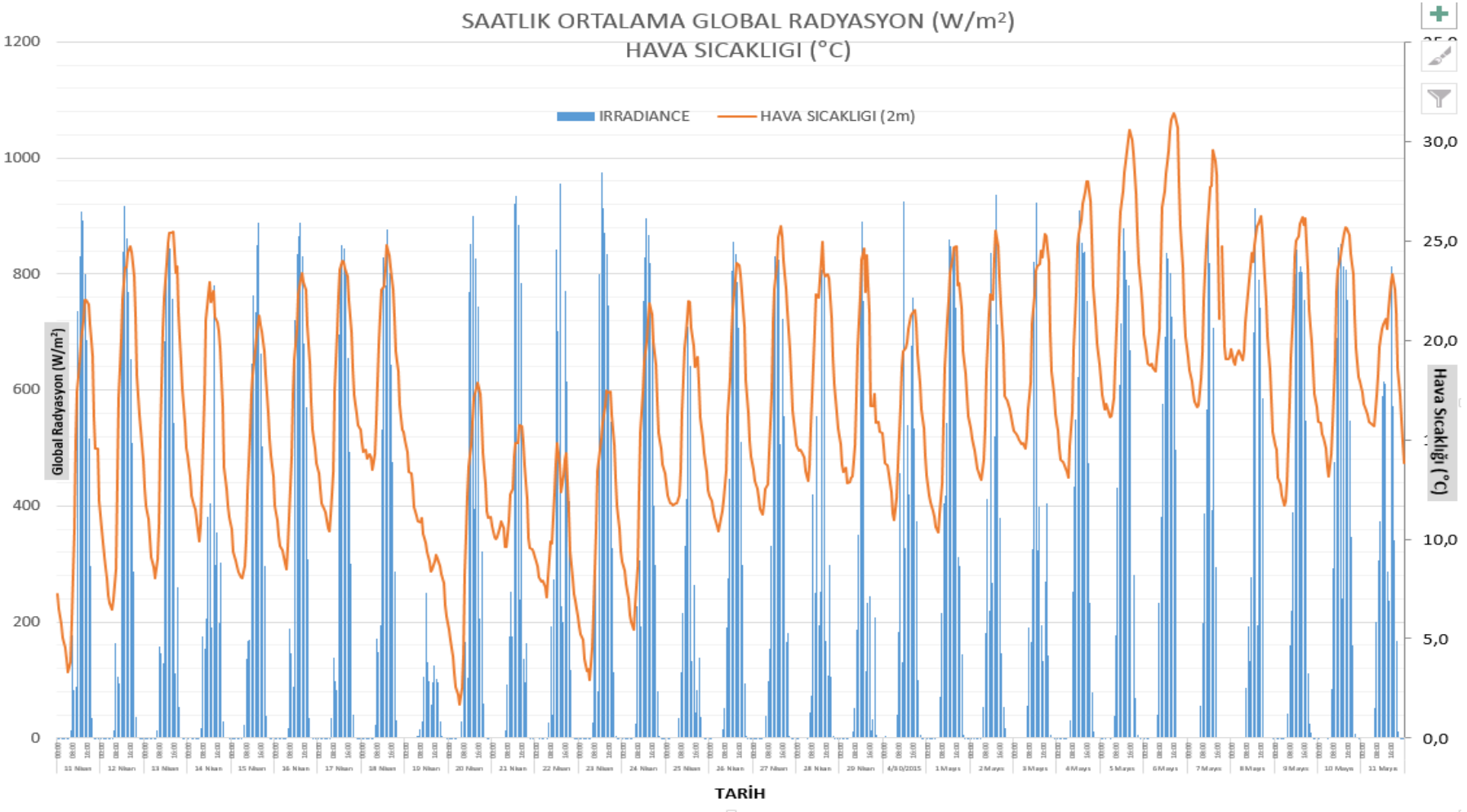
Çizelge 6.3: Yağışlı günler ve yağış miktarları (mm/m^2).

Yağışlı Gün	**Yağış Miktarı (mm/m^2/gün)**
18.04.2015	1.78
19.04.2015	0.25
21.04.2015	0.25
22.04.2015	0.51
29.04.2015	11.43
02.05.2015	1.01
07.05.2015	19.3

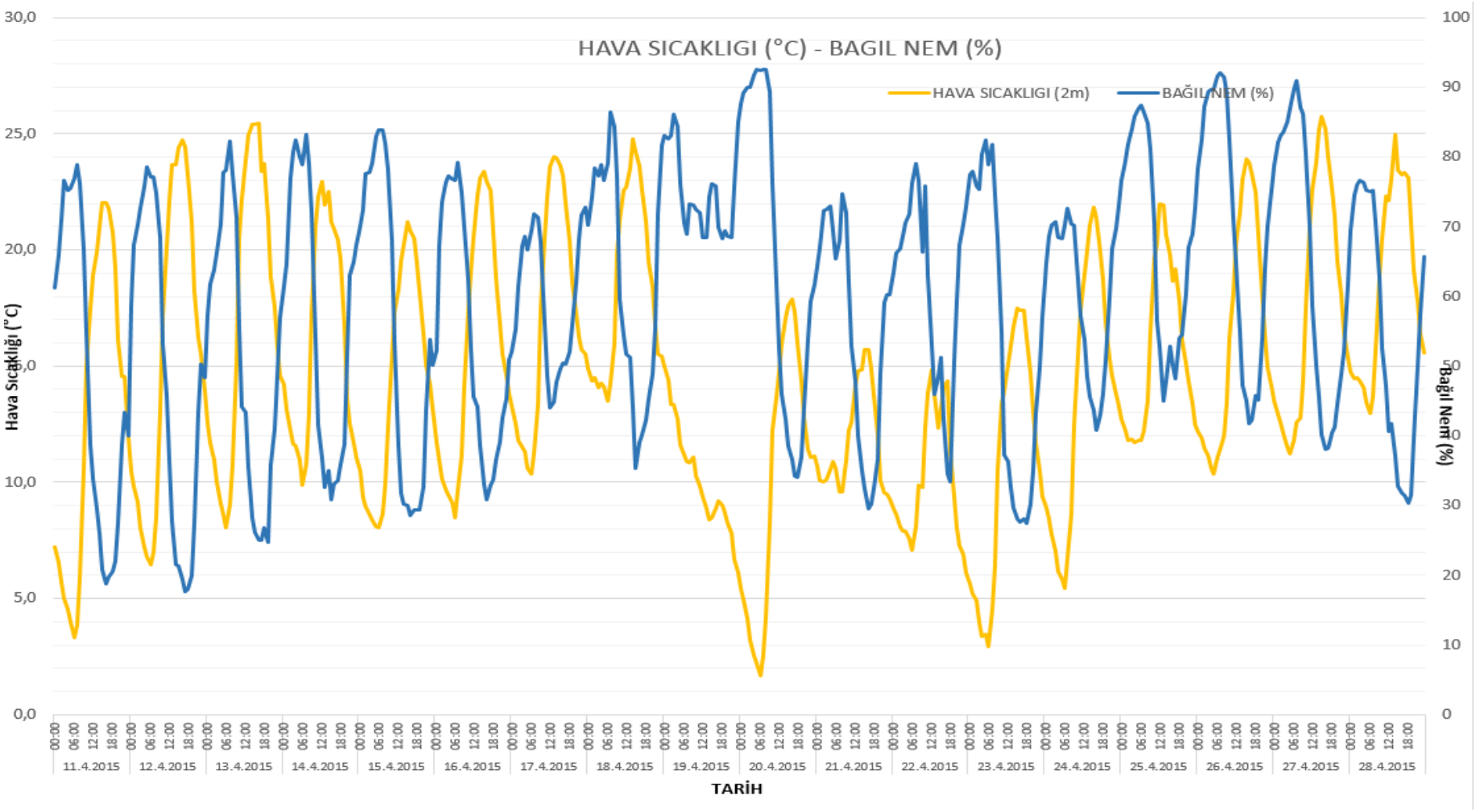
[6] Buharlaşma Tavalarının(**(T-PV), ve (T-NPV)** açık yüzey alanları sırası ile 0.57 m^2 ve 1.144 m^2'dir. Ölçülen yağış birimi mm/m^2 dir. Bu sebeple yüzeylerdeki artışlar arasındaki farklılık rahatlıkla görülebilmektedir.



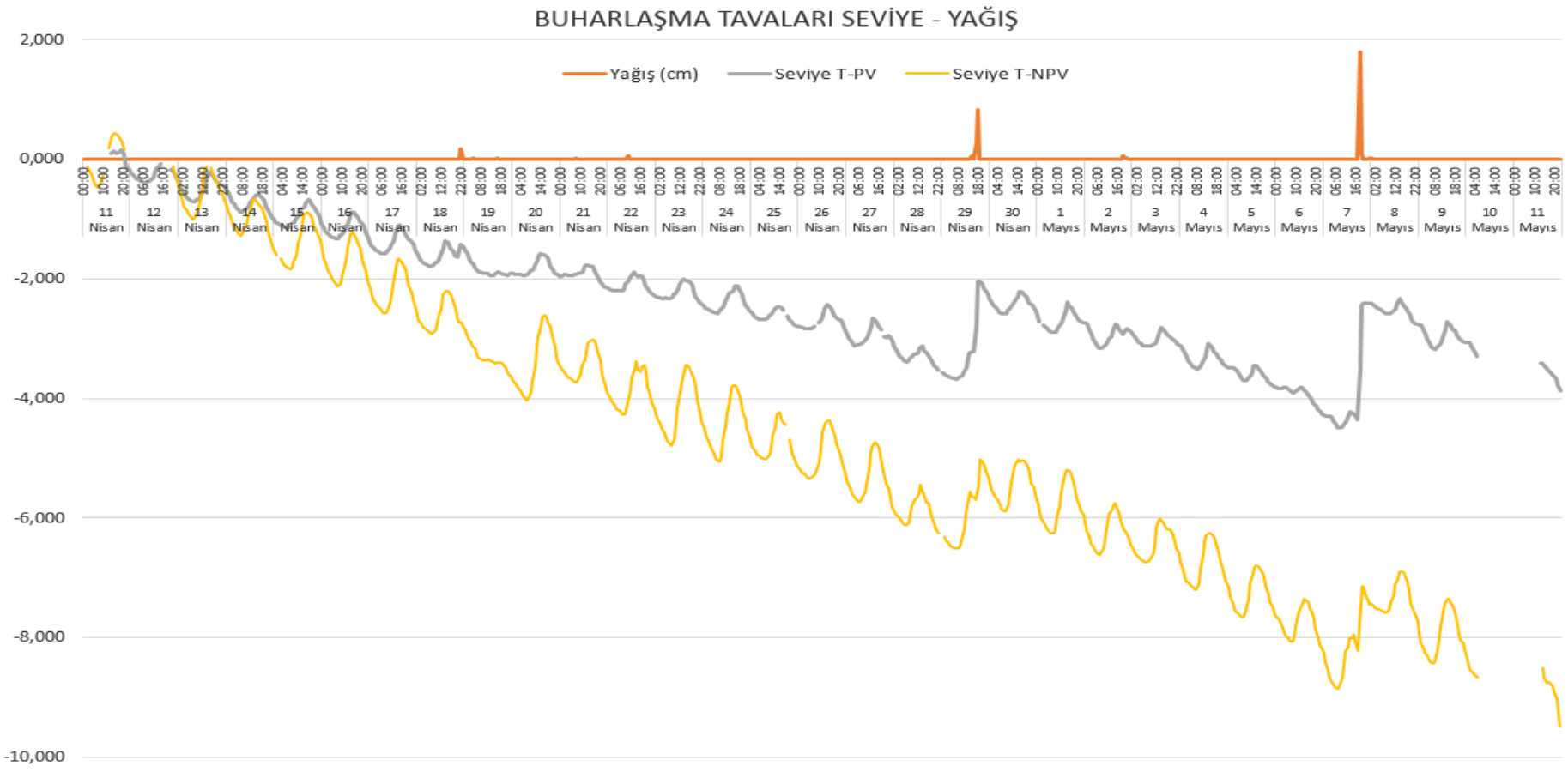
Şekil 6.4: Buharlaşma tavaları su sıcaklıkları - hava sıcaklığı (°C).



Şekil 6.5: Saatlik ortalama global radyasyon - hava sıcaklığı (°C).



Şekil 6.6: Bağıl nem (%) ve hava sıcaklığı (ºC).



Şekil 6.7: Yağış ve buharlaşma tavaları seviye değişimi.

6.2 Fotovoltaik Panel ile ilgili sonuçlar

6.2.1 Yüzer fotovoltaik platform'da bulunan sonuçlar

Fotovoltaik Panelin teknik özellikleri Çizelge 5.6'da verilmiştir. Aşağıda saatlik ortalama güç üretimi görülmektedir. Gece saatlerinde üretim duruyor, gün ışığı ile tekrar güç üretimi başlıyor (Şekil 6.8).

Maksimum güç 58.2 W olarak 22.04.2015 saat 15:40'da ölçülmüştür.

Güç üretimi ile güneşlenme arasındaki ilişki, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da gösterilmiştir. İki değişken arasındaki ilişki % 84.9 olarak belirlenmiştir. Bulutlu ve yağmurlu günlerde PV'nin ürettiği güç de düşmüştür.

6.2.2 Sabit platformda (kara ve su yüzeyleri) bulunan sonuçlar

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterildiği gibi kurulan sabit platform hem kara (toprak) hem su yüzeyinde 5'er gün kurulmuş ve farklı yüzeylere kurulu PV'nin güç üretim performansı karşılaştırılmıştır. Bunun için güneşlenme şiddeti verisine bağlı olarak güç üretimi'ndeki değişimi göstermesi açısından her iki durumda da 5'er gün boyunca gözlemlenen güneşlenme şiddeti verileri sıralanarak 100 W/m^2'lik aralıklara bölünmüş ve bu güneşlenme şiddetlerindeki ortalama güç üretimlerinın ne olduğuna bakılmıştır.

Çizelge 6.4: Kara ve su yüzeyi güneşlenme şiddeti - ortalama güç üretimi.

	PV karada (01-05.06.2015)		**PV suda (08-12.06.2015)**	
Güneşlenme Şiddeti Aralığı(W/m^2)	Ortalama Güneşlenme Şiddeti (W/m2)	Ortalama Güneşlenme Şiddeti (W/m2)	Ortalama Güneşlenme Şiddeti (W/m2)	Ortalama Üretilen Güç (W)
0-100	4.31	0.18	12.95	1.30
100-200	139.00	6.43	151.14	8.44
200-300	251.60	22.14	249.29	13.73
300-400	329.29	13.26	351.75	19.78
400-500	448.00	15.66	436.40	9.57
500-600	529.20	22.04	515.33	19.66
600-700	667.88	30.72	647.00	26.97
700-800	728.00	40.36	752.57	29.54
800-900	4.31	0.18	849.50	37.39
900-1000	139.00	6.43	915.67	35.73

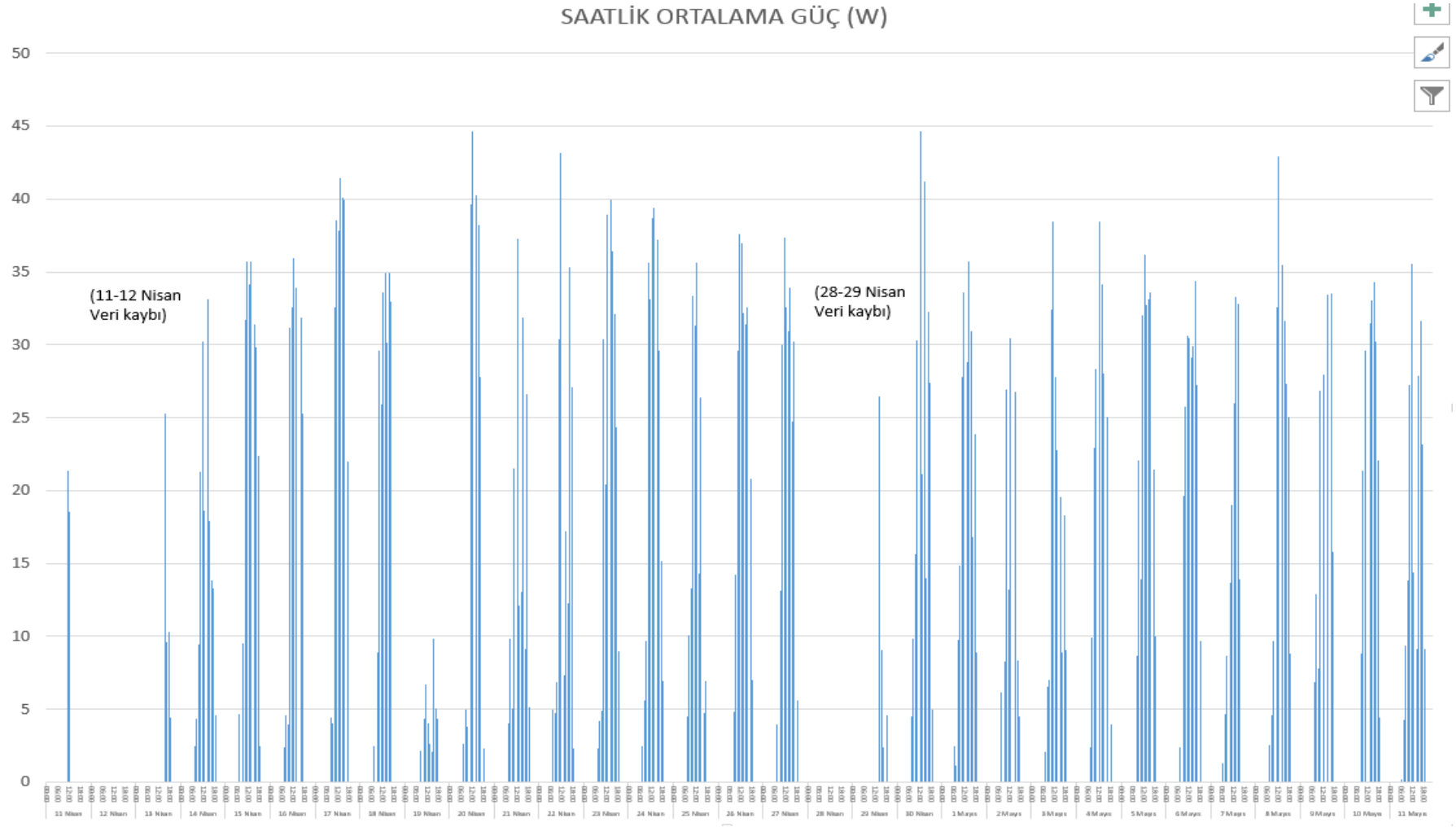
Her iki periyotta da bulunan sonuçların dağılımı ve dağılımlara ait Korelasyon katsayıları bulunmuş ve bulunan yüksek korelasyona bağlı olarak eğilimlerini gösteren doğrular oluşturulmuştur (Şekil 6.11).

Bulunan doğru denklemleri ve bu denklemlerden türetilen güç üretimini gösteren sayısal sonuçlar Çizelge 6.5'de verilmiştir.

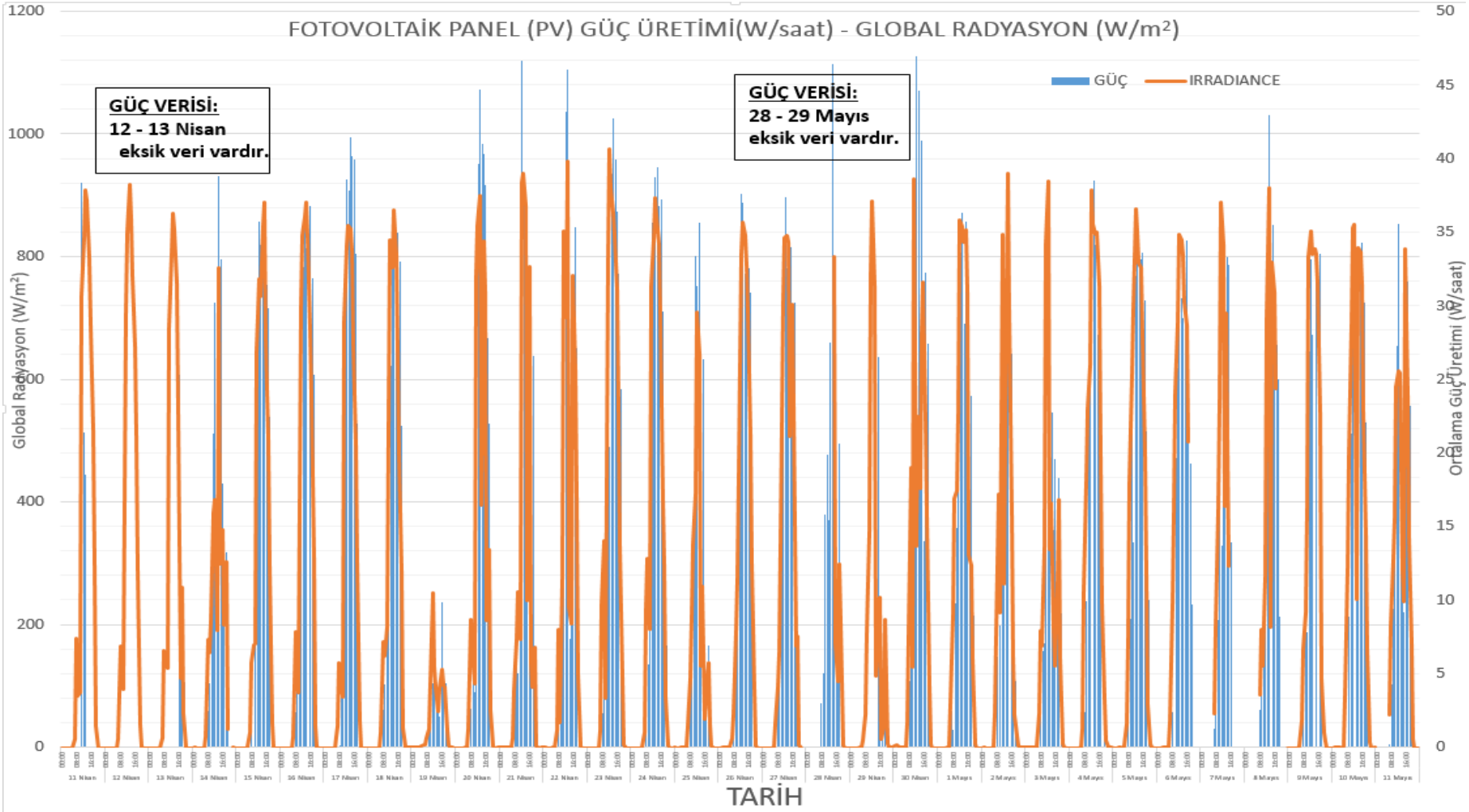
Çizelge 6.5: Kara'da ve su'da kurulu PV güç üretimlerinin karşılaştırılması.

PV (Karada) Denklem:	Üretilen Güç = 0.043 x Güneşlenme Şiddeti + 1.675			
PV (Suda) Denklem:	Üretilen Güç = 0.038 x Güneşlenme Şiddeti + 1.627			
Güneşlenme Şiddeti (W/m^2)	Ortalama Güç (W)			
	PV (Karada)	PV (Suda)	Fark (W)	Yüzde (%)
100	5.98	5.43	0.55	9.17
200	10.28	9.23	1.05	10.20
300	14.58	13.03	1.55	10.62
400	18.88	16.83	2.05	10.85
500	23.18	20.63	2.55	10.99
600	27.48	24.43	3.05	11.09
700	31.78	28.23	3.55	11.17
800	36.08	32.03	4.05	11.22
900	40.38	35.83	4.55	11.26
1000	44.68	39.63	5.05	11.30
			Ortalama Fark	**10.8**

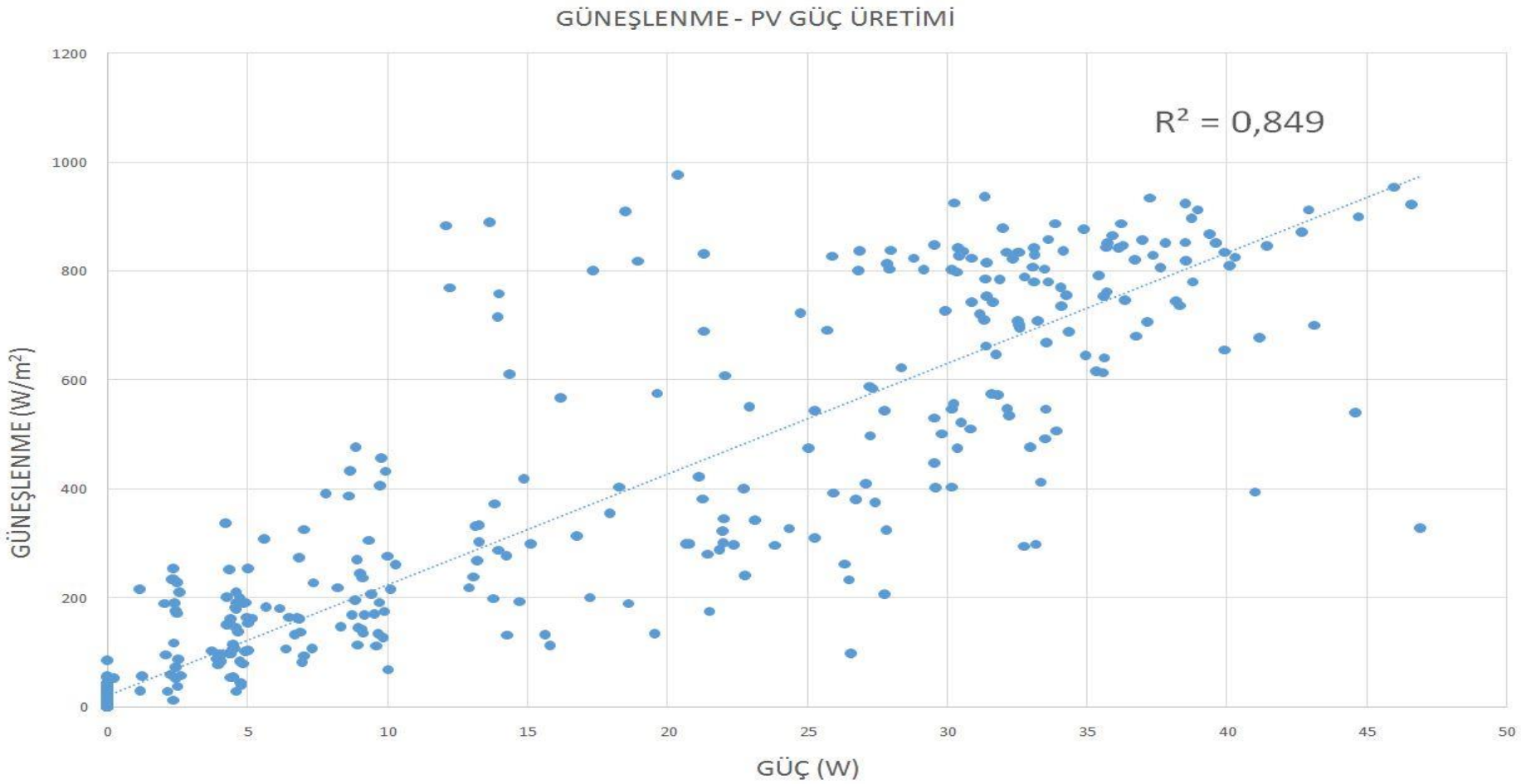
Buna göre; karada kurulu PV'nin ürettiği ortalama güç, suda kurulu PV'ye göre %10.8dahafazladır.



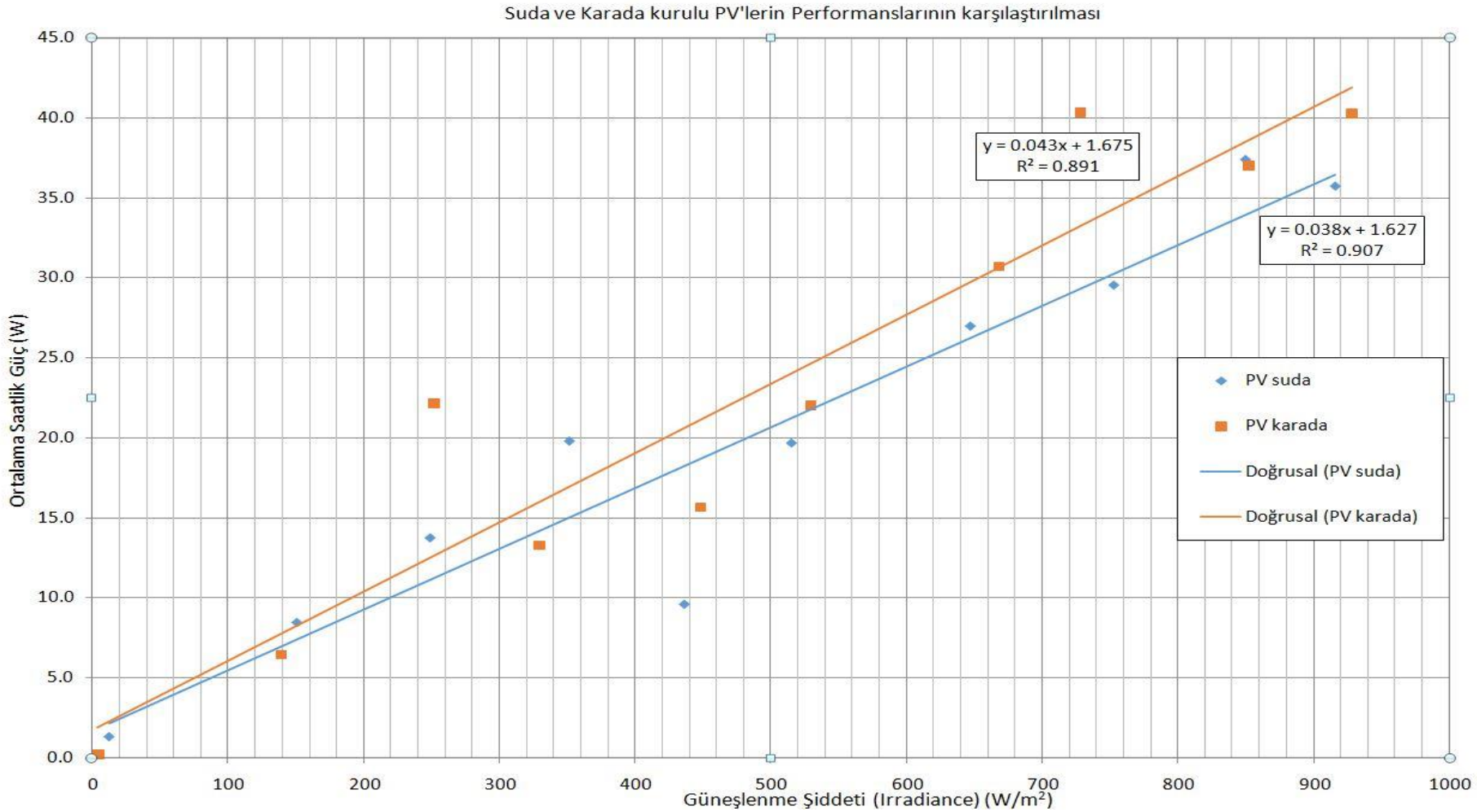
Şekil 6.8: PV saatlik ortalama güç (W/m^2).



Şekil 6.9: PV Saatlik ortalama güç (W) ve güneşlenme şiddeti (W/m^2).



Şekil 6.10: PV saatlik ortalama güç - global güneş radyasyonu korelasyonu.



Şekil 6.11: Kara ve suda kurulu PV Performanslarının karşılaştırılması.

6.3 Öneriler

Bu çalışmada iki adet Class A Tipi Buharlaşma Tavası kullanılmıştır. Birincisinin [T-PV] yüzeyinin yarısı, yüzer bir platform ile kapatılmış, ikincisinin [T-NPV] yüzeyi açık bırakılmıştır. Yüzer Platformun üzerine de 45 °'lik açı ile güney yönüne sabitlenmiş bir Multikristal Fotovoltaik Panel monte edilmiştir. Açık atmosfer koşullarında 11 Nisan-11 Mayıs 2015 tarihleri arasında 30 gün süre ile iki buharlaşma tavasından meydana gelen buharlaşma miktarları, su seviye sensörleri ile kaydedilmiştir.

Çizelge 6.6: Buharlaşma tavaları buharlaşan su miktarları.

Buharlaşma Tavası	Yüzey Alanı (m^2)	Buharlaşan Su Seviyesi (m)	Buharlaşan Su Hacmi (m^3)
T-PV	1.144	0.0387	0.0442728
T-NPV	1.144	0.0949	0.1085656

[T-PV]'den olan buharlaşma 3.87 cm, [T-NPV]'den olan buharlaşma 9.49 cm olarak tespit edilmiştir. Hacim olarak buharlaşma miktarları sırası ile 44272.8 cm^3 ve 108565.6 cm^3 olarak tespit edilmiştir. İki tava arasındaki fark 64292.8 cm^3'dür, bu da açık yüzeyden olan buharlaşmanın % 59.2'sine karşılık gelmektedir.

Her ne kadar buharlaşma mekanizması için en önemli parametre hava sıcaklığı ve su sıcaklığı olsa da iki tavada([T-PV] ve [T-NPV]) ölçüm periyodu boyunca ölçülen sıcaklıkların ortalaması sırası ile 18.9 °C ve 21.1 °C'dir. Bu sebeple, buharlaşma ile ilgili olarak ortalama sıcaklık verisinin kullanılması tek başına fikir vermemekte, bunun yerine sıcaklıktaki standart sapma daha çok fikir verici olmaktadır. Ayrıca diğer meteorolojik değişkenlerin de etkisi gözönüne alınmalıdır.

Bununla beraber [T-PV] üzerindeki Fotovoltaik Panel ortalama 20.67 W elektrik üretilmiştir. En fazla üretilen güç, 22.04.2015 tarihinde 58.2 W olarak tespit edilmiştir. PV'ler, enerjiyi ışıma (irradiance) ile ürettiğinden yüzeyine düşen ışığa bağlı olarak üretim artmakta veya azalmaktadır. Bu da çalışmada açıkça görülmüş ve gösterilmiştir.

Ayrıca, beton bloklara monte edilmiş ve arka yüzeyi açık başka bir PV platfromu, 5'er gün boyunca, önce kara (toprak) yüzeyinde, ardından da su dolu buharlaşma tavası içerisine kurulmuştur. Yapılan ölçümler sonucunda kara yüzeyindeki PV güç üretimi performansı, su üzerindekine PV'ye göre ortalama %10.8 daha fazla güç

üretmektedir. Bu da, su üzerine kurulu platformlarda PV'nin arka yüzeyi ile su yüzeyi arasındaki ısı akısının, güç üretimini olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir. Bu sebeple kurulması planlanan yüzer fotovoltaik sistemlerde PVlerin arka yüzeylerinin sui le temasının olmamasına dikkat edilmelidir.

DSİ 11. Bölge Müdürlüğü'ne ait Akredite Su Kalitesi Laboratuarında 25.03.2015 'de yapılan mikrobiyolojik analize göre çeşme suyunda 2 koloni/100 ml E.Coli çıkmıştır. T-PV'de 9200 koloni/100 ml E.Coli, [T-NPV]'de 400 koloni/100 ml E.Coli varlığı tespit edilmiştir. 01.04.2015 tarihinde alınan 2. Numune'de Çeşme suyunda 0 koloni/100 ml E.Coli, [T-PV]'de 14300 koloni/100 ml, [T-NPV]'de 120 koloni/100 ml E.Coli varlığı tespit edilmiştir. Bu da aynı gün doldurulan tavalardaki suyun kalitesindeki değişim hakkında oldukça çarpıcı bir sonuçtur. Kısa süre içerisinde, suyla temas eden platformdan dolayı suda bakteri üremesi artmış, açık yüzeyde ise zamanla E.Coli varlığı azalmıştır. Yani YFS'nin kurulu olduğu tavada suyun kalitesi tamamen bozulmuşken açık yüzeyli tavada suyun kalitesi nispeten daha az bozulmuştur. 14.05.2015'de tavalardaki sular boşaltılmış, tavalar temizlenmiş ve tekrar su doldurulmuştur. Bu hali ile 21.05.2015'de tekrar numune alınmıştır (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.7: Su kalitesi analizi sonuçları.

	TOPLAM KOLİFORM BAKTERİ (adet/100 ml)		
Tarih	**T-PV**	**T-NPV**	**Çeşme Suyu**
23.03.2015	9200	400	2
01.04.2015	14300	120	0
21.05.2015	12800	2300	0

Kısıtlı bir zaman diliminde yapılan böyle bir çalışma yalnızca buharlaşma miktarının değişimi ve üretilen güç ile ilgili olarak yapılmıştır. Mevcutta benzer bir çalışmanın uygulanabilmesi için doğal ekosistem üzerinde sonuçlarının ne olabileceğinin ayrıca modellenmesi gerekmektedir.

Bu sebeple, su içerisine kurulacak platform seçiminde oldukça hassas davranılmalıdır. PV Teknolojileri konusunda yapılan AR-GE kadar yüzer platform konusunda da çalışmaların yapılması gereklidir. Ayrıca ülkemizde yaygın kullanımı olan sert, sağlam ve sürdürülebilir malzemelerin kullanılmasında büyük fayda vardır

Bu çalışmada son 10 yılda, Güneş Enerjisi Teknolojilerinin kullanım alanlarından bir tanesi olan Yüzer Tip Fotovoltaik Paneller hakkında bilgiler verilmiştir. Yaşadığımız 21. Yüzyılın en büyük problemi hiç kuşkusuz ki yaşayan ve ileride yaşayacak herkesi

ilgilendirdiğinden Küresel İklim Değişikliği'dir. Geri döndürülemez bir sürece girdiğinden, ülkeleri yöneten karar verici pozisyondaki politikacılar, gelecekte yaşanması muhtemel doğal afetlere çeşitli çözümler üretmek zorunda kalacaklardır. Yenilenebilir teknolojilerin kullanılması ve yaygınlaştırılmasında kesinlikle kamu menfaati gözetilmeli, yerel halk bilinçlendirilmeli ve kendi kaynağını kendisi korumayı bir görev kabul etmelidir.

Enerji Kooperatifçiliği hakkında 18 Aralık 2013'de T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı'nca "S.S. Elektrik Enerjisi Üretim ve Tüketim Kooperatifif Ana Sözleşmesi" hazırlanmış, kamuoyuna sunulmuştur. Bunun yapılmasına olanak sağlayan 1163 sayılı Kooperatifler Kanunu 88. Maddesi ile beraber yasal yol açılmış olsa da halk eğitilmeli ve kendi özkaynağına kendisi yatırım yapmanın bilincine varmalıdır.

DSİ tarafından 2010 yılında '1000 günde 1000 gölet' adı altında projelendirilmeye başlanan ve şu anda tamama yakınının yapımı bitmiş olan, ülkemizin her yerinde köy-belde-mezralar için küçük sulama göletleri vardır. Bundan önce de yapılan sayısız depolama alanı mevcuttur. Bu gölet, regülatör, Akarsu HES ve Hidroelektrik Baraj yapılarının hepsinde, Yüzer Fotovoltaik Sistem kurulma potansiyeli vardır. Bunun haricinde Pompajlı Off-Stream Barajları (yani suyun enerji kullanımı ile başka bir havzada depolanması ile oluşturulan barajlar) ise ayrıca ele alınması gereken bir konudur.

Mesela, Edirne İpsala Ovasında kurulu Hamzadere Barajı, Meriç Nehri'nden kış aylarında 10 m^3/s debi ile bir kanalla suyun Hamzadere Havzasında yapılan bir set içerisinde depolanması ile yapılmıştır. Depolama Hacmi 207.37 hm^3, baraj sahası 9.42 km^2'dir. Barajın sulama alanı 29 235 ha'dır. Barajı işleten 'Hamzadere Sulama Kooperatifi'nin en büyük sorunu, pompa ile Meriç Nehri'nden basılan suyun elektrik maliyetidir. Bunun için yegane çözüm, her tarafı çeltik arazisi olan böyle bir ovayı sulayan bu depolama tesisinin üzerinin YFS olarak kullanılmasıdır. Tamamı olmasa da 9000 dönüme (9.0 km^2) denk gelen kısmının kullanılması 750 MW'lık bir kurulu güç tesisi anlamına gelmektedir ki bu, 'pompajla sulama' maliyenin sıfırlanması ile bölgede kullanılan elektriği rahatlıkla üretebilecek bir güç kapasitesidir. Buharlaşma kaybının azaltılması ise 'ikincil bir fayda' olarak bu gibi 'off-stream' barajlarda çok önemlidir.

Yapılacak çalışmalar ile ülkemizin toplam Yüzer Fotovoltaik Sistem Potansiyelinin belirlenmesi ilerisi için faydalı olacaktır. İkincil faydası ‘su tasarrufu’ olan böyle değerli bir uygulama için hiç vakit kaybetmeden bilimsel çalışmalar yapılmalı, ticari yatırım için mevzuatın uygun hale getirilmesi gereklidir.

KAYNAKLAR

Beyazıt, M. (2003). *Hidroloji.*

Bilen, Ö. (2008). *Türkiye'nin Su Gündemi.* Ankara: DSİ.

Burba, G. (2013). *Eddy Covariance Metod for Scientific, Industrial, agriculture, regulatory applications.* LI-COR Biosciences.

Choi, Y. K. (2014). A Study on Power Generation Analysis of Floating PV System Considering Environmental Impact. *International Journal of Software Engineering and Its Applications Vol.8 No:1*, 75-84.

Gökbudak, F., & Özhan, S. (2006). Water loss through evoporation from water surfaces of lakes and resorvoirs in Turkey. *e-water (EWA).*

Hassan, R. M., T.H.Hekal, N., & Mansor, N. M. (2007). Evaporation Reduction from Lake Naser Using new Environmentally Safe Techniques. *Eleventh International Water Technology Conference, IWTC11*, (s. 179-194). Sharm El-Sheikh.

Ikweiri, F. S., Gabril, H., Jahawi, M., & Almatrdi, Y. (2008). Evaluating the Evaporation Water Loss from the Omar Mukhtar Open Water Reservoir. *Twelfth International Water Technology Conference, IWTC12.* Alexandria, Egypt.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Climate Change 2013.* New York: Cambridge University Press.

Kaligreu, S. (2009). *Solar Energy Engineering Procces and Systems.* Elsevier Academic Press.

Keskin, M., Şorman, A., & Terzi, Ö. (2005). Aylık Tava Katsayılarının Penman Metodu Kullanılarak Belirlenmesi:Eğirdir Gölü Uygulaması. *İMO Teknik Dergi*, 3395-3403.

Koçak, K. (2001). *Atmosfer Bilimlerine Giriş.* Ders Notları.

Özhan, S. (1979). Penman Formülü ile evoporasyon miktarının tablolar ve nomograf yoluyla saptanması. *Istanbul University Faculty of Forestry* .

Penman, H. L. (1948). Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. *Royal Society Publishing Mathematical and Physical Sciences Vol:193 No:1032*, 120-145.

Trapani, K., & Santafe, M. R. (2014). A Review of Floating Photovoltaic Installations 2007-2013. *Progress in Photovoltaics.*

Tull, B. (2015, 04 12). *Photovoltaic Cells:Science&Materials.*

Ueda, Y., Kurogawa, K., Konagai, M., Takahashi, S., Terazawa, A., & Ayaki, H. (2012). 5 Years Demonstration Results of Floating PV Systems with Water Spray Cooling., (s. 3926-3928).

Boehrer, K. (2014, 08 24). *Huffington Post*. http://www.huffingtonpost.com/2014/08/24/transparent-solar-concentrator_n_5700544.html adresinden alındı

U.S. Department of Energy: Efficiency & Renewable Energy . (2014). *2013 Renewable Energy Data Book.*

Fabricola.net. (2015, 04 28). http://fabricalo.net/index.php/how-are-thin-film-solar-cells-cigs-made/ adresinden alındı

First Solar. (2015, 04 28). www.firstsolar.com adresinden alındı

(2005 - Australia). *Controlling evoporation losses from farmdams* . National programme for sustainable irrigations.

Middlebury College. (2015, 04 20). cr.middlebury.edu/es/altenergylife/70's.htm adresinden alındı

New Energy Line. (2015, 04 28). http://newenergy-line.com/ adresinden alındı

NREL. (2015, 04 28). NREL: http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg adresinden alındı

NREL. (2015, 04 27). *NREL Cell Efficiency*. http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg adresinden alındı

REN21 . (2014). *Reneables 2014 Global Status Report* . Renewable Energy Policy Network for the 21st Century .

SPG Power System. (2011). Floatovoltaics Solar Power System Overview and SPG Solar Statement of Qualification. ABD.

Sunengy Lquid Solar Array. (2015, 04 20). http://sunengy.com/lsa-technology/ adresinden alındı

Swin University Astronomy Australia. (2015, 04 18). http://astronomy.swin.edu.au/cosmos/s/sublimation adresinden alındı

TaTaPower. (2015, 04 27). http://www.tatapower.com/businesses/renewable-energy.aspx adresinden alındı

Topsolarpanelsbrisbane.com. (2015, 2). http://topsolarpanelsbrisbane.com.au/wp-content/uploads/2015/02/polycrystalline-solar-panels2.jpg adresinden alındı

US Department of Energy (NREL). (1982). *Basic Photovoltaics:Principles and Methods.*

Wikipedia. (2015, 04 26). http://en.wikipedia.org/wiki/Maximum_power_point_tracking adresinden alındı

Wikipedia. (2015, 04 15). http://en.wikipedia.org/wiki/1973-oilcrisis adresinden alındı

Wikipedia.com. (2015, 04 28). http://en.wikipedia.org/wiki/Thin_film_solar_cell adresinden alındı

WMO. (2008). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. UN.

www.solarenergyworld.com/solar-histrory-edmondbeckquerel. (tarih yok).

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad **: Mehmet Seren KORKMAZ**

Doğum Yeri ve Tarihi **: İstanbul – 16.08.1982**

E-Posta **: mehmetskorkmaz@gmail.com**

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2006, İ.T.Ü. Meteoroloji Mühendisliği
- **Yükseklisans** **:**

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

DSİ Edirne 11. Bölge Müdürlüğü - Meteoroloji Mühendisi (2006-D.E)