



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANABİLİM DALI**

**YERÇEKİMİ DESTEKLİ ISI BORUSUNUN PASİF SOĞUTMA
OLARAK FOTOVOLTAİK PANEL ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Gaziza DATKAYEVA

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Engin ÖZBAŞ

SAMSUN
2021

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANABİLİM DALI



**YERÇEKİMİ DESTEKLİ ISI BORUSUNUN PASİF SOĞUTMA
OLARAK FOTOVOLTAİK PANEL ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Gaziza DATKAYEVA

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Engin ÖZBAŞ

SAMSUN
2021

TEZ KABUL VE ONAYI

Gaziza DATKAYEVA tarafından, **Dr. Öğr. Üyesi Engin ÖZBAŞ** danışmanlığında hazırlanan “**Yerçekimi destekli ısı borusunun pasif soğutma olarak fotovoltaik panel üzerindeki etkisinin deneysel olarak araştırılması**” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 20.01.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği/oy çokluğu ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Dr. Öğr. Üyesi Engin ÖZBAŞ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yeşilyurt DÇ-MYO Enerji Bölümü	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Recep TAPRAMAZ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye (Danışman)	Dr. Öğr. Üyesi Engin ÖZBAŞ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yeşilyurt DÇ-MYO Enerji Bölümü		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Doç. Dr. Bahadır ACAR Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY
.../.../...
Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans yeterlik tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

... /... / 2021
Gaziza DATKAYEVA

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : “Yerçekimi destekli ısı borusunun pasif soğutma olarak fotovoltaiik panel üzerindeki etkisinin deneysel olarak araştırılması”.

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 18.12.2020 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : %9

Tek kaynak oranı : %1 çıkmıştır.

... /... / 2021
Dr. Öğr. Üyesi Engin ÖZBAŞ

ÖZET

YERÇEKİMİ DESTEKLİ ISI BORUSUNUN PASİF SOĞUTMA OLARAK FOTOVOLTAİK PANEL ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Gaziza DATKAYEVA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalı,

Yüksek Lisans, Ocak/2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Engin ÖZBAŞ

Yeryüzünde hemen her ülkedeki insanların yaşam koşulları, o ülkedeki endüstrinin gelişmesine bağlıdır. Endüstrideki gelişmeler ise enerji tüketimine bağlıdır. Fosil yakıtların tüketilmesine karşı en iyi alternatif, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmektir. Üstelik güneş enerjisi fosil yakıtlar gibi elektrik enerjisine dönüştürülürken çevreye zarar vermez ve küresel ısınmadan korur. Ayrıca fosil yakıtların muhafaza edilerek gelecek nesillere aktarılmasına katkı sağlar.

Bu çalışmamızda, PV sistemlerinin daha verimli çalışmaları için soğutma sistemini ele aldık. Ayrıca yerçekimi destekli ısı borusunun pasif soğutma olarak fotovoltaiik panel üzerindeki etkisinin deneysel olarak araştırılmasını sunduk. Soğutma sistemlerinin çeşitli yöntemleri olmakla birlikte, çalışmamızda yapmış olduğumuz fotovoltaiik panellerde pasif soğutma tekniklerinden ısı borusunun soğutucu olarak kullanımını üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirdik.

Yapılan çalışma sonucunda saf su bazlı panelin gerilim değeri etanol ve referans panelin geriliminden daha yüksek düzeyde ölçüldü. Çıkış gücü hesabı yapıldığında ise saf su bazlı panelin güç çıkışı etanol ve referans panele göre daha yüksek değerde ölçüldü. Güneş panellerine ısı boruları entegre edildiğinde sıcaklığın düşmesiyle verimliliklerinde artış olabileceği gösterildi. Bu çalışma alanında özgün bir yapıya sahip olup daha önce denenmeyen bir teknik ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi uygulamaları, ısı boruları, soğutma sistemi, çalışma akışkanı, fotovoltaiik.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GRAVITY ASSISTED HEAT PIPE AS A PASSIVE COOLING ON THE PHOTOVOLTAIC PANEL

Gaziza DATKAYEVA

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Renewable Energy and Applications

Master, January/2021

Supervisor: Dr. Engin ÖZBAŞ

The standard of living of people in any country mainly depends on the industrial growth of that country, which in turn depends on the energy availability and energy consumption. The best alternative to fossil fuels is to convert solar energy into electrical energy. Moreover, while converting solar energy into electrical energy like fossil fuels, it does not harm the environment and protects it from global warming, as well as preserving fossil fuels for future generations.

In this study, we investigated the cooling system for more efficient operation of PV systems. We also presented the experimental investigation of the effect of gravity assisted heat pipe as passive cooling on photovoltaic panel. Although there are various methods of cooling systems, we conducted an experimental study on the use of heat pipe as a cooler, one of the passive cooling techniques in photovoltaic panels that we have done in our study.

As a result of the study, the voltage value of the pure water based panel was measured at a higher level than the voltage of the ethanol and reference panel. When the output power was calculated, the power output of the pure water-based panel was measured at a higher value than the ethanol and reference panel. It has been shown that when heat pipes are integrated into solar panels, their efficiency can increase with a decrease in temperature. This study area has a unique structure and was carried out with a technique that has not been tried before.

Keywords: Solar energy applications, heat pipes, cooling system, working fluid, PV.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Türkiye'deki eğitim hayatım boyunca bana ders veren, üstelik bana gösterdikleri yardım ve desteklerini esirgemeyen bütün hocalarıma teşekkür etmek istiyorum.

Ayrıca şahsiyetine ve bilgisine hayran olduğum saygıdeğer hocam Prof. Dr. Recep Tapramaza'a ve danışmanım Prof. Dr. Engin Özbaş'a hayat boyu teşekkürle bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her zaman destek olmaya çalışan arkadaşım Musab Kurşun' a teşekkür ederim.

Bana Türkiye'yi vatanım ve Samsun'u ise evim gibi hissettiren tüm arkadaşlarıma ve ablalarıma şükranlarımı sunarım. Özellikle beni manevi olarak destekleyen ve hiçbir zaman yabancılik hissettirmeyen Türkiye'deki sevgili annem Nadire Tapramaza'a sonsuza dek minnettarım.

Gaziza DATKAYEVA

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
1.1. Güneş Enerjisi	2
1.2. Enerji ve Enerji Kaynakları	3
1.2.1 Geleneksel (Fosil) Enerji Kaynakları	4
1.2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	5
1.3. Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji Kaynakları	5
1.4. Güneş Enerjisi Uygulamaları.....	8
1.4.1. Düşük Sıcaklık Uygulamaları	8
1.4.2. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri.....	8
1.4.3. Orta Düzey Sıcaklık Uygulamaları	12
1.5. Yüksek Sıcaklık Uygulamaları.....	14
1.5.1. FV Sistem Teknolojileri.....	15
1.5.2. Fotovoltaik Hücrelerde Kullanılan Malzemeler	16
1.5.3. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı ve Çalışma Prensipleri	17
1.6. Isı Boruları	19
1.6.1. Çalışma Akışkanları.....	20
1.6.2. Çalışma Akışkanının Seçilmesi	21
1.7. Isı Borusu Çeşitleri	22
1.7.1. Termosifon Tipi Isı Borusu	22
1.7.2. Sabit İletken Isı Boruları.....	23
1.7.3. Değişken İletimli Isı Boruları	24
1.7.4. Döngüsel Isı Boruları	24
2. LİTERATÜR TARAMASI	25
3. MATERYAL VE METOD	31
3.1. Deney Prosedörü	31
3.2. Deneyin Hazırlanması	32
3.3. Deneyde Kullanılan Malzemeler	34
3.4. Eğim Açısının Saptanması	37
3.5. Işınım Şiddeti Ortalama Hesabı	39
3.6. Verim ve Güç Hesabı	39
3.7. Dış Ortamın İklimsel Özellikleri	40
3.8. Samsun İli Coğrafi ve Fiziksel Özellikleri	40
4. DENEYSEL BULGULAR	43

5. TARTIŞMA VE SONUÇ	50
6. KAYNAKLAR	
ÖZ GEÇMİŞ.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

I	Akım (A)
V	Gerilim (V)
η	Verimlilik oranı
Q_t	Isı taşıyıcı akışkan tarafından toplanan enerji
A	Panelin yüzey alanı

KISALTMALAR

FV	Fotovoltaik
AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
TW	Terawatt
MW	Megawatt
Ar-Ge	Araştırma Geliştirme
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takipçi (Maximum power point tracking)
C-Si	Kristal Silisyum
GaAs	Galyum Arsenid
A-Ci	Amorf Silisyum
CuInSe ₂	Bakır İndiyum- Diselenid
CdTe	Kadmiyum Tellürid
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
CuO	Bakır Oksit
GAHPHE	Yer Çekimi Destekli Isı Borulu Isı Eşanjörleri (Gravity Assisted Heat Pipe Heat Exchangers)
CHF	Kritik Isı Akışı (Critical Heat Flux)
TEG	Trietilen Glikol (Triethylene Glycol)
ESDU	Mühendislik Bilimleri Veri Birimi (Engineering Sciences Data Unit)
CPS	Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System)
USB	Evrensel Seri Veriyolu (Universal Serial Bus)
KBİ	Karadeniz Bakır İşletmeleri
PVC	Polivinil Klorür (Polyvinyl Chloride)
CSP	Concentrating Solar Power Towers

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Güneş kuşağı atlası.....	3
Şekil 1.2. Türkiye'nin birincil kaynaklara göre elektrik enerji üretim grafiği	4
Şekil 1.3. Güneş enerjili damıtma sistemine bir örnek.....	11
Şekil 1.4. Parabolik çanak kolektörlere bir örnek	13
Şekil 1.5. Güneş kulesi	14
Şekil 1.6. P-n eklemli fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi.....	18
Şekil 1.7. Yerçekimi destekli ısı boruları	19
Şekil 1.8. Yerçekimi destekli ısı borusunun çalışma prensibi.....	22
Şekil 1.9. Isı borusunun evaporatör ve kondenser kısmında akışkanın davranışı	23
Şekil 1.10. Büyük soygaz haznesine sahip ısı borusu	24
Şekil 2.1. Çalışmamızda kullanılan fotovoltaik panel ile ısı borusu düzeneği.....	31
Şekil 2.2. Saf su, etanol ve referans panellerinin gösterimi	32
Şekil 2.3. Isı borularının yerleştirilme prensibi	32
Şekil 2.4. Isı borularının uzunlukları ve deneyin hazırlanması	33
Şekil 2.5. Arka kapak yerleşiminin gösterimi	33
Şekil 2.6. Deneyde kullanılan multimetre cihazı.....	35
Şekil 2.7. Deney esnasında verilerin alındığı data logger cihazı.....	35
Şekil 2.8. Deneyde kullanılan temel haldeki panelin ön ve arka yüzü.....	36
Şekil 2.9. Deneyde kullanılan K tipi termoçift.....	37
Şekil 2.10. 41^0 eğim açısıyla konumlandırılan panellere ait bir görsel	38
Şekil 2.11. Deneyde kullanılan ısı boruları özelliklerinin sistematik gösterimi.....	38
Şekil 2.12. Samsun iline ait iklimsel verileri.....	40
Şekil 2.13. Deneyin gerçekleştirildiği çalışma sahasına ait uzay görüntüsü	41
Şekil 2.14. Samsun ili güneşlenme haritası	41
Şekil 2.15. Samsun ili aylık ortalama güneşlenme saati.....	42
Şekil 4.1. Işınım şiddetinin zamana bağlı değişimi	43
Şekil 4.2. Zamana bağlı rüzgar hızı değişim grafiği	43
Şekil 4.3. Zamana bağlı dış ortam sıcaklığı	44
Şekil 4.4. Deneyde kullanılan referans panelin zamana bağlı sıcaklık değişimi.....	45
Şekil 4.5. Saf su bazlı panelin ön ve arka yüzey sıcaklıkları.....	46
Şekil 4.6. Saf su bazlı panelin ısı çift sıcaklıkları	46
Şekil 4.7. Etanol bazlı panelin zamana bağlı ön ve arka yüzey sıcaklıkları	47
Şekil 4.8. Etanol bazlı panelin zamana bağlı ısı çift sıcaklıkları.....	47
Şekil 4.9. Panellerin gerilim değerlerinin karşılaştırılması	48

Şekil 4.10. Panellerin akım değerlerinin karşılaştırılması	48
Şekil 4.11. Panellerin zamana bağlı güç çıkışlarının karşılaştırılması.....	49
Şekil 4.12. Samsun ili için Güneşin yörüngesi ya da Güneş penceresi.....	49

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Çalışma akışkanlarının çalışma sıcaklık aralıkları	20
Tablo 2.1. Deneyde kullanılan panelin elektriksel ve fiziksel özellikleri	36
Tablo 4.1. Zamana bağlı ışıınım şiddeti, rüzgar hızı ve dış ortam sıcaklığı.....	44
Tablo 4.2. Saf su ve etanol bazlı panellerin güç çıkışlarının referans ile karşılaştırılması	45

1. GİRİŞ

Günlük yaşantımızın hemen her alanında enerjiden faydalanıyoruz. Toplu taşıma araçlarını çalıştırmak, oturduğumuz binaları inşa etmek, yediğimiz besinleri sindirmek ve gök cisimlerinin hareket edebilmesine kadar her şey için enerjinin varlığına ihtiyaç duyarız. Enerjinin hayati önemi kuşkusuz herkes tarafından az çok bilinir. Özellikle endüstri devriminden sonra insanların enerji ihtiyacı daha belirgin bir şekilde artmıştır. Enerji tüketimine karşılık her ay fatura öderiz, yüksek enerjili besinler, “serbest enerji” gibi kavramlar duyarız sürekli. Peki, enerji dediğimiz bu şey tam olarak nedir?

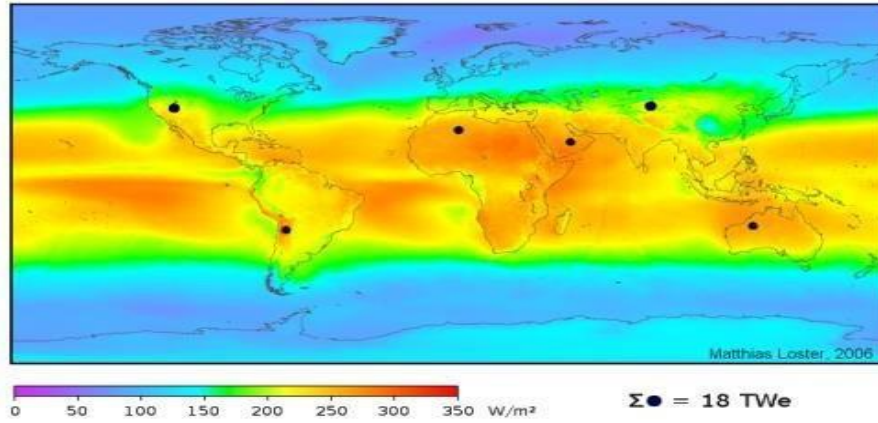
Enerji, fiziksel anlamda iş yapabilme yeteneği olarak adlandırılrsa da enerjinin anlaşılabilmesi ve onu tanımlayabilmesi için yeterli değildir. Birçok bilim insanı enerjiye dair tanımlama yapmasına rağmen enerjinin henüz tam olarak ne olduğunu bilmiyoruz. Onu göremiyoruz koklayamıyoruz ancak dönüşüm özelliğinden bazı formlarda onu tespit edebiliyoruz. Bir maddenin içinde, akan bir nehirde, patlayan bir mısır tanesinde ve bir nükleer bombaya kadar birçok farklı formda onu gözlemleyebiliriz. Bir futbol topunun hareketi sırasında onun kinetik enerjiye sahip olduğunu söyleyebiliriz. Yüksekte duran bir cisim için potansiyel enerjiden, ısınan ve soğuyan bir cisim için ısı enerjisinden, uranyum ve toryum için nükleer enerjiden bahsedebiliriz. Enerjinin bu birçok formu birbirine dönüşebilir. Örneğin yükselen bir basketbol topu başlangıçta kinetik enerjiye sahipken bir süre sonra bu enerji potansiyel enerjiye dönüşür ya da aynı şekilde potansiyel enerji tekrar kinetik enerjiye dönüşebilir. Eğer bir topu yerde yuvarlarsak sürtünmeden dolayı topun sahip olduğu kinetik enerji ısı enerjisine dönüşür ve top durur. Güneşimiz nükleer enerjiyi ısı ve radiant enerjisine dönüştürür, akan suyun enerjisini barajlarda elektrik enerjisine dönüştürürüz. Benzer şekilde insanoğlu binlerce yıldır enerjiyi dönüştürmektedir. Enerjinin dönüşümü sırasında eğer dikkatli bir şekilde ölçüm yapılırsa enerjinin başlangıçtaki ve sonraki toplam değerinin aynı olduğu bulunur. Bu nedenle enerji korunumludur ve asla kaybolmaz ve yoktan var edilemez sadece bir formdan diğer bir forma dönüşür. Bu yasa bilimin en geçerli ve çok kullanılan birincil yasasıdır. Enerjinin korunumu yasası ve termodinamiğin birinci yasası olarak bilinir.

Güneş, su, rüzgâr, kömür vb. maddelerin farklı teknikler yardımıyla ekonomik ve benzeri nedenlerden dolayı faydalanmak amacıyla enerji elde edilen bu kaynaklar,

enerji kaynakları olarak adlandırılır. Madde, enerjinin üretilmesine kaynaklık eder. Maddeler atomik ve moleküler yapıdadırlar ve bunları bir arada tutan bağlar vardır; bu bağların maddeden maddeye değişen kuvvetleri ve dolayısıyla potansiyel enerjileri vardır. Fiziksel bir etki ya da kimyasal bir reaksiyonla bu potansiyel güç ortaya çıkarılabilir. Örneğin güneşin çekirdeğinde her an meydana gelen füzyon tepkimesi ile güneşte enerji üretilerek ısı ve ışık şeklinde açığa çıkar. Ayrıca Güneş yer yüzeyinde bulunan diğer fosil kaynakların oluşumuna da kaynaklık eder. Güneşten gelen ışınlar bu kaynakların yapısında birikerek zamanla dönüşüme uğramış ve potansiyel bir güç haline gelmiştir. Enerji kaynaklarını yeraltı ve yerüstü enerji kaynakları olarak sınıflandırmamız mümkün. Yine bu kaynakların bazıları tükenirken bazılarının kendini yenileme özelliği bulunmaktadır. Kullanıldıkça kendini yenileyebilen, miktarında azalma olmayan, sürekliliğini devam ettirebilen kaynaklar yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Güneş en çok bilinen yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Bunun yanında su, rüzgâr, jeotermal, biyokütle dalga enerjisi ve hidroelektrik diğer bilinen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtların çevreye zararlı oluşu ve yakın zamanda tükenecek olması yenilenebilir enerji kaynaklarını gelecekte önemli bir alternatif enerji kaynağı olarak ortaya çıkartmaktadır. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı oranındaki artış ekonomik olarak önemli miktarda tasarrufa katkı sağlayacaktır.

1.1. Güneş Enerjisi

Güneşin çekirdeğinde bulunan hidrojenin füzyon tepkimesine uğrayarak helyuma ve daha büyük atomlara dönüşmesi sırasında yaklaşık 4 MJ enerji fazlalığı ısı ve ışık şeklinde açığa çıkar. Ortaya çıkan bu enerji fazlalığı "Güneş enerjisi" olarak adlandırılır. Güneş enerjisi dünya atmosferine ulaşana dek metre kare başına düşen enerji değeri 1370 W/m^2 'dir. Güneş ışınlarının bir kısmı dünya atmosferinden yansırken bir kısmı absorbe olur, diğer bir kısmı saçılarak dünya yüzeyine dağılır. Nihayetinde dünyaya ulaşan enerji 1000 W/m^2 civarındadır. Güneşten dünyaya ulaşan enerjinin küçük bir kısmı bile tükettiğimiz enerji değerinin kat be kat üzerindedir. 1970'ler den sonra güneş enerjisinden faydalanma oranı artmış, güneş enerjisi sistemlerinin iletim ve kurulumu hız kazanmış, zamanla maliyeti düşerek ucuzlamış ve çevreci olma özelliğiyle birincil enerji kaynakları arasında yerini almıştır (Tripathi vd., 2017).

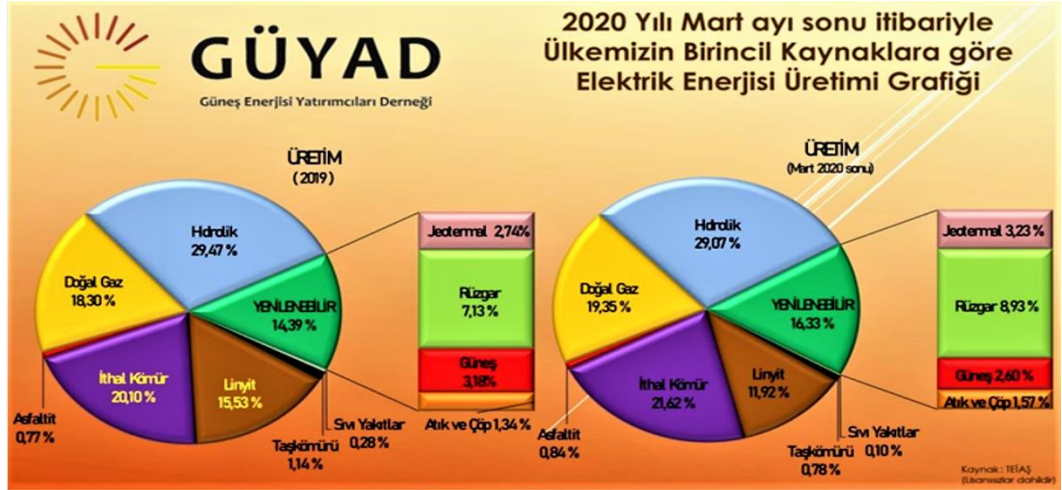


Şekil 1.1. Güneş kuşağı atlası

Güneş enerjisinden ısı ve elektrik elde etmek amacıyla çok farklı teknikler geliştirilmiştir. Elektrik üretimi doğrudan veya dönüşümlü sistemler aracılığıyla elde edilir. Güneş enerjisinin kullanım alanları giderek artmaktadır. Konut, işyerleri, teknoloji, sanayi ve ulaşım araçlarının kullanımında güneş enerjisi kullanılmaktadır. Türkiye güneş kuşağı ülkelerine yakın olmasından dolayı Avrupa ülkelerine göre daha avantajlı konumdadır. Güneş kuşağı bölgeleri şekil 1.1’de gösterilmiştir.

1.2. Enerji ve Enerji Kaynakları

Enerji, fiziksel anlamda iş yapabilme yeteneği olarak adlandırılrsa da insanoğlu için enerjinin anlamı bundan çok daha fazlasıdır. Çünkü enerji hayatımızın her yerindedir. Enerji olmadan bir işi gerçekleştirebilmemiz neredeyse imkânsızdır. İnsanın ilk dönemlerinden itibaren enerjinin önemi bilinmekle birlikte özellikle sanayi devriminden sonra enerjinin önemi daha belirgin bir şekilde artmıştır. Enerji doğada pek çok formda bulunmakta ve birinden diğerine dönüşebilme özelliğine sahiptir. Enerjinin temin edilmesinde yeraltı ve yerüstü enerji kaynaklarından faydalanılmaktadır. Bunların bir kısmı yenilenebilir, temiz ve çevreci olma özelliğine sahipken, diğerleri tükendikçe miktarı azalan ve doğayı kirletme niteliği taşıyan fosil yakıtlardır. Teknolojik gelişmeler ve insan nüfusunun artmasına paralel olarak ihtiyaç duyulan enerji miktarında hızlı bir artış meydana gelmektedir. Fosil yakıtların hızlı bir şekilde tüketilmesi, karbon emisyonuna neden olması ve yakın gelecekte bitecek olması insanoğlunu alternatif enerji kaynaklarını araştırmaya sevk etmiştir.



Şekil 1.2. Türkiye'nin birincil kaynaklara göre elektrik enerji üretim grafiği

Bu açıdan yenilenebilir enerji kaynakları en gözde alternatif enerji kaynağı iken diğer taraftan nükleer enerjiye verilen ağırlıkta artmaktadır. Birçok zarar ve riskleri ile birlikte fosil yakıtlar hala dünya genelinde en çok faydalanılan enerji kaynağıdır. Doğalgaz, petrol, kömür gibi geleneksel yakıtların önemli bir kısmı elektrik santrallerinde elektrik enerjisi elde etmek için kullanılmakta diğer bir kısmı ise ısınma sanayi ve teknolojik amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. Güneş enerjisi ilk zamanlardan bu yana aydınlanma, ısınma, kurutma vb. birçok alanda kullanılan enerji kaynaklarının başında gelir. Enerji kaynaklarını farklı şekilde sınıflandırmak mümkün olsa da en genel ifadeyle şöyle sınıflandırabiliriz.

1. Geleneksel (Fosil) enerji kaynakları
2. Yenilenebilir enerji kaynakları

1.2.1 Geleneksel (Fosil) Enerji Kaynakları

Fosil yakıtların bir kısmı uzun uğraşlar sonucu yeraltından çıkarılırken bir kısmı yer yüzeyinde bulunur. Yeraltında bulunanlar; kömür, petrol, doğalgaz, nükleer enerji kaynakları olan uranyum ve toryumdur. Jeolojik zaman devirlerinde organik atıkların fosilleşmesi sonucu meydana geldiğinden bu yakıtlar fosil yakıtlar olarak adlandırılmaktadır. Odun, tezek ve biyokütle gibi yakıtlarda yer yüzeyinde bulunan diğer yakıtlardır. Ayrıca bu geleneksel yakıtlar, konvansiyonel ya da birincil kaynaklar olarak da adlandırılmaktadır. Bu yakıtların özelliği, belirli rezervlere sahip oluşu ve bir daha yenilenmemek üzere tükenen olmasıdır. Bu yakıtların bir kısmı katı, bir kısmı da sıvı ve gaz halindedir (A. Uyarel ve E. Öz, 1987).

1.2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynaklarından birincil öneme sahip olan en çok faydalanılan en fazla tekniğin geliştirilerek üzerinde çalışılan kaynak güneş enerjisidir. Güneşten farklı yöntemlerle farklı amaçlar için enerji elde edilebilir. Dinamonun icadından sonra su gücü de önemli bir enerji kaynağı olarak yerini almıştır. Barajlarda suyun biriktirilmesiyle ya da akarsular üzerine kurulan sistemler ile su gücünden faydalanılmaktadır. Son zamanlarda önemi biraz daha artan diğer bir enerji kaynağı da rüzgardır. Dalga enerjisi, hidrojen enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında sıralanabilir (Mahmutoğlu, 2013).

1.3. Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji Kaynakları

Doğada tükenme tehlikesi içinde bulunmayan kendini yenileyebilen, temiz, çevre dostu, karbon salınımına neden olmayan sürdürülebilir enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Fosil kaynakların tükenme tehlikesi içerisinde olmasına karşın yenilenebilir enerji kaynakları geleceğin enerji kaynağı olma yolunda umut kaynağı olmuştur. Bu alanda zamanla artan faaliyetler ve politikalar iyice hız kazanmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte ülkelerin enerji konusunda dışa bağımlılığı bir miktar azalabilir. Bununla birlikte yeni istihdam alanlarının oluşumu, yatırımların ülke içinde kalması, hava kirliliğinde düşüş gibi önemli avantajları bulunmaktadır.

2004'de dünya genelinde üretilen yenilenebilir enerji miktarı 17.450 TW iken bu rakamın 2030 yılına kadar 31.667 TW'e çıkması bekleniyor. Bu durum mevcut üretim kaynaklarına ilaveten binlerce elektrik santrallerine daha ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu oranın tamamı fosil yakıtlardan sağlanmaya çalışılırsa önü alınamaz sorunlar doğurabilir. Bu durumun önemi göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesinin önemi biraz daha iyi anlaşılmaktadır. Başlıca enerji kaynaklarını şöyle gösterebiliriz (Ö. Güler, 2009):

Hidrolik Enerji: Akarsuların yüksek potansiyele sahip olduğu yerlerde suyun gücünden faydalanmak amacıyla hidroelektrik santralleri kurulur. Hidrolik güçten çok eski zamanlardan beri farklı şekillerde faydalanıldığı bilinmektedir. Sulamada, buğday değirmenlerinde, endüstriyel merdaneler ve su pompaları gibi farklı yerlerde kullanılmıştır. Bugün dünya genelinde üretilen elektriğin önemli bir kısmı bu santrallerde üretilmektedir. 2015 yılında dünya genelinde üretilen elektriğin %16.6'sı,

Türkiye’de üretilen elektriğin %29.47’si hidroelektrik santrallerinde üretilmiştir. Yenilebilir enerji kaynakları içerisinde hidrolik enerjinin payı %70 civarındadır. Hidrolik santrallerin avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. SO₂, sera gazları ve partikül emisyonuna neden olmaması avantajları arasında değerlendirilirken, barajların geniş alanlara ihtiyaç duymasından kaynaklanan yerleşim yerlerinin boşaltılması, tarım alanlarının sular altında kalması ve ekolojik dengenin bozulması gibi dezavantajları vardır. Türkiye’de metrekare başına düşen yağış miktarı 2000- 2500 mm arasında bir seyir izlerken ortalama yağış ise 642.6 mm civarındadır. Bu da yılda 501 milyar m³ yağış anlamına gelir ve bu yağışın 186 milyar m³ akarsulara karışarak akıcı hale gelecektir.

Rüzgar Enerjisi: Rüzgar enerjisi hidrolik santrallerden sonra en verimli enerji kaynağı olarak bilinir. Rüzgar türbinin kanatlarına rüzgar gücünün etkimesi sonucu türbin kanatlarının döndürülmesiyle elektrik enerji üretilir. Güneş santrallerine göre daha az yer kaplar. Montajı kolay ve genellikle yerleşim yerlerine uzak bölgelerde kurulur. Rüzgar enerjisi üretimi konusunda Danimarka öncü ülkedir. Türkiye de ise son zamanlarda rüzgardan elde edilen enerji miktarı giderek artmaktadır. Ege bölgesinin batı rüzgarlarının etkisinde olmasından dolayı rüzgardan en fazla verim alınan bölgedir.

Türkiye genelinde ortalama 10 m/s’nin üzerinde tespit edilen rüzgar hızı ve güç yoğunluğunun en fazla olduğu bölge 3.29 m/s ve 51.91 W/m² ile Marmara bölgesidir. Buna karşın en az yoğun olduğu bölge ise 2.12 m/s hız 15.19 W/m² güç yoğunluğu ile doğu Anadolu bölgesidir (Şenol, 2017).

Jeotermal: Fay hatları ve kırıklı yapıların fazla olduğu yerlerde sıcak su kaynakları fazladır. Yerkürenin ısısı ile buharlaşan yeraltı suları buharlaşarak yer yüzeyine çıktıktan sonra kurulan sistemler aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. 1900’lü yılların başında İtalya’da kullanılmaya başlanan jeotermal enerji bugün dünyanın birçok yerinde ve Türkiye’de enerji üretimi ve turizm amaçlı kullanılmaktadır. Türkiye’de özellikle Ege bölgesinde kırıklı yapıların çok oluşu bu bölgeyi jeotermal açısından zengin kılmıştır. Türkiye genelinde yaklaşık 1000 civarında mineralli su ve jeotermal akışkan kuyu noktası bulunmaktadır. Az da olsa yüksek entalpili jeotermal alanı da mevcuttur. Kızıldere, Germencik, Simav, Tuzla, Dikili, Salihli gibi alanlardan teknoloji yardımıyla elektrik enerjisi üretilebilir. Türkiye’de 24200 civarı konutun ısıtılması jeotermal enerji kaynağı kullanılarak

gerçekleştirilebilmektedir.

Biyokütle: Temel kaynağı hayvan atıkları, dışkıları, bitki atıkları ve ölü ağaçların teknik işlemlerden geçtikten sonra fermantasyon sonucunda yapısında bulunan %60-70 civarındaki metan gazı %30-40 civarındaki karbondioksit gazının yanı sıra az miktarda başka gazların açığa çıkması sonucunda elde edilen enerji türüdür. Enerji, hayvan atıklarından elde edilirse biyogaz, bitkilerden elde edilirse biyodizel olarak adlandırılır. 2015 yılının sonunda yenilenebilir enerjideki payı %8.4'dür.

Biyogaz, ısınma aydınlatma ve su ısıtma gibi amaçlarla kullanılabilen gibi elektrik enerjisi de elde etmek mümkündür. Biyogaz üretimi esnasında hayvan gübrelere kokusu kaybolduğundan üretimin yapıldığı çevrede insan sağlığını tehdit edecek bir unsur barındırmaz. Türkiye'de biyogaz üretimi 1957'de başladıktan sonra bir süre kesintiye uğramış ve günümüzde tekrar hareketlilik kazanmıştır.

Dalga Enerjisi: Dalga enerjisi, deniz enerjisi, akıntı enerjisi, gelgit enerjisi gibi isimlerle adlandırılmaktadır. Rüzgarın etkisiyle okyanus ve denizlerde oluşan dalgaların boyut ve sıklığına göre değişen kinetik ve potansiyel enerjisinin kurulan tesislerde elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle gerçekleştirilmektedir. Verimi yüksek olmasına rağmen kurulumundaki zorluklar nedeniyle yeterince faydalanılamamaktadır. Türkiye'nin dalga enerjisi üretim potansiyeli oldukça fazladır. Turizm ve kıyı balıkçılığı bunun önemli bir kısmının kullanılmasına engel oluşturmamasına rağmen Marmara hariç 8210 km civarında kıyı uzunluğuna sahip bulunmasından dolayı yeterince kullanıma açık alan mevcuttur. Bu bölgede yaklaşık 18.5 TW/s düzeyinde potansiyel bir enerji mevcuttur. Ne var ki yatırım maliyeti yanında verimi oldukça düşük olduğundan öncelikli kaynak olarak düşünülmemektedir.

Hidrojen enerjisi: Doğada önemli bir miktara sahip hidrojenin bileşik yapıda bulunması direk kullanımı önünde engel teşkil etmektedir. Bundan dolayı hidrojen dönüşüm işleminden geçtikten sonra üretim için kullanıma hazır hale getirilir. Hidrojenin yapısında karbon bulunmadığından yakıtlar gibi çevreye zararlı olmaması ve geleceğin alternatif enerji kaynağı olarak görülmesi önemli avantajlarından. Gaz ya da sıvı halde bulunmasından dolayı taşıma ve iletme esnasında enerji kaybı meydana gelmemesi, ısınma ve elektrik üretiminde kullanılabilmesi ile dikkati üzerine çekmiştir. Hidrojen için başlangıçta maliyetinin benzine göre 1.5 ile 5.5 kat arası daha

pahalı olması beklenmekte ve diğer avantajları da göz önünde bulundurularak zamanla maliyetinin düşeceği öngörülmektedir (Anonim, 2019).

1.4. Güneş Enerjisi Uygulamaları

İnsanlığın ilk dönemlerinden beri güneş enerjisinin farklı amaçlar doğrultusunda kullanıldığı bilinmektedir. İlk zamanlarda sınırlı kullanım alanına sahipken günümüzde geniş kullanım alanlarına sahip olmuştur. Su ısıtılması, besinlerin kurutulması, pişirilmesi, elektrik üretilmesi, deniz suyunun damıtılması gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Birçok yöntem, malzeme ve teknoloji kullanılarak geniş uygulama alanlarına sahip olduğundan bunları birkaç başlık altında sınıflandıracaktır.

1.4.1. Düşük Sıcaklık Uygulamaları

Düşük sıcaklık altında çalışan sistem uygulamaları güneş enerjisinden en çok faydalanılan sistemlerdir. Düzlemsel güneş toplayıcıları olarak adlandırılan bu sistemler, güneş ışınlarını tutucu özelliğe sahip olup üstü saydam bir tabaka ile örtülüdür. Bu sisteme entegre edilen borular aracılığıyla ısı, su veya benzeri bir akışkana iletilir. Bu sistemlerde yüzeyin absorbe özelliği verimlilik için en önemli niteliklerdir. Bu niteliği etkileyen etmenler; sistemin geometrisi, kaplayıcı yüzey özelliği ve sistem için seçilen malzemelerin özellikleridir. Yüzeyin malzemesinin seçiminde bakır, alüminyum, paslanmaz çelik gibi seçenekler mevcuttur. Absorbe edici yüzeyin mümkün olduğu kadar güneş ışınlarını tutarak ısıya dönüştürmesi istenir. Bunun için yüzey siyah bir mat boya ile boyanır. Boya, güneş ışınlarının %90-98 gibi önemli bir kısmını absorbe edebilir ve bunun yanında uzun dalga boylu ışınların %85-92 gibi bir kısmını da yayabilir. Bunun için yüzey kaplamalarında temel amaç, kısa dalga boylu ışınların mümkün olduğunca fazla tutulması, uzun dalga boylu ışınların yayılmasının en aza indirilmesidir. Bu şekilde sistemin sıcaklığı maksimum seviyeye çıkartılarak elde edilen ısı, borular aracılığıyla iletilebilir.

1.4.2. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri

Güneş enerjisi ile su ısıtma sistemi, kullanılacak suyun yerine, ısıtılma şekline, sistem içinde dolaşımına göre farklılıklar arz edeceğinden sistemin istenilen amaca göre kurulumunu gerektirir. Güneş enerjisini toplayan kolektörler, ısınacak suyun depolanacağı bir depo ve bunların arasında bağlantı görevi görecektir. Yalıtımlı borulardan oluşur. İhtiyaç durumuna göre bir pompa ve kontrol edici ilave edilebilir.

Doğal Dolaşım Sistemi: Bu sistemlerde, kolektörler tarafından ısıtılan suyun

yoğunluğu azalacağından ısınan su, sıcak su deposuna hareket eder. Azalan suyun yerini kolektörün alt tarafından gelen soğuk su karşılayarak döngüyü tamamlar (A. Y. Uyarel ve E. S. Öz, 1987).

Pompa Sistemler: sistem içinde ısınan suyun akışı pompa aracılığıyla sağlanır. Pompa ilaveli sistemler bir kontrol devresi ile birlikte çalıştığından ısınan su deponun nerede olacağı konusunda bir sorun teşkil etmez. Pompa sensörler aracılığıyla çalıştırılıp durdurulabilir (M. Tırıs vd., 1997).

Açık sistemler: Kireçsiz su ve düşük sıcaklığın bulunmadığı bölgeler için elverişli sistemlerdir. Bu sistemlerde, dolaşımdaki su ile kullanım suyu aynıdır. Diğer sistemlere nispeten maliyeti daha ucuz ve verimi daha yüksektir.

Kapalı Sistemler: Kapalı sistemler daha çok soğuk ve suyun kireçli olduğu yerler için kullanıma uygundur. Bu sistemlerde kullanım suyu ile ısınan su farklıdır. Açık sistemlere göre maliyeti daha yüksek ve verimliliği düşüktür.

Kolektörler: Kolektörler, güneş enerjisini toplayarak su veya benzeri bir akışkana ileten, evlerde sıcak su temin etmek için kullanılan, sıcaklıkları 70 °C'ye kadar çıkabilen aygıtlar olarak bilinir. Alüminyum, bakır, paslanmaz çelik gibi malzemelerden yapılan kolektörler, siyah mat boya ile boyanarak absorpsiyonun maksimum seviyeye ulaşması ve emisyonun minimum seviyeye inmesi, dolayısıyla radyasyon kaybının engellenmesi amacıyla selektif yüzey ile kaplanır. Kolektörlerin yüzeyi cam bir tabaka ile örtülerek absorbe edici yüzey arasında boşluk bırakılan, ön ve arka tarafları yalıtılarak meydana getirilmiş bir kasadan ibarettir (M. Tırıs vd., 1997). Her bölgenin enlemine göre güneşi en iyi verimle alacak açıda yerleştirilir. Kolektörler sanayi ve havuzlarda sıcak su eldesi amacıyla kullanıldığı gibi yaygın kullanım alanları mevcuttur. Bu alanda Ar-Ge çalışmaları devam etmekle birlikte dünya genelinde 30 milyon m² üzerinde kullanım alanı mevcuttur. En fazla kullanımın gerçekleştiği ülkelerin başında Çin, ABD, Japonya, Avustralya gibi ülkeler gelmektedir. Türkiye kolektör kullanımı açısından 18 milyon m² kullanım alanıyla dünyanın önde gelen ülkeleri arasındadır.

Güneş Havuzları: Güneş havuzlarının yapısı bahçe havuzlarına benzemekle birlikte alt kısmı siyah renk ile boyanır. Yan kısımları iyi yalıtılmış, derinliği 5-6 metreyi bulan, sıcaklığı 90 °C çıkabilen havuzlardır. Güneş havuzları ısı elde etme, elektrik üretme ve sudan tuzun arındırılması gibi amaçlar doğrultusunda

kullanılmaktadır. Havuzun tuz ve su konsantrasyonu ile ısı dağılımı düzenlenmeye çalışılır. Böylelikle havuzun üst kısmının soğuma durumu ile karşılaşması durumunda bile alt kısımda yoğun tuz konsantrasyonu sayesinde sıcaklık yüksek seviyede kalır. Isınan su bir eşanjöre pompalandıktan sonra isteğe göre elektrik üretiminde veya ısının enerjisinden faydalanma şeklinde kullanılabilir. Güneş havuzlarının düşük maliyet ve yüksek ısı depolama gibi avantajları vardır. Ancak çatılara ve yüksek eğimli yerlere kurulamayışı ve toprağa karşı iyi izole edilememesi durumunda veriminin düşmesi gibi sınırlılıkları vardır.

Sodyum klorür ve magnezyum klorür, güneş havuzlarında genellikle en çok kullanılan tuzlardır. Buharlaşmanın yüksek olduğu bölgelerde havuzun su seviyesi azalabilir. Böyle durumlarda deniz veya göl suyu düşük tuz oranı içeriğinden dolayı kullanıma elverişlidir.

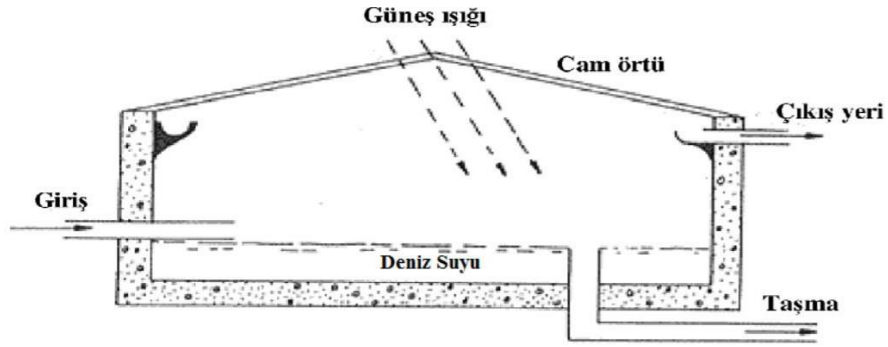
Güneş havuzlarının tuz katmanlı güneş havuzları, jel havuzları ve sığ güneş havuzları gibi farklı yapıdaki modelleri mevcuttur.

Güneş Bacaları: Güneşin etkisiyle ısınan hava, baca içerisinde hareketlenmesiyle kinetik enerjiye sahip olur. Kinetik enerjiye dönüşen bu hava bir türbin yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Şeffaf malzeme ile kaplı yapılar çevrelerine sera etkisi meydana getireceğinden içerisinde bulunan hava ve toprak daha çok ısınacaktır. Hava ısındıkça yukarıya doğru hareketleneceğinden eğimli bir çatı ile bir bacaya yönlendirilirse elektrik üretimi gerçekleştirilebilir. Güneş bacasından kurulacak bir tesis 30-100 MW aralığında bir güç üretebilir.

Güneş Enerjisi ile Kurutma: Kâğıt, seramik, kimya, tekstil ve deri gibi sanayi ürünlerinin kurutulmasında güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Gıda endüstrisinde ise meyve ve sebzelerin uzun süre muhafaza edilebilmeleri için kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kurutma işlemi, direkt güneş radyasyonuna maruz bırakılarak ya da güneş etkisiyle ısınan hava ürünlerin üzerinden dolaştırılarak bu işlem gerçekleştirilebilir. Dış ortam sıcaklığı, bağıl nem ve alınan güneş radyasyonu kurutma hızını etkileyen faktörlerdir. Kurutucular yalnız başına ya da fosil yakıtlı sistemler ile birlikte kullanılabilir. Doğal koşullarda direkt güneş ışınımına maruz bırakılan kurutma işleminin bazı avantajları vardır. 1) ürünler kurutulma sırasında toz ve böceklerden korunur. 2) Uygun düzende yerleştirilen ürünler homojen kurutulabilir. 3) Ortama giren havanın giriş-çıkış debisi ayarlanabilir ve bu şekilde kurutma işleminin hızı kontrol altına alınabilir (A. Y. Uyarel ve E. S. Öz, 1987).

Güneş enerjili kurutucuların seçiminde direkt kurutucu mu yoksa indirekt kurutucunun mu kullanılacağı ürünün özelliğine bağlıdır. Direkt kurutucularda ürün doğrudan güneş ışınımına maruz bırakılırken indirekt kurutucularda bir ısıtma odası yardımıyla bu işlem gerçekleştirilir.

Güneş Enerjisi ile Damıtma: Adalar ve yerleşim ortamından uzak ve yüksek rakımlı bölgelerde ulaşım imkanlarının kısıtlı olması nedeniyle tatlı su temin etmek zordur. Bu tip bölgeler için güneş enerjili damıtıcılar kullanışlı ve verimli bir yöntemdir. Geleneksel yöntemlerle deniz suyundan tatlı su eldesinin maliyetinin yüksek oluşu, havayı kirletmeleri ve pahalı cihazların kullanımını gerektirdiğinden çok kullanışlı ve verimli değildir. Deniz suyundan tatlı su eldesi birçok farklı yöntemle gerçekleştirilebilmektedir. Kristalleşme, dondurma ve buharlaştırma ile su çözültiden ayrıştırılabilir veya elektrodiyaliz, ekstraksiyon, iyon değişimi ile bu işlem gerçekleştirilebilir. Suyun damıtılmasında yaygın olarak kullanılan sera tipli basit bir damıtıcı şekil 1.3’de verilmiştir.



Şekil 1.3. Güneş enerjili damıtma sistemine bir örnek

Bu tip damıtıcıların tabanı ışığı absorbe edebilmesi için siyaha boyanır. Üst tarafında toplama kanalına doğru eğimli hava sızdırmaz bir cam kapak bulunur. Absorbe edici yüzey tarafından tutulan enerji ile tabandaki tuzlu su ısıtılır. Isıtılan su buharlaşarak üst kısımda nem artışına neden olur. Artan nem oranı kapalı sistemde taşınım akımı meydana getirir. Nispeten daha ılık hava soğuk cama yönelerek burada yoğunlaşır ve buradan toplama kabına doğru akmaya başlar ve bu şekilde temiz su elde edilmiş olur. Damıtıcılar, gece ve gündüz sıcaklıklarının farkından dolayı farklı hızlarda gerçekleşir. Gün içinde damıtma yavaş gerçekleşirken gün batımından sonra dış ortam sıcaklığının azalmasına bağlı olarak cam sıcaklığının azalmasıyla damıtma hızı artar.

Güneş Enerjisiyle Soğutma: sıcak iklime sahip bölgelerde ve yaz mevsiminin uzun ve sıcak yaşandığı bölgelerde, tüketim mallarının uzun süre dayanamaması soğutma ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Güneş enerjisinin bol olduğu bu bölgelerde güneş ile soğutma işlemi kullanımı, bu sistemi cazip kılmaktadır. Ters ısı çevrimine dayalı bir ısı uygulaması özelliğinden dolayı diğer ısı uygulamalardan farklılık arz etmektedir. Güneş enerjili soğutma işlemlerinin kullanıldığı yaygın uygulama alanları mevcuttur. Bu sistemlerden bazıları; Rankine çevrimli mekanik buhar türbinli sistemler, absorpsiyonlu sistemler, termodinamik sistemler, fotovoltaik üniteler ve Brayton çevrimli mekanik sistemlerdir. Düşük sıcaklık uygulamalarında absorpsiyonlu sistem en yaygın olanıdır. Performans katsayısının yüksek olması, yapım kolaylığı, kapasite kontrolünün basitliği, bu sistemin önemli avantajlarından. Güneş hücrelerinin pahalı olması termoelektrik soğutma sisteminin kullanımını sınırlı kılmaktadır. Brayton çevrimli sistemlerde ise performans katsayısının düşük olması, ekonomik olmaması gibi dezavantajlar vardır.

Yazların uzun ve sıcak yaşandığı bölgelerde enerji tüketiminin büyük bir kısmı soğutma işlemlerine ve klima uygulamalarına harcanmaktadır. Konvansiyonel soğutucular mekanik döngüleri için elektrik motoru veya içten yanmalı bir motordan güç sağlar. Isı girdisine dayalı olarak çalışan soğutucular ise elektrik, petrol ya da gazdan elde edilen ısıyı kullanırlar.

1.4.3. Orta Düzey Sıcaklık Uygulamaları

Yoğunlaştırıcı sistemler olarak da bilinen orta sıcaklık uygulamalarında silindirik ayna toplayıcılar kullanılarak 100 – 350 °C arasında sıcaklık elde edilebilen sistemlerden meydana gelir. Bu uygulamalarda ayna veya mercekli sistemlerin odağında bulunan akışkan ile ısı iletimi gerçekleştirilir.

Parabolik oluk kolektörler: Kesiti parabolik olan bu yoğunlaştırıcı sistemler, diğer termoelektrik teknolojilerine göre en yaygın kullanılan sistemlerdir. Yansıtıcı iç yüzey sayesinde güneş ışınlarını odakta bulunan absorbe özelliğe sahip boruya aktarır. Boru içerisinde akışkan görevini gören yağ tarafından tutulan enerji, elektrik üretimi için santrale gönderilir. Bu kolektörler güneşin doğuş ve batış eksenine göre en verimli olacak şekilde tek eksenli bir sistem üzerine kurulur. İyi bir yoğunlaştırıcı özelliğine sahip bu sistemlerde ortalama sıcaklık 350-400 °C'ye kadar ulaşabilmektedir. 354 MW gücündeki Kramer & Junetio santrali, yoğunlaştırıcı sistemler içerisinde en büyük ve en tanınmış olanıdır (W. Schiel, 2007).

Parabolik anak kolekt6rler: Güneş ışınlarını noktasal olarak toplayan bu sistemler, yansıtıcı, toplayıcı ve bir motordan oluşur. Elde edilen ısı bir sıvı yardımıyla termodinamik bir dolaşıma sokulabilir ya da Sterling makina yardımıyla mekanik güce dönüştürülerek elektrik enerjisi üretilebilir. Sistem başlangıçta soğuk iken içerisine bir akışkan yerleştirilir. Güneş enerjisi ile ısınan bu akışkan genleşmeye başlar. Genleşmenin etkisi ile pistonlar hareket ettirilerek mekanik bir güç elde edilir. Ardından jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Yoğunlaştırıcı özelliği parabolik olan bu sistemler güneşi iki ekseninde izlerler.



Şekil 1.4 Parabolik anak kolekt6rlere bir 6rnek

Yoğunlaştırıcı Güneş Kuleleri: Yoğunlaştırıcı güneş kulelerinde enerji üretmek için heliostat adı verilen yüzlerce veya binlerce ayna yardımıyla güneş ışınları bir güneş kulesi üzerinde bulunan alıcıya doğru yoğunlaştırılır. Alıcı içerisinde su ya da tuz eriyiği ısı transfer akışkanı olarak kullanılabilir. Su kullanılması durumunda ısınan su buharlaştıktan sonra buhar jeneratörüne gönderilir ve burada buhar gücüyle döndürülen türbin jeneratörde elektrik enerjisi üretir. Görevini tamamlayan buhar, soğuk su sisteminde soğutularak tekrar sisteme geri gönderilir. Tuz eriyiği kullanılan sistemde, tuz eriyiği ısı değiştirici alıcıya pompalanır. Burada yüksek sıcaklığa çıkarıldıktan sonra sıcak depolama tankına gönderilir. Tesisten güç elde edilmek istendiğinde sıcak tuz eriyiği buhar üretme sistemine pompalanır. evrimdeki tuz soğuk tanka gönderilir ve tekrar ısıtılmak üzere alıcıya gönderilir. Güneş kulesinin genel bir görünümü şekil 1.5’de verilmiştir.



Şekil 1.5. Güneş kulesi

Güneş kuleleri güneş olmadığı zamanlarda bile depolama özelliğinden dolayı sürekliliğini koruyabilir ve sistemlerin sıcaklıkları 600 °C'ye kadar çıkabilir.

Fresnel Oluk Teknolojisi: Bu sistemde tek bir parabolik aynanın yerine fazla sayıda ayna kullanılarak yansıtma ve yoğunlaştırma işlemi gerçekleştirilir. Güneşi takip edebilen bu sistemde alıcının sabit bir yükseklikte olması parabolik sistem ile arasındaki farkı meydana getiren etkidir. Optik verimi parabolik oluk kolektörlerine göre düşüktür. Bunun sebebi alıcının yansıtıcı aynaların 10 m üzerinde monte edilmesidir. Işınımın çok dağılması yansıma kayıpları meydana getireceğinden termik verimde azalma meydana gelir. Alıcının yüksekliğinin değiştirilmesiyle verim artırılabilir. Ancak bu durumda güneş ışınlarının toplanma alanı küçülecektir. Böyle bir durumda daha fazla panel ihtiyacı ortaya çıkacaktır. Bu işlem maliyeti arttıracığından istenmeyen bir durumdur. Alternatif olarak parçalı parabolik sisteme benzer şekilde dizilebilir. İspanya'nın Murcia bölgesinde bulunan Puerto Errad H santrali 31.4 MW güçle dünya genelinde fresnel teknoloji ile kurulan en büyük santraldir.

1.5. Yüksek Sıcaklık Uygulamaları

350 °C ve daha üzeri sıcaklığa ulaşmada kullanılan sistemler yüksek sıcaklık uygulamaları içerisinde yer alır. Bunun için çok fazla aynadan oluşan güneş takip sistemli güneş fırınları ya da merkezi toplayıcı güneş kuleleri kullanılabilir. Bu sistemler çoğunlukla elektrik üretimi ve madenlerin eritilmesinde kullanılır. Güneş enerjili termal elektrik üretimi diğer sistemler ile üretim açısından benzerlik gösterir. Bu sistemde güneş ışınlarının yoğunlaştırılmasıyla buhar ya da gaz üretilir. Üretilen buhar ya da gaz bir türbini döndürmek ya da bir pistonu ileri geri hareket ettirerek

Sterling motoru çalıştırmak amacıyla dolaşıma sokulur. Güneş termal güç teknolojileri şu şekilde çalışır: Güneşten gelen radyasyonu toplayacak bir kolektör sistemi kurulur. Alıcı üzerine ışınların yoğunlaştırılması sağlanır. Toplanan radyasyonun termal enerjiye dönüşümü gerçekleştirilir. Elde edilen termal enerji güç dönüşüm sistemine transfer edilerek elektrik enerjisi elde edilir.

1.5.1. FV Sistem Teknolojileri

Fotovoltaik sistemler direk güneş ışığına maruz bırakıldığında güneş enerjisini fotoelektrik olay prensibine göre elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Bu sistemde başlangıçta bir DC akım üretilir ve daha sonra inverter (çevirici) aracılığıyla AC akıma çevrildikten sonra kullanılmak üzere şebekeye aktarılır. Sistemin temel yapısı güneş paneli, kablolar ve inverterden oluşur. Bu sistemler genellikle güneşi en iyi görecektir şekilde uygun bir açıda sabit olarak monte edilir. Eğer güneş takip sistemli olursa verimlilikleri artabilir. Ticari amaçlı kurulumlarda direkt şebekeye aktarılırken, hanelerdeki kullanımında ise depolanması gerekir ve bu durumda bataryalara ihtiyaç doğmaktadır, (Pronen, 2015).

Fotovoltaik (FV) sistemler, elektrik üretirken verimlilikleri çalışma sıcaklığına bağlıdır. Çünkü güneş hücreleri sıcaklık değişimine karşı çok hassastır. O yüzden FV sistemlerin performansını arttırmak için soğutma sistemlerini kullanmak mantıklıdır. Elektrik üretimi sistemlerinin verimliliği arttırmak, elektriği satın alınabilir fiyata indirir ve üstelik çevre kirliliğinin azalmasına neden olur. Güneş pilleri çalışma sıcaklığına doğrudan bağlıdır. Yani güneş pillerinin çalışma sıcaklığını arttırsak, verimliliği azalır.

FV'ler küçük menzilli çatı uygulamalarında yüzlerce MW güç üreten elektrik santraline kadar farklı kullanım kolaylığı sağlayabilmektedir. Ticari amaçlı kullanılan panellerin verimi % 12-18 arasında değişirken laboratuvar koşullarında %40'lara kadar verim alınabilmektedir. Panellerin güç çıkışını arttırmak için çok sayıda güneş hücresi bir araya getirilerek FV modüller oluşturulur. İsteğe bağlı olarak seri ya da paralel bağlanarak yüksek gerilim elde edilebilir.

Geceleri güneş ışığı olmadığına ya da bulutlanma etkisiyle panel üzerinde oluşacak gölge nedeniyle panel, enerji üretemeyebilir. Bunun için akümülatörler ile enerjinin depolanması gereklidir. İhtiyaç durumunda gerekli enerji akümülatörlerden sağlanır. Akülerin aşırı yüklenmelerine ya da fazla akım çekimine karşı maksimum güç noktası takipçi (Maximum Power Point Tracking) adı verilen kontrol mekanizmasına

bağlanırlar. Bu mekanizma modüllerden gelen fazla akımı kesebilir veya fazla güç çekimini sınırlandırabilir.

Fotovoltaik sistemler şebeke bağlantılı ya da şebekeden bağımsız olmalarına göre farklı işlev görürler. Şebeke bağlantılı olanlar, yüksek gerilim üreten tesisler ya da küçük menzilli olan bina sistemleri olabilir. Tesislerde üretilen enerji, depolanmadan şebekeye aktarılırken, binalarda üretilen enerjinin ise gerekli olanı kadar kullanılır fazlası şebekeye verilir. Bina sistemi güç üretmediği durumlarda gerekli enerjiyi şebekeden çeker. Tek başına, bağımsız (stand-alone) olarak adlandırılan şebekeden bağımsız sistemlerin kullanım alanları yaygındır. Örneğin; orman gözetleme kuleleri, deniz fenerleri, bina iç ve dış aydınlatmaları, tarımsal sulama amaçlı su pompası gibi yerlerde şebeke bağımsız sistemler kullanılabilir. Fotovoltaik sistemlerin bazı özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Düşük sıcaklıklarda çalışabilirler
- Emisyon salınımına neden olmaz ve çevre dostudur
- Ömürleri uzundur (gerekli bakım yapıldığı takdirde daha da uzayabilir)
- Geniş bir güç skalasına sahiptirler
- Enerji kaynağı güneştir

1.5.2. Fotovoltaik Hücrelerde Kullanılan Malzemeler

Fotovoltaik hücrelerde kullanılan başlıca malzemeler (C-Si) kristal silisyum, (GaAs) Galyum arsenid, (a-Si) Amorf silisyum, (CuInSe₂) bakır indiyum diselenid, (CdTe) kadmiyum tellürid gibi yarı iletkenlerdir.

Fotovoltaik hücrelerde en fazla kullanılan yarıiletken malzeme silisyumdur. Silisyumdan tek kristalli ve çok kristalli güneş hücresi üretilebilir. Tek kristalli hücreler laboratuvar şartlarında yaklaşık %24'lük bir verimle çalışabilirken üretim esnasında ise %15-18 civarında verim sağlayabilir. Hücrelerin maliyetinin azalması ve harcanan enerjinin azaltılması amacıyla düşük kalitede levha şeklinde çok kristalli hücreler üretilmiştir. Düşük verime sahip olmasına rağmen ekonomik olmasından dolayı çokça tercih edilen bir seçenek olmuştur.

Galyum-Arsenid: Yüksek verime sahip olmasına rağmen maliyetinin yüksek olmasından dolayı kullanımı, yoğunlaştırılmış fotovoltaik üreteçlerle sınırlı kalmıştır. Tek kristalli galyum arsenid laboratuvar şartlarında verimleri %30'a kadar

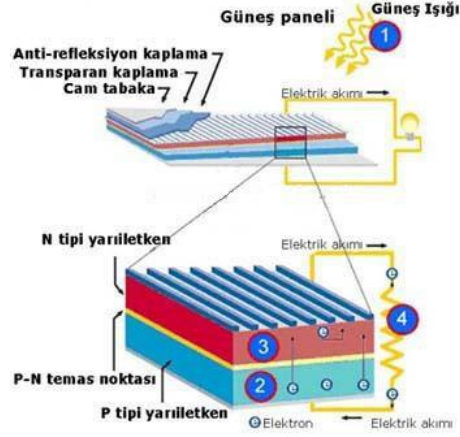
çıkabilmektedir. Diğer yarıiletkenler ile eklenerek oluşturulan pillerde verimin arttığı gözlemlenmiştir.

Kadmiyum Tellürid: Çok kristalli yapıda olan yarıiletken bir malzemedir. Üretim maliyetinin düşük olması nedeniyle modül fiyatlarını aşağı çekmesi beklenmektedir. Laboratuvar şartlarında verimlilikleri %24 iken üretimde ise %7 civarındadır. Üretimi kolay ve ucuz olan CdTe yarıiletkeninde özellikle Cd zehirleyici olduğundan yerleşim yerlerinden ve tarım yapılan bölgelerden uzakta kullanılmalıdır.

Bakır-İndiyum-Galyum Diselenid (CIGS): Esnek yüzeylere uygulanabilen bu malzemelerin verimlilikleri %11-14 civarındadır. Pahalı olmaları nedeniyle kullanımı sınırlıdır. Laboratuvar şartlarında verimlilikleri %17 civarındadır.

1.5.3. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı ve Çalışma Prensipleri

Güneş hücreleri, günümüz elektronik araçlarında kullanılan, transistörler, doğrultucular ve diyotlar gibi yarıiletken malzemelerden üretilirler. Silisyum, kadmiyum tellür, galyum arsenid fotovoltaik hücre yapımı için en kullanışlı yarıiletken malzemelerdir. Yarıiletkenlerin güneş hücresi olarak kullanılmaları n- ya da p-tipi olarak katılanmalarına bağlıdır. Üretilen yarıiletkenin n-tipi mi yoksa p- tipi mi olacağı kullanılacak katkı malzemesine bağlıdır. N-tipi silisyum elde edilirken silisyum eriyiğine periyodik tablodan 5. grup elementlerinden biri eklenir. Örneğin; fosfor eklenirse, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron, silisyumun dış yörüngesinde 4 elektron bulunduğundan 1 elektron fazlalığı bulunan fosfor, bu elektronu tek kristalli yapıya verir. Bu nedenden dolayı 5. grup elementleri, verici ya da n-tipi katkı olarak adlandırılmıştır. P-tipi silisyum üretiminde ise, silisyum eriyiğine periyodik tablonun 3. grup elementlerinden birisi katılmalıdır. 3. grup elementlerinin dış yörüngelerinde 3 elektron bulunur. Katılma sırasında kristalde hol ya da boşluk adı verilen bir elektron boşluğu meydana gelir. Bu nedenle alıcı konumuna geçen bu elementler katkı ya da p-tipi olarak adlandırılmıştır.



Şekil 1.6. P-n eklemli fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi

P- ve n- tipi yarıiletkenlerin birleştirilmesiyle oluşan eklemlerde elektronlar n-tipi, holler ise p-tipi yarıiletkenin çoğunluk taşıyıcısıdır. Eklemlenmeden önce bu iki tip yarıiletken başlangıçta elektriksel açıdan yüksüzdür'dür. Yani n- ve p- tipi yarıiletkenlerin kendi içlerinde pozitif ve negatif enerji düzeyleri aynıdır. Eklemlenmeleri durumunda n-tipindeki elektronlar p-tipindeki boşluklara doğru hareket ederek bir elektrik akımı meydana getirirler. Her iki tarafta da yük dengesi kurulana kadar bu işlem devam eder. Eklemin ara yüzeyinde p-tipi iletkende negatif yükler birikirken n-tipi iletkende ise pozitif yükler birikmeye başlar. Bu bölge, yükten arındırılmış ya da 'geçiş bölgesi' olarak adlandırılır. Yarıiletkenler arasında dönüşüm sağlandığı sürece, eklem bölgesi fotovoltaik hücre olarak çalışmaya devam eder. Dönüşüm iki aşamada gerçekleşir. Birincisi, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektronun serbest hale geçmesi sağlanır. Serbest hale geçen elektron geride bir hol bırakır ve bu şekilde elektron- hol çifti oluşturulur. İkinci aşamada bir elektrik alan yardımıyla bu çiftlerin birbirinden ayrılması sağlanır.

Yarıiletkenler, valans bandı ve iletkenlik bandı adı verilen iki enerji bandından oluşur. Bu band bir yasak aralık tarafından birbirinden ayrılır. Eğer yarıiletken tarafından enerji aralığı yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjiye sahip bir foton soğurursa, soğurulan enerji valans bandındaki elektronu serbest hale geçirerek iletkenlik bandına geçmesine neden olur. Böylece elektron-hol çifti oluşumu gerçekleşmiş olur. P-n eklemli yarıiletkenin ara yüzeyinde oluşan elektron-hol çifti bir elektrik alan yardımıyla ayrıldıktan sonra fotovoltaik hücre, elektronları n-tipi ne, holleri p-tipine göndererek bir pompa gibi çalışır. Fotovoltaik hücrenin uçlarında biriken elektron-hol çiftleri, bir elektriksel güç çıkışına neden olur. Yüzeye tekrar bir

foton düştüğünde aynı süreç tekrar işleyerek bu döngü devam eder.

1.6. Isı Boruları

Termal fizik ve ısı transfer mühendisliğinin kayda değer başarılarından biri olan ısı boruları, önemli bir kayıp olmadan ısıyı uzun mesafelere aktarabilme özelliğiyle soğutma tekniğinde çokça tercih edilen bir yöntem olmuştur. Çevreye duyarlılığı, enerji tasarrufu sağlanması ve basit bir tekniğe dayalı olması özelliğiyle cazibesi artmaktadır.

Isı boruları fikri ilk önce 1944'de Gaugler, 1962'de ise Trefethen tarafından düşünüldü. Gaugler ısı borularının patentini almış ilk kişi olsa da Gaugler'in ısı transfer borusu çok basit bir sunumdu. 1962'de Trefethen tarafından tekrar önerilene kadar teknoloji dünyası bu basit iki fazlı ve pasif ısı transfer cihazına ilgi duymadı (Arslan,2007).

Isı boruları, yüksek termal iletkenliğe sahip iki faz akışlı, sıvının buhara ve buharın yoğunlaşarak tekrar sıvıya dönüştüğü ısı transfer cihazlarıdır. Yüksek ısı akışkanlarının işlenmesinde ısı borulu ısı eşanjörü yüksek ısı taşımak kapasitesiyle geleneksel ısı eşanjörlerinden daha küçük hale gelmiştir. Bir ısı borusunun buharlaştırıcı bölgesinde bulunan iş akışkanı sayesinde ısı absorbe edilir. Böylelikle sıvının buharlaşarak kondenser bölgesine taşınması sağlandıktan sonra burada soğuyarak tekrar geri döner ve böylece çevrim gerçekleşmiş olur. Isı borusu teknolojisi, ısı eşanjörlerinin ısıl performansının artırılmasında ve mikro elektronikte artan uygulama alanları bulmuştur. Oteller, ameliyathaneler, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde enerji tasarrufu, soğutma aparatı olarak uzay aracı ve çeşitli nükleer reaktörler dahil olmak üzere endüstriyel sektörlerde kullanılmaktadır.



Şekil 1.7. Yerçekimi destekli ısı boruları (bu çalışmada yapılmıştır).

Isı boruları, iki fazlı bir akış rejiminde ısıyı uzun mesafelere taşıırken buharlaşmanın gizli ısısından yararlanarak küçük bir sıcaklık farkıyla işlemi gerçekleştiren buharlaştırma- yoğunlaştırma cihazlarıdır. Evaporatör ısıtıldığında iletim yoluyla ısı çalışma akışkanına iletilir ve böylece kılcal yapı üzerinde çalışma akışkanının buharlaşmasına neden olur. Buharlaşma esnasında taşınan gizli ısı sayesinde yerel buhar basıncı artar ve buharın yoğunlaştırıcıya doğru akmasına neden olur. Taşınan buhar yoğunlaştırıcıda kılcal yapı yüzeyinde yoğunlaşır ve gizli ısıyı serbest bırakarak soğur. Kılcal hareket ve toplu kuvvetler sayesinde çalışma akışkanının kapalı sirkülasyonu gerçekleşmiş olur. Bir ısı borusunu sabitlenmiş bir ısı emici gibi ısıyı transfer etmek için kararlı durum işleminde son derece yüksek bir termal iletkenliğe sahip olması, diğer geleneksel yöntemlere göre daha avantajlı yönlerinden biridir. Bu nedenle bir ısı borusu görelî bir uzunluk boyunca düşük bir sıcaklık farkıyla ısıyı aktarabilir. Isı borusu en iyi katı metal iletkenlerden, gümüş veya bakırdan on binlerce kat daha iyi bir termal iletkenliğe sahip olabilir. Isı borusunda harici bir güç veya sıcaklık bulunmaz. Bunun yerine çalışma akışkanının faz değişiminden faydalanılarak enerji taşınır. Bununla birlikte küçük bir enine kesit boyunca aktarılan enerji, iletim veya konveksiyon yoluyla aktarılan enerjiden daha büyüktür. Isı boruları belirlenen sıcaklığa bağılı olarak uygun çalışma sıvısının seçilmesiyle birlikte geniş bir değer aralığında çalışma imkanı sunar.

1.6.1. Çalışma Akışkanları

Isı borularında çalışma akışkanı ısıyı sıcak bölgeden yoğunlaşan bölgeye doğru taşımak için kullanıldığından akışkanın seçiminde ısı iletim özelliği dikkate alınmalıdır. Amaç ısıyı iletmek olduğundan çalışma olanaklarına, çalışılacak sıcaklığa uygun ve verimli olması göz önünde bulunmalıdır. Akışkan miktarına göre verim değiştüğinden kullanılacak akışkan boru hacminin 1/3 oranında olması gerekmektedir. Tablo 1.1'de ısı borularında kullanılan sıvı akışkanların erime, kaynama noktaları ve ortalama çalışma sıcaklığı aralığı verilmiştir (Reayand Kew, 2006; Acar, 2007).

Tablo 1.1. Çalışma akışkanlarının çalışma sıcaklık aralıkları

Akışkan	Donma Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)	Kullanım Aralığı (°C)
Azot	-210	-196	-203/-160
Amonyak	-78	-33	-60/100
Aseton	-95	57	0/120
Cıva	-39	361	250/650
Etanol	-112	78	0/130
Flutec PP2	-50	76	10/160
Flutec PP9	-70	160	0/225
Freon 11	-111	24	-40/120
Gümüş	960	2212	1800/2300
Helyum	-272	-269	-271/-269
Heptan	-90	98	0/150
Lityum	179	1340	1000/1800
Metanol	-98	64	10/130
Nitrojen	-210	-196	-230/-160
Pentan	-130	28	-20/120
Potasyum	62	774	500/1000
Saf Su	0	100	30/200
Sezyum	29	670	450/900
Sodyum	98	892	600/1200
Thermex	12	257	150/350
Toluen	-95	110	50/200

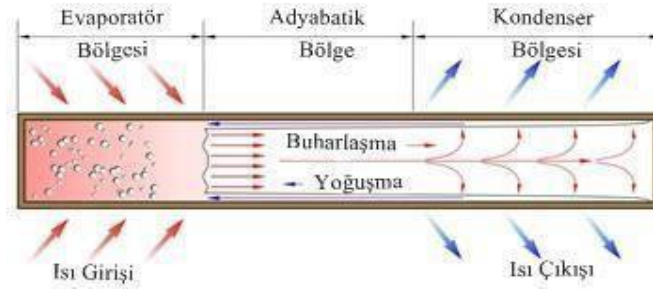
Çalışma sıcaklığında sıvının buharlaşması en büyük önemi arz ederken bunun yanında gizil ısı viskozite akışkanın yoğunluğu ve yüzey gerilimi gibi parametreler de dikkate alınmalıdır. Bazı durumlarda akışkanların belirli bir takım kombinasyonlarına uygun çalışabilen ve daha verimli olabilen sistemlerde vardır. Örneğin, gaz depolamalı ısı iletimi ayarlanabilen bu sistemler farklı akışkanların karışımına uygun çalışabilirler (Özsoy, 2005).

1.6.2. Çalışma Akışkanının Seçilmesi

Çalışma akışkanının seçiminde dikkat edilecek en önemli husus, çalışma sıcaklığı aralığıdır. Yaklaşık sıcaklık bandı aralığına uygun birden fazla iş akışkanı bulunabilir. Bunun için söz konusu uygulama açısından en uygun olanın belirlenmesi için farklı özellikler incelenmelidir. Çalışma akışkanında bulunması gereken temel gereklilikler şunlardır;

- Fital ve duvar malzemeleriyle uyumlu olmalı

- İyi bir termal kararlılığa sahip olmalı
- Çalışma sıcaklığı aralığının üzerinde buhar basıncı çok yüksek ya da çok düşük olmamalı
- Yüksek gizli ısıya sahip olmalı
- Yüksek termal iletkenlik özelliğine sahip olmalı
- Düşük sıvı ve buhar viskozitelerine sahip olmalı
- Yüksek yüzey gerilimine sahip olmalı
- Kabul edilebilir donma veya akma noktasına sahip olmalı



Şekil 1.8. Yerçekimi destekli ısı borusunun çalışma prensibi

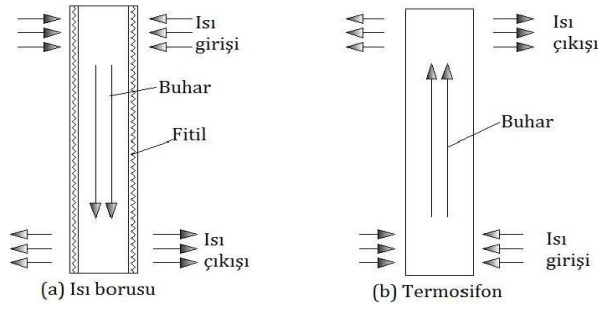
Isı borusu içinde çeşitli ısı akışı sınırlamaları ile ilgili viskoz, sonik kılcal sürüklenme ve çekirdek kaynama gibi termodinamik hususlar mevcuttur. İş akışkanının seçiminde bu durumlara dayanıklı olması göz önünde bulundurulmalıdır. Isı borusu tasarımında dikkat edilmesi gereken husus, ısı borusunun yer çekimine karşı çalışabilmesini sağlamak ve yüksek bir kılcal tahrik oluşturmak için yüksek bir yüzey gerilimi olmalıdır. Buna ek olarak çalışma akışkanı fitili ve kap malzemesini ıslatmalı. Yani temas açısı sıfır veya çok düşük olmalıdır. Çalışma sıcaklığı aralığı üzerindeki buhar basıncı, büyük sıcaklık gradianı oluşturma eğiliminde olan ve akış istikrarsızlıklarına neden olan yüksek buhar hızlarından kaçınmak için yeterince büyük olmalıdır. Isı borularında minimum sıvı akışı ile büyük miktarda ısıyı aktarabilmek ve dolayısıyla da düşük basınç düşüşlerine muhafaza etmek gerekir. Bunun için gizli buharlaşma ısısı yüksek bir değerde tutulmalıdır.

1.7. Isı Borusu Çeşitleri

Fizik yasalarına göre çalışan, istenilen çalışma sıcaklığına göre ayarlanabilen ve çeşitli sıvı akışkanı kullanımına uygun farklı tipte birçok ısı borusu bulunmaktadır. En çok tercih edilen ve performansı nispeten daha yüksek modellerden kısaca bahsedilecektir.

1.7.1. Termosifon Tipi Isı Borusu

Isı boruları ile termosifon arasında benzer özelliklerin bulunması, ikisinin birbirine karıştırılmasına neden olmaktadır. Aralarındaki en belirgin fark, ısı borularında buharlaşan sıvının yoğunlaşarak tekrar geri dönmesi kılcılık özelliğinden kaynaklanmakta iken termosifonda bu döngü yerçekimi kuvveti ile gerçekleşmektedir. Termosifonun yerçekimine bağlı olarak çalışmasından dolayı buharlaştırıcı kısım, yoğunlaştırıcı kısım olan kondenser bölgesinin daha yukarısında olamaz. Ancak bu koşul ısı boruları için geçerli değildir. Evaporator kısım daha yukarıda ya da daha aşağıda bulunabilir. Termosifonun yerçekiminin olduğu bölgede çalışma göstermesi bir nevi ısı borusunun yerçekimine bağlı olarak özel bir çalışma durumu göstermesi anlamına gelir. Isı borusu ve termosifonun karşılıklı çalışma özellikleri şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Isı borusunun evaporatör ve kondenser kısmında akışkanın davranışı

Isı borularının akışkan iletiminde önemli bir rol üstlenen fitil kısım, boru boyunca bulunması durumunda ısıl direnç meydana getirir. Bu ısıl direncin oluşumu döngülü tip ısı borusu kullanılarak engellenir. Döngülü tip ısı borusunun birinci fitil ile ikinci fitili arasında bir ara oda bulunur. İkinci fitil, sıvıyı yoğunlaştırıcıdan çekerek buharlaştırıcı kısma getirdikten sonra sıvıyı bu odada toplamaya başlar. İkinci fitil çevrimsel döngünün gerçekleşmesi için buharlaştırıcı kısma sürekli ısı pompalama görevi görürken birinci fitil ise buharlaştırıcı ile ara oda arasında akışkan iletimini gerçekleştirir (Arslan, 2007).

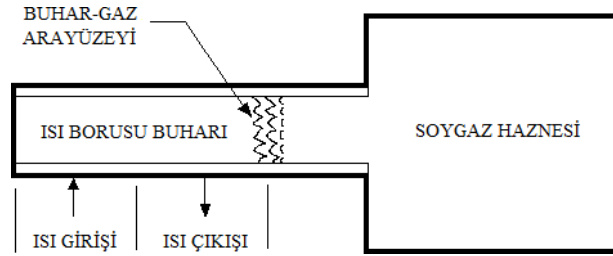
1.7.2. Sabit İletken Isı Boruları

Bu borularda akışkanın ısıtıldığı kaynaktan emiciye doğru küçük bir ısı farkıyla ısı iletimi gerçekleşir. Termal kontrol uygulamalarında daha iyi performans göstermeleri, imalat konusunda kolaylık sağlamaları ve aksiyal oluklu kılcak fitil yapıları nedeniyle tercih edilirler. Çalışma akışkanı olarak propilen, su, amonyak

kullanılabilmekle birlikte bu borular, çift yönlü ısı iletimi gerçekleştirebilirler. Termal yükten radyatör paneline ya da radyatör panelinin bir parçası olarak ısı iletimini gerçekleştirmede kullanılabilir (Xiong vd., 2006).

1.7.3. Değişken İletimli Isı Boruları

Isı girdi oranı ile çıktı karakteristiği arasında büyük değişimler olabilmesine rağmen sıcaklığını küçük bir değer aralığında sabit tutabilirler. Isı girdisi ve çıktısı arasında sabit bir sıcaklık değeri kalsa da bu koşullarda gerçekleşen değişimler sıcaklıkta kısmen bir değişime neden olacaktır. Deneysel ekipman soğutulurken yada ısı, elektriğe dönüştürülürken hassas sıcaklık kontrolünün istenmesi örnek bir uygulama olarak gösterilebilir. Şekilde büyük hacme sahip sovgaz hazinesinin borunun yoğuşan kısmına sabit bir basınç ile bağlı olduğu görülüyor.



Şekil 1.10. Büyük sovgaz hazinesine sahip ısı borusu

Bu boruların evaporatör uzunluğu değişmezken ısı girdi oranında zamanla değişme görülebilir. Sistemin sıvı buhar basıncında bir değişme olmaz ve buna bağlı olarak sıcaklıkta da bir değişme gözlenmez.

1.7.4. Döngüsel Isı Boruları

Isı geçişini sağlamak amacıyla Ural Politeknik Enstitüsünde Rus bilim adamı Maydanik tarafından tasarlanan iki fazlı ve pasif çalışan cihazlardır. Tek yönlü ısı iletimleri sayesinde bir termal diyot görevi görerek geriye doğru ısı sızıntısını engelleyebilirler. Döngüsel ısı boruları çok yönlü ısı kapasiteleri ve geniş çalışma sıcaklığı aralığında kullanılabilir, ayrıca sarsıntıya donmaya, çözülmeye ve yerçekimsel etkilere karşı dayanıklıdırlar. Döngüsel borular, geleneksel ısı borularına benzemekte birlikte ondan farklı olarak bir fitil ve ara oda bulundurmasıdır. Amaç, yoğuşturucudan çekilen akışkanı fitil üzerinden ara odada biriktirdikten sonra ısıl iletkenliği arttırmaktır. (Calameo, 2018)

2. LİTERATÜR TARAMASI

Yıldırım R. Ve Yıldız A. Özsoy (2018) akışkan şarj oranının düşük sıcaklıklardaki yer çekimi destekli ısı borusu üzerindeki performansını incelemek üzere çalışmalarında farklı doluluk oranlarında çalışma akışkanı kullanarak sistem verimliliğini incelediler. Deney düzeneği, 25 mm çapa sahip bir ısı borusu, 2 m evaporatör, 1 m kondenser ve 0.1 m adyabatik kısımdan oluşacak şekilde belirlendi. Düşük sıcaklıkta akışkan şarj oranının artması sistem performansına negatif yönde etki ettiği görüldü. Düşük sıcaklıkta aseton ısıyı metandan daha iyi iletirken yüksek sıcaklıkta metanol asetondan daha iyi bir ısı transfer performansı gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak sistemde kullanılan her iki akışkanın da şarj oranlarının sistem için zararlı olacağı görülmüştür.

Azad ve Geoola (1984) yaptıkları çalışmada yer çekimi destekli ısı borulu ısı eşanjörlerinin (GAHPHE) teorik tasarımına yönelik bir yaklaşım sundular. Çalışmada birim uzunluktaki kanat sayısı, kanat kalınlığı, evaporatör, kondenser ve ısı boruları arasındaki mesafeler değiştirilerek ısı değiştiricisinin performansındaki değişim incelenmeye çalışılmıştır. Özellikle soğuk ve sıcak akışkanların ısı kapasite oranı $C_h/C_c=1.5$ 'ta tutulup ardından kanat sayısı artırılarak 315'den 551'e çıkarttıklarında sistemin verimliliğinin %44.75'den %52.2'e çıktığını gözlemlediler. Benzer şartlarda kanat kalınlığı 0.3 m'den 0.4 m'ye yükselttilerek sistem performansı gözlemlendiğinde %47.6'dan %48.25'e doğru bir artış olduğu tespit edildi. Çalışma sonunda C_h/C_c oranının artması durumunda verimliliğin de artacağı sonucuna vardı.

Şimşak (2009) çalışmasında çalışma akışkanı olarak belirlediği saf su, ispirto (etanol) ve antifrizi bakır borulu iki fazlı yer çekimi destekli ısı borusunda kullanarak sistemin ısı performansını deneysel olarak incelemiştir. Sistemin eğim açıları, sıcaklığı ve soğutma suyu debisi değiştirilerek ısı borusunun yüzey sıcaklığı ve soğutma suyunun sıcaklığı ölçülerek karşılaştırılmıştır. Sistemin 30°, 60° ve 90° gibi farklı eğim açılarında test edilen suyun debileri 10, 20, 30 ve 40 l/s iken ısı yüklerindeki değişim ise 200, 400, 600 ve 800 W olarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek performans 90° eğim açısında elde edilmiş ve yüksek sıcaklıklarda çalışmaya en uygun sıvı akışkan ispirto ve antifriz iken düşük sıcaklıkta daha verimli olan akışkanın su olduğu gözlemlenmiştir. Isı geri kazanma amaçlı kullanılan düşük atık ısı kaynaklarındaki uygulamalarda çalışma akışkanı olarak seçilen saf su düşük debi de ısı borusunun ısı performansı üzerinde daha yüksek bir

verimliliğe sahiptir. Daha büyük soğutma suyu debilerinde antifrizin ısı performansı daha yüksek bulunmuştur. Isı geri kazanımı konusunda belirlenen çalışma akışkanlarının içerisinde ispiroto, su ve antifrizin göre daha yüksek performans sergilediği tespit edilmiştir.

Abdellah Shafian vd. (2018) yaptıkları çalışmada yerel, endüstriyel ve yeni teknoloji ile üretilen ısı borularının termal verimliliklerin üzerine kapsamlı bir araştırma gerçekleştirdiler. Bu çalışmada öncelikle ısı borularının yapısını ve çalışma prensiplerini özetleyerek ifade ettiler. Daha sonra yeni yapılan ve ısı borularının en önemli bileşeni olan kolektörlerini ısı verimini arttırmayı amaçlayan tasarımları gözden geçirdiler. Bunun ardından güneş enerjisinin depolanması amacıyla geliştirilen çalışmaların analizini yaptılar. Daha sonrasında ısı borusu sistemlerinin termal verimliliğine katkıda bulunan en önemli faktörlerden ısı borusu ve güneş enerjisi çalışma akışkanları üzerine yaptıkları çalışmaları tablo halinde gösterdiler.

S. Sargunatan vd. (2016) yaptıkları çalışmada etkili ve aktif soğutma yöntemleri kullanarak fotovoltaik güneş hücrelerin performansını arttırmaya çalıştılar. Çalışmalarında yaptıkları deneysel ve sayısal analizler gösterdi ki, aktif soğutma teknikleri solar hücrenin zamanla artan çalışma sıcaklığının azalabileceğini ve radyasyon yoğunluğu, ortam sıcaklığı ve sürdürülebilir sıcaklık gibi parametrelerin üretici tarafından belirtilen değerler aralığında olabileceğini gösterdiler. Modüllerin arkasına kanatçıklar takarak çalışma sıcaklığının etkili bir şekilde düştüğünü gözlemlediler. Bununla birlikte güç çıkışında ve verimliliğinde iyileşme olduğunu tespit ettiler. Ancak performansları esas olarak ısı transfer alanına ve rüzgar hızına bağlı olduğundan kanatçık boyutları ve ticari modüller için kanatçık sayısının tespiti amacıyla daha fazla çalışma ve araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu belirttiler.

Putra vd. (2003) yaptıkları çalışmada nano-partikül (Al_2O_3-CuO) ile su karışıklı bir sıvı akışkanını yatay halde tutularak bir ucu ısıtılmış diğer ucu ise soğutulmuş bir silindirde kullanarak nano-akışkanın doğal taşınım özelliklerini incelediler. Muhafaza kabının geometrik yapısına partiküllerin yoğunluk ile boyutunu ve bunların birbirleri ile etkileşimlerini araştırdılar. Kullandıkları karışımda nano-partikül miktarı arttıkça ısı transfer oranının azaldığını gözlemlediler. Bunun sonucunda su bazlı CuO akışkanında diğerine göre daha fazla ısı transfer kötüleşmesi olduğunu tespit ettiler.

Özsoy ve Acar (2005) bu çalışmada yer çekimi destekli ısı borusu kullanılarak 0° , 30° ve 90° , gibi farklı eğim açılarında tutulmuş ve farklı çalışma durumlarındaki

davranışlarını inceleme amacıyla bir deney gerçekleştirilmiştir. Deneyde çalışma akışkanı olarak saf su kullanılmış ve buharlaştırıcı kısmın ihtiyaç duyduğu ısı elektrik ile karşılanmıştır. Farklı eğim açılarında yapılan ölçümler karşılaştırıldığında ısı transfer verimliliğinin en düşük olduğu açı 0° olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte 30° ve 90° 'de yapılan ölçümlerden de beklenen düzeyde bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Yatay konumda ısı borusundan transfer edilen ısı miktarı arttıkça kondenser ve evaporatör bölgelerinin sıcaklıkları arasındaki farkın da arttığı gözlemlendi. Deneylerden alınan sonuçlara göre 30° ve 90° 'deki eğim açılarında kondenser bölgesi için hesaplanan ısı transferi katsayısı yaklaşık $300-400 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Senthilkumar vd. (2011) çalışmalarında n-Heksanol içinde bakır nano-akışkan kullanarak ısı borusunun termal performansının analizini yaptılar. Isı borusunun içerisine de iyonize su, bakır nano-akışkan sulu bir n-Heksanol çözeltisi ve bakır nano-partikül doldurularak ayrı ayrı performansları test edildi. Deneyler, sulu çözelti olan n-Heksanol bazlı bakır nano-akışkanın ısı borusunun verimliliğini arttırdığını gösterdi. Bununla birlikte n-Heksanol'ün sulu çözeltisinin içindeki nano-partiküllerin tepkime üzerindeki etkisi de iyonize (DI) suyu ve bakır nano akışkan ile yüklenmiş ısı borusunun termal direncinden daha büyük bir etkisi olduğu görüldü. Bunun yanında bakır nano akışkanın sulu n-Heksanol çözeltisindeki termal direnci ise DI suyundan yaklaşık %80 ile %90 daha azdır.

Hussein H. M. S. vd. (1999) çalışmalarında düz plakalı güneş kolektörlerini kullanarak farklı koşullar altında deneysel ve teorik incelemeler gerçekleştirdiler. Deney kısmında, kölektörlerde kullanılan suyun giriş sıcaklığı ve kütle akış hızları değiştirilerek elde ettikleri verileri kaydettiler. Deneysel çalışmalardan elde edilen bu veriler simüle edilmiş sonuçlarla karşılaştırdıklarında aralarında önemli derecede bir uyum olduğunu gördüler. Teorik çalışmada ise dünya üzerine düşen güneş şiddeti, absorbe amaçlı kullanılan yüzey malzemesinin kalınlığı v diğer özellikleri, kondenser kısmının uzunluğunun ısı borusunun boyuna oranı gibi parametrelerden elde edilen verilerin sistem verimliliğine etkisini incelediler.

Payakaruk T. vd. (2000) çalışmalarında eğimli bir termosifonun ısı transfer özelliklerinin boyutsuz parametrelere karşı duyarlılığını analiz ettiler. Bağ sayıları, Weber sayıları, Froude sayıları gibi incelenen parametrelerin ısı transfer hızı ve toplam ısı direnç üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla bir takım deneyler gerçekleştirdiler.

R22, R123, R134, etanol ve su gibi çalışma akışkanlarını 7.5, 11.1 ve 25.4 mm özelliğine sahip bakır termosifonlarda kullandılar. Bu termosifonlar sırasıyla 5, 10, 20, 30 ve 40 en boy oranına sahipken doluluk oranları ise %50, 80 ve 100 olarak belirlendi. Yatay eksene göre 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ve 90 °C gibi farklı eğim açılarında testler yapıldı ve kontrollü buhar sıcaklığı 0 ila 30 °C arasında değiştirilerek deneyler gerçekleştirildi. Sonuçlar farklı açılarda test edilen doluluk oranlarının ısı transfer özelliklerinin dikey konum oranı üzerinde bir etkisi bulunmaz iken çalışma akışkanı özelliklerinin Q/Q90 oranını etkilediğini göstermiştir.

Ürün, Çay ve Kurt (2011) baca gazı ısı geri kazanım sisteminin ısı performansını incelemek amacıyla R-134 soğutucu akışkanını yerçekimi destekli ısı borusunda sıvı akışkanı olarak kullandılar. Bacadaki gazın hızı arttıkça ısı borusundaki etkenlik artıyordu. Ancak soğutma suyunun miktarında bir artış olduğunda ısı borusunun etkinliği azalıyordu. Buradan çıkarılan sonuç, baca gazının hızındaki artış ısı geri kazanım sistemindeki ısı borusu demetinin etkinliği ile doğru orantılı iken, soğutma suyunun debisinin artması ise ters orantılı olmaktadır. Farklı baca gazı sıcaklıklarında ısı geri kazanım sisteminin etkinliği de önemli miktarda değişiyordu. Örneğin, 75 °C sıcaklıkta, 2.5 m/s baca gazı hızında ve 1lt/dk soğutma suyu debisindeki etkenlik %40.4 iken sıcaklık 175 °C'ye çıkarıldığında ise etkinliğin değerinin %57.7 olduğunu gördüler. Isı borusunun çalışma çevrimini daha kısa sürede tamamlayarak birim zamanda kazanılan ısı enerjisinde artış meydana gelmesi için yerçekimi yanında fitil etkisi de kullanılarak akışkanın kondenser bölgesinden evaporatör bölgesine geri gelmesi sağlandı. Fitilli ısı borusu kullanıldığında ısı geri kazanım sisteminin performans verimliliğinde artış olacağı sonucuna vardılar.

Beşe, U. (1988) nano-akışkan içindeki nano-partiküller çalışma akışkanı olarak minyatür bir termosifonda termal performans üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla bir deney gerçekleştirildi. Deneyin bileşenleri, nano-sıvılar, de iyonize su ve ortalama boyutu 30 nm olan CuO nano-partiküllerinden meydana geliyordu. Deney sonuçlarına göre su-CuO nano-sıvılarının atmosfer basıncı koşullarında su kullanımına göre termosifonda bulunan buharlaştırıcının kaynama ısı transfer performansını önemli ölçüde arttırabileceği gösterilmiştir. Deneysel çalışmadan çıkarılan sonuç, su-CuO bazlı nano-akışkanlar çalışma akışkanı olarak minyatür termosifonda kullanıldığında ısı transfer performansını önemli ölçüde güçlendirilebileceği gösterilmiştir.

Tsai H. ve Chien T. (2011) çalışmalarında disk şeklinde bir minyatür ısı borusu kullandılar. Temel akışkanlardaki asılı parçacıkların, yani nano-akışkanların ısı borusunun termal direnci üzerindeki etkisini incelemek amacıyla bir deney gerçekleştirdiler. Altın ve karbon olmak üzere iki tür nano-partiküllü sulu çözelti içinde kullandılar. Minyatür ısı borusunun termal direncinin ölçülmesi için çalışma akışkanı olarak nano-akışkan ve de iyonize su ölçülmek üzere deney sistemi kuruldu. Elde edilen sonuçlara göre altın nano-partiküllerin nano-akışkan ile dinamik viskozitesinin de iyonize suya yakın bir değerde olduğu görüldü. Nano-akışkanın karbon nano-partiküller ile olan viskozitesi ise altın nano-partiküllerinkinden %9 oranında olduğu görüldü. Eldeki veriler altın ve karbon nano-partiküller içeren bir minyatür ısı borusu, de iyonize su içeren bir minyatür ısı borusu ile karşılaştırıldığında yüklü tüm hacim için daha düşük bir ısı direnç değerinden daha az olamayacağını gösterdiler. Bu sonuçların altın nano-partiküllerindeki düşük hacim fraksiyonu üniform olmayan dağılım v büyük çaptaki carbon nano-partiküllerinkinden kaynaklandığını belirttiler. Bunun yanında üç çalışma sıvısı için de en iyi yük hacminin %55 olduğunu ifade ettiler.

Nuntaphan A. (2002) bu çalışmada termosifon ısı borusunda çalışma akışkanı olarak TEG-su karışımı kullanılarak taşıma sınırına bağlı kritik ısı akısı (CHF) incelenmeye çalışılmıştır. Deneyden elde edilen verilere göre tek su karışımı saf suya göre ısı taşıma sınırlamasını daha iyi uzatabildiği ve yüksek sıcaklık uygulamalarında saf TEG'e göre daha iyi bir ısı transfer performansı gerçekleştirdiği görülmüştür. Bunu yanında TEG-su karışımı durumunda ESDU denkleminin termosifonun CHF'sini tahmin etmeye daha elverişli olduğu tespit edilmiştir. Termosifonun her kısmında tek su karışımı seçildiğinde saf TEG'e göre %30-80 ve %60-60 oranında performans artışı olabileceği gösterilmiştir.

Said ve Akashe (1999) çalışmalarında sıvı akışkan olarak belirledikleri suyu normal yağ lambalarında kullanılan pamuktan imal edilmiş fitilli bir ısı borusu ile fitilsiz bir ısı borusunda kullanarak sistemin performansını incelediler. Isı boruları 30°, 60° ve 90° gibi farklı eğim açılarında tutularak ölçümler alındı. Deneylerden elde edilen verilere göre fitilli bir ısı borusunun ısı transfer performansı fitilsiz ısı borusuna göre daha yüksek olduğu tespit edildi. Farklı açılarda yapılan ölçümlerde %55, %25 ve %70 oranında artış sağlandığı gözlemlendi.

Mahmoooh ve Akhanda (2008) çalışmalarında silindirik, yarı silindirik ve

dikdörtgen olmak üzere üç farklı geometrik yapıya sahip ısı borularında çalışma akışkanı olarak seçilen saf suyun, 0°, 45° ve 90°'lik eğim açılarında performansı test edilmek üzere bir deney gerçekleştirilmiştir. Beş adet K tipi termoçift ısı borusunun farklı bölgelerine kalibre edilerek sıcaklıkları ölçülmüş ve belirlenen parametreler doğrultusunda ısı borusunun performansını incelemek amacıyla ampermetre ile voltmetre yerine voltaj regülatörü kullanılarak deney gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler arasında korelasyon oluşturularak farklı eğim açılarında sabitlenmiş ısı borularının ısı transfer katsayıları tahmin edilmeye çalışıldı. Deney sonuçlarına göre silindirik yapıdaki ısı borusunun diğerlerine göre daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür.

3. MATERYAL VE METOD

Literatür incelendiğinde fotovoltaiik panellerin verimini arttırmaya yönelik çeşitli soğutma sistemlerinin araştırıldığı görülmektedir. Genel olarak aktif ve pasif soğutma şeklinde sınıflandırılan soğutma teknikleri bulunmaktadır. Aktif soğutma teknikleri ile etkili soğutma ön plana çıkarken, pasif soğutma ile ek enerji sarfiyatının olmaması bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Isı borusunun pasif soğutucu olarak kullandığı çalışmalara bakıldığında özellikle ısı borusu tasarımının incelendiği görülmektedir. Bu çalışmada literatürden farklı olarak çoklu ısı borulu pasif soğutucu tasarımı yapılmıştır. Aynı zamanda yer çekimi destekli ısı borusunda farklı çalışma akışkanı kullanımının fotovoltaiik panelin verimine etkisi de karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, fotovoltaiik panellerde pasif soğutma tekniklerinden ısı borusunun soğutucu olarak kullanımı üzerine deneysel bir çalışma yapılmış olmasıdır. Kullandığımız ısı borusu yer çekimi desteklidir. Bu da döngünün, harekette herhangi bir sızıntı bulunmaması şartıyla sonsuza kadar devam etmesine neden olur. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak ısı borularının pasif soğutucu olarak fotovoltaiik panelin performansı üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmamızda kullanılan fotovoltaiik panel ile ısı borusu düzeneğin resmi Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışmamızda kullanılan fotovoltaiik panel ile ısı borusu düzeneği

3.1. Deneysel Prosedürü

Bu çalışmada aynı tip ve boyutta üç adet polikristal güneş paneli kullanılmıştır. Birinci panel bir referans panelidir. İkinci ve üçüncü panellere ise üçer adet yer çekimi destekli ısı boruları konumlandırılmıştır. Panel ile ısı borularının termal etkileşimi su üzerine yapılan metal kapak ile gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde tasarımı tamamlanan

ısı borularından birinci gruba çalışma akışkanı olarak saf su, ikinci gruba ise çalışma akışkanı olarak etanol doldurularak sistem tasarımı tamamlanmıştır.



Şekil 2.2. Saf su, etanol ve referans panellerinin gösterimi

Tasarım ve imalat sonucu (a) etanol ile çalışan yer çekimi destekli ısı borulu panel, (b) saf su ile çalışan yer çekimi destekli ısı borulu panel ve (c) referans panel olmak üzere üç farklı panelde ısı borulu pasif soğutucunun panelin verimi üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

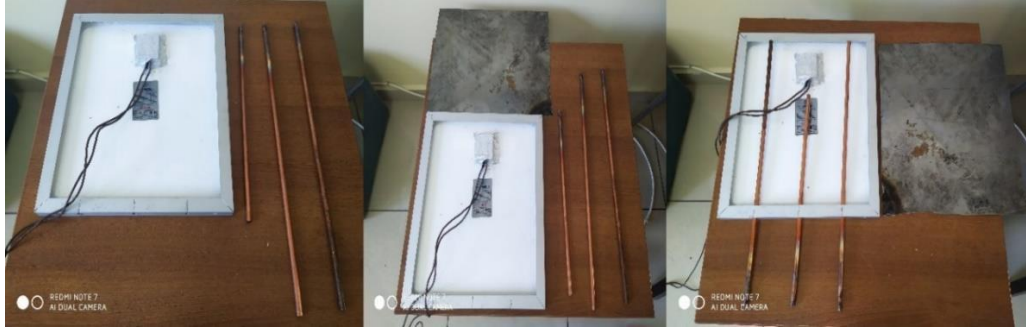
3.2. Deneyin Hazırlanması

Her birisi 10 W güc üretebilen üç pannelen birisi referans olmak kaydıyla diğer ikisi ısı borularının çapına uygun eşit mesafede delindikten sonra elektrik bağlantı noktası kaplanarak diğer kısımlar ile birlikte su sızıntısına karşı izole edildi. Saf su ve etanol bazlı iki adet pannelen her birisine iki adet 42 cm ve bir adet 29 cm uzunluğunda üç adet ısı borusu uygun şekilde yerleştirildi. Daha sonra panellerin arka kısmının içerisine su doldurulmak üzere metal bir kapak ile kapatılarak etrafına silikon çekildi. Orta noktada bulunan ısı borusu çıkartılarak içerisine 650 ml su konduktan sonra boru tekrar yerine takılarak sağlamlaştırıldı.



Şekil 2.3. Isı borularının yerleştirilme prensibi

Her biri 10 W gücündeki güneş panelden pasif soğutucu olarak kullanılan ısı borularında çalışma akışkanı olarak saf su ve etanol seçilmiş, böylelikle panellerin sıcaklık değerleri düşürülerek ısı borularının panel verimliliğine etkisi araştırılmıştır. Saf su ve etanol bazlı panelde üç adet olmak üzere 0.8 mm çapında 6 adet bakır ısı borusu kullanılmıştır. Boruların 4 tanesi 42 cm uzunluğunda, 2 tanesi de 29 cm uzunluğundadır. Akışkan doluluk oranı 1/3 olan ısı borularının kondenser kısmı 11 cm, evaporatör kısmı ise 31 cm olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.4. Isı borularının uzunlukları ve deneyin hazırlanması

Panellerin arka kısmında elektrik bağlantısının olduğu bölge özel teknik ile muhafa edilmiş ve bu kısmın zarar görmemesi için ısı borularından biri diğer ikisine göre daha kısa seçilmiştir. Bu kısa borunun da doluluk oranı 1/3 olmak üzere evaporatör kısmı 18 cm, kondenser kısmı ise 11 cm olarak belirlenmiştir. Sistemin kapakla örtülen iç kısımlarında ısı transferi amacıyla birçok sıvı seçilebilir. Bu çalışmada su tercih edilmiş ve iç haznesi 650 ml su ile doldurulmuştur. Uzunlukları belirlenen bu ısı boruları ve metal kapaklar şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Arka kapak yerleşiminin gösterimi

Paneller Samsun koşulları için 41°14’N ve 36°26’D GPS koordinatlarında yapılmıştır. Güneş enerjisiyle yapılan deneylerde sistemlerin eğim açısının Samsun’un

coğrafi konumu gereği yaz şartlarında 26°, kış şartlarında 56° yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada deneyler sonbahar şartlarında yapıldığından sistem 41° eğim açısında tutulmuş ve günün farklı saatlerinde ölçümler alınarak kaydedilmiştir. K tüpü bir termoçift ile referans panelin sadece ön ve arka yüzeyin orta noktalarının sıcaklığı ölçülürken diğer panellerdeki her üç ısı borusunun kondenser kısmındaki orta noktaları, ön ve arka yüzeylerinin orta noktaları olmak üzere beş ayrı noktadan sıcaklık değerleri alınarak üç adet data logger yardımıyla veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Çalışmayı maddeler halinde özetleyecek olursak;

1. Bu çalışma alanında özgün yapıya sahip kontrollü bir deneysel çalışmadır;
2. Saf su ve etanol bazlı panellerin sıcaklıkları ve elde edilen güç değerleri referans panel değerleri ile karşılaştırılarak performans ölçümü gerçekleştirilmiştir;
3. Rüzgar hızı, dış ortam sıcaklığı ve ışınım şiddeti ölçülerek paneller üzerindeki etkisi incelenmiştir.

3.3. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada 1 adet multimetre, 9 adet ısı borusu, USB çoklayıcı, 3 tane K tipi 1sıl çift ya da termoçift, 2 adet bilgisayar, 3 adet data logger, 650 ml su, çalışma akışkanı olarak ısı borusunun 1/3 miktarda saf su, etanol ve 3 adet polikristal güneş paneli kullanılmıştır.

Multimetre

Multimetreler, voltmetre ohmmetre ve avometre gibi ölçüm cihazlarının özelliklerini içinde barındıran ve bunların yaptığı işlemleri tek başına gerçekleştiren ölçüm cihazlarıdır. Ölçülmek istenen özellik ya da değer aralığı multimetrenin kademe düğmesi bu konuma getirilerek ölçüm gerçekleştirilebilir. Eğer 50 A (DC akım) ya da 50 Ohm kademesi seçilirse cihazın gerçekleştirebileceği en büyük değer aralığı bununla sınırlı olacaktır. Yani seçilen 50 A ya da 50 V değer kademesi ile 200 V değerine sahip bir cihazın ölçümünde bir sonuç alınamaz. Multimetreler DC/AC seçeneği sunmakla birlikte, ölçülecek değer bilinmediği takdirde, cihaz en yüksek değer aralığında çalıştırılarak ölçüm gerçekleştirilebilir. Ölçüm esnasında kullandığımız multimetreye ait görsel aşağıda şekil 2.6.'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Deneyde kullanılan multimetre cihazı

Data Logger

Çelik ya da ABS ile güçlendirilmiş bir muhafaza içinde bulunan veri kaydetme özelliğine sahip bu cihaz, bir güç kaynağı ile birleştirilmiş, çeşitli modüller ve iletişim seçeneklerine sahip özel amaçlı bir kaydedicidir. Bu cihazlar nem, basınç, radyasyon ve sıcaklık gibi fiziksel ve çevresel koşullara sahip birçok parametreyi ölçebilme özelliğine sahiptir. Araştırmalarda büyük kolaylık sağlamakla birlikte ısıtma/soğutma/havalandırma ölçümleri, kalite kontrol ve sorun belirleme gibi ilave kullanım seçenekleri sunar.



Şekil 2.7. Deney esnasında verilerin alındığı data logger cihazı

Polikristal Güneş panelleri

Kullanılan polikristal güneş hücresi, antireflektif kaplama özelliği ile geliştirilmiş iyi saydam cam sayesinde solar hücreleri daha fazla radyasyon erişimini

kolaylaştırarak yüksek verim sunma özelliğine sahiptir. Bu güneş hücreleri 5BB verimlilik özelliğine sahip olmakla birlikte tuz buharı ve amonyak gibi sert çevre koşullarına sahip PID risk faktörlerine karşı dayanıklıdır. Ayrıca bu modüller kolay montaj sağlamakla birlikte mekanik sağlamlığı ile rüzgar ve kar gibi olumsuz hava koşullarına karşı dayanıklıdır. Üzerinde çalışma gerçekleştirilen modüllere ait özellikler aşağıdaki çizelgede verilmiş olup ayrıca buna ait bir görsel şekil 2.8.’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Deneyde kullanılan temel haldeki panelin ön ve arka yüzü

Tablo 2.1. Deneyde kullanılan panelin elektriksel ve fiziksel özellikleri

Seri Numarası	ORB36P201804
Maksimum Güç	10Watt+3%
Açık Devre Voltajı	21.50 V
Kısa Devre Akımı	0.64 A
Maksimum Sistem Voltajı	1000 V
Maksimum Güç Voltajı	17 V
Maksimum Güç Akımı	0.59 V
Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı	45+/-2 ⁰ C
Modül Boyutu	280x345x17

Bu veriler standart test koşulları altında geçerlidir.

Isıl Çift

Termoçift ya da ısılıçift adı verilen bu alet iki farklı iletken bir araya getirilerek uç kısımlarının birleştirilmesi ile oluşmuş bir tür ısı sensörüdür. Geniş çalışma sıcaklığı aralıkları ve ısı değişimlerine ani tepki vermelerinden dolayı ısı ölçümlerinde ve sanayide çokça kullanılmaktadır. İki ucu kaynatılmış termoçift sıcaklığı ölçülmek istenen bölgeye yerleştirildiğinde ısınmaya başlar ve bu nokta “hot junction point” olarak adlandırılan sıcak noktadır. Termoçiftin yüzeye temas etmeyen diğer ucu soğuk olduğundan sıcaklık farkı nedeniyle mV seviyesinde bir DC gerilim

oluşur. Sıcak noktanın sıcaklığının sabit kalması durumunda soğuk noktada sıcaklık değişimi meydana geleceğinden “termoelektrik voltaj” adı verilen bu sıcaklık farkı nedeniyle termočift kablolar üzerinde bir gerilim meydana gelir. Oluşan bu gerilim mV tablolarında belirlenen değerlerde standart sağlaması için sıcaklığa karşılık gelen mV değerleri soğuk noktanın 0 °C’de tutulmasıyla elde edilmiş olur. Deneyde kullandığımız termočift K tipi nikel-krom/alüminyum (-270/1372 °C) özelliğine sahiptir. Kromal türü %90 Nikel ve %10 krom, alümel türü ise %95 Nikel, %2 mangan, %2 alüminyum ve %1 silikon olmak üzere en genel amaçlı kullanılan termočift (ısı çift) dur. Algılama düzeyi yaklaşık 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ civarındadır. Probları -200 °C ile 1200 °C arasında çalışabilir.



Şekil 2.9. Deneyde kullanılan K tipi termočift

3.4. Eğim Açısının Saptanması

Ekvator düzlemi ile göz önünde belirlenen herhangi bir nokta arasındaki açı eğim açısı olarak adlandırılır. Diğer bir deyişle doğrudan gelen güneş ışınları ile yatay düzlem arasındaki açı eğim açısıdır. Dünyanın coğrafi kuzey kutbu (+) kabul edilirken güney kutbu ise (-) kabul edilir. Haritalardan ya da harita bilgisi içeren sistemlerden herhangi bir bölge için belirlenen enlem derecesi tespit edilebilir (Öztürk, 2012).

Güneşin ve dünyanın hareketinden dolayı yeryüzünde seçilen bir nokta için güneş ışınları sürekli farklı açılarda düşmektedir. Güneş enerjisi ile çalışan sistemler uygun açıda yerleştirilmediklerinde yeterli verimlilik sağlanamamakta ve maliyet açığı ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı sistemden maksimum verim elde edebilmek için sistemin optimum eğim açısına göre belirlenmesi gereklidir. Eğim açısı belirlenirken coğrafi koşullar ve dönemsel değişiklikler göz önünde bulundurulmuştur. Eğim açısının teorik olarak hesaplanmasını veren ifade denklem 3.1’de gösterilmiştir.

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (3.1)$$

Burada;

I_b - yatay düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımı şiddeti;

I_d - yatay düzleme gelen anlık yayılı güneş ışınımı değeri;

β - kolektör eğim açısı;

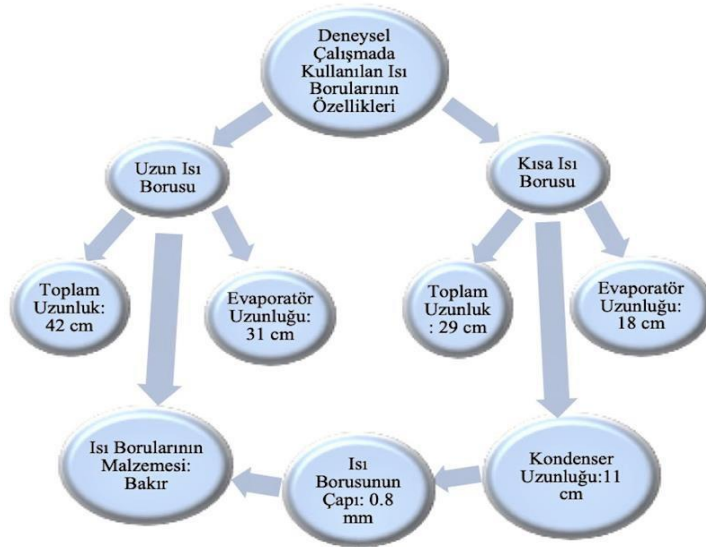
ρ - yerin yansıtma oranı;

R_b - geometrik faktör değeri.

Samsun iklim koşullarında 41° eğim açısıyla konumlandırıldığımız ısı borularına ait çalışmanın bir görseli aşağıda şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. 41° eğim açısıyla konumlandırılan panellere ait bir görsel



Şekil 2.11. Deneyde kullanılan ısı boruları özelliklerinin sistematik gösterimi

3.5. Işınım Şiddeti Ortalama Hesabı

Işınım şiddeti ortalama hesabı verilerin aritmetik ortalaması alınarak yapılmıştır. Hesaplamayı veren denklem aşağıda verilmiştir.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N} \quad (3.2)$$

\bar{X} aritmetik ortalama;

X_1 - birinci veri;

X_N - sonuncu veri;

N - veri sayısı.

Aldığımız verileri yukarıdaki denklemde yerine koyduğumuzda bu değer;

$$\text{Güneş ışınımı aritmetik ort.} = \frac{350 + 368.6 + 358.2 + \dots + 160.4}{42} = \frac{170.057}{42} = 406.11 \text{ W/m}^2$$

olarak bulunmuştur.

3.6. Verim ve Güç Hesabı

Aşağıda panellerin sıcaklık, alan ve ışınım şiddetine bağlı olarak verimlilik ve güç hesabı yapılmıştır. Isı ve verimlilik

$$Q_t = m \cdot c_p (T_s - T_b) \quad (3.3)$$

$$Q_g = A \cdot I \cdot \Delta t \quad (3.4)$$

$$\eta = \frac{Q_t}{Q_g} = \frac{m \cdot c_p (T_s - T_b)}{A \cdot I \cdot \Delta t} \quad (3.5)$$

denklemleri ile hesaplanır. Burada;

Q_t – ısı taşıyıcı akışkan tarafından toplanan enerji;

m – suyun toplam kütlesi;

T_b – su başlangıç sıcaklığı;

T_s – suyun son sıcaklığı;

A - Panelin yüzey alanı;

η – verimlilik oranı;

Güç hesabı ise akım ve gerilimin çarpımı ile bulunur;

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{ya da} \quad P = I^2 \cdot R = I \cdot V \quad (3.6)$$

Burada;

P – güç (Watt);

W – yapılan iş;

R – direnç;

I – akım;

V – gerilim.

3.7. Dış Ortamın İklimsel Özellikleri

Bu çalışma Samsun iklim koşullarında gerçekleştirildiğinden bütün ülke için genellik arz etmez. Çalışmanın verimli olabilmesi için bulunduğu bölgenin iklim koşullarına uygun hale getirilmelidir. Nem, sıcaklık, yağış, rüzgâr hızı, güneşlenme saati gibi parametreler sistem verimliliğini etkileyen dış koşullara ait parametreler olduğundan dış ortamın iklimsel özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Çalışmanın gerçekleştiği ortama ait ortalama iklimsel veriler şekil 2.12’de gösterilmiştir.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıcaklık (° C)	6.6	7.1	8.1	11.5	15.2	19.5	22.3	22.4	19.6	15.8	12.4	9
Min. Sıcaklık (° C)	3.3	3.6	4.4	7.8	11.7	15.7	18.6	18.7	15.8	11.9	8.6	5.6
Maks. Sıcaklık (° C)	10	10.7	11.9	15.3	18.7	23.3	26	26.2	23.4	19.7	16.3	12.5
Ort. Sıcaklık (° F)	43.9	44.8	46.6	52.7	59.4	67.1	72.1	72.3	67.3	60.4	54.3	48.2
Min. Sıcaklık (° F)	37.9	38.5	39.9	46.0	53.1	60.3	65.5	65.7	60.4	53.4	47.5	42.1
Maks. Sıcaklık (° F)	50.0	51.3	53.4	59.5	65.7	73.9	78.8	79.2	74.1	67.5	61.3	54.5
Yağış / Yağış (mm)	71	59	62	58	48	46	32	35	51	81	85	81

Şekil 2.12. Samsun iline ait iklimsel veriler

3.8. Samsun İli Coğrafi ve Fiziksel Özellikleri

Samsun ili Karadeniz kıyısının sahil şeridinin orta bölgesinde yer alan etrafı akarsular, deltalar ve dağlarla çevrili 9.083 km²’lik alana sahip bir ildir. Samsun iç ve dış kesimlerinde yeryüzü şekilleri bakımından farklılık gösterir. Güneyi dağlar ile çevrili olmakla birlikte bu dağlar ile kıyı şeridi arasında yaylalar ve yaylalar ve deniz kıyısı arasında deltalar bulunmaktadır. İklimi genellikle ılıman olmasına rağmen iç ve dış kesimlerde farklılık gösterebilir. Deniz kıyısında Karadeniz iklimi hakim ve yazları

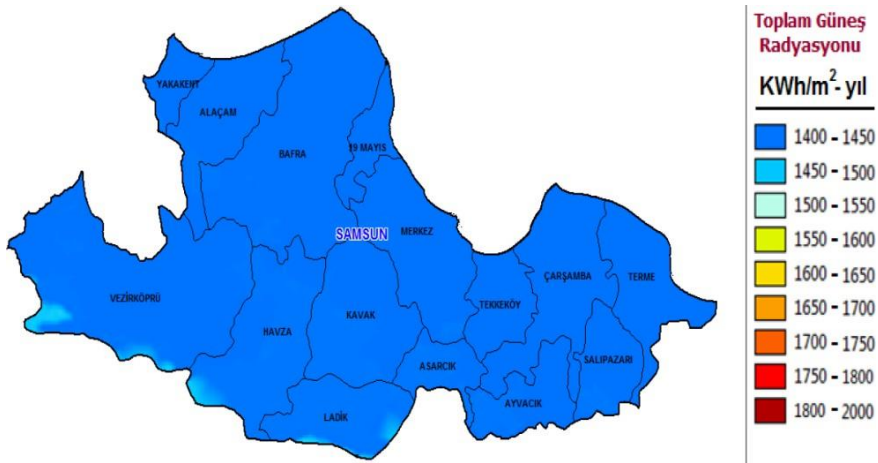
sıcak kışları ise ılık ve yağışlıdır. İç kesimlerde deniz seviyesi yükselmekte birlikte sıcaklıklar düşmekte ve kışları nispeten daha soğuk yağmur ve kar yağışlıdır. Gün içerisinde ani hava değişimleri görülebilmekte ve karın yerde kalma süresi 2-3 gündür.



Şekil 2.13. Deneyin gerçekleştirildiği çalışma sahasına ait uzay görüntüsü

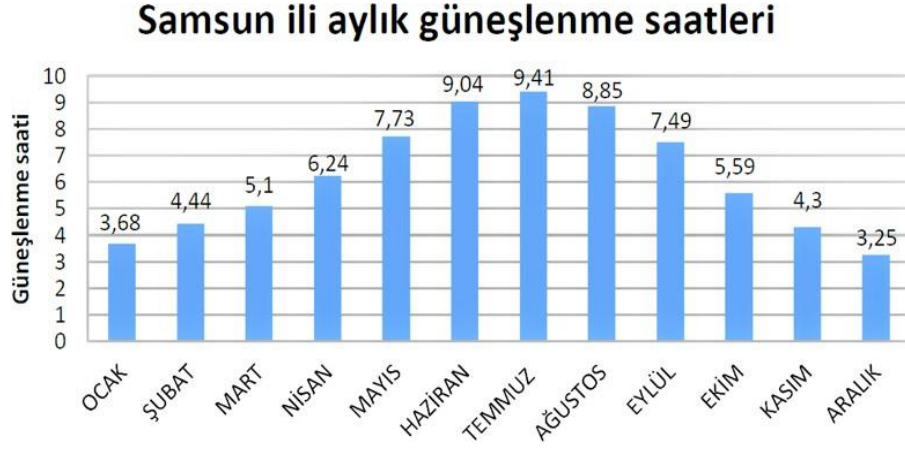
Samsun ilinde başta Karadeniz bakır işletmeleri (KBİ) azot ve sigara olmak üzere birçok sanayi kuruluşu bulunmaktadır. Bu çalışma endüstriyel kuruluşlarına yakın bir alanda gerçekleştirilmiştir. Bunlar çimento, gübre, bakır, yapay jüt, oto yedek parçası, pompa, mobilya, tekstil, kalorifer kazanı, PVC tesisleri, zirai alet ve makineleridir. Bu endüstriyel kuruluşlar hava kalitesini etkileyeceğinden panellerin verimlilik ölçümünde göz önünde bulundurulması gereken önemli bir noktadır.

Samsun ili Türkiye'nin Karadeniz bölgesinde yer aldığından ve güneş kuşağına güneyde yer alan şehirlere göre daha uzak kaldığından bu bölgeye düşen radyasyon oranı nispeten daha düşüktür. Bölgenin diğer illere göre daha fazla yağış alması ve bulutlu gün sayısının daha fazla olması radyasyon oranını etkileyen diğer etmenlerdir.



Şekil 2.14. Samsun ili güneşlenme haritası

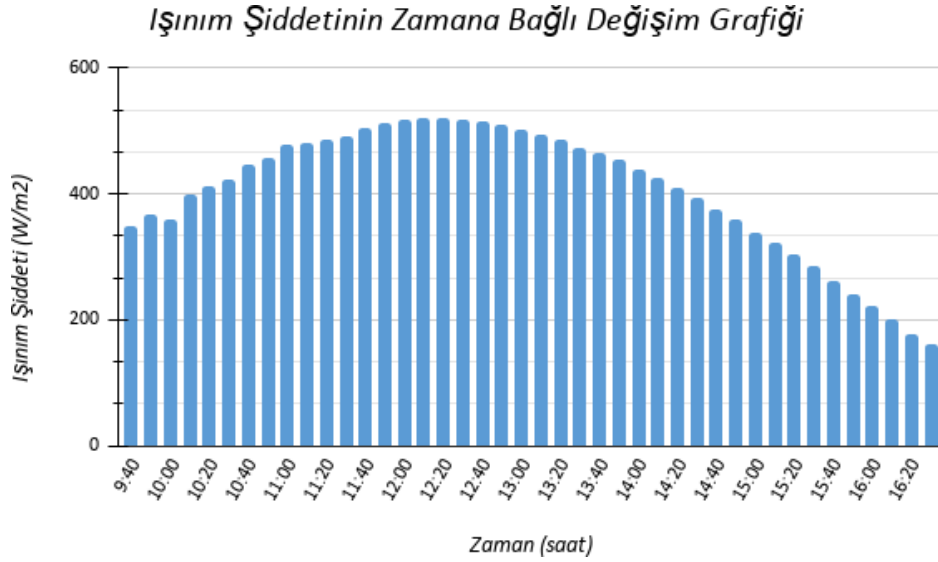
Samsun ilinde aylık ortalama güneşlenme saatleri Türkiye geneli ortalaması altındadır. Temmuz ayında Türkiye ortalama aylık güneşlenme 11 saat 31 dakika iken bu değer Samsun'da 9 saat 41 dakikadır. Yine Türkiye aralık ayı güneşlenme ortalaması 3 saat 73 dakika iken bu değer Samsun için 3 saat 25 dakikadır. Samsun iline ait aylık ortalama güneşlenme saatleri şekil 2.15'de verilmiştir.



Şekil 2.15. Samsun ili aylık ortalama güneşlenme saati

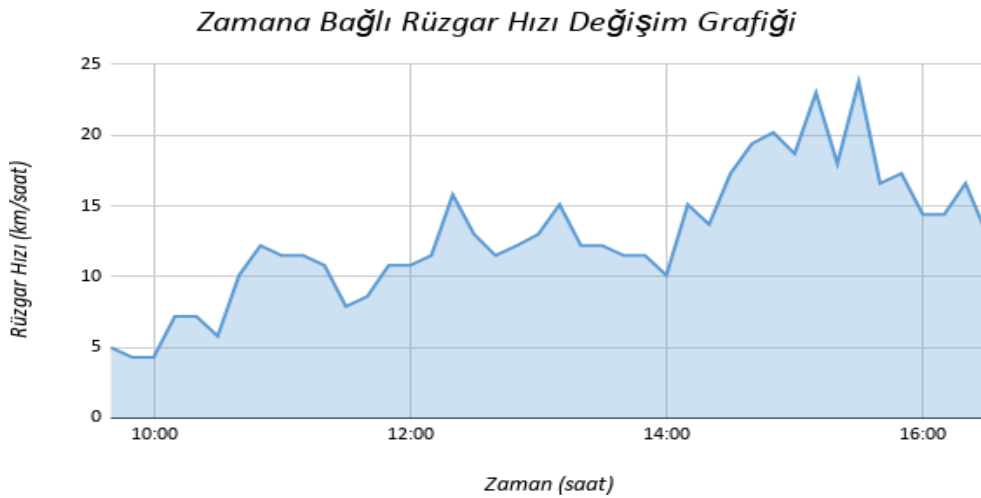
4. DENEYSEL BULGULAR

Sistem üzerindeki tüm sıcaklık ölçümleri UDL100 model veri toplayıcılar ile yapılmıştır. DAL108 yazılımı ile veri toplayıcıdaki ölçümler bilgisayara kaydedildikten sonra grafiksel verilere dönüştürülmüştür.



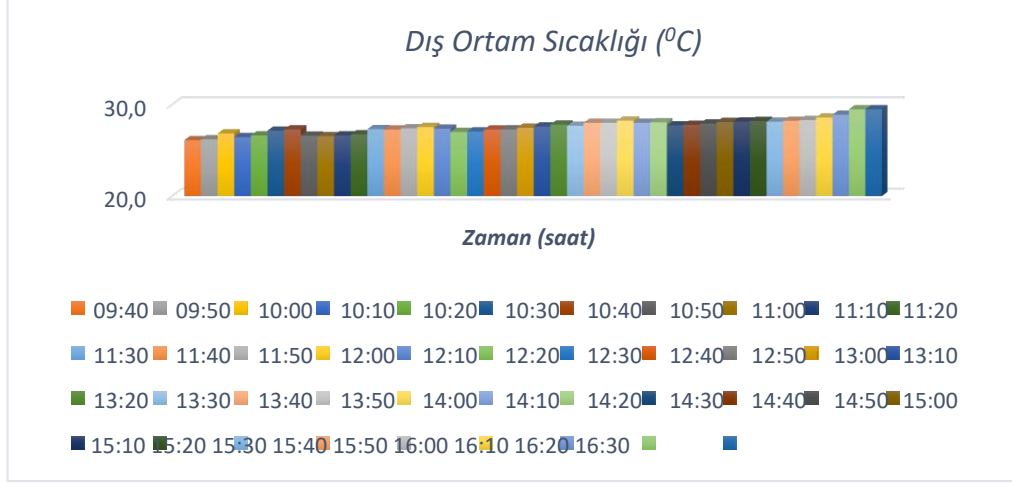
Şekil 4.1. Işınım şiddetinin zamana bağlı değişimi

Samsun ili için zamana bağlı ışınım şiddetini veren grafikte gösterildiği gibi ışınım şiddetinin en yoğun olduğu saatlerin 10 saat 20 dakika ile 14 saat 20 dakika olduğu görülmektedir. Bunun sebebi güneş ışınlarının bu saatler de çalışmanın yapıldığı alana daha dik bir açıyla düşmesi sonucu olmuştur.



Şekil 4.2. Zamana bağlı rüzgar hızı değişim grafiği

Çalışmanın gerçekleştiği ay boyunca rüzgâr hızı sürekli dalgalanmalar gösterdi. Ortalama rüzgâr hızı 3 ila 9 m/s arasında değişirken rüzgârın yönü ise çoğunlukla kuzey ve batı yönünde olmuştur.



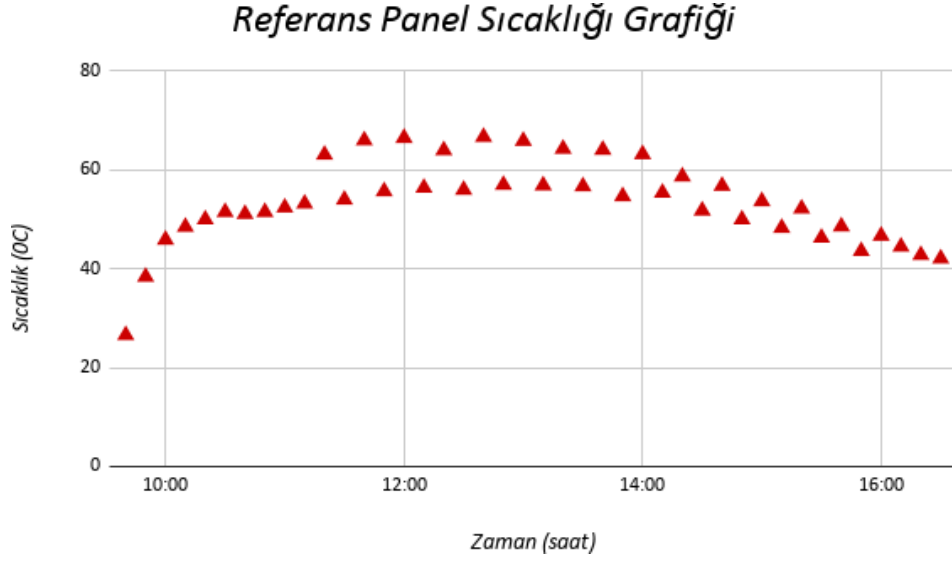
Şekil 4.3. Zamana bağlı dış ortam sıcaklığı

Grafikten anlaşıldığı gibi sabahın ilk saatlerinden itibaren dış ortam sıcaklığı sürekli artmıştır. Panellerin sıcaklıklarında ve güç değerlerinde farklılık meydana gelmesi güneş ışınlarının daha dik gelmesi ve sıcaklığın artmasıdır.

Tablo 4.1. Zamana bağlı ışınım şiddeti, rüzgar hızı ve dış ortam sıcaklığı

Zaman (saat)	Işınım Şiddeti (W/m ²)	Rüzgar Hızı (km/saat)	Dış Ortam (°C)
09:40	350,0	5,0	26,1
10:30	422,4	5,8	27,2
11:30	492,4	7,9	27,3
12:30	516,8	13,0	27,1
13:30	474,2	12,2	27,7
14:30	392,6	17,3	27,7
15:30	284,2	23,8	28,1
16:30	160,4	13,0	29,5

Tablodan anlaşıldığı gibi günün ilk saatlerinden itibaren güneş ışınlarının daha dik bir açıyla gelmeye başlamasıyla ışınım şiddeti ve ortam sıcaklığı paralel olarak artmıştır. Bazı durumlarda ortam sıcaklığı artarken ışımda azalma olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklık ve ışımanın her zaman birlikte artmadığı anlaşılmaktadır. Rüzgar ise ışımadan bağımsız gün içerisinde dalgalanmalar göstermiştir.



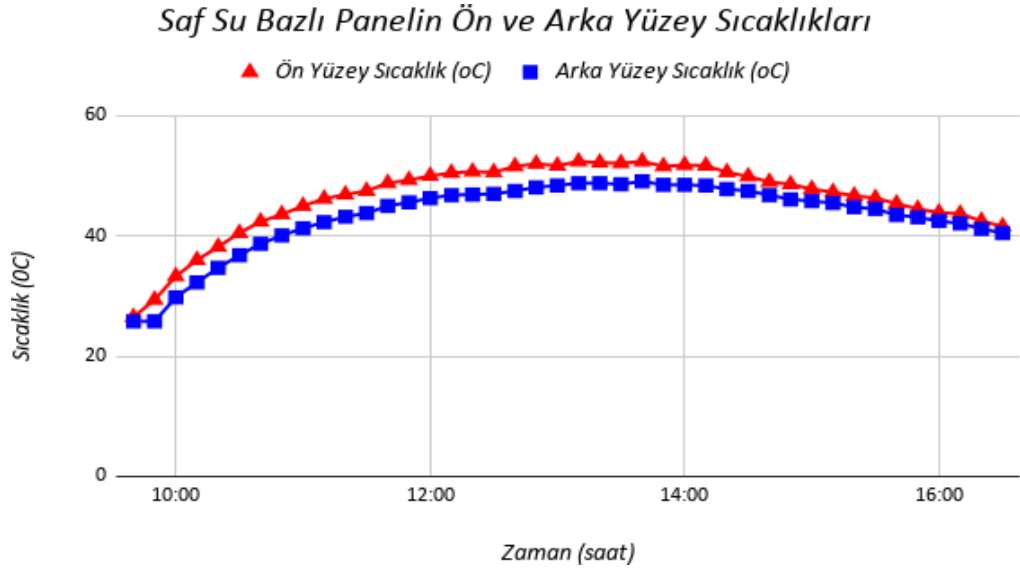
Şekil 4.4. Deneyde kullanılan referans panelin zamana bağlı sıcaklık değişimi

Sabahın ilk saatlerinde güneş yeterince yükselmediğinden sıcaklık değeri düşük ölçülmüştür. Güneşin yükselmesiyle sıcaklık değerinin de arttığı görülmektedir.

Tablo 4.2. Saf su ve etanol bazlı panellerin güç çıkışlarının referans panel ile karşılaştırılması

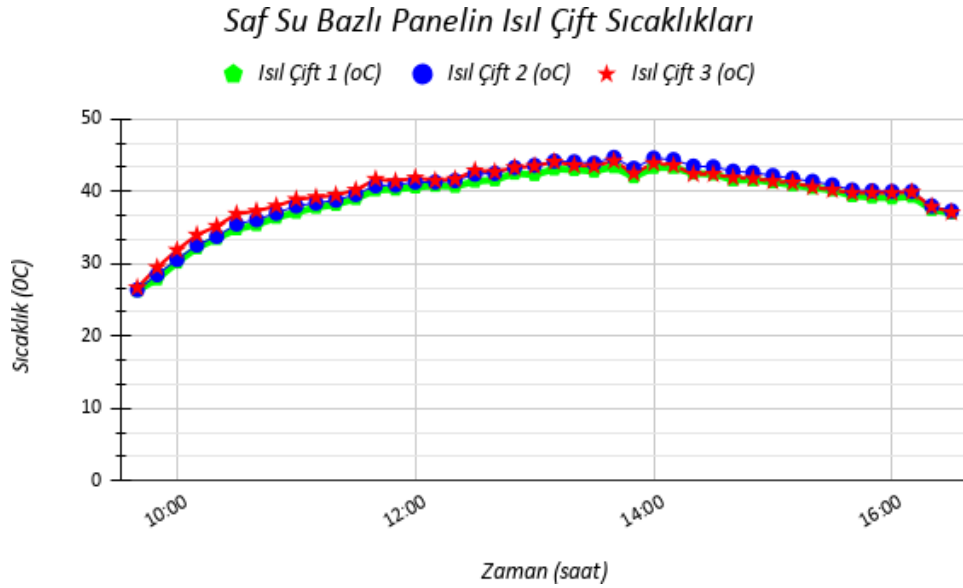
Zaman (saat)	Referans Panel	Saf Su Bazlı Panel	Etanol Bazlı Panel
	P (Watt)	P (Watt)	P (Watt)
09:40	5,80	5,75	5,75
10:30	7,93	7,96	7,95
11:30	9,34	9,37	9,36
12:30	10,55	10,57	10,56
13:30	9,91	9,95	9,94
14:30	8,54	8,52	8,52
15:30	6,32	6,49	6,29
16:30	3,45	3,45	3,45

Tabloda, su ve etanol bazlı panellerin güç çıkışları referans panel ile karşılaştırılmıştır. Işımanın yoğunlaşmasıyla birlikte panellerin güç çıkışlarında artma olduğu görülmektedir. Karşılaştırma yapıldığında saf su bazlı panelin diğerlerine göre veriminin daha yüksek olduğu söylenebilir.



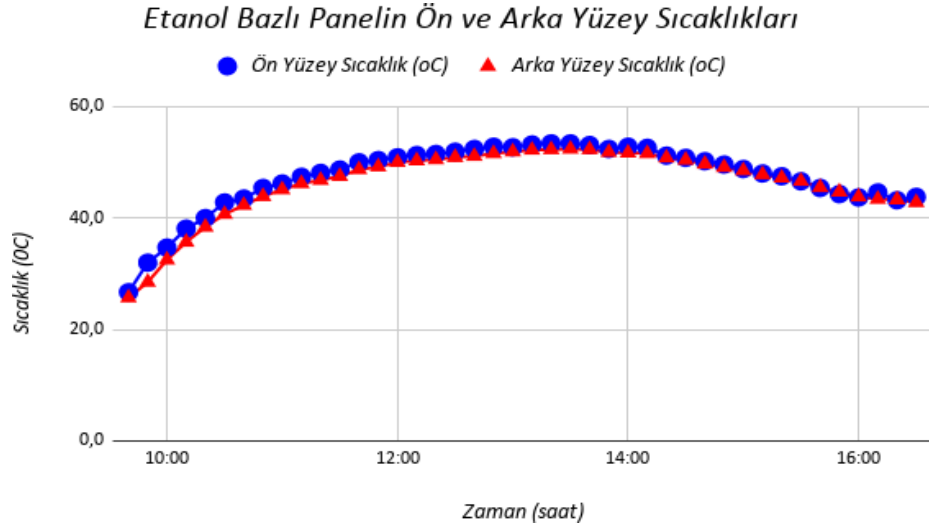
Şekil 4.5. Saf su bazlı panelin ön ve arka yüzey sıcaklıkları

Saf su bazlı panelin ön yüzeyi güneş ışınımına maruz kaldığından grafikte de görüldüğü gibi sıcaklığı, gölgede kalan arka yüzeye göre daha yüksek çıkmıştır.



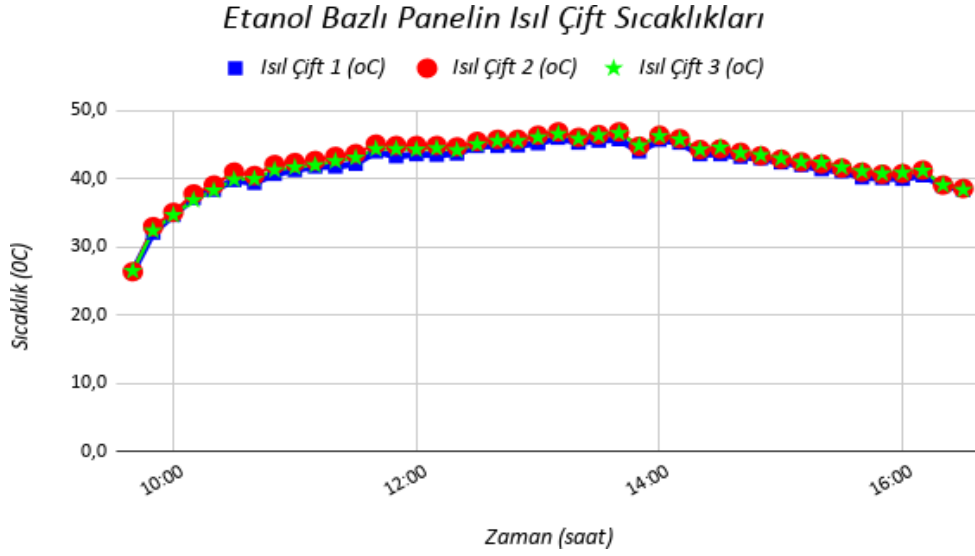
Şekil 4.6. Saf su bazlı panelin ısıl çift sıcaklıkları

Panellerde kullanılan ısıl borularından birinin boyu diğerlerinden daha kısaydı. Grafikten de görüldüğü gibi kısa boylu ısıl borusunun sıcaklığı diğerlerine göre yüksek ölçülmüştür. Sirkülasyon için ısıl borusunun boyu yeteri kadar uzunlukta değildir. Güneş ışınımının azaldığı saatlerde sıcaklıkları aynı düzeye gelmiştir.



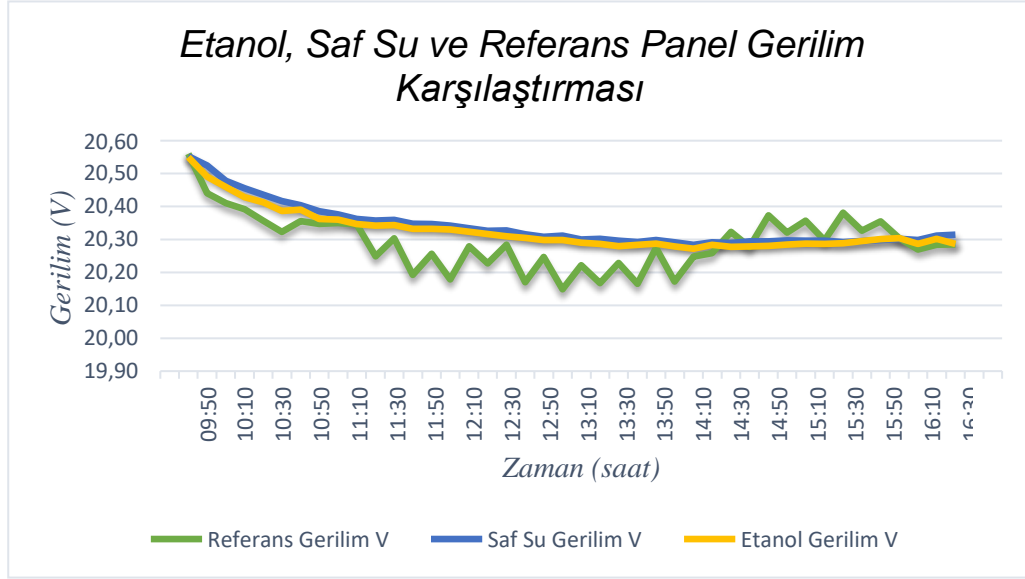
Şekil 4.7. Etanol bazlı panelin zamana bağlı ön ve arka yüzey sıcaklıkları

Grafikte mavi çizgi ile gösterilen ön yüzey sıcaklığı, panelin ön yüzeyinin güneşe maruz kalmasından dolayı arka yüzeye göre daha yüksek değerde ölçülmüştür.



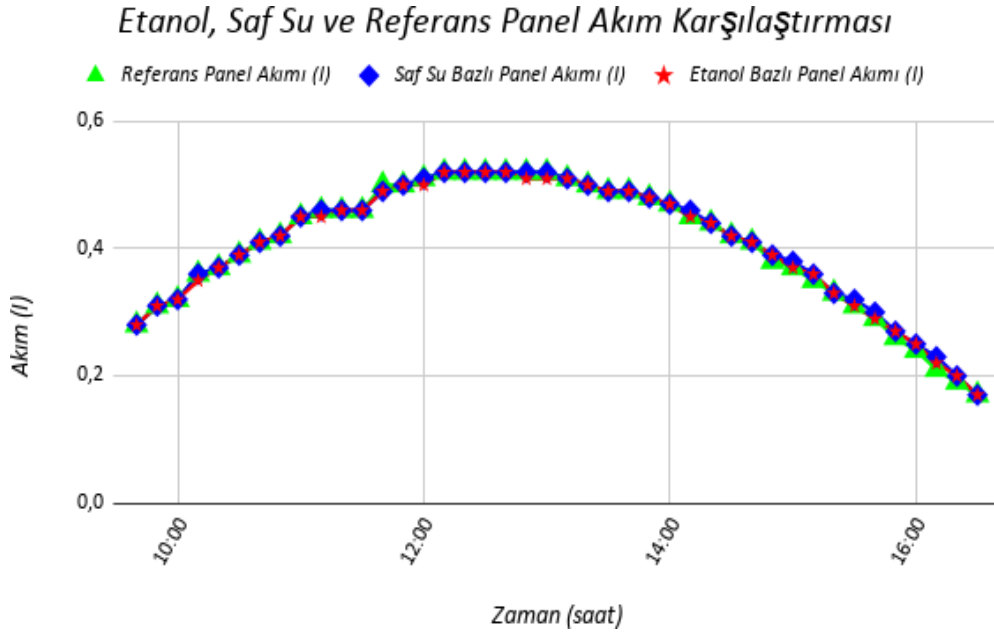
Şekil 4.8. Etanol bazlı panelin zamana bağlı ısıl çift sıcaklıkları

Saf su bazlı panel de olduğu gibi etanol bazlı panelde de aynı şekilde kısa boylu ısı borusunun sıcaklığı kısmen daha yüksek ölçülmüştür



Şekil 4.9. Panellerin gerilim değerlerinin karşılaştırılması

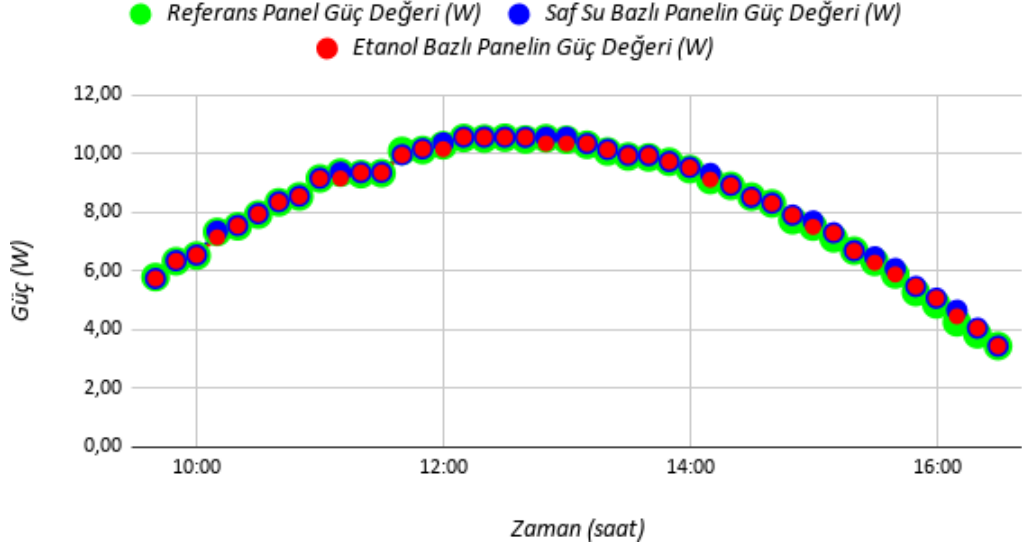
Isı borusu entegre edilmiş panellerin gerilim değerlerinin referans panele göre daha yüksek değerde olduğu grafikten anlaşılmaktadır. Saf su bazlı panelin gerilim değeri etanol ve referans panele göre daha yüksek düzeydedir.



Şekil 4.10. Panellerin akım değerlerinin karşılaştırılması

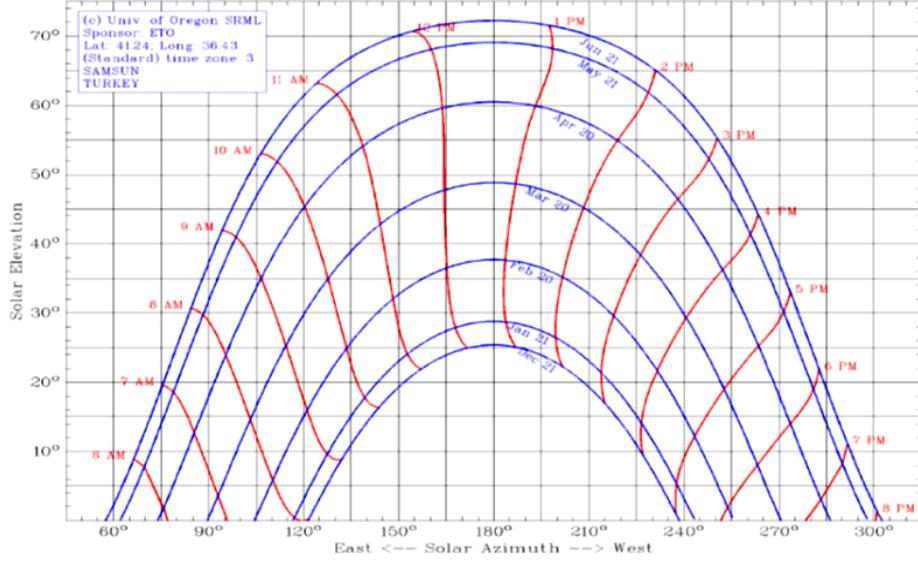
Grafikten anlaşılacağı üzere panellerin akım değerleri arasında kayda değer bir değişme görülmemektedir.

Referans, Saf Su ve Etanol Bazlı Panelin Güç Grafiği



Şekil 4.11. Panellerin zamana bağlı güç çıkışlarının karşılaştırılması

Saf su, etanol ve referans panellerinin güç çıkışları karşılaştırıldığında saf su bazlı panelin güç çıkışı diğerlerine göre nispeten daha yüksek olduğu görülmektedir. Birçok panelin olduğu daha büyük ölçekli ölçümlerde bu oran önemli boyutlara ulaşabilir. Dolayısıyla, ısı borularının panel verimliliğini artırdığı ve çalışma akışkanı olarak seçilen saf suyun daha verimli çalıştığı verilerden anlaşılmaktadır.



Şekil 4.12. Samsun ili için Güneşin yörüngesi ya da Güneş penceresi (Solar window)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Elektrik üretimi esnasında güneş panelleri uzun süre güneş ışınımına maruz kaldığında güneşten gelen enerjiyi absorbe ettiklerinden ısınmaya başlarlar. Bu ısınma sonucunda panellerde artan sıcaklık, panel verimini olumsuz yönde etkileyen parametrelerden biridir. Paneller yoğun ışınım ve düşük sıcaklıkta daha verimli olduğundan sıcaklık enerji üretiminde istenmeyen bir durumdur. Bu çalışmada panellerin sıcaklık seviyelerinde düşüş meydana getirerek daha verimli olmalarını sağlamak için ısı borularının panellere entegre edilme tekniği üzerine bir deney gerçekleştirildi. Panellerin soğutulması amacıyla ısı borularında farklı sıvı akışkanları kullanılarak referans bir kaynak ile karşılaştırıldı. Sıvı akışkanı olarak saf su ve etanol kullanıldı. Panellerin ön ve arka sıcaklıkları karşılaştırıldığında arka kısım güneş ışınlarına maruz kalmadığından sıcaklığı daha düşük gözlemlendi.

Sabahın erken saatlerinde güneş, etkisini tam gösteremediğinden akım, gerilim ve sıcaklık değerlerinde kayda değer bir değişme gözlemlenmedi. Güneş daha dik açıyla geldiğinde parametreler arasındaki fark daha belirginleşmeye başladı. Panelde kullanılan kısa boylu ısı borusunun sıcaklık değeri daha yüksek ölçüldü. Bunun nedeni, uzunluk mesafesinin sirkülasyon için yeteri kadar uzun olmamasıdır. Panellerin akım değerleri birbirine yakın seviyede ölçülürken gerilim değerleri birbirinden biraz daha farklı ölçüldü. Saf su bazlı panelin gerilim değeri etanol ve referans panelin geriliminden daha yüksek düzeyde ölçüldü. Çıkış gücü hesabı yapıldığında saf su bazlı panelin güç çıkışı ortalaması 8.32 W, etanol 8.27 W ve referans panel 8.25 W olarak göre daha yüksek değerde ölçüldü. Gün içerisinde en yüksek verim, saat 12.40'da su bazlı panelden 0.625 m² için %0.84 oranında verim elde edildi. Bu değer 1 m² için hesaplandığında %1.35 olarak elde edilir. Deneyler ılıman iklim koşullarına sahip Samsun ilinde ve sonbahar mevsiminde gerçekleştirilmiştir. Çalışma yaz sıcaklarında ve daha sıcak bölgelerde gerçekleştirildiğinde kuşkusuz daha yüksek verim alınacaktır.

Güneş panellerine ısı boruları entegre edildiğinde sıcaklığın düşmesiyle verimliliklerinde artış olabileceği gösterildi. Bu çalışma alanında özgün bir yapıya sahip olup daha önce denenmeyen bir teknik ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızın FV panellerin verimini artırma çalışmalarına katkı sağlaması, akademik çalışmalar gerçekleştirenlere ilham kaynağı olmasını diliyoruz.

6. KAYNAKLAR

A.Nuntaphan ve T. Kiatsiriroat, "Enhancement of heat transport in thermosyphon air preheater at high temperature with binary working fluid: A case study of TEG-water", *Journal of Applied Science*, 22/3, 2002, ss. 251-266.

A.Shafieian, M. Khiadani ve A. Nosrati, "A review of latest developments, progress, and applications of heat pipe solar collectors" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 95, ss. 273-304.

Agaçbiçer Gökhan, *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ekonomisine Katkısı ve Yapılan Swot Analizler*, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale 2010.

Ali Uyarel ve Etem Öz, *Güneş enerjisi ve uygulamaları*, Emel Matbaacılık Sanayii, Ankara 1987.

Alt Nuri, *Tek Kanallı Isı Borusu Ile Çok Kanallı Isı Borusu Verimlerinin Karşılaştırılması*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Karabük 2010.

Anonim (2020). *Güneşin Yapısı*. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Güneş> (Erişim Tarihi: 15.09.2020)

Anonim (2019). *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrojen-Enerjisi>. (Erişim Tarihi: 06.07.2020)

Arash Shafieian, M. Khiadani ve A. Nosrati, "Strategies to improve the thermal performance of heat pipe solar collectors in solar systems: A review", *Energy Conversion and Management*, 183, 2019, ss. 307-331.

Arslan, G., *Üç Kolonlu Titreşimli Isı Borusunun Matematiksel Modellenmesi ve Deneysel İncelenmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2007.

Arslan, Gürdal, *Üç Kolonlu Titreşimli Isı Borusunun Matematiksel Modellenmesi ve Deneysel İncelenmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2007.

Azad, E. ve Geoola F., (1984). A design procedure for gravity-assisted heat pipe heat exchanger. *Heat Recovery Systems*, 4(2), 101-111.

Beşe, U., *Baca Gazları İçin Isı Borusu Tasarımı ve Optimizasyonu*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İzmir 1988.

Calameo, (2018). *Heat Pipe Principle and Applications*. Son Erişim Tarihi: 13 Eylül 2020.

Çakır Merve, "Alümina İçeren Naoakışkan Kullanılarak Isı Borularının Performanslarının İyileştirilmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 30/4, 2015, ss. 547- 556.

Çengel Yunus, "Dünyada ve Türkiye’de Jeotermal, Rüzgar ve Diğer Yenilenebilir Enerjilerin Kullanımı", *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, Kayseri, 12-13 Ekim 2001, ss. 1-12.

Guarnieri, Massimo, "More Light on Information", *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 9/4, 2015, ss. 58–61.

Güler, Ö. "Wind energy status in electrical energy production of Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2009, ss. 473-478.

Hasan Alizadeh, R. Ghasempour, M.B. Shafii, M.H. Ahmadi, Wei-Mon Yan, M.A. Nazari, "Numerical simulation of PV cooling by using single turn pulsating heat pipe; International Journal of Heat and Mass Transfer", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 127, 2018, ss. 203-208.

Hussain Al-Kayiem vd., "Experimental analysis on Thermal Efficiency of Evacuated Tube Solar Collector by Using Nanofluids", *International Journal of Sustainable and Green Energy*, 4/3, 2014, ss. 19-28.

Hüseyin Ö. (2012). *Güneş Enerjisi ve uygulamaları*. İstanbul. Birsen yayınevi.

M. Tırıs, vd. (1997). *Güneş enerjili su ısıtma sistemleri*, Kocaeli: TÜBİTAK- Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü.

Mahmooh, S. L. ve Akhanda A.R. (2008). Experimental Study on The Performance Limitation of Micro Heat Pipes of Non-Circular Crosssections. *Thermal Science Journal*, 12, 91-102.

Mahmutoğlu M., *Türkiye'de Elektrik Sektöründe Yenilenebilir Enerjinin Rolü*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi., Ankara 2013.

Nuntaphan Atipoang, "Enhancement of heat transport in thermosyphon air preheater at high temperature with binary working fluid: A case study of TEG-water", *Research Gate Dergisi*, 22/3, 2002, ss. 251-266.

Özsoy Adnan, *Isıtma Sistemlerinden Isı Geri Kazanımında Isı Boruların Uygulanabilirliği, Ekserji ve Ekonomik Analizi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmış Doktora Tezi, Isparta 2005.

Özsoy, A. ve Acar M. (2005). Yerçekimi Destekli Bakır-Su Isı Borusu İçin Deneysel Bir Çalışma. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 90, 13-18.

Payakaruk, T., Terdtoon, P., ve Ritthidech., "Correlations to Predict Heat Transfer Characteristics of an Inclined Closed Two-Phase Thermosyphon at Normal Operating conditions", *Journal of Applied Thermal Engineering*, 20/9, 2000, ss.781-790.

Pronen (2015) <http://www.pronen.com/fotovoltaik-sistemler.asp> (Erişim tarihi: 05.08.2020)

Putra Nandy vd., "Natural Convection of Nano-Fluids", *Heat and Mass Transfer Dergisi*, 39, 2003, ss. 775-784.

Reay D. ve K. Peter (2006). *Heat pipes: theory, desing and aplications*. Amerika Birleşik Devletleri: Oxford.

S.Sargunanathan, A. Elango ve S.T. Mohideen, "Performance enhancement of solar photovoltaic cells using effective cooling methods: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, ss. 382-393.

Said, S. ve Akash B. (1999). Experimental performance of a heat pipe. *International communications in heat and mass transfer*, 26(5), 679-684.

Said, S.A. ve Akash, B.A., 1999. Experimental performance of a heat pipe. *Internal Comm. Journal of Heat Mass Transfer*, 26(5), 679-684.

Salem, S. A. ve Akash, B.A. (1999). Experimental Performance of a Heat Pipe. *Int. Comm. Journal of Heat Mass Transfer*, 26(5), 679-684.

Sathiyathan Sargunanathan, A. Elango ve S.T. Mohideen, "Performance enhancement of solar photovoltaic cells using effective cooling methods: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews Dergisi*, 64, 2016, ss. 382-393.

Senthilkumar Rathinasamy vd., "Performance Analysis of Heat Pipe Using Copper Nanofluid with Aqueous Solution of n-Butanol", *Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing*, 5/2, 2011, ss. 475-480.

Şenol Ü. (2017). *Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Yapay Sınır Ağları Yöntemiyle Tahmini*. Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Yozgat.

Şimşak, O., *Isı Geri Kazanım Amaçlı Isı Borusu Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Karabük 2009.

Tsai, T.H., Chien H.T. ve Chen P.H. (2011). "Improvement on Thermal Performance of a Disk-Shaped Miniature Heat Pipe with Nanofluid". *Nanoscale Research Letters*, 6(590).

Tripathi A., Aruna, M. ve Murthy, C. (2017). Output power loss of Photovoltaic panel due to dust and temperature. *International Journal of Renewable Energy Research*. 7(1), 439-442.

Ürün, E., Çay, Y. ve Kurt, H, (2011). *Isı Borulu Isı Geri Kazanım Sistem Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi*, 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ.

Xiong, D., Azar, K, ve B. Tavassoli (2006, Mart). "Experimental study on a hybrid liquid/air cooling system". *In Twenty-Second Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement And Management Symposium*, Dallas, ABD.

Yıldırım, H., *Yer Çekimi Destekli Isı Borularında Fitol Kullanımının Çalışma Performansına Etkisi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Isparta 2009.

Yıldırım, R., Yıldız, A., ve Özsoy, A. (2018). "Influence of Fluid Charge Rate on Gravity Assisted Heat Pipe Performance at Low Temperatures". *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi (MAKUUBD)*, 2(2), 52-67.

ÖZ GEÇMİŞ

Fotoğraf

Gaziza Datkayeva, 04.06.1994 tarihinde Kazakistan'da doğdu. Saken Seifullin ilkokulunu bitirdikten sonra L. N. Gumilev Avrasya Milli Üniversitesi Fen Fakültesi'nden 2016 yılında mezun oldu. 2017 yılında OMÜ Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Yüksek Lisans programına girdi. Kazakça- anadili, Türkçe, Rusça ve İngilizce iyi derecede bilmektedir. Temel ilgi alanları, sanat ve bilim (19.11.2020).

İletişim Bilgileri

E mail : 2018gaziza@gmail.com

Telefon : 0552 273 79 94

ORCID ID: 0000-0001-7733-0057

Yayınlanmış Çalışmalar:

1. Engin, Ö. ve Gaziza, D. 2020. Evaluation of the Effect of Heat Pipe as Passive Cooler on the Photovoltaic Panel. 12th International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education (ICoSReSSE), 10-13 December, Web semineri, Samsun, Türkiye.
2. Engin, Ö. ve Gaziza, D. 2020. Experimental Investigation of the Effect of Gravity Assisted Heat Pipe on Photovoltaic Panel as Passive Cooler. Journal of Current Research on Engineering, Science and Technology (JoCREST), Volume: 6 (2020), 2651-2521.

Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar

1. Ali Kuşçu Bilim ve Teknoloji Bur Programı, Türkiye Bursları;
2. Erasmus+ Programı, Staj yeri; Düsseldorf Üniversitesi, Almanya.