

**FOTOVOLTAİK DESTEKLİ ISI POMPASI
ÜNİTESİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ**

Alperen ZENGİN

**Yüksek Lisans Tezi
Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Prof. Dr. Fatih SEVİM
Doç. Dr. Ahmet Numan ÖZAKIN
2023**

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK DESTEKLİ ISI POMPASI ÜNİTESİNİN TERMODİNAMİK
ANALİZİ**
THERMODYNAMIC ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC ASSISTED HEAT PUMP UNIT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alperen ZENGİN

Danışman: Prof. Dr. Fatih SEVİM
Doç. Dr. Ahmet Numan ÖZAKIN

Erzurum
Ağustos, 2023

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Alperen ZENGİN tarafından hazırlanan “FOTOVOLTAİK DESTEKLİ ISI POMPASI ÜNİTESİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ” başlıklı çalışması .. / .. / 20.. tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Taner TEKİN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	
Danışman:	Prof. Dr. Fatih SEVİM <i>Atatürk Üniversitesi</i>	
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Faruk YEŞİLDAL <i>Atatürk Üniversitesi</i>	
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Özlem TUNÇ DEDE <i>Giresun Üniversitesi</i>	
İkinci Tez Danışmanı	Doç. Dr. Ahmet Numan ÖZAKIN <i>Üniversite Adı</i>	

Enstitü Yönetim Kurulunun
.../.../.... tarih ve sayılı
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak *Prof. Dr. Fatih SEVİM* danışmanlığında sunulan “FOTOVOLTAİK DESTEKLİ ISI POMPASI ÜNİTESİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	1	30
Kuramsal Temeller	3	30
Materyal ve Yöntem	7	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	9	20
Sonuç ve Öneriler	0	20
Tezin Geneli	9	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Alperen ZENGİN	Prof. Dr. Fatih SEVİM
9.8.2023	9.8.2023
İmza:	İmza:

* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve bu tez çalışmamda beni her konuda yönlendiren özellikle deneysel çalışmalarım sırasında ilgisini ve desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Fatih SEVİM 'e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım. Ayrıca ikinci tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ahmet Numan ÖZAKIN 'a ve Sayın Doç. Dr. Faruk YEŞİLDAL'a çalışmama sunduğu değerli katkılarından dolayı teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen ATA-TEKNOKENT Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Prof. Dr. Ayhan ÇELİK 'e, Yönetim Kurulu Üyelerine ve Dr. Musa DEMİR 'e,

Değerli dostlarım Sayın Av. Sefa ÇOMAKLI, Murat KÜÇÜK ve Kamil AKBAŞ 'a,

Son olarak hayatım boyunca her an yanımda olan ve bana çalışma azmi kazandıran Annem Mina ZENGİN, Babam Niyazi ZENGİN ve kız kardeşim Zeynep Aybüke ZENGİN 'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK DESTEKLİ ISI POMPASI ÜNİTESİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Alperen ZENGİN

Danışman: Prof. Dr. Fatih SEVİM

İkinci Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet Numan ÖZAKIN

Amaç: Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları arasında oldukça güncel bir konu olan güneş enerjisinde, fotovoltaik sistemlerin en temel problemi olan hücre sıcaklığı yükselişi ile ortaya çıkan verim düşüklüğünün önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: Çalışmada fotovoltaik panelin arka kısmına endüstriyel bir evaporatörün direkt teması sağlanmıştır. Bu evaporatör kapalı çevrim ile R-134a soğutucu akışkanını çalıştıran bir ısı pompası sistemi ile çevrimi tamamlamaktadır. Ayrıca yapılan deneylerde Yüzey Yanıt Yöntemi kullanılarak parametrelerin optimizasyonu ile hangi parametrenin ısı pompasının etkinlik katsayısı üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda 100 W gücünde bir fotovoltaik panelin arka kısmına ısı pompası ünitesinin evaporatörü bütünleştirilmiştir.

Bulgular: Çalışma sonuçlarına göre; fotovoltaik sistem 25°C hücre sıcaklığında iken fotovoltaik sistemin elektriksel verimi maksimum seviyededir. İlgili sıcaklıkta elektriksel verim 1000 W/m² ışıyım yoğunluğunda yaklaşık olarak %13 ölçülmüştür. Sıcaklığın yükselmesi ile fotovoltaik hücrelerdeki kararsızlıklar sebebiyle elektriksel verimde literatüre uygun olarak düşüş gözlemlenmiştir. Hücre sıcaklığının 25°C'den yükselerek yaklaşık 34°C'ye gelmesi ile elektriksel verimde doğrusal ve hızlı bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum fotovoltaik hücrelerin verimli çalışma sıcaklıklarının 25°C ve daha düşük sıcaklıklar olduğunu ortaya koymaktadır. 33°C ve daha yüksek hücre sıcaklıklarında nispeten daha düşük elektriksel verim düşüşü gözlemlenmiştir. Ancak sürekli çalışma şartları altında elektriksel verim düşüşü ciddi boyutlara ulaşmaktadır. 1000 W/m² ışıyım yoğunluğunda fotovoltaik hücrelerin deneysel olarak elektriksel verim düşüşü %13 civarından %8 civarına gelmektedir. Bu da yaklaşık olarak %38'lik bir elektriksel verim düşüşü anlamına gelmektedir.

Sonuç: Çalışma kapsamında yapılan deneylerde kullanılan farklı parametreler içerisinde en yüksek etkiye sahip olan parametrenin kılcal boru uzunluğu olduğu belirlenmiştir. Kılcal boru uzunluğunun 2 metre olduğu durumda en yüksek COP katsayıları elde edilmiştir. Kılcal boru uzunluğunun yanı sıra sırasıyla kondenser debisi ve ışıyım şiddetinin COP katsayısı üzerinde etkilere sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, Isı pompası, Etkinlik katsayısı, Soğutucu akışkan.

Ağustos 2023, 61 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC ASSISTED HEAT PUMP UNIT

Alperen ZENGİN

Supervisor: Prof. Dr. Fatih SEVİM

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Numan ÖZAKIN

Aim: In this study, it is aimed to prevent the decrease in efficiency caused by the increase in cell temperature, which is the most fundamental problem of photovoltaic systems, in solar energy, which is a very current issue among renewable energy sources.

Method: In the study, direct contact of an industrial evaporator was provided to the back of the photovoltaic panel. This evaporator completes the cycle with a heat pump system running R-134a refrigerant in a closed cycle. In addition, by optimizing the parameters using the Surface Response Method in the experiments, it was determined which parameter was more effective on the efficiency coefficient of the heat pump. For this purpose, the evaporator of the heat pump unit is integrated into the back of a 100 W photovoltaic panel.

Results: According to the results of the study; While the photovoltaic system is at a cell temperature of 25°C, the electrical efficiency of the photovoltaic system is at its maximum level. The electrical efficiency at the relevant temperature was measured as approximately 13% at a radiation intensity of 1000 W/m². In accordance with the literature, a decrease was observed in the electrical efficiency due to the instabilities in the photovoltaic cells with the increase in temperature. A linear and rapid decrease in electrical efficiency was observed as the cell temperature rose from 25°C to about 34°C. This situation reveals that the efficient operating temperatures of photovoltaic cells are 25°C and lower. Relatively lower electrical efficiency drops were observed at 33°C and higher cell temperatures. However, under continuous operating conditions, the decrease in electrical efficiency reaches serious dimensions. Experimentally, the electrical efficiency decrease of photovoltaic cells at a radiation intensity of 1000 W/m² comes from around 13% to around 8%. This means an electrical efficiency decrease of approximately 38%.

Conclusion: It was determined that the parameter with the highest effect among the different parameters used in the experiments conducted within the scope of the study was the capillary tube length. The highest COP coefficients were obtained when the capillary tube length was 2 meters. In addition to the capillary tube length, it was determined that the condenser flow rate and radiation intensity had effects on the COP coefficient, respectively.

Keywords: Photovoltaic, Heat pump, Performance coefficient, Refrigerant.

August 2023, 61 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	8
Güneş Enerjisi	8
Soğutucu Akışkanlar	11
Fotovoltaik Termal Sistemler.....	15
MATERYAL VE METOT.....	23
Deney Düzenegi	23
Debimetre (LZS-15).....	24
Kompresör.....	24
Kondenser	25
Genleşme elemanı	25
Drier (Kurutucu).....	26
Basınç ölçüm saati.....	26
Soğutucu akışkan	27
Hassas terazi.....	27
Veri kaydedici	27
Voltaj regülatörü	28
Projektörler.....	29
Yüzey Yanıt Yöntemi	29
Termodinamik altyapı	30
Kütlenin korunumu (Süreklilik).....	31
Enerjinin korunumu	31
Isı pompası çevrimlerinde performans katsayısı.....	32
ARAŞTIRMA BULGULARI	33

Elektriksel Verim Deneyleri	33
Soğutma sisteminde gaz miktarı tayini	33
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	51

TABLÖLAR DİZİNİ

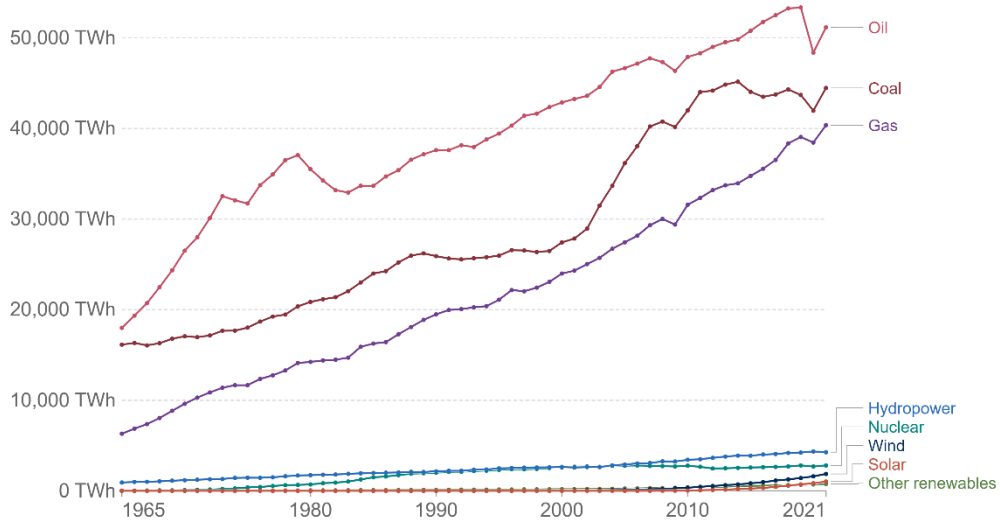
Tablo 1. Bazı Akışkanların ODP ve GWP Potansiyelleri	13
Tablo 2. Karışım Haldeki Bazı HFC Tipi Soğutucu Akışkanların Bileşimi	14
Tablo 3. PV/T Sistem Deneysel ve Simülasyon Karşılaştırması	17
Tablo 4. Soğutma Yapıldığında ve Yapılmadığı Elde Edilen Verimler	20
Tablo 5. PV/T Sistemlerle Alakalı Yapılan Çalışmaların Kısa Özeti	21
Tablo 6. Veri Kaydedici Teknik Özellikleri	28
Tablo 7. Soğutucu Akışkan Miktarı Tayini Deneyleri.....	34
Tablo 8. Design Summary Design Summary	34
Tablo 9. Point Types Two-level Factorial: Full factorial Point Types	35
Tablo 10. ANOVA Response Surface Regression	35
Tablo 11. Model Özeti Model Summary	36
Tablo 12. Kodlanmış Katsayılar	37
Tablo 13. Kodlanmamış Regression Denklemi	38
Tablo 14. Olağandışı Gözlemler İçin Uygun Ve Teşhis Fits and Diagnostics for Unusual Observations	38
Tablo 15. Optimizasyon Response Optimization: COP Parameters.....	40
Tablo 16. Solution.....	41
Tablo 17. Çoklu Yanıt Tahmini Multiple Response Prediction	42

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Dünyada kaynaklara göre enerji tüketim dağılımları.....	1
Şekil 2. Fosil yakıtlara olan talebin zirve yaptığı veya yapacağı yıl ve noktalar.....	2
Şekil 3. Elektron boşluğunun oluşması.....	3
Şekil 4. Saf silisyum kristali.....	4
Şekil 5. Fotovoltaik panel.....	5
Şekil 6. PV/T sistemlerin genel hali.....	6
Şekil 7. Detaylı güneş spektrumu	8
Şekil 8. Spektrumun sınıflandırılması.....	9
Şekil 9. Dünya PV güç potansiyeli	10
Şekil 10. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası	10
Şekil 11. Erzurum PV sistem güç üretim potansiyeli	11
Şekil 12. Bazı HFC sınıfı soğutucu akışkanların sınıflandırılması	14
Şekil 13. Deney sisteminin genel görüntüsü	23
Şekil 14. Deney düzeneği şematik görüntüsü	24
Şekil 15. Lzs-15 debi ölçer.....	24
Şekil 16. Deneylerde kullanılan kompresör	25
Şekil 17. Deneylerde kullanılan kondenser.....	25
Şekil 18. Deney sisteminde genleşme elemanı olarak kullanılan kılcal boru	26
Şekil 19. Kurutucu	26
Şekil 20. Basınç ölçüm elemanı	26
Şekil 21. R134-a Soğutucu akışkan.....	27
Şekil 22. Hassas terazi.....	27
Şekil 23. Veri kaydedici	28
Şekil 24. Voltaj regülatörü	28
Şekil 25. Projektör.....	29
Şekil 26. Merkezi Birleşik Tasarımın grafiksel gösterimi	29
Şekil 27. Tasarım tablosu	30
Şekil 28. Fotovoltaik panelin 1000 w/m ² ışıнімda elektriksel verim hücre sıcaklığı eğrisi. ..	33
Şekil 29. Kübik sistemde noktaların gösterimi	34
Şekil 30. Pareto Grafiğı.....	39
Şekil 31. COP için kalıntı grafikleri.....	39
Şekil 32. Yanıt Grafiğı	42

GİRİŞ

Günümüzde enerjiye duyulan ihtiyaç bir hayli artmıştır. Hızlı nüfus artışı, sürekli gelişen teknoloji, sanayileşmenin hızlanması, konfor ihtiyacı gibi faktörler sebebiyle enerji ihtiyacını gün geçtikçe artırmaktadır. Gelecek yıllarda dünya ekonomisinin %3,5 büyümesi beklenmektedir (1). Bu büyüme rakamlarıyla enerjiye olan arz daha çok artacaktır. Bu enerji ihtiyacını karşılamak için çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Şu an dünyada en çok kullanılan yöntemler kömür ve doğalgaz ile enerji üretimidir. Fosil yakıtlar günümüzde yaygın olarak enerji üretimde kullanılmaktadır. Bu hidrokarbon yakıtları en çok kullanan bölgelerin başında Asya, Kuzey Amerika ve Avrupa gelmektedir. Özellikle Asya kıtasında bulunan yoğun nüfus nedeniyle dünya üzerindeki üretilen enerjinin yarısı burada kullanılmaktadır (2). Bu da fosil yakıt tüketiminde Asya kıtasının öncü olduğu sonucuna varılmaktadır. Fosil yakıtların ve yenilenebilir enerji kaynaklarının dağılımı Şekil 1’de verilmiştir.



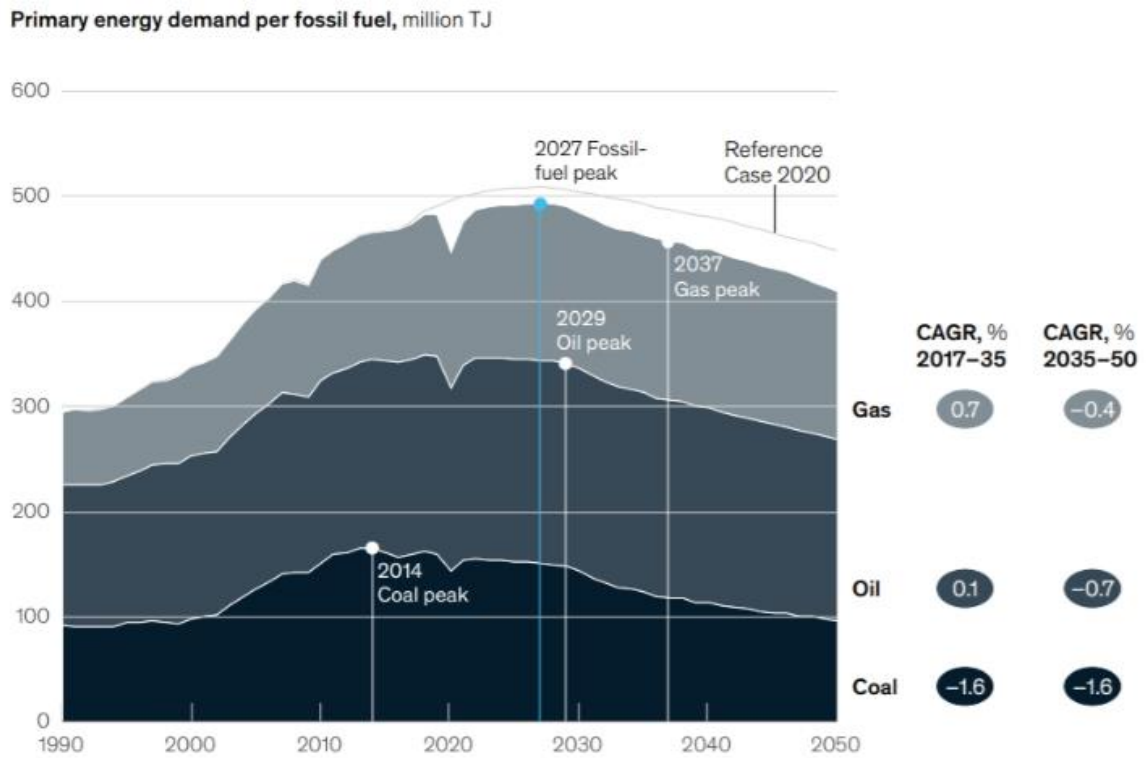
Şekil 1. Dünyada kaynaklara göre enerji tüketim dağılımları (2)

Enerji üretimindeki güç çıktılarının fazla olması sebebiyle fosil yakıtlar günümüzde en çok kullanılan yakıt tipidir. Bu yakıt tipinin ne yazık ki özellikle çevreye olumsuz birçok etkisi bulunmaktadır. Bu olumsuzlukların en önemlisi ozon tabakasına verdiği zarardır. Hidrokarbon yakıtlar kullanıldıklarında çevreye karbondioksit (CO_2), azot protoksit (N_2O) gibi sera gazları açığa çıkar.

Bu sera gazları ozon tabakasının incelmesine ve genel olarak dünya sıcaklığının artmasına neden olur. Bu artışın nedeni ise şudur; dünya güneşten direkt gelen ışınlarla ısınmaz, atmosferde bulunan karbondioksit, metan gazı, su buharı gibi gazlar dünyadan yansıyan güneş

ışınlarını tutar. Bu sayede dünya genelinde ısınma meydana gelir. Atmosferdeki bu gazların artışı dünyanın daha fazla ısınmasına yol açar ve günümüzde kullanılan yaygın adıyla ‘küresel ısınma’ meydana gelir. Küresel ısınma açısından düşünüldüğünde sera gazlarının azaltmanın en kolay yolunun fosil yakıt tüketiminin azaltılarak yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş olduğu ortaya çıkmaktadır.

Fosil yakıtların çevreye olan zararından çok daha farklı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlardan biri, fosil yakıtların tükenebilir olmasıdır. Fosil yakıtlar, toprak altında havasız ortamda bulunan canlı kalıntılarının fosilleşmesiyle oluşur. Tüketimin artmasıyla ters orantılı olarak hidrokarbon kaynaklar azalacaktır. Dolayısıyla farklı enerji üretim yöntemlerini araştırmak kaçınılmazdır. Bu fosil yakıtlara alternatif olarak, yenilenebilir enerji kaynakları önerilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları çevreye hiçbir atık bırakmadan enerji üretimi vadeder. Aynı zamanda asla tükenmeyecek kaynaklar oldukları için tercih sebebidir. Fosil yakıtlı sistemlerden tek dezavantajı, bu sistemler kadar güç çıktısı elde edilememesidir ve ilk yatırım maliyetleri yüksektir.



Şekil 2. Fosil yakıtlara olan talebin zirve yaptığı veya yapacağı yıl ve noktalar (3)

2021 yılında yayınlanan bir rapora göre, rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinin fosil yakıt tesislerinin yatırım maliyetinden daha ucuza kurulacağı öngörülmüştür. Bu sebeple yaklaşık 10 yıl içinde yenilenebilir enerji sektöründe ciddi artışlar meydana gelecektir. Yine aynı raporda 2035 yılına kadar dünya enerji üretiminin yarısının yenilenebilir enerjiden oluşacağı belirtilmiştir. Şekil 2’ de çalışmadan alınan bir görsel bulunmaktadır. Bu görselde 2014 yılında

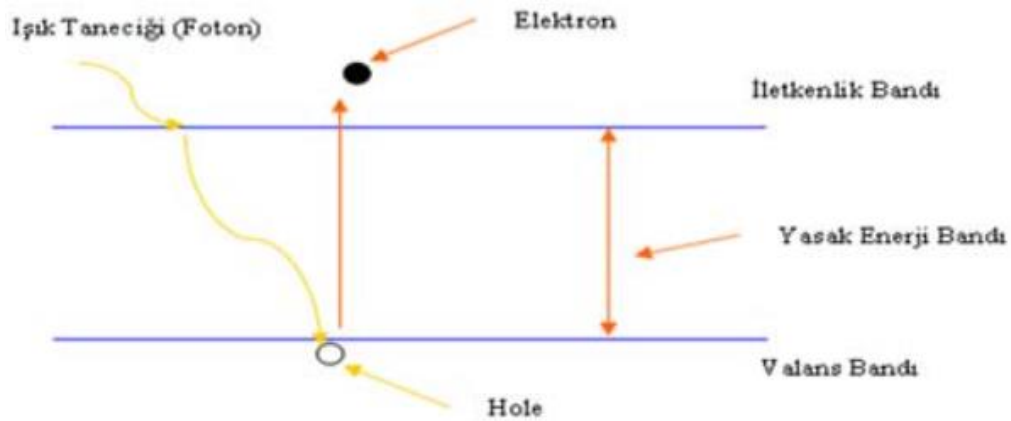
kömüre olan talep maksimum seviyeye ulaşmıştır. Raporda petrole 2029, doğalgaza 2037 yılında talebin zirve yapacağı öngörülmüştür. Yenilenebilir enerjiye olan yatırımlar son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Özellikle Çin bu yatırımcıların başında gelmektedir.

Dünya genelinde özellikle güneşten enerji elde etmek çok popüler konumdadır. Bu kadar popüler olmasının başlıca sebepleri şunlardır;

- Dünya genelinde güneşe ulaşılacak her vakit de sürekli kullanım imkânı,
- Elektrik enerjisinin olmadığı bölgelerde kullanıma elverişli olması,
- Çalışma zamanlarında çevreye herhangi bir atık bırakmaması,
- Hem elektriksel hem de ısı olarak yararlanılabilmesi

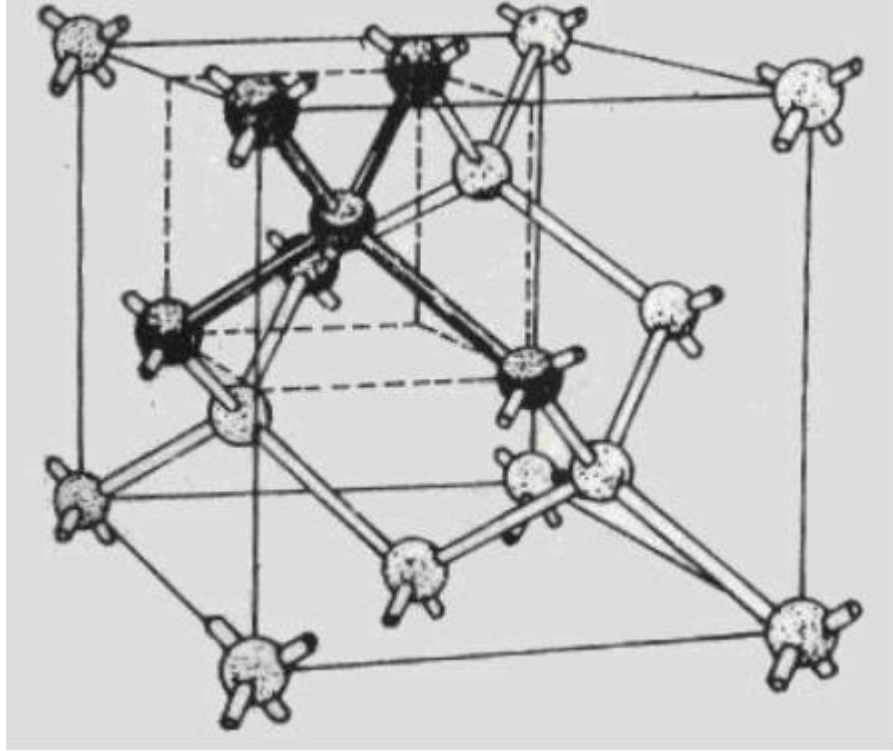
gibi sebeplerden ötürü güneş en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Fakat, özellikle ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, üretilen çıkış gücünün fosil yakıt sistemlerine göre düşük kalması bu sistemlerin dezavantajları arasındadır. Güneşten enerji elde etmek için PV sistemler kurulmalıdır. Fotovoltaik sistemler aracılığıyla güneşten alınan ışınlar elektrik enerjisine dönüştürülür ve kullanıma sunulur.

Fotovoltaik sistemler basitçe güneşten aldığı ışınları elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken, silisyum içerikli yapılardır. Bu yapılar P-N olarak adlandırılan eklemlerden oluşur. Foton bu yarıiletken madde üzerine düştüğünde enerjisini elektronlara aktarır. Bu olayla elektronun enerjisi artar ve başka bir kademeye geçmeye çalışır. Şekil 3’de de belirtildiği gibi yüksek bir foton enerjisi bulunuyorsa yasak enerji bandı olarak adlandırılan bant aşılır. Eğer yeteri kadar yoğun ışınım yoksa bu bat aşılamaz ve üretim için gerekli şart sağlanmaz. Böylece geride pozitif(+) bir yük kalacaktır. Bu yük boşluk olarak adlandırılır. İletkenlik bandına ulaşan elektron saniyenin milyonda bin gibi bir kısa sürede eski konumuna dönüp fazla enerjisini ısı olarak geri bırakır. Bu ısı aslında tezin konusunun temelidir. Bu ısı panel verimini ciddi oranlarda düşürmektedir. Bu konu ilerideki aşamalarda bahsedilecektir.



Şekil 3. Elektron boşluğunun oluşması (5)

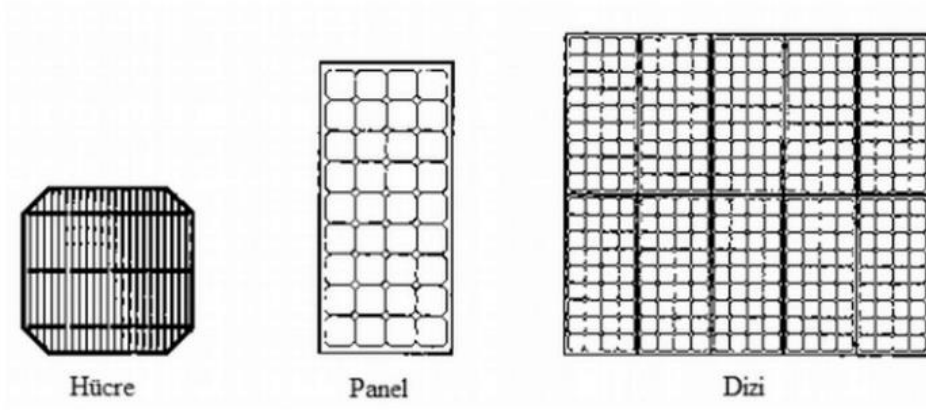
Bir elektron eski haline dönüp orada kalırsa elektrik üretimi gerçekleşemez. Dolayısıyla bu elektron boşluğu oluşması gerekir. Bu boşluk farklı elektrik alan sayesinde oluşur. Bu elektriksel alan birbirinden farklı yarıiletken hücrelerin birleşme kısmı olan ara yüzeyde meydana gelmektedir. Günümüzde panellerde P tipi ve N tipi yarı iletkenlerden oluşan P-N tipi hücreler kullanılmaktadır.



Şekil 4. Saf silisyum kristali (5)

Silisyum kristaline fosfor atomlarının eklenmesi sonucu, fosforun bir elektronu boşta kalmaktadır. Bu zayıf bağlı elektron silisyuma bağlanmaktadır. Bu tip yarıiletkenler n tipi yarıiletkenler olarak adlandırılır. Silisyum kristali içine bor atomu eklendiğinde ise, bor atomun bulunan üç değerlik elektron silisyumla bağ kurmaktadır. Fakat bir elektron boşluğu oluşmaktadır. Bu tür boşluklu yarı iletkenlere p tipi yarıiletken denilmektedir.

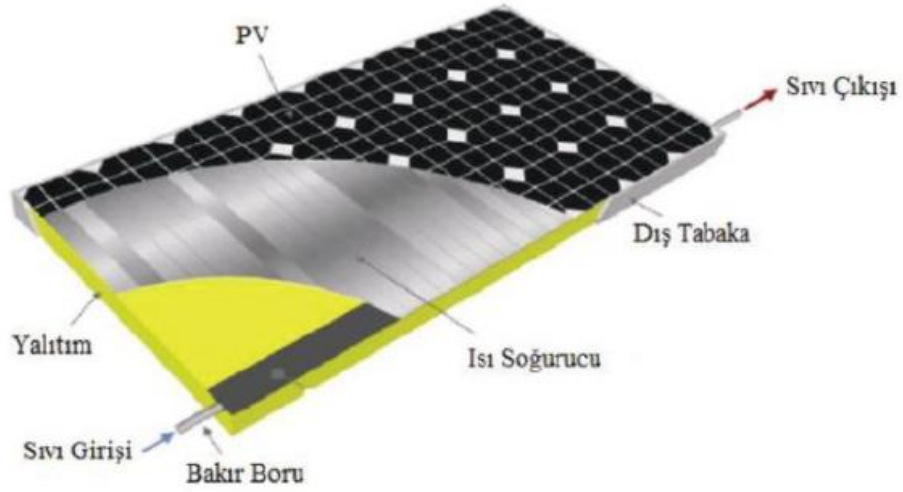
PV sistemler ilk olarak Becquerel tarafından 1839 yılında keşfedilmiştir. Elektrolit içine daldırılmış elektrotların arasında oluşan gerilimin ışığa bağlı olarak değiştiğini gözlemlemiştir (4). Bu olay fotovoltaiik olarak adlandırılır. G.W. Adams ve R.E. Day tarafından 1876 yılında selenyum kristalleriyle benzer bir çalışma yapılmıştır. Fotovoltaiik hücrelerin verimleri 1914 yılında %1 seviyelerine gelmiştir. Fakat 1954 yılında bu hücre verimlilikleri %6 gibi değerlere ulaşmıştır. Özellikle üretim maliyetlerinin fazla olmasından dolayı yaklaşık 1954 yılına kadar bu sistemler kullanılamamıştır. PV sistemlerden elektrik elde etme çalışmaları 1954 yılından itibaren başlamıştır (4).



Şekil 5. Fotovoltaik panel (6)

Fotovoltaik sistemler, yüzlerce hücrenin birleşiminden meydana gelen panellerin dizi halinde sıralanmasıyla oluşmaktadır. Bu hücre yapılarının üretim yöntemleri ve kullanılan yapıları farklı olabilmektedir. PV sistemler iki farklı kristal yapıda üretilmektedir. Bu sistemler monokristal ve polikristal olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca üretim yöntemi olarak da inorganik ve organik olarak ayrılabilir. Bahsedilen PV sistemler, kullanılan yere ve bağlanma durumlarına göre de çeşitlendirilebilir. Şebekeden bağımsız (Off-Grid), şebekeye bağlı (On-Grid), hibrit PV/T sistem, ısı sistemler, tarım amaçlı solar sistemler şeklinde sıralanabilir (8). Bu sıralanan sistemler içinde hem monokristal yapıdaki paneller daha yüksek verime sahiptir fakat ekonomik anlamda pahalıdır. Polikristal yapıdakiler ise ekonomik olarak ucuz ama verimleri monokristal yapıdaki sistemlere göre nispeten daha düşüktür. Piyasada en fazla polikristal paneller üretilmektedir çünkü maliyeti düşüktür. Polikristal yapıdaki paneller çoğunlukla mavi, monokristal olarak adlandırılan paneller ise çoğunlukla siyah renktedir (9).

Bu tez çalışmasında da yukarıda adı geçen PV/T sistemler ele alınmaktadır. Bu sistemler, günümüzde güneş enerjisi için en gelişmiş sistemlerden biri olarak anılmaktadır. PV/T sistemlerin literatürdeki bir diğer adı fotovoltaik termal sistemlerdir. Fotovoltaik termal (PV/T) sistemler, klasik fotovoltaik sistemlerle termal sistemlerin ortak kullanımı sonucu ortaya çıkmıştır. PV sistemler uygulamada iken çalışma prensibine göre bir proses atık ısı meydana gelmektedir. Sistem, panelden enerji elde edilirken ortaya çıkan atık ısının hava, herhangi bir sıvı akışkan ya da özgün bir sistemle hücrelerden uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Bu hücrelerden uzaklaştırılan proses ısısından yararlı iş potansiyeli ortaya çıkmaktadır. Buradan elde edilen yararlı iş çok farklı işlemler için kullanılabilir. Şekil 6'da genel bir PV/T sisteminin şekli verilmiştir.



Şekil 6. PV/T sistemlerin genel hali (10,11)

Klasik güneş enerjisi ve PV sistemlere oranla PV/T sistemlerin verimleri daha yüksektir. PV/T sistemleri, Hottel-Whillier analiz adı verilen bir çalışma ile Martin Wolf tarafından 1976 yılında keşfedilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda elde edilen verilere göre, keşfedilen bu hibrit sistem klasik fotovoltaik ve ısı sistemine göre daha verimli olduğu ortaya çıkmıştır. Klasik sistemlerde elde edilen birim alan başına verim bu sistemlerde, çok daha üst seviyelere ulaşmıştır ve bu sistemin uygulanabilir olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmaya paralel olarak günümüze kadar yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Tüm bu çalışmalar neticesinde günümüzde kullanılan PV/T sistemleri geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur (13).

PV/T sistemlerde, panelden ısıyı çekmek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlar genel olarak şöyle sıralanabilir;

- Sprey ile soğutma,
- Nanoakışkan teknolojisi ve mikro kanallar kullanılarak,
- Faz değiştirilen malzemeler ile,
- Peltier (termoelektrik eleman) kullanılarak,
- Havayı zorlanmış taşınımına maruz bırakarak,
- Farklı kanatçık tipleri kullanılarak soğutma.

Fotovoltaik paneller, güneşten aldıkları ışıının yalnızca %15-20 kadarını elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir. Geriye kalan enerji ısı enerjisine dönüşmektedir. Bu enerji panel hücrelerinin ısınmasına neden olmaktadır. Hücrelerde meydana gelen bu ısınma yapıyı bozduğu için elektrik üretimini olumsuz etkilemektedir. Hücrelerdeki, her 1 °C artış paneldeki enerji üretimini %0,45 düşürmektedir (14). Güneş panellerinin ideal bir çalışma sıcaklığı bulunmaktadır. Çevre sıcaklığı, rüzgâr ve neme bağlı olarak panel sıcaklığı artmaktadır. Meydana gelen bu artışı avantaja dönüştürmek için PV/T sistemler geliştirilmiştir. Bu sayede hem

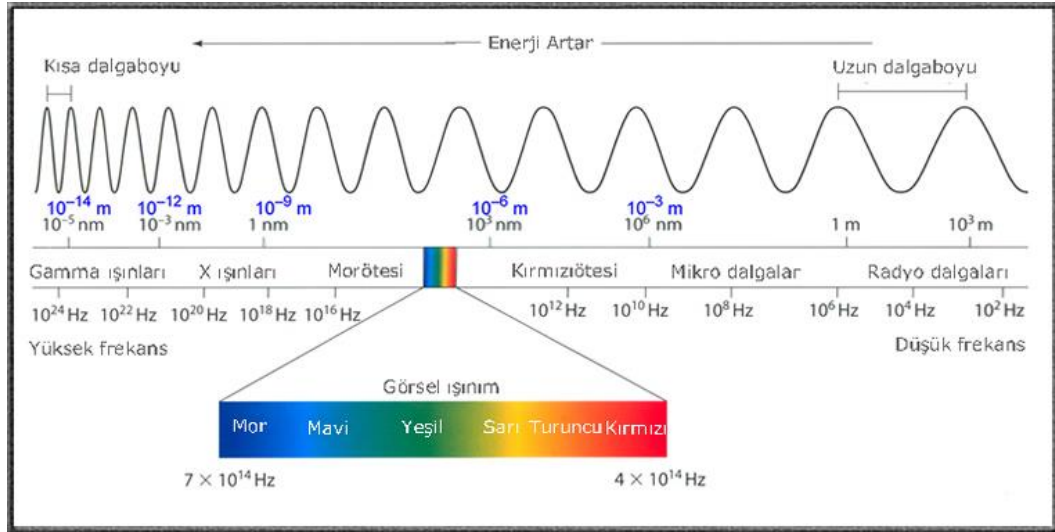
ısı ısı enerjiden faydalanılmaktadır hem de panelin soğutulmasını sağlanmaktadır. Bu sayede verim artışı amaçlanmaktadır. PV/T hibrit sistemler sıvı ve gaz sirkülasyonlu soğutma sistemleri şekilde ayrılabilir (14). Sıvı ile çalışan sistemlerde, sıvı kanalları panelle entegre şekilde bulunmaktadır. Bu sıvı pompa yardımıyla panelin alt kısmında bulunan borulara aktarılmaktadır. Bu aktarım sayesinde bir zorlanmış bir sirkülasyon sağlamaktadır. Panelde bulunan bu verimi düşüren ısı, akışkan sayesinde çekilmektedir.

Bu tez çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynakları arasında oldukça güncel bir konu olan güneş enerjisinde, fotovoltaiik sistemlerin en temel problemi olan hücre sıcaklığı yükselişi ile ortaya çıkan verim düşüklüğünün önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Bahsi geçen verim düşüklüğünün önüne geçilirken aynı zamanda ek bir ısı ısı kaynak ortaya çıkarılması bu çalışmanın önemli bir özgünlüğünü ortaya koymaktadır. Çalışmada fotovoltaiik panelin arka kısmına endüstriyel bir evaporatörün direkt teması sağlanmıştır. Bu evaporatör kapalı çevrim ile R-134a soğutucu akışkanını çalıştıran bir ısı pompası sistemi ile çevrimi tamamlamaktadır. Ayrıca yapılan deneylerde Yüzey Yanıt Yöntemi kullanılarak parametrelerin optimizasyonu ile hangi parametrenin ısı pompasının etkinlik katsayısı üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir.

KURAMSAL TEMELLER

Güneş Enerjisi

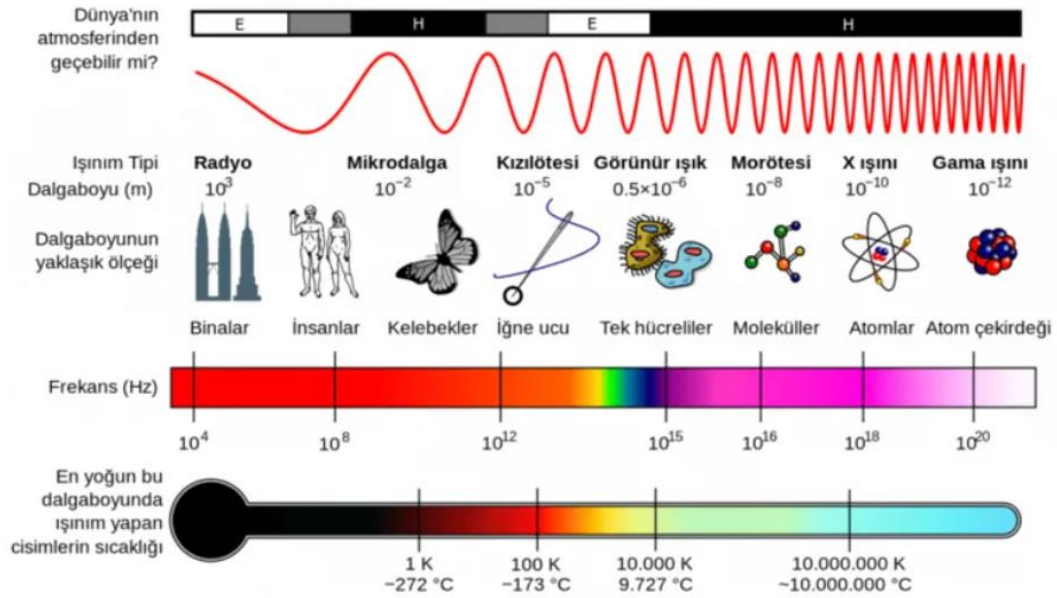
Güneş enerjisi, gezegen sistemimizde yer alan orta büyük sınıfta ve tıpkı dünya gibi katmanlara sahip bir yıldız olan güneşten sağlanmaktadır. Güneş'in yaydığı güç yaklaşık olarak $3,9 \times 10^{26}$ W seviyelerindedir (15). Bu kadar büyük bir enerjinin açığa çıkması füzyon olarak adlandırılan olay ile oluşmaktadır. Füzyon kısaca hidrojenin helyuma nükleer olarak dönüşme olayı olarak tanımlanabilmektedir. Güneşin çekirdeğinde sürekli olarak bu nükleer olay gerçekleşmektedir. Bu dönüşüm sürecinde kütle kaybı meydana gelmekte ve bir ışınlım ortaya çıkmaktadır. Bu olaylar sonucu ortaya çıkan bu ışınlım güneş enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Güneşten füzyon sonucu ortaya çıkan bu ışımların sadece küçük bir kısmı dünyaya ulaşabilmektedir. Dünya atmosferinin her metrekaresine yaklaşık olarak 1,367 W güç düşmektedir (15). Atmosferden, X ışınları ve ultraviyole ışınlarının bir kısmı emilmektedir geri kalan kısmı ise yansımaktadır.



Şekil 7. Detaylı güneş spektrumu (16)

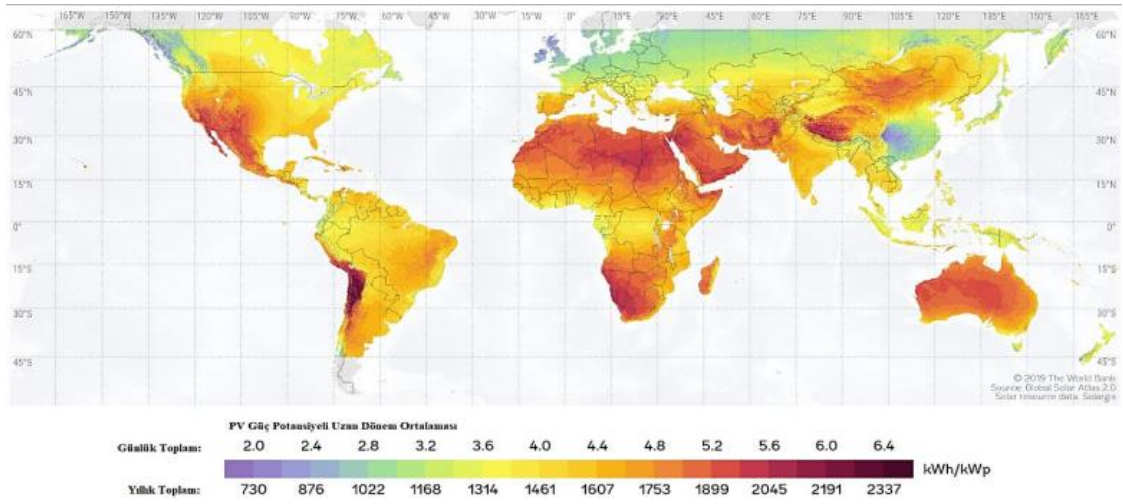
Güneş de çok farklı frekans ve dalga boylarından oluşan fotonlar bulunmaktadır. Bu farklı frekans ve dalga boylarından oluşan sisteme güneş spektrumu denmektedir. Bu spektrumda ışınlımın gün boyunca spektral dağılımı değişmektedir. En yüksek frekanslı olan gama ışınlarından en düşük frekanslı radyo dalgalarına kadar evrende bulunan tüm elektromanyetik dalgalar bu spektrumun içinde bulunmaktadır. ν frekans, λ dalga boyu, c ışık hızı olmak üzere, ışık hızı $\nu \cdot \lambda = c$ olarak ifade edilir. Formülde de görüldüğü üzere frekans ve dalga boyları arasında ters orantı bulunmaktadır. Şekil 6'da verilen güneş spektrumunda da çok

yüksek frekanslarda kısa dalga boyu, düşük frekanslara doğru gidildiğinde ise uzun dalga boyları elde edildiği görülmektedir. Enerji olarak anlatılmak istenirse, $E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ formülü elde edilir. Bu formülizasyon sonucunda, dalga frekansı arttıkça o dalganın enerjisinde de doğru orantılı olarak artış meydana gelir sonucuna ulaşılmaktadır. Şekil 7’de spektrumun dalga boyu ve dalga boyunun yaklaşık ölçekleri verilmiştir. Örneğin radyo dalgalarının yaklaşık ölçeği binalara, gama ışınlarının yaklaşık ölçeği ise atom çekirdeğine denk gelmektedir.



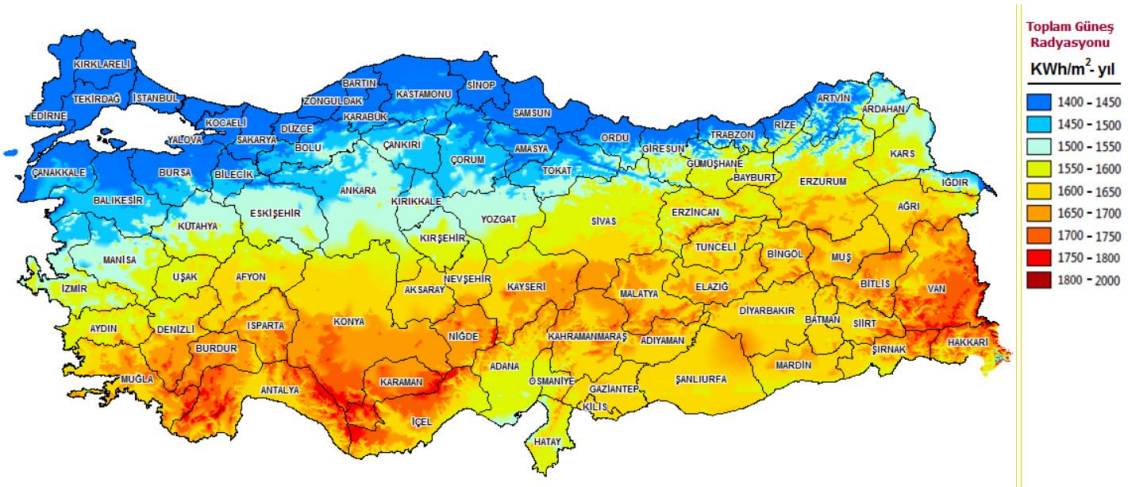
Şekil 8. Spektrumun sınıflandırılması (18)

Fotovoltaik sistemlerde elektrik üretimini etkileyen olaylardan biri de güneşlenme süresi ve güneşin geliş açısıdır. Güneşin herhangi bir nokta üzerinde doğup batana kadar ki süresine güneşlenme süresi denmektedir. Yani belirli bir alandaki toplam radyasyonun süresi olarak tanımlanabilir. Güneşlenme sürelerinde mevsimsellik, yağış, nem vb. unsurlar göz ardı edilmemelidir. Dünya atmosferine kadar güneş ışıınımı yaklaşık aynı seviyelerdedir fakat atmosferi geçtikten sonra radyasyon seviyeleri değişkenlik göstermektedir. Ekvator ve çevresi en yoğun ışıınıma maruz kalan bölgedir. Güneş ışınları bu bölgelere dik şekillerde düştüğü için radyasyon maksimum seviyelerdedir. Bu olayın tam aksine ekvator bölgesinden uzaklaştıkça geliş açısı değişime uğradığı kutup bölgelerinde güneşlenme süreleri daha düşük seviyelerdedir. Bu sebeplerden dolayı da kutup bölgelerinde çok düşük, ekvator ve çevresinde ise çok yüksek sıcaklık değerlerine ulaşılmaktadır. Şekil 8’de dünya üzerine düşen ışıınım ile üretilebilecek güç potansiyeli haritası verilmiştir.



Şekil 9. Dünya PV güç potansiyeli (19)

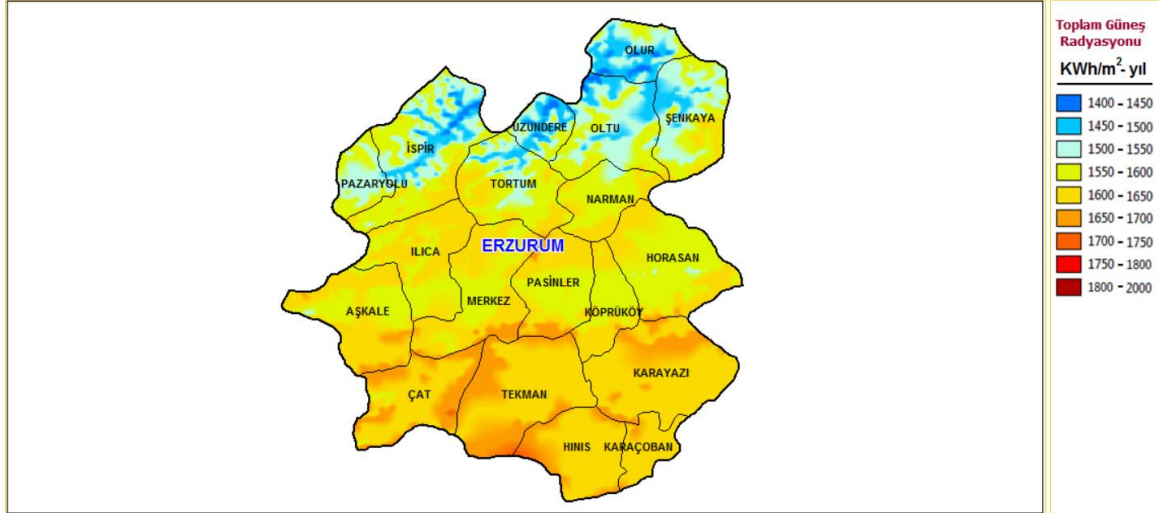
Dünya için yapılan dağılımın bir benzeri ülkemiz içinde yapılmaktadır. Ülkemizin özellikle ekvatora yakın olan Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde PV sistemlerle elektrik üretimi potansiyeli çok fazladır. Karadeniz ve Marmara bölgeleri diğer bölgelere göre daha az güneşlenme sürelerine sahip olduğu için üretim potansiyelleri daha düşük seviyelerdedir. Şekil 9’da ülkemizin PV sistemler ile enerji üretim potansiyeli haritası verilmiştir.



Şekil 10. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (20)

Şekil 10’da verilen atlas, Enerji Bakanlığı sisteminden alınmaktadır. Yine aynı sistem üzerindeki verilere göre ülkemiz en yoğun güneşlenme sürelerine temmuz, en düşük güneşlenme sürelerine ise aralık ve ocak aylarında ulaşmaktadır (20). Bu veriler ise Meteoroloji tarafından il il ölçülmekte ve bu veriler kayıt altına alınmaktadır. Çalışmanın gerçekleştirileceği Erzurum ili için ortalama 6,9 saat güneşleme süresi bulunmaktadır. Bu kadar düşük seviyelerde güneşlenme sürelerinin olmasının nedeni ilin ekvatora olan uzaklığı ve rakımının yüksekliğidir. Özellikle kış aylarında havanın neredeyse tüm gün kapalı olduğu varsayıldığında bu denli düşük güneşlenme sürelerinin sebebi açıklanabilmektedir. Yıllık ortalama metrekareye 755 W

radasyon düşmektedir (13). Erzurum 24741 km² yüz ölçümüne sahiptir. Toplamda yaklaşık olarak 105 MW gücünde güneş enerji santralleri bulunmaktadır (22). Şekil 10’da Erzurum için güneş enerjisi ile güç üretim potansiyeli haritası verilmiştir.



Şekil 11. Erzurum PV sistem güç üretim potansiyeli (20)

Soğutucu Akışkanlar

İklimlendirme, ısı pompası, soğutma vb. sistemlerde kullanılan temel araçlardan biri soğutucu akışkanlardır. Bu akışkanların temel çalışma prensibi, bir ortamda bulunan ısıyı faz değiştirerek farklı bir ortama atmaya dayanmaktadır. Bu değişimler genellikle buhar sıkıştırılmalı veya absorpsiyon (mekanik kompresör sıkıştırması yerine termal bir sistemin kullanılması) sistemlerde gözlemlenmektedir (24). Soğutma çevrimlerinde evaporatörden ısı çekilip, yoğusturucu da ısı atılmaktadır. Bu işlemlerde soğutucu akışkanın ısı alıp verme özelliği kullanılmaktadır. Bu sayede buhar fazından sıvı faza geçerken bünyesinde bulunan ısını atar, sıvı fazdan buhar fazına geçerken ise bünyesine ısı çeker. Soğutucu akışkanlar; donma ve buharlaşma sıcaklıklarının düşük olması, büyük çoğunluğunun yanıcı ve patlayıcı olmaması, çevreye zehirli gaz yaymamaları, kullanıldıkları çevrimde korozyon, paslanma gibi etkiler bırakmaması, yoğunluğunun düşük olması, buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması gibi olumlu özellikleri sayesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu özellikler arasında buharlaşma gizli ısı ayrıca bir öneme sahiptir. Buharlaşma gizli ısının yüksek olması sayesinde çok daha az akışkan ile aynı soğutma işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Soğutucu akışkanlar daha kolay telaffuz için gazın başına Refrigerant’ın kısaltılmış hali olan R harfi konulmaktadır. Örneğin Dikloro Difloro Metan (CCL₂F₂) kısaca R-12, MonoKlor DiFlor (CHCLF₂) kısaca R-22 olarak adlandırılır (25).

Soğutucu akışkanların avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Özellikle çevreye olan zararları ciddi boyutlarda olan soğutucu akışkanlar bulunmaktadır.

Çevreye olan zararları ozon delme ve küresel ısınma potansiyelleri olarak ikiye ayrılmaktadır. 1987 yılında ozon tabakasına etkilerinden dolayı Montreal Protokolü imzalanmıştır (26). Bu protokolde CFC (kloroflorokarbon) ve HCFC (hidrokloroflorokarbon) tipi soğutucu akışkanların kullanımı ve üretimi denetime tabi tutulup sınırlandırılmıştır. Bu önlemler sayesinde çok ciddi seviyelerde CO₂ salınımı engellenmiştir. Günümüzde HFC (hidroflorokarbon) sınıfı soğutucu akışkanlara da sınırlandırma getirilmiştir.

Soğutucu akışkanlar CFC, HCFC, HFC, HC'ler olmak üzere dört ana başlık altında toplanabilir.

- CFC (kloroflorokarbon): Çok yüksek seviyelerde küresel ısınma ve ozon delme potansiyeli bulunmaktadır. Örneğin R-11, R-12 bu sınıfın en bilinen akışkanlarıdır. Çevreye ve ozon tabakasına olan zararlarından ötürü yaklaşık olarak 2010 yılından beri üretimi yasaklanmıştır ve kullanılmamaktadır.
- HCFC (hidrokloroflorokarbon): Ozon delme potansiyelleri CFC'ler kadar yüksek değildir fakat küresel ısınma potansiyelleri yüksektir. En yaygın kullanılan akışkanı R-22'dir. Bu tip soğutucu akışkanlarında kullanımı Montreal Protokolü kapsamında sınırlandırılmıştır. Günümüzde kullanımı yasak statüsünde olan akışkan grubudur.
- HFC (hidroflorokarbon): Ozon delme potansiyelleri içeriğinde klor olmadığı için sıfırdır. Buna karşın küresel ısınma potansiyelleri bulunmaktadır. Bu nedenle 2019 yılında yapılan protokol gereği kullanımı sınırlandırılmıştır. R-134A, R-404A, R-410A, R-507A akışkanları bu gruba örnek verilebilir.
- HC (hidrokarbonlar): Bu sınıf soğutucu akışkanların ozon delme potansiyelleri yoktur. Küresel ısınma potansiyelleri düşük seviyelerdedir. Halojensiz akışkanlar olarak da bilinmektedirler. R-290 (Propan – C₃H₈), R-600 (n-Bütan – C₄H₁₀), R170 (Etan – C₂H₆), R1150 (Etilen – C₂H₄) bu akışkan sınıfına örnek verilebilir. Bu gazlar aynı zamanda patlama ve yanma riski olan gazlardır.

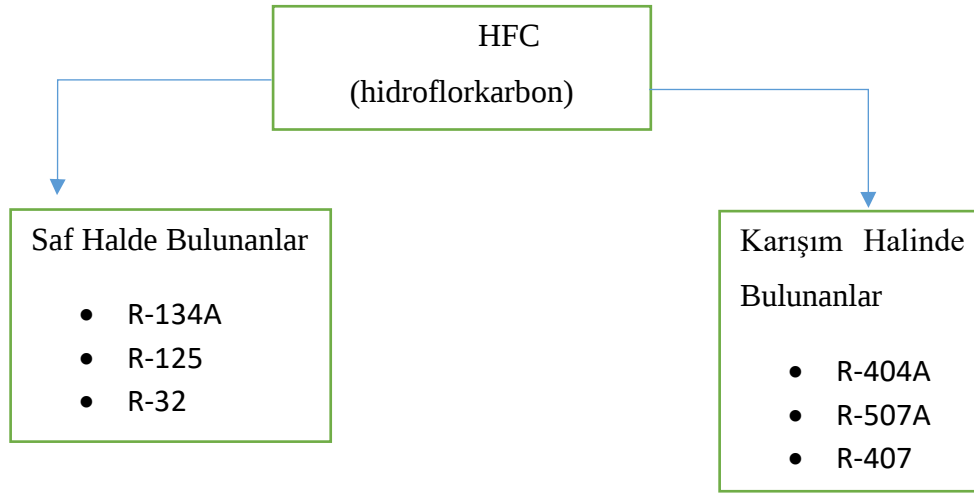
Tablo 1'de bazı akışkanların türleri, küresel ısınma ve ozon delme potansiyelleri verilmektedir.

Tablo1. Bazı Akışkanların ODP ve GWP Potansiyelleri (27)

Akışkan Grubu	Akışkan	Kaynama Noktası	Ozon Delme Potansiyeli	Küresel Potansiyeli	Isınma
CFC	11	23.82	0.99	1365	
	12	-29.8	0.93	3700	
	114	3.8	0.75	6200	
HCFC	22	-40.76	0.12	1100	
	123	27.87	0.2	542	
	141B	32	0.24	578	
HFC	134A	-26.2	0	1350	
	404A	-46.48	0	3750	
	407C	-43.79	0	1600	
HC	600	-0.4	0	3	
	600A	-11.7	0	8	

Soğutucu akışkanların CO₂ ile karşılaştırılıp ozon delme potansiyeli hesaplanmaktadır. Tabloda ozon delme potansiyeli (ODP) CO₂'de başlangıç değeri olarak 1 alındığı için tabloda ona göre hazırlanmıştır.

CFC, HCFC grubu soğutucu akışkanlar hem küresel ısınmaya hem de ozon tabakasına verdiği olumsuz etkilerden dolayı kullanımları önce kısıtlanmış sonra da tamamen yasaklanmıştır. Bu grup soğutucu akışkanlara alternatif olarak HFC sınıfı akışkanlar kullanılmaya başlanmıştır. HFC sınıfı soğutucu akışkanların ozon tabakasını delme potansiyeli sıfırdır. Böyle olmasının nedeni ise içeriğinde klor bulunmamasıdır. HFC grubu soğutucu akışkanlar saf ve karışım halde olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Şekil 11'de bazı HFC sınıfı soğutucu akışkanların gruplandırılması verilmiştir.



Şekil 12. Bazı HFC sınıfı soğutucu akışkanların sınıflandırılması

HFC grubu soğutucu akışkanların birçoğu karışım halde bulunmaktadır. R-134A, özellikle termodinamik açıdan R-12 en çok benzeyen soğutucu akışkandır. Ayrıca yine R-32 tip akışkan da özellikle ticari ve ev tipi klimalarda kullanılmaktadır. Farklı sistemlerde çok farklı soğutuculara gereksinim duyulmaktadır. Bundan dolayı daha iyi termodinamik ve ısı transferi özellikleri elde etmek için karışım HFC’ler kullanıma sunulmuştur. Tablo 2’de bazı karışım haldeki HFC’lerin ağırlıkça bileşimleri verilmiştir.

Tablo 2. Karışım Haldeki Bazı HFC Tipi Soğutucu Akışkanların Bileşimi (28)

Soğutucu Akışkan	Ağırlıkça Bileşimi
R-401A	%52 R-22 + %33 R-124 + %15 R- 152A
R-404A	%44 R-125 + %4 R-134A + %52 R-143A
R-407A	%20 R-32 + %40 R-125 + %40 R-134A
R-407C	%23 R-32 + %25 R-25 + %52 R-134A
R-410A	%50 R-32 + %50 R-125
R-500	%73,8 R-12 + %26,2 R- 152A
R-502	%51,2 R-115 + %48,8 R-22
R-507	%50 R-125 + %50 R-143A

Bu kadar sık kullanılmasına karşın HCF grubu soğutucu akışkanların küresel ısınmaya olumsuz etkileri mevcuttur. Bu nedenden dolayı kullanımı ve üretimi sınırlandırılmıştır. Tıpkı CFC ve HCFC gibi bu soğutucu akışkan da küresel ısınmaya olan olumsuz etkisinden dolayı gelecekte üretimi ve kullanımı yasaklanacaktır. Bu nedenle ozon delme potansiyeli sıfır ve küresel ısınma potansiyelleri de çok düşük miktarlarda olan HC sınıfı soğutucu akışkanlar önerilmektedir. HC yani hidrokarbon sınıfı soğutucu akışkanların bir diğer adı doğal soğutuculardır (30). HC sınıfı özellikle çevre dostu olduğu için tercih ve teşvik edilmektedir. Fakat hidrokarbonların yanıcı ve patlayıcı özellikleri bulunmaktadır. Termodinamik olarak

yüksek yoğunlaşma sıcaklıklarında dahi COP değerleri yüksek seviyelerdedir. Buna ek olarak yüksek ısı transferi özelliği bulunmaktadır. CFC, HCFC ve HFC grubu soğutucu akışkanlara oranla hidrokarbon akışkanların maliyetleri ve sistem kullanım süresini tamamladığında bertaraf maliyeti daha düşüktür. Propilen, Propan gibi çeşitli soğutucuların öz kütleleri havanın öz kütlelerinden büyük oldukları için herhangi bir kaçak olması durumunda solunum sistemine dahil olabilmektedir. Bu sebeple HC grubu ile kurulan sistemlerde ekstra güvenlik sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kurulumda akışkana özel ekipmanlar tercih edilip bu sistemlerin periyodik bakımları düzenli şekilde yapılmalıdır.

Fotovoltaik Termal Sistemler

PV/T sistemler kısaca, klasik olarak kullanılan ısı güneş enerji sistemleriyle elektrik üretimi için kullanılan fotovoltaik sistemin kombine hali olarak tanımlanabilmektedir. Bu sistemlerin tekil kullanılmasıyla entegre kullanılması karşılaştırıldığında bu kombine sistemlerin verimleri çok daha yüksek seviyelerde bulunmaktadır. Yaklaşık 1970 yılından beri PV/T sistemler ile alakalı araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Özellikle enerjiye olan arz arttıkça bu gibi teknolojilere de talep o yönde artmaktadır. Günümüzde fotovoltaik termal (PV/T) sistemlerin kullanımı ciddi oranda artış yaşamaktadır.

Fotovoltaik termal (PV/T) sistemlerin kullanılmasının amacı, fotovoltaik panellerde elektrik üretilirken ortaya çıkan ve panel verimini ciddi oranda düşüren ısıyı panelden çekmektir. Panellerde, giriş kısmında detaylıca anlatıldığı gibi silisyum elementi kullanılmaktadır. Silisyum kristaline fosfor atomlarının eklenmesi sonucu, fosforun bir elektronu boşta kalmaktadır. Bu zayıf bağlı elektron silisyuma bağlanmaktadır. Bu tip yarıiletkenler n tipi yarıiletkenler olarak adlandırılır. Silisyum kristali içine bor atomu eklendiğinde ise, bor atomun bulunan üç değerlik elektron silisyumla bağ kurmaktadır. Fakat bir elektron boşluğu oluşmaktadır. Bu tür boşluklu yarı iletkenlere p tipi yarıiletken denilmektedir. Panellerde elektrik üretimi gerçekleştirilirken, gelen fotonların enerjisi sayesinde elektron kopması meydana gelir. Bu elektron kopması sonucu ısı açığa çıkmaktadır. PV sistemlerde, ışıınım yansıdıktan sonra güneş enerjisinin yaklaşık %50'si ısı olarak panelde kalmaktadır. Ayrıca güneş spektrumunda da görüldüğü üzere güneş ışınları farklı tiplerde, frekanslarda ve dalga boylarında gelmektedir. Farklı enerjiler farklı olaylara sebebiyet vermektedir. 1.2 eV'den büyük foton enerjileri paneli uyatarak elektrik üretimini gerçekleştirmektedir. Geriye kalan fotonlar ise yansıma veya ısı olarak panelde tutulmaktadır. Bu sebeplerden ötürü panelde ısınma sorunu meydana gelmektedir. Bu ısınma sorunu panelin elektrik üretim verimi düşürmektedir. İleri seviye ısınmalar da ise panel hücrelerinin yapısının bozulmasına ve yapısal kalıcı hasarlara yol açmaktadır. Bu teze de konu olan panellerin aşırı

ısınmamasından kaynaklı verim düşüşünü önlemek için çalışma yapılmaktadır. Bu çalışma sonucunda panellerde uzaklaştırılan fazla ısıdan yararlı iş elde etmek mümkün olacaktır.

1970’li yıllardan sonra PV/T sistemleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu konuyla alakalı yapılan bir çalışmada odaklama ve panel soğutmanın elektriksel çıktı üzerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Çalışmada soğutma işlemi su ile gerçekleştirilmiştir ayrıca iki eksenli güneş takibi gerçekleştirip sabit olan sistemle karşılaştırılması da yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, güneş takibi yapılan odaklamalı sistem sabit sisteme oranla 4,7-5,2 kat daha fazla elektriksel çıktı elde edilmiştir. Gün boyu yapılan teste göre sabit sisteme kıyasla yeni kurulan bu sistemin elektriksel güç çıktısı 4,9 kat daha fazla durumdadır. Su debisinin artırılması durumunda daha iyi ısı çekildiği gözlemlenmiştir (31).

PV/T sistemler üzerine yapılan bir başka çalışmada ise, alan ısıtması için PV/T sistem entegreli bir ısı pompası sistemi kullanılmıştır. PV/T sisteminin arka yüzeyine özgün tasarımı küçük kanallar açılmıştır ve bu sayede ısı transfer özelliği artırılmıştır. Panellerden %13,8 elektriksel verim, %31,9 termal verim ve %45 genel verimlilik sağlanmıştır. Isı pompasının COP değerinin %4,9 ve ortalama güneş enerjisi verimliliğinin de %50,8 olduğu bulunmuştur. Isıtılmak istenen mahal konfor koşullarında ısıtılmıştır ayrıca geriye kalan ısı ve elektrik enerjisi depolanmıştır. Çalışmadan elde edilen bilgilere göre hibrit sistemin klasik sisteme oranla çok daha verimli olduğu ortaya çıkarılmıştır (32).

Yapılan bir başka çalışmada ise özgün tasarımı bir evaporatörün PV/T sisteminde sayısal analizi gerçekleştirilmiştir. Soğutma sistemi olan ve olmayan sistemler karşılaştırılmış, soğutma yapılan PV/T sisteminin elektriksel verimi %2,5 daha fazla çıkmıştır. Maksimum COP değeri 4,75 olarak hesaplanmıştır. Soğutucu akışkan hızının 6 m/s olması durumunda maksimum ekserji verimi %55,5 olarak bulunmuştur (33). Santbergen ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada klasik fotovoltaiik sistemlerin en verimli hallerinde bile %15-20 verim seviyeleri geçilememektedir. Bu denli düşük seviyelerde verimin nedeni kayıplardır. En önemli kayıp ise ısınmadan kaynaklı meydana gelmektedir. Çalışmaya göre modül sıcaklığı düşük seviyelere çekildikçe verim zıt oranda artış sağlamaktadır (34). Tripanagnostopoulos ve arkadaşları tarafından hava ile soğutmalı iki farklı PV/T sistemi karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda yeni tasarlanan PV/T sisteminin, klasik sisteme göre modül sıcaklığını 6 °C daha fazla düşürdüğü tespit edilmiştir. Çalışmaya göre PV/T sistemlerinin üzerinde küçük oynamalar yaparak daha fazla verim elde etmek mümkündür (35).

Sahlaoui ve arkadaşları tarafından kanatçık yüksekliği, kanatçık sayısı ve kütleli debinin PV/T sisteminin elektriksel performansına etkilerini incelenmiştir. Parametre incelenmeleri ve hesaplamalarında bilgisayar programları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar

daha önceki çalışmalarla örtüşmektedir. Sonuçlara göre, 0,818 kg/s kütleli debi, 1 m/s hava hızı ve 18 cm kanat yükseklikleriyle genel verimliliğin %98 seviyelerine ulaştığı görülmüştür. Kanat yüksekliği ve sayısı düşürüldükçe verimde de artış meydana geldiği görülmüştür. PV/T sisteminin veriminin büyük çoğunluğu debiyle alakalı olduğu tespit edilmiştir. Kütleli debi sabit tutulduğunda verim ile alakalı daha stabil sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Panel uzunluğunu artırmanın elektriksel verime artışı olduğu vurgulanmıştır. Çalışmaya göre parametreler üzerinde değişiklikler yaparak farklı sonuçlar elde edilebilmektedir (36).

Misha ve arkadaşları Malezya’da yaptıkları bir çalışmada özgün şekilde tasarladıkları ısı emici sistemi önce ANSYS programındaki işlevselliklerden olan CFD paketiyle analiz gerçekleştirmişlerdir. Herhangi bir maliyet çıkarmadan belirli analizleri yapılabilmesi için bu program vazgeçilmezdir. Termal anlamda sorun çıkmadığı için geliştirdikleri ısı emcisinin üretimini gerçekleştirmişlerdir. Başlangıçta sıcaklık 299.15 K, üç farklı güneş radyasyonu (600,800 ve 1000 W/m²), üç farklı debi (2, 4, 5 L/dk) ANSYS programında kullanılan sınır şartlarıdır. ANSYS programında yapılan analizlerden sonra deneysel çalışma aynı sistem kurularak gerçekleştirilmiştir. Sistemde kütleli debi arttıkça elektrik gücünde artış meydana gelmektedir. Güneş radyasyonunun düşmesiyle ve hücre sıcaklıklarının artışıyla elektrik verimde düşüş olduğu saptanmıştır. Tablo 3’de deneysel ve analiz programından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 3. PV/T Sistem Deneysel ve Simülasyon Karşılaştırması (37)

Hücre Noktası (K)	Sıcaklığı	PV/T Sıcaklık (K)	Deneysel	PV/T Sıcaklık (K)	Simülasyon	Hata payı (%)
Tc1		329.1		331.6		0,75
Tc2		328.1		330.7		0,79
Ç3		326.8		329.5		0,82
Ç4		325.8		328.9		0,95
Tc5		324.9		327.7		0,86
Ç6		323.7		326.9		0,98

Yapılan bir çalışmada PV/T sisteminin sayısal ve deneysel analizi gerçekleştirilmiştir. Uygulanan iki sistemde birbiriyle karşılaştırılmış ve sonuçlar literatür eşliğinde analiz edilmiştir. Etilen ve saf su gibi baz akışkanlar, AL₂O₃ ve Cu gibi nanoakışkan türleri kullanılıp panellere olan ısı ve elektriksel verimleri incelenmiştir. Sayısal çözümlemesi FORTRAN diliyle gerçekleştirilmiştir. Deneysel verilerle kıyaslandığında yaklaşık olarak aynı sonuçların

elde edildiği görülmüştür. Tunus, İran ve Fransa olmak üzere üç farklı kentte uygulanmıştır. Çalışmaya göre saf su, etilene oranla daha yüksek verim artışı sağlanmıştır. Cu/saf su bileşiminin ise en iyi performansı gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca Fransa ve İran'a kıyasla, Tunus'ta elektriksel ve ısı çıkıntının çok daha iyi seviyelerde olduğu görülmüştür. Farklı tipteki akışkanların bileşimi daha iyi sonuçlar verebilmektedir (38). Khanjari ve arkadaşları tarafından benzer bir çalışma 2017 yılında gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkan kullanılarak ısı ve elektriksel verim hem deneysel hem de sayısal olarak çalışılmıştır. Bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sistemin taşınım ve iletim çözümleri CFD paketiyle; Enerji, momentum ve kütle denklemleriyle Fluent paketiyle çözümlenmiştir. Işınımın artması hücre sıcaklığında artış meydana getirdiği için elektrik verimini düşürmektedir. Soğutucu nanoakışkanın giriş sıcaklığı düştükçe panel veriminde artış gözlemlenmiş ve çıkış sıcaklığında düşüş görülmüştür. Işınım artışıyla bir miktar değişimler gözlemlense de belirli bir süre sonra sabit kalmaktadır (39).

Özakın ve Kaya tarafından yapılan çalışmada kolektör yüzeyinin sıcaklık dağılımı ve soğutma işlemi için kullanılan hava kanalındaki hızın dağılımını Fluent ile sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar daha sonra yapılan deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Kanatçık olmadan, seyrek ve sık kanatçıklı olmak üzere üç farklı sistem denenmiştir. Monokristal ve polikristal olmak üzere iki çeşit panel kullanılmıştır. Sistemin ekserji veriminde, kanatsız yerine seyrek ve sık kanat kullanılması sayesinde polikristal de %70, monokristal de ise %30 artış sağlanmıştır. Polikristal de ısı verim %55, monokristal de ise ısı verim %70'e varan artış sağlamıştır. Tüm parametrelerde kolektör yüzey sıcaklığı 10-15 °C aralığına düştüğü görülmüştür. Fluent paketinde elde edilen sonuçlar ile deneysel veriler uyumuştur. Sürtünmeden kaynaklı olarak hava hızı, kanatçıklara yakın bölgelerde diğer bölgelere oranla daha düşük olduğu ölçülmüştür (40).

Bayrak tarafından yapılan bir çalışmada kullanılan paneller üzerine farklı sayılarda ve güçlerde DC fanlar yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu fanlar sayesinde hücrelerde bulunan fazla ısı uzaklaştırılmıştır. Kullanılan paneller polikristal ve 80W'lıktır. Deneyde dört ayrı panelle ayrı ayrı fanlar takılmıştır. Referans alınan panelin gücü 62.42 W'ta iken, dört fan takılan E4 panelinde güç 64.1 W olarak ölçülmüştür. Ayrıca bu dört fanın her birinin harcadığı güç 10 W'tır. Çalışmanın genelinde en fazla fan takılan (4 fan) E4 sistemi en verimli sistem seçilmiştir (41). PV/T sistemler sayesinde hem elektriksel çıktı hem de ısı bir çıktı elde etmek mümkündür. Kazem tarafından yapılan çalışmada klasik fotovoltaik sistem ile fotovoltaik termal (PV/T) sistemlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Elde ettiği bulgulara göre PV/T sistem verimi klasik fotovoltaik sisteme göre çok daha verimlidir. PV/T sistemiyle ulaşıldığı en yüksek

güç 67 W'tır. Fotovoltaik termal sistemin gücü klasik fotovoltaik sisteme göre %6 daha fazla bulunmuştur (42).

Fotovoltaik sistemlerin ısınma sorunu için çeşitli yöntemle bulunmaktadır. Hava ve su ile yapılan soğutmalar daha az verim artışı sağlamaktadır. Hava ve su ile soğutmaya nazaran daha yüksek elektriksel güç çıktısı elde edilebilmek için soğutucu akışkanlar kullanılmaktadır. HFC sınıfı soğutucu akışkanlardan olan R-134A ile Chen ve arkadaşları çalışmıştır. Yapılan bu çalışmada fotovoltaik panel, vakum tüpleri, alüminyum levha ve bakır borulardan oluşan bir sistem kurulmuştur. Sisteme bir ısı pompası entegre edilmiştir. Panelden çevreye olan ısı transferi engellemek amacıyla cam vakum tüpleri kullanılmıştır. Sistem COP'si, yoğunlaştırıcı besleme suyu sıcaklığının ve suyun debisiyle azalma göstermiştir. Fakat sisteme gelen ışıının artırılmasıyla COP'de artış görülmüştür. Ayrıca sisteme daha büyük bir ısı pompası eklenmesi halinde COP'nin artacağı öngörülmüştür. Deney sonucuna göre soğutma yapılmayan sisteme kıyasla PV/T sistemde %3,9 elektriksel verim artışı görülmüştür (43). 2010 yılında Hong-Kong'da yapılan bir araştırmada hem fotovoltaik sistemlerin verimini düşüren fazla ısıdan kurtulmak hem de mahal içi ısı ihtiyacını karşılamak için PV/T entegreli ısı pompası sisteminin simülasyon modellemesi yapılmıştır. Hava durumu verileri eşdeğer olarak sistemin sayısal analizi yapılmıştır. Simülasyonda soğutucu akışkan olarak R-134A kullanılmıştır. Analize göre yıllık ortalama fotovoltaik sistemin çıkış verimi %12,1 ve 5,93 COP değerlerine ulaşılmıştır. Kullanılan bu sistem PV-SHAP olarak adlandırılmaktadır (44).

Fotovoltaik termal sistemlerin kullanımının en büyük avantajlarından biri yerden tasarruf sağlamasıdır. Aynı ayrı ısı ve elektriksel güç için sistem kurulacağına hibrit bir sistem kurulmasıyla tasarruf sağlanmış olur. Sistem sayesinde daha yüksek elektriksel güç ve ısı enerjisi çıktısı elde edilebilmektedir. Bu sonuçlar neticesinde sistemden elde edilen bu çıktıların depolanması gerekmektedir. Pena ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada bu depolama tesislerinin iyileştirilmesi üzerine yeni bir tasarım gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada PV panelin arka kısmına faz değiştiren malzeme (PCM) eklenmiştir. Sistem sayesinde üretilen enerji başka yere taşınmaz depolanır ayrıca faz dönüşümü sayesinde PCM tankında panel ısı sabit tutulmaya çalışılmıştır (45). Köse tarafından yapılan bir araştırmada PV sistemlerin sıcaklıkla değişen verimini incelemiştir. Çalışmada, elektriksel dönüşüm verimliliği panel sıcaklığı 36 °C'de iken %12,04 seviyelerindedir. Panel sıcaklığının artırılıp 58 °C'ye ulaştırıldığında ise verim %2,4 düşüş göstermektedir. Bu sonuçlara göre enerji kaybı %80 civarlarında olduğu görülmektedir. Kaybı önlemek için fotovoltaik sistemlerin soğutulması gerekmektedir (46). Panel soğutma işlemi için 2020 yılında yapılan bir çalışmada iki adet 80W'lık panel kullanılmıştır. Aynı açıda ve yan yana yerleştirilen bu panellerden birinin üst kısmına su ile

soğutma için borular yerleştirilmiş, diğer panele ise hiçbir işlem uygulanmamıştır. Boru yerleştirilen panel gün içinde aralıklarla yüzey soğutmasına maruz bırakılmış ve iki panelinde çıktı verileri kayıt altına alınmıştır. Soğutma yapılan panelde yüzey sıcaklığı 32 °C'den 19 °C'ye düşürülmüştür. 5 gün yapılan deneyde ortalama olarak elektriksel güç çıktısı 79,621 W seviyelerinden 91,149 W seviyelerine ulaşmıştır. Sonuçlara göre %14,47 verim artışı sağlanmıştır (47).

PV sistemlerde panellerde sıcaklıktan dolayı meydana gelen elektriksel güç ve verim değişimlerini incelemek için ANOVA yani Varyans Analizi yöntemi kullanılmaktadır. Bağımsız değişkenler arasında çok sayıda grup olduğundan dolayı varyans analizi yapılmaktadır. Bu sayede değişkenler arasındaki farklar belirlenmiş olacaktır. Bu konu üzerine yapılan bir çalışmada soğutma sistemi açık ve kapalı haldeki verimlilikler hesaplanmıştır. Sonuçlara göre kolektör sıcaklığı 53 °C'de verim %7,83 seviyelerinde iken soğutma yapıldığında sıcaklık 50 °C düşmekte ve verim %9,15 seviyelerine çıkmaktadır. Soğutma yapmanın ne kadar gerekli olduğu bu çalışmada da vurgulanmıştır. Yapılan analiz sonucu tablo 4'de verilmiştir (48).

Tablo 4. Soğutma Yapıldığında ve Yapılmadığı Elde Edilen Verimler (48)

Soğutma Sistemi Kapalı		Soğutma Sistemi Açık	
Panel Sıcaklığı (°C)	Verim (%)	Panel Sıcaklığı (°C)	Verim (%)
57	8,56	55	10,97
49	10	47	12,24
49	11,71	47	13,03
53	7,83	50	9,15

Özakın ve Kaya tarafından yapılan çalışmada ise farklı malzeme çeşitlerinde (alüminyum, pirinç, bakır) kanatçıklar sık ve seyrek olarak yerleştirilip kanat kullanılmayan sistemle karşılaştırılması yapılmıştır. Kullanılan paneller polikristal ve monokristal 'dir. Elektriksel ve ısı güç çıktıları deneysel olarak incelenmiştir. Kanat kullanılan durumlarda kullanılmayan duruma göre verim artışı sağlanmıştır. Hem ısı hem de elektriksel verim için her malzemenin ideal kanat sayısı araştırılmıştır. Ekserji ve ısı verimleri en çok etkileyen sistemi bulmak için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada iki öncülüde etkileyen parametreleri bulmak için varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi sonucunda kanat için kullanılan malzemenin çok önemli bir parametre olduğu ortaya çıkmıştır. Taguchi yönteminden elde edilen sonuca göre ısı ve elektriksel verim üzerindeki en önemli parametrelerin sırayla kanat malzemesi, hava hızı ve kolektör sıcaklığı olduğu bulunmuştur.

PV sistemlerle entegre olarak ısı pompasının kullanılması 1955 yılında Sporn tarafından gerçekleştirilmiştir (50). Isı pompasının kullanılması durumunda buharlaştırıcı ve PV ara yüzeyinde meydana gelen ısı transferi çok önemli bir parametre olmaktadır. Buharlaştırıcıya sağlanan ısı akısının yüksek olması durumunda pompadan elde edilen verim katsayısı doğru orantılı olarak artış göstermektedir (51). Yapılan çalışmalara göre ısı transferini artırmanın bir yolu türbülator kullanmaktır. Kullanılan türbülator sayesinde sınır tabaka bozulmaktadır. Bu sayede ısı transferi artışı sağlanmaktadır. Ara yüzeyde meydana gelen bu ısı transferi artışı elde edilen güç çıktısında artış meydana getirmektedir (52). Yapılan bir çalışmada ısı pompası ve fotovoltaik entegre sistemi kullanımında evaporatör görevi görebilmesi için kolektörlerin arka kısımlarına borular yerleştirilmektedir. Akışkan olarak R-134A kullanılmaktadır. Soğutma işlemiyle 4,8 COP değeri elde edilmiştir. Sistemden çıkan suyun sıcaklığı 30 °C'den 70 °C'ye çıkmıştır (53). Yapılan çalışmalar ve çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar tablo 5' de verilmiştir.

Tablo 5. PV/T Sistemlerle Alakalı Yapılan Çalışmaların Kısa Özeti (54)

Araştırmacı	Çalışma Tipi	Alınan Sonuçlar
Beniwal ve Sainthiya 2019	Su ile soğutma	Elektriksel verim %11-14 arası, termal verim ise %22-25 arası olarak bulunmuştur.
Misha ve diğerleri 2020	Su ile soğutma	Elektriksel verim %11,71, termal verim ise %59,6 olarak bulunmuştur.
Rejeb ve diğerleri 2016	Nanoakışkan ile soğutma	Elektriksel güç verimini %13,5, ısı verimi ise %76,88 olarak bulmuşlardır.
Rubbi ve diğerleri 2020	Nanoakışkan ile soğutma	Elektriksel verimi %14,20, termal verimi %84,25 olarak hesaplamışlardır.
Slimani ve diğerleri	Hava ile soğutma	Elektriksel verim %10,65 olarak, termal verim ise %44 olarak bulunmuştur.
Arslan ve diğerleri 2020	Hava ile soğutma	Elektriksel verim %13,98 olarak, ısı verim %49,5 olarak hesaplanmıştır.
El-Samie ve diğerleri 2020	CPV/T	Elektriksel verim %7,1, termal verim ise %48,8 olarak bulunmuştur.
Zhou ve diğerleri 2019	Isı pompası ile soğutma	Elektriksel verim %14,6-15,8 arasında, termal verim ise %39,3-42,2 arasında bulunmuştur.
Koşan ve diğerleri 2020	Isı pompası ile soğutma	Elektriksel verim %12,27 ve ısı verim %53,66 olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada PV sistemlerinde yoğun ışınlam sonrası hücrelerde meydana gelen aşırı ısıyı çekmek ve yararlı termal ısı elde etmek amacıyla bir PV/T sistemi geliştirilmiştir.

Literatürde hakkında birçok çalışma bulunan ısı pompasıyla soğutma işlemi yapılmıştır. Bu ısı pompası ile soğutma sistemi için buharlaştırıcıya yeni bir tasarım öne sürülmemiştir. Kullanılan ısı pompasına kaynak olabilmesi için fotovoltaiik sistemden çekilen ısı kaynak olarak aktarılmıştır. Fotovoltaiik panellerin arka kısımlarına yerleştirilen buharlaştırıcı (evaporatör) sayesinde kolektörün aşırı ısınması korunmuştur. Yerleştirilen evaporatör ile panel arka kısmındaki ara yüzeyden ısı çekilmektedir. Buharlaştırıcıda kullanılan akışkan R-134A'dır. Buradan çekilen ısı kullanılabilir olan suya aktarılmıştır. Isı transferini ve evaporatör içi akışkanın türbülansını artırmak için buharlaştırıcı içine çeşitli şekillerde (altıgen, silindirik, delta, dikdörtgen) kanatçıklar eklenmiştir.

MATERYAL VE METOT

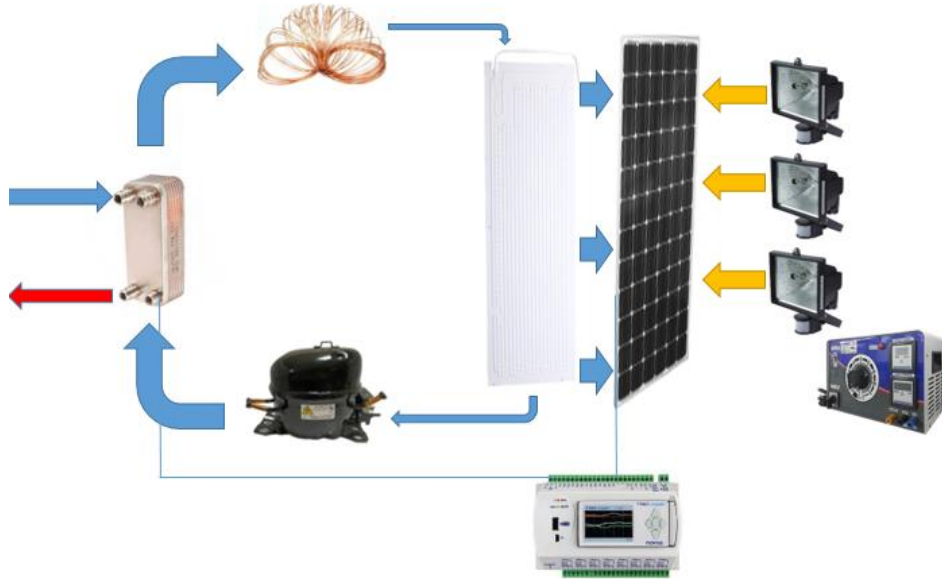
Deney Düzeneği

Bu tez çalışmasının deneyleri Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada hücre sıcaklığı yükseliş i ile ortaya çıkan elektriksel verim düşüşünün önüne geçerek panelden çekilen ısı ile ikincil bir enerji kaynağı üretmektir. Bu amaç doğrultusunda Şekil 13 ile görseli sunulan deney sistemi imal edilerek deneyler Yüzey Yanıt deney optimizasyon yöntemi ile yapılmıştır.



Şekil 13. Deney sisteminin genel görüntüsü

Şekil 13'te görülen deney düzeneğinde endüstriyel olarak sıklıkla kullanılan evaporatör fotovoltaik panel ile termal macun ile direkt temas halindedir. Soğutma çevriminde ayrıca plakalı bir eşanjör kondenser olarak kullanılmıştır. Bu eşanjörden kullanım şebeke suyu 150, 200, 250 L/h debilerinde geçerek fotovoltaik panelden alınan ısıyı alarak sistemden ayrılmaktadır. Soğutma çevriminde kullanılan R-134a soğutucu akışkanı 250 W gücünde bir kompresör ile sıkıştırılmaktadır. Ayrıca soğutma çevriminde kısılma vanası vazifesini yerine getiren 2, 2.5 ve 3 metre uzunluklarında kılcal borular kullanılmıştır. Şekil 12'te deney düzeneğinin şematik görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 14. Deney düzeneği şematik görüntüsü

Deney düzeneğinde kullanılan ekipman ve cihazlar aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

Debimetre (LZS-15)



Şekil 15. Lzs-15 debi ölçer

Şekil 15'te görseli verilen ve deney sisteminde kullanılan polimer malzeme esaslı debimetrenin, ölçüm hassasiyeti 60 l/h'dir. Şamandıralı debimetre ayrıca asit ve alkali korozyon direncine karşı iyi bir dirence sahiptir. Debimetre çalışma basıncı maksimum 0.6Mpa değerinde olup 0-60 °C aralığında hassas ölçüm yapabilmektedir. Deneylerde 150, 200, 250 L/h olarak Yüzey Yanıt yöntemi için farklı debi değerleri kullanılmıştır.

Kompresör

Isı pompası sisteminde basınçlandırma ve çevrime kinetik enerji girişini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Çevrime 3/8" çapında bakır borular kullanılarak bağlantısı

yapılmıştır. Kompresörün aktüel elektrik tüketimi 240-255 Watt aralığındadır. Deneylerde kullanılan kompresör görseli Şekil 16te sunulmuştur.



Şekil 16. Deneylerde kullanılan kompresör

Kondenser

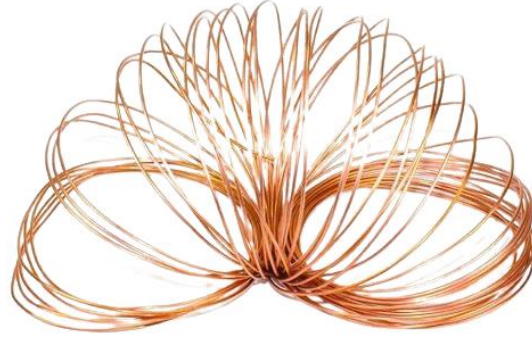
Soğutma sisteminde R-134a soğutucu akışkanın fotovoltaiik panele akuplasyonu sağlanan evaporatörden çektiği ısıнын kullanım şebeke suyuna aktarıldığı kısımdır. Şekil 17’te deneylerde kullanılan kondenserin görseli sunulmuştur.



Şekil 17. Deneylerde kullanılan kondenser

Genleşme elemanı

Soğutma çevriminde kompresör ile basınçlandırılan soğutucu akışkan R-134’nın basıncının düşürülerek çevrimin tamamlanması amacıyla kullanılmaktadır. Deneylerde 2, 2.5 ve 3 metre uzunluklarında kılcal borular kullanılmıştır. Şekil 18’te deneylerde kullanılan kılcal borunun görseli sunulmuştur.



Şekil 18. Deney sisteminde genleşme elemanı olarak kullanılan kılcal boru

Drier (Kurutucu)

Soğutma çevriminde kompresör gönderilen soğutucu akışkanın tam olarak gaz fazına geçmesini sağlayan eleman olarak kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan drier görseli Şekil 19’te sunulmuştur.



Şekil 19. Kurutucu (Drier)

Basınç ölçüm saati

Deneylerde yüksek ve düşük basınçları belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Şekil 20’te deneylerde kullanılan basınç ölçüm elemanının görseli sunulmuştur.



Şekil 20. Basınç ölçüm elemanı

Soğutucu akışkan

Deney sisteminde soğutucu akışkan olarak R-134a kullanılmıştır. Şekil 21’te deneylerde kullanılan soğutucu akışkan tüpünün görseli sunulmuştur.



Şekil 21. R134-a Soğutucu akışkan

Hassas terazi

Deneylerde kullanılan soğutma çevrimi özgün tasarıma sahip olması sebebiyle içeriğinde kullanılacak soğutucu akışkan miktarının deneysel olarak tayin edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla deneylerde kullanılmakta olan hassas terazi görseli Şekil 22’te sunulmuştur.



Şekil 22. Hassas terazi

Veri kaydedici

Deney sisteminde kullanılan veri kaydedici ile farklı sıcaklık sınırları arasında çalışmakta olan çevrimin verileri gerçek zamanlı olarak kayıt altına alınmıştır. Deney sisteminde 8 adet sıcaklık sensörü kullanılarak veri kaydedicide kaydedilmiştir. Deney sisteminde kullanılan veri kaydedicinin görseli Şekil 23’te sunulmuştur.



Şekil 23. Veri kaydedici

Tablo 6. Veri Kaydedici Teknik Özellikleri

Parametre	Özellik
Analog Giriş	8 adet termočift (Termokupllar, V, mV, mA, Pt100 ve Pt1000)
Hassasiyet	$\pm 0,15$
Röle	2 adet
RS485	Modbus protokolü
Desteklenen Protokol ve Servisler	TCP/IP, DHCP, http, SMTP, SNMP, Modbus RTU, Modbus TCP, FTP sunucu ve client.
Dâhili Hafıza	2 MB
SD Kart	16 MB
Çalışma	0...50°C
Güç Besleme	220 V AC 50 HZ
Ölçüler	16,5x11,7x7 santimetre
HART® Sıcaklık Vericisi	TxIsoRail-HRT, kanıtlanmış HART® sertifikası kalitesini NOVUS cihazlarının sağlamlığı ile birleştirir. Verici, HART® sertifikalı cihazlarla uyumludur.

Voltaj regülatörü

Deney sisteminde projektörlere verilen voltaj ve akımın deney parametrelerinde belirtilen 800, 900 ve 1000 W/m² değerlerinde olmasını sağlayan elemandır. Deneylerde kullanılan voltaj regülatörü Şekil 24’te görülmektedir.



Şekil 24. Voltaj regülatörü

Projektörler

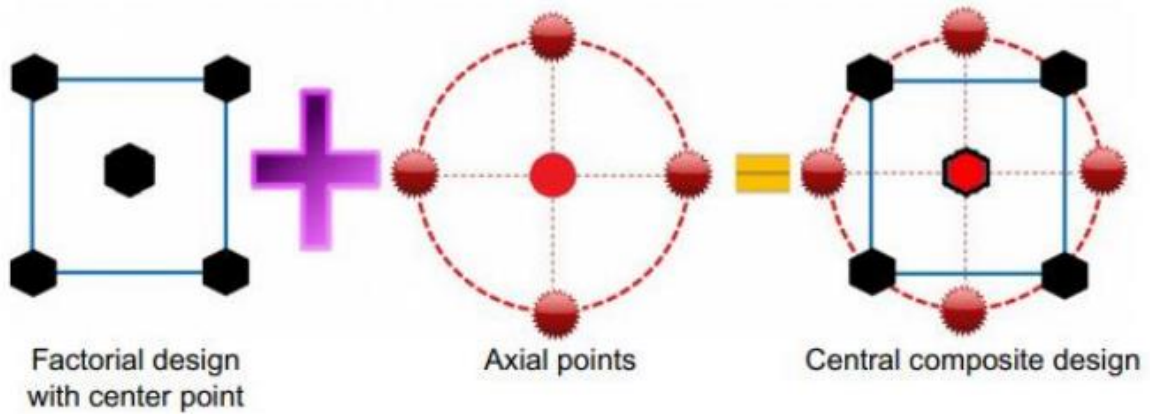
Deney düzeneğinde güneş ışınlamını simüle etmek amacıyla 500 w gücünde 4 adet halojen projektör kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan projektörlerin görseli Şekil 25'te sunulmuştur.



Şekil 25. Projektör

Yüzey Yanıt Yöntemi

Fotovoltaik sistemlerde aşırı ısınma sebebiyle düşen elektriksel performansın tekrar yüksek mertebelere çekilmesi amacıyla yapılan deneylerde Yüzey Yanıt Yöntemi, merkezi birleşik tasarım kullanılmıştır. Merkezi birleşik tasarım olarak adlandırılan CCD'nin tez kapsamında kullanılmasının nedeni, modelleme işleminin daha geniş aralıklar için tercih edilebilir olmasıdır.



Şekil 26. Merkezi Birleşik Tasarımın grafiksel gösterimi

CCD'de alfanın değişkenliği sebebiyle daha fazla noktada gözlem yapılmasına olanak sağladığından modelin tahmin gücü ve kalitesi artırmak için alternatif bir uygulamadır. Merkezi noktalarda ve yüksek sayıda deney tekrarı ile tepkideki değişimler ve eğrilikler daha detaylı şekilde tespit edilebilmektedir. Deneysel parametrelerin seçimi yapılması ile birlikte seçilen parametrelere karşılık gelen yanıtlar arasındaki uyumu incelemek amacıyla merkezi

birleşik tasarım uygulamasının kullanılması olabildiğince uygundur. Bu doğrultuda seçimi yapılan deneysel parametrelerin belirli bir aralık için 2.dereceden bir denklem ile ifade etmek mümkündür.

$$y = (b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2)$$

Burada b_0 kesim değerini; x_1, x_2, x_3 seçilen değişkenlerin temel etkilerini; x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3 seçilen değerlerin birbiriyle etkileşimlerini ve x_1^2, x_2^2, x_3^2 'de eşitliğin star noktalarını ifade etmektedir [60,61]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Işınım	Kond debi	Boru uz.		Işınım	Kond debi	Boru uz.		COP	Verim
2	7	1	1	1	-1	1	1		800	250	3		1,83	0,1
3	9	2	-1	1	-1	0	0		800	200	2,5		1,92	0,11
4	10	3	-1	1	1	0	0		1000	200	2,5		1,96	0,11
5	12	4	-1	1	0	1	0		900	250	2,5		2	0,11
6	2	5	1	1	1	-1	-1		1000	150	2		2,61	0,12
7	16	6	0	1	0	0	0		900	200	2,5		2,02	0,11
8	14	7	-1	1	0	0	1		900	200	3		1,9	0,1
9	1	8	1	1	-1	-1	-1		800	150	2		2,14	0,11
10	15	9	0	1	0	0	0		900	200	2,5		1,92	0,11
11	11	10	-1	1	0	-1	0		900	150	2,5		2,03	0,11
12	13	11	-1	1	0	0	-1		900	200	2		2,06	0,11
13	3	12	1	1	-1	1	-1		800	250	2		2,01	0,11
14	18	13	0	1	0	0	0		900	200	2,5		1,97	0,11
15	19	14	0	1	0	0	0		900	200	2,5		1,91	0,1
16	17	15	0	1	0	0	0		900	200	2,5		1,88	0,1
17	6	16	1	1	1	-1	1		1000	150	3		2,03	0,11
18	8	17	1	1	1	1	1		1000	250	3		1,95	0,11
19	20	18	0	1	0	0	0		900	200	2,5		1,86	0,1
20	5	19	1	1	-1	-1	1		800	150	3		1,99	0,11
21	4	20	1	1	1	1	-1		1000	250	2		2,19	0,11

Şekil 27. Tasarım tablosu

Tasarımdaki çalıştırmaların sırasını görmek ve her çalıştırma için faktör ayarları için tasarım tablosunu kullanılmaktadır. Tasarım tablosunda bulunan sütunların üstündeki harfler faktörleri temsil ederek kullandığınız sırayı takip eder. Minitab programı ile merkezi birleşik bir tasarım ayarları,

- Düşük faktör seviye durumunda -1
- Yüksek faktör seviye durumunda 1
- Düşük ve yüksek seviye arasındaki orta noktada olması durumunda 0

olarak gösterilmektedir.

Termodinamik altyapı

Fotovoltaik panelin yüksek hücre sıcaklıkları sebebiyle elektriksel verim kayıplarının önüne geçmek amacıyla yapılan deneylerde kullanılan termodinamik altyapı içeriğinde ısı pompası için COP hesaplamaları ve 1. yasa analizleri yer almaktadır.

Kütlenin korunumu (Süreklilik)

Sabit sürekli akışlı sistemlerde sınırlar içerisinde zaman ile kütle değişmemektedir ($\dot{m}_{KH} = \text{sabit}$). Kontrol hacmi sınırlarından geçerek içeri giren ve çıkan kütlenin eşit miktarda olması gerekmektedir. Deney sisteminde sürekli akışlı açık sistem olarak evaporatör çalışmaktadır. Evaporatörde faz dönüşümü olmasına karşın, sistem sınırlarına giren sıvı fazdaki soğutucu akışkan R-134a gaz fazında sistemi terk etmektedir.

$$\left[\begin{array}{c} \text{Sabit bir zaman diliminde} \\ \text{Kontrol Hacmine giren kütle} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Aynı zaman diliminde} \\ \text{Kontrol Hacminden çıkan kütle} \end{array} \right]$$

Bu ifade ise matematiksel olarak;

$$\sum_g \dot{m} = \sum_{\dot{c}} \dot{m} \quad [\text{kg/s}] \quad (1)$$

ile belirtilmektedir.

Enerjinin korunumu

Deney sistemi özelindeki evaporatörde ve genel olarak sürekli akışlı açık sistemlerde, proses esnasında sistemin toplam enerjisinde değişiklik olmamaktadır. ($\Delta E_{KH} = 0$).

$$\left[\begin{array}{c} \text{Belirli zaman diliminde} \\ \text{sınırlardan geçen toplam enerji} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Aynı zaman diliminde sınırlardan} \\ \text{çıkan toplam enerji} \end{array} \right]$$

İfadesi deney sistemi için matematiksel olarak;

$$\dot{Q}_{isl} = \dot{m}(h_{\dot{c}} - h_g) \quad [\text{kW}] \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{isl} = \dot{m} \cdot c_p (T_{\dot{c}} - T_g) \quad [\text{kW}] \quad (3)$$

İfadesindeki $\dot{Q}_{isl}$ evaporatöre giren soğutucu akışkan R134-a'nın ısı olarak kazandığı güçtür. Deney sistemi için enerji dengesi yazılması gerekirse;

$$\dot{Q}_{güneş} = \dot{m}[(h_{\dot{c}} - h_g)] + \dot{Q}_{elk} + \sum_{\text{kayıplar+yansıma}} \quad [\text{kW}] \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{güneş} = \dot{m}[c_p(T_{\dot{c}} - T_g)] + I.V + \sum_{\text{kayıplar+yansıma}} \quad [\text{kW}] \quad (5)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifadedeki $\dot{Q}_{güneş}$ güneş tarafından sisteme ulaşan toplam radyasyon, h ifadeleri R-134'nin entalpisi, T ifadeleri soğutkan sıcaklıkları ve $\dot{Q}_{elk}$ ise hücrelerin zamana bağlı olarak ürettikleri gücü temsil etmektedir ($\dot{Q}_{elk} = I.V$). Tasarlanan deney düzeneği için termodinamiğin en temel yasası olan 1. yasa yazılması gerekirse;

$$\eta_u = \frac{\dot{Q}_{elk}}{\dot{Q}_{güneş}} \quad (6)$$

şeklinde belirtilir.

Isı pompası çevrimlerinde performans katsayısı

Soğutma makinelerinde performansı belirlemek amacıyla (COP) katsayısı kullanılmaktadır. Bu performans katsayısı hesaplanırken, soğutma makinelerinde ve ısı pompalarında kullanılan yararlı ısı değişmekle birlikte faydalı ısının harcanan güce oranı ile belirlenmektedir. COP katsayısının kullanılmasındaki amaç ise matematiksel olarak verimin 1'den büyük olmamasıdır.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{atılan}}{\dot{W}_{komp}} \quad (7)$$

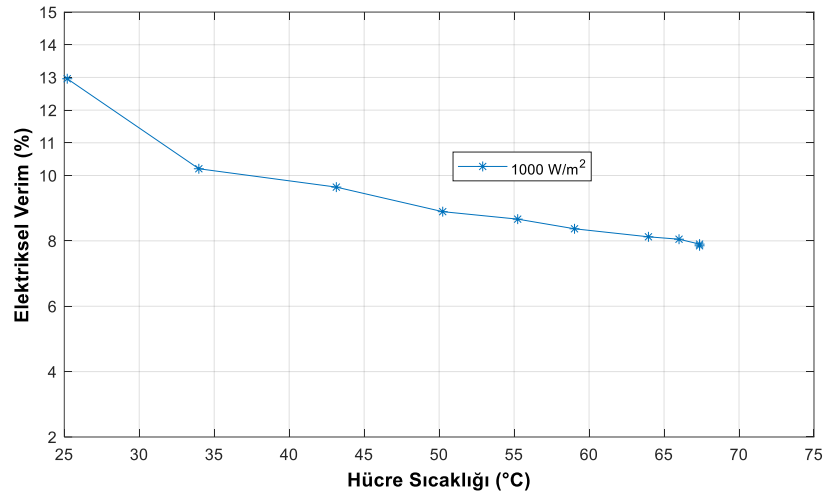
İfadesindeki COP verim ifadesi yerine kullanılan katsayı, $\dot{Q}_{atılan}$ deney sisteminde ısıtılarak kullanıma sunulan suyun ısısını ve $\dot{W}_{komp}$ ise deney sisteminde kullanılan kompresörün tükettiği gücü ifade etmektedir.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Deney düzeneğinde ölçümlere başlamadan önce sıcaklık sensörlerinin daha hassas ölçümler alabilmesi için kalibrasyonlar yapılmıştır. Deney sırasında 8 adet sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Deneyler sırasında laboratuvar sıcaklıklarının ise 14-17°C aralığında olduğu belirlenmiştir.

Elektriksel Verim Deneyleri

Bu çalışmanın amacı hücre sıcaklığının yükselmesi sebebiyle elektriksel verimde ortaya çıkan düşüşü engelleyerek ısı enerji üretmektir. Bu amaç çerçevesinde, deneylerde kullanılan fotovoltaik panelin hücre sıcaklığı yükselişi ile elektriksel veriminde meydana gelecek olan kaybın nasıl bir karakteristiğe sahip olduğu belirlenmiştir. Bu deneyler sonucunda elde edilen grafik Şekil 28’te sunulmuştur.



Şekil 28. Fotovoltaik panelin 1000 w/m2 ışınlamada elektriksel verim hücre sıcaklığı eğrisi.

Deney sisteminde kullanılan fotovoltaik hücrelerin ürettikleri elektriksel verimin hücre sıcaklığı ile nasıl bir karakteristiğe sahip olduğu Şekil 28’te görülmektedir.

Soğutma sisteminde gaz miktarı tayini

Deneylere başlanılmadan önce soğutma sisteminde kullanılması gereken soğutucu akışkan miktarının tespit edilmesi önemlidir. Bu işlemde öncelikle sisteme 100 gram soğutucu akışkan R-134a eklenilerek deneyler yapılmıştır. Deneylerde elde edilen COP katsayısı değerlerine göre sistemde kullanılması gereken soğutucu akışkan miktarı belirlenmiştir.

Tablo 7. Soğutucu Akışkan Miktarı Tayini Deneyleri

Gaz Miktarı (gr)	COP
100	1,75
150	1,94
200	2,11
250	2,09
225	2,19

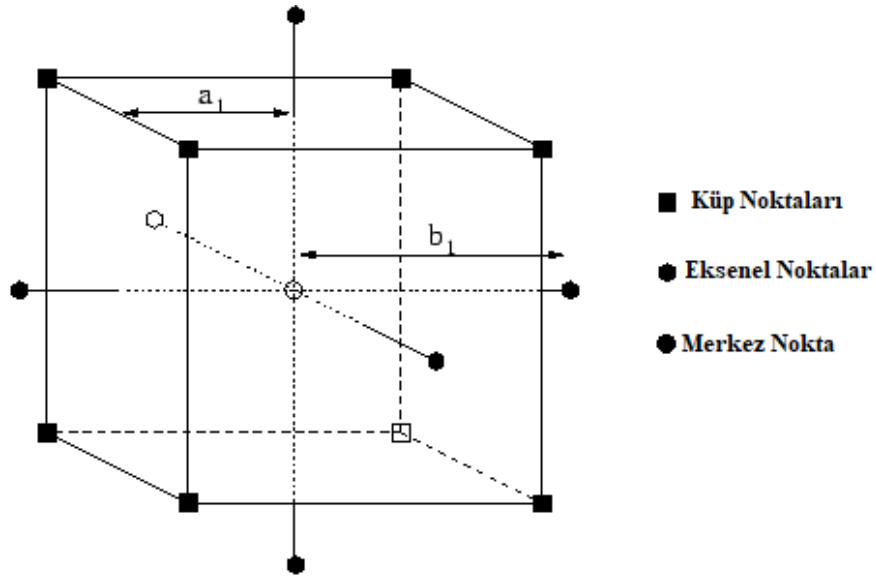
İlk deneylerin tamamlanmasının akabinde Yüzey Yanıt Yöntemi ile belirlenen deneyler yapılmıştır.

Tablo 8. Design Summary Design Summary

Factors:	3	Replicates:	1
Base runs:	20	Total runs:	20
Base blocks:	1	Total blocks:	1

$\alpha = 1$

Alfa (α), merkezi bileşik bir tasarımda her eksen noktasının merkezden olan uzaklığıdır.

**Şekil 29.** Kübik sistemde noktaların gösterimi

- $\alpha < 1$ olması halinde eksen noktaları kübe yerleştirilmektedir.
- $\alpha = 1$ olması halinde eksen noktaları küpün yüzlerine yerleştirilmektedir.
- $\alpha > 1$ olması halinde eksen noktaları küpün dışına yerleştirilmektedir.

Tablo 9. İki Aşamalı Faktöriyel Nokta Tipleri: Tam Faktöriyel Nokta Tipleri

Küp Noktaları:	8
Küpteki Merkez Noktalar:	6
Eksenel Nokta:	6
Eksendeki Merkez Nokta:	0

Merkezi birleşik tasarım (CCD), içeren iki seviyeli tam faktöriyel veya kesirli faktöriyel tasarımıdır. Yapılan çalışmada tam faktöriyel tercih edilmiştir. Bu doğrultuda tasarım 8 küp noktası, 6 eksenel nokta ve küp bloklarda 6 merkez noktası ile oluşturulmuştur. Merkez noktası merkeze eklenirken, eksen noktaları diğer faktörlerin her bir düzeyi için bir faktörün düzeylerinin ortasına uygulanır.

Tablo 10. ANOVA Yüzey Yanıt Regresyonu

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0,467983	0,051998	8,25	0,001
Linear	3	0,311100	0,103700	16,46	0,000
A	1	0,072250	0,072250	11,47	0,007
B	1	0,067240	0,067240	10,67	0,008
C	1	0,171610	0,171610	27,24	0,000
Square	3	0,109345	0,036448	5,79	0,015
A*A	1	0,000864	0,000864	0,14	0,719
B*B	1	0,023645	0,023645	3,75	0,081
C*C	1	0,009164	0,009164	1,45	0,256
2-Way Interaction	3	0,047538	0,015846	2,52	0,118
A*B	1	0,005512	0,005512	0,88	0,372
A*C	1	0,030013	0,030013	4,76	0,054
B*C	1	0,012013	0,012013	1,91	0,197
Error	10	0,062997	0,006300		
Lack-of-Fit	5	0,045464	0,009093	2,59	0,160
Pure Error	5	0,017533	0,003507		
Total	19	0,530980			

Varyans analizi modelin anlamlılığı test edilmek amacıyla kullanılmaktadır. P- value değerinin 0.05' in altında olması durumunda anlamlı olarak kabul edilmektedir. Tablo 3'e bakıldığında A (ışınım), B (kond debi) ve C (boru uzunluğu) olmak üzere üç ana etki istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. En önemli ana etki değeri boru uzunluğu olarak belirlenmiştir. Borunun uzun veya kısa olması COP değerini doğrudan etkilemektedir.

İstatistiksel olarak etkisi önemsiz görülen terimlerin P-value değerleri 0,05 değerinden büyüktür. Model uyum eksikliği (Lack of fit) modelin matematiksel formunun uygunsuzluğundan kaynaklanan hataya denilmektedir. Model uyum eksikliği parametresinin P-value değerinin 0,05' e yakın olması istenmeyen bir durumdur ve P değeri $\leq \alpha$ olması halinde uyumsuzluk istatistiksel olarak anlamlıdır. Ancak uyum eksikliği etkisinin değeri 0,05 den küçük veya eşit olması durumunda model ilişkisinin hatalı olduğu sonucuna varılır.

Düzeltilmiş ortalama kareler (Adj MS) ve düzeltilmiş kareler toplamı (Adj SS) olarak tanımlanmaktadır. Düzeltilmiş ortalama kareler giriş sırasına bakılmaksızın bir terim veya modelin ne kadar varyasyonu olduğunu açıklamak için kullanılırken düzeltilmiş kareler toplamı modelde bulunan her bir terim tarafından açıklanan yanıt verilerindeki varyasyon miktarını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır.

Verilerin bilgi miktarı olarak adlandırılan toplam serbestlik derecesi DF ile gösterilmektedir. Model tasarımı yaparken bilinmeyen değerler bulunmakta olup bu değerleri tahmin etmek amacıyla toplam serbestlik derecesi kullanılmaktadır. Ayrıca bir terimin ne kadar bilgi kullandığını da göstermek amacıyla kullanılmaktadır. Hata için DF saf hata ve uyumsuzluk olarak ikiye ayrılmaktadır. Uyumsuzluk kısmında tasarlanılan model formunun istenilen özellikleri karşılayıp karşılayamadığını test edilmektedir. Saf hatanın DF değeri ne kadar yüksek olursa uyumsuzluk testinin gücü o kadar büyük olacağı öngörülmektedir.

Tablo 11. Model Özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0793707	88,14%	77,46%	0,00%

Özet tablosunda bulunan S değeri model yanıtının ne kadar iyi tanımlandığını belirtmek amacıyla kullanılan bir yanıt değişkenidir. Bu değişken ne kadar düşük olursa modelin o kadar iyi tanımlandığını ifade etmektedir. Ayrıca R^2 değerinin ise yüksek olması istenir. Çünkü yüksek olması halinde model verileri ile uyumunun o kadar iyi olduğunu göstermektedir. Tablo 4'te görüldüğü gibi modelin tepkideki değişimlerinin %88,14'ünü açıklayabildiğini göstermektedir. R-sq (pred) ise modelinizin yeni gözlemler için yanıtı ne kadar iyi tahmin ettiğini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. R-sq (pred) değeri negatif olabilmektedir ancak Minitab bu durumlarda sıfır olarak görüntülenmektedir. R-sq (pred) değeri, R-sq değerinden düşük olması halinde aşırı uyum sağlanabileceği öngörülmektedir.

Tablo 12. Kodlanmış Katsayılar

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1,9249	0,0273	70,55	0,000	
A	0,0850	0,0251	3,39	0,007	1,00
B	-0,0820	0,0251	-3,27	0,008	1,00
C	-0,1310	0,0251	-5,22	0,000	1,00
A*A	0,0177	0,0479	0,37	0,719	1,82
B*B	0,0927	0,0479	1,94	0,081	1,82
C*C	0,0577	0,0479	1,21	0,256	1,82
A*B	-0,0262	0,0281	-0,94	0,372	1,00
A*C	-0,0613	0,0281	-2,18	0,054	1,00
B*C	0,0388	0,0281	1,38	0,197	1,00

Bir regresyon analizinde ne kadar çoklu bağlantı olduğunu açıklamak için Varyans enflasyon faktörü (VİF) kullanılmaktadır. Regresyon katsayılarının varyansı artırabileceği için çoklu doğrusal bağlantıları sıkıntılıdır.

VİF değeri için yorumlamak istersek;

VİF	Tahmin edicinin durumu
VİF = 1	ilişkili değil
$1 < \text{VİF} < 5$	Orta derecede ilişkili
VİF > 5	Yüksek korelasyonlu

VİF değerinin 5'ten büyük olması halinde, yüksek korelasyon sebebiyle regresyon katsayısının zayıf bir şekilde tahmin edileceği öngörülmektedir.

T değeri ise katsayı ile hata oranı arasındaki oranı ölçmektedir. Minitab aracılığı ile hesaplanan kritik değer ile T değeri karşılaştırılarak sıfır hipotezinin reddedilip reddedilemeyeceğine karar verilmektedir. T değeri kritik değerden büyük olması halinde hipotez reddedilmektedir.

SE katsayısı tahmininin kesinliğini ölçmek için kullanılmaktadır. A (ışınım), B (kond debi) ve C (boru uzunluğu) parametrelerin her biri aynı SE katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Böylelikle her biri aynı hassasiyetle tahmin edilebilmektedir.

Tablo 13. Kodlanmamış Regresyon Denklemi

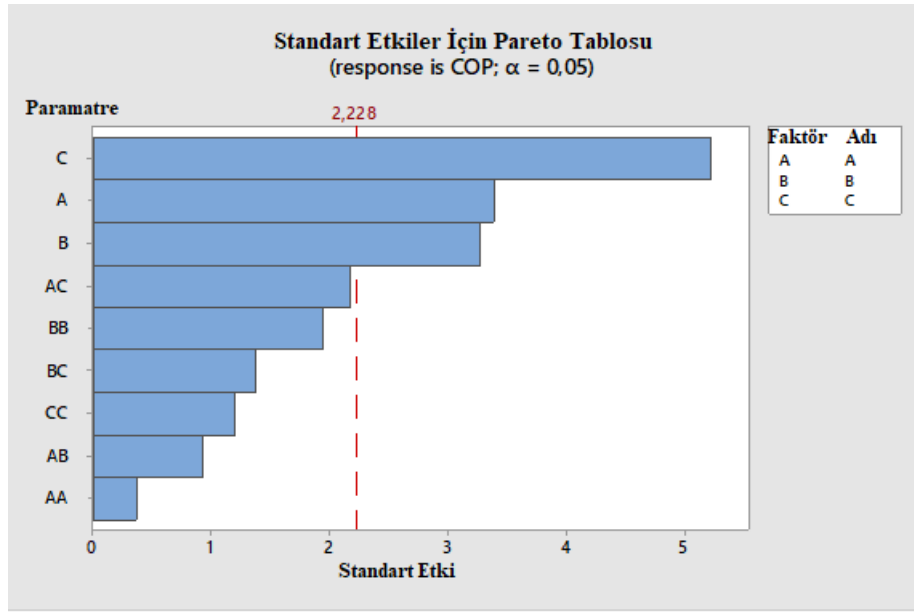
$$\begin{aligned} \text{COP} = & 1,9249 + 0,0850 A - 0,0820 B - 0,1310 C + 0,0177 A*A + 0,0927 B*B \\ & + 0,0577 C*C - 0,0262 A*B - 0,0613 A*C + 0,0388 B*C \end{aligned}$$

Regresyon denklemi yanıt ile modeldeki terimler arasındaki ilişkiyi açıklamak için kullanılmaktadır. Regresyon denklemleri kodlanmış veya kodlanmamış olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kodlanmamış regresyon denklemlerde Minitab aracılığı ile kodlanmış katsayılar kodlanmamış katsayılara dönüştürülmüştür. Regresyon denklemi yapılan çalışmada COP değeri için görüntülenmiştir.

Tablo 14. Olağandışı Gözlemler İçin Uygunluk ve Ölçümler

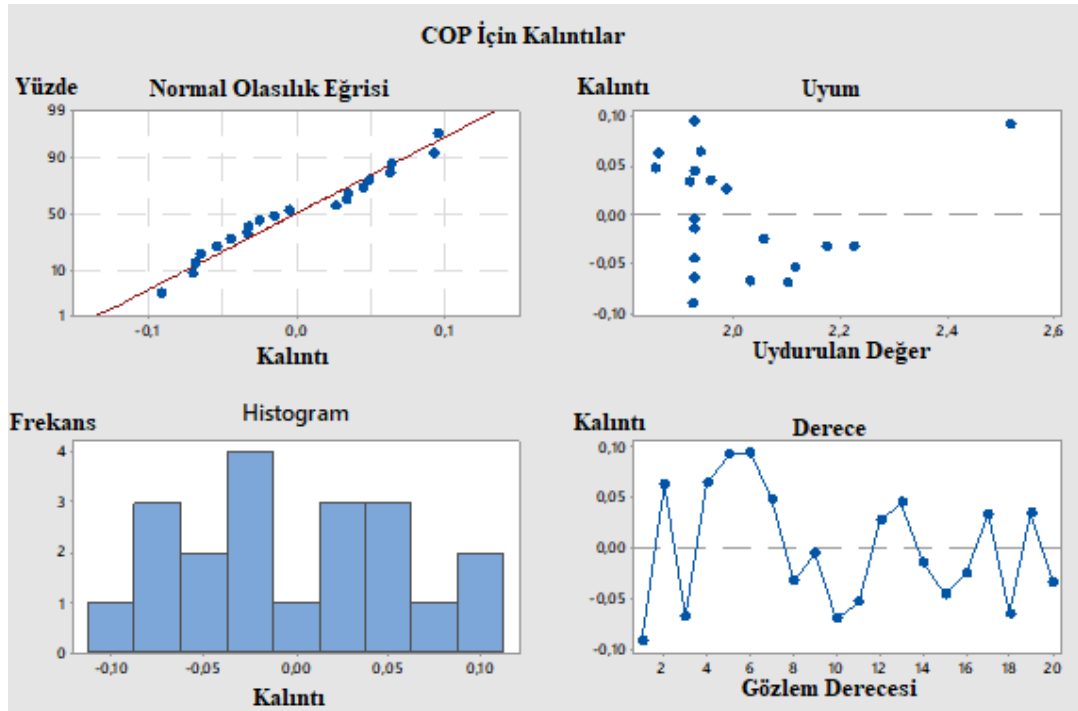
Obs	COP	Fit	Resid	Std Resid	
1	1,8300	1,9213	-0,0913	-2,53	R
5	2,6100	2,5173	0,0927	2,57	R

Bir regresyon veya ANOVA modeli üzerinde orantısız bir etkiye sahip olan gözlemler olağandışı gözlemler olarak adlandırılmaktadır. Bu gözlemler anlamlı bir katsayının önemsiz görünmesi gibi olumsuz sonuçlara sebep olduğundan dolayı belirlenmesi oldukça önemlidir. X yönünde aşırı olan kaldıraç noktaları ve büyük artıklar olağan dışı gözlemlere sebep olur. Tablo 8’de görüldüğü gibi yapılan çalışmada R yani aşırı standartlaştırılmış bir kalıntı olağan dışı gözlemlere sebep olmuştur. Minitab, 2’den büyük mutlak değerlere sahip standart artıkları isimlendirmektedir.



Şekil 30. Pareto Tablosu

Pareto grafiği model üzerine etkileyen ana etki parametrelerinin önem sırasını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Pareto grafiğinde bulunan referans çizgi ise hangi parametrelerin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu belirtmektedir. Şekil 30'teki pareto grafiğinde COP değerini doğrusal olarak etkilenmesine sebep olan A (ışınım), B (kond debi) ve C (kılcal boru uzunluğu) faktörlerini temsil eden çubuklar 2,228'deki referans çizgisini kesmektedir. Böylelikle bu faktörler mevcut model terimleriyle istatistiksel olarak 0.05 düzeyinde anlamlıdır.



Şekil 31. COP için kalıntı grafikleri

Şekil 31’te bulunan ilk grafik artıkların normal olasılık grafiği olarak bilinmekte olup yaklaşık düz bir çizgi şeklinde oluşması istenen bir durumdur. Ancak yapılan çalışma sonucunda hattan uzakta bulunan birkaç nokta sebebiyle bazı aykırı değerler içeren bir dağılım olduğu görülmektedir. İkinci grafikte ise kalıntılar y ekseninde ve uygun değerleri x ekseninde gösterilmektedir. Bunun sonucunda ideal olarak noktaların 0’ın her iki tarafına rastgele bir şekilde düşmesi beklenmektedir. Ayrıca değerler eşit bir şekilde dağılmadığı için sabit olmayan varyansa sahip olduğu da görülmektedir. Histogram grafiği tüm gözlemler için kalıntıların dağılımı gösterilmektedir. Histogram desenleri diğerlerinden daha uzak bir bar oluşması halinde aykırı değer ve bir yönde uzun bir kuyruk oluşması halinde ise çarpıklık olarak görünmektedir. Son grafik ise kalıntıların birbirinden bağımsız olduğu varsayımını doğrulamak için kullanılmaktadır.

Tablo 15. Optimizasyon cevabı (COP İçin)

Cevap	Hedef	En Düşük	Hedef	En Yüksek	Ağırlık	Önem
COP	Maksimum	1,83	2,61	-	1	1

Optimizasyon işlemi sonucunda hedefin maksimum olarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

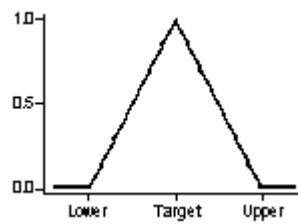
Tablo 16. Çözüm Tablosu

Çözüm	A	B	C	COP Uydurma	Kompozit Hedef
1	1	-1	-1	2,51734	0,881206

Yanıt optimizasyonu, bir veya birden fazla değişkeni birleşik olarak optimize eden değişken ayarları kombinasyonunun belirlenmesi amacıyla kullanılmakta olup birden fazla değişken bulunması halinde uygulanması daha uygundur.

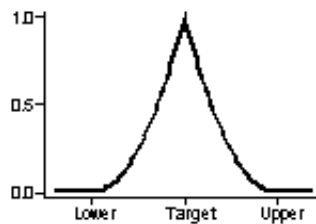
Arzu edilebilirliğin alt (veya üst) sınır ile hedef arasındaki aralıkta nasıl dağıldığını belirlemek amacıyla ağırlık kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada alt sınır ve hedef arasındaki aralık tercih edilmiştir. Ağırlık değeri ile hedef değere ulaşmanın önemini vurgulamak istenirse 0,1 ila 10 arasında bir değer seçilebilir:

- Hedef ve sınırların eşit öneme sahip olması halinde nötr bir ayar olan ağırlık = 1 olarak seçilmektedir.



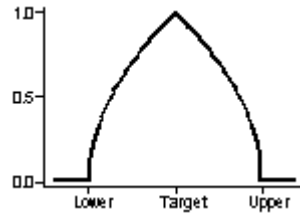
Ağırlık = 1

- Ağırlık > 1 olması halinde, tepkinin hedefe daha yakın hareket etmesi için belirli bir arzu edilebilirliği elde edebilmeyi gerektirir.



Ağırlık > 1

- Ağırlık < 1 olması halinde, tepkinin hedefe olabildiğince yakın hareket etmesini gerektirmez.



Ağırlık < 1

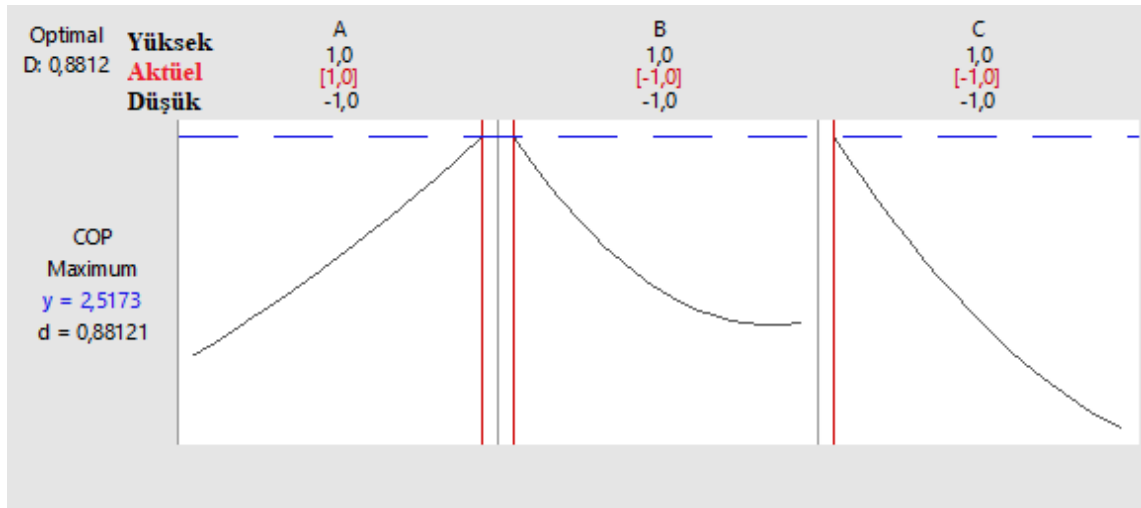
Ayrıca önem değerinin 1 olması halinde model için yanıt değerlerinin hepsinin eşit derecede önemli olduğu anlamına gelmektedir. Aslında önem değeri 0.1 ile 10 arasında değerler alabilir. Bu değer artması belirlenen parametrelerin önemliliği göstermektedir.

Tablo 17. Çoklu Yanıt Tahmini

Değişken	Ayar				
A	1				
B	-1				
C	-1				
Cevap	Uydurma	SE Uydurma	95% CI	95% PI	
COP	2,5173	0,0707	(2,3598; 2,6748)	(2,2805; 2,7542)	

Çoklu yanıt tahmin tablosu, algoritmanın tanımladığı en uygun değerleri görüntülemek amacıyla kullanılmaktadır.

Tahmin aralığı (PI), belirli bir değişken ayarları kombinasyonu için gelecekteki tek bir yanıt değerini içermesi muhtemel bir aralıktır. Tablo 9’da değişken olarak COP seçilmiş olup ortalama COP değeri 2,5173 olarak bulunmuştur. Gelecekteki tek bir yanıt değeri ise 2,2805 ile 2,7542 aralığındadır. Bu durumda tahmin değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğundan model için belirlenen PI uygundur. Daha dar tahmin aralıkları, daha kesin bir tahmine işaret eder



Şekil 32. Yanıt Grafiği

COP değerin belirlenmesinde önemli olan parametreler A (ışınım), B (kond debi) ve C (boru uzunluğu) olarak belirlenmiş olup her bir parametre için verilen öngörücüler için en uygun ayarları sağlayabilmek adına optimizasyon grafiği kullanılmıştır. Şekil 4'te görülen dikey kırmızı çizgiler hareket ettirilerek taşınılan konum için optimum değerler ayrıca belirlenebilmektedir. Mevcut değişken ayarları ışıınım = [1,0], kond debi = [-1,0] ve boru uzunluğu =[-1,0] şeklindedir. Ayrıca COP değerin yüksek olması istenen bir durum olduğundan maximum olarak değerlendirilmeye alınmış olup öngörülen değer 2,5173 iken bireysel tercih edilebilirliği 0.88121'dir. Birleşik istenirlik değeri (D) bireysel tercih edilebilirlik değeri (d) ile eşittir. Çünkü tek bir parametre için optimizasyon işlemi yapılmıştır. D değerin 1 yakın olması halinde tüm yanıtlar için olumlu sonuçlar elde edileceğinin göstergesidir.

Tepki yüzey metodolojisi birden fazla yanıtın optimizasyonu için istenirlik değeri kullanılmaktadır. İstenirlik değeri [61] formulası ile bulunulabilir [62].

$$d = \frac{U - y}{U - T}$$

d: istenirlik değeri

U: maksimum tepki değeri

y: optimizasyon sonucu hedeflenen değer

T: hedeflenen tepki değeri

Örnek Bir Hesaplama

Tez çalışması kapsamında yapılan optimizasyon deneylerinde sistemden elde edilen ısınım ve elektrik enerjisinin maksimum olması hedeflenmiştir. Hedeflenen bu duruma yapılan analizler sonucunda optimum şartlarda ulaşılmıştır. Bahsi geçen bu optimum şartlar; ışıınım için 1000 W/m², kondenser debisi için 150 l/saat, kılcal boru uzunluğu için ise 2 metre olarak belirlenmiştir. Bu şartlar altında elde edilen elektriksel verim ve ısı güç ise sırasıyla; %12 ve yaklaşık 300 watt olarak hesaplanmıştır. Optimum şartlar için elde edilen veriler Tablo 18'de sunulmuştur.

Tablo 18. Optimum şartlarda elde edilen veriler.

Elektriksel Güç (W)	Elektriksel Verim (%)	Isıl Güç (W)	Kayıp Güç (W)
60	12	300	140

Tablo 18’de görülen veriler optimum şartlarda sistemden elde edilen elektriksel ve ısı güçleri ve sistemden kaybedilen ısı güçtür. Sistemden elde edilebilecek maksimum güç toplamda 360 watt olmaktadır. Sisteme 1000 W/m² şiddetinde gelen ışıma panel üzerine tam olarak 500 watt olarak düşmektedir. Bu gücün 300 watt’lık kısmı ısı güce dönüştürülebilirken, 60 watt’lık kısmı ise elektriksel güç olarak elde edilmiştir. Sistemden ise 140 watt’lık güç çeşitli yollarla kaybedilmiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında fotovoltaiik sistemlerin sürekli çalışma şartları sırasında hücre sıcaklığı yükselişine bağılı olarak ortaya çıkan elektriksel verim düşüşünün önüne geçmek amacıyla deneysel yöntemler uygulanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 100 W gücünde bir fotovoltaiik panelin arka kısmına ısı pompası ünitesinin evaporatörü bütünleştirilmiştir. Yerleştirilen endüstriyel evaporatör ısı pompasının farklı rejimlerinde ve güneş ışınımının farklı yoğunluklarında deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada Taguchi deney optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bütünleştirilmiş sistem için ısı pompası özelinde kılcal boru uzunluğu ve kondenser debisi üçer seviyeli farklı parametreler olarak seçilirken fotovoltaiik sistem kısmında ışınım şiddeti üç seviyeli parametre olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda aşağıda maddeler halinde belirlenen sonuçlara ulaşılmıştır.

- Fotovoltaiik sistem 25°C hücre sıcaklığında iken fotovoltaiik sistemin elektriksel verimi maksimum seviyededir. İlgili sıcaklıkta elektriksel verim 1000 W/m² ışınım yoğunluğunda yaklaşık olarak %13 ölçülmüştür.
- Sıcaklığın yükselmesi ile fotovoltaiik hücrelerdeki kararsızlıklar sebebiyle elektriksel verimde literatüre uygun olarak düşüş gözlemlenmiştir.
- Hücre sıcaklığının 25°C'den yükselerek yaklaşık 34°C'ye gelmesi ile elektriksel verimde doğrusal ve hızlı bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum fotovoltaiik hücrelerin verimli çalışma sıcaklıklarının 25°C ve daha düşük sıcaklıklar olduğunu ortaya koymaktadır.
- 33°C ve daha yüksek hücre sıcaklıklarında nisbeten daha düşük elektriksel verim düşüşü gözlemlenmiştir. Ancak sürekli çalışma şartları altında elektriksel verim düşüşü ciddi boyutlara ulaşmaktadır.
- 1000 W/m² ışınım yoğunluğunda fotovoltaiik hücrelerin deneysel olarak elektriksel verim düşüşü %13 civarından %8 civarına gelmektedir. Bu da yaklaşık olarak %38'lik bir elektriksel verim düşüşü anlamına gelmektedir. Bu verim düşüşü ciddi bir kaybı göstermektedir.
- Çalışma kapsamında yapılan deneylerde kullanılan farklı parametreler içerisinde en yüksek etkiye sahip olan parametrenin kılcal boru uzunluğu olduğu belirlenmiştir.
- Kılcal boru uzunluğunun 2 metre olduğu durumda en yüksek COP katsayıları elde edilmiştir.

- Kılcal boru uzunluğunun yanı sıra sırasıyla kondenser debisi ve ısıtım şiddetinin COP katsayısı üzerinde etkilere sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneyler sonucunda fotovoltaiik sistemlerin ısı pompası sisteminin evaporatörü ile birleştirilerek elektriksel verimde ortaya çıkan düşüşün önüne geçilebileceği belirlenmiştir. Aynı zamanda sistemden çekilen ısıtımın yararlı olarak ta kullanılabileceği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Adham Makki, Siddig Omer, Hisham Sabir, Advancements in hybrid photovoltaic systems for enhanced solar cells performance, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 41, 2015, Pages 658-684.
- Ahmet Numan Özakın, Ferhat Kaya, Experimental thermodynamic analysis of air-based PVT system using fins in different materials: Optimization of control parameters by Taguchi method and ANOVA, Solar Energy, Volume 197, 2020, Pages 199-211.
- Amit Sahay, V.K. Sethi, A.C. Tiwari, Mukesh Pandey, A review of solar photovoltaic panel cooling systems with special reference to Ground coupled central panel cooling system (GC-CPCS), Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 42, 2015, Pages 306-312
- Bayrak, Fatih. (2022). Energy, Exergy and Sustainability Indicators of Photovoltaic Panel Cooling under Forced Convection. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 15. 340-359
- Du, B., Hu, E., & Kolhe, M., 2012. Performance analysis of water cooled concentrated photovoltaic (CPV) system. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(9), 6732-6736.
- Erin Gaucher-Loksts, Andreas Athienitis, Mohamed Ouf, Design and energy flexibility analysis for building integrated photovoltaics-heat pump combinations in a house, Renewable Energy, Volume 195, 2022, Pages 872-884.
- Fotovoltaik (PV) Panel Sisteminde Yüzey Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi. (2020). Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi , 12 (2), 565-578 .
- Garcia, Mayra & Wilkins, James & Riffat, Saffa. (2020). A Review of the Recent Development of Photovoltaic/Thermal (PV/T) Systems and Their Applications. Future Cities and Environment
- Gazbir: <https://www.gazbir.org.tr/uploads/page/Dunya-ve-Turkiye-Enerji-Gorunumu.pdf>
yazar gazbir
- González-Peña, David & Granados Lopez, Diego & Miguel, Ivan & Velasco, M^a. (2019). Novel design of a Thermal/PV solar panel with energy storage and Heat-Pipes.
- Hongbing Chen, Saffa B. Riffat, Yu Fu, Experimental study on a hybrid photovoltaic/heat pump system, Applied Thermal Engineering, Volume 31, Issues 17–18, 2011, Pages 4132-4138
- <http://www.gunessistemleri.com/pvthibrit.php>
- <http://www.gunessistemleri.com/pvthibrit.php>
- https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/61963/mod_resource/content/0/2.HAFTA.pdf
- <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1216697>
- <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>
- <https://evrimagaci.org/elektromanyetik-spektrum-tayf-nedir-12795>

<https://evrimagaci.org/yenilenebilir-enerji-fosil-yakitlar-ve-nukleer-enerji-hangisini-neden-tercih-etmeliyiz-8933> **yazar çağrı mert bakırcı yıl 2022**

<https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>

<https://iklim.gov.tr/montreal-protokolu-i-38>

<https://iklimgazetesi.com/turkiyenin-elektrik-uretiminde-disa-bagimlilik-ruzgar-ve-gunes-ile-2030a-kadar-yariya-indirilebilir/>

<https://muhendis.web.tr/sogutucu-akiskanlar-cevresel-etkileri/>

<https://muhendis.web.tr/sogutucu-akiskanlar-cevresel-etkileri/>

<https://slideplayer.com/slide/11142626/>

<https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world>

https://temizenerji.org/2021/02/16/yenilenebilir-enerji-fosil-yakitlardan-daha-pahali-gibi-gosteriliyor-ancak/?gclid=CjwKCAiAwomeBhBWEiwAM43YIFu5yuUkqorncoXl422Wy55Yag91x4XOK-kdexGFFDxK2OMdkxOMBoCiM4QAvD_BwE

<https://tesisatvesogutmaokulu.blogspot.com/2015/05/sogutucu-akiskanlar-ozellikleri-ve-ozon.html>

<https://web.itu.edu.tr/~kaymak/images/pv.html>

<https://www.aydinlatma.org/monokristal-ve-polikristal-gunes-panelleri-arasindaki-fark-nedir.html>

<https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/erzurum>

<https://www.greensolarnetwork.org/bilgi-bankasi/fotovoltaik-pv-gunes-enerji-sistemi-nedir-sistem-bilesenleri-nelerdir>

<https://www.onlinezeka.com/gunes-isigi-spektrumu/>

https://www.researchgate.net/publication/323639170_Futuristic_approach_for_thermal_management_in_solar_PVthermal_systems_with_possible_applications

https://www.researchgate.net/publication/338293927_PVT_Sistemler_Tipleri_Avantajlari_ve_Uygulamalari

<https://www.solar.ist/10-yilin-sonunda-kuresel-enerji-pazarina-gunes-ve-ruzgar-hakim-olacak1/sitesi>

<https://www.termodinamik.info/teknik-ceviri/sogutucu-akiskan-olarak-hidrokarbonlar>

<https://www.tesisat.org/sogutucu-akiskanlar-fiziksel-ozellikleri.html>

Hüseyin can baş, fotovoltaik sistemlerin performans değerlendirmesi, 2016, Karabük Üniversitesi----- bitirme tezidir.

Jinzhi Zhou, Xudong Zhao, Xiaoli Ma, Zhenyu Du, Yi Fan, Yuanda Cheng, Xinghui Zhang, Clear-days operational performance of a hybrid experimental space heating system employing the novel mini-channel solar thermal & PV/T panels and a heat pump, Solar Energy, Volume 155, 2017, Pages 464-477

Jinzhi Zhou, Zishang Zhu, Xudong Zhao, Yanping Yuan, Yi Fan, Steve Myers, Theoretical and experimental study of a novel solar indirect-expansion heat pump system employing mini channel PV/T and thermal panels, Renewable Energy, Volume 151, 2020, Pages 674-686

- Kazem, Hussein A. (2019). Evaluation and analysis of water-based photovoltaic/thermal (PV/T) system. *Case Studies in Thermal Engineering*
- Köse, E. (2018). Fotovoltaik Sistemlerin Sıcaklığa Bağlı Enerji Verimliliği Performansının Analiz Edilmesi . *Dünya Multidisipliner Araştırmalar Dergisi* , 2018 (2) , 39-53 .
- M. Arif Hasan, K. Sumathy, Photovoltaic thermal module concepts and their performance analysis: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 14, Issue 7, 2010, Pages 1845-1859.
- Mete Çubukçu, PV sistemlerde kirlenme, mmo, 2017 sf.18-24 ----- dergi makalesidir
- Montgomery DC (2001). *Design and Analysis of Experiment*. John Wiley and Sons Inc, 12-13, ABD.
- Montgomery, D.C. 2005. *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons, Westford, 757s.
- Myers, R.H., Montgomery, D.C. 2002. *Response Surface Methodology*. Wiley, New York, 798s.
- Oussama Rejeb, Mohammad Sardarabadi, Christophe Ménézo, Mohammad Passandideh-Fard, Mohamed Houcine Dhaou, Abdelmajid Jemni, Numerical and model validation of uncovered nanofluid sheet and tube type photovoltaic thermal solar system, *Energy Conversion and Management*, Volume 110, 2016, Pages 367-377
- Ozakin, Ahmet & Kaya, Ferhat. (2019). Effect on the exergy of the PVT system of fins added to an air-cooled channel: A study on temperature and air velocity with ANSYS Fluent. *Solar Energy*. 184. 561-569.
- Ozakin, AN, Yakut, K. ve Khalaji, MN (8 Kasım 2019). "Fotovoltaik-Isı Pompası (PV/T) Kombine Sistemlerinin Performans Analizi: Karşılaştırmalı Sayısal Bir Çalışma." *BENİM GİBİ. J. Sol. Enerji Müh* . Nisan 2020; 142(2): 021010.
- Özakin, A. N., Yeşilyurt, M. K., Öner, İ. V., & Yakut, K. (2017, September). Fotovoltaik Termal (PVT) Sistemlerin Isıl Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. In *II. International Conference on Advanced Engineering Technologies*, pp.(386-390), Bayburt, Turkey.
- Özakin, A. N., Yeşilyurt, M. K., Öner, İ. V., & Yakut, K. (2017, September). Fotovoltaik Termal (PVT) Sistemlerin Isıl Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. In *II. International Conference on Advanced Engineering Technologies*, pp.(386-390), Bayburt, Turkey.
- R. Santbergen, C.C.M. Rindt, H.A. Zondag, R.J.Ch. van Zolingen, Detailed analysis of the energy yield of systems with covered sheet-and-tube PVT collectors, *Solar Energy*, Volume 84, Issue 5, 2010, Pages 867-878
- S. Misha, Amira Lateef Abdullah, N. Tamaldin, M.A.M. Rosli, F.A. Sachit, Simulation CFD and experimental investigation of PVT water system under natural Malaysian weather conditions, *Energy Reports*, Volume 6, Supplement 7, 2020, Pages 28-44.
- Sahlaoui, Kamel & Oueslati, Hatem & Mabrouk, S.. (2020). Modeling and Performance Optimization of Hybrid Photovoltaic Thermal Air Collector with Fins Absorbers. 1-6.
- Sporn P, Ambrose ER. 1955. The heat pump and solar energy. In: *Proceedings of the world symposium on applied solar energy*, Phoenix, AZ.
- T.T. Chow, A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology, *Applied Energy*, Volume 87, Issue 2, 2010, Pages 365-379.

- T.T. Chow, K.F. Fong, G. Pei, J. Ji, M. He, Potential use of photovoltaic-integrated solar heat pump system in Hong Kong, *Applied Thermal Engineering*, Volume 30, Issues 8–9, 2010, Pages 1066-1072
- Tripanagnostopoulos, Y., Nousia, T., & Souliotis, M. (2001, Ekim). Hava soğutmalı modifiye PV modüllerinin test sonuçları. *17. Avrupa PV Güneş Enerjisi Konferansı Bildiri Kitabında* (s. 2519-2522).
- Xu, G., Zhang, X., & Deng, S. (2011). Experimental study on the operating characteristics of a novel low-concentrating solar photovoltaic/thermal integrated heat pump water heating system. *Applied thermal engineering*, 31(17-18), 3689-3695.
- Y. Khanjari, A.B. Kasaeian, F. Pourfayaz, Evaluating the environmental parameters affecting the performance of photovoltaic thermal system using nanofluid, *Applied Thermal Engineering*, Volume 115, 2017, Pages 178-187
- Yakut, K., & Sahin, B. (2004). The effects of vortex characteristics on performance of coiled wire turbulators used for heat transfer augmentation. *Applied Thermal Engineering*, 24(16), 2427-2438.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı :	Alperen ZENGİN
Doğum tarihi :	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise :	Ziya Gökalp Lisesi
Lisans:	Atatürk Üniversitesi Kimya Mühendisliği
Yüksek lisans:	Kimya Mühendisliği
Doktora:	-
Yabancı Dil Bilgisi	
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	