

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ PİLİ TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK
ÇARDAKLARDA SİSLEME SİSTEMİNİN
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Resul KOCAÖZ
111119101

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi
Program: Enerji Eğitimi
Danışman: Doç. Dr. Hikmet ESEN

ŞUBAT-2015

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ PİLİ TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK ÇARDAKLARDA SİSLEME
SİSTEMİNİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Resul KOCAÖZ

111119101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26.01.2015

Tezin Sunulduğu Tarih: 13.02.2015

Tez Danışman: Doç. Dr. Hikmet ESEN
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Mehmet ESEN
Yrd. Doç. Dr. Filiz ÖZGEN



ŞUBAT-2015

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesinde kıymetli görüşlerinden yararlandığım, tezin biçimlenmesinde değerli katkılarını aldığım, tez danışmanım sayın Doç. Dr. Hikmet ESEN'e teşekkür ederim. Tez çalışmam sırasında her türlü desteğini gördüğüm sevgili eşim Gülsemin KOCAÖZ'e de teşekkür ederim.

Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) yönetim birimi tarafından maddi olarak desteklenen TEKF 2012/12.04 ve TEKF 2012/12.05 no'lu projelerimize katkıda bulunan FÜBAP personeline de ayrıca teşekkür ederim.

Resul KOCAÖZ
ELAZIĞ-2015

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması.....	2
1.2. Türkiye'de Güneş Enerjisi.....	5
2. GÜNEŞ PİLLERİ	10
2.1. Güneş Pillerinin Tanımı, Tarihçesi ve Yapısı	10
2.2. Güneş Pillerinin Uygulama Alanları	14
3. SOĞUTMA TEKNİKLERİ VE EVAPORATİF SOĞUTMA.....	16
3.1. Soğutma Çeşitleri	17
3.1.1. Eriyik teşkili ile soğutma	17
3.1.2. Termoelektrik soğutma sistemi	17
3.1.3. Manyetik soğutma sistemi	18
3.1.4. Vorteks tüpü ile soğutma sistemi	19
3.1.5. Paramagnetik soğutma ile soğutma sistemi	20
3.1.6. Hava soğutma sistemi.....	21
3.1.7. Buhar – jet (ejektör) soğutma sistemi	22
3.2. Evaporatif (nemlendirici, buharlaştırıcı) Soğutma	22
4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE FOTOVOLTAİK PANELLERİN MODELLENMESİ.....	27
4.1. Sisleme Sistemi İle Serinletme Yöntemi	27
4.2. Sistemin Çalışma Prensipleri	31
4.3. Deneysel Çalışma	33
4.4. Güneş Pillerinin Modellenmesi.....	38
4.4.1. Modelleme ile ilgili genel bilgiler	38
4.4.2. Çalışmada kullanılan güneş panelinin modellenmesi.....	42

4.5.	Deneysel ve Ekonomik Analiz.....	45
5.	SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	50
	KAYNAKLAR.....	50
	ÖZGEÇMİŞ.....	53

ÖZET

Bu çalışmada, güneş enerjisi destekli soğutma sistemi Elazığ (38.6775° K, 39.1707° D) ilinde bir sitenin çardağına uygulanmıştır. Her biri 150 W olan iki güneş pili sisleme sistemi için gerekli gücü sağlamıştır. Çardak bölgesinin sıcaklık dağılımı termal kamera ile gözetlenmiştir. Çalışmada kullanılan güneş pillerinin modellenmesi de yapılmıştır. Önceki soğutma çalışmaları ile kıyaslandığında, bu sistem çevreci, pahalı olmayan ve sağlıklı bir sistemdir.

Anahtar Kelimeler: Sisleme, Soğutma, Çardak, Ekonomik, Çevresel

SUMMARY

The Investigation of Applicability of Misting System in Arbor by Using Solar Cell Technology

In this study, solar assisted cooling system is implemented in an arbor of a site in Elazig (38.6775° N, 39.1707° E), Turkey. Two solar panels, each of that has a power of 150 W, are used to power up the misting system. The temperature distribution of the arbor area was investigated by thermal camera images. Modeling of the solar cell used in the study is also conducted. Compared with previous cooling studies, this system is environmentally friendly, inexpensive, and healthy.

Keywords: Misting, Cooling, Arbor, Economic, Environmental

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası [20].....	5
Şekil 1.2. Ülkemizin global radyasyon değerleri (kWh/m ² gün) [20].	6
Şekil 1.3. Ülkemizin güneşlenme süreleri (saat) [20].....	6
Şekil 1.4. Ülkemizin fotovoltaik tipi-alan-üretilebilecek enerji (kWh-yıl) [20]	7
Şekil 1.5. Elazığ ili güneş enerjisi potansiyeli haritası [20]	7
Şekil 1.6. Elazığ ili global radyasyon değerleri (kWh/m ² gün) [20]	8
Şekil 1.7. Elazığ ili güneşlenme süreleri (saat) [20].....	8
Şekil 1.8. Elazığ ili fotovoltaik tipi-alan-üretilebilecek enerji (kWh-yıl) [20]	9
Şekil 2.1. Güneş pili sisteminden elektrik elde edilmesi.	11
Şekil 2.2. Güneş pili sisteminin oluşum aşamaları.	12
Şekil 3.1. Termoelektrikle soğutma.....	18
Şekil 3.2. Manyetik ve buhar sıkıştırırmalı soğutmanın karşılaştırılması.....	18
Şekil 3.3. Vorteks tüpü, (a) çalışma şekli, (b) tüp geometrisi.	20
Şekil 3.4. Paramagnetik soğutma	21
Şekil 3. 5. Hava soğutma sistemi.....	21
Şekil 3.6. Buhar-Jet(ejektör) soğutma sistemi	22
Şekil 3.7. Evaporatif soğutma sistemi	23
Şekil 3.8. Evaporatif soğutma sistemi ile serinletilen bir fabrikanın görüntüsü	24
Şekil 4.1. Sisleme sisteminin genel çalışma prensibi	28
Şekil 4.2. Güneş pilinden elektrik elde edilmesi	32
Şekil 4.3. Çardak bölgesi sisleme sistemi	34
Şekil 4.4. Çardak bölgesi sisleme sisteminin detayları.....	34
Şekil 4.5. Sisleme anında çardak alt bölgesinin görünümü	35
Şekil 4.6. İnverter, şarj regülatörü ve akü.....	37
Şekil 4.7. Güneş pili hücresi çevrim şeması	39
Şekil 4.8. Bir güneş pilinin özel I-V karakteristiği.....	41
Şekil 4.9. Değişik ışınım değerlerine göre I-V eğrileri.....	43
Şekil 4.10. Değişik sıcaklıklara göre I-V eğrileri (T=0, 25, 50, 75 °C)	44
Şekil 4.11. Farklı sıcaklıklar için P-V eğrileri (T=0, 25, 50, 75 °C)	45
Şekil 4.12. Çardak üst bölgesinin sıcaklık görünümü	46

Şekil 4.13. Çardak alt bölgesinin sisleme anındaki görüntüsü.....	46
Şekil 4.14. Çardak altında bir kişinin sisleme anındaki görüntüsü	47
Şekil 4.15. 02 Temmuz 2013 tarihli çardak bölgesi sisleme görüntüsü	47

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Tek ve çok kristalli güneş pillerinin verimleri [25].....	12
Tablo 2.2. İnce film teknolojili güneş pillerinin verimlilik değerleri [26]	14
Tablo 3.1. Tuzlardan bazılarının ötektik noktaları ve yuttukları ısı miktarı.....	17
Tablo 4.1. Sisleme sistemi ekipmanları.....	29
Tablo 4.2. Güneş pilleri destekli sisleme sisteminin özellikleri ve fiyatları.....	36
Tablo 4.3. Elazığ ili için bazı meteorolojik ortalama değerler [33]	37
Tablo 4.4. Farklı PV tiplerinin idealite faktörü.....	40
Tablo 4.5. BSM-150 güneş pilinin tipik elektriksel özellikleri	42

SEMBOLLER LİSTESİ

FF	Dolum faktörü
G	Güneş Işınımı (W/m^2)
k	Boltzman sabiti ($1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)
K_0	Akımın sıcaklık katsayısı
n	Diyot idealite faktörü
I	Nominal akım (A)
I_m	Maksimum akım (A)
I_{ph}	Işıl akım (A)
I_0	Diyot doyma akımı (A)
I_{sc}	Kısa devre akımı (A)
P	Güç (W)
P_m	Maksimum güç (W)
R_s	Seri direnç (ohm)
R_{sh}	Paralel devre direnci (ohm)
V	Gerilim (V)
V_{oc}	Açık devre akımı (A)
V_m	Maksimum gerilim (V)
T	Çevre sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

1. GİRİŞ

Dünyamızda enerji ihtiyacı insanlık var olduğundan beri artarak sürmektedir. Özellikle teknolojik aletlerin ve insan popülasyonunun artması enerji ihtiyacını arttırmıştır. Enerji artışı da gelişmişlik düzeyinin belirlenmesinde önemli rol oynar. Fakat kaynaklarımızın hızla tükenmesi ve günümüzde tükenmeye yüz tutmuş, sınırlı erişime sahip, aynı zamanda çevreye zarar veren bir enerji kaynağı olan fosil yakıtlar, uzun yıllar boyunca hem çevremize hem de bize zarar vermiştir. Günümüzde kullandığımız enerjinin büyük bir bölümü; kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtlar, kısa süreçte yenilenemeyen yakıtlardır. Fosil yakıtların giderek azalması, fiyatlarının da sürekli artması ve çıktı ürünlerinin çevreye verdikleri zararları ileride kullanımlarını azaltacaktır. Fosil yakıtların tüketilmesi sonucu açığa çıkan CO₂, H₂O, N₂O, CH₄, O₃ gibi ağır gazlar sera etkisine sebep olmaktadır ve bu durumun dünyanın sıcaklığının artmasına neden olduğu da uzun süredir bilinmektedir.

Yenilenebilir enerji, sınırsız bir şekilde tekrar tekrar ortaya çıkar ve kullanılır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında güneş enerjisi gelmektedir. Güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının temel oluşum sebebi de olup, dakikada yeryüzüne düşen güneş enerjisi miktarı tüm dünyanın yıllık tüketiminden daha fazladır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda bilim adamları, bu sınırsız enerjinin verimli kullanılabilmesi için odaklanmışlardır.

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi kullanılarak sisleme sistemi ile çardak bölgesi serinletilmiştir. Yaz aylarında insanların serinlemek için ortam aradığı bir durumda çoğu zaman gölge alanlarda rahatlatıcı sıcaklıklarda olmamaktadır. Çardak bölgesinde oluşan sıcaklık dağılımları termal kamera ile gözetlenmiştir. Çalışma sonunda güneş pili (fotovoltaik) destekli bu serinletme sisteminin çok uygun ve sağlıklı olduğu görülmüştür.

1.1.Literatür Araştırması

Yapılan araştırmalar, dünyadaki petrol rezervlerinin yaklaşık olarak 43 yıl, doğalgazın 65 yıl, kömür rezervlerinin 228 yıl, uranyumun ise 43 yıl yetecek kadar kaldığını göstermektedir [1]. Günlük hayatımızın en önemli konularından olan çevrenin korunması ve gelecek nesillere miras bırakacağımız dünyanın sürdürülebilirliği yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasından geçmektedir. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içinde en yüksek enerji potansiyeline sahip olup, ısıtma, kurutma ve elektrik üretimi gibi birçok farklı alanda kullanıma uygundur. Dünyada var olan fosil yakıt potansiyelinin yaklaşık 160 katı enerjiyi dünyaya bir yılda düşen güneş ışıınımı ile elde etmek mümkündür. Bu enerjinin çok düşük bir miktarını aktif olarak kullanabilmemize rağmen, günümüzde güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerin kullanımı her geçen gün biraz daha artmaktadır [2, 3].

Lesourd [4], şebeke bağlantılı güneş pili sistemlerini ekonomik açıdan ele aldığı çalışmada, A.B.D. , Avrupa ve Japonya'nın güneşlenme süresi fazla olan bölgeleri ile ortalama seviyede güneşlenme süresine sahip bölgeleri ele alarak birbirleri arasında birim maliyet karşılaştırması yapmakta ve Güney Avrupa koşullarında birim maliyetin en düşük düzeye geldiğini hesaplamaktadır. Ayrıca güneş pili sistemlerinin birim fiyatının yıllara göre değişimini ele alarak diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırmakta ve 1997 yılı koşullarında güneş pili sistemlerinin diğer enerji kaynaklarından 3-4 kat daha pahalı bir enerji türü olduğu sonucuna varmaktadır. Buna ek olarak güneş pili sistem ömrünün arttırılması halinde birim maliyetin %15-20 dolayında azalacağı öngörüsünde bulunmaktadır.

Altaş ve Sharaf [5], Matlab/Simulink programı yardımıyla güneş pili sisteminin modellenmesi üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Güneş ışıınımı ve sıcaklık değerlerindeki değişimlerin elde edilen enerji miktarında yarattığı dalgalanmalar bilinmekte olup bu çalışmada bu etkenler ele alınarak ve güneş pillerinin basit devre eşitlikleri kullanılarak bir model geliştirilmiştir. Oluşturulan devre sistemi tabanlı model ile sistem parametrelerinin benzetimi gerçekleştirilerek sistem analizi sonuçlarının daha sağlıklı olarak elde edilmesi hedeflenmiştir.

Muhida vd. [6], Malezya'nın Putrajaya kentindeki müstakil bir eve güneş pili sisteminin entegre edilmesini konu alan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar

geliştirdikleri örnek sistemde 60 adet güneş modülü kullanarak aylık ortalama 255 kWh elektrik enerjisi elde etmeyi hedeflemişlerdir. Sistemin performansının artırılması için benzetim araçlarından faydalanılmakta ve panellerin bakış yönünün ve eğim açılarının sistem performansına doğrudan etki ettiği tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda güneş pili sisteminden elde edilecek elektrik enerjisi miktarı yıllık 2800 kWh olarak hesaplanırken, bunun ekonomik getirisinin yıllık 279 Dolar olacağı öngörülmektedir.

Hamad ve Alsaad [7], şebekeye bağlı bir güneş pili sistemi tasarımında ilgili alandaki güneş ışıınımı ve elektrik enerjisi tüketimi verilerinden yola çıkarak saat bazında üretilebilecek elektrik enerjisi miktarını ve şebekeyle sistem arasında gerçekleşecek elektrik enerjisi alışverişinin benzetimini gerçekleştiren bir yazılım geliştirmişlerdir. Yazılımda kullanılan parametreler kullanıcı tarafından değiştirilebilmekte ve farklı sistem tasarımlarının benzetimi gerçekleştirilebilmektedir. Buna ek olarak güneş pili sistem tasarımlarının özelleştirilmesiyle elde edilen bulgular, yatırım analizi çalışmalarıyla da desteklenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen yazılım ürünü, güneş pili sistemlerinin kurulumu aşamasında belirlenen parametreler ışığında sistem davranışlarını modelleyerek yatırımcılara yol göstermiştir.

Karamanav [8], güneş pilleri üzerine yapılan çalışmaları derleme şeklinde düzenlemiştir. Fotovoltaikler üzerine yapılan bu araştırma ve geliştirme çabalarının 1950’li yıllarda başlamış olduğunu buna karşın, gerçek anlamda ilginin 1970’li yıllarda olduğunu bildirmiştir.

Qoaidar ve Steinbrecht [9] Mısır’ın güney kesiminde yer alan kurak bir bölgedeki şebekeden bağımsız tarımsal sulama sisteminin tüm elektrik enerjisi ihtiyacının güneş pili sisteminden karşılanmasının ekonomik analizini gerçekleştiren bir çalışma yürütmüşlerdir. Elde edilen sonuçlar, performans göstergeleri ve ekonomik getiriler bakımından mevcut jeneratörlü sistemler ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, güneş enerjisi birim maliyetinin jeneratör birim maliyetine göre çok daha düşük olacağı tespit edilmiştir. Her geçen gün yükselen petrol fiyatları ve ilgili bölgenin güneş ışıınımı açısından çok elverişli durumda olması bu sonuca etki eden en önemli faktörler olarak ön plana çıkarılmıştır.

Alafodimos vd. [10], güneş pili sistem davranışlarını anlayabilmek amacıyla 3-fazlı invertör ile şebekeye bağlı 10 kW gücündeki bir sistemin Matlab/Simulink programıyla benzetimi konusunda bir çalışma yürütmüşlerdir. Benzetim aşamasında ilgili bölgenin saat bazında sıcaklık ve güneş ışıınımı ölçümleri ile farklı güç çıkışı seçenekleri ışığında invertör çıkış gücünün değişimi grafiksel gösterimlerle ele alınmaktadır. Çalışma

sonucunda, araştırmacılar gelecekte invertör tasarımlarının geliştirilmesi ve verimliliklerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmaların yoğunlaşması gerektiği hususunu vurgulamışlardır.

Bin vd. [11], hava ile soğutulan büyük turbo jeneratörlerde hidrojen ve su soğutmalı yöntemler kullanılarak evaporatif soğutma tekniğini başarıyla uygulamışlardır. Buharlaşmalı soğutma tekniği ısıyı emer, soğutucudaki buharlaşma sonucu oluşan gizli ısı jeneratörün hangi özgül ısıda daha verimli ise, buna göre sıcaklık artışı, evaporatif soğutma tekniği kullanılarak kontrol altına alındığı belirtilmiştir [11].

Fengfei Luan vd. [12], göre doğrultucu evaporatif soğutma teknolojisi kullanılarak yüksek güçlü (700-1000 MW) transformatör ve ona bağlı ikinci bir hidro-jenaratör yüksek verimli ve kolayca soğutulabilir. Evaporatif soğutma teknolojisinin bu uygulama için yüksek soğutma avantajları olduğu belirtilmiştir.

Son yıllarda güneş pili teknolojisi kullanılarak soğutma sistemleri üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Ortam serinletme yöntemlerinden olan sisleme sistemi (misting system) şebeke suyunu bir filtreden geçirerek yüksek basınç şartlarında mikron mertebesinde zerrelere parçalar ve sonuçta uygulanan ortamda sis oluşturur. Sisleme olayı direkt evaporatif serinletme türü olup literatürde bu konu ile ilgili bazı çalışmalara rastlamak mümkündür.

Wong vd. [13], sisleme fanı sistemi ile farklı ısı konfor seviyelerinde bağlı nemin arttırılmasını incelemişlerdir. Yıl boyunca Singapur'un sıcak ve kuru bir iklime sahip olduğu belirtilmiştir. Evaporatif soğutma ile daha az enerji harcandığı vurgulanmıştır. Sisleme fanları deneysel olarak incelenmiştir.

Dombrovsky vd. [14], güneş ışınımının zararlı etkilerinden korunmak için sulu sisleme sisteminin potansiyelini araştırmak ve su damlalarının bir sis tabakası tarafından bulutsuz atmosferden doğrudan ve dağınık güneş ışınımını etkilerini araştırmak için bir yarım küre modelini geliştirmişlerdir.

Sethi ve Sharma [15], tarımsal seralarda kullanılan uluslararası soğutma teknolojilerini incelemişlerdir. Havalandırma, gölgeleme/yansıma, evaporative soğutma (fan-ped, sis, ve çatı soğutma) ve kompozit sistemler (toprak-hava ısı değiştirgeci sistemi ve akifer bağlantılı oluk akışı sağlayan ısı değiştirgeci sistemi) bu çalışmada sunulmuştur.

Burger [16], çalışmasında güneş pilleri yardımıyla aralıklı nem kontrolü yapmıştır. Geleneksel soğutma sistemleri ile güneş destekli sisleme kontrolünü kıyaslamıştır. Hava izleme kontrolü geliştirerek sisleme fanlarını incelemiştir.

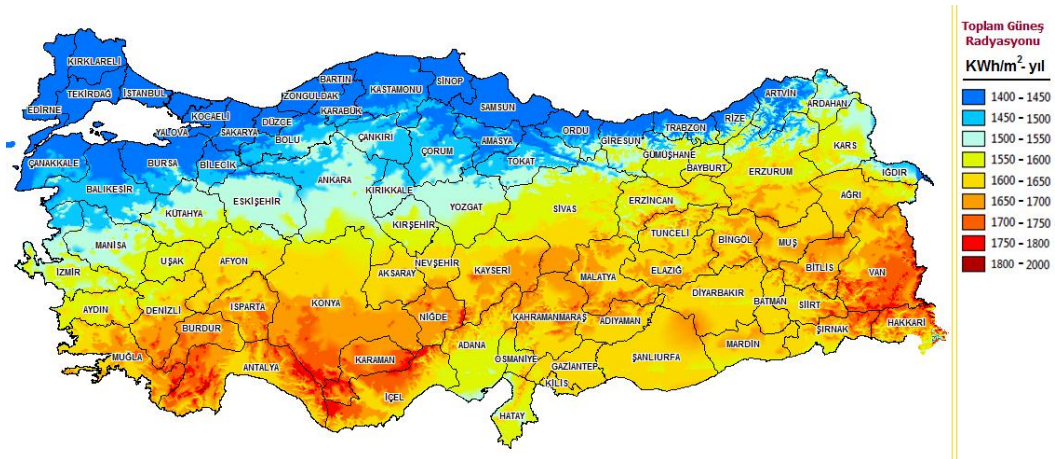
Atieh ve Al Shariff [17], güneş enerjisi destekli bir serinletme sistemini tanıtmışlardır. Bu sistem, Arabistan'ın Medine şehrinde açık alanların serinletilmesi için kullanılmıştır. Deney yapılan ortam ve yakın çevresi farklı zaman dilimlerinde sislenerek serinletilmiştir. Bu fotovoltaik destekli sisleme sisteminin maliyet olarak geri dönüşüm süresini 2.5 yıl olarak hesaplamışlardır.

Eicker vd. [18], Avrupa'nın farklı üç şehrinde değişik iklim koşullarında güneş enerjisi ve fotovoltaik soğutma sistemlerinin ekonomik analizini yapmışlardır.

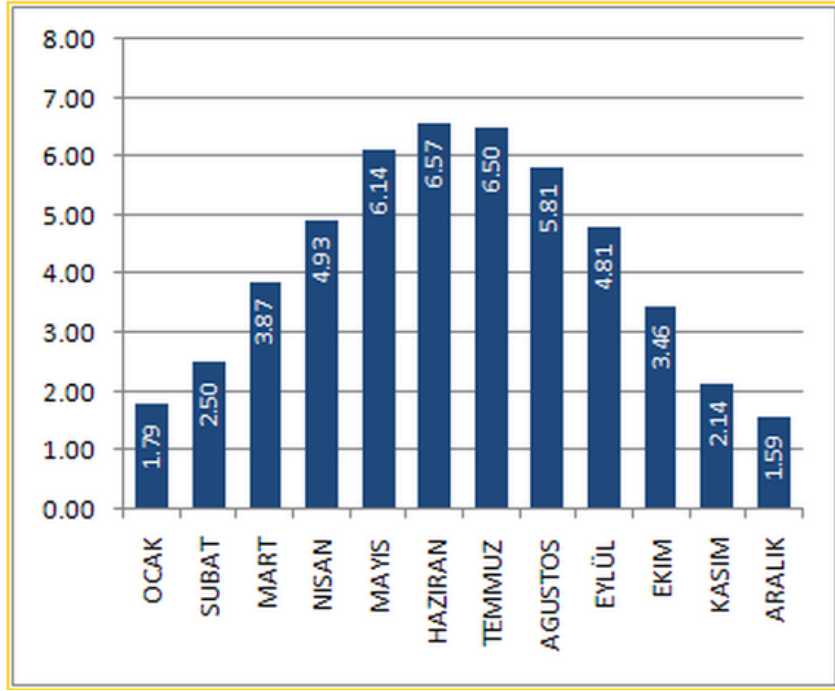
Ban-Weiss vd. [19], bir ofis çatısında kurulu olan fotovoltaik sistemin elektrik üretimini ve soğutmada enerji kazanımlarını incelemişlerdir.

1.2. Türkiye'de Güneş Enerjisi

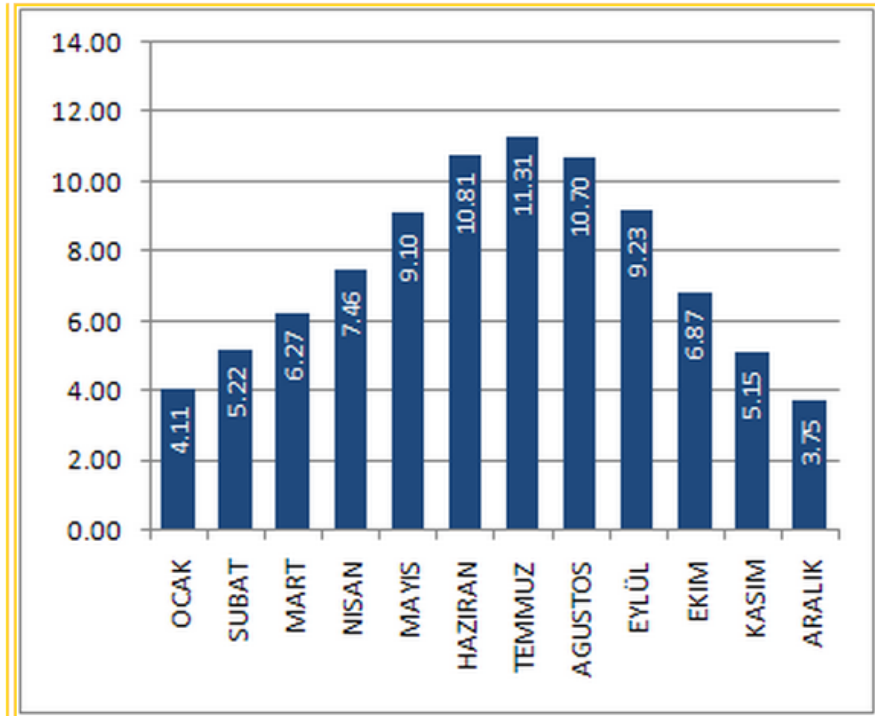
Şekil 1.1'de ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinin haritası verilmiştir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğünün internet sayfasında sürekli güncellenen verilere göre ülkemizin global güneş ışıınımı değerleri, güneşlenme süreleri ve fotovoltaik tipi alan ile üretilebilecek enerji değerleri sırasıyla Şekil 1.2, 1.3 ve 1.4'de verilmiştir.



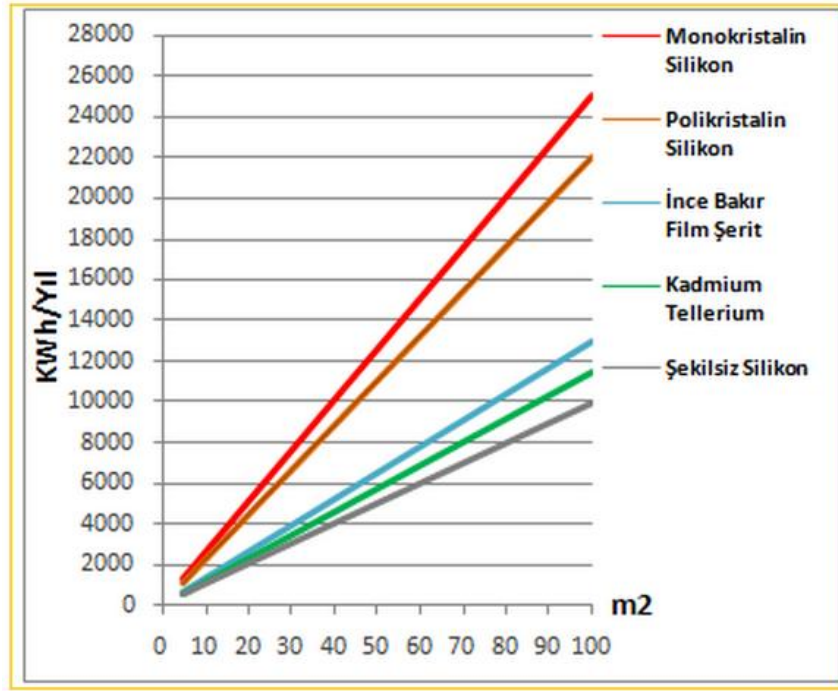
Şekil 1.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası [20].



Şekil 1.2. Ülkemizin global radyasyon değerleri (kWh/m²gün) [20].

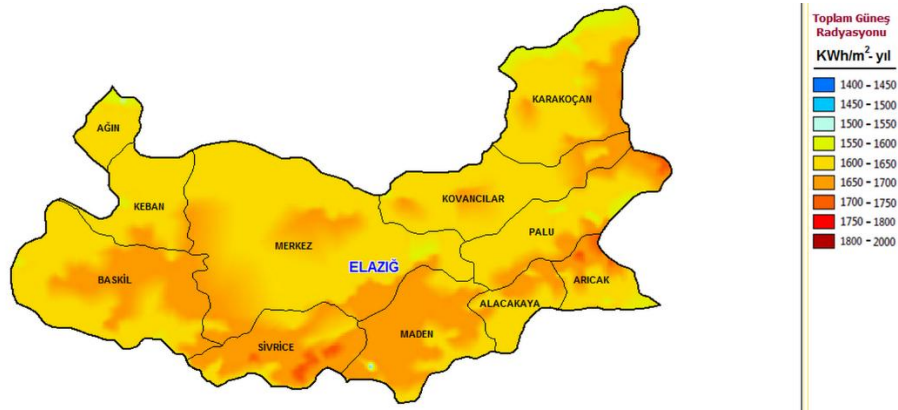


Şekil 1.3. Ülkemizin güneşlenme süreleri (saat) [20].

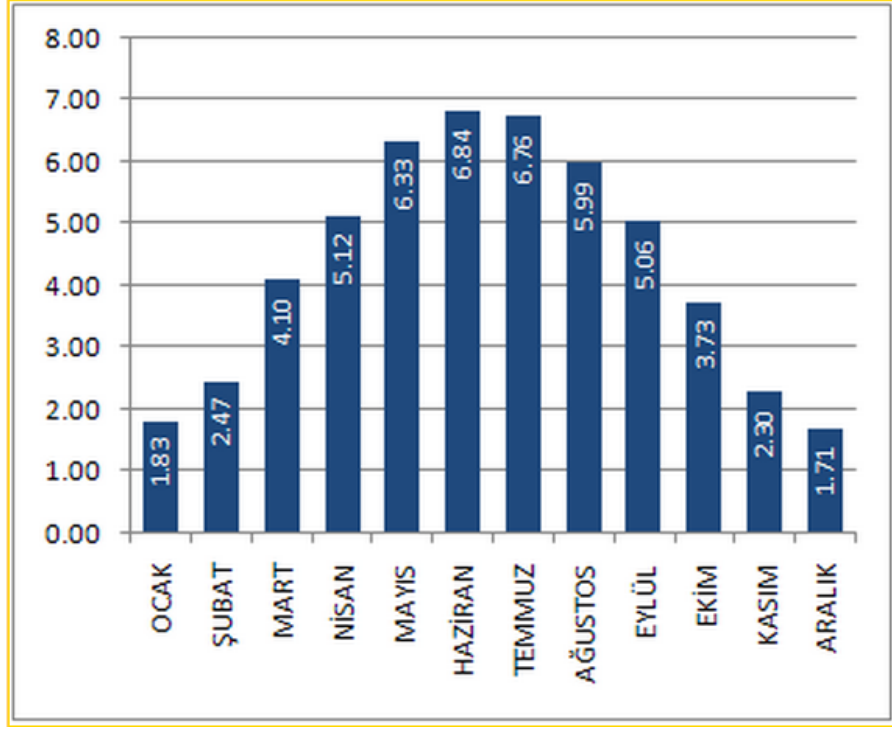


Şekil 1.4. Ülkemizin fotovoltaik tipi-alan-üretilebilecek enerji (kWh-yıl) [20].

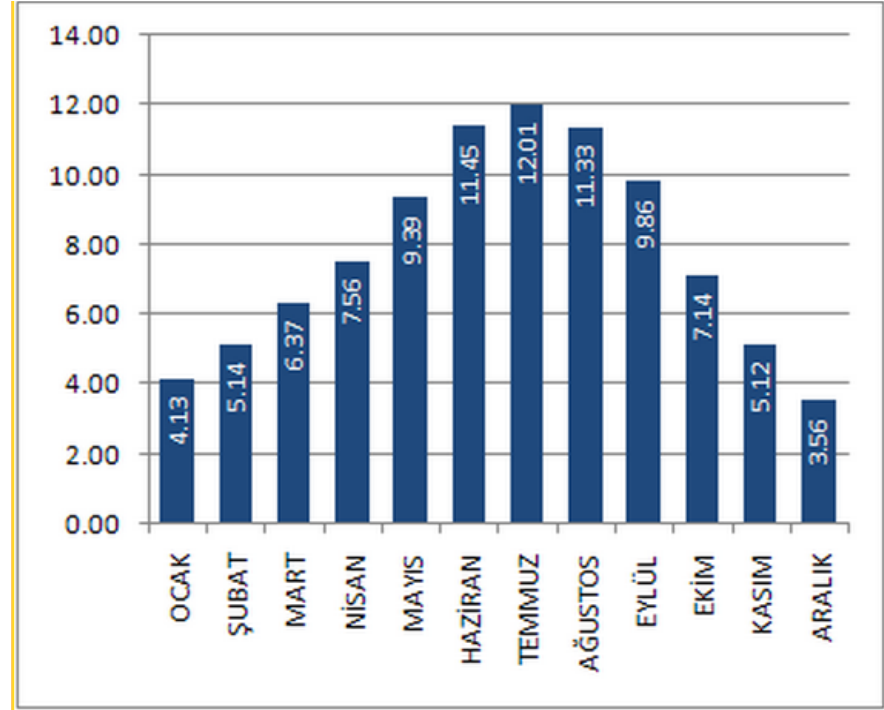
Şekil 1.5’de Elazığ ili güneş enerjisi potansiyeli haritası verilmiştir. Şekil 1.6’da Elazığ ili global güneş ışıınım dağılımı gösterilmiştir. Şekil 1.7’de Elazığ ili için saatlik güneşlenme süreleri belirtilmiştir. Ayrıca Şekil 1.8’de ise Elazığ ili için fotovoltaik sistemlerden elde edilebilecek enerji verilmiştir.



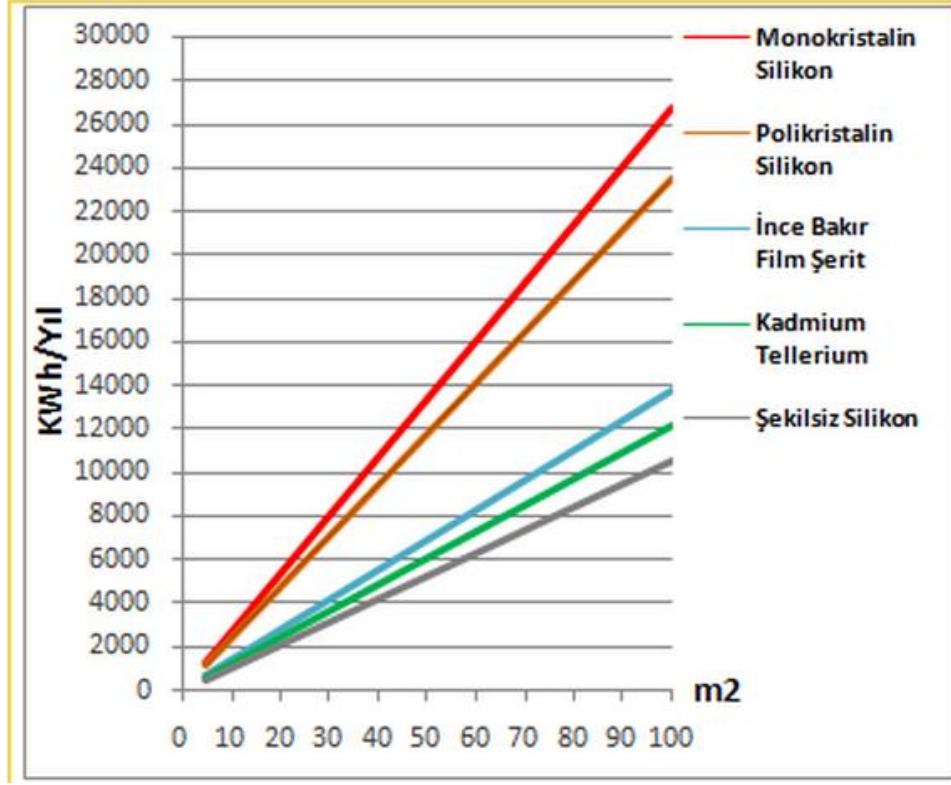
Şekil 1.5. Elazığ ili güneş enerjisi potansiyeli haritası [20].



Şekil 1.6. Elazığ ili global radyasyon değerleri (kWh/m²gün) [20].



Şekil 1.7. Elazığ ili güneşlenme süreleri (saat) [20].



Şekil 1.8. Elazığ ili fotovoltaik tipi-alan-üretilebilecek enerji (kWh-yıl) [20].

Ülkemizin yıllık enerji ihtiyacının 2023 yılında 500 milyar kWh'e ulaşacağı tahmin edilmektedir. Dolayısıyla enerjide % 73 dışa bağımlı olan ülkemizin bir an önce yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir. Uzun süreli eğilimler dikkate alındığında dünya enerji talebindeki yıllık artış, ortalama % 1.8 civarında seyretmektedir [21].

Türkiye, güneş enerjisi konusunda son derece elverişli bir konumda bulunmaktadır. Bunun sonucu olarak ülkemiz güneş enerjisi kullanım imkânı açısından özellikle Avrupa ülkelerine göre çok üstün durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü' nün (DMI) verileri ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından yapılan çalışmalara göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ışınlam şiddeti ise 1311 kWh / m² yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m²) düzeyindedir [22]. Güneş enerjisi, yeni ve yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşu yanında; insanlık için önemli bir sorun olan çevreyi kirlletici atıklarının bulunmaması, kolay uygulanabilmesi ve karmaşık bir teknoloji gerektirmemesi gibi üstünlükleri sebebiyle son yıllarda üzerinde yoğun çalışmalar yapıldığı bir alandır. Güneş enerjisi, dünyadaki hayatın temelini oluşturur, bol ve temiz bulunan bir kaynaktır [23].

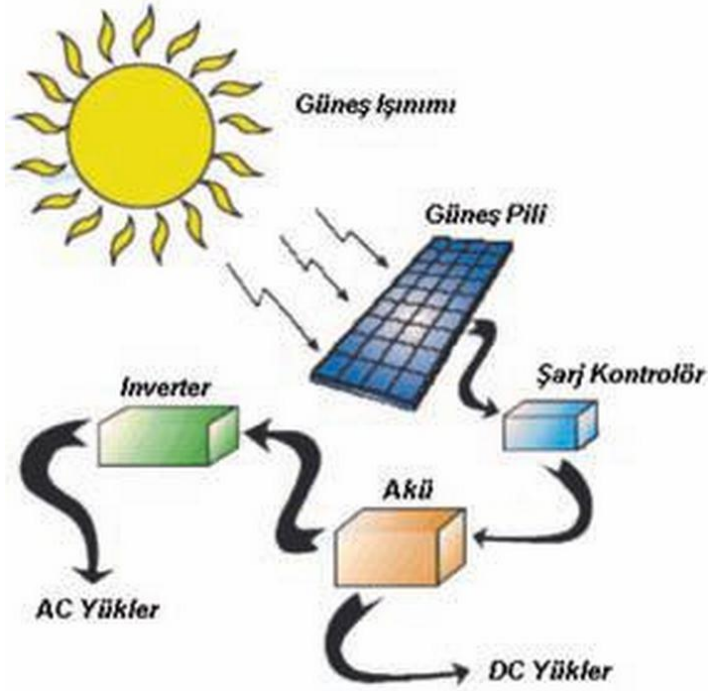
2. GÜNEŞ PİLLERİ

2.1. Güneş Pillerinin Tanımı, Tarihçesi ve Yapısı

Güneş enerjisinden üç şekilde faydalanılmaktadır. Bunlar; ısı, ışık ve elektrik üretimidir. Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışınlarından faydalanarak elektrik üreten sistemlerdir. Ön yüzleri kare, dikdörtgen veya daire şeklinde olabilen bu panellerin kalınlıkları 0.2 ila 0.4 mm arasında değişmektedir. Güneş enerjisi, fotovoltaik pillerin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

1839 yılında Edmond Becquerel, elektrolit üzerine düşen ışığın, elektrotlar arasında bir gerilim yarattığını gözlemleyerek fotovoltaik olayı keşfetmiştir. Bu, ilk kez fotovoltaik etkinin gözlemlendiği durumdur. 1914 yılında güneş pillerinin diyotlarının (akımı tek yönde geçiren elektronik devre elemanı) verimliliğinin % 1 değerine ulaştığı daha sonraki zamanlarda (1954) bu pillerin verimliliğinin % 6 dolaylarına eriştiği belirtilmiştir. Bu tarih fotovoltaik (güneş pili) sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilir. Ayrıca bu tarihten sonraki yıllarda uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için de araştırmalar ve tasarımlar yapılmıştır. Fotovoltaik enerji sistemleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarında kullanılan malzemelerdir [24].

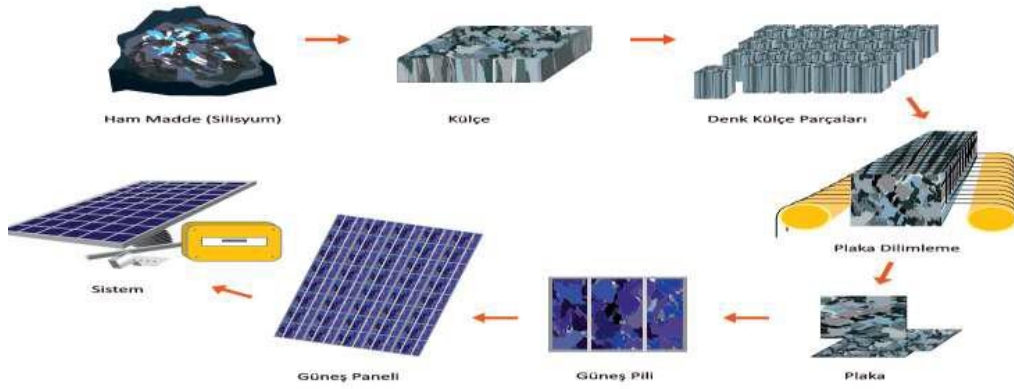
Güneş ışınlarının yoğunluğu ve geliş açısı üretilebilecek elektrik akımı miktarını doğrudan etkilemektedir. Üretilen elektrik enerjisi miktarını çoğaltmak hedefiyle fazla sayıda güneş pili birbirine seri veya paralel bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Şekil 2.1'de güneş pillerinden elektrik üretilmesi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.1. Güneş pili sisteminden elektrik elde edilmesi.

Bilindiği üzere dünyadaki maddelerin çoğu katı halde bulunmaktadır. Katılar düzenli kristalik yapıda bulunduğu gibi yığın (amorfe) halde de bulunabilirler. Kristallerin içinde “bölge” adı verilen küçük kristal yapılar vardır. Bu kristalde daha küçük bölgelerin hepsi aynı özelliğe sahipse buna tek kristal adı verilir. Fakat bölgeler aynı özelliğe sahip değilse yani kristal yapılanmaları değişiyorsa buna da polikristal adı verilir. Dikkat edeceğimiz husus tek kristal, tümüyle aynı yapıya sahip değildir dolayısıyla bölgeler farklılık gösterebilir.

Katı maddeleri elektriksel özelliklerine göre üç gruba ayırabiliriz. Bunlar; iletken, yalıtkan ve yarı iletken malzemelerdir. Genel olarak elektriği iyi iletiyorsa iletken madde, iltmeyen veya çok az iletken maddelere ise yalıtkan madde denir. Belli bir değere kadar iltmeyen ancak belli bir sınır noktasından sonra iletken maddelere ise yarı iletken denir. Yarı iletken maddeler periyodik cetvelde 3A ve 5A gruplarında bulunurlar. Şekil 2.2’de ham madde aşamasından güneş pili oluşumuna göre kadar olan süreçler verilmiştir.



Şekil 2.2. Güneş pili sisteminin oluşum aşamaları.

Tek kristal silisyum özellikli güneş pilleri ilk önce büyütülüp daha sonra 200-400 mikron kalınlıkta kesilerek elde edilmektedir. Silisyum malzemesinin optik ve konstrüktif normlarının uzun müddet aynı kalması ve silisyum üretim tekniğinde büyük ilerlemeler elde edilmesi bu malzemenin çekiciliğini arttırmıştır. Tek kristal silisyum malzemesinin üretimi fazlaca zahmetli olduğundan ve kayıp oranı fazla olduğundan maliyetin artmasına sebebiyet vermektedir. Bundan dolayı farklı bir alternatif olarak çok kristalli malzemeler kullanılmaya başlanmıştır.

Çok kristal silisyum, dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen üretimi daha kolay ve ucuz olan fakat elde edilen verimin daha düşük olduğu malzemelerdir. Tek ve çok kristalli güneş pillerinin ticari ve laboratuvar ortamındaki verimleri Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Tek ve çok kristalli güneş pillerinin verimleri [25]

	Verim (ticari)	Verim (laboratuvar)
Tek Kristal Silisyum	% 15	% 24
Çok Kristal Silisyum	% 14	% 18

Güneş pillerinde kullanılan malzemelerin geliştirilmesi ve maliyetlerin azaltılması çalışmaları sonucunda, yarı iletken malzemelerin geniş yüzeylerin üzerine ince film biçiminde kaplanması metodu ilgi çekici bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. İnce film teknolojili güneş pillerinde film, cam ya da plastik gibi kısmen daha ucuz malzemelerle birleştirilir. Bu tür güneş pillerinin montajı daha kolaydır, maliyeti daha düşüktür, üretimi kolaydır ve geniş kapsamlı uygulamalar için elverişlidir. Ancak elde edilen verim, kristal yapılu güneş pillerine göre daha düşük, seviyededir. Yapılan araştırmalar sonucu verimliliği % 10'un üstünde olan birçok farklı malzeme bulunmuştur. Bunlar içinde galyum arsenit (GaAs) ve kadmiyum tellürid (CdTe) gibi yarı iletken kristaller olduğu gibi, bakır indiyum diselenid (CuInSe₂) gibi ince film alaşımları da bulunmaktadır [25].

Dünyadaki ikinci en bol doğal element olan amorf silisyum, şekilsiz silikon şeklindedir. İçi silikon dışı cam şeklinde kristalize yapıda olup atomik yapısında kimyasal bağları düzensizdir. Bu madde genellikle elektronik bileşenler üzerinde kullanılmakta olup özellikle (PV) fotovoltaiik sistemlerin kaplanması için kullanılarak ince filmler oluşturulup imal edilmektedir.

Fotovoltaiikler de silisyum kristalinin daha fazla iletkenlik oluşturabilmesi için kristalin saf olması gerekmektedir. Kristalin saf hale getirilmesi işlemi yüksek maliyetli bir işittir. Bu maliyetlerin düşürülmesi için güncel yarı iletkenler üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bunun için iki yöntem geliştirilmiştir, bunlar; GDD (Glow Discharge Decomposition) diğer bir adıyla PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) tekniğidir. Geniş yüzeyli ince filmlerin kolayca üretilebilmesi ve maliyetlerinin düşürülmesi için amorf yarı iletkenler kristal yapılara göre avantajlı olmaya başlamıştır. Güneş'ten gelen ışınlarının en etkili bir şekilde kullanılabilmesi için amorf malzemelerin ne denli önemli olduğu zamanla daha da ortaya çıkmıştır.

Galyum Arsenit (GaAs) malzemesiyle laboratuvar ortamında % 25 ile % 28 arasında (optik yoğunlaştırıcılı) verim elde edilmektedir. Başka yarı iletkenlerle birlikte kullanılan çok eklemlı GaAs pillerde verim % 30'lara çıkmıştır. GaAs güneş pilleri daha çok uzay çalışmalarında ve optik yoğunlaştırıcılı fotovoltaiik sistemlerde kullanılmaktadır.

Daha sonraları çok kristal yapılu bir malzeme olan Kadmiyum Tellürid (CdTe) üzerine çalışmalar hızlandırılmış ve bu hızlanma ile fotovoltaiik (güneş pili) pillerin maliyetinin çok aşağılara çekileceği düşünülmüştür. Bu tip üzerine yapılan çalışmalarda laboratuvar ortamında % 16, ticari ortamlarda ise % 7 civarında verim elde edilmektedir.

Son olarak da yine çok kristalli bir pilde Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe_2) üzerine çalışmalara yapılmış ve laboratuvar şartlarında verimin % 17.7 ve enerji üretimi maksatlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise verimin % 10.2 olduğu hesaplanmıştır. İnce film teknolojili güneş pillerinin ticari ürünlerde ve laboratuvar ortamındaki verimlilik değerleri Tablo 2.2’de özetlenmiştir.

Tablo 2.2. İnce film teknolojili güneş pillerinin verimlilik değerleri [26].

	Verim (ticari)	Verim (laboratuvar)
Amorf Silisyum	% 5-7	% 10
Galyum Arsenit (GaAs)	% 25-28	% 30
Kadmiyum Tellürid (CdTe)	% 7	% 16
Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe_2)	% 10	% 17

20 yıldan fazla bir süredir yürütülmekte olan çalışmalar sonucunda heyecan verici sonuçlar elde edilmeye başlanmış olup Organik Fotovoltaik Hücreler, yeni jenerasyon fotovoltaik sistemlere en iyi örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. Organik güneş pillerinin en önemli avantajı güneş ışığının yetersiz ya da değişken olduğu günlerde üretkenliğinin azalmayıp değişen koşullara uyum sağlayabilmesidir. Bu tür sistemlerin şarj cihazları, aydınlatma üniteleri gibi düşük güç tüketiminin söz konusu olduğu ortamlarda etkin olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

2.2. Güneş Pillerinin Uygulama Alanları

Uygulamalara baktığımızda henüz evlerde güneş pili sistemlerinin kullanımının yaygınlaşmadığını görmekteyiz. Öncü ülkelerdeki uygulamalar incelenerek gerekli yasalar hazırlandığı takdirde, evlerde kullanımının önü açılacak, küresel ısınmayla mücadelede önemli bir adım atılacak, ekonomik kalkınma sağlanacak ve dışa bağımlılık azalacaktır. Türkiye’de güneş enerjisi, ticari faaliyetler göz önüne alındığında daha çok düzlemsel güneş kollektörleri alanında gelişmiştir. Ülkemizde bu alanda faaliyet gösteren firmaların

sayısının 100'den fazla olduğu bilinmektedir. İ piyasasının yanında, toplam üretim
yaklaşık %30'u da ihraç edilmektedir. Güneş pillerinin ülkemizde retilbilmesi
konusunda ise yüksek teknoloji gereksinimi ve maliyetlerin fazla olması sebebiyle yapılan
alışmalar sınırlıdır. Bu alışmalara ODTÜ bünyesinde kurulan ve Türkiye'nin ilk yerli
güneş modülünün üretimini gerçekleştiren Güneş Enerjisi Araştırma Merkezi (GÜNAM)
rnek olarak gösterilebilir. Öncelikli hedefleri maliyet düşürücü yöntemler geliştirmek
olan GÜNAM, yoğunlaştırma tekniğine yeni bir yaklaşım getirerek yarı iletken malzeme
kullanımını azaltmakta bu da maliyetlerin düşmesine olanak sağlamaktadır [27]. PV
modüllerinin kullanım yerleri aşığıda maddeler halinde verilmiştir.

- GSM operatörlerinin santralleri, TV ve radyo istasyonlarında,
- Askeri amaçlı enerji gereksinimlerinde,
- Yatlar ve deniz fenerlerinde,
- Billboard aydınlatmalarında,
- Durakların aydınlatılmasında,
- Park ve bahçe aydınlatmalarında,
- Çiftlik evleri, villalar, konutlar ve sitelerde,
- Orman gözetleme kulelerinde,
- Tüm turistik işletmelerde.

3. SOĞUTMA TEKNİKLERİ VE EVAPORATİF SOĞUTMA

Bir yerdeki ısınn bir başka yere nakledilerek, o yerdeki sıcaklığın ortam sıcaklığının altında bir sıcaklıkta tutulmasına soğutma denir. Temel olarak soğutma işlemi 1°C ile ortam sıcaklığı arasında iklimlendirme maksatlı, 10 °C ile – 40 °C arasında soğuk ortam için ticari amaçlı olarak kullanılmıştır. Özellikle yaz aylarında ortam sıcaklığının altında bir sıcaklık gerektiği için çeşitli şekillerde soğutma makinaları yapılmıştır.

Soğutmayı ilk defa kullanan Çinliler, buz tutmuş göllerin buzlarını kırarak büyük kuyulara atıp sıkıştırmışlar ve yaz aylarında sıkıştırılan buz kalıplarını çıkararak ihtiyaçlarını karşılamışlardır. Romalılar ve Yunanlılar ise koca taş küplere su doldurarak küpleri toprağa yerleştirmişler gece soğuyan toprak kısımları küpleri soğutmuş, gündüz ise soğuyan küplerden soğuk su ihtiyaçlarını karşılamışlardır. 1775 yılında William Cullen eline eter sürdüğünde elinin serinlediğini hissederek çalışmalara başlamış ve ilk mekanik soğutmanın temelini atmıştır. Daha sonra William Cullen tesadüfe dayanarak aynı yıllarda emiş prensibine dayanarak buz yapma makinesi geliştirmiştir. Bilim adamlarının bir çoğu bu yöntem ile buz makineleri yapmış ancak büyük boyutlarda ve çok pahalı olduğundan uygulamaya girmemiştir. 1834 yılında Jacop Perkins isimdeki Amerikalı mühendis Londra’da pratik buz yapma makinesi imal etmiştir. 30 yıl kadar bu prensiple çalışan buz makineleri tüketiciye sunulmuştur. Bu arada elektrik enerjisi olmayan ortamlarda çalışan makineler üzerine odaklanmış ve 1885 yılında Fransız Ferdinand Carse absorbsiyon yöntemini bulmuştur. 1886 yılında Windhusen CO₂ gazı ile çalışan bir soğutma sistemi geliştirerek -80 °C derecelere ulaşmıştır. Daha sonraları pratik buzdolapları yapılmış ve gıdaların evlerde buzla saklanması gerçekleşmiştir [28].

Buz ile soğutma kullanışlı olmadığından bilim adamları mekanik bir soğutma sistemi üzerine yoğunlaşmaya başlamışlardır. 1910 yılında J.M. Larsen Şirketi tarafından ilk küçük buzdolabı prototipi yapılmıştır. Bu buzdolabında termostat bulunmadığı için kullanımda büyük sıkıntılar çıkmaya başlamıştır. 1913 yılında Kelvin ilk termostatlı buzdolabı imal edip, satışa sunmuştur. 1930’da R-12 (soğutma maksatlı kullanılan soğutucu akışkan) gazı bulunarak CFC soğutucuların temeli atılmıştır. 1935’te R-22 (2030 yılına kadar kullanılabilir zeotropik bir karışım) soğutucu akışkanı bulunarak HCFC kökenli akışkanlar geliştirildi. 1989’da R-134a (termodinamik ve fiziksel özellikleriyle en uygun soğutucu madde) ve R-123 (santrifüj soğutucu ünitelerinde kullanılan alternatif soğutucu madde) ozon tabakasına zarar vermeyen HFC kökenli akışkanlar bulunarak

geliştirilmiştir. 1990'lı yılların başında R-22 ve R-502 yerine kullanılmak üzere ikili ve üçlü alternatif soğutucu akışkan karışımları geliştirildi. 1913 yılından beri soğutma teknolojisi sürekli gelişmiş ve bugünkü ortamda hayatın değişmez bir parçası olmuştur [28].

3.1. Soğutma Çeşitleri

3.1.1. Eriyik teşkili ile soğutma

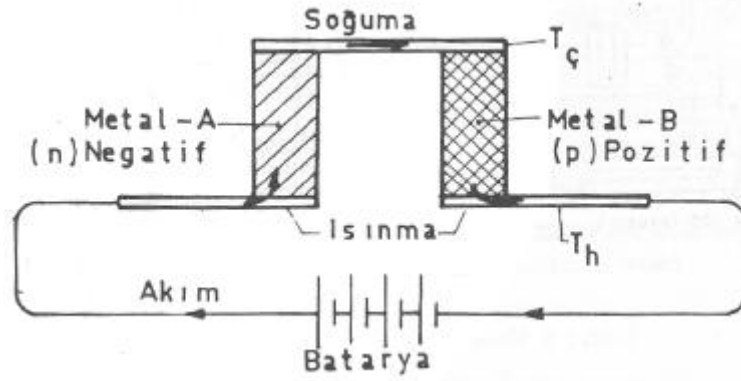
Bazı tuzlar suda eritildikleri takdirde belirli bir ısı yutarlar ve dolayısıyla soğutma meydana getirirler. Bu tuzlardan bazılarının yuttukları ısı miktarı ve ötektik noktaları (en düşük erime derecesi) Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Tuzlardan bazılarının yuttukları ısı miktarı ve ötektik noktaları.

Tuz	(kJ/kg)	T(°C)
NaCl	91.4	-21.2
NH ₃ Cl	305.2	-15.8
KNO ₃	350.4	-2.9

3.1.2. Termoelektrik soğutma sistemi

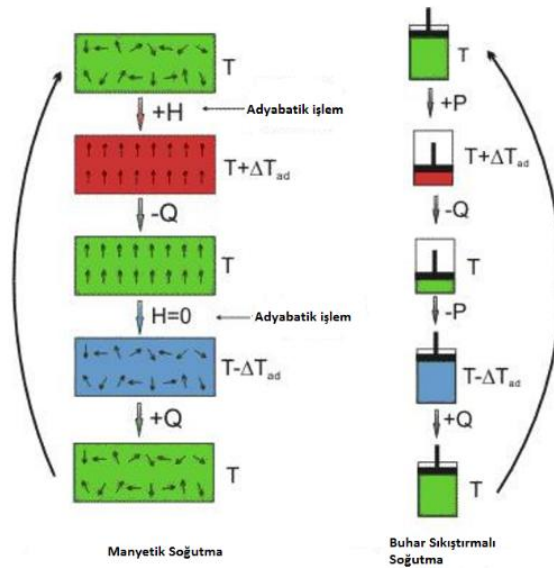
Peltier etkisi temeline dayanan bir soğutma sistemidir. Peltier etkisi, iki farklı metal unsurdan meydana gelen bir devreye doğru akım verildiğinde, akımın yönüne göre, aksi uçlarda sıcaklıkta artmanın veya azalmanın meydana gelmesi olayıdır. Bu olayda enteresane olan, devrede uçlar arasında bir sıcaklık farkı oluşması ve bu farkın etkisi ile uçlarda bir ısınma veya soğumanın meydana gelmesidir [28]. Şekil 3.1'de termoelektrik soğutma şekli verilmiştir.



Şekil 3.1. Termoelektrikle soğutma.

3.1.3. Manyetik soğutma sistemi

Manyetik soğutma sistemi fikri, ilk defa 1925’li yıllarda Debye ve Giauque tarafından ortaya atılmıştır. Manyeto-kalorik etki temelli bir metoddur. Bu metod, normal buzdolaplarının soğutma aralığının haricinde 1 K altı sıcaklıklarda da soğutma yapılabileceğinin şeklidir. İlk çalışan manyetik soğutucu 1933 başlarında tasarlanmıştır. Çalışma şeklinde adyabatik işlemlerin olduğu bu soğutma sisteminin çalışma prensibi ve sık kullanılan buhar çevrimli soğutucu tipi ile kıyası Şekil 3.2’de verilmiştir [41].

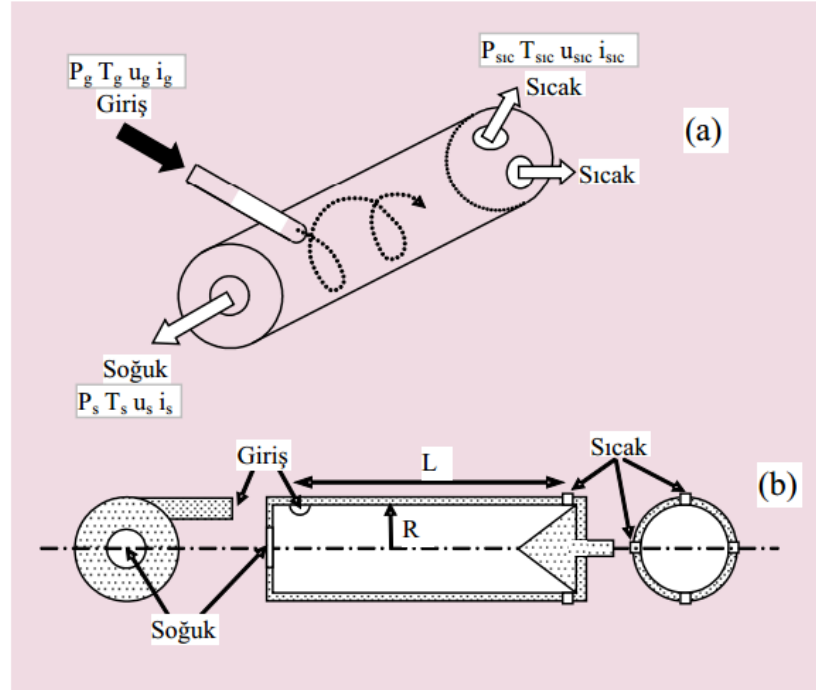


Şekil 3.2. Manyetik ve buhar sıkıştırırmalı soğutmanın karşılaştırılması.

Manyetik soğutma, adyabatik yani ısı yalıtımı olan bir ortamdan bir manyetik alan etkisiyle soğutma uygulanmasıdır. Bu alan başlangıçta düzensiz dağılmış olan moleküllerin manyetik alana göre dizilimlerini sağlar. Manyetik alan sebebi ile entropisi yani düzensizliği ve ısı sığaları azalan moleküllerin (ya da atomların) sıcaklığında bir yükselme olur. İzomanyetik entalpi transferinin olduğu bu aşamada dışarıdan tatbik edilen manyetik alan sabit tutulmak kaydı ile sistemden su yada helyum gibi bir akışkan geçirilerek Q kadar ısı uzaklaştırılır. Adyabatik demanyetizasyon başlangıç sıcaklığına soğutulmuş molekülün dışarıdan tekrar yalıtımı sağlandıktan sonra önceki aşamalarda kesintisiz tatbik edilen manyetik alan ile kesilir. Bu da ikinci aşamanın tam tersi etki ile entropi ve ısı kapasitesinde artmaya ve bu sebeple de sıcaklık düşmesine neden olur. Buradan sonra sistem başa döner ve sisteme dışarıdan bir ısı akışı olur. Dışarıdan sızan enerji sistemin başa dönmesini sağlar [29].

3.1.4. Vorteks tüpü ile soğutma sistemi

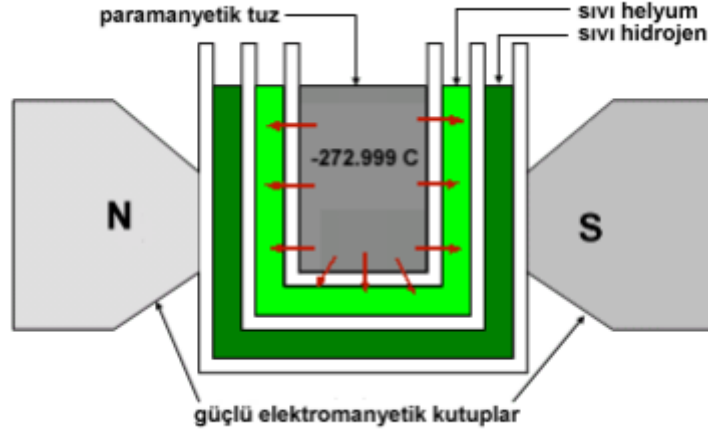
Bir eksen etrafında dönen akışkanın hareketine vorteks denilebilir. Vorteks tüpleri ile meydana gelen bir mekanik araç vasıtasıyla teğetsel bir hareket gerçekleştirilir ve yüksek basınç oluşur. Yüksek basınçlı gaz akımı, biri giriş gazından daha sıcak diğeri ise giriş gazından daha soğuk düşük basınçlı iki akıma ayrılır. Şekil 3.3’de vorteks tüpünün çalışması ve tüp geometrisinin şematik resmi gösterilmiştir [30].



Şekil 3.3. Vorteks tüpü, (a) çalışma şekli, (b) tüp geometrisi.

3.1.5. Paramagnetik soğutma ile soğutma sistemi

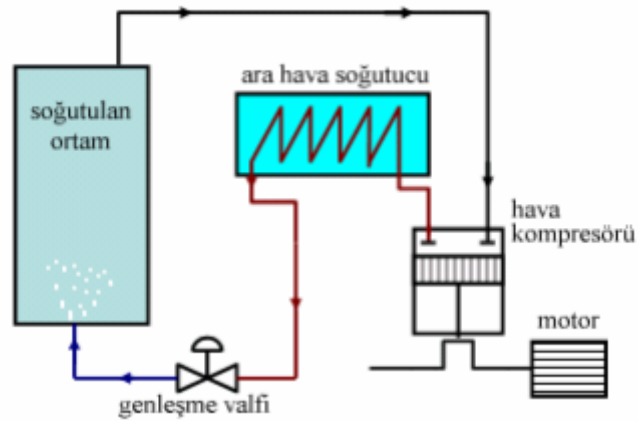
Mutlak sıfır sıcaklığına ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) yakın noktalardaki sıcaklıklara ulaşılacak amacıyla uygulanan bir soğutma şeklidir. Parametrik maddeler basit olarak “mıknatıs tarafından çekilemeyen maddeler” şeklinde tarif edilebilir. Bir parametrik madde (parametrik tuz) önceden aşırı derecede soğutulduğunda, diğer maddelerde olduğu gibi moleküllerin ısı iletimi çok azdır. Aşırı bir manyetik alana girildiğinde, paramagnetik tuz moleküllerinin birer elementer magnet durumuna dönüştüğü düşünülebilir. Şekil 3.4’de paramagnetik soğutma sisteminin çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 3.4. Paramagnetik soğutma.

3.1.6. Hava soğutma sistemi

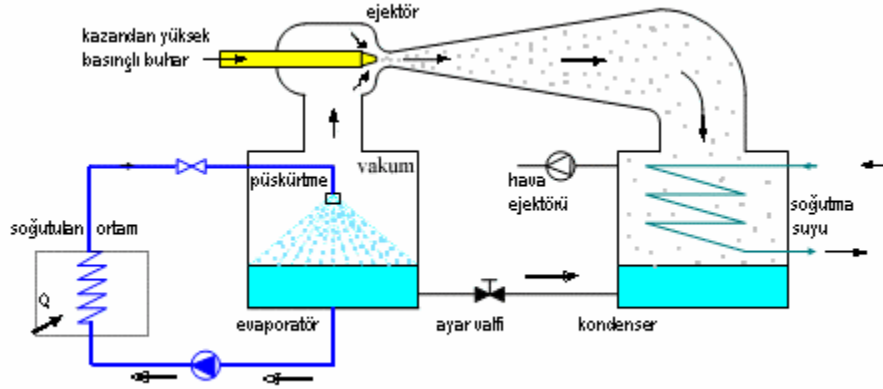
Şu anda en çok kullanılan soğutma şekli olan bu soğutma şeklinde diğer soğutma sistemlerinden farklı olarak, bütün sistemlerde soğutucu akışkan daima gaz halinde kalır ve kesinlikle sıvılaşmaz. İdeal hava soğutma çevriminin en sade, şekli esas olarak Joule Brayton çevriminin tersi olan çevrimdir. Hava soğutma çevrimi “açık sistem” veya “kapalı sistem” prensibine göre çalışır. Şekil 3.5’de hava soğutma sisteminin çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 3.5. Hava soğutma sistemi.

3.1.7. Buhar – jet (ejektör) soğutma sistemi

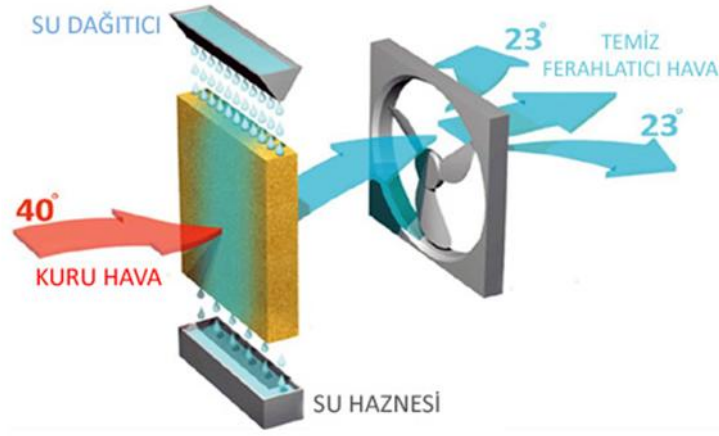
Temel prensibi bir buhar sıkıştırma çevrimidir. Bir difüzör ile sürüklenen soğutucu akışkan evaporatörde buharlaştırılmaktadır. Bu sistemde evaporatörde buharlaşan ve sürüklenen buhar ile difüzörde sürüklenme etkisi meydana getiren akışkanın aynı maddeden olması sistem tasarımını basitleştirir. Soğutucu maddesi su olan ve Sürükleyici akışkanın buhar olduğu bu uygulama, bu çevrimde en çok uygulanan akışkan maddeleridir ve “buhar-jet soğutma sistemi” adı ile anılır. Şekil 3.6’da buhar-jet (ejektörlü) soğutma sisteminin çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 3.6. Buhar-Jet(ejektör) soğutma sistemi.

3.2. Evaporatif (Nemlendiricili, Buharlaştırıcılı) Soğutma

Su buharlaşma esnasında çevresinden ısı emer ve Suyun ısı transfer katsayısının yüksek olması buharlaşma eğiliminin de yüksek olması anlamına gelir. Havadaki su buharı miktarının artmasının sebebi, suyun havayla temas ettiğinde havadan ısı alarak havayı soğutması ve dolayısıyla havadaki su buharı miktarının artmasıdır. Evaporatif soğutma sisteminin mantığı da havayı mümkün olan en yüksek su miktarıyla temas ettirerek havanın soğutulmasını sağlamaktır [31]. Şekil 3.7’de evaporatif soğutma sisteminin şematığı verilmiştir.



Şekil 3.7. Evaporatif soğutma sistemi.

Rüzgâr ve su doğanın kendi serinletme teknolojisidir. Su buharlaştığında ısıyı emer ve bu nedenle çevresinin sıcaklığı düşer. Suyun üzerinden hava üflemek buharlaşmayı hızlandırır ve emilen ısıyı götürür. Bu nedenle sıcak hissettiğimizde terleriz: tenimiz üzerindeki nemin buharlaşması bizi serinletir. Aynı nedenle, hafif bir esinti bile bize serinlik hissettirir; çünkü bulunduğumuz ortamdaki havada emili olan ısıyı alır götürür. Daha geniş bir ölçekte bu durum, bir deniz esintisinin nasıl ortaya çıktığını açıklar. Bu aynı zamanda, havayı emici selüloz pedlerin tuttuğu suyun üzerinden üfleyen evaporatif iklimlemenin nasıl serinlettiğini gösterir. Evaporatif sistemle çalışan klima evde, işyerinde, fabrikada kısaca her yerde havayı serinletir; ancak bunun yanında 3 önemli avantajda sağlar:

- Teniniz üzerindeki hava hareketi sizin odadaki sıcaklıktan daha serin hissetmenizi sağlar. Bu durum, “etkin sıcaklık” olarak bilinir ve mevcut sıcaklıktan 2- 4 °C daha düşük olabilmektedir.
- Hava hareketi, duvarlar, zeminler ve tavanlar üzerinden geçerek oralardaki ısıyı alır ve aynı zamanda binayı da serinletir (bu durum termal kütle soğutma olarak kabul edilmektedir).
- Evaporatif iklimleme soğuyan mekâna sürekli olarak dışarıdan temiz hava alır.

Temiz hava solumak çok önemlidir. Temiz hava aynı zamanda, evaporatif iklimleme sisteminin nasıl çalıştığı konusunda kritik bir öneme sahiptir. Evaporatif bir sistemde serinlemiş olan hava soğutulacak yerlere doğru hareket eder. Bu sırada hava;

insanlardan, zeminden, tavandan ve hatta mobilyalardan bile ısıyı emer. Sonra ısı yüklenmiş hava binadan dışarı atılır, yeni temizlenmiş ve serinlemiş hava mekânı doldurur. Evaporatif iklimleme sisteminde bir odanın havası saatte 50 defadan fazla değiştirilebilir. Aşağıda Şekil 3.8’de evaporatif soğutma sistemi ile serinletilen bir fabrikanın fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.8. Evaporatif soğutma sistemi ile serinletilen bir fabrikanın görüntüsü.

Teknik olarak soğutma sisteminin verimliliği hakkındaki teknolojik tartışmalar, pek çok ölçme yönteminin kullanılması nedeniyle kafa karıştırıcı olabilir. Örneğin iki adet yaygın sıcaklık ölçer bulunmaktadır: yaş termometre ve kuru termometre. Havada bulunan nem miktarının ise altı adet ölçüsü vardır: Islak termometre basıncı, doyma verimi, çiylenme noktası, salt nem, bağıl nem, bir kg kuru havadaki nem miktarı. Bazı tanımlamalar aşağıda verilmiştir:

Kuru Termometre Sıcaklığı (Dry Bulb Temperature): Standart bir termometre ile ölçülen ortam sıcaklığını ifade eder.

Yaş Termometre Sıcaklığı (Wet Bulb Temperature): Haznesindeki suyun buharlaşması nedeniyle teorik olarak en düşük sıcaklığı gösterir. Yaş termometre sıcaklığı, nem, rakım (deniz seviyesine göre yükseklik), kuru termometre sıcaklığı ve diğer faktörlerden etkilenir.

Islak Termometre Basıncı (Wet Bulb Depression): Kuru termometre ve ıslak termometre sıcaklıkları arasındaki farktır. Islak termometre basıncı, soğutma araçlarının yüzde kaç verimle çalıştığını saptamakta kullanılır.

Soğutma Verimi ya da Doyma Verimi (Cooling Efficiency or Saturation Efficiency): Evaporatif sistemle çalışan bir klimada, mevcut sıcaklıktaki düşme, ıslak

termometre basıncı'nda okunan değerin bir ifadesi olarak buharlaşma noktasında başarılır. örneğin, Islak Termometre Basıncı yukarıdaki gibi, 17° ve mevcut sıcaklıktaki düşme 14° ise, bu soğutma aracının verimi $14/17 \times 100 = 82,35 \%$ olmaktadır.

Çiylenme Noktası (Dew Point): Nemin yoğunlaşmaya başladığı sıcaklıkta, havanın % 100 neme doyduğunu gösteren parlak bir yüzey oluşur. Bu, sabahları bitkiler üzerinde çiyin nasıl meydana geldiğini de açıklar. Çiylenme noktasında Kuru Termometre Sıcaklığı, Islak Termometre Sıcaklığı ile aynı seviyeye gelecek şekilde düşer.

Bir kg kuru havadaki nem miktarı (kilograms of moisture per kilogram of dry air): Bu, 1 kg kuru havadaki mevcut su buharını ölçmenin bir metodudur. Çoğunlukla “Nem Payı” olarak bilinir.

Mutlak Nem (Absolute Humidity): Havadaki su buharının ölçüsüdür (1 m³ hava içinde bulunan nemin gr olarak ağırlığı).

Bağıl/Görelî Nem (Relative Humidity): Hava içinde bulunan nemin, havanın aynı sıcaklıkta taşıyabileceği nem miktarı ile karşılaştırılmasıdır. Bu oran, hava durumlarında raporlanan en yaygın metindir.

Evaporasyon Oranı/Hızı (Evaporation Rate): Doymuş selüloz ped'lerden geçen hava tarafından emilen su oranıdır. Pratik amaçlarla bu oran, 1 saatte buharlaşan suyun litre cinsinden miktarıyla ölçülür.

Evaporatif iklimlemede, evaporatif doğal sıcaklık derecesinin yeterince düşük olduğu, yani bu sıcaklık derecesine yakın sıcaklıkta buharlaşma işlemi ile soğutulan havanın, iklimleme için direkt kullanılabildiği iklimsel koşullarda etkili çalışır. Evaporasyon süreci, suyun buharlaşmasının, gizli ısının, duyulan ısıyla yer değiştirmesi aracılığıyla serinlemede işlenen ısının adyabatik değişimini gerektirir. Meydana gelen evaporasyon miktarıyla orantılı olarak havanın sıcaklığı düşürülür [32].

Evaporatif soğutmada hava besleme sıcaklığını hesaplamak için aşağıda verilen yöntem uygulanır:

$T_{db} = 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{wb} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve ped verimi % 80 olduğunda;

$$T_{ins} = T_{db} - (T_{db} - T_{wb}) \times \text{ped verimi} / 100$$

$$T_{ins} = 38 - (38 - 21) \times 80/100$$

$$T_{ins} = 38 - 17 \times 0.8$$

$$T_{ins} = 38 - 13.6 = 24.4 \text{ °C olarak hesaplanır.}$$

Evaporatif iklimlemenin soğutma kapasitesini (hassas soğutma kapasitesi) hesaplamak için;

$$m_s = 12000 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$TD = 13.6 \text{ °C (yukarıdaki örneğe göre)}$$

Havanın yoğunluğu (ρ) 1.2 kg/m^3 olarak alınırsa:

$$Q_o = \rho \times m_s \times TD / 3600 = 12000 / 3600 \times 13.6 \times 1.2 = 3.334 \times 13.6 \times 1.2$$

$$= 54.41 \text{ kW (hissedilen serinleme), bulunur.}$$

Evaporatif iklimleme; mikropların sürekli olarak geri dönüştürüldüğü, soğuk ve ortam sıcaklığı arasında hareket etmekten kaynaklanan hastalıkların olduğu yerlerde daha verimli ve daha sağlıklı bir ofis ortamı oluşmasını sağlar.

Mağazalar, depolar, fabrikalar ve showroom gibi geniş alanlarda buğulu iklimleme sisteminin kullanımı yıllık on binlerce dolarlık tasarruf sağlar. En önemli avantajlarından birisi; hava kaybının çok belirgin olduğu, soğutulmuş havanın geri dönüşümünü kısmen engelleyen soğutuculu sistemlerin kullanıldığı yerlerde ortaya çıkar. Buna; zayıf/kötü yalıtım yapılmış fabrika yapıları, kapıların çoğunlukla açık olduğu (özellikle büyük dönen kapılar) ya da uzun süreler açık bırakıldığı yerler ve giriş/çıkışın yoğun kullanıldığı okul ortamları dâhildir.

Diğer bir ideal uygulama alanı, biriken yemeklik yağ ve kokunun hafifletilmesine yardımcı olduğu için yemek yenilen yerlerdir.

4.DENEYSEL ÇALIŞMA VE FOTOVOLTAİK PANELLERİN MODELLENMESİ

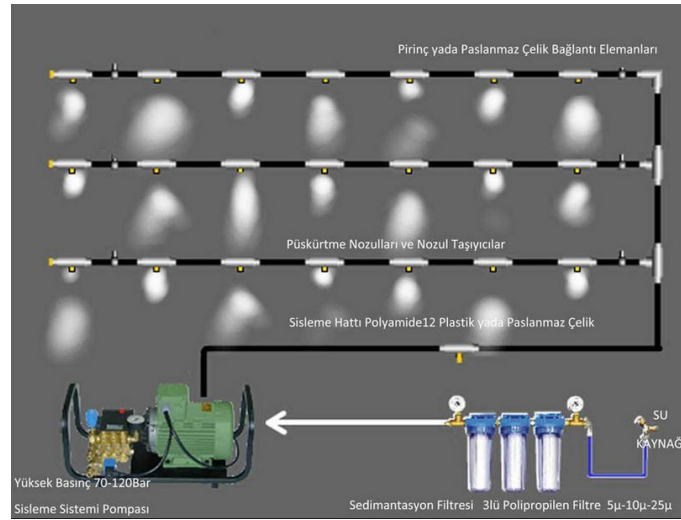
Son yıllarda oldukça fazla kullanılmaya başlanan çevreci ve ekonomik sisleme sistemi, özel tasarlanmış yüksek basınç pompaları sayesinde nozullara iletilen suyun, 2-10 mikron mertebelerindeki çaplara kadar partiküllere bölünmesi işlemi ile havada asılı kalması ve bir sis bulutu oluşturmaktadır. Çok küçük olan bu su parçacıkları, hiçbir şekilde damlama veya ıslatma yapmadan ortam içerisinde tamamen buharlaşır. Bu sistem ile sıcak ve kuru ortam havası, havada asılı olan bu su parçacıklarını yutarak ortamın sıcaklığının düşmesine neden olur. Sisleme sisteminin bazı özellikleri aşağıdaki bölümlerde detaylandırılmaktadır.

4.1. Sisleme Sistemi İle Serinletme Yöntemi

Bu sistem sayesinde, aynı miktarda su kullanımıyla daha fazla yüzey alanı sağlanır. Sisleme sisteminin temelini oluşturan 70 ile 100 bar arası yüksek basınca ulaşabilen pompalar kullanılır. Bunun sonucunda da daha hızlı ısı aktarımı, verimli serinletme ve nemlendirme sağlanmış olur. Sisleme sistemlerinin en güzel yanlarından biri olan koku giderimi de yüksek verimlilikle sağlanır. Hatlı sistem ve fanlı sistem olarak ikiye ayrılan sisleme sistemi sayesinde eğer istenirse serinletilen ortamlara parfümlendirme yapılarak güzel koku sürekli verilebilir. Açık ortamlarda sürekli insanları rahatsız eden sinek, sivrisinek ve kanatlı haşerelerin bu sistem sayesinde yaşamadığı ve bu mekanlardan uzak durdukları da gözlenmiştir.

Dış çevre sıcaklığını daha düşük değerlere hızlı bir şekilde düşürdükleri için sisleme sistemi çok faydalıdır. Sisleme sistemi ile ortam sıcaklıkları birkaç dakikada normal sıcaklıklara getirilebilir. Bu özellik, insanların bu tür sistemleri kullanmayı tercih

etmelerine temel sebeptir. Büyüklüğüne ve gücüne bağlı olarak, sisleme sistemlerinin geniş bir alan üzerinde daha düşük sıcaklıklar elde etme yeteneğine sahip olduğu bilinir. Stadyum ve seraların serinletilmesinde oldukça kullanışlıdır. Sistem tarafından elde edilen su oldukça hijyeniktir. Çünkü bu su nozullardan geçmeden önce filtrelenir. Saatte ortalama dört ile sekiz litre su tükettiği için de oldukça ekonomiktir. Oldukça fazla üstün özellikleri olan sisleme sisteminin birçok faydaları da vardır. Bunlar: dış ortam uygulamaları için oldukça uygundur, üniteleri küçük parçalardan oluşur ve hafiftir, çevre dostudur, zehirleyici özelliği yoktur, yüksek verimli ısı bastırma özelliği, sınırlı miktarda su kullanması, sıcaklık düşürücü diğer hava şartlandırıcılarına göre maliyeti düşüktür. Uygulama alanının yakınındaki bölgelerin tozlarından ve diğer kirletici etkilerinden temizlenmesini sağlar. Aşağıdaki Şekil 4.1’de sisleme sisteminin genel çalışma prensibi verilmiştir. Sisleme tesisatında kullanılan ürünler ise aşağıda Tablo 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Sisleme sisteminin genel çalışma prensibi.

Tablo 4.1. Sisleme sistemi ekipmanları

	POMPALAR: Püskürtmeli sistem ana pompalar.
	FİLTRELER: Sisteme gönderilen suyun filtrelenmesi için sistemler.
	BAĞLANTI PARÇALARI : Sistemi oluşturan tüm boru, filtre ve pompaların birbirine bağlantısını sağlayan bağlantı elemanları.

Tablo 4.1 (devamı). Sisleme sistemi ekipmanları

	MEMELER: Püskürtücü memeler.
	KİTLER: Komple sistemler.

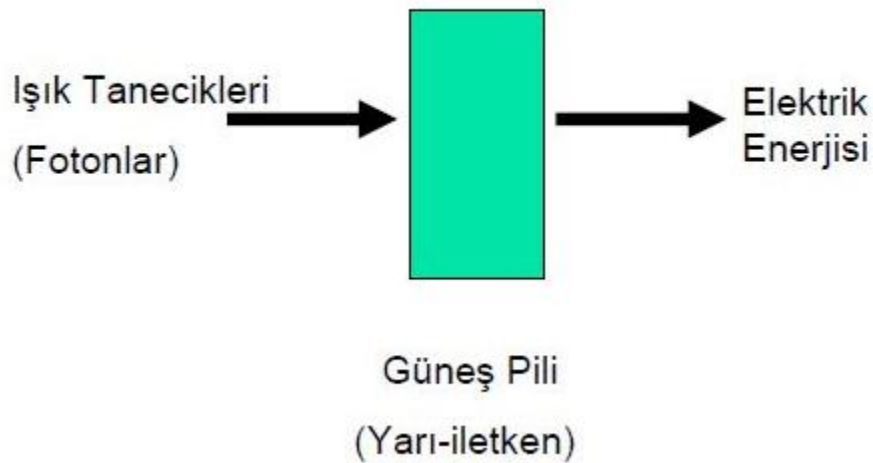
Sisleme sistemlerinin özellikleri:

- Klasik yöntemlere göre nem ve sıcaklık kontrolünü sağlamak amacıyla daha ucuz ve daha pratik bir yöntemdir,
- Çalışanların iş performanslarında %30'lara varan artış sağlayan, serin ve sağlıklı çalışma ortamı vardır,
- Montajı kolay ve tesisat esnektir,
- Düşük enerji maliyeti vardır,
- Yüksek verimlilikle çalışır,
- İç ve dış mekanları soğutulmuş, konforlu bir ortam sağlar,
- Bakım maliyeti çok küçüktür,
- Nem kontrolü otomasyonu yapılabilmektedir.

- Sivrisinek sinek vb. böcekleri çevreden uzak tutarlar,
- Ortamdaki toz % 85 oranında bastırılabilir,
- Ortamdaki kötü koku % 100 oranında giderilmektedir,
- Bağıl nem seviyesi % 25 ile % 95 arasında hassas olarak ayarlanabilmektedir,
- Basınçlandırılmış hava kullanan diğer püskürtmeli sistemlere nazaran % 90 daha az enerji harcarlar.

4.2. Sistemin Çalışma Prensibi

Tezimizin esas ögesi olan güneş pillerinin güneş ışığından faydalanıp elektrik üretebildiklerini daha önce belirtmiştik. Foton adı verilen küçük enerji paketlerinden oluşan yapıya güneş ışığı adı verilir. Güneşten gelen fotonlar bir dakikada dünyanın bir yıllık enerji tüketimine yetecek kadar enerjiyi dünyamıza ulaştırırlar. Güneşten gelen bu enerjiyi kullanarak elektrik üretme amacı ile fotovoltaik paneller başka bir deyişle güneş panelleri, son yıllarda oldukça popüler olmaya başlamıştır. Bir güneş hücresi yarı iletken bir diyot olarak çalışır ve güneş ışığının taşıdığı enerjiyi iç fotoelektrik reaksiyondan faydalanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Şekil 4.2’de güneş pilinden elektrik elde edilmesi temel olarak verilmiştir.



Şekil 4.2. Güneş pilinden elektrik elde edilmesi.

Bir güneş hücresinin performansı da her kurulan sistemde olduğu gibi verimi ile ölçülür. Aldığı enerjinin ne kadarını elektriğe dönüştürdüğünü belirlemek güneş pilinin verimini belirler. Sadece belirli dalga boylarındaki ışık elektriğe dönüştürülebilmektedir. Geri kalanı ise ya emilmekte ya da yansıtılmaktadır. Kimyasal güçle oluşturulan elektrik dizisi terimi ışık kaynağını kullanırken güneşten enerji kontrol altına almak için özellikle kullanılır. Güneş hücreleri güneş panelleri güneş modülleri ya da kimyasal gücü oluşturan elektronların bulunduğu dizileri oluşturmak için bir araya getirir.

Güneş sisteminde elektrik enerjisi üretmek için kurulacak bu sistemde batarya, regülatör, invertör, yardımcı elektronik devreler bulunur. Akünün deşarj veya aşırı şarj olarak zarar görmemesi için akü şarj regülatörü kullanılır. Şarj regülatörü akünün kapasitesine göre güneş pillerinden gelen akımı keser. Bu durumda invertör devreye girerek doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çevrilir ya da güneş ışığını yetersiz kaldığı durumlarda aküden aldığı 12-24 V akımı 220 V akıma çevirerek sistemin elektrik ihtiyacını giderir. Kurmuş olduğumuz deney düzeneği sayesinde üretilen elektrik, yüksek basınç pompalarını çalıştırmakta ve su mikron büyüklüğünde zerrelere ayrılmaktadır ve sonucunda da mekânda sis oluşmaktadır. Bu yöntemde oluşturulan zerrelere o kadar küçüktür ki ortamın nemine bağlı olarak kısa sürede buharlaşır. 5-15 mikron büyüklüğündeki küçük tanecikler oluşması aynı ölçekte su kullanımıyla daha fazla yüzey alanına etki sağlar. Bu çalışmada sisleme (misting) yöntemi kullanılarak yüksek basınçlı bir pompa yardımıyla şebeke suyunun filtrelerden geçirilerek borular ve memeler (nozzle) aracılığı ile ortama salınan atomize olmuş su zerrecikleri kuru ve sıcak hava tarafından buharlaşarak emilmesi sonucunda açığa çıkan enerjinin ortamı serinletmesi esasına göre çalışmaktadır.

Güneş pilleri (fotovoltaik piller) kullanılarak çardakların serinletilmesinde sisleme sistemi bu çalışmada kullanılmıştır. Güneş enerjisi temiz yenilenebilir sürekli enerji kaynağı olduğundan misting sistemler ülkenin her yerine rahatlıkla taşınabilir. Kurulumu basit olması ve fazla yer kaplamaması nedeniyle istihdam olanakları sağlar. Geniş açık alan uygulamalarına uygun olup, sınırlı miktarda su kullanılır. Klima ile ortam serinletmelerde meydana gelen sinüzit, nezle, bel ve boyun tutulması gibi sağlık sorunlar sisleme sistemlerinde yoktur. Bu da sisleme sistemlerinin gelecekte açık ortamlarının serinletmesinde yukarıdaki etkenler göz önünde bulunduğunda tercih edilmesi için birçok faktörden dolayı cazip hale gelecektir.

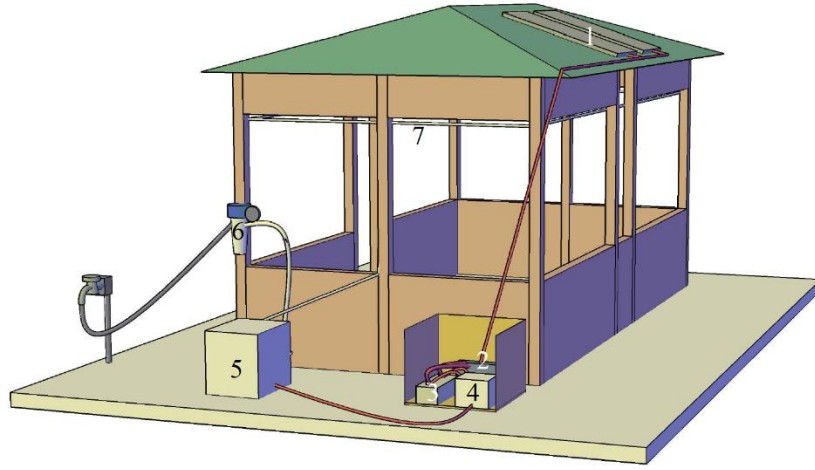
4.3. Deneysel Çalışma

Yapılacak olan bu çalışmada, sisleme yöntemi ile çardak üzerinde birkaç adet güneş pili (PV) modülü monte edilerek söz konusu bölgenin serinletilmesi ve nemlendirilmesi sağlanacaktır. Çardağın, Serinletilen bölgelerinin kenarları atmosfere açıktır.

Elazığ (38.6775° K, 39.1707° D) ilinde bir sitenin bahçesinde yer alan 24 m²'lik bir çardakta fotovoltaiik (güneş) pillerden elektrik sağlanarak sisleme sistemi çalıştırılmıştır. Şekil 4.3'de serinletme sisteminin çardakta kurulmuş hali, Şekil 4.4'de ise çardak bölgesi sisleme sisteminin detayları ve Şekil 4.5'de ise çardak alt bölgesinin sisleme anındaki görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.4'de 1:Güneş panelini, 2: Şarj regülatörünü, 3; Batarya, 4: İnverter, 5: Basınçlı su pompası, 6: Filtre ve 7: Nozullardan su çıkışını göstermektedir.



Şekil 4.3. Çardak bölgesi sisleme sistemi.



Şekil 4.4. Çardak bölgesi sisleme sisteminin detayları.



Şekil 4.5. Sisleme anında çardak alt bölgesinin görünümü.

Sisleme sistemi Çardak bölgesinin serinletilmesi için kullanılmıştır. Sistemde 150 Watt'lık iki adet güneş pili kullanılmıştır. Söz konusu alan için kullanılan sisleme sisteminin teknik ve ekonomik özellikleri Şekil 4.4'de verilen ekipman numaralarına göre Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Güneş pilleri destekli sisleme sisteminin özellikleri ve fiyatları

Sistemler	Eleman	Teknik özellik	Fiyat (Euro)
Fotovoltaik sistem	Güneş panelleri (1)	Bluesun 150W mono kristal.	465 (iki adet)
	Şarj regülatörü (2)	Vista 15a 12/24V	90
	Akü (3)	VRLA GEL; 100 Ah, Nominal gerilim: 12 V; Standby durumunda şarj gerilimi: 12-16 V; Şarj akımı: 2.25 A.	100
	İnverter (4)	Üretici: SKN-S2012; Giriş 220 VAC, 50/60 Hz, 30 A, Maks., 1φ; Çıkış 220 VAC, 50/60 Hz, 2000 W, Maks., 1φ; DC Giriş: 12 VDC; Renk: Siyah; N.W.: 19 kg, G.W.:20 kg.	550
	Güneş pili bağlantıları	UV korumalı çoklu solar kablo ve bağlantıları (10 m), Güç kablosu (15 m).	275
Sisleme sistemi	Basınçlı su pompası (5) ve filtresi (6)	Üretici: Normist; tip: RR-2; basınç: 70 bar; akış LPM:2; motor gücü: 0.75 HP, 0.55 kW; gerilim: 220 V; nominal akım: 2.5 A; nozul çapı: 0.2 mm; su giriş/çıkış çapı: 9.525/12 mm, gürültü seviyesi: 78 dB.	1000
	Dağıtım sistemi (7)	Üretici: Normist; hegzagonal nozul serisi: 0.2 mm, nozul sayısı: mini. 16 unit, maks. 28 ünite; nozul akış değeri: 0.075 lt/dak (70 bar'da), kısıkaçlar, basınçlı pompa regülatörü, sonlandırma hattı, hızlı boşaltma, yüksek basınç plastik borusu, düşük basınç plastik borusu, plastik klips, hızlı bağlantı elemanları, T- bağlantı, L-bağlantı, basınç ölçer.	
Toplam maliyet			2480

Deneysel çalışmada kullanılan invertör, şarj regülatörü ve akünün fotoğrafı Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. İnverter, şarj regülatörü ve akü.

Çalışmanın yapıldığı Elazığ ilinin iklim özellikleri aşağıda verilmiştir. Deneyler, Elazığ’da dış hava sıcaklığı ve ortalama güneşlenme süresinin yıl boyunca en yüksek olduğu ve bağıl nemin en düşük olduğu Temmuz ayında yapılmıştır. Tablo 4.3’de Elazığ ilinin 1960-2012 yılları aralığındaki bazı meteorolojik verileri verilmiştir.

Tablo 4.3. Elazığ ili için bazı meteorolojik ortalama değerler [33]

Meteorolojik faktörler	Aylar											
	Oc.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağs.	Eyl.	Ek.	Kas.	Ara.
I	-0.8	0.5	5.8	11.9	17.2	22.9	27.3	26.8	21.6	14.6	7.1	1.9
II	2.9	4.9	11.1	17.7	23.6	29.6	34.3	34.1	29.4	21.7	12.6	5.6
III	-3.9	-3.1	1.0	6.4	10.7	15.2	19.3	19.0	14.3	9.0	3.0	-1.1
IV	2.4	3.4	5.2	6.5	9.1	11.4	12.2	11.4	9.5	7.1	4.4	2.3
V	11.9	11.9	12.2	12.7	10.6	4.3	1.1	0.8	2.2	7.2	9.1	11.7
VI	75	72	64	56	49	36	30	30	35	51	69	76

I: Ortalama sıcaklık (°C), II: Ortalama en yüksek sıcaklık (°C), III: Ortalama minimum sıcaklık (°C), IV: Ortalama güneşlenme saati (saat), V: Ortalama yağmurlu gün sayısı (gün), VI: Ortalama bağıl nem (%).

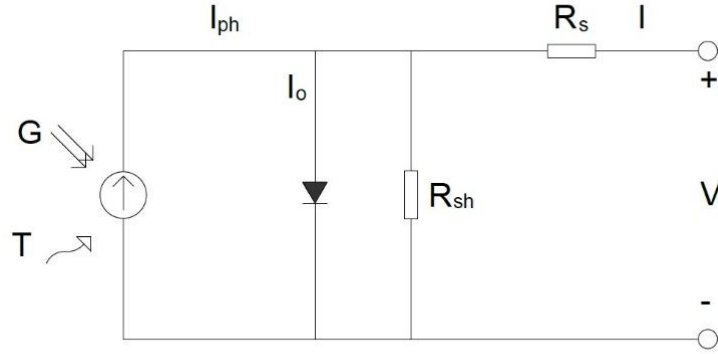
4.4. Güneş Pillerinin Modellenmesi

4.4.1. Modelleme ile ilgili genel bilgiler

Yapmış olduğumuz sistemin genel performansının analizini yapmadan önce PV panelinin performansını analiz etmekte fayda vardır. Bu sebeple, güneş paneli özellikleri bu uygulamada farklı bir başlık altında değerlendirilmiştir. Elimizde bulunan bir PV panel jeneratör güneş hücreleri, kavşaklar, koruyucu parça ve ikincil unsurlardan oluşur. İnce bir silikon devre levha üzerine ya da yarı-iletken tabaka üzerine toplanan güneş pilleri, P ve N kavşaklardan oluşur. Işıksız bir ortamda bir güneş panelinin I-V özellikleri, bir diyotun eksponansiyel karakteristiklerine benzerdir. Fotonlar (güneş enerjisi), yarı-iletken bant aralığı enerjisinden daha fazla bir enerji miktarı ile fotovoltaiik hücreye geldiğinde, çarpışma meydana gelir ve daha sonra elektron çifti meydana gelir. Bu kinetik durum P ve N mafsallarının iç elektrik alan tesiri altında ayrı bir alana süpürülür ve ışınlımla orantılı bir akım ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu akım, kısa devre paneli hücrede ortaya çıktığında dış devreye akar ve devre açık olduğunda P ve N diyotu ile iç paralel devreye yönelir. Bu sebeple, bu diyotun özellikleri panel hücresinin açık devre özelliklerini oluşturur. Dolayısıyla, basit bir güneş pili eşdeğer devre diyotlu bir paralel akım kaynağıdır. Panel hücre üzerindeki radyasyon ile akım kaynağından alınan çıkış, doğrudan orantılıdır. Işıksız bir ortamda güneş (fotovoltaiik) pili aktif bir elaman değildir. Bir diyot olarak gerçekleştirir. Bu gerilim veya akım üretmez. Ancak, harici bir kaynağa bağlıysa, "diyot akımı" ya da "karanlık akımı" olarak adlandırılan bir akım oluşturur [34-35].

Diyot fotovoltaiik hücrenin I-V özelliklerini belirler. En iyi I-V grafik eğrisi çizmek veya elde etmek için, diyot idealite faktörü ve tek bir paralel diyot kullanılır. Bu model

Gow ve Manning tarafından elde edilmiş olup iki diyot modelinin basitleştirilmiş modelidir [36]. Güneş pili hücre devre şeması Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Güneş pili hücresi çevrim şeması.

burada;

I_{ph} : Işıl akım,

I_o : Diyot doyma akımı,

R_s : Seri direnç,

R_{sh} : Paralel devre direnci,

T : Çevre sıcaklığı,

G : Işınım,

V : Çıkış gerilimi.

I_o ve I_{ph} sıcaklığa bağlıdır. R_s maksimum güç noktasının ve açık devre geriliminin açıklanması amacıyla devreye dâhil edilir. R_s akımının akışının neden olduğu iç kayıpları anlamına gelir. R_{sh} diyot ile paralel olan ve toprağa olan kaçak akımı gösterir. R_{sh} genellikle ihmal edilebilir ve eşdeğer devrede gösterilmemiştir. İdeal bir güneş paneli hücresinde $R_s = R_{sh} = 0$ [36].

Güneş paneli I-V özellikleri aşağıda verilen denklemler ile hesaplanabilir. Orta düzey karmaşıklığı modeli bu çalışmada kullanılmıştır.

$$I_{ph} = I_d + I \quad (4.1)$$

$$I_d = I_0 e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \quad (4.2)$$

$$I = I_{ph} - I_0 e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \quad (4.3)$$

burada;

q: İlk şarj (1.602×10^{-19} C),

k: Boltzman sabiti (1.381×10^{-23} J/K),

n: Diyot idealite faktörü, Tablo 4.4’de verildiği gibi PV teknolojisine bağlıdır.

Tablo 4.4. Farklı PV tiplerinin idealite faktörü

PV tipi	n
mono-crystalline silicon	1.2
poly-crystalline silicon	1.3
cadmium telluride	1.5
gallium arsenide	1.3
amorphous silicon	1.8

Denklem 4.1,4.2 ve 4.3, I-V karakteristik eğrisini çizmek için yeterli değildir: I_{ph} , V_{oc} ve I_0 değerleri modeli tamamlamak için gereklidir.

$$I_{ph} = I_{ph} T_{ref} + K_0(T - T_{ref}) \quad (4.4)$$

$$I_{ph} T_{ref} = I_{sc} T_{ref} \frac{G}{G_{ref}} \quad (4.5)$$

$$I_0 T_{ref} = \frac{I_{sc} T_{ref}}{e^{\frac{qV_{oc} T_{ref}}{nkT_{ref}}} - 1} \quad (4.6)$$

$$I_0 = I_0 T_{ref} \frac{T}{T_{ref}} e^{\frac{3}{n} \frac{qV_g(T_{ref})}{nk \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right)}} \quad (4.7)$$

burada;

Güneş pillerinde maksimum verim maksimum güç ve anlık ışık arasındaki orandır.

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{in}}} = \frac{I_{\max} V_{\max}}{AG} \quad (4.10)$$

burada A, panel hücre alanıdır.

Güneş pilinin dolum faktörü, şarja sebep olan maksimum gücün I_{SC} and V_{OC} çıkışına oranıdır.

$$FF = \frac{P_{\max}}{V_{OC} I_{SC}} = \frac{I_{\max} V_{\max}}{V_{OC} I_{SC}} \quad (4.11)$$

Dolum faktörü gerçek I-V özelliklerinin bir ölçüsüdür. Bu değer, iyi olarak kabul edilebilir hücreleri için 0.7'den daha yüksektir.

4.4.2. Çalışmada kullanılan güneş panelinin modellenmesi

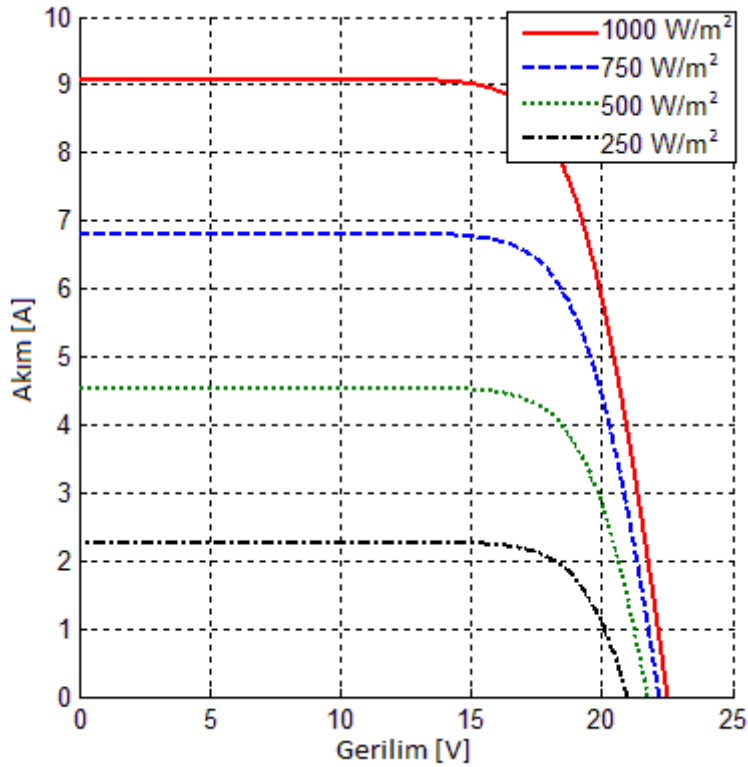
Çardak deneylerinde kullanılan güneş panellerinin modeli Bluesun 150W mono kristaldır (BSM-150). Bu güneş panelinin katalog değerleri Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5. BSM-150 güneş pilinin tipik elektriksel özellikleri

Parametre	Gösterim	Değer	Parametre	Gösterim	Değer
Maksimum güç	P_m	150 W	Hücre boyutu	Mm	156x156
Güç toleransı	%	+5	I_m sıcaklık katsayısı	$(\%/^{\circ}C)$	+0.1
Mak.-güç gerilimi	$V_m (V)$	18.11	V_m sıcaklık katsayısı	$(\%/^{\circ}C)$	-0.38
Mak.-güç akımı	$I_m (A)$	8.32	P_m sıcaklık katsayısı	$(\%/^{\circ}C)$	-0.47
Açık devre gerilimi	$V_{OC}(V)$	22.51	I_{SC} sıcaklık katsayısı	$(\%/^{\circ}C)$	+0.1
Kısa devre akımı	$I_{SC}(A)$	9.08	V_{OC} sıcaklık katsayısı	$(\%/^{\circ}C)$	-0.38
Mak.-sistem gerilimi	VDC	1000	NOCT-Nominal İşletme Hücre Sıcaklığı	$^{\circ}C$	48±2
Hücre verimi	$\eta_c (\%)$	≥17	Dolum faktörü	%	≥73.3

Bu veriler, Standart Test Şartları (STC) göre elde edilmiştir, bunlar: 1 kW/m² (1 sun), hücre sıcaklığı 25 °C.

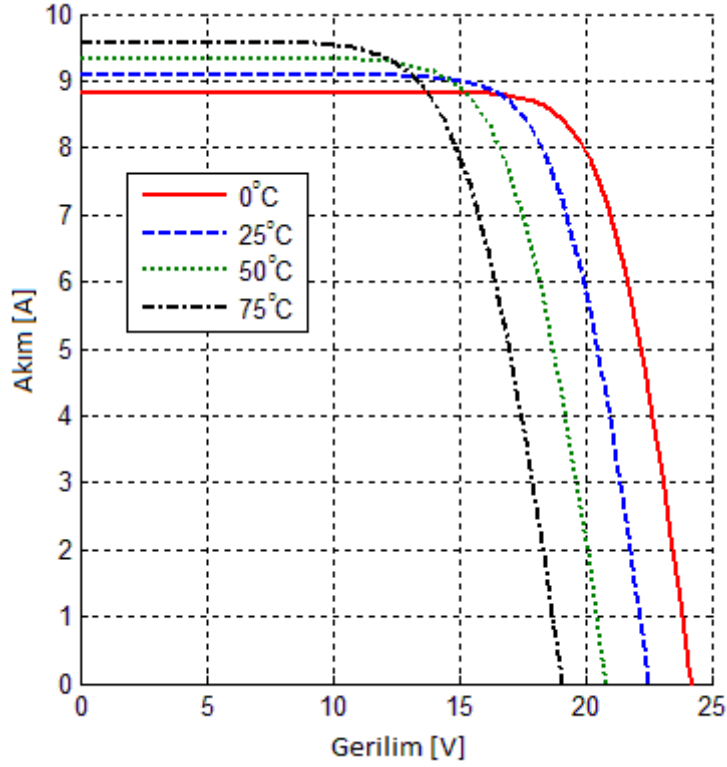
MATLAB yazılım programı kullanılarak hesaplanan güneş paneli modeli ve modelin parametreleri önceki bölümde verilen denklemler kullanılarak uygulama sırasında değerlendirilir. Program, sıcaklık, gerilim ve ışınlım değişkenlerini göz önüne alınarak elektriksel parametreleri (I_{SC} , V_{OC}) hesaplar. Buna ek olarak, bu program modelin dizi dirençlerini de dikkate alır. Bu direnç akımı için bir çözüm oluşturur (Denklem 4.3). Newton-Raphson yöntemi bu programda kullanılır çünkü bu yöntem, hem pozitif hem negatif akımların çok daha hızlı hesaplanmasını sağlar. MATLAB fonksiyonu çıkışı değişik ışınlım değerlerine (250, 500, 750 ve 1000 W/m^2) göre Şekil 4.9'da (25°C için) değişik dış ortam sıcaklıklarına göre sırasıyla ise Şekil 4.10'da ($G=1000 \text{ W/m}^2$ için) gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Değişik ışınlım değerlerine göre I-V eğrileri.

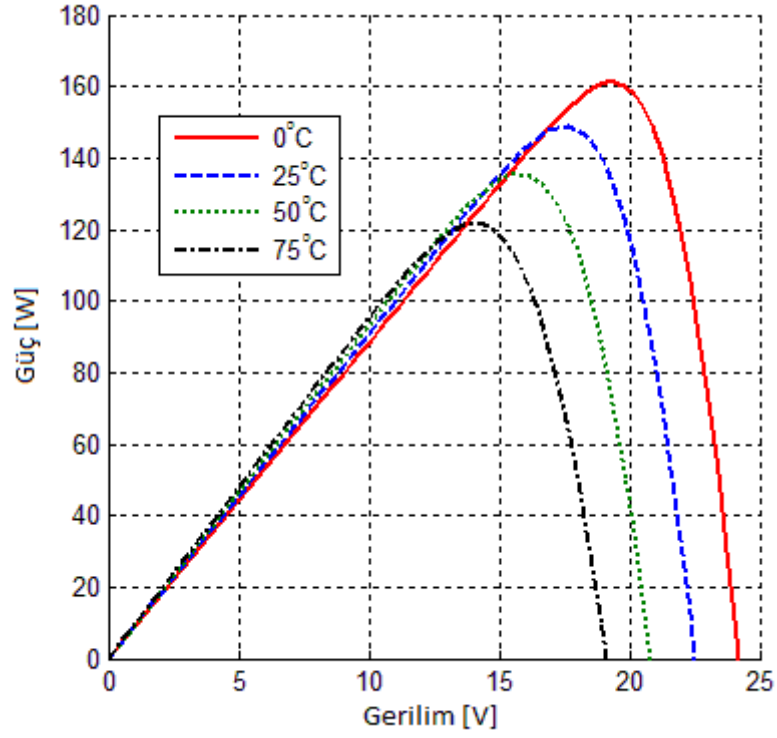
Ayrık veri noktalarının sayısı Şekil 4.10'daki eğrilerde gösterilmiştir. Bu üreticinin yayınlanan eğrileri ile doğrudan alınan noktalardır ve model ile mükemmel uyumu vardır.

Çalışmamızda kullanılan 150 Watt'lık güneş pili için elde edilen eğriler I_L akımının 9.08 ile 9.35 A ($\approx 3\%$) arasında değiştiğini T 'nin ise 25 ile 75°C arasında değiştiğini gösterir.



Şekil 4.10. Değişik sıcaklıklara göre I-V eğrileri ($T=0, 25, 50, 75$ °C).

Şekil 4.11 farklı dış ortam sıcaklıkları için güç gerilim (P-V) eğrisini ($G=1000$ W/m² için) gösterir. Üreticiden alınan ayrık veri noktaları eğrilerinin model sonucu elde edilen eğrilerle yine mükemmel uyumlulukta olduğu görülür.



Şekil 4.11. Farklı sıcaklıklar için P-V eğrileri ($T=0, 25, 50, 75\text{ }^{\circ}\text{C}$).

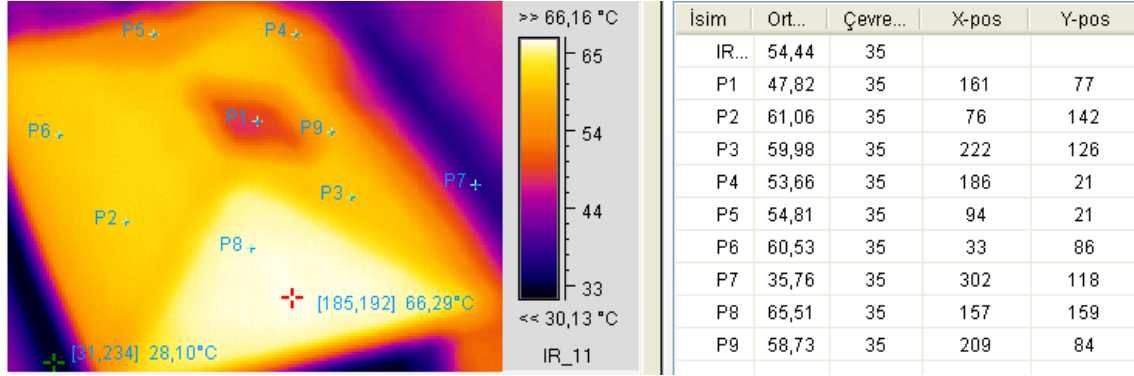
Çalışmalarımızda kullanılan BSM-150 güneş pili hücresinin verimi ve dolum faktörü sırasıyla 17.12% ve 73.71 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.5'deki verilere göre).

4.5. Deneysel ve Ekonomik Analiz

Daha önceki bölümde verim ve dolum faktörü değerlerinin iyi olduğunu gördüğümüz güneş pilleri modellemesini yapmıştık. Literatürde rastlamadığımız bir şekilde çardak ortam serinletmeleri uygulaması yapılmıştır. Açık ortamdaki serinletmeler termal kamera ile gözetlenmiş ve yorumlanmıştır.

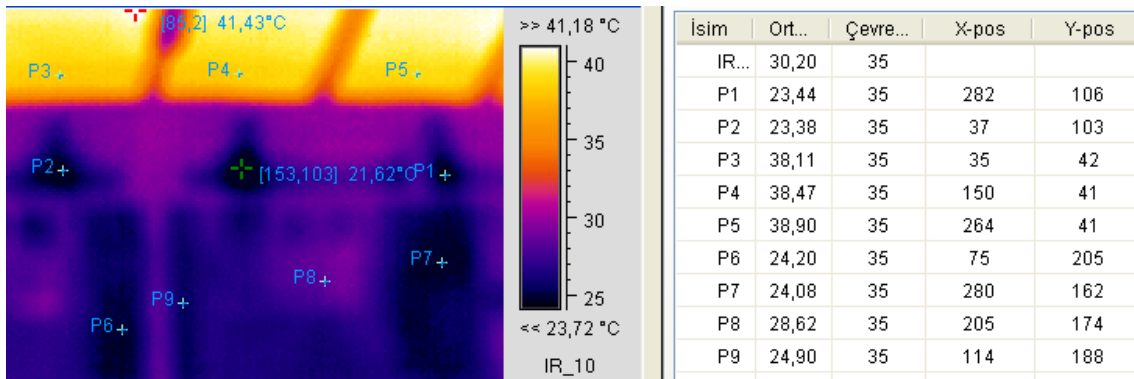
Şekil 4.12'de çardak üstüne konulan güneş pillerinin durumu ve çardağın üstündeki belli noktadaki sıcaklıklar verilmiştir. Maksimum $66.29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve minimum $28.10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik

sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Çevre sıcaklığı 35 °C ve ortamın bağıl nemi % 30'dur. Şekillerde kırmızı + maksimum değeri, yeşil + minimum değeri gösterir.



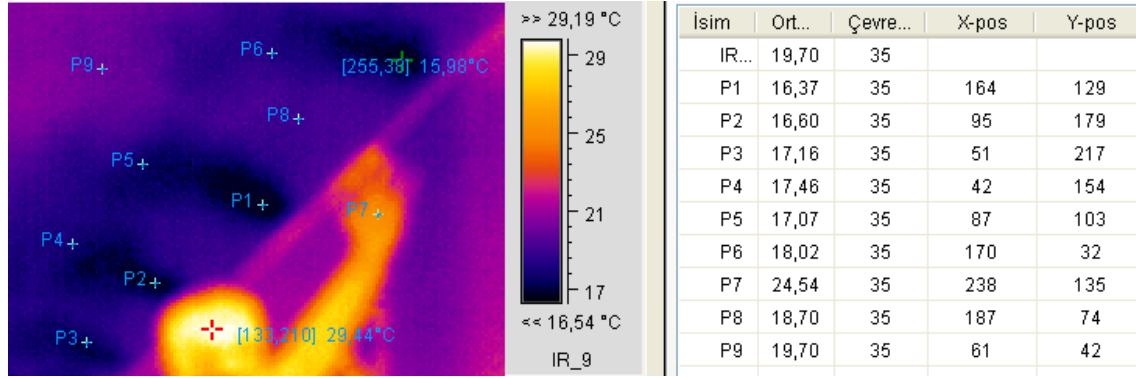
Şekil 4.12. Çardak üst bölgesinin sıcaklık görünümü.

Şekil 4.13'de çardak alt bölgesinde sisleme anındaki termal kamera görüntüleri verilmiştir. Maksimum 41.43 °C ve minimum 21.62 °C'lik sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Rastgele seçilen koordinatlardaki sıcaklık değerleri de gözlenmiştir. Şekilde koyu mor renk ile gösterilen yerler sisleme sisteminin nozul çıkışlarıdır. Çevre sıcaklığının 35 °C olduğu çardak altı bölgesinde bağıl nem değeri % 30'lardan % 45'lere yükseltilmiştir.



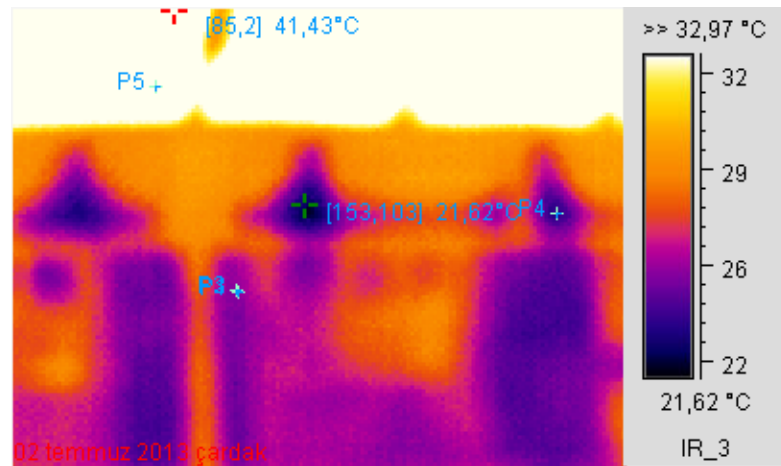
Şekil 4.13. Çardak alt bölgesinin sisleme anındaki görüntüsü.

Şekil 4.14’de sisleme anında çardak altında bulunan bir kişi üzerindeki sıcaklık noktaları verilmiştir. Çardak alt bölgesinin maksimum, minimum, ortalama ve çevre sıcaklığı ile nozul çıkış sıcaklıkları rasgele seçilen noktalara göre elde edilmiştir.



Şekil 4.14. Çardak altında bir kişinin sisleme anındaki görüntüsü.

Başlangıçta çardaktaki sisleme sistemi 20 s açık 20 s kapalı konumda çalıştırılmıştır. Fakat sisleme pompasının devreye girdiği andaki demeraj akımı inverttere zarar vermiştir. Bu sebeple sistem 50 s çalışıp 20 s bekleme konumunda kalacak şekilde kontrol edilerek çalıştırılmıştır. Başka bir günde yapılan deneyler sonucunda çardak bölgesi altındaki sıcaklıklar termal kamera ile gözetlenmesine devam edilmiştir. Şekil 4.15’de 02 Temmuz 2013 tarihinde yapılan sisleme görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.15. 02 Temmuz 2013 tarihli çardak bölgesi sisleme görüntüsü.

Uygulamasını yaptığımız Sisleme sisteminin performansını analiz etmek için Enerji Verimliliği Oranı (EVO) ve Performans Katsayısı (COP) değerleri hesaplanmıştır. Bir soğutma sisteminin EVO değeri, zaman içinde belirli bir noktada Wh olarak sistem tarafından tüketilen elektrik giriş gücünün BTU cinsinden soğutma çıkışına oranıdır. COP soğutma sistemlerinin performansını EVO'nun yanı sıra açıklar. COP değeri, termodinamikte yaygın olarak kullanılan Carnot çevrimi kullanılarak aşağıdaki ilişki ile verilir [37]:

$$COP_{carnot} = \frac{T_i}{T_o - T_i} \quad (4.12)$$

burada, T_i çardak bölgesi sıcaklığı ve T_o ise çevre sıcaklığını Kelvin cinsinden gösterir.

Konut ve küçük ticari binalarda kullanılan soğutma ekipmanları sistemleri genellikle EVO ve/veya Mevsimsel Enerji Verimlilik Oranı (MEVO) açısından sistem soğutma verimliliğini ifade eder [37-39]:

$$EVO = 3.412 COP_{carnot} \quad (4.13)$$

burada EVO'nun birimi $BtuW^{-1}h^{-1}$ 'dir.

Bu uygulamada, en iyi serinletme veya soğutma anında sırasıyla COP_{carnot} ve EVO değerleri 18.8 ve 64.15 olarak hesaplanmıştır. Yaz döneminde sınırlı deneyler zaman içinde yapıldı gerçeği nedeniyle bu çalışmada MEVO değerini rapor etmek mümkün değildir.

Deneyler sırasında T_i çardak bölgesi sıcaklığı ve T_o çevre sıcaklığı arasındaki maksimum fark $15.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak bulunmuştur. Bu fark, tipik sisleme sistemleri için $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ kadar büyük olan bir değerden daha düşüktür [17].

Bu çalışmada, güneş pili destekli çardak bölgesi sisleme sistemi için yatırım getirisi, bir $4\text{ m} \times 6\text{ m}$ alanı soğutmak için kullanılan bir klima işletim maliyeti ile karşılaştırılabilir. Bu alan sisleme sistemi tarafından kullanılan çardak alanına yaklaşık olarak eşdeğerdir. Seçilen klima Doğu Anadolu bölgesi katsayısı olan 308 BTU/h 'e göre alınmıştır. 24 m^2 'lik bir alan için $24 \times 308 = 7392\text{ BTU/h}$ olarak hesaplanmıştır. Çardağın altında 10 kişi oturacak şekilde hesaplamalar yapılarak her bir kişi için 600 BTU/h 'lık bir değer alınmıştır. Böylece, $10 \times 600 = 6000\text{ BTU/h}$ olarak kişilerin vereceği yük hesaba katılmıştır. Deneyler gündüz yapıldığı için aydınlatma etkisi ihmal edilmiştir. Toplam gerekli soğutma yükü 13392 BTU/h olarak hesaplanmıştır. Bu değere yakın soğutma yükü 17400 BTU/h olan Mitsubishi SRK56 modeli bir klima için tüketim değerlerine bakılmıştır [40].

Bu klimanın fiyatı yaklaşık olarak 1000 Euro civarındadır ve yaklaşık elektrik fiyatı 0.082 Euro/kWh alınmıştır. Klimanın güç tüketimi yaklaşık 5.09 kW (17400 BTU/h) ve klimanın günde 8 saat, yılda 4 ay çalıştığı varsayımı ile karşılaştırma yapılmıştır. Sisleme sisteminin ilk yatırım maliyeti Tablo 4.1'de de gösterildiği gibi 2480 Euro'dur. Bu verilere göre sistem kendini 3.7 yılda amorti edecektir.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Güneş pilleri ile soğutma sistemleri incelendiğinde daha önce uygulamasına rastlamadığımız fotovoltaiik güç kaynaklı çardak serinletme sistemi bu çalışmada incelenmiştir. Yaz mevsiminde güneş enerjisi potansiyeli oldukça fazla olan ülkemizde ve daha fazla güneş enerjisi potansiyeli olan diğer dünya ülkelerinde insanların serinlemek için sığındıkları çardak bölgesi veya açık ortamların yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile serinletilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada sisleme sistemi ile serinletme yöntemlerinin avantajlarına vurgu yapılarak özellikle yazın insanların açık gölge ortamlarda sinek ve sivrisineklerden olan rahatsızlıkları giderilmiştir. Ortam sıcaklıkları yaklaşık olarak 10-15 °C değerlerine, bağıl nem değerleri de % 20-25'lerden % 40-50'lere çıkarılmıştır. Çalışmada kullanılan iki adet 150 W'lık güneş pillerinin modellenmesi yapılmış ve akım-gerilim, güç-gerilim eğrileri çizilmiştir. Pillerin verimleri ve dolum faktörleri literatür ile uyumlu olarak sırasıyla % 17.12 ve 73.71 bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada kurulan sistemin sık kullanılan klima sistemlerine göre çevreci ve ekonomik olduğu da vurgulanmıştır.

Bu tez çalışması yardımıyla son yıllarda oldukça popüler olan yenilenebilir enerji kaynağı kullanan çevreci bir sisleme veya serinletme sisteminin sorunsuz çalıştığı deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır. Bundan sonra yapılacak olan benzeri çalışmalara da katkı sağlayacağı fikri oluşmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] **Çelik, A.N. ve Görmez, O.**, 2000. Ankara ili için fotovoltaik-ev sistem tasarımı: farklı ölçülendirme yaklaşımları ile otonomi-maliyet analizi, *II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 32-42.
- [2] **Oktik, Ş.**, 2011. Türkiye'nin ve Dünyanın Enerji Sorununa Nihai Çözüm: Güneş Enerjisi, *Bilim ve Teknik*, Haziran 2011, 44-49.
- [3] **Köroğlu, T., Teke, A., Bayındır, Ç., ve Tümay, M.**, 2010. Güneş paneli sistemlerinin tasarımı, *Elektronik Mühendisliği*, 439, 98-104.
- [4] **Lesourd, J.B.**, 2001. Solar Photovoltaic Systems: The Economics of A Renewable Energy Resource, *Elsevier, Environmental Modelling & Software*, **16**, 147-156.
- [5] **Altaş H. and Sharaf A.M.**, 2007. A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment, *International Conference on Clean Electrical Power*, ICCEP0, May 21-23, 341-345.
- [6] **R Muhida, M Ali, PSJ Kassim, MA Eusuf, YAŞ Sutjipto.**, 2009 - Bilim Dünya Akademisi Tutanakları.
- [7] **Hamad A. ve Alsaad M.**, 2009. A Software Application for Energy Flow Simulation of a Grid Connected Photovoltaic System, *Elsevier Energy Conversion and Management*, 1-6.
- [8] **Karamanav M.**, 2007. Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [9] **Qoaider L. and Steinbrecht D.**, 2010. Photovoltaic Systems: A Cost Competitive Option to Supply Energy to Off-Grid Agricultural Communities in Arid Regions, *Science Direct, Applied Energy* 87, 427–435.
- [10] **Alafodimos K., Fetfatzis P., Kofinas P., Kallousis M. and Kikidakis X.**, 2007
Design Simulation for a 3-Phase Grid Connected PV Inverter in Simulink, *eRA-3*, 1-9.
- [11] **Xiong Bin, Gu Guo Biao.**, Institute of Electric and Engineering Chinese Academy of Sciences Beijing, China xiongbn@mail.iee.ac.cn
- [12] **Fengfei Luan, Shunzhou Yu, Jianhong Guo, Haifeng Wang, Hui Guo .** Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100190, China
- [13] **Wong, N.H., Chong, A., and Adrian, Z.M.**, 2010. Performance evaluation of misting fans in hot and humid climate, *Building and Environment*, **45**, 12, 2666-2678.

- [14] **Dombrovsky, L.A., Solovjov, V.P., and Webb, B.W.** , 2011. Attenuation of solar radiation by a water mist from the ultraviolet to the infrared range, *Journal of Quantitative Spectroscopy&Radiative Transfer*, **112**, 1182-1190.
- [15] **Sethi, V.P., and Sharma, S.K.**, 2007. Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications, *Solar Energy*, **81**, 1447-1459.
- [16] **Burger, D.W.**, 1994. Intermittent mist control via solar cells, Technology and Product Reports, *Hort Technology* July/September 273-274.
- [17] **Atieh, A., and Al Shariff, S.**, 2013. Solar energy powering up aerial misting system for cooling surroundings in Saudi Arabia, *Energy Conversion and Management*, **65**, 670-674.
- [18] **Eicker, U., Colmenar-Santos, A., Teran, L., Cotrado, M., and Borge-Diez, D.**, 2014. Economic evaluation of solar thermal and photovoltaic cooling systems through simulation in different climatic conditions: an analysis in three different cities in Europe, *Energy and Buildings*, **70**, 207-223.
- [19] **Ban-Weiss, G., Wray, C., Delp, W., Ly, P., Akbari, H., and Levinson, R.**, 2013. Electricity production and cooling energy savings from installation of a building-integrated photovoltaic roof on an office building, *Energy and Buildings*, **56**, 210-220.
- [20] <http://www.yenilenebilirenerjigenelmudurlugu.gov.tr>
- [21] **Türe İ.E.**, 4. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, İTÜ Mimarlık Fakültesi Taşkışla - İstanbul 13-14 Ekim 2008.
- [22] **Gençoğlu, M.T. ve Cebeci, M.**, 2000. Türkiye'nin Enerji Kaynakları Arasında Güneş Enerjisinin Yeri ve Önemi, *Kaynak Elektrik* **138**, 110-115.
- [23] <http://www.istanbulcevor.gov.tr/pdf/cdr2005/03BDogalKaynaklar.pdf> (22.02.2011)
- [24] <http://www.gunessistemleri.com/tarihsel.php> (10.02.2011)
- [25] National Renewable Energy Laboratory (NREL), Photovoltaics: Basic Design Principles and Components, DOE/GO-10097-377, FS 231, 1997.
- [26] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, *Güneş Pilleri*, 2010.
<http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunespv.html>
- [27] GÜNAM, Güneş Enerjisi Ar-Ge Çalışmaları, 2011.
<http://gunam.metu.edu.tr/research.html>
- [28] (<http://www.sogutmarehberi.com/>)
- [29] http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetocaloric_effect#The_magnetocaloric_effect

- [30] **Ahlborn, B., Keller, J. U., Staudt, R. Treitz, G. and Rebhen, E.,** 1994. Limits of Temperature Separation in a Vortex tube, *Journal of Physics D: Applied Physics*, **27**, 3.
- [31] <http://www.coolbreeze.com.tr>
- [32] www.sogutmatekniği.com
- [33] Turkish State Meteorological Service, <http://www.mgm.gov.tr/en-US/>
- [34] **Walker, G.,** 2001. Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model, *Journal of Electrical & Electronics Engineering*, Australia, IEAust, **21**, 49-56.
- [35] **Lorenzo, E.,** 1994. Solar Electricity Engineering of Photovoltaic Systems, Artes Graficas Gala, S.L., Spain.
- [36] **Gow, J.A., and Manning, C.D.,** 1999. Development of a photovoltaic array model for use in power electronics simulation studies, *IEE Proceedings on Electric Power Applications*, **146**, 193-200.
- [37] **Çengel, A., and Boles, M.A.,** 2011. Thermodynamics: An Engineering Approach, Seventh edition, Mc Graw Hill.
- [38] The Engineering Tool Box, http://www.engineeringtoolbox.com/39_442.html. 14.07.2014.
- [39] Glossary of Efficiency Terms, http://www.cwlp.com/Energy_services/Energy_systems_tech/btu
- [40] Calculations about the air conditioning, <http://www.iklimplus.com.tr/klimalar-hakkinda/klima-hesabi.html>
- [41] <http://www.kimyasanal.com>

ÖZGEÇMİŞ

Resul KOCAÖZ, 2 Şubat 1984 yılında Malatya’da doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Mersin’de, Lise öğrenimini Malatya’da tamamladı. 2002 yılında Erciyes Üniversitesi KMYO Elektrik bölümünden, 2009 yılında da Elazığ Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. 2007 yılında TCDD 5.Bölge Müdürlüğü’nde Makinist olarak göreve başladı. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Enerji Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. Şu anda Elazığ’da Makinist olarak görev yapmakta, evli ve 2 çocuk babasıdır.