

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK ETKİ KULLANILARAK FARKLI AÇIK ALANLARDAKİ DİNLENME
YERLERİNİN SERİNLETİLMESİNİN ÇEVRESEL VE EKONOMİK FAYDALARININ
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer TUNA

111119106

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

Program :

Danışman: Doç. Dr. Hikmet ESEN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

TEMMUZ-2014

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK ETKİ KULLANILARAK FARKLI AÇIK ALANLARDAKİ DİNLENME
YERLERİNİN SERİNLETİLMESİNİN ÇEVRESEL VE EKONOMİK FAYDALARININ
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer TUNA

111119106

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

Tezin Sunulduğu Tarih:

Tez Danışman: Doç. Dr. Hikmet ESEN

Diğer Jüri Üyeleri:

TEMMUZ-2014

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesinde kıymetli görüşlerinden yararlandığım, tezin biçimlenmesinde değerli katkılarını aldığım, tez danışmanım sayın Doç. Dr. Hikmet ESEN'e ve tez çalışmam sırasında her türlü desteğini gördüğüm sevgili eşim Özge TUNA'ya da 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.

Ömer TUNA
ELAZIĞ-2014

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET.....	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	VIII
1.GİRİŞ	1
1.1. Güneş Enerjisi	2
1.2. Türkiye'de Güneş Enerjisi	3
2. GÜNEŞ PİLLERİ VE TEKNOLOJİSİ	7
2.1. Güneş Pillerinin Tarihsel Gelişimi	7
2.2. Güneş Pillerin Yapısı ve Çalışması	8
2.2.1. Güneş Pillerinin Avantajları.....	9
2.2.2. Güneş Pillerinin Dezavantajları	10
2.3. Günlük Uygulamalara Örnekler	12
3. SOĞUTMA VE ÇEŞİTLERİ.....	15
3.1. Kaskad Soğutma Çevrimi (Makinesi).....	16
3.2. Gazların Sıvılaştırılması.....	17
3.3. Termoelektrik (Peltier) Soğutma Sistemleri.....	18
3.4. Gaz Türbini Soğutma Makinesi (Brayton Çevrimi).....	19
3.5. Termo-Akustik Soğutma Sistemleri.....	19
3.6. Vortex Borulu Soğutma Sistemleri	20
3.7. Su Jetli Soğutma Sistemleri.....	20
3.8. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemleri	21
3.9. Evaporatif Soğutma Sistemleri.....	21
3.9.1. Direkt Evaporatif Soğutma.....	24
3.9.2. Endirekt Evaporatif Soğutma	24
3.9.3. Mekanik Soğutma Destekli Evaporatif Soğutma	25

3.10. Güneş Pili Destekli Soğutma Uygulamaları.....	26
4. SİSLEME SİSTEMİ, DENEYSEL ÇALIŞMA VE MODELLEME.....	29
4.1. Sisleme Sistemi İle Serinletme Yöntemi.....	29
4.2. Sistemin Çalışma Prensibi.....	32
4.3. Deneysel Çalışma.....	33
4.3.1. Çardak Bölgesi Serinletme.....	33
4.3.2. Balkon Bölgesi Serinletme.....	35
4.4. Güneş Pillerinin Modellenmesi.....	38
4.4.1. Modelleme İle İlgili Genel Bilgiler.....	38
4.4.2. Çalışmada Kullanılan Güneş Panelinin Modellenmesi.....	42
4.5. Deneysel ve Ekonomik Analiz.....	46
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	51
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	56

ÖZET

Bu çalışmada, literatürde ilk defa çardak ve balkon bölgesinin (20-24 m²) güneş pili destekli sisleme sistemi ile serinletilmesi Elazığ (38.6775° K, 39.1707° D)'da yapılmıştır. Bu sistem ile çardak ve balkon bölgesinin sıcaklığı düşürülmüş, bağıl nemi ise arttırılmıştır. Güneş pili modülü (fotovoltaik modülü)'nün MATLAB programı ile modellenmesi de yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, kurulan sistemin sık kullanılan klima sistemlerine göre çevresel ve ekonomik yönden avantajları da vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sisleme, Serinletme, Çardak, Balkon, Ekonomik, Çevresel

SUMMARY

The Investigation of Environmental and Economical Benefits of Cooling of Different Outdoor Recreational Areas by Using Photovoltaic Effect

In this study, for the first time encountered in the literature, solar-assisted cooler with misting system established on arbor and balcony with area of 20-24 m² and georeferenced in Elazig (38.6775° N, 39.1707° E), Turkey is presented. Here, we present a system that reduces interior temperature of the arbor and balcony while increasing humidity. The model of the photovoltaic module was implemented using a MATLAB program. Also in this study, according to the established system commonly used air conditioning system is environmentally and economically are also highlighted.

Keywords: Misting, Refreshment, Arbor, Balcony, Economic, Environmental

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Elazığ ili global güneş radyasyon dağılımı.	5
Şekil 1.2. Elazığ ili aylık güneşlenme süreleri (saat)	6
Şekil 1.3. Elazığ ili aylık global radyasyon değerleri.....	6
Şekil 2.1. Fotovoltaik modül ve panel uygulamaları [12, 13].....	11
Şekil 2.2. Güneş pili, modül ve panele ait görünüm [12, 13].....	11
Şekil 2.3. Fotovoltaik uygulamalara örnekler [3, 4, 7, 9].....	12
Şekil 2.4. Yoğunlaştırıcıli fotovoltaik paneller ve fotovoltaik destekli uydu [9].....	13
Şekil 2.5. Fotovoltaik yelek, şapka ve çanta [10, 11].....	14
Şekil 3.1. Standart soğutma çevriminin ayrıntılı grafik gösterimi	16
Şekil 3.2. Kaskad soğutma çevrimi	17
Şekil 3.3. Gaz yoğunlaştırma sistemi	18
Şekil 3.4. Evaporatif soğutma sistemleri çalışma şeması [22]	23
Şekil 4.1. Çardak bölgesi sisleme sistemi	34
Şekil 4.2. Çardak bölgesi sisleme sisteminin detayları	34
Şekil 4.3. Sisleme anında çardak alt bölgesinin görünümü.....	35
Şekil 4.4. Balkon serinletilmesi sistemi	35
Şekil 4.5. Balkon serinletilmesinin görünümü	35
Şekil 4.6. Güneş pili hücresi çevrim şeması.....	39
Şekil 4.7. Bir güneş pilinin özel I-V karakteristiği	41
Şekil 4.8. Değişik ışınlam değerlerine göre I-V eğrileri	44
Şekil 4.9. Değişik sıcaklıklara göre I-V eğrileri (T=0, 25, 50, 75 °C).....	44
Şekil 4.10. Farklı sıcaklıklar için P-V eğrileri (T=0, 25, 50, 75 °C).....	45
Şekil 4.11. Çardak üst bölgesinin sıcaklık görünümü.....	46
Şekil 4.12. Çardak alt bölgesinin sisleme anındaki görüntüsü.....	47
Şekil 4.13. Çardak altında bir kişinin sisleme anındaki görüntüsü	47
Şekil 4.14. Balkon alt bölgesinin sisleme anındaki görüntüsü.....	48
Şekil 4.15. Balkonun altında bulunan bir kişinin sisleme anındaki görüntüsü	48

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [2, 3].....	4
Tablo 1.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisinin bölgelere göre dağılımı [4].....	5
Tablo 4.1. Güneş pilleri destekli sisleme sisteminin ana bileşenleri, özellikleri ve fiyatları.....	37
Tablo 4.2. Elazığ ili için bazı meteorolojik ortalama değerler [48].....	38
Tablo 4.3. Farklı PV tiplerinin idealite faktörü.....	40
Tablo 4.4. BSM-150 güneş pilinin tipik elektriksel özellikleri.....	43

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	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

Gelişen teknoloji ve artan nüfusla birlikte enerji tüketimindeki hızlı artış enerjiyi tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir olgu olarak karşımıza çıkarmaktadır. Fosil kaynaklara dayalı sektör; petrol, doğalgaz ve kömürden oluşurken, nükleer sektör başlı başına farklı bir enerji grubu özelliği taşımaktadır. Yenilenebilir kaynaklara dayalı enerji sektörü ise güneş, rüzgar, jeotermal, hidrolik, biyokütle ve dalga gibi birimlerden oluşmaktadır. Günümüzde enerji kaynağı olarak yoğun bir şekilde kullanılan yenilenemeyen (fosil veya konvansiyonel) enerji kaynaklarının gelecek 100 yıl içinde tükeneceği öngörülmektedir. Ayrıca konvansiyonel enerji kaynakların kullanımı yoğun hava kirliliğinin yanı sıra milyarlarca dolar zarara yol açan doğal felaketlerin gözle görülür şekilde artmasına neden olmuştur. Kendini sınırsız tekrarlayan yenilenebilir ve hammadde bağımlısı olmayan enerji kaynakları çok kısa bir süre içinde daha çok önem kazanacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında güneş enerjisi gelmektedir. Örneğin, dakikada yeryüzüne düşen güneş enerjisi miktarı tüm dünyanın yıllık tüketiminden daha fazladır. Ancak bu sınırsız enerjinin verimli kullanılması yönünde insanoğlunun katettiği mesafe henüz daha çok küçüktür.

Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları 100 cm^2 civarında, kalınlıkları özellikle en yaygın olan silisyum güneş pillerinde 0.2-0.4 mm arasındadır. Fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışan güneş pillerinin üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Deniz seviyesinde, parlak ve bulutsuz bir gündeki ışıyım şiddeti maksimum 1000 W/m^2 civarındadır. Yöreyle ilgili olarak 1 m^2 'ye düşen güneş enerjisi miktarı yılda 800-2600 kWh arasında değişir. Bu enerji, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 - %70 arasında bir verimle elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilebilir. Bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir.

Yapılacak olan bu çalışmada, iki farklı açık alanda güneş pili modülü kullanılarak, alanların serinletilmesi ve nemlendirilmesi sisleme yöntemi ile yapılmıştır. Çalışmadaki açık ortamlardan çardak ve balkon bölgesi güneş pili destekli olarak serinletilmesine

literatürde rastlanmamıştır. Kullanılan güneş pillerinin modellenmesi de yapılarak, iki farklı açık ortam için serinletme etkisi ve sağlanan sıcaklık düşümleri termal kamera ile gözetlenmiştir. Son derece çevreci olan bu sistemin avantajları ve ekonomikliği de çalışmanın sonunda sunulmuştur.

1.1. Güneş Enerjisi

Yaşamın kaynağı olan güneş, doğal sistem enerjisinin büyük bir bölümünü sağlar. Çapı yaklaşık 1.4 milyon kilometre olup, iç çevresinde çok yoğun gazlar bulunur. Yeryüzünden yaklaşık 151.106 milyon km uzaklıktadır. Nükleer yakıtlar dışında, dünyada kullanılan tüm yakıtların ana kaynağıdır. İçinde sürekli olarak Hidrojenin Helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmektedir ve oluşan kütle farkı, ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Güneş merkezi füzyon reaksiyonu için uygun bir ortamdır. Bir reaksiyonun basit olarak tanımı; protonla bombardımana tutulan Hidrojen molekülü, Hidrojenin türevi olan Döteryuma dönüşür. Kararsız hale geçen iki Döteryum çekirdeği birleşerek daha ağır olan Helyuma dönüşür. Açıkta kalan iki proton ise reaksiyon zincirinin bu tanımına uygun olarak devam etmesini sağlar. Bu reaksiyon sonucunda açığa çıkan enerji çok fazladır. Güneşin bu enerjiye sahip olabilmesi için saniyede 10-38 füzyon reaksiyonuna ihtiyaç duyduğu hesaplanmıştır. Bu da yaklaşık olarak saniyede 657 milyon ton Hidrojenin 653 ton Helyuma dönüşmesi demektir. Bu reaksiyonlar sonucu kaybolan kütle enerjiye dönüşür. Yaklaşık 10 milyar yıl sonra güneşteki Hidrojen yakıtı bitip reaksiyonların son bulması sonucu güneşin, çekim kuvveti etkisiyle büzüşüp beyaz cüce adı verilen ölü bir yıldızla dönüşebileceği tahmin ediliyor. Güneşte açığa çıkan bu enerjinin çok küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyine ulaşan enerji 173.104 kW değerindeyken, yeryüzüne ulaşan değer 1.395 kW'a düşmektedir. Yeryüzüne ulaşabilen ışınımın değerinin bu kadar düşük olmasının nedeni, atmosferdeki karbondioksit, su buharı ve ozon gibi gazların ışınımı absorbe etmelerinin yanı sıra kat etmesi gereken yolun uzunluğudur. Dış yüzey sıcaklığı 6000 K olarak kabul edilen ve bilinen en büyük siyah cisim olan güneşin yaydığı ışınımın yeryüzüne ulaşabilen miktarı %70 kadardır. Bu eksilmeler ortaya çıkmadan önce, atmosferin dışında ışınım değeri 1367

W/m^2 'dir ve bu değer güneş sabiti olarak alınır. Pratik olarak yeryüzüne ulaşan güneş ışınım değeri $1000 W/m^2$ olarak kabul edilmektedir [1].

Güneş enerjisi, daha çok binalarda ısıtma, soğutma ve sıcak su elde etmek için kullanılmaktadır. Sıcak su elde etmek amacıyla kullanım, en yaygın olan kullanım biçimidir. Isıtma amacıyla kullanım, ısıyı depolama tekniklerinin gelişimiyle daha verimli kullanılır hale gelecektir. Soğutma ise yıllık güneşlenme zamanının uzun olduğu bölgelerde verimli olmaktadır.

Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan ısı uygulamaları, düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak e ayrılır. Düşük sıcaklık uygulamaları, daha çok düzlem toplayıcılarla su ısıtılması, konut ve sera ısıtılması için kullanılmaktadır. Orta sıcaklık uygulamalarında, güneş ışınımı, odaklı toplayıcılarla toplanarak, sanayi için gerekli sıcak su veya buhar elde etmek için kullanılır. Genellikle bu tip toplayıcılarda, güneş ışınımının sürekli olabilmesi için güneş izleyen mekanizmalara gerek vardır. $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerinin üzerine çıkabilen, geniş bir alana gelen güneş ışınımı bir noktaya odaklanarak, metal ergitme fırınları çalıştırılabilir.

İkinci bir uygulama türü ise güneş pilleri kullanarak yapılan fotovoltaiik uygulamalardır. Fotovoltaiik sistemlerin seçiminde, güneş ışınım verileri çok büyük önem taşır. zerine düşen güneş ışınımını direkt olarak elektrik enerjisine eviren güneş pilleri doğru akım üretirler. Bu piller, seri veya paralel bağlanarak, ürettikleri akım ve gerilim değerleri yükseltilebilir. Üretilen akımı depolayabilmek için bir akümülatöre gerek vardır. Güneş pilleri, uzay programları için geliştirilmeye başlanmış; ancak sonraki yıllarda, bilinen yollarla elektrik üretiminin zor olduğu ya da uzak olan deniz fenerleri, orman gözetleme kuleleri, çiftlik evleri, dağ evleri gibi yerlerde de kullanılmaya başlanmışır.

1.2. Türkiye'de Güneş Enerjisi

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında lilen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından yapılan

çalışmaya göre; Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ışıınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli Tablo 1.1'de ve yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı ise Tablo 1.2'de verilmiştir [2, 3].

Tablo 1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [2, 3]

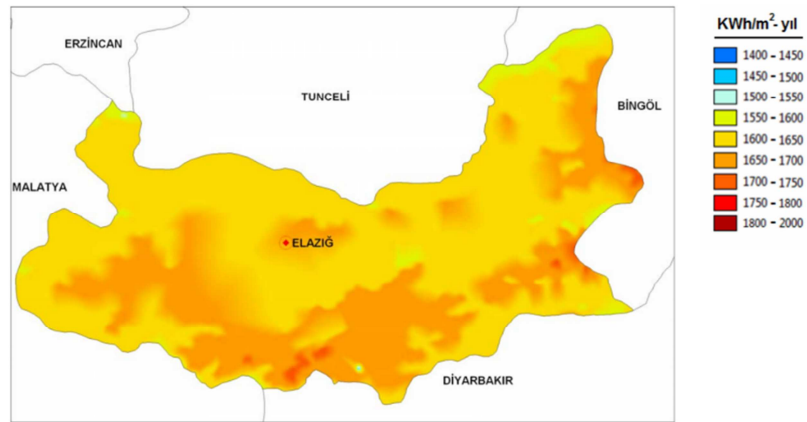
Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (saat/ay)
	(kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
Ocak	4.45	51.75	103.0
Şubat	5.44	63.27	115.0
Mart	8.31	96.65	165.0
Nisan	10.51	122.23	197.0
Mayıs	13.23	153.86	273.0
Haziran	14.51	168.75	325.0
Temmuz	15.08	175.38	365.0
Ağustos	13.62	158.40	343.0
Eylül	10.60	123.28	280.0
Ekim	7.73	89.90	214.0
Kasım	5.23	60.82	157.0
Aralık	4.03	46.87	103.0
Toplam	112.74	1311	2640
Ortalama	308.0 cal/cm ² -gün	3.6 kWh/m ² -gün	7.2 saat/gün

Tablo 1.2.Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisinin bölgelere göre dağılımı [4]

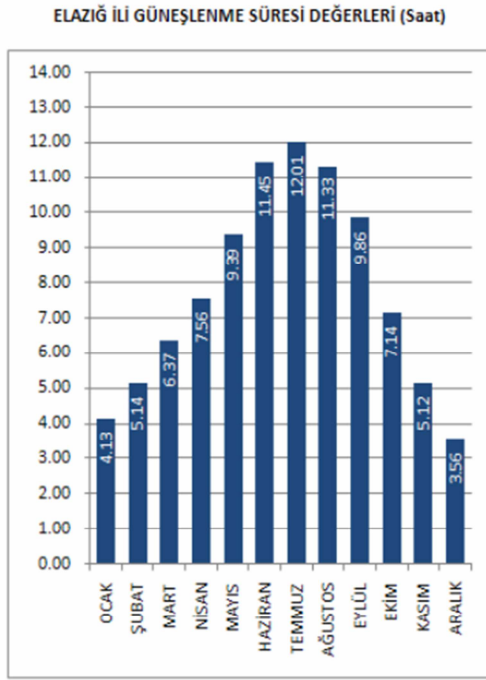
Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m²-yıl)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
G.Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Ancak, bu değerlerin Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, sonraki yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DİM, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir [4-6].

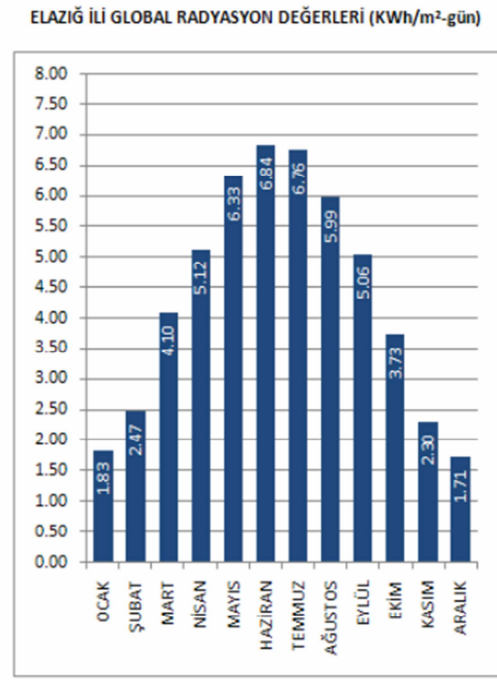
Şekil 1.1'de Elazığ ili global güneş ışıyım dağılımı verilmiştir. Şekil 1.2'de Elazığ ili için 2011 yılı aylarına göre saatlik güneşlenme süreleri verilmiştir. Ayrıca Şekil 1.3'de ise Elazığ ili aylık global radyasyon değerleri verilmiştir.



Şekil 1.1. Elazığ ili global güneş ışıyım dağılımı



Şekil 1.2. Elazığ ili aylık güneşlenme süreleri (saat)



Şekil 1.3. Elazığ ili aylık global radyasyon değerleri

2. GÜNEŞ PİLLERİ VE TEKNOLOJİSİ

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen ve daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm^2 civarında, kalınlıkları ise 0.2-0.4 mm arasındadır. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel yada seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak birkaç Watt'tan Megawatlara kadar sistem oluşturulur [7]. Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yerlerde, jeneratöre yakıt taşımanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar.

2.1. Güneş Pillerinin Tarihsel Gelişimi

Güneş pillerinin enerji çevriminde herhangi hareketli parça bulunmaz. Güneş pillerinin çalışma ilkesi, Fotovoltaik (Photovoltaic) olayına dayanır. İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilim, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemleyerek Fotovoltaik olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından gösterilmiştir. Bunu izleyen yıllarda çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılmasını beraberinde getirmiştir. 1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği %1 değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini % 6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik diyotlar ilk kez 1954 yılında Chapin tarafından silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. Fotovoltaik güç sistemleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir.

1970’li yılların başlarına kadar güneş pillerinin uygulamaları sınırlı kalmıştır. Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954’lerde başlamış olmasına karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki “1. petrol bunalımını” izleyen yıllarda olmuştur. Amerika’da, Avrupa’da, Japonya’da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu nedenle daha ucuza üretilebilecek ince film güneş pilleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir.

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmenin, basit, çevre dostu olan fotovoltaik sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi, maliyetinin düşürülerek yaygınlaştırılması misyonu uzun yıllar üniversitelerin yüklendiği ve yürüttüğü bir görev olmuş ve bu nedenle kamuoyunda hep laboratuvarıda kalan bir çalışma olarak kalmıştır. Ancak son yirmi yılda dünya genelinde çevre konusunda duyarlılığın artmasına bağlı olarak kamuoyundan gelen baskı, çok uluslu büyük şirketleri fosile dayalı olmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışmalar yapmaya zorlamışlardır. Büyük şirketlerin devreye girmesiyle fotovoltaik piller konusundaki teknolojik gelişmeler ve güç sistemlerine artan talep ve buna bağlı olarak büyüyen üretim kapasitesi, maliyetlerin hızla düşmesini de beraberinde getirmiştir. Yakın geçmişe kadar alışıla gelmiş elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaşıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan ve görünmeyen maliyet olarak değerlendirilebilecek “sosyal maliyet” göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemler fosile dayalı sistemlerden daha ekonomik olarak değerlendirilebilir [8].

2.2. Güneş Pillerin Yapısı ve Çalışması

Güneş pilleri yarı iletken maddelerden yapılırlar. Yarı iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum, arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir.

Yarı-iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için “n” ya da “p” tipi katkılamaları gereklidir. Katkılama, saf yarı iletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin “n” ya da “p” tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan silisyumdan “n” tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyum'un dış yörüngesinde 4. fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle 5. grup elementlerine “verici” ya da “n tipi” katkı maddesi denir. “P” tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna hol ya da boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de “p tipi” ya da “alıcı” katkı maddeleri denir. “p” ve “n” tipi katkılandırılmış malzemeler bir araya getirildiğinde yarı iletken eklemler oluşturulur. “n” tipi yarı iletkende elektronlar, “p” tipi yarı iletkende holler çoğunluk taşıyıcısıdır. “p” ve “n” tipi yarı iletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. Yani “p” tipinde negatif enerji seviyeleri ile hol sayıları eşit, “n” tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. “pn” eklem oluştuğunda, “n” tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, “p” tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. “pn” tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, “p” bölgesi tarafında negatif, “n” bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine “geçiş bölgesi” ya da “yükten arındırılmış bölge” denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan “yapısal elektrik alan (E_y)” olarak adlandırılır. Yarı iletken eklemün güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaiik dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır.

Fotovoltaiik teknolojisinin avantajlarını ve dezavantajlarını şu şekilde özetleyebiliriz [9,10];

2.2.1. Güneş Pillerinin Avantajları

- Kullanılacak enerji kaynağı sonsuz ve bedavadır,
- Sistemi yıpratacak veya sistemin bozulmasına neden olacak hareket eden parçalar yoktur,

- Sistemi çalışır halde tutmak için çok düşük düzeyde bakım gerekir,
- Sistemler modülerdir ve her yere kolayca monte edilebilir,
- Çalışırken gürültü, zararlı emisyonlar ve kirlетici gazlar açığa çıkarmaz.

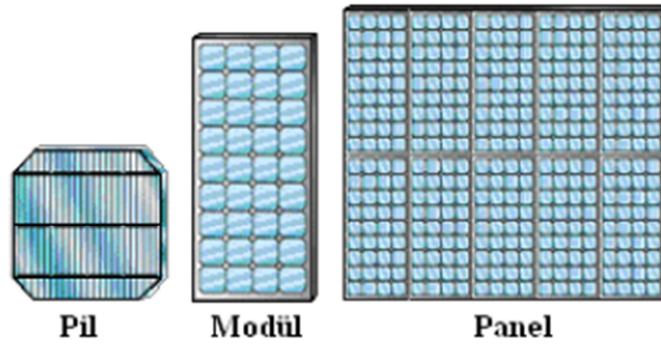
2.2.2. Güneş Pillerinin Dezavantajları

- Enerji kaynağı dağınık durumda ve sabit değildir,
- Ekonomik enerji depolama sistemleri yoktur,
- Kurulum maliyeti yüksektir,
- Geleneksel yakıtlara (özellikle fosil esaslı yakıtlar) göre enerji maliyeti yüksektir.

Bir güneş pili, aktif fotovoltaiк malzeme, metal ızgaralar, yansımayı önleyici tabakalar ve destekleme malzemesinden oluşur. Tamamlanmış bir güneş pili, güneş pili içerisine giren güneş ışığını maksimum yapmak ve pilden en yüksek verimi elde etmek için optimize edilmektedir. Güneş pilleri ve bağlantı telleri kırılğan ve aynı zamanda, nem ve uygulanacak baskı ile kolayca aşınabilecek bir yapıdadır. Tek bir güneş pilinin gerilimi 0.5 V civarındadır. Bu nedenle çoğu uygulamada yeterli olmamaktadır [11]. Fotovoltaiк modüller, güneş pillerinin paralel veya seri olarak bağlanması ile elde edilirler. İki güneş pili paralel bağlandığında, voltaj sabit kalırken akım iki katına çıkar, seri bağlandığında ise, akım sabit kalırken, voltaj iki katına çıkar. Bu şekilde, gerilimi 14-16 volta çıkarmak mümkündür. Fotovoltaiк modüller, sert dış ortam şartları için tasarlanmaktadır. Güneş pillerinin ve elektriksel bağlantıların dış ortamdan korunması için modüller kapsüllüdürler. Fotovoltaiк paneller, fotovoltaiк modüllerin, paralel veya seri olarak bağlanması ile elde edilirler [11]. Şekil 2.1’de fotovoltaiк modül ve panel uygulamaları, Şekil 2.2’de ise güneş pili, modül ve panele ait görünümü verilmiştir.



Şekil 2.1. Fotovoltaik modül ve panel uygulamaları [12, 13]



Şekil 2.2. Güneş pili, modül ve panele ait görüntüm [12, 13]

Fotovoltaik modüllerin birlikte kullanıldıkları cihazlar arasında, batarya (battery), sarj kontrolcüler (charge controller), evireç (inverter) ve tepe güç noktası takipçisi (peak-power trackers) bulunmaktadır. Bataryalar, fotovoltaik sistemlerde, geceleri veya fotovoltaik sistemler talebi karşılayamadığı zamanlarda, güç sağlamak için kullanılır. İnverter, doğru akımı alternatif akıma dönüştüren cihazdır. Şarj kontrolü, fotovoltaik modüllerden gelen gücü, bataryaları fazla yüklenmeden korumak için, ayarlamak amacıyla kullanılır. Tepe güç noktası takipçisi, akımı maksimum yapmak için, fotovoltaik sistem tarafından üretilen gerilimi optimize etmek amacıyla kullanılır [11].

2.3. Günlük Uygulamalara rnekler

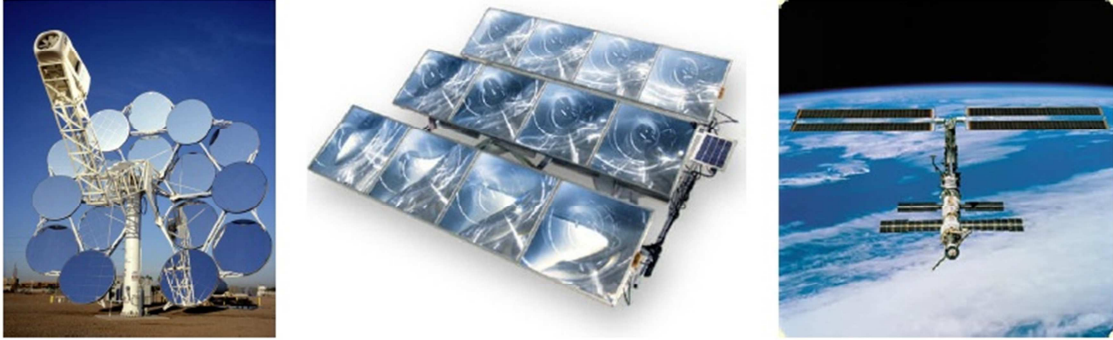
Genellikle silikon esaslı malzemelerden yapılan fotovoltaik paneller, elektrik enerjisi üreterek elektrik ihtiyacını karşılamak için yeni nesil araba ve çatıların üzerinde, sokak ışıkları, trafik sinyalleri, hesap makineleri, saatler, doğru akım motorlar ve fanlar, dönüştürücülerde kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda, çok ilgi çeken diğer bir konu da fotovoltaik yapıların binalara (duvar, çatı, pencere gibi bina bölümlerine) entegre edilmesidir. Böylece, binalara yeni özellik işlevler kazandırılmaktadır. şekil 2.3’de fotovoltaik uygulamalara örnekler verilmiştir.



şekil 2.3. Fotovoltaik uygulamalara rnekler [3, 4, 7, 9]

Fotovoltaik teknolojinin, uzay mekiği ve uydularda kullanılması 1958 yılında başlamıştır [14-16]. Hafif fotovoltaik paneller uzay mekiğinin ihtiyacı olan elektrik

enerjisini karşılamak için kullanılmaktaydı. Günümüzde GaAs (Galyum Arsenit) esaslı güneş pilleri uzay çalışmaları için kullanılmaktadır. Yüksek verimdeki ince silikon esaslı güneş pilleri ile de iyi sonuçlar alınmaktadır. Güneş ışığının yoğunlaştırılması (Şekil 2.4) ile fotovoltaik panelden, ısınmadan dolayı pil veriminin düşmesine rağmen, daha yüksek elektrik gücü üretmektedir.



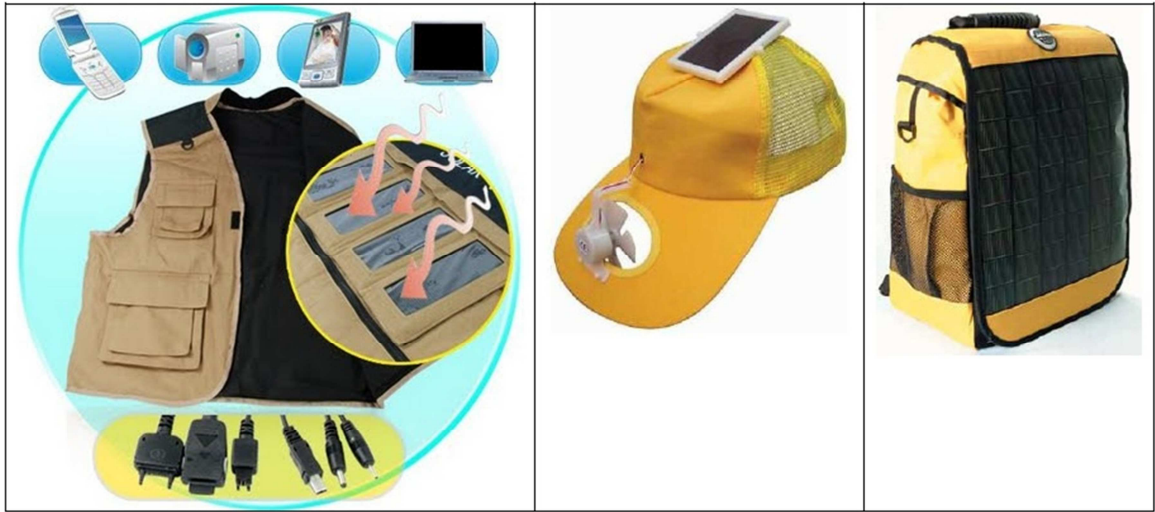
Şekil 2.4. Yoğunlaştırıcı fotovoltaik paneller ve fotovoltaik destekli uydu [9]

Fotovoltaik tekstil, güneş ışığını kullanarak elektrik enerjisi üreten fotovoltaik bir yapının, kumaş veya giysi gibi bir tekstil yapısı üzerine yerleştirilerek tekstile entegre edilmesiyle veya lif şeklinde üretilmesi sonucunda, fotovoltaik lif, iplik ve kumaşları oluşturması ile elde edilmektedir [7]. Fotovoltaik malzemelerin tekstillerle çeşitli yöntemler kullanılarak bir araya getirilmesi, son yıllarda, tüm dünyadaki araştırmacıların ilgilendikleri bir konu olmuştur. Askeri alandaki uygulamalarla başlamış olan fotovoltaik tekstil çalışmaları açısından, günümüzde, ağırlıklı olarak silikon esaslı güneş pillerinin tekstillere entegre edilmesi ile oluşturulmuş, ticari ürünler (fotovoltaik tekstil yapıları) mevcuttur.

Cep telefonu gibi küçük elektronik cihazlarda, çeşitli akıllı giysiler veya tekstil ürünlerinde ve ayrıca aksesuarlarda fotovoltaik tekstiller elektrik enerjisi sağlama ve ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi dolaylı amaçlar için kullanılabilir. Fotovoltaik tekstiller, sıradan güneş panellerine göre daha esnek, burulmaya daha dirençli ve daha mukavemetli olmalıdır. Fotovoltaik yapılar, tekstillere yama yapıları eklenebilir veya lif formunda üretilip daha sonra büyük tekstil yüzeyleri üretilir. Üretilen fotovoltaik lif veya tekstillerin, günlük kullanım sırasında ortaya çıkacak aşınma ve eğilmeye karşı dirençli olması gerekmektedir. Aynı zamanda kullanılacak fotovoltaik tekstillerde kullanılacak malzemelerin kararlı, yöntemlerin tekstillere uygun, sistemin güç dönüşüm

veriminin yeterli yükseklikte, maliyetinin düşük olması beklenmektedir. Elde edilen fotovoltaiik liflerin, tekstil yüzeyleri oluşturabilmesi için makinalarda örülebilmesi ve dokunabilmesi gerekmektedir.

Günümüzde, az da olsa inorganik esaslı ve tekstil malzemelerine yama yapılarak oluşturulmuş ticari fotovoltaiik tekstil ürünleri mevcuttur. Ancak çeşitli firmalar ve araştırma kurumlarında, inorganik, organik ve hibrit (organik/inorganik) malzemeler kullanılarak fotovoltaiik tekstil [16] ve lif [11, 17] elde edilmesi konusunda çok sayıda araştırma devam etmektedir. Özellikle, şehir elektrik şebekelerinden uzak yerlerde çalışmak veya seyahat etmek durumunda olan insanların kullandıkları küçük elektronik aletlere (i-pod, dizüstü bilgisayar gibi) enerji sağlamak amacıyla giyilen giysilerin (ceket ve şapka gibi) veya kullanılan diğer tekstil malzemelerinin (çadır ve sırt çantası gibi) fotovoltaiik etki ile enerji üretmesi çok yararlı olacaktır. Şekil 2.5’de bu tür uygulamaların görüntüleri verilmiştir.

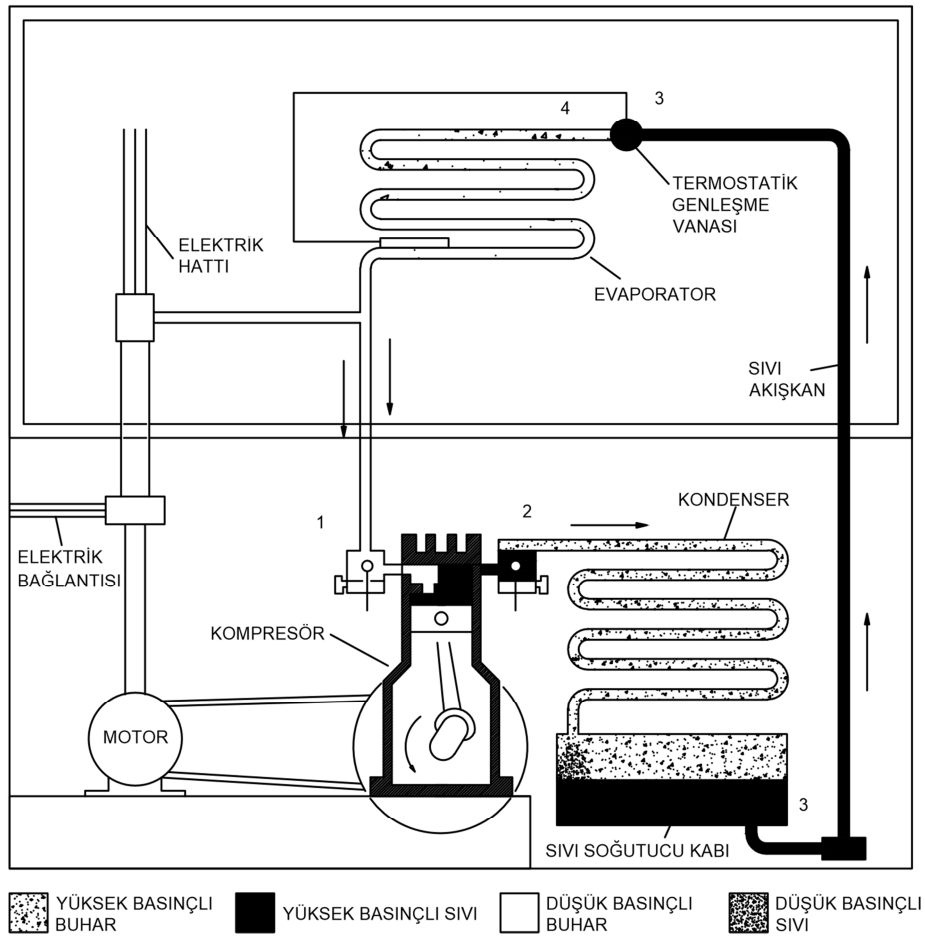


Şekil 2.5. Fotovoltaiik yelek, şapka ve çanta [10, 11]

3. SOĞUTMA VE ÇEŞİTLERİ

Soğutma makineleri bir bölgeyi çevre sıcaklığının altında tutmak için kullanılan sistemlerdir. Bu tür sistemlerde tek fazlı akışkan kullanılabileceği gibi iki fazlı akışkanlar da kullanılabilir. Genelde soğutma uygulamaları, yiyeceklerin saklanması, binaların soğutulması gibi uygulamalar için düşünülür, fakat birçok farklı uygulaması da mevcuttur. Örneğin uzay araçlarının sıvı yakıtlarının eldesi, demir çelik fabrikalarında kullanılan oksijenin elde edilmesi, doğal gazın taşınması ve depolanması gibi alanları kapsayabilir. Soğutma makineleri temel olarak güç üretme makinelerinin tersi prensiple çalışır. Dışarıdan iş girerek soğu enerjisi elde edilir [18, 19]. Hepimiz elimize dökülen kolonyanın serinlik verdiğini biliriz. Bunun temel nedeni kolonyanın içindeki alkolün buharlaşması sonucu çevresinden (elimizden) ısı enerjisi çekmesidir. Soğutma makinelerinin çoğu genel olarak bir çalışma akışkanının (soğutkanın) düşük basınçta buharlaştırılması ve yüksek basınçta tekrar sıvılaştırılması prensibine dayanır. Bundan başka bir gazın yüksek basınca sıkıştırıldıktan sonra soğutulması sonrada düşük basınca genleştirilmesi prensibine dayanan soğutma sistemleri de vardır. Bu tür sistemler gazların sıvılaştırılmasında ve uçaklarda sıkça kullanılırlar. Soğutma akışkanlarının sıkıştırılması genelde kompresör dediğimiz aygıtlarla gerçekleşir. Kompresörler genel olarak piston silindir tipi, turbo kompresörler, vida tipi kompresörler, ses dalgalarıyla sıkıştırma gibi değişik tiplerde olabilir. Absorbsiyon tipi soğutucularda basınç sıvı pompası ve birden fazla sıvının fazlarının ayrılması sistemiyle de oluşturulabilir. Soğutma akışkanlarının aynı zamanda genleştirilmesi de gerekmektedir. Genleşme ideal olarak bir türbin veya genleşme makinesinde yapılabilir, fakat genel uygulama bir genleşme vanası veya lüle, kılcal bir boru veya delikli levhalar kullanmaya dayanır. Şimdi bu makinelerin bazılarını daha detaylı olarak inceleyelim. Carnot soğutma makinesi teorik olarak soğutma akışkanının sıkıştırıldığı bir kompresör, soğutma akışkanının buharlaştırıldığı bir evaporatör, soğutma akışkanının genleştirildiği bir türbin ve bir kondenserden (yoğusturucu) oluşur. En yüksek çalışma verimine ulaşabilecek makinedir [9, 15]. Akışkan olarak doymuş sıvı – buhar karışımını kullanılabilir. Teoride bu çevrim en iyi verim vermekle beraber, pratik kullanımda sıvı buhar karışımının kompresörde sıkıştırılması ve türbinde genleştirilmesi çok zordur. Aynı zamanda türbin pahalı bir araçtır. Bu yüzden bu çevrim pratik uygulamalarda çok fazla yer bulmamıştır.

Carnot çevrimindeki problemler bu çevrimi biraz değiştirerek giderilebilir. Kompresöre doymuş sıvı-buhar karışımı gönderilecek yerde karışım kızdırılarak tamamen doymuş veya kızgın buhar haline getirilebilir. Pahalı olan türbin bir genleşme vanasıyla değiştirilebilir. Bu değişiklikler yapıldığında günümüzde en fazla kullanılan soğutma sistemi oluşmuş olur. Standart soğutma çevriminin ayrıntılı grafik gösterimi Şekil 3.1’de verilmiştir [20].

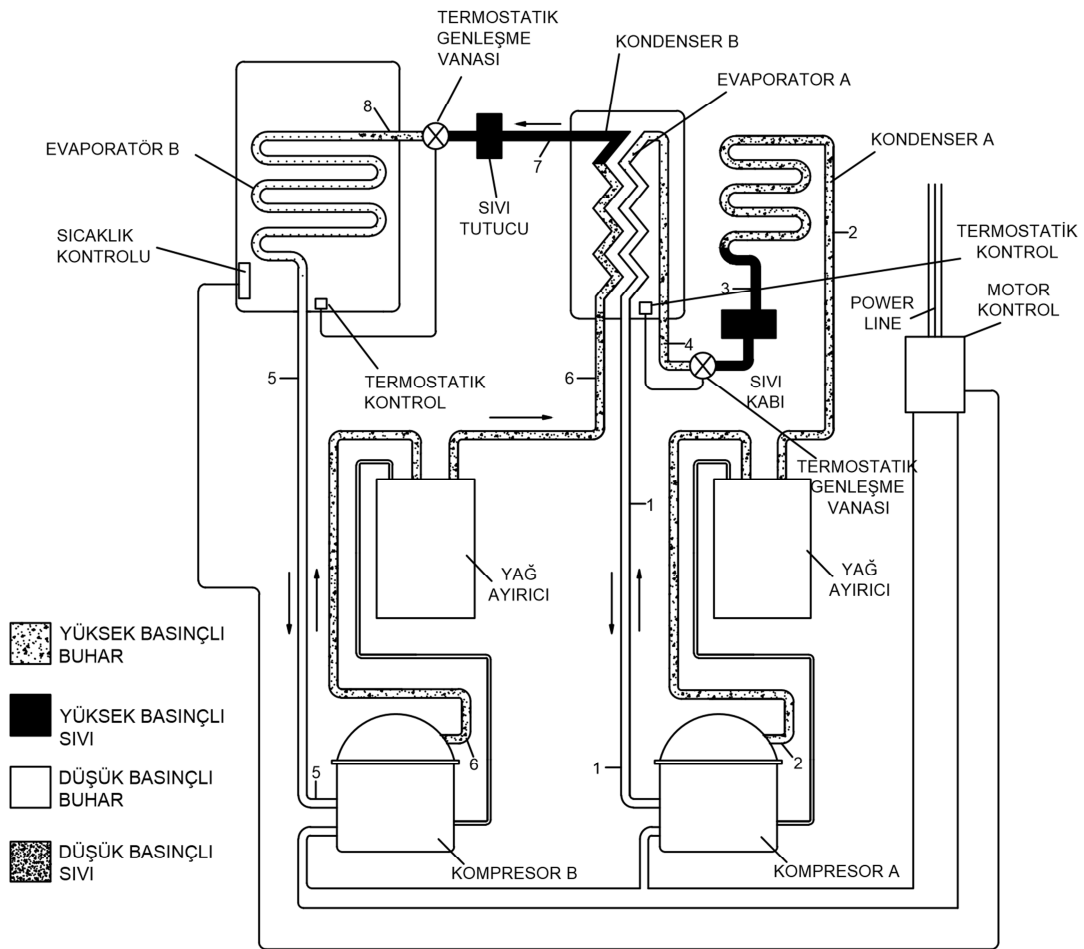


Şekil 3.1. Standart soğutma çevriminin ayrıntılı grafik gösterimi

3.1. Kaskad Soğutma Çevrimi (Makinesi)

Yoğuşturucu (kondenser) sıcaklığıyla buharlaştırıcı (evaporatör) sıcaklığı arasındaki fark çok büyük olduğunda kompresör çok fazla giriş işi (elektrik enerjisi) harcar. Bu elektrik enerjisi miktarını azaltmanın ve sistemin toplam etkinlik katsayısının artırılmasının bir yolu Kaskad soğutma sistemlerinin (Şekil 3.2) kullanılmasıdır. Bu tür

sistemler temel olarak iki bağımsız soğutma gurubundan oluşur. Düşük sıcaklıktaki sistemin yoğunlaştırıcısının ısıyı yüksek sıcaklıktaki sistemin buharlaştırıcısı tarafından çekilir. Böylece kompresörün istediği toplam enerji düşeceği gibi, toplam çekilen soğutma yükü de artar. Sistemin yüksek basınç ve alçak basınç taraflarında aynı akışkan kullanılacağı gibi, değişik akışkanların kullanılması da mümkündür. Temel olarak bu çevrim yukarıda anlattığımız çevrimin iki tanesinin bir araya gelmesinden oluştuğu için aynı denklemler kullanılarak hesaplanabilir. Temel ayrılık düşük basınç kondenseriyle yüksek basınç evaporatörünün ısıyı bir ısı değiştirgecinde birbirlerine aktarmalarıdır [20].

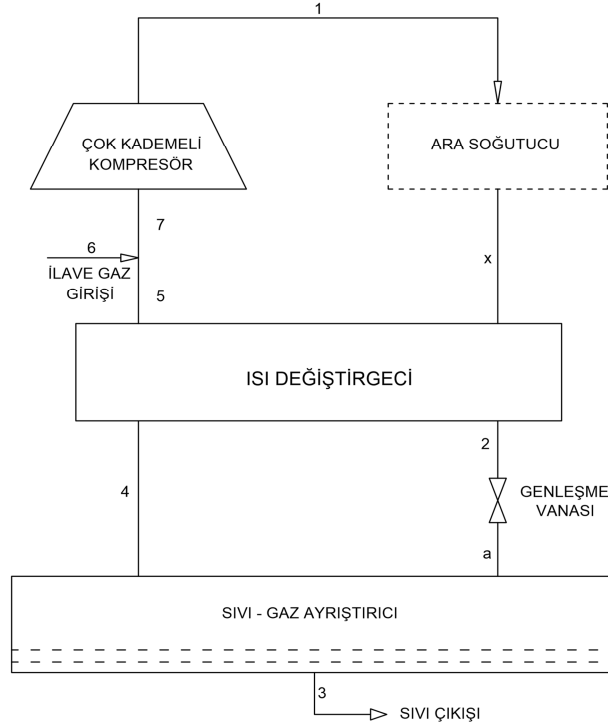


Şekil 3.2. Kaskad soğutma çevrimi

3.2. Gazların Sıvılaştırılması

Günümüzde $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ altındaki sıcaklıklarda gazların sıvılaştırılması, sanayide çok kullanılan bir uygulamadır. Doğal gazların kullanımının artması bu etkenin önemini daha

da arttırmıştır. Sıvılaştırılmış doğal gaz birçok sanayide temel enerji girdisi olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.3’de gazların yoğunlaştırılmasının şematik görünümü verilmiştir [20].



Şekil 3.3. Gaz yoğunlaştırma sistemi

Bu tür sıvılaştırma işlemleri için standart soğutma çevriminin revize edilmiş şekilleri kullanılır. Diyagramdan da görüleceği gibi sisteme giren gaz çok kademeli bir kompresörde sıkıştırılmakta, daha sonra bir soğutucuda soğutulduktan sonra bir ısı değiştirgecinde daha fazla soğutulmakta ve genleşme vanasında genleştirilmektedir. Genleşme sonunda gazın bir kısmı sıvılaşmakta, sıvı kısım sıvı gaz ayırıştırıcısında ayrılırken geri kalan gaz önce ısı eşanjöründe ısınmakta, sonra da kompresöre gitmektedir. Bu tür proseslerin kullanımında enerji veriminin yükseltilmesinde ısı değiştirgecinin verimi ve kompresör verimi çok önemlidir. Verimi arttırmak için kompresörün her kademedede soğutulması gerekir.

3.3. Termoelektrik (Peltier) Soğutma Sistemleri

Birbirinden ayrı malzemedan yapılmış iki teli uçlarından birbirine bağlar ve devreden elektrik akımı geçirirsek bir ucun ısınırken diğer ucun soğuduğunu görürüz. Eğer ısınan taraftaki ısıyı devreden atarsak, soğuyan taraftan sürekli olarak ısı çekebiliriz. İlk

defa Thomas Seebeck tarafından bulunan bu etki soğutma makinesi olarak kullanılabilir. Soğutma makinası olarak kullanım ilk defa Peltier tarafından gerçekleştirilmiştir ve Peltier etkisi olarak anılır. Günümüzde bilhassa küçük elektrik devrelerinin soğutulmasında pratik olarak kullanılan bu sistem, COP katsayısı standart soğutma makinesinin verimine henüz ulaşmadığı için büyük sistemlerde pek kullanılmamaktadır. Bu sistemlerin tercih nedeni küçük boyutlarda kullanılabilmesi, sessiz çalışması ve güvenilirliğidir. Peltier sistemlerinin COP değerlerini arttırmak için yeni metal çiftleri üzerinde çalışmalar sürmektedir, bu çalışmalar sonucunda gelecekte standart soğutma çevriminin üzerinde COP değerlerinin yakalanması mümkün olabilecektir [20].

3.4. Gaz Türbini Soğutma Makinesi (Brayton Çevrimi)

Gaz türbini soğutma makinesi bir gaz türbini, bir kompresör ve iki ısı değiştirgecinden oluşur. Gaz kompresörde sıkıştırıldıktan sonra bir ısı eşanjöründe soğutulur (çevreye ısı atılır). Daha sonra bir türbinde genişletilen ve soğuyan gaz ikinci bir ısı eşanjöründe ortamdan ısı çekmek için kullanılır. Eğer çalışma gazı havaysa ve ortam soğutulmasında kullanılıyorsa bu ısı değiştirgecine gerek kalmadan soğuyan hava direk olarak ortama gönderilebilir. Bu sistemin etkinlik katsayısı (COP değeri) de standart soğutma sistemine göre daha kötüdür. Şu andaki en önemli uygulaması uçak kabinlerinin soğutulması (veya ısıtılmasıdır) dır. Bu uygulamada uçak gaz türbinin kompresöründen alınan sıkışmış hava bir ısı değiştirgecinde soğutulduktan sonra küçük bir türbinde genişletilerek kabin içine verilir [20].

3.5. Termo-Akustik Soğutma Sistemleri

Bir gazın içinde yaratılan ses dalgaları gazın içinde osilasyonlar yaratarak gazı sıkıştırır ve genişletir. Bu etki aynı zamanda gazın soğumasına ve ısınmasına da yol açar. Mekanizmayı daha iyi anlayabilmek için içi bir gaz dolu bir ucu kapalı bir boru düşünelim. Diğer ucunda titreşen bir piston ileri geri hareket etsin. Termoakustik çevrimin çalışmasını anlamak için pistonun içindeki duvar boyunca hareket eden küçük bir gaz hacminde ne olduğunu inceleyelim. Normalde pistonun hareketi sinizoidaldir, fakat biz bunu basitleştirmek için hızlı bir hareket ve bekleme sonra tekrar hızlı bir hareket ve bekleme

olarak düşünebiliriz. Bu hareketler termo-akustik termodinamik çevrimi oluşturur. 2 tersinir adyabatik (ısı transferi olmayan) çevrim ve 2 sabit basınç ısı transferi çevriminden oluşur. Diğer bir deyimle çevrimi Brayton çevrimine benzer bir çevrimdir. Çevrimin ilk prosesinde piston kapalı uca doğru hareket eder ve içerdeki gazı sıkıştırır ve dolayısıyla ısıtır. Bu durumda duvara çok yakın durumdaki gaz parçacığının sıcaklığı duvar sıcaklığından yüksek olacağından ısıyı duvara iletir. Üçüncü proseste piston dışa doğru hareket ederken gaz paketçigi genleşir ve soğur, bu yüzden sıcaklığı duvar sıcaklığının altına düşer ve ısı duvardan gaz parçacığına doğru akar. Eğer piston sisteme iş ilave edecek şekilde çalıştırılırsa içteki gaz ısınacağından ısıyı cıdardan dışarıya atacaktır, yani bir soğutma sistemi veya ısı pompası oluşacaktır. Termo-akustik sistemde pistonun yerini yüksek enerjili ses dalgaları almaktadır. En uçta yüksek ses yaratıcı bir hoparlör yer alır. Hoparlörden sonra bir rezonans tüpü mevcuttur. Hoparlörden çıkan yüksek enerjili ses dalgaları resonatörün içindeki gazın rezonansına sebep olur [20].

3.6. Vortex Borulu Soğutma Sistemleri

Vortex borusu 1930'da Fransız fizikçi Georges Ranque tarafından bulunmuştur. Temel çalışma prensibini şöyle özetleyebiliriz: Belli bir eksen etrafında yüksek hızla dönen akışkan (genellikle hava kullanılır) bu dönüş esnasında biri soğuk biri sıcak olmak üzere iki ayrı dönüş hareketine ayrışır. Basınçlı hava silindir şeklindeki boruya bir radyal dönüş sağlayacak şekilde giriş yapar. Merkezkaç kuvvetiyle borunun dış yüzeyine doğru itilen hava 1000000 devir/dakikayı bulan hızlarda tayfundakine benzer bir yapı içinde dönerek yukarı doğru akar. Borunun sonunda (üst ucunda) sıcak havanın bir kısmı iğne vanadan dışarı atılır. Geri kalan hava giriş havasının içinde daha küçük çaplı ve daha yavaş bir vorteks olarak aşağı doğru akar. İç akıştaki yavaş dönen havanın ısısı dış tarafta hızlı dönen hava tarafından emilerek iç havanın soğuması sağlanır. Soğuyan içteki hava soğuk hava çıkış bağlantısından çekilir [20].

3.7. Su Jetli Soğutma Sistemleri

Çevresel olarak hiçbir zararlı etkisi olmayan bir soğutucu akışkan olan su oldukça cazip bir soğutma akışkanı olarak kabul edilebilir, ancak soğutucu akışkan olarak kullanılma bölgelerindeki yoğuşma basıncının çok düşük olması birçok uygulamada

soğutma akışkanı olarak kullanılmasını engelleyen bir faktör olarak ortaya çıkar. Örneğin 4 °C de buharlaşma basıncı 0.008129 bar civarındadır. Aynı zamanda su ile ulaşabileceğimiz soğutma sıcaklıkları da bir çok uygulama için yeterince düşük değildir. Su buharı kullanırken standart çevrimdeki kompresörün yerini ejektör adını verdiğimiz çok basit bir mekanizma alabilir. Su sıvı fazda kazana gönderilmeden önce pompalarla basınçlı hale getirilebilir. Sıvı fazı basınçlandırma maliyeti gaz fazını basınçlandırmaya göre çok daha ucuzdur. Yüksek basınçtaki buhar bir lüle (nozzle) den fişkırtılırken oluşan kinetik enerjiyle buharlaştırıcı (evaporatör)daki oluşan su buharını da çeker. Karışım yoğunlaştırıcıya gönderilerek tekrar yoğunlaştırılır, böylece gaz buharlaştırıcının düşük basıncından yüksek basınca çıkarılmış olur. Yoğuşan suya pompada tekrar basınç sağlanarak kazana gönderilir [20].

3.8. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemleri

Absorbsiyonlu soğutma sistemleri iki sıvılı ve sıvılardan birisinin diğeri içinde eriyerek orak faz teşkil edebilme özelliklerine dayanır. Karışımdan ısı çekildiğinde ikincil sıvının içinde ergime artar, ısı verildiğinde fazlar ayrışır. Sıvılar bir arada ergidikten sonra (gaz sıvı içine absorbe olduktan sonra) sıvı normal bir sıvı pompasıyla basınçlandırılır ve jeneratöre gönderilir. Jeneratörde ısı verilen karışımdan gaz fazında soğutkan ayrılarak yoğunlaştırıcıya gönderilir. Bu çevrim kompresöre göre çok düşük bir iş girişine gereksinme duyduğundan ve temel olarak ısı enerjisi ile çalıştığından atık ısının olduğu yerlerde cazip olabilmektedir. Sistem etkinlik katsayısı standart soğutma çevrimine göre düşüktür. En çok kullanılan absorbsiyon çiftleri su-amonyak (çevrim soğutkanı amonyak, amonyağı emen sıvı olarak su) ve Lityum bromid-su (çevrim soğutkanı su ve suyu emen sıvı olarak Lityum bromid) çifti sayılabilir. Diğer pratik soğutkan absorbant çiftleri ile ilgili araştırmalar sürmektedir [20].

3.9. Evaporatif Soğutma Sistemleri

Genel olarak evaporatif soğutma sistemleri, bir akışkanın uygun atmosferik şartlarda içinde bulunduğu ortama buharlaşarak soğutma işlemi olarak tanımlanabilir. Sıcak ve kuru havanın ıslak bir yüzeyden geçerken buharlaşan suyun, bu işlem sırasında havadan buharlaşma ısını çekmesi sonucu meydana gelecek sıcaklık düşmesine

Evaporatif (Adyabadik) soğutma denir. Sistemde %100 temiz hava kullanılır. Bu nedenle doğal soğutma olarak adlandırılır. Evaporatif soğutma sistemlerinde suyun buharlaşması için gereken ısıнын çevreden alınması işlemin esasını oluşturur. Suyun buharlaşması ile birlikte ortamdan gizli ısı alınmakta hissedilen ısı aynı kalmaktadır.

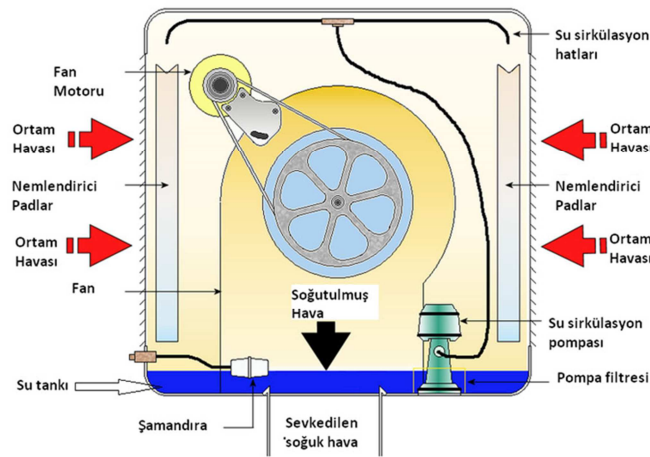
Geçmişten günümüze kadar kullanılan en eski soğutma sistemlerinden biri olan evaporatif soğutma sistemleri, klima sistemlerindeki hızlı gelişmelerden dolayı fazla tercih edilmemiştir. Buna karşın evaporatif soğutma sistemlerinin enerji tüketimi klima sistemlerine oranla çok daha düşüktür. Maliyetlerin düşürülmesi ve hava kalitesini iyileştirme isteklerine cevap vermesi, sistemin bakımı ve onarımı kolay, işletme ve bakım masrafları düşük olması sebebiyle evaporatif soğutma sistemlerini tekrar gündeme taşımıştır.

Evaporatif soğutma sistemleri; evlerde kullanılmasıyla birlikte sanayi ve ticari yapılarda (fabrikalar, fırınlar, atölyeler, marketler, depolar, turizm tesisleri, spor tesisleri, tarım işletmeleri vb.) iç hava şartlarını ekonomik olarak iyileştirmek, verimi artırmak amacıyla yoğun olarak kullanılmaktadırlar; ancak bunun yanında evaporatif soğutma sistemleri 3 önemli avantaj daha sağlar:

- 1- İnsan teni üzerindeki hava hareketi odadaki sıcaklıktan daha serin hissetmemizi sağlar. Bu durum “etkin sıcaklık” olarak tanımlanır ve ortamdaki mevcut sıcaklıktan ortalama olarak 2-5° daha düşük olabilmektedir.
- 2-Hava hareketi zeminler, duvarlar ve tavanlar üzerinden geçerek sistemdeki ısıyı alır ve aynı zamanda binayı da serinletir.
- 3-Evaporatif sistemle soğuyan mekân sürekli olarak dışarıdan temiz hava alır.

Temiz hava solumak canlıların yaşamsal fonksiyonların için çok önemlidir. Temiz hava aynı zamanda, evaporatif iklimlendirme sisteminin nasıl çalıştığı konusunda bize bilgi vermesi amacı ile kritik bir öneme sahiptir. Evaporatif bir sistemde serinlemiş olan hava soğutulacak yerlere doğru hareket eder. Bu sırada hava; insanlardan, zeminden, tavadan ve hatta mobilyalardan bile ısıyı emer. Sonra ısı yüklenmiş hava binadan dışarı atılır, yeni temizlenmiş ve serinlemiş hava mekânı doldurur. Evaporatif iklimlendirme sisteminde bir odanın havası saatte 50 defadan fazla değiştirilebilir. Sistemde mekanik aksam olarak fan ve su pompası bulunur. Su pompasının görevi: sistemin su haznesindeki

suyu buharlaşmanın olacağı petek yüzeye püskürtür. Petek dokulu buharlaşma yüzeyi bu amaç için özel olarak üretilmiş sentetik veya doğal elyaftan imal edilmiştir. Su tutma ve hava geçirme özelliği yüksektir. Dış ortamdan alınan taze hava fan yardımıyla bu nemli elyaftan içinden geçirilir. Bu hava geçişi sırasında hava soğur. Çünkü buharlaşan suyun havadan buharlaşma ısınıncı çekmesi sonucu meydana gelen sıcaklık düşmesi nedeniyle oluşan serinlik havayı da soğutur. Soğuyan hava iç ortama verilir. Evaporatif soğutma sistemlerinin verimi havanın sıcaklığı ve kuruluğu ile ilişkilidir. Kompresörlü klimaların tersine, hava ne kadar sıcak ve kuru ise sistem o kadar verimli çalışır. Hava ısındıkça nem oranı da düşer. Bu da evaporatif soğutucuların hava ısındıkça daha da erimli çalışmasını sağlar [21]. Evaporatif soğutma sistemlerinin genel çalışma şeması Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Evaporatif soğutma sistemleri çalışma şeması [22]

İklimlendirme sistemlerinde en çok kullanılan yöntemlerin başında mekanik sıkıştırırmalı soğutmalar gelir. Tüm iklim şartlarında kullanılabilen bu sistemin geniş bir soğutma aralıktaki kapasitesini karşılayabilmesi ve çevre şartlarının kontrolüne imkân verecek avantajlara sahip olduğu gibi yüksek güç tüketimi ve çevreye zararlı gazların salınması da dezavantajları olarak sıralanabilir [23].

Enerji tüketimi düşük ve çevreye zararlı olmayan sistemlerin kullanıldığı evaporatif soğutma, mekanik sıkıştırırmalı soğutma sistemin dezavantajlarına karşı alternatif bir çözüm yöntemidir. Evaporatif sistem ortam şartlarına mekanik sistemden daha fazla bağlıdır. Evaporatif soğutma sistemin fizibilitesi her bölge için farklılık gösterdiği için bireysel olarak araştırılmalıdır [24].

Evaporatif soğutma sisteminde soğutucu verimi (ε) şöyle hesaplanır [25-27].

- T_1 : Giriş havasının kuru termometre sıcaklığı,
- T_2 : Giriş havasının yaş termometre sıcaklığı,
- T_3 : Çıkış havasının kuru termometre sıcaklığı,
- T_4 : Çıkış havasının yaş termometre sıcaklığı olmak üzere;

$$\varepsilon = \frac{T_1 - T_3}{T_1 - T_2} \quad (3.1)$$

Literatürde [23-32] çeşitli evaporatif soğutma türlerinden bahsedilmiştir. Bunlardan başlıcaları şunlardır.

3.9.1. Direkt Evaporatif Soğutma

Bu tez çalışmasında kullanılan soğutma şekli olan Direkt Evaporatif Soğutma sisteminde hava sürekli sirküle edilen su ile doğrudan temas etmektedir. Soğutma süreci yaş termometre sıcaklığı doğrusu boyunca gerçekleşir. Bu süreç boyunca hareket eden havanın kuru termometre sıcaklığı düşerken duyulur sıcaklık azalır. Öte yandan ortamın mutlak nemi yükselirken gizli ısı da artmaktadır. Bu şekilde gelişen süreçlerde entalpi sabit kalır [25-30].

3.9.2. Endirekt Evaporatif Soğutma

Endirekt soğutmada, proses havanın evaporatif olarak sıcaklığı düşürülmüş hava vasıtasıyla sistemde duyulur olarak soğutulmasıdır. Bu sistemin en önemli özelliği: iki hava akımının birbirleriyle asla karışmaz ve direkt temasta bulunmazlar. Kuru ve ılıman iklimler için endirekt evaporatör soğutucu sistemleri daha uygun olup hava sıcaklığının nemini yükseltmeden düşürdüğü için direkt soğutuculara göre daha avantajlıdır [26].

3.9.3. Mekanik Soğutma Destekli Evaporatif Soğutma

Yüksek sıcaklığa sahip iklimlerde, endirekt soğutma sistemi mekanik soğutma sisteminden önce ön soğutucu olarak kullanılabilir. İklim şartları hangi tip evaporatör soğutucunun kullanılacağını dış hava şartlarına göre belirlenir. Eğer ki havadaki nem oranı düşük ise nem ilave ederek soğutan direk evaporatif soğutucu tercih edilirken; nem oranı yüksek olduğu günlerde ise endirekt evaporatif tercih edilir. Daha fazla soğutmaya ihtiyaç duyulursa direk/endirekt ya da endirekt/meکانik soğutma sistemleri kullanılır [28].

Evaporatif Soğutma Sistemlerinin Avantajları:

- Evaporatif soğutma cihazların düşük montaj ve bakım giderleri vardır,
- Bu sistemin işletme giderleri son derece düşüktür,
- Bakımı ekonomik olup kurulumu basittir,
- Evaporatif soğutma sistemleri ile çalışan cihazları çevre dostudur,
- Evaporatif soğutma sistemleri oldukça sessiz çalışır,
- Evaporatif soğutucularda soğutma çevrimi sürekli filtre görevi yaparak oluşturduğu nem ile kirli havayı temizleyerek sistemde taze iç hava elde edilir,
- Evaporatif soğutma sistemleri kurak iklimlerde havanın nemini sürekli artırdığından solunan havayı yumuşatır [31, 32].

Evaporatif Soğutma Sistemlerinin Dezavantajları:

- Evaporatif soğutucular ortamda yüksek oranda nem ürettiğinden cihazın verimini azaltır,
- Bir evaporatif soğutucudan elde edilen havanın içindeki nem oranı oldukça yüksektir (%80-90),
- Nemin artması sonucu ortamda bulunan metallere ve elektronik cihazlara zarar verebilir,
- Nem oranının yüksek olmasından dolayı, ciğerlere ve astım hastalarına zarar vereceğinden nem oranının kontrol edilmesi zorunluluğu doğurur,
- Çevrenin soğutulması için sürekli olarak bir su kaynağına ihtiyaç duyulur [31, 32].

3.10. Güneş Pili Destekli Soğutma Uygulamaları

Literatürdeki bazı güneş pili destekli soğutma uygulamaları aşağıda özetlenmiştir:

Hara vd., 1998 yılında güneş pili destekli termoelektrik soğutuculu bir prototip şapka tasarlamışlardır. Deneysel olarak yaptıkları çalışmada, ısı konfor şartlarını yakalamak için uğraşmışlardır [33].

Dai vd., 2003 yılında güneş pili destekli bir termoelektrik soğutucu ile deneysel çalışma yapmışlardır [34].

Royne vd., 2005 yılında yaptıkları bir derleme makalesinde, güneş pillerinin kısa vadede verimlerini kötüleştiren ve uzun vadede bozulmasına neden olan yüksek sıcaklıklardan dolayı güneş pillerinin soğutulması gerektiğini savunmuşlardır. Fotovoltaik hücrelerin soğutulması için soğutma yöntemlerinin çeşitlerini sıralamışlardır [35].

Atik ve Çakır 2006 yılında, elektrik enerjisinin bulunmadığı yerlerde soğutma yapabilmek için elektrik enerjisi ihtiyacını güneş pilinden alan termoelektrik soğutucu imal etmişlerdir. Dış ölçüleri 29x29x29 cm ebatlarında olan kabinin ısı kazancını karşılayan termoelektrik modül ve bu termoelektrik modülün elektrik enerjisi ihtiyacını sağlayabilen fotovoltaik sistem (güneş pili) seçimi yapılmıştır. Yapılan sistem farklı dış şartlarda deneysel olarak çalıştırılmış, rejim haline gelmesi gözlemlenmiştir. Termoelektrik soğutucunun soğutma tesir katsayısı (STK) ve güneş pilinin verimini bulmak için; kabin iç ve dış sıcaklıkları, termoelektrik modülün sıcak ve soğuk yüzey sıcaklıkları, güneş pilinden çekilen akım ve gerilim ile güneş ışıyım şiddeti değerleri ölçülmüştür. Yapılan deneylerde; 17.80 °C dış sıcaklık ve 775 W/m² ışıyım şiddetinde kabin içi sıcaklık 4.90 °C'ye kadar düşmüştür. Termoelektrik soğutucu için STK 0.90 ve güneş pilinin verimi ise % 10 dolaylarında olmuştur. Sistem maliyeti oldukça yüksektir. Burada en büyük payı enerji maliyeti, yani güneş pili almaktadır. Bu sistem şebeke geriliminin olmadığı yerler için uygundur. Ayrıca ülkemizde yaygın olmayan güneş pilleri ve termoelektrik soğutma için örnek bir uygulamadır [7].

Sungur, 2008 yılında yaptığı çalışmada, sıcak iklim şartlarında, elektrik enerjisinin olmadığı yerlerde kullanılmak üzere prototip, güneş pilleri ile beslenen 48x10⁻³m³ hacminde max. 18 W gücünde bir termoelektrik soğutucu tasarlanıp gerçekleştirilmiştir. Bu sistem, kontrol devresi ve termoelektrik soğutucudan oluşmaktadır. Bu sistem için gerekli olan enerjiyi elde etmek için Fotovoltaik (PV) panel, panelden yeterli enerji

alınmadığı zamanlarda yedekleme için batarya kullanılmıştır. Sistemin, 25°C ortam sıcaklığında, soğutma iç sıcaklığı 5°C-10°C arasında ayarlanıp bu şartlardaki maliyet, verim ve ekonomi açısından performans testleri yapılmıştır. Testlerin sonucunda termoelektrik soğutucunun performans katsayısı (COP) değeri 0.3 ila 0.6 arasında bulunmuştur. Tasarlanıp gerçekleştirilen bu termoelektrik soğutucunun, güneşlenme süresi oldukça iyi olan Türkiye şartlarında uygulanabilir olduğu ortaya konulmuştur [36].

Zhangbo vd., 2009 yılında odaklayıcı sistem altında güneş pillerinin soğutma teknolojilerini incelemişlerdir [37].

Yıldız 2010 yılında yaptığı Yüksek Lisans çalışmasında, ev tipi bir buzdolabını mekanik ve elektrik sistem yerine termoelektrik soğutucu ile çalıştırmıştır. Termoelektrik modüllerde kullanılan elektrik enerjisi güneş pillerinden elde edilmiştir. Termoelektrik modüller buzdolabının ısı kazancını karşılayacak sayı ve kapasitede; güneş pilleri ise termoelektrik modüllerin beslemesi için gereken elektrik gücünü karşılayacak şekilde seçilmiştir. Deneyler sırasında; iç ve dış sıcaklıklar, termoelektrik modül yüzey sıcaklıkları, üretilen gerilim ve akım değerleri ölçülmüştür. Soğutucunun dış sıcaklık ile iç sıcaklık farkı 15.8 °C, termoelektrik modül yüzey sıcaklıklar farkı ise 22.6 °C olarak ölçülmüştür. Sistemde ısıyı uzaklaştırmak için önce sudan havaya daha sonra havadan havaya ısı transfer sistemi kullanılmış olup havadan havaya ısı transfer sistemin daha kullanışlı olduğu görülmüştür. Yapılan deneylerde sistemden istenilen verimi elde etmek için termoelektrik modül ile güneş pillerin seçiminin iyi yapılması, sıcak yüzeyden ısıyı ve atmak için değişik yöntemlerin kullanılması ve ısı yalıtımının uygun yapılması gerektiği kanısına varılmıştır. Çevre ile uyumlu olan bu soğutma sisteminin, gelecekte kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir [12].

Çelik vd. 2010 yılında, dünya üzerindeki yaşamın sürdürülmesini sağlayan, fotovoltaik tekstilleri de kapsayan çeşitli uygulama alanları bulunan, tükenmeyen, temiz ve kolay erişilebilen bir enerji olduğunu savunmuşlardır. Güneş ışığını kullanarak elektrik enerjisi üreten güneş pillerine ise talep, hem sanayide hem günlük yaşamda, gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışma, yenilenebilir enerji çeşitleri arasında en ilgi çekenlerden bir tanesi olan güneş enerjisi, onu kullanarak elektrik enerjisi üreten fotovoltaik teknolojisi ile Türkiye ve dünyadaki mevcut durum ve mevcut güneş pili uygulamaları ve fotovoltaik tekstiller hakkında genel bir bilgi vermeyi amaçlamaktadır [13].

Natarajan vd., 2011 yılında pasif soğutma olup olmadığı durumlarına göre fotovoltaik toplama sistemleri için güneş pili sıcaklıklarının sayısal araştırmasını yapmışlardır [27].

Urbiola vd., 2012 yılında yaptıkları çalışmada, hibrit güneş sistemleri içerisindeki termoelektrik jeneratörlerin kullanılabilirliğini araştırmışlardır [38].

4. SİSLEME SİSTEMİ, DENEYSEL ÇALIŞMA VE MODELLEME

Hava sıcaklığının yüksek olduğu yerlerde insanların daha rahat yaşamaları için birçok teknik ve yöntem geliştirildi. Daha çok sıcak iklimlerde görülen yapay gölge alanları kurmak, çeşmeler-havuzlar inşa etmek evleri kalın duvarlar ve çatılardan oluşturmak, açık renkli elbiseler giymek gibi yöntemler asırlarca kullanıldı. Bu yöntemler geçici bir serinlik oluşturduğu halde sınırlı etkinliğine rağmen oldukça tercih edilmektedir. Teknolojinin gelişmesi ile birçok araç, fabrika ve hayat aksesuarlarının kullanımı artmıştır. Bu da küresel ısınmanın artmasına neden olmuştur. Küresel ısınma, yeni yöntemler bulunmasını gerekli kılmıştır. Yeni bulunan yöntemleri hem ucuz hem de çevre dostu olması önemlidir [44].

Son zamanlarda oldukça sık kullanılmaya başlanan çevreci ve ekonomik sisleme sisteminin bütün özellikleri aşağıdaki bölümlerde detaylandırılmaktadır.

4.1. Sisleme Sistemi İle Serinletme Yöntemi

Sisleme sisteminin kalbini oluşturan 70 ile 100 bar arası yüksek basınca ulaşabilen pompa, suyu benzer yöntemlere göre çok daha küçük zerrecikler haline getirir. Bu yöntemle oluşturulan zerrecikler o kadar küçüktür ki çökelmeyip havada askıda durduğu gibi, ortamın nemine bağlı olarak kısa sürede de buharlaşır. Düşük basınç sistemlerinden farklı olarak ortalama büyüklüğü 5-15 mikron olan daha küçük zerrecikler oluşması aynı miktarda su kullanımıyla daha fazla yüzey alanı sağlar. Bu etki uygulamada daha hızlı ısı aktarımı, verimli serinletme ve nemlendirme olarak hissedildiği gibi koku giderimi uygulamalarında da yüksek verimlilik sağlar. Hatlı sistem ve fanlı sistem olarak ikiye ayrılan sisleme sistemi sayesinde istenirse ortama dozaj pompası sayesinde parfümlendirme yapılarak istenilen güzel koku sürekli olarak ortama verilebilmektedir. Sistemin çalıştığı ortamlarda sinek, sivrisinek ve kanatlı haşerelerin yaşamadığı ve bu ortamlardan uzak durdukları gözlenmiştir.

Dış çevre sıcaklığını daha düşük değerlere hızlı bir şekilde düşürdükleri için sisleme sistemi çok faydalıdır. Sisleme sistemi, birkaç dakikada sıcaklıkları normal sıcaklıklara getirebilir. 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 filtrelendir. 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 tozlardan ve diğer kirletici etkilerden temizlenmesini sağlar.

Literatürde sisleme sistemi ile ilgili birkaç çalışma mevcuttur; Wong ve ark., buharlaştırıcı soğutma sıcaklığının 1 C'den daha az değerlere düştüğü düşük su buharı koşulları altındaki durumla karşılaştırıldığında; çatı sıcaklığındaki fazla düşüşlerin hava ortamındaki su buharı basıncının çok yükseldiği durumlarda ortaya çıktığını tespit etmişlerdir [39].

Lansberg ve ark. yüksek güneş radyasyonu ve düşük nem ile tanımlanmış bölgelerde seralarının direkt buharlaştırıcı soğutma verimliliği ile ilgili teorik analiz yapmışlardır [40].

Katsoulas ve ark., sisleme sisteminin etkinliğini gölge terlemesi ve su buhar basıncı iletkenliği üzerinde incelemişlerdir ve elde ettikleri sonuçları sis sistemi mevcut olmayan sera durumları ile karşılaştırmışlardır[41].

Dombrovsky ve ark., sisleme sistemleri tarafından ne ölçüde küçük su damlacıkları meydana getirildiğini açıklayan analitik açıklamanın, güneş radyasyonu için toplam gelen akışı azaltarak ve özellikle insan derisine zararlı olan UV radyasyonun minimize ederek etkili bir filtre olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir [42].

Sethi ve ark., dünya genelinde mevcut olan tarımsal seralarda kullanılan soğutma teknolojilerini incelemişler ve her bir teknoloji uygulamasını ayrı ayrı ele almışlardır. Sistem karakteristikleri, uygulamalar ve havalandırma (doğal veya suni), gölgeleme, yansıtma, buharlaştırıcı soğutma (fan-ped, sis-duman, ve çatı soğutma) ve kompozit

sistemler (yerden havaya ısı değiş-tokuş edici sistem ve boşluk akışına bağlı akifer ısı değiş-tokuş edici sistem) gibi var olan sera soğutma teknolojilerinin performansları hakkında bilgi vermişlerdir [43].

Atieh ve ark., sıcak havaya sahip ülkeler için potansiyel bir çözüm olan, çok sayıdaki koşulları karşılayabilmek adına sisleme sistemini sıralamışlardır. Bir güneş paneli ile Taibah Üniversitesi araştırma binalarının bir tanesinin önüne kurulmuş olan sisleme sistemine güç vermektedir. Çevre nemi ve ısını, komşu bölgelere göre, ölçerek karşılaştırmışlardır. Binalardan biri sisleme sistemi ile soğutulmuştur ve diğerlerinde ise bu sistemi kullanmamışlardır. Ayrıca, sisleme sisteminin açma ve kapanma sinyallerinin zamanlaması incelemişlerdir. Aynı zamanda kullanılan güneş paneli için detaylı bir analiz yapmışlardır. Son olarak önerilen sistemin yatırıma dönüş (ROI) durumunu değerlendirmişlerdir [44].

Narumi ve ark., bu teknolojilere azalan kentsel sıcaklık akımını düşürmek ve sisleme tekniği yöntemi ile tam olarak donatılmış olan bir apartmanda enerji tasarrufunu arttırmak için sayısal simülasyonlar ve kontrol testleri üzerine odaklanmış ve kontrol testleri gerçekleştirmişlerdir. Takeda ve ark., kontrol testlerini yüzeylerde su filmi oluşturarak duvarları soğutmak için fotovoltaiik teknolojisini kullanarak gerçekleştirdi. Aynı zamanda Japonya'nın çevre bakanlığı da oda klimasının dış yüzeyine su zerrecikleri püskürterek klimanın etkinliğini geliştirmek için buğu ile soğutma teknikleri üzerinde kontrol testleri gerçekleştirmişlerdir [46].

Tsujimoto ve ark., yüksek basınç altında mikronize edilen su zerreciklerini kullanan buğu ile soğutma tekniği üzerinde kontrol testleri gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, açık alanlarda sıcaklıkları azaltmak için yüksek basınçlı su püskürtme teknolojisi ile çalışan güneş ışığı kaynağını dağıtmayı önermişlerdir. Bu sistem havanın sıcak olduğu ülkeler için potansiyel bir çözümdür. Suyun sıra dışı bir şekilde buharlaşma sınır ısı ve sıcaklık emme kapasitesi vardır. Havaya yayılan özel hortumlar aracılığıyla yüksek basınç altında püskürtüldüğünde buluta (sis) benzeyen 5-10 mikron büyüklüğünde su zerreciği salınmaktadır. Atmosferde emilen su dış enerjiyi emer, çevredeki ıyı buharlaştırarak sıcaklığı düşürür, bu sürecin adına buğu ile soğutma tekniği ya da sisleme denir. Bu sistem çevre ısını 10°-15°C ye kadar düşürür ve oldukça etkilidir [47].

Su püskürtme sistemlerinin özellikleri:

- Az yer tutar ve hafiftir,
- Düşük su tüketir,
- Geniş açık alan uygulamalarına uygundur,
- Sıcaklık tutma kapasitesi yüksektir,
- Çevre dostudur,
- Toksik değildir,
- Fiyat olarak uygundur,
- Sivrisinek sinek vb. böcekleri çevreden uzak tutar,
- Çevreyi tozdan ve diğer materyallerden temizler.

4.2. Sistemin Çalışma Prensipleri

Güneş hücreleri güneş panellerini meydana getirir. Bir güneş hücresinin performansı verimi ile ölçülür. Enerjinin yüzde kaçını elektriğe dönüştürdüğünü belirlemek verimi belirler. Sadece belirli dalga boylarındaki ışık elektriğe dönüştürülebilir. 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, inverter, yardımcı elektronik devreler bulunur. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmemesi için akü şarj regülatörü kullanılır. Şarj regülatörü akünün kapasitesine göre güneş pillerinden gelen akımı keser. Bu durumda inverter devreye girerek doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çevirir ya da güneş ışığının yetersiz kaldığı durumlarda aküden aldığı 12-24 V akımı 220 V akıma çevirerek sistemin elektrik ihtiyacını giderir. Üretilen bu elektrik sayesinde şebeke suyunu yüksek basınç altında mikron büyüklüğünde zerrelere parçalar ve bu mekânda sis oluşturur. Devreye basınç pompası girerek suyu benzer yöntemlere göre çok küçük zerrecikler haline getirir. Bu yöntemde oluşturulan zerrelere o kadar küçüktür ki ortamın nemine bağlı olarak kısa sürede buharlaşır. 5-15

mikron büyüklüğündeki küçük zerrecikler oluşması aynı miktarda 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.

Fotovoltaik sistemler çeşitli alanlarda kullanılır. Bunlardan biri de fotovoltaik piller kullanarak açık alanların serinletmesinde sisleme sistemi kullanılır. Misting (sisleme) sisteminin çevresel ve ekonomik faydalarını inceleyelim: Güneş enerjisi temiz yenilebilir sürekli enerji kaynağıdır. Bu sebepten 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. Çevre dostudur, toksik değildir. Çevreyi tozdan ve diğer kirli materyallerden uzak tutar. Yüksek basınç altında su zerrecikleri halinde buharlaştığından, ortam sıcaklığı düşürerek insanda rahatlama hissi uyandırır. Canlılara hiçbir zararı yoktur ancak sinek, sivrisinek, haşere vb. böcekleri çevreden uzaklaştırır. Devlet destekli olarak çeşitli işletmeler tarafından kullanılabilir. Böylece enerji bakımından dışa bağımlılığın önüne geçilmiş olur. Klima ile ortam serinlemelerde meydana gelen sinüzit, nezle, bel ve boyun tutulması gibi sağlık sorunları 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, iki farklı açık alanda birkaç adet güneş pili (PV) modülü monte edilerek söz konusu alanların serinletilmesi ve nemlendirilmesi sisleme yöntemi ile yapılacaktır. Serinletilen bölgeler kenarları atmosfere açık çardak ve balkondur.

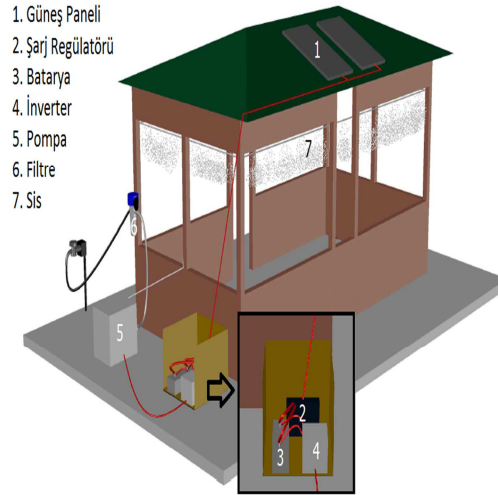
4.3.1. Çardak Bölgesi Serinletme

1. uygulama olarak Elazığ (38.6775° K, 39.1707° D) ilinde 24 m²'lik bir çardakta güneş pillerinden elektrik sağlanarak sisleme sistemi çalıştırılmıştır. Şekil 4.1'de

serinletme sisteminin çardakta kurulmuş hali, Şekil 4.2’de ise çardak bölgesi sisleme sisteminin detayları ve Şekil 4.3’de ise çardak alt bölgesinin sisleme anındaki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.1. Çardak bölgesi sisleme sistemi



Şekil 4.2. Çardak bölgesi sisleme sisteminin detayları



Şekil 4.3. Sisleme anında çardak alt bölgesinin görünümü

4.3.2. Balkon Bölgesi Serinletme

2. uygulama olarak, Elazığ ilinde 20 m²'lik bir ev balkonunda güneş pillerinden güç sağlanarak sisleme sistemi ile serinletme yapılmıştır. Özellikle dış hava değişimlerinden fazla etkilenmeyen sinek ve sivrisinekleri bol olan bir balkon ortamı başarılı bir şekilde serinletilmiştir. Sinek ve sivrisineklerin insanlara verdiği rahatsızlıklar giderilmiştir. Şekil 4.4'de serinletme sisteminin balkonda kurulmuş hali ve Şekil 4.5'de ise balkon alt bölgesinin sisleme anındaki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.4. Balkon serinletilmesi sistemi



Şekil 4.5. Balkon serinletilmesinin görünümü

İki farklı açık alan için de aynı güç ve aynı özellikte sisleme sistemi kullanılmıştır. İki sistemde de 150 Watt'lık iki adet güneş pili kullanılmıştır. Alanlar için kullanılan sisleme sisteminin teknik ve ekonomik özellikleri Şekil 4.2'de verilen ekipman numaralarına göre Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Güneş pilleri destekli sisleme sisteminin ana bileşenleri, 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

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 4.2'de Elazığ ilinin 1960-2012 yılları aralığındaki bazı meteorolojik verileri verilmiştir.

Tablo 4.2. Elazığ ili için bazı meteorolojik ortalama değerler [48]

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 (%).

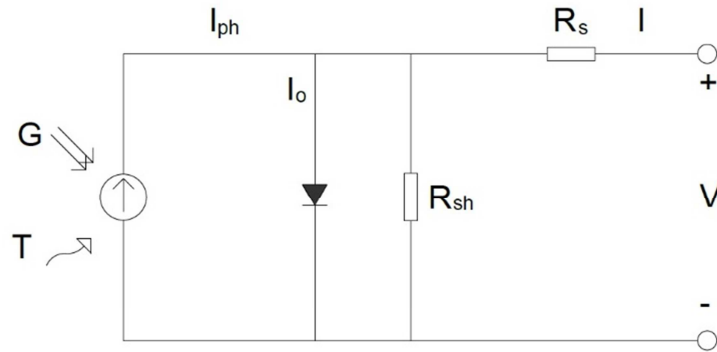
4.4. Güneş Pillerinin Modellenmesi

4.4.1. Modelleme İle İlgili Genel Bilgiler

Sistemin genel performansını analiz etmeden önce PV panelinin performansını analiz etmekte fayda vardır. Bu nedenle, güneş paneli özellikleri bu çalışmada ayrı bir başlık altında değerlendirilmiştir. Bir PV panel jeneratör güneş hücreleri, kavşaklar, koruyucu parça ve ikincil unsurlardan oluşur. Güneş pilleri ince bir silikon devre levha üzerine ya da yarı-iletken tabaka üzerine toplanır, p ve n kavşaklardan oluşur. Karanlıkta bir güneş panelinin I-V özellikleri, bir diyotun eksponansiyel karakteristiklerine benzerdir. Güneş enerjisi (fotonlar), yarı-iletken bant aralığı enerjisinden daha büyük bir enerji miktarı ile güneş hücresine geldiğinde, çarpışma meydana gelir ve daha sonra elektron çifti ortaya çıkar. Bu hareketlilik p ve n eklemlerinin iç elektrik alan etkisi altında ayrı bir alana süpürülür ve ışınlama orantılı bir akım ortaya çıkar. 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 nedenle, bu diyotun özellikleri panel hücresinin açık devre özelliklerini teşkil eder. Bu nedenle, basit bir güneş pili eşdeğer devre diyotlu bir paralel akım kaynağıdır. Akım kaynağından alınan çıkış, panel hücre üzerinde radyasyon ile doğrudan orantılıdır. Güneş pili karanlıkta aktif bir unsur değildir. Bir diyot olarak

gerçekleştirir. Bu akım veya gerilim üretmez. Ancak, harici kaynağına bağlıysa, "diyot akımı" ya da "karanlık akımı" olarak adlandırılan bir akım oluşturur [49-50].

Diyot 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 sürümüdür [51]. Güneş pili hücre devre şeması Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6. 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 dahil 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 $R_s = R_{sh} = 0$ [51].

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

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

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

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

burada;

q: İlk şarj (1.602×10^{-19} C),

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

n: Diyot idealite faktörü, Tablo 4.3’de verildiği gibi PV teknolojisine bağlıdır.

Tablo 4.3. 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.

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

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

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

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

burada;

ref. Test şartlarının standardını veya referansını gösterir ($T_{ref} = 25^0C$, $G_{ref} = 1000 \frac{W}{m^2}$)

K_0 Akımın sıcaklık katsayısı,

I_{sc} kısa devre akımı,

V_{oc} açık devre akımı.

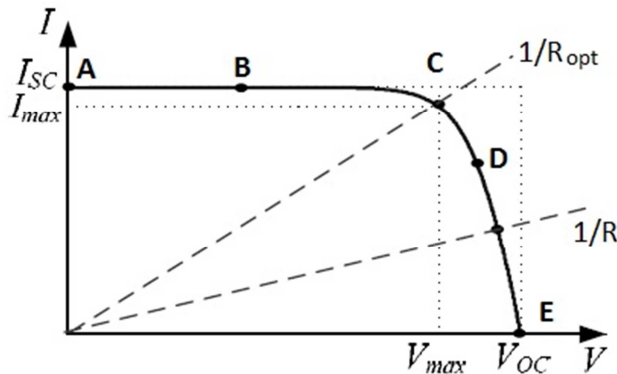
R_s değerleri bilinmeli çünkü I-V karakteristik eğrileri üzerinde önemli bir etkisi vardır.

$$R_s = - \frac{dV}{dI_{V_{oc}}} - \frac{1}{X_v} \quad (4.8)$$

$$X_v = I_0(T_{ref}) \frac{q}{nkT_{ref}} e^{\frac{qV_{OC}(T_{ref})}{nkT_{ref}}} \quad (4.9)$$

Bu denklemlerdeki sabitler, ölçülen veya PV sistem üreticilerinin ürün kataloglarında yayınlanan I-V eğrisi grafikleri analiz edilerek tespit edilebilir.

Belirli bir G ve T değeri için güneş pili hücresinin özel I-V karakteristiği Şekil 4.7’de gösterilmiştir. $I/V=1/R$ eğrisinin içerisindeki lineer çizgi bir dirençlik şarjın karakteristiğidir. Ayrıca bu şarja salınan gücün sadece direnç değerine dayalı olduğu belirtilmelidir [50].



Şekil 4.7. Bir güneş pilinin özel I-V karakteristiği

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.

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

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

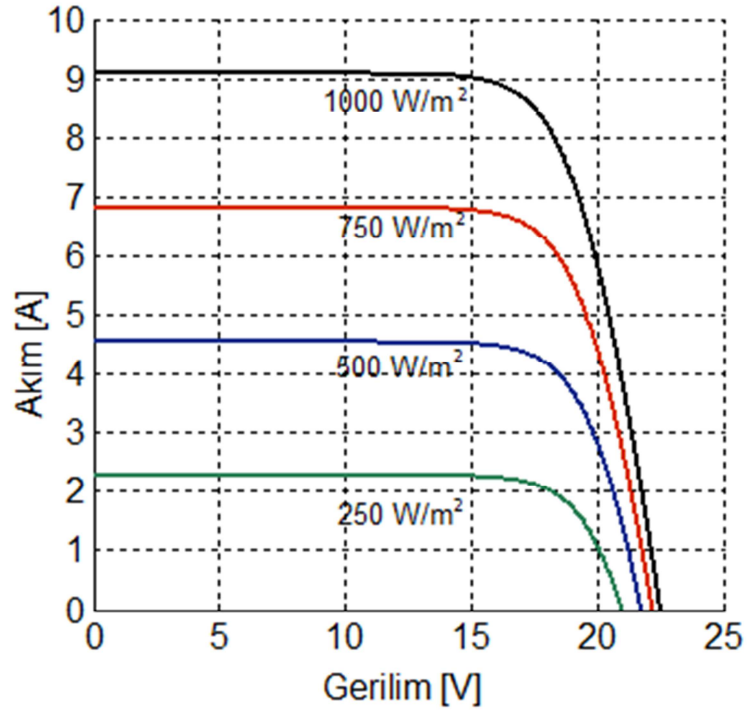
Hem çardak deneyinde hem de balkon deneyinde kullanılan güneş panellerinin modeli Bluesun 150W mono kristaldır (BSM-150). Bu güneş panelinin katalog değerleri Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. BSM-150 güneş pilinin tipik elektriksel özellikleri

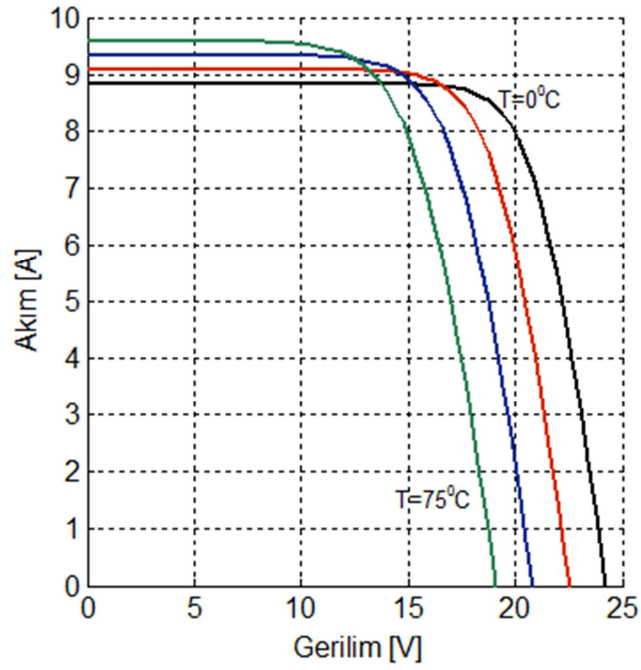
Parametre	Gösterim	Değer	Parametre	Gösterim	Değer
Maksimum güç	P_m	150 W	Hücre boyutu	Mm	156x156
Güç toleransı	%	+5	I_m sıcaklık katsayısı	(%/°C)	+0.1
Mak.-güç gerilimi	$V_m (V)$	18.11	V_m sıcaklık katsayısı	(%/°C)	-0.38
Mak.-güç akımı	$I_m (A)$	8.32	P_m sıcaklık katsayısı	(%/°C)	-0.47
Açık devre gerilimi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

Güneş paneli modeli Matlab yazılım programı kullanılarak hesaplanmıştır. Modelin parametreleri önceki bölümde verilen denklemler kullanarak uygulama sırasında değerlendirilir. Program, gerilim, ışınlam ve sıcaklık değişkenlerini göz önüne alarak 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 ışınlam değerlerine göre Şekil 4.8’de (25 °C için) değişik dış ortam sıcaklıklarına göre ise Şekil 4.9’da ($G=1000 \text{ W/m}^2$ için) gösterilmiştir.

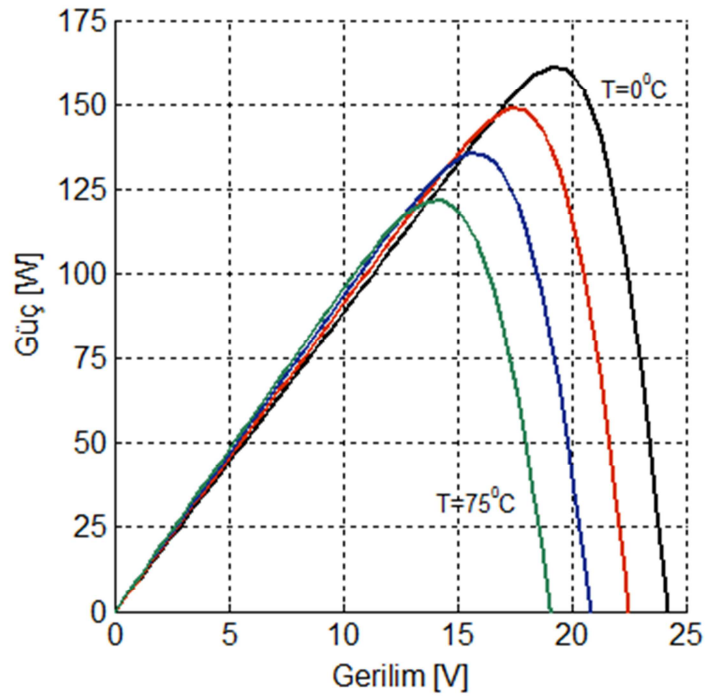


Şekil 4.8. Değişik ışınlam değerlerine göre I-V eğrileri



Şekil 4.9. Değişik sıcaklıklara göre I-V eğrileri (T=0, 25, 50, 75 °C)

Ayrık veri noktalarının sayısı Şekil 4.9'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 farklı dış ortam sıcaklıkları için güç gerilim (P-V) eğrisini ($G=1000 \text{ W/m}^2$ için) gösterir. Üreticiden alınan ayırık veri noktaları eğrilerinin model sonucu elde edilen eğrilerle yine mükemmel uyumlulukta olduğu görülür.



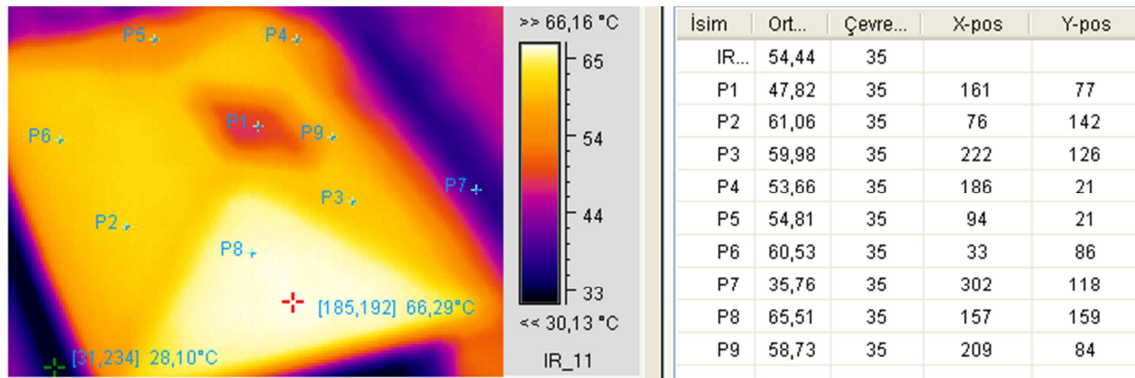
Şekil 4.10. Farklı sıcaklıklar için P-V eğrileri ($T=0, 25, 50, 75 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

Çalışmalarımızda kullanılan BSM-150 güneş pili hücresinin verimi ve dolum faktörü sırasıyla 17.12% ve 73.71 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.4'deki verilere göre).

4.5. Deneysel ve Ekonomik Analiz

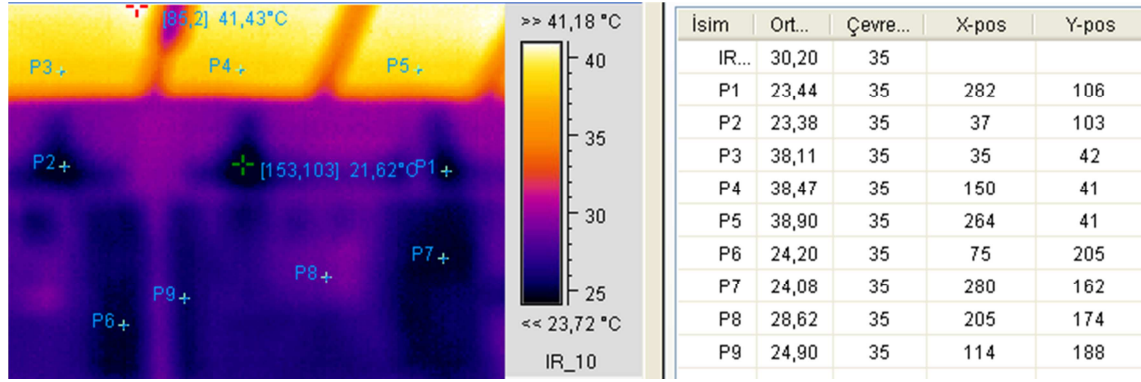
Bir önceki bölümde modellemesini yaparak verim ve dolum faktörü değerlerinin iyi olduğunu gördüğümüz güneş pilleri ile literatürde rastlamadığımız bir şekilde açık ortam serinletmeleri yapılmıştır. İki farklı açık ortamdaki serinletmeler termal kamera ile gözetlenmiş ve yorumlanmıştır.

Şekil 4.11’de çardak üstüne konulan güneş pillerinin durumu ve çardağın üstündeki belli noktalarındaki sıcaklıklar verilmiştir. Maksimum 66.29 °C ve minimum 28.10 °C’lik sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Çevre sıcaklığı 35 °C ve ortamın bağıl nemi % 30’dur. Şekillerde kırmızı + maksimum değeri, yeşil + minimum değeri gösterir.



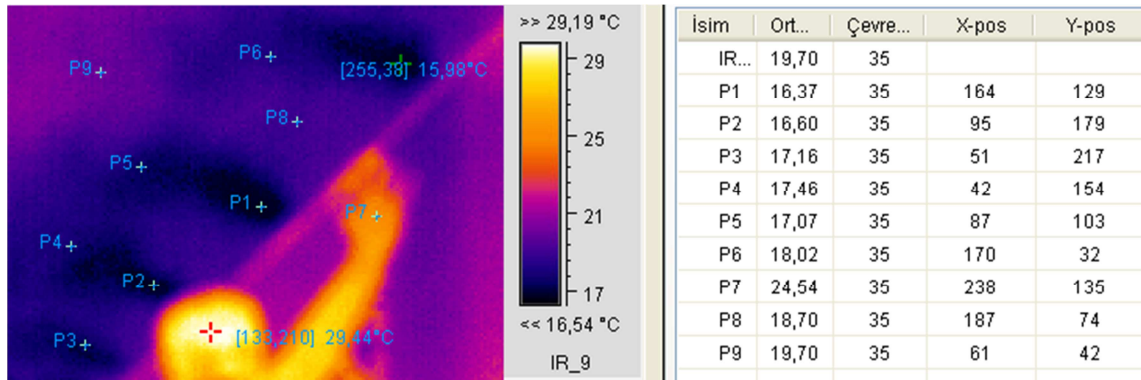
Şekil 4.11. Çardak üst bölgesinin sıcaklık görünümü

Şekil 4.12’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.



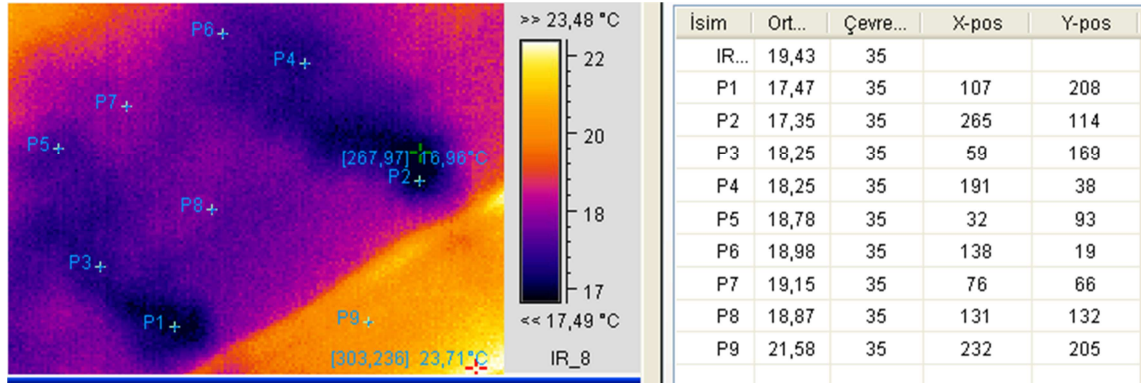
Şekil 4.12. Çardak alt bölgesinin sisleme anındaki görüntüsü

Şekil 4.13’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.



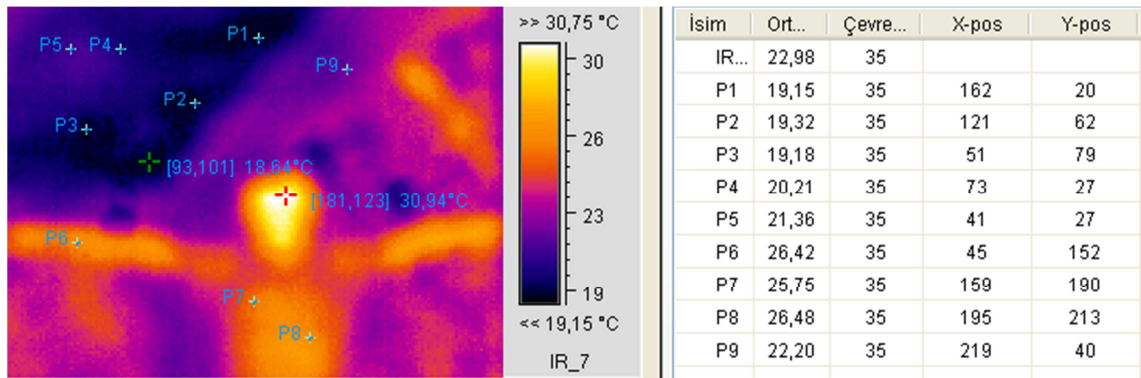
Şekil 4.13. Çardak altında bir kişinin sisleme anındaki görüntüsü

Şekil 4.14’de ikinci açık ortam olan balkondaki sisleme görüntüleri verilmiştir. Balkon alt bölgesinin maksimum, minimum, ortalama ve çevre sıcaklığı ile nozul çıkış sıcaklıkları rasgele seçilen noktalara göre elde edilmiştir.



Şekil 4.14. Balkon alt bölgesinin sisleme anındaki görüntüsü

Şekil 4.15’de balkon alt bölgesinde bir kişi bulunduğu andaki sisleme görüntüleri verilmiştir. Balkon alt bölgesinin maksimum, minimum, ortalama ve çevre sıcaklığı ile nozul çıkış sıcaklıkları rasgele seçilen noktalara göre elde edilmiştir. Çevre sıcaklığının 35 °C olduğu balkon alt bölgesinde bağıl nem değeri % 30’lardan % 45’lere yükseltilmiştir.



Şekil 4.15. Balkonun altında bulunan bir kişinin sisleme anındaki görüntüsü

İlk olarak sisleme sistemi 20 s açık 20 s kapalı konumda çalıştırılmıştır. Ancak sisleme pompasının devreye girdiği andaki demeraj akımı invertre zarar vermiştir. Bu nedenle sistem 50 s çalışıp 20 s bekleme konumunda kalacak şekilde kontrol edilerek çalıştırılmıştır.

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 [52]:

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

burada, T_i çardak veya balkon 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 [52-54]:

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

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

Bu çalışmada, en iyi soğutma veya serinletme 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 veya balkon bölgesi sıcaklığı ve T_o çevre sıcaklığı arasındaki maksimum fark 15.6°C olarak bulunmuştur. Bu fark, tipik sisleme sistemleri için 25°C kadar büyük olan bir değerden daha düşüktür [44].

Enerji verimliliği yatırımlarına yeterli bir ekonomik getiri yeşil bina sektörünün sürdürülebilir gelişimi için çok önemlidir. Sisteminin kurulması için harcanan miktar belli bir miktar için kullandıktan sonra telafi edilecektir. Yatırım parametresi geri dönüş sistemi kullanılan parçaların maliyetine bağlıdır. Bu çalışmada, güneş pili destekli 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 ve balkon alanına yaklaşık olarak eşdeğerdir. Seçilen klima Doğu Anadolu bölgesi katsayısı olan 308 BTU/h.m^2 'e göre alınmıştır. 24 m^2 'lik bir alan için $24 \times 308 = 7392 \text{ BTU/h}$ olarak hesaplanmıştır. Çardağın veya balkonun altında 10 kişi oturacak şekilde hesaplamalar

yapılarak her bir kişi için 600 BTU/h'lık bir değer alınmıştır. Böylece, $10 \times 600 = 6000$ BTU/h olarak kişilerin vereceği yk 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 [55]. Bu klimanın fiyatı yaklaşık olarak 1000 Euro civarındadır ve yaklaşık elektrik fiyatı 0.082 Euro/kW alınmıştır. Klimanın g 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

Literatürde rastlamadığımız bir uygulama olan güneş pili destekli çardak ve balkon serinletme sistemi bu çalışmada incelenmiştir. Yazın güneş enerjisinin bol olduğu ülkemizde insanların serinlemek için sığındıkları çardak ve balkon bölgesi açık gölge ortamlarının serinletilerek insanlara rahat edebilecek bir ortam hazırlanması hedeflenmiştir. Sisleme sisteminin avantajlarına vurgu yapılarak özellikle yazın insanların açık gölge ortamlarda sinek ve sivrisineklerden olan rahatsızlıkları giderilmiştir. Bu çalışmada ortam sıcaklıkları yaklaşık olarak 10-15 °C düşürülmüştür. Bağıl nem değerleri de % 20-25'lerden % 40-50'lere çıkarılmıştır. Çalışmada kullanılan 150 W'lık güneş pillerinin modellenmesi yapılarak I-V, P-V eğrileri gözlenmiştir. Pillerin verimleri ve dolum faktörleri sırasıyla % 17.12 ve 73.71 olarak bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada kurulan sistemin sık kullanılan klima sistemlerine göre çevreci ve ekonomik olduğu da vurgulanmıştır. Yaklaşık 3.7 yıllık bir amorti süresi hesaplanan sistem CO₂ emisyonu bakımından geleneksel sistemlere göre oldukça düşük değerlerdedir.

Bu çalışma ile yenilenebilir enerji kaynağı destekli çalışan sisleme veya serinletme sistemlerinin sorunsuz çalıştığı görülmüş ve bu çalışmanın bundan sonraki çalışmalara da katkı sağlayacağı fikri oluşmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/gunespilleri/giris.html>. 14.07.2014
- [2] <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/veri.html>. 14.07.2014
- [3] <http://www.sunpowerltd.com/pages/tr/activities/solar.asp>. 14.07.2014
- [4] Avrupa Fotovoltaik Endüstrisi Kurumu [EPIA], Solar Generation V-2008, Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2012, internet: http://www.epia.org/fileadmin/EPIA_docs/publications/epia/EPIA__MarketPublication_18feb.pdf 2 008.
- [5] **Pagliaro, M., Palmisano G., and Ciriminna, R.**, 2008, Flexible Solar Cells, ISBN-13: 9783527323753, Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
- [6] **Kalogirou, S.**, 2009, Solar Energy Engineering: Processes and Systems, ISBN-13: 978-0-12-374501-9, Academic Pres.
- [7] **Atik, K., ve Çakır, H.**, 2006. Doğrudan Bağlantılı Fotovoltaik Soğutma Sistemi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **3**, 33-37
- [8] <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/pvilke.html> 14.07.2014
- [9] **S. L. Garrett**, 1992. Thermoacoustic refrigerators, *J. Acoust. Soc. Am.* 91 (1), 517-518.
- [10] **Serin, T.**, 1987. Amorf Silisyum Güneş Pillerinde “Degrading” Olayının İncelenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11] **Kayabaşı, R.**, 2007. Jeotermal Enerji Kullanılarak Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi.
- [12] **Yıldız, Y.**, 2010. Güneş Pili Termoelektrik Modüllü Ev Tipi Soğutucunun İmalatı Ve Performansının Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi.
- [13] **Çelik, A., Demir, A., ve Bozkurt, Y.**, 2010. Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **4**: (2), 43-58.
- [14] **Steinberg, D.S.**, 2004. Cooling Techniques For Electronic Equipment, , Publisher: Wiley Garrett, Resource Letter TA-1: Thermoacoustic engines and refrigerators, *Am. J. Phys.* **72** (1), 11-17.
- [15] **Gopinath A., Tait N. L. and Garrett, S. L.**, 1998. Thermoacoustic streaming in a resonant channel: The time-averaged temperature distribution, *J. Acoust. Soc. Am.* 103 (3), 1388-1405.

- [16] Thermoelectrics: Basic Principles and New Materials Developments, Nolas, Sharp & Goldsmid 2001, Springer-Verlag.
- [17] **Dora M.D., and Balaguer, A.**, 2009. Transformation in the photovoltaics industry in Australia, Germany and Japan: Comparison of factors, knowledge, institutions and markets, *Renewable Energy*, 34, 2, 461-64.
- [18] internet: <http://www.nellis.af.mil> 30.04.2010
- [19] internet: <http://www.eecbg.energy.gov> 30.04.2010
- [20] **Çoban, M.T.**, Soğutma Sistemlerinin Esasları,
http://www.yto.com.tr/turhan_coban/kitap/SO%C4%99UTMA%20S%C4%B0STEMLER%C4%B0N%C4%B0N%20ESASLARI.pdf 30.04.2010
- [21] <http://www.coolbreeze.com.tr/ic.php?uid=2>. 15.05.2014
- [22] <http://www.ekoair.com.tr/>. 15.05.2014
- [23] **El-Dessouky, H., Ettouney, H., and Al-Zeefari, A.** 2004. Performance Analysis of Two-Stage Evaporative Coolers, *Chemical Engineering Journal*, **102**, p.255.
- [24] **El-Refaie, M. F., and Kaseb, S.** 2000. Speculation in the Feasibility of Evaporative Cooling, Building and Environment, **44**, p 826.
- [25] **Akdeniz, H., ve Osman, E.**, 2011. Evaporatif Soğutmanın Çorlu için Kullanılabilirliği, *Mühendis ve Makine*, **52**, 619, 63-70.
- [26] **Çengel, Y.A.** 2011. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik 5.Baskı.
- [27] **Çalışır, T., Alptekin, M., ve Alptekin, M.Z.** Bir direkt evaporatif soğutma sisteminin deneysel, ekonomik ve çevresel incelenmesi, MMO yayınları, <http://termodin.mkm.yildiz.edu.tr/files/Evap.pdf>. 17.07.2014.
- [28] **Bilge, D., ve Bilge, M.**, 1999. İndirek/Direk Evaporatif Soğutma Sistemleri Kombinasyonu, TMMOB MMO IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- [29] **Joudi, K.A., and Mehdi, S.M.**, 2000. Application of Indirect Evaporative Cooling to Variable Domestic Cooling Load, *Energy Conversion & Management*, **41**, p.1931.
- [30] **Al-juwayhel, F., El-Dessouky, H. Ettouney, H., and Al-Qattan, M.**, 2004. Experimental Evaluation of One, Two and Stage Evaporative Cooling Systems, *Heat Transfer Engineering*, **25**, p.72.
- [31] **Heidarinejad, G., Bozorgmehr, M., Delfani, S., and Esmaeelian, J.** 2009. Experimental Investigation of Two-Stage Indirect/Direct Evaporative Cooling System in Various Climatic Conditions, *Building and Environment*, **44**, p.2073.

- [32] **Lazzarin, R. M.** 2007. Introduction of a Simple Dagram-Based Method for Analyzing Evaporative Cooling, *Applied Thermal Engineering*, **27**, 2011-2025.
- [33] **Hara, T., Azuma, H., Shimuzu, H., Obora, H., and Sato, S.**, 1998. Cooling performance of solar cell driven, thermoelectric cooling prototype headgear, *Applied Thermal Engineering*, **18**, 1159-69, 1998.
- [34] **Dai, Y.J., Wang R.Z., and Ni, L.**, 2003. Experimental investigation and analysis on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **77**, 377-391.
- [35] **Royne, A.**, 2005. Cooling of photovoltaic cells under concentrated illumination: a critical review, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **86**, 451-83.
- [36] **Sungur, C.**, 2008. Güneş Pilleri İle Beslenen Termoelektrik Mobil Soğutucunun Tasarımı Ve Analizi, *Journal of Technical-Online*, **7**(1), 1-17.
- [37] **Zhangbo, Ye, Qifen, L., Qunzhi, Z., and Weiguo, P.**, 2009. The cooling technology of solar cells under concenrated system, IPEMC2009, IEEE.
- [38] **Urbiola, E.A.C., Vorobiev, Y.V., and Bulat, L.P.**, 2012. Solar hybrid systems with thermoelectric generators, *Solar Energy*, **86**, 369-78.
- [39] **Wong, N.H., and Chong Adrian, Z.M.**, 2010. Chong, Performance evaluation of misting fans in hot and humid climate, *Building and Environment* **45** (12) 2666-2678.
- [40] **Landsberg J.J., White, B., and Thorpe, M.R.**, 1979. Computer analysis of the efficacy of evaporative cooling for glasshouses in high energy environment. *Journal of Agricultural Engineering Research* **24**:29e39.
- [41] **Katsoulas, N., Baille, A., and Kittas, C.** 2001. Agricultural and Forest Meteorology, **106**, 233–247.
- [42] **Leonid A. Dombrovsky, Vladimir P. Solovjov, and Brent W. Webb**, 2011. Attenuation of solar radiation by a water mist from the ultraviolet to the infrared range, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* **112**, 182–1190.
- [43] **Sethi, V.P., and Sharma, S.K.**, 2007. Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications, *Solar Energy* **81**, 1447–1459.
- [44] **Atieh, A. and Al Shariff, S.**, 2013. Solar energy powering up aerial misting systems for cooling surroundings in Saudi Arabia, *Energy Conversion and Management* **65**, 670–674.

- [45] **Daisuke N., Kentaro, S., and Yoshiyuki, S.**, 2006. Effect of the Evaporative Cooling Techniques by Spraying Mist Water on Reducing Urban Heat Flux and Saving Energy in Apartment House, Osaka City Waterworks Bureau, “Environmental Report”.
- [46] **Takeda, H.**, 2006. Study on How Effective It Is in Reducing Cooling Load in Detached House to Spray Water on Photocatalyst-Based Exterior Materials.” *J. Environ. Eng.*, No.606, pp. 37-42.
- [47] **Tsujimoto, M.**, 2004. Development of Heat Island Control System with Water Mist Sprayer, Building Summaries of Technical Papers of Annual Meeting AIJ., D-1, pp. 805-808.
- [48] Turkish State Meteorological Service, <http://www.mgm.gov.tr/en-US/>
- [49] **Walker, G.**, 2001. Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model, *Journal of Electrical & Electronics Engineering*, Australia, IEAust, **21**, 49-56.
- [50] **Lorenzo, E.**, 1994. Solar Electricity Engineering of Photovoltaic Systems, Artes Graficas Gala, S.L., Spain.
- [51] **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, 1999.
- [52] **Çengel, A., and Boles, M.A.**, 2011. Thermodynamics: An Engineering Approach, Seventh edition, Mc Graw Hill.
- [53] The Engineering Tool Box, http://www.engineeringtoolbox.com/39_442.html. 14.07.2014.
- [54] Glossary of Efficiency Terms, http://www.cwlp.com/Energy_services/Energy_systems_tech/btu
- [55] Calculations about the air conditioning, <http://www.iklimplus.com.tr/klimalar-hakkinda/klima-hesabi.html>

ÖZGEÇMİŞ

Ömer TUNA, 26 Şubat 1979 yılında Muş'ta doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Muş'da tamamladı. 2004 yılında Elazığ Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. 2007 yılında Fırat Üniversitesi Muş Meslek Yüksek Okulu Otomotiv Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. 2011 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. Şu anda Muş Alparslan Üniversitesi Meslek Yüksek Okulunda Öğretim Görevlisi olarak göreve devam etmektedir.