

# Fotovoltaik Paneller Kullanılarak Sisleme Sistemi ile Dış Ortamların Soğutulmasının Araştırılması

Hikmet ESEN\*

Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ  
(Geliş/Received : 14.04.2016 ; Kabul/Accepted : 05.05.2016)

## ÖZ

Bu çalışmada, Elazığ ilinde iki farklı açık ortamın (çardak ve balkon) soğutulması için güneş enerjisi destekli sisleme sistemi kurulmuştur. Bu sistem ile çardak ve balkon bölgesinin sıcaklığı düşürülmüş ve bağıl nemi artırılmıştır. Sağlanan sıcaklık düşümleri termal kamera ile gözlenmiştir. Deneyler sırasında çardak ve balkon bölgesi sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki maksimum fark, yaklaşık olarak 20 °C olarak bulunmuştur. Güneş pillerinin verimleri ve dolum faktörleri sayısal yöntemle sırasıyla % 17.12 ve 73.71 olarak hesaplanmış ve bu değerlerin literatürle uyumlu olduğu ortaya konmuştur. Son derece çevreci olan sisleme sistemin avantajları ve ekonomikliği de çalışmanın sonunda sunulmuştur.

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

## The Investigation of Cooling Outdoor Areas with Misting System by Using Photovoltaic Panels

### ABSTRACT

In this study, two different open areas (arbor and balcony) in Elazığ for solar-assisted cooling with misting system has been established. Here, we present a system that reduces interior temperature of the arbor and balcony while increasing humidity. Provided temperature drops were monitored using a thermal camera. During the experiments the maximum difference between the arbor and the balcony in temperature and ambient temperature was found to be approximately 20 °C. Solar cell of efficiency and fill factor calculated by numerical methods 73.71%, and 17:12, respectively, these values have been demonstrated to be consistent with the literature. Misting system is extremely environmentally friendly, and economical advantages are presented at the end of the study.

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

### 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişen teknoloji ve artan nüfusla birlikte enerji tüketimindeki hızlı artış enerjii 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 bir sektör 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 yenilenebilen (fosil veya konvansiyonel) enerji kaynaklarının gelecek 100 yıl içinde tükeneyeceği öngörülmektedir. Ayrıca konvansiyonel enerji kaynaklarının 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.

Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir.

Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları özellikle en yaygın olan silisyum güneş pille-rinde 0.2-0.4 mm arasındadır. Fotovoltaik (PV) ilkeye dayalı olarak çalışan güneş pillerinin üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Yöreyle bağılı olarak 1m<sup>2</sup>'ye düşen güneş enerjisi miktarı yılda 800-2600 kWh arasında değişir. Bu enerji, güneş pilinin yapısına bağılı 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 [1-4].

Uzun yıllar meteorolojik gözlemler yapılarak Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresinin 2640 saat olduğu (günlük toplam 7.2 saat), maksimum değerinin toplam 362 saat ile Temmuz ayında ve minimum değerinin toplam 98 saat ile Aralık ayında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ancak Türkiye'de bu sahip olunan güneş enerjisi potansiyelinden sadece sıcak su eldesinde etkin bir biçimde faydalanılmaktadır. Türkiye güneş enerjisi-den sıcak su eldesinde dünya genelinde üçüncü sırada yer almaktadır [5].

Son yıllarda güneş pili teknolojisi kullanılarak soğutma sistemleri üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: esenhikmet@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2017.20.2 341-349

Ortam serinletme yöntemlerinden olan sisleme sistemi (misting system) suyu yüksek basınç altında mikron büyüklüğünde zerrelere parçalar ve uygulanan ortamda sis oluşturur. Sisleme olayı doğrudan evaporatif serinletme türü olup literatürde bu konu ile ilgili bazı çalışmalara rastlamak mümkündür. Wong vd. [6] sisleme fanı sistemi ile farklı ısı konfor seviyelerinde bağlı nemin artırılmasını incelemişlerdir. Dombrovsky vd. [7] güneş ışınımının zararlı etkilerinden korunmak için sulu sisleme sisteminin potansiyelini araştırmak ve su damlalarının bir sis tabakası tarafından bulutsuz atmosferden doğrudan ve dağınık güneş ışınımını etkilerini araştırmak için bir yarım küre modelini geliştirmişlerdir. Sethi ve Sharma [8] tarımsal seralarda kullanılan uluslararası soğutma teknolojilerini incelemişlerdir. Havalandırma, gölgeleme/yansıma, evaporative soğutma (fan-ped, sis, ve çatı soğutma) ve kompozit sistemler (toprak-hava ısı değiştirgeci sistemi ve akifer bağlantılı oluk akışı sağlayan ısı değiştirgeci sistemi) bu çalışmada sunulmuştur. Burger [9] çalışmasında güneş pilleri yardımıyla aralıklı nem kontrolü yapmıştır. Atieh ve Al Shariff [10] güneş enerjisi destekli bir serinletme sistemini tanıtmışlardır. Bu sistem, Arabistan'ın Medine şehrinde açık alanların serinletilmesi için kullanılmıştır. Deney yapılan ortam ve yakın çevresi farklı zaman dilimlerinde sislenerek serinletilmiştir. Bu fotovoltaik destekli sisleme sisteminin maliyet olarak geri dönüşüm süresini 2.5 yıl olarak hesaplamışlardır. Eicker vd. [11] Avrupa'nın farklı üç şehrinde değişik iklim koşullarında güneş enerjisi ve fotovoltaik soğutma sistemlerinin ekonomik analizini yapmışlardır. Ban-Weiss vd. [12] bir ofis çatısında kurulu olan fotovoltaik sistemin elektrik üretimini ve soğutmada enerji kazanımlarını incelemişlerdir.

Yapılacak olan bu çalışmada, iki farklı açık alanda (çardak ve balkon) güneş pili panelleri kullanılarak, alanların serinletilmesi amaçlanmıştır. Kullanılan güneş pillerinin modellemesi de yapılarak, iki farklı açık ortam için serinletme etkisi ve sağlanan sıcaklık düşümleri termal kamera ile gözlenmiştir. Son derece çevreci olan bu sistemin avantajları ve ekonomikliği de çalışmanın sonunda sunulmuştur.

## 2. KURULAN SİSTEMLER VE DENEYSEL ÇALIŞMA (SYSTEM ESTABLISHED AND EXPERIMENTAL STUDY)

### 2.1. Sisleme Sistemi ile Serinletme Yöntemi (Misting Cooling System and Method)

Sisleme sisteminin kalbini oluşturan 70 ile 100 bar arası yüksek basınca ulaşabilen pompa, suyu çok daha küçük zerrecikler haline getirir. Bu yöntemle oluşturulan zerrelere 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 zerrelere oluşması aynı miktarda su kullanımıyla daha fazla yüzey alanı sağlar. Bu etki uygulamada daha hızlı

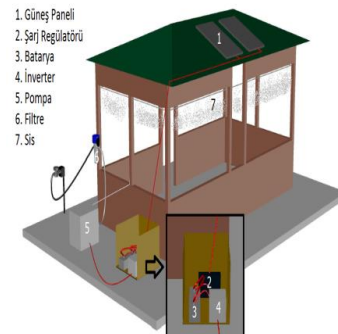
ısı aktarımı, verimli serinletme ve nemlendirme olarak hissedildiği gibi koku giderimi uygulamalarında da yüksek verimlilik sağlar. Hatlı sistem ve fanlı sistem olarak ikiye ayrılan sisleme sistemi sayesinde istenirse ortama dozaj pompası sayesinde parfümlendirme yapılarak istenilen güzel koku sürekli olarak ortama verilebilmektedir. Sistemin çalıştığı ortamlarda sinek, sivrisinek ve kanatlı haşerelerin yaşamadığı ve bu ortamlardan uzak durdukları gözlenmiştir. Stadyum ve seraların serinletilmesinde oldukça kullanışlıdır. Sistem tarafından elde edilen su oldukça hijyeniktir. Çünkü bu su nozullardan geçmeden önce filtrelenir. Saatte ortalama dört ile sekiz litre su tükettiği için de oldukça ekonomiktir.

#### 2.1.1. Çardak bölgesi serinletme (Arbor cooling region)

İlk uygulama olarak 24 m<sup>2</sup>'lik bir çardakta güneş pillerinden elektrik sağlanarak sisleme sistemi çalıştırılmıştır. Şekil 1'de serinletme sisteminin çardakta kurulmuş hali, Şekil 2'de ise çardak bölgesi sisleme sisteminin detayları ve Şekil 3'de ise çardak alt bölgesinin sisleme anındaki görüntüsü verilmiştir. Güneş pilleri DC akım üretirler AC akımla çalışan cihazları çalıştırmak için invertere ihtiyaç vardır. İnverterler DC akımı AC akıma dönüştürürler. Panelden gelen akımı düzenleyerek aküye (batarya) ulaştıran ekipmana şarj regülatörü denir. Akünün tam dolmasını ve aşırı kullanımlarda deşarj (boşalmasını) olmasını engeller. Akü gelen elektrik enerjisini depolamaya yarar.



Şekil 1. Çardak bölgesi sisleme sistemi (In arbor misting system)



Şekil 2. Çardak bölgesi sisleme sisteminin detayları (The details of arbor area misting system)



Şekil 3. Sisleme anında çardak alt bölgesinin görünümü (The view of the lower arbor at the time of mist)

### 2.1.2. Balkon bölgesi sisleme (Balcony area cooling)

İkinci uygulama olarak 20 m<sup>2</sup>'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'de balkon bölgesindeki güneş pili sistemi ile sisleme sistemi ekipmanlarının fotoğrafı ve Şekil 5'de ise balkon alt bölgesinin sisleme anındaki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4. Balkon serinletilmesi sistemi (Balcony misting system)



Şekil 5. Balkon serinletilmesinin görünümü (The view of balcony refreshment)

İki farklı açık alan için de aynı güç ve aynı özellikte sisleme sistemi ve güneş pili kullanılmıştır. Alanlar için kullanılan sisleme sisteminin teknik ve ekonomik özellikleri Şekil 2'de verilen ekipman numaralarına göre Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışmanın yapıldığı Elazığ ilinin iklim özellikleri aşağıda verilmiştir. Deneyler, Elazığ'da dış hava sıcaklığı ve ortalama güneşlenme süresinin yıl boyunca en yüksek olduğu ve bağül nemin en düşük olduğu Temmuz ayında yapılmıştır. Çizelge 2'de Elazığ ilinin 1960-2012 yılları aralığındaki bazı meteorolojik verileri verilmiştir.

### 3. GÜNEŞ PİLLERİNİN MODELLENMESİ (MODELING OF SOLAR CELLS)

#### 3.1. Modelleme İle İlgili Genel Bilgiler (General Information about Modeling)

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.

Çizelge 1. Güneş pilleri destekli sisleme sisteminin ana bileşenleri, özellikleri ve fiyatları (The main components, features and prices of solar cells backed misting system)

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
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), kısaçlar, basınç 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

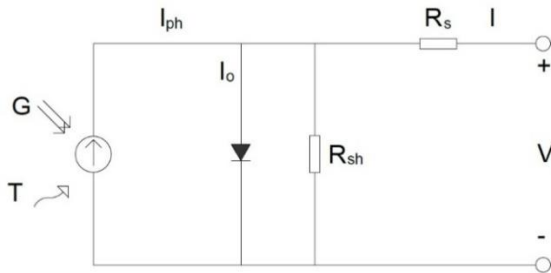
**Çizelge 2.** Elazığ ili için bazı meteorolojik ortalama değerler (The average values of some meteorological for the province of Elazığ) [13].

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 (%).

Bir PV panel jeneratör güneş hücreleri, eklemler, koruyucu parça ve ikincil unsurlardan oluşur. Güneş pilleri ince bir silikon devre levha üzerine ya da yarı-iletken tabaka üzerine toplanır,  $p$  ve  $n$  eklemlerden oluşur. Karanlıkta bir güneş panelinin akım-gerilim (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 ışınım ile 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. Basit bir güneş pili eşdeğer devre diyotlu bir paralel akım kaynağıdır. Akım kaynağından alınan çıkış, panel hücre üzerinde ışınım 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 [14-15].

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 [16]. Güneş pili hücre devre şeması Şekil 6'da gösterilmektedir.

**Şekil 6.** Güneş pili hücresi çevrim şeması (Solar battery cell cycle scheme)

burada;  $I_{ph}$ : ışıl akım,  $I_0$ : diyot doyma akımı,  $R_s$ : seri direnç,  $R_{sh}$ : paralel devre direnci,  $T$ : çevre sıcaklığı,  $G$ : ışınım,  $V$ : çıkış gerilimi değerini gösterir.  $I_0$  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  $R_s = R_{sh} = 0$  [16].

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

$$I_{ph} = I_d + I \quad (1)$$

$$I_d = I_0 \left( e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \right) \quad (2)$$

$$I = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \right) \quad (3)$$

burada;  $q$ : ilk şarj ( $1.602 \times 10^{-19}$  C),  $k$ : Boltzman sabiti ( $1.381 \times 10^{-23}$  J/K),  $n$ : Diyot idealite faktörünü gösterir, bu değer Çizelge 3'de verildiği gibi PV teknolojisine bağlıdır.

**Çizelge 3.** Farklı PV tiplerinin idealite faktörü (Ideality factor of different types of PV)

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 1, 2 ve 3 I-V karakteristik eğrisini çizmek için yeterli değildir:  $I_{ph}$ ,  $V_{oc}$  ve  $I_0$  değerleri modeli tamamlamak için gereklidir.

$$I_{ph} = I_{ph}(T_{ref}) + K_0(T - T_{ref}) \quad (4)$$

$$I_{ph}(T_{ref}) = I_{sc}(T_{ref}) \frac{G}{G_{ref}} \quad (5)$$

$$I_0(T_{ref}) = \frac{I_{SC}(T_{ref})}{\left( \frac{qV_{OC}(T_{ref})}{nkT_{ref}} - 1 \right)} \quad (6)$$

$$I_0 = I_0(T_{ref}) \left( \frac{T}{T_{ref}} \right)^{\frac{3}{n}} e^{\frac{qV_g(T_{ref})}{nk\left(\frac{T}{T_{ref}} - 1\right)}} \quad (7)$$

burada; ref. test şartlarının standardını veya referansını gösterir

$$(T_{ref} = 25^{\circ}C, G_{ref} = 1000 \frac{W}{m^2})$$

grafikleri analiz edilerek tespit edilebilir. Güneş pillerinde maksimum verim, maksimum güç ile anlık ışınım arasındaki orandır.

$$\eta = \frac{P_{max}}{AG} = \frac{I_{max} V_{max}}{AG} \quad (10)$$

burada A, panel hücre alanı, G ise anlık güneş ışınım şiddetidir.

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

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{OC}I_{SC}} = \frac{I_{max} V_{max}}{V_{OC}I_{SC}} \quad (11)$$

**Çizelge 4.** BSM-150 güneş pilinin tipik elektriksel özellikleri (Typical electrical properties of BSM-150 solar cells)

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	°C	48±2
Hücre verimi	$\eta_c (%)$	≥17	Hücre Sıcaklığı		
			Dolun faktörü	%	≥73.3

$K_0$ ; akımın sıcaklık katsayısı,  $I_{sc}$  kısa devre akımı,  $V_{oc}$  açık devre gerilimini gösterir.  $R_s$  değerleri bilinmeli çünkü I-V karakteristik eğrileri üzerinde önemli bir etkisi vardır.

$$R_s = - \frac{dV}{dI_{Voc}} - \frac{1}{X_V} \quad (8)$$

$$X_V = I_0(T_{ref}) \frac{q}{nkT_{ref}} e^{\frac{qV_{OC}(T_{ref})}{nkT_{ref}}} \quad (9)$$

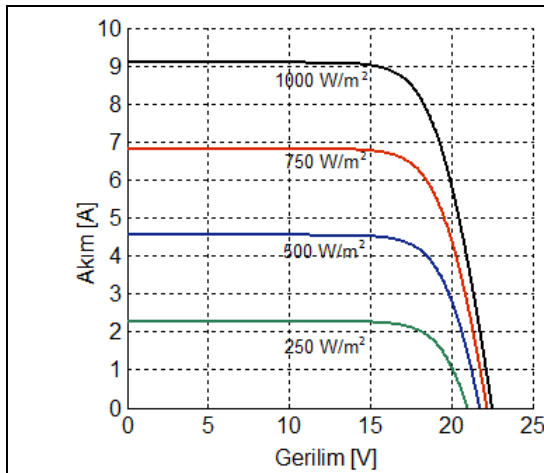
Bu denklemlerdeki sabitler, ölçülen veya PV sistem üreticilerinin ürün kataloglarında yayınlanan I-V eğrisi

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

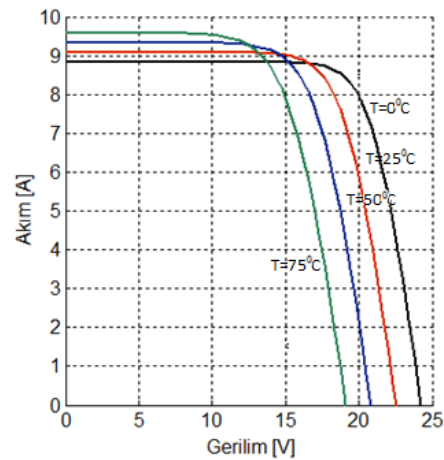
### 3.2. Çalışmada Kullanılan Güneş Panelinin

#### Modellemesi (Modeling of the Solar Panel in this Study)

Hem çardak deneyinde hem de balkon deneyinde kullanılan güneş panellerinin modeli Bluesun 150W mono kristaldir (BSM-150). Bu güneş panelinin katalog değerleri Çizelge 4’de verilmiştir.



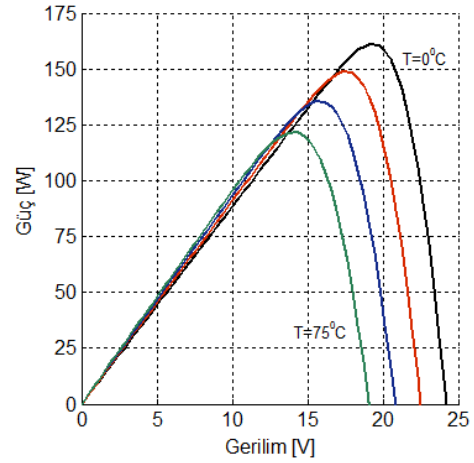
**Şekil 7.** Değişik ışınım değerlerine göre I-V eğrileri (I-V curves according to the different radiation values)



**Şekil 8.** Değişik sıcaklıklara göre I-V eğrileri(I-V curves according to the different temperatures)

Program, gerilim, ışınım 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 3). Newton-Raphson yöntemi bu programda kullanılır çünkü bu yöntem, hem pozitif hem negatif akımların çok daha hızlı hesaplanmasını sağlar. Matlab fonksiyonu çıkışı değişik ışınım değerlerine göre Şekil 7’de (25 °C için) değişik dış ortam sıcaklıklarına göre ise Şekil 8’de ( $G=1000 \text{ W/m}^2$  için) gösterilmiştir.

Ayrık veri noktalarının sayısı Şekil 8’deki eğrilerde gösterilmiştir. Bu üreticinin yayınlanan eğrileri ile doğrudan alınan noktalardır ve model ile mükemmel uyumu vardır. Çalışmamızda kullanılan 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 9 farklı dış ortam sıcaklıkları için güç gerilim (P-V) eğrisini ( $G=1000 \text{ W/m}^2$  için) gösterir. Üreticiden alınan ayrık veri noktaları eğrilerinin model sonucu elde edilen eğrilerle yine mükemmel uyumlulukta olduğu görülür. Çalışmalarımızda kullanılan BSM-150 güneş pili hücresinin verimi ve dolun faktörü sırasıyla 17.12% ve 73.71 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4’deki verilere göre).



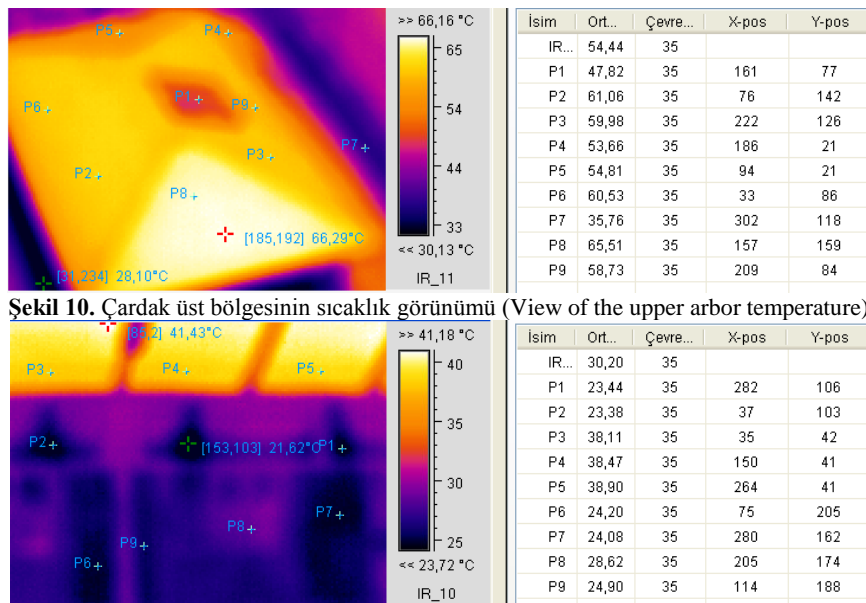
Şekil 9. Farklı sıcaklıklar için P-V eğrileri (P-V curves for different temperatures) (T=0, 25, 50, 75 °C).

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE EKONOMİK ANALİZ (EXPERIMENTAL STUDY AND ECONOMIC ANALYSIS)

Bir önceki bölümde modellemesini yaparak verim ve dolun faktörü değerlerinin iyi olduğunu gördüğümüz güneş pilleri ile rastlamadığımız bir şekilde çardak ve balkon ortamları serinletilmesi yapılmıştır. İki farklı açık ortamdaki serinletmeler termal kamera ile gözlenmiş ve yorumlanmıştır.

Şekil 10’da çardak üstüne konulan güneş pillerinin durumu ve çardağın üstündeki belli noktalardaki sıcaklıklar verilmiştir. Maksimum 66.71 °C ve minimum 28 °C’lik sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Çevre sıcaklığı 35 °C ve ortamın bağıl nemi % 30’dur. Şekillerde kırmızı + maksimum değeri, yeşil + minimum değeri gösterir.

Şekil 11’de çardak alt bölgesinde sisleme anındaki termal kamera görüntüleri verilmiştir. Maksimum 41.43 °C ve



Şekil 10. Çardak üst bölgesinin sıcaklık görünümü (View of the upper arbor temperature)

Şekil 11. Çardak alt bölgesinin sisleme anındaki görüntüsü (The image of the sub-region of arbor at the time of misting)

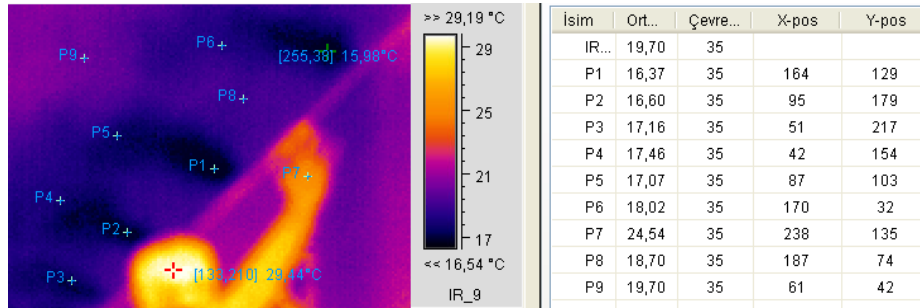
minimum 21.62 °C'lik sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Rastgele seçilen koordinatlardaki sıcaklık değerleri de gözlenmiştir. Şekilde koyu mor renk ile gösterilen yerler sisleme sisteminin nozul çıkışlarıdır. Nozullardan mikron mertebesinde basınçlı filtrelenmiş su atılmaktadır. Çevre sıcaklığının 35 °C'lerden yaklaşık 25 °C'lere indiği durumlarda çardak altı bölgesinde bağıl nem değeri % 30'lardan % 45'lere yükseltilmiştir.

Şekil 12'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.

İlk olarak sisleme sistemi 20 s açık 20 s kapalı konumda çalıştırılmıştır. Ancak sisleme pompasının devreye girdiği andaki demeraj akımı inverttere 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 [17]:

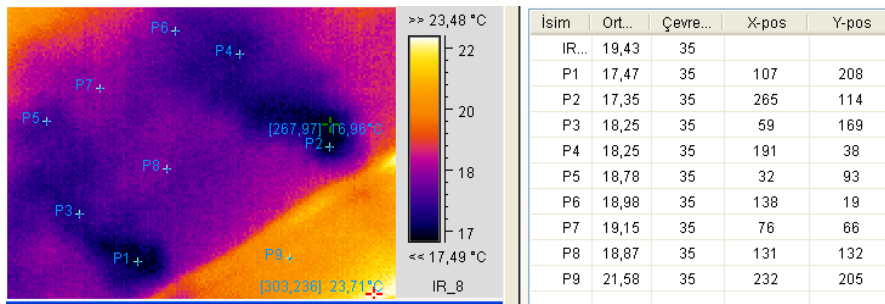
$$COP_{carnot} = \frac{T_i}{T_o - T_i} \quad (12)$$



Şekil 12. Çardak altında bir kişinin sisleme anındaki görüntüsü (The image of a person under the arbor at the time of misting)

Şekil 13'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.

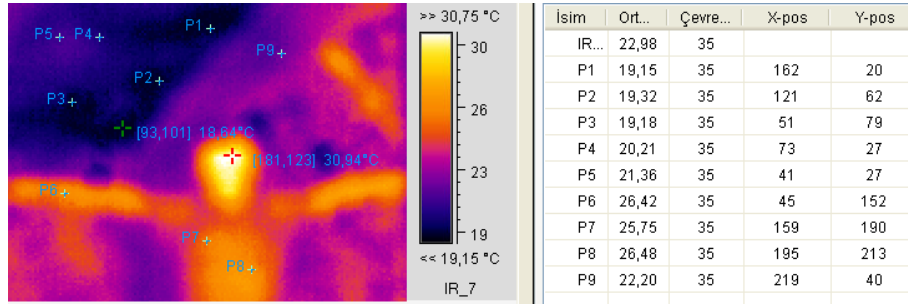
burada,  $T_i$  çardak veya balkon bölgesi sıcaklığı ve  $T_o$  ise çevre sıcaklığını Kelvin cinsinden gösterir. Konut ve küçük ticari binalarda kullanılan soğutma ekipmanları sistemleri genellikle EVO ve/veya Mevsimsel Enerji Verimlilik Oranı (MEVO) açısından sistem soğutma verimliliğini ifade eder [17-19]:  $EVO=3.412COP$ ,



Şekil 13. Balkon alt bölgesinin sisleme anındaki görüntüsü (The image of the sub-region of balcony at the time of misting)

Şekil 14'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.

burada EVO'nun birimi  $BtuW^{-1}h^{-1}$ 'dir. Bu çalışmada, soğutma veya serinletme anında sırasıyla ortalama  $COP_{carnot}$  ve EVO değerleri 2.5 ve 8.53 olarak hesaplanmıştır. Yaz döneminde sınırlı deneyler yapıldığı için bu çalışmada MEVO değerini rapor etmek mümkün değildir. Deneyler sırasında  $T_i$  çardak/balkon bölgesi sıcaklığı ve  $T_o$  çevre sıcaklığı arasındaki maksimum fark yaklaşık olarak 20 °C bulunmuştur. Bu fark, tipik sisleme



Şekil 14. Balkonun altında bulunan bir kişinin sisleme anındaki görüntüsü (The image of a person under the balcony at the time of misting)

sistemleri için 25 °C kadar büyük olan bir değerden daha düşüktür [10].

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 4m X 6m 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'e göre alınmıştır. 24 m<sup>2</sup>'lik bir alan için 24x308 = 7392 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, 10x600=6000 BTU/h olarak kişilerin vereceği yük hesaba katılmıştır. Deneyler gündüz yapıldığı için aydınlatma etkisi ihmal edilmiştir. Toplam gerekli soğutma yükü 13392 BTU/h olarak hesaplanmıştır. Bu değere yakın soğutma yükü 17400 BTU/h olan Mitsubishi SRK56 modeli bir klima için tüketim değerlerine bakılmıştır [20]. Bu klimanın fiyatı yaklaşık olarak 1000 Euro civarındadır ve yaklaşık elektrik fiyatı 0.082 Euro/kW alınmıştır. Klimanın güç tüketimi yaklaşık 5.09 kW (17400 BTU/h) ve klimanın günde 8 saat, yılda 4 ay çalıştığı varsayımı ile karşılaştırma yapılmıştır. Sisleme sisteminin ilk yatırım maliyeti Çizelge 1'de de gösterildiği gibi 2480 Euro'dur. Bu verilere göre sistem kendini 3.7 yılda amorti edecektir.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Deneysel 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. 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 dolun faktörleri sırasıyla % 17.12 ve 73.71 olarak bulunmuş ve bu değerlerin literatürde iyi sayılabilecek güneş pilleri arasında olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca bu çalışmada kurulan sistemin sık kullanılan klima sistemlerine göre çevreci ve ekonomik olduğu da vurgulanmıştır. Bu çalışma ile güneş pili destekli çalışan sisleme veya serinletme sistemlerinin sorunsuz çalıştığı görülmüş ve bu çalışmanın bundan sonraki çalışmalara da katkı sağlayacağı fikri oluşmuştur.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmanın yapılmasında, proje kapsamında Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Biriminden destek alınmıştır. TEKF 2012/12.04 ve TEKF 2012/12.05 nolu projeler ile desteğini esirgemeyen Fırat Üniversitesi yönetimine teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Karamanav M., "Güneş enerjisi ve güneş pilleri", *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 8, (2007).
2. Preuss P., "An unexpected discovery could yield a full spectrum solar cell", Berkeley Lab., *Research News*, November 18, (2002).
3. Atwater H., Polman A., Kosten E., Callahan D., Spinelli P., Eisler C., Escarra M., Warmann E., and Flowers C., "Nanophotonic design principles for ultrahigh efficiency photovoltaics", *AIP Conference Proceedings*, 17: 1519, (2013).
4. Polman A., and Atwater A., "Photonic design principles for ultrahigh-efficiency photovoltaics" *Nature Materials*, 11: (2012).
5. Şenol R., "Tarımsal sulama ve güneş enerjisi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(3): 519-526, (2012).
6. Wong N.H., Chong A. and Adrian Z.M. "Performance evaluation of misting fans in hot and humid climate", *Building and Environment*, 45(12): 2666-2678, (2010).
7. Dombrovsky L.A., Solovjov V.P. and Webb B.W., "Attenuation of solar radiation by a water mist from the ultraviolet to the infrared range", *Journal of Quantitative*



- Spectroscopy&Radiative Transfer*, 112: 1182-1190, (2011).
8. Sethi V.P. and Sharma S.K., "Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications", *Solar Energy*, 81: 1447-1459, (2007).
  9. Burger D.W., "Intermittent mist control via solar cells", Technology and Product Reports, *Hort Technology*, July/September 273-274, (1994).
  10. Atieh A. and Al Shariff S., "Solar energy powering up aerial misting system for cooling surroundings in Saudi Arabia", *Energy Conversion and Management*, 65: 670-674, (2013).
  11. Eicker U., Colmenar-Santos A., Teran L., Cotrado M. and Borge-Diez, D., "Economic evaluation of solar thermal and photovoltaic cooling systems through simulation in different climatic conditions: an analysis in three different cities in Europe", *Energy and Buildings*, 70: 207-223, (2014).
  12. Ban-Weiss G., Wray C., Delp W., Ly P., Akbari H. and Levinson R., "Electricity production and cooling energy savings from installation of a building-integrated photovoltaic roof on an office building", *Energy and Buildings*, 56: 210-220, (2013).
  13. Turkish State Meteorological Service, <http://www.mgm.gov.tr/en-US/>
  14. Walker G., "Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model", *Journal of Electrical & Electronics Engineering*, Australia, 21: 49-56, (2001).
  15. Lorenzo E., "Solar Electricity Engineering of Photovoltaic Systems", *Artes Graficas Gala, S.L.*, Spain, (1994).
  16. Gow J.A. and Manning C.D., "Development of a photovoltaic array model for use in power electronics simulation studies", *IEE Proceedings on Electric Power Applications*, 146: 193-200, (1999).
  17. Çengel A. and Boles M.A. "Thermodynamics: An Engineering Approach", Seventh edition, *Mc Graw Hill*, (2011).
  18. The Engineering Tool Box, [http://www.engineeringtoolbox.com/39\\_442.html](http://www.engineeringtoolbox.com/39_442.html)
  19. Glossary of Efficiency Terms, [http://www.cwlp.com/Energy\\_services/Energy\\_systems\\_t ech/btu](http://www.cwlp.com/Energy_services/Energy_systems_t ech/btu)
  20. Calculations about the air conditioning, <http://www.iklimplus.com.tr/klimalar-hakkinda/klima-hesabi.html>