





# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Çalışma Ofislerinin Enerji İhtiyacının Güneş Pilleri Kullanılarak Karşılanması

 Melike YALILI KILIÇ<sup>a,\*</sup>,  Sümeyye ADALI<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: myalili@uludag.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.952679

### Öz

Ülkelerin enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rol oynayan fosil tabanlı yakıtların dünya üzerindeki rezervlerinin azalmasına bağlı olarak bu yakıtlara alternatif olacak enerji kaynaklarının kullanımı gündeme gelmiştir. Günümüzde tükenmeyen ve kaynak sürdürülebilirliği açısından büyük avantajları bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji eldesi önem kazanmaktadır. Dünya genelinde güneş enerjisinden elektrik enerjisi eldesi amacıyla tasarlanan güneş pili teknolojileri önemli bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu çalışmada, Bursa ilinde yer alan bir çalışma ofisinin elektrik ihtiyacının güneş pilleri ile karşılanmasını sağlamak amacıyla güneş pili sistemi tasarımı ve maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan maliyet analizi sonucunda enerji sisteminin yıllık serbest sermaye veya yatırım giderleri 1953,14 TL (225 \$), yıllık toplam enerji gideri ise 2853,14 TL (328,7 \$); sistemin üreteceği bir yıllık elektrik miktarı 197978 Wsa, enerji birim fiyatı ise 0,0144 TL/Wsa (0,00166 \$/Wsa) olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir enerji, Güneş pilleri, Elektrik üretimi, Ofis.

## Supply the Energy Need of Work Offices Using Solar Cells

### ABSTRACT

Due to the decrease in the world's reserves of fossil-based fuels, which play an important role in meeting the energy needs of countries, the use of alternative energy sources to these fuels has come to the fore. Today, it is important to obtain energy from renewable energy sources, which are inexhaustible and have great advantages in terms of resource sustainability. Solar cell technologies, designed for the purpose of obtaining electrical energy from solar energy, find an important area of use throughout the world. In this study, solar cell system design and cost analysis were carried out in order to meet the electricity need of a work office in Bursa with solar cells. As a result of the cost analysis, the annual free capital investment expenses of the energy system are 1953.14 TL (\$225), and the annual total energy expenditure is 2853.14 TL (\$328.7); the annual electricity amount to be produced by the system is calculated as 197978 Wh, and the energy unit price is calculated as 0.0144 TL/Wh (0.00166 \$/Wh).

**Keywords:** Renewable energy, Solar cells, Electricity generation, Office.

# I. GİRİŞ

Sanayi devrimiyle birlikte başlayan makineleşme süreci ekonomik büyümede enerjinin ana girdi olmasına neden olmuştur. Günümüze kadar geçen sürede teknolojik gelişmeler ve artan nüfusun ihtiyaçlarının karşılanması için enerji eldesinde yoğun olarak fosil yakıt kullanımı, doğal kaynakların azalmasına, insan ve çevre sağlığının bozulmasına yol açmış; bu durum ekonomik büyümenin çevreyle uyumlu olarak sağlanması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Dünya ekonomisinin 2050 yılı tahminlerine göre günümüzden 4 kat daha büyüyeceği ve %80 daha fazla enerji ve doğal kaynağa ihtiyaç göstereceği düşünüldüğünde, ülkelerin artan enerji ihtiyaçlarını karşılama noktasında yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum ölçüde yararlanılması önem arz etmektedir. Ülkeler bu doğrultuda çevreyle uyumlu olarak sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması amacıyla enerji üretiminde karbon kaynaklı yakıtlar yerine, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya yönelmeye başlamıştır [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma konusunda uzun yıllardan beri süregelen çalışmalar yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişimine imkan sağlamış olup, günümüzde bu kaynakların kullanımı dünya genelinde giderek yaygınlaşmaktadır. Bu kaynaklar arasında özellikle güneş enerjisi temiz, düşük maliyetli ve yaydığı enerji miktarının bol olması, tarımdan hizmet sektörüne kadar çok geniş bir alanda yararlanma olanağının bulunması nedeniyle en çok yatırım yapılan yenilenebilir enerji türü olarak öne çıkmaktadır [2]. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı IRENA'nın 2018 yılında yayımlanan raporuna göre, güneş enerjisinden sağlanan elektriğin günümüzde küresel elektrik üretiminin %2'sini oluşturduğu, 2030'a kadar bu payın %13 seviyesine çıkabileceği öngörülmektedir [3]. Ülkemizde 2020 yılına gelindiğinde toplam elektrik kurulu gücü 95890,6 MW değerine ulaşmış olup, bu kurulu gücün 6667,4 MW'lık kısmı güneş enerjisinden oluşmaktadır [4].

Günümüzde güneş enerjisinden çok farklı şekillerde ve alanlarda yararlanılmasıyla beraber elektrik enerjisi üretiminde genel olarak iki farklı teknoloji kullanılmaktadır. Bunlardan ilki güneş pilleri, diğeri ise ısıl güneş teknolojileridir. Isıl güneş teknolojilerinde elde edilen ısı direkt kullanılabilirdiği gibi elektrik eldesinde de kullanılabilir [5].

Almanya'da yer alan Solar-Fabrik binası toplam 475 m<sup>2</sup> fotovoltaiik alanı ile yılda 40 MWsa elektrik üretebilecek kapasitede olup, 50000 kWsa ile binanın yıllık enerji ihtiyacının yaklaşık %25'ini karşılamaktadır. Fransa'da yer alan Total Energie fabrika ve ofis binalarında kullanılan fotovoltaiik paneller aracılığıyla binaların enerji ihtiyacının %20'sinin karşılandığı belirtilmektedir. Panellerin çatı yerleşiminin dışında binanın güney cephesinde de yer alarak gölgeleme elemanı olarak kullanıldığı bildirilmektedir [6].

Literatür incelendiğinde elektrik ihtiyacının güneş pilleri kullanılarak sağlandığı çeşitli çalışmaların olduğu görülmektedir. Mersin İli'nde yapılan bir çalışmada ofis amaçlı kullanılan şantiye konteynerlerinin elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla güneş pili sistemi tasarlanarak sistemin maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Sistemin kurulum bedeli 17922,52 TL, enerji bedeli ise 0,01384 TL/Wsa olarak belirlenmiştir [7]. Arı ve ark., [8] tarafından yapılan çalışmada, güneş pili ile üretilen elektrik ve termoelektrik eleman olan Peltier kullanılarak soğutucu ve ısıtıcı kapları bulunan taşınabilir piknik sepeti tasarlanmış, sıcak taraftaki dijital termometrenin 60,8 °C, soğuk taraftaki dijital termometrenin ise 3,4 °C değerine ulaştığı gözlenmiştir. Burdur'da dört kişilik bir ailenin elektrik ihtiyacının güneş pilleri ile karşılanması amacıyla gerçekleştirilen çalışmada, kurulacak sistemin maliyeti 11136 TL olarak hesaplanmış ve bu değer kendisini 11 yılda amorti edebileceği belirlenmiştir [9]. Bursa'da tarım arazilerine veya tarım işletmelerine kurulacak olan 23 kW'lık bir fotovoltaiik güneş enerji tesisinin elektrik enerjisi üretimi teknik ve ekonomik analizinin yapıldığı çalışmada, tesiste monokristal panellerden elde edilen yıllık enerji üretiminin 28081 kWsa/yıl ile 32239 kWsa/yıl arasında; polikristal panellerden elde edilen yıllık enerji üretiminin ise 26209 kWsa/yıl ile 31886 kWsa/yıl arasında olduğu belirlenmiştir. Tesisin amortisman süresinin monokristal paneller için 1,5 ile 15,4 yıl; polikristal paneller için ise 1,5 ile 15,8 yıl aralığında olduğu belirlenmiştir [10].

Bu çalışmada, Bursa ili Nilüfer ilçesi Özlüce Mahallesinde mühendislik hizmeti sağlayan 60 m<sup>2</sup> kullanım alanına sahip tek katlı olarak tasarlanan bir ofisin elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla güneş pilleri kullanılarak oluşturulan yenilenebilir enerji sisteminin teknik ve maliyet yönünden uygulanabilirliği araştırılmıştır.

## **II. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ**

Güneş enerji santralleri kurulumu tüm dünyada önemli bir yatırım alanı olmaya devam etmektedir. Ülkelerin 2020 yılı güneş enerjisi kurulu güçleri karşılaştırıldığında, en büyük payın 254355 MW'la Çin'e ait olduğu, bunu sırasıyla ABD (75572 MW), Japonya (67000 MW) ve Almanya'nın (53783 MW) izlediği görülmektedir [11]. Ülkemizde ise 2020 yılı kurulu güç miktarı 6667,4 MW olarak gerçekleşmiştir.

Türkiye'nin sahip olduğu güneş potansiyeli İspanya dışındaki diğer Avrupa ülkelerinden yüksek değerde olmasına rağmen, ülkemizde güneş enerjisi potansiyelinden büyük ölçekte yararlanılamamaktadır. Bununla birlikte ülke genelinde devam eden yenilenebilir enerji yatırımlarıyla güneşten elde edilen enerji miktarının büyük oranda artacağı öngörülmektedir. Tablo 1'de dünya üzerinde belirli bölgelere ait güneş ışınım değerleri yer almaktadır.

*Tablo 1. Dünya üzerinde belirli bölgelere ait güneş ışınım değerleri [12]*

<b>Bölge</b>	<b>Işınım Değerleri</b> ( <i>kWsa/m<sup>2</sup></i> )
Kuzey Avrupa	800
Orta Avrupa	1000
Akdeniz Bölgesi	1700
Ekvator	2200

Ülkemiz bulunduğu coğrafi konum nedeniyle güneşten enerji eldesinde önemli bir potansiyel barındırmaktadır. Bölgesel karşılaştırma yapıldığında Güneydoğu Anadolu Bölgesi en yüksek ışınım değerine, Karadeniz Bölgesi en düşük ışınım değerine sahiptir. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasına (GEPA) göre, ülkemizin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741,07 sa/yıl; ortalama yıllık toplam ışınım şiddeti 1527,46 kWsa/m<sup>2</sup>-yıl olarak gerçekleşmektedir [5]. Tablo 2'de bölgelere göre güneş ışınım değerleri yer almaktadır.

*Tablo 2. Ülkemizde bölgelere göre güneş ışınım değerleri [13]*

<b>Bölgeler</b>	<b>Güneş Enerjisi Işınımı</b> ( <i>kWsa/m<sup>2</sup> -yıl</i> )	<b>Güneşlenme Süresi</b> ( <i>sa/yıl</i> )
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Ülkemizin fotovoltaik sistem yatırımlarına uygunluğunu belirlemek amacıyla her bölgeden örnek olarak seçilen Adıyaman, Antalya, Çanakkale, İzmir, Trabzon ve Van illeri için yapılan analizler sonucunda, Antalya'ya yapılan fotovoltaik santral yatırımının diğer illerle karşılaştırıldığında en düşük indirgenmiş enerji maliyeti değerine (87,81 \$/MWsa) ve en yüksek iç karlılık oranı değerine (% 20,47) sahip olduğu, yatırımın kendisini 5 yıl 7 ayda amorti ettiği belirtilmektedir. Duyarlılık analizine göre, Antalya'dan

sonra fotovoltaik santral yatırımın en kârlı olduğu illerin sırasıyla İzmir, Adıyaman, Van ve Çanakkale olduğu bildirilmektedir [14].

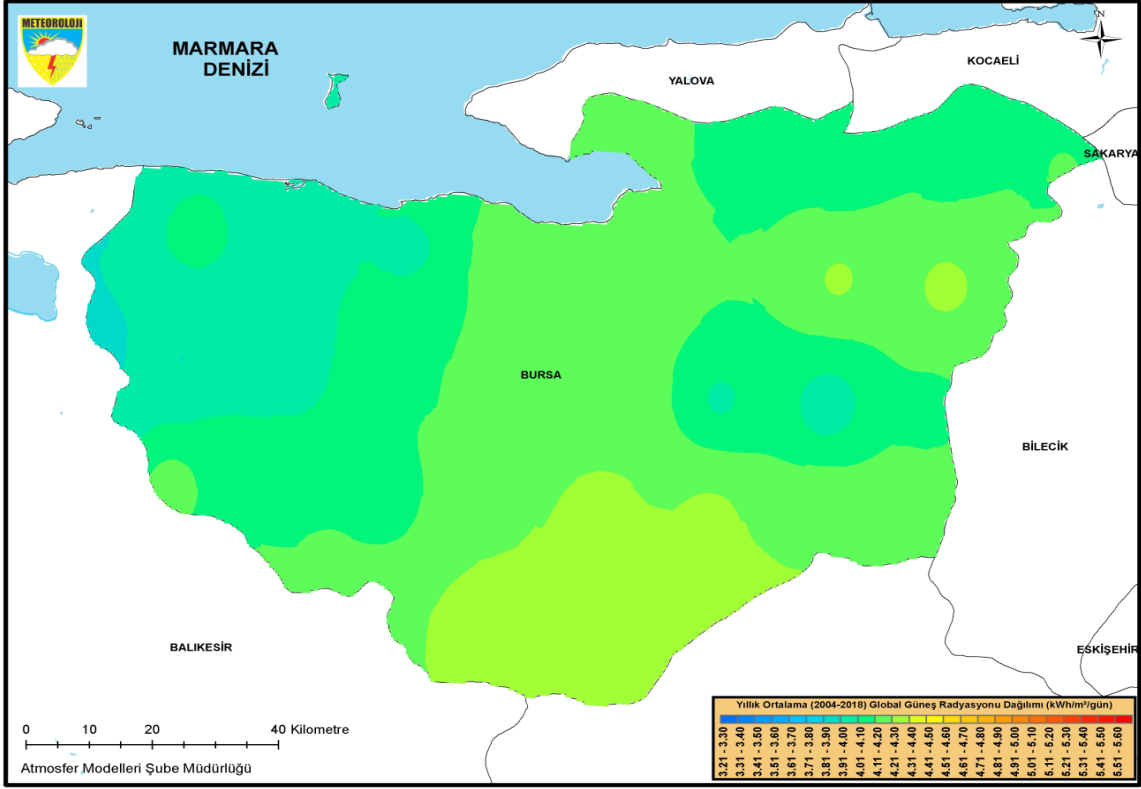
Bursa ilinde mevcut olan yüksek güneş enerjisi potansiyeli, ildeki güneş enerji yatırımlarının artışına yol açmıştır. Kentteki 30 adet hafif raylı sistem istasyon çatısına enerji ihtiyacının karşılanması için uzaktan takip imkanı bulunan güneş panellerinin kurulumuyla yılda yaklaşık 2500000 kWsa enerji üretilmesi planlanmaktadır. Bu sayede 10 yıllık süreç içerisinde 17000000 TL kazanç sağlanacağı öngörülmektedir [15]. Bursa Büyükşehir Belediyesi'nin Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu ile imzaladığı iş protokolüyle toplamda minimum 2,250 MW kapasiteli güneş enerjisi yatırımı yapılması planlanmaktadır. İki yıl içerisinde tamamlanması öngörülen yatırımlar kapsamında yılda 6500000 kWsa elektrik üretilmesinin planlandığı ve yılda yaklaşık 5250000 TL tasarruf sağlanacağı bildirilmektedir. Ayrıca Bursa'da yer alan Muradiye Su Fabrikası'nın çatısına kurulacak 2,4 MW'lık güneş panelleriyle fabrikanın enerji ihtiyacının tamamının karşılanması planlanmaktadır [16]. Tablo 3'te Bursa'da çeşitli işletmelerdeki güneş enerji santralleri yer almaktadır.

*Tablo 3. Bursa'da çeşitli işletmelerdeki güneş enerji santralleri [17]*

<b>Santral Adı</b>	<b>İlçe</b>	<b>Güç (MW)</b>
Soğuksu Güneş Enerji Santrali		7,00
Olca Salça Bursa Güneş Enerjisi Santrali	Karacabey	1,00
Beybi Plastik Bursa Güneş Enerjisi Santrali	Kestel	0,85
Özlüce Atıksu Arıtma Güneş Santrali	Nilüfer	0,22
Hibrid Otomotiv Güneş Enerjisi Santrali		0,18
Gürsu Belediyesi Güneş Enerji Santrali	Gürsu	0,093
İnegöl Mediha-Hayri Çelik Fen Lisesi Güneş Enerjisi Tesisi	İnegöl	0,023
Bursa'daki diğer lisanssız güneş enerjisi santralleri		53

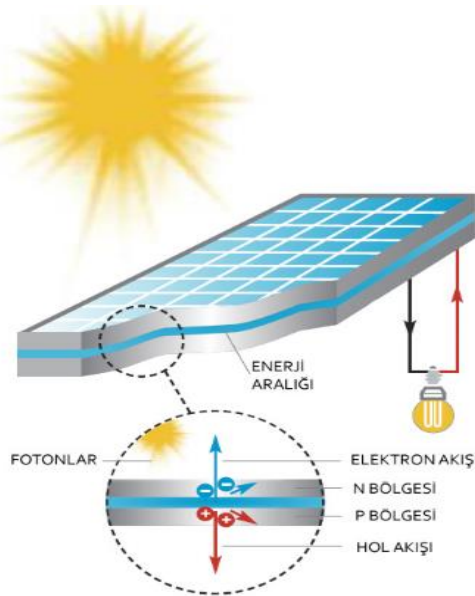
### **III. MATERYAL VE METOT**

Bursa ili 40° boylam ve 28 – 30° enlem daireleri arasında ülkenin en gelişmiş bölgesi konumundaki Marmara Bölgesi'nde yer almaktadır. Toplam 11027 km<sup>2</sup>'lik alana sahip olan ilin 17 ilçesi, 230 beldesi ve 659 köy yerleşimi bulunmaktadır. Kuzeyde Marmara Denizi'yle 135 kilometrelik bir kıyı şeridi bulunmaktadır. Toplam alanın %17'sini ovalar, yaklaşık %35'ini dağlar kaplamaktadır. Kuzeyde Marmara Denizi'nin yumuşak ve ılık iklimi yaşanırken güneyde Uludağ'ın sert iklimi etkili olmaktadır. İlde yaşanan en sıcak aylar temmuz ve eylül olurken, en soğuk aylar ise şubat ve mart olmaktadır [18]. İlin 2020 yılı nüfusu 3101833'tür [19]. Şekil 1'de Bursa ili güneş radyasyon dağılımı haritası yer almaktadır.



Şekil 1. Bursa ili güneş radyasyon dağılımı haritası [20]

Güneş enerjisinden elektrik üretimi için yoğun olarak kullanılan yarı iletken maddeler olan güneş pilleri fotovoltaik ilkeye göre çalışmakta olup, üzerlerine düşen ışık, uçlarında potansiyel fark oluşturarak güneş ışığının doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesine olanak sağlamaktadır [21]. Tipik bir güneş pili, iki ya da daha fazla ince yarı iletken katmandan meydana gelir. Yarı iletken olarak genellikle silikon tercih edilmektedir. Enerji eldesini arttırmak için birden fazla güneş pilinin bir araya getirilmesi ile güneş panelleri, panellerin birlikte kullanımı ve diğer bileşenlerin eklenmesi ile de güneş paneli sistemleri meydana gelmektedir [22,23]. Güneş pillerinde üretilen gerilim şiddeti yarı iletken malzemeye bağlıken, akım şiddeti gelen ışık şiddetine bağlıdır [8]. Şekil 2’de güneş pillerinden elektrik üretim modeli yer almaktadır.



Şekil 2. Güneş pillerinden elektrik üretim modeli [24]

Çalışma kapsamında enerji ihtiyacı karşılanacak ofiste bulunan elektrikli cihazların harcadığı enerji değerlerine göre tasarlanan sisteme ait sayısal hesaplamalarda kullanılan denklemler Eş. 1-16'da verilmiştir.

$$\text{Cihazın harcadığı Enerji (W)} = 1 \text{ saatte harcanan enerji (w)} * \text{Çalışma süresi} \quad (1)$$

$$\text{Güneş paneli alanı (GPA)} = \text{Panel eni} * \text{Panel boyu} \quad (2)$$

$$\text{Güneş Paneli Verimi}(\eta_p) = \frac{P_{\max}}{GPA \times H} * 100 \quad (3)$$

Denklemdaki parametreler;

Panel maksimum gücü ( $P_{\max}$ ),  
Işınım değeri (H),  
Güneş paneli alanı (GPA) değerleridir.  
Panel maksimum gücü;

$$P_{\max} = I_{\max} * V_{\max} \quad (4)$$

Formülde H (ışınım değeri) en düşük değer olan aralık ayı değeri alınmıştır.

Güneş panelinin (GP) verimi hesaplandıktan sonra ise sistem verimi hesaplanmaktadır.

$$\eta_{\text{sistem}} = \eta_{\text{GP}} \times \eta_{\text{akü}} \times \eta_{\text{inverter}} \quad (5)$$

Formülde  $\eta_{\text{GP}}$ ,  $\eta_{\text{akü}}$  ve  $\eta_{\text{inverter}}$  değerleri sırasıyla GP, akü ve invertere ait verimlerdir ve bu değerlerin çarpımıyla sistem verimi hesaplanmaktadır. Değerler yüzdeler olarak alınıp hesaplanmıştır.

Sistem verimi hesaplandıktan sonra panel sayısı belirlenir.

$$\text{Panel sayısı} = \frac{\text{Günlük Enerji İhtiyacı} \times \eta_{\text{sis}}}{P_{\max} \times \text{Günlük Güneşlenme Süresi}} * 100 \quad (6)$$

Sistem için gereken akü sayısı (AS);

$$AS = \frac{\text{Günlük Enerji İhtiyacı} \times \text{Akü kayıpları}}{\text{Akü gerilimi} \times \text{Akü kapasitesi}} \quad (7)$$

Akü sayısı hesaplandıktan sonra inverter (çevirici) kapasitesi hesaplanır. Kapasite hesabı sırasında çevirici kayıpları %10 olarak sisteme dahil edilir. Çevirici (İnverter) kapasitesi (ÇK);

$$\text{ÇK} = \frac{\text{Günlük Enerji İhtiyacı} \times \text{Çevirici kayıpları}}{\text{Günlük güneşlenme süresi}} \quad (8)$$

Akülerin sistem içerisinde düşük yada yüksek şarjdan korunması için kullanılan şarj regülatörü kapasitesi (ŞRK);

$$\text{ŞRK} = \frac{\text{Günlük Enerji İhtiyacı}}{\text{Günlük güneşlenme süresi}} \quad (9)$$

Güneş panelleri veriminin artışında bölgenin bulunduğu enlem derecesiyle panellerin yerleştirilme açısı arasında önemli bir ilişki vardır.

$$\beta = \emptyset - d \quad (10)$$

$\emptyset$ ; enlem açısını,  $d$ ; deklinasyon açısını ifade etmektedir. Deklinasyon açısı, dünyanın dönme ekseninin yörünge düzleminin normali ile yaptığı  $23^{\circ}27'$ lik açıdan ileri gelmektedir. Bursa'nın enlem açısı  $40^{\circ}$ 'dir.

$$d = 23,45 * \sin \frac{360(n + 284)}{365} \quad (11)$$

'n' değeri yılın günlerini ifade etmektedir. Ekinoks dönemi olarak alınır. Sistemde 21 Aralık tarihinde  $n=21$  alınmıştır.  $\beta$  değeri  $60,13^{\circ}$  olarak hesaplanmıştır.

Enerji sisteminin maliyeti, ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetlerinin toplanması ile belirlenmektedir. Tasarlanan sistemde elde edilen elektrik enerjisinin üretim maliyetini hesaplayabilmek için sistem masrafları bilinmelidir. Sistemde  $W_{sa}$  başına enerji birim fiyatı;

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{C_t}{E} \quad (12)$$

Bu denklemde,  $C_k$  yıllık serbest sermaye veya yatırım giderleri,  $C_m$  yıllık işletme ve bakım giderleri,  $C_f$  yıllık yakıt giderleri,  $C_t$  yıllık toplam giderleri ve  $E$  yıllık elektrik enerjisi üretimini ifade etmektedir.

$$C_k = I_{km} * a \quad (13)$$

Bu denklemde  $a$  değeri amortisman katsayısını,  $I_{km}$  kurulum ve montaj faaliyetlerini ifade etmektedir.

$$a = \frac{(1 + i)^n i}{(1 + i)^n} - 1 \quad (14)$$

14 numaralı denklemde  $a$  değeri amortisman katsayısını,  $n$  değeri toplam ömür süresini,  $i$  değeri faiz katsayısını ifade etmektedir.

Faiz katsayısı % 10 olarak alınmıştır.

Toplam ömür süresi 25 yıl alınmıştır.

Sistemin toplam maliyeti belirlendikten sonra üreteceği enerji miktarı bulunur. Üretilen bir yıllık enerji toplamı;

$$E = I \times A \times E_m \times E_s \times 365 \quad (15)$$

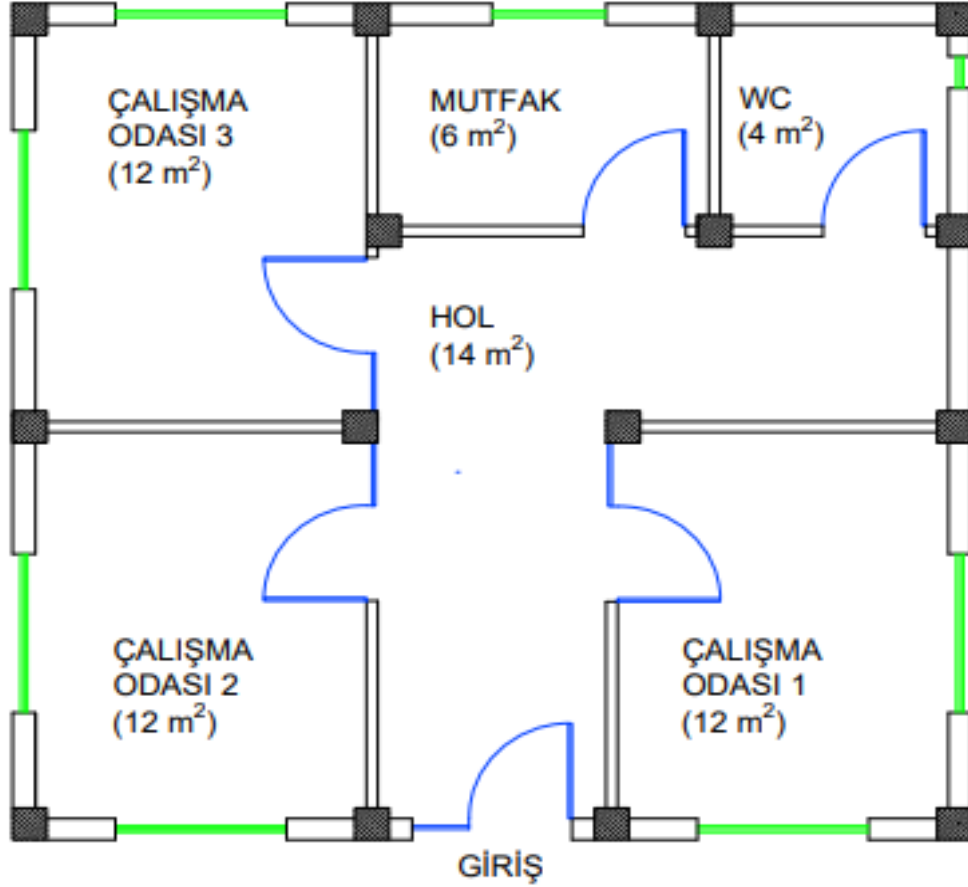
$I$  = yıllık ortalama ışınma

$A$  = güneş paneli yüzey alanı

$E_m$  = panel verimliliği

$E_s$  = sistemin toplam verimi

Şekil 3'te incelenen ofise ait kat planı yer almaktadır. Kat planı incelendiğinde ofiste 3 adet  $12 \text{ m}^2$  büyüklüğünde çalışma odası,  $6 \text{ m}^2$  büyüklüğünde mutfak,  $4 \text{ m}^2$  büyüklüğünde WC-Lavabo,  $14 \text{ m}^2$  büyüklüğünde hol alanının yer aldığı görülmektedir. Ofiste doğal aydınlatmanın sağlanması amacıyla çalışma odalarında cam kapılar tercih edilmiş; ayrıca odalarda pencere alanları geniş tutulmuştur.



Şekil 3. İncelenen ofise ait kat planı

#### **IV. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Çalışma kapsamında Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden derlenen Bursa iline ait 1928-2020 yılları arası aylık ortalama sıcaklık ve 2004-2018 yılları arası aylık ortalama güneş radyasyon değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Bursa iline ait sıcaklık güneş ışınımı ve güneşlenme süresi değerleri [20,25]

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama Işınım (kW/m <sup>2</sup> )	Ortalama Güneşlenme Süresi (sa)
Ocak	5,3	1,93	2,9
Şubat	6,2	2,44	3,5
Mart	8,4	3,44	4,3
Nisan	12,9	4,85	5,9
Mayıs	17,7	5,84	7,8
Haziran	22	6,68	9,8
Temmuz	24,5	6,34	10,7
Ağustos	24,3	6,11	10
Eylül	20,3	4,61	7,9
Ekim	15,6	3,10	5,6
Kasım	11,1	2,19	4,1
Aralık	7,3	1,65	2,9



Güneş enerjisi kurulumunun gerçekleştirileceği ofiste 1 adet buzdolabı, 1 adet bulaşık makinesi, 3 adet bilgisayar, 1 adet kablosuz modem, 1 adet klima, 1 adet hava nemlendirme cihazı, 1 adet telefon, 1 adet mürekkepli yazıcı, 1 adet çay makinesi, 1 adet kahve makinesi, 1 adet televizyon ve aydınlatma için kullanılan 5 adet ampul bulunmaktadır.

Ofis, haftanın 5 günü faaliyet göstermekte ve günde 8 saat çalışmaktadır. Buzdolabı 7/24 çalışmaktadır. Bulaşık makinesi ve hava nemlendirme cihazı günde yaklaşık 1 saat olmak üzere haftada toplam 5 saat çalışmakta ve enerji harcamaktadır. Çalışılan günlerin aktif saatlerinde bilgisayar, modem, klima ve telefon hiç kapatılmamakta, bu nedenle haftada 5 gün (40 saat) çalışmaktadır. Yazıcı ise ihtiyaç olan zamanlarda resmi belgeleri yazdırmak için kullanılmakta ve 1 haftadaki aktiflik süresi 10 saattir. Aydınlatma için kullanılan ampuller gündüz saatlerinde kullanılmamakta olup, günde 2 saat olmak üzere akşam saatleri kullanılmaktadır. Bu da haftada 10 saate tekabül etmektedir. Çay ve kahve makinelerinin haftalık çalışma saati yaklaşık 8 saattir. Televizyon ise günde yaklaşık 1 saat kullanılmakta olup, 1 hafta içindeki enerji kullanım süresi 5 saattir. Tablo 5'te çalışma ofisindeki elektrikli cihazların harcadığı elektrik enerjisi miktarları yer almaktadır.

**Tablo 5.** Çalışma ofisindeki elektrikli cihazların harcadığı enerji miktarları [26]

Elektrikli Cihaz	Adet	Haftalık Çalışma Süresi	Harcanan Güç (Sa)	Harcanan Toplam Güç (Haftalık) (W)
Buzdolabı	1	7 gün (168 sa)	62 Watt	10416
Bulaşık Makinesi	1	5 sa	900 Watt	4500
Bilgisayar	3	5 gün (40 sa)	175 Watt	21000
Kablosuz Modem	1	5 gün (120 sa)	15 Watt	1800
Klima	1	5 gün (40 sa)	800 Watt	32000
Hava Nemlendirme Cihazı	1	5 sa	40 Watt	200
Telefon	1	8 sa	6 Watt	48
Yazıcı	1	10 sa	20 Watt	200
Çay Makinesi	1	8 sa	750 Watt	6000
Kahve Makinesi	1	8 sa	800 Watt	6400
Televizyon	1	5 sa	116 Watt	580
Aydınlatma (ampul)	5	10 sa	20 Watt	1000
Haftalık Enerji İhtiyacı				84144
Günlük Enerji İhtiyacı				12021

Çalışma ofisinin elektrik ihtiyacını karşılamak için tasarlanan enerji sisteminde; Tommatech 275 watt polikristal güneş paneli tercih edilmiştir. Bu paneller ilgili özellikler Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6.** Tommatech 275 Watt güneş paneli için teknik veriler

60 adet 156×156 mm polikristal güneş pillerinin seri bağlanmasıyla oluşur. Bu pillerin garanti süresi 25 yıldır.

Panel Modeli	P <sub>max</sub>	V <sub>mp</sub>	I <sub>mp</sub>	I <sub>sc</sub>	V <sub>oc</sub>	Fiyat
Tommatech 275 W	275W	31,30V	8,79A	9,31A	38,40V	1025 TL

Projede yerli üretim olan Jel Star 200 Amper nano-karbon jel akü tercih edilmiştir. Bu akü ile ilgili özellikler Tablo 7’de verilmiştir.

**Tablo 7.** Jel Star 200 Amper nano-karbon jel akü modeli için teknik veriler

Akü Modeli	Firma	Kapasite	Fiyat
JEL STAR 200	EKONOMİK SOLAR	200 Ah	2600,00 TL

Tasarlanan sistemde belirlenen kapasite değerine göre İnverter – Tommatech 700 Watt / 24 Volt tam sinüs inverter kullanılmıştır. Tablo 8’de kullanılan inverter’e ait teknik özellikler verilmiştir.

**Tablo 8.** Tommatech 700 Watt / 24 Volt tam sinüs inverter’in teknik özellikleri

Ürün Özellikleri	
Normal Çıkış Gücü :	700 Watt
Sürekli Çıkış Gücü	700Watt
Maksimum Güç	1400 W
Normal Giriş Volt	12 Volt DC / 24 Volt DC
Normal Çıkış Volt	220 V AC
Frekansı	50 HZ
Çıkış Düzeni	+ - % 5
Voltaj Alarm Aralığı	10,5 + / - 0,5 Volt
Kesme Voltaj Aralığı	10,5 + / - 0,5 Volt
Verimlilik Oranı	85 – 90 %
Fiyat	700,00TL

Şarj Regülatör Kapasitesi için hesaplanan değere uygun olarak Tommatech 10 Amper 12 / 24 Volt led şarj regülatörü kullanılmıştır. Tablo 9’da kullanılan şarj regülatörüne ait teknik özellikler verilmiştir.

**Tablo 9.** Tommatech 10 Amper 12 / 24 Volt led şarj regülatörü teknik özellikleri

Parametreler	
Maksimum Çalışma Akımı	10 Amper
Sistem Voltajı	12 Volt / 24 Volt
Akü Maks. Şarj Voltajı	13,7 Volt / 27,4 Volt
Akü Düşük Voltaj Koruması	10,7 Volt / 21,4 Volt
Fiyat	200,00TL

Kurulacak olan güneş enerji sistemine ait ekipmanların maliyet değerleri Tablo 10’da yer almaktadır.

**Tablo 10.** Güneş enerji sistemine ait ekipmanların maliyet değerleri

Sistem Ekipmanları	Adet	Birim Fiyatı	Tutar
Tommatech 275 Watt Polikristal Güneş Paneli	11	1025 TL	11275 TL
Jell Star 200	1	2600 TL	2600 TL
Tommatech 700 Watt / 24 Volt Tam Sinüs İnverter	1	700 TL	700 TL
Tommatech 10 Amper 12 / 24 Volt Led Şarj Regülatörü	1	200 TL	200 TL
Ara Toplam			14775 TL
Kurulum Maliyeti (%20)			2955 TL
Toplam Tutar			17730,00 TL

Bu çalışmaya benzer olarak Şanlı ve Dilsel [7] tarafından Mersin İli'nin çeşitli bölgelerinde ofis amaçlı kullanılan şantiye konteynerlerinin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla güneş pili sistemi tasarımı ve maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan maliyet analizi sonucunda yatırım gideri 1901,58 TL, üretilecek yıllık toplam enerji miktarı 162877,75 W, enerji birim fiyatı ise 0,01384 TL/Wsa olarak belirlenmiştir.

## V. SONUÇ

Günümüzde refah seviyesine paralel olarak artan enerji ihtiyacının kesintisiz ve sürdürülebilir şekilde sağlanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını gündeme getirmiştir. Bu kaynaklar arasında barındırdığı avantajlarla en çok uygulama alanı bulan güneş enerjisi, binaların enerji ihtiyacının karşılanması noktasında da önemli bir araç olma niteliği taşımaktadır.

Bu çalışmada, Bursa'da bir çalışma ofisinin elektrik ihtiyacını güneş pilleri ile sağlamak amacıyla güneş pili sistemi tasarlanmıştır. Tasarımda güneşlenme süresinin en az olduğu aralık ayı verileri kullanılarak enerjinin yıl boyunca eksiksiz olarak elde edilmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan sistemin yıllık serbest sermaye veya yatırım giderleri 1953,14 TL (225 \$) olarak bulunmuştur. Sistemin üreteceği yıllık elektrik miktarı tek panel için 17998 Wsa, tüm paneller için 197978 Wsa olarak hesaplanmıştır. Enerjinin birim fiyatı 0,0144 TL/Wsa (0,00166 \$/Wsa), yıllık toplam gider ise 2853,14 TL (328,7 \$) olarak belirlenmiştir.

TEDAŞ'ın 2021 yılına ait ticarethane tipi fatura dökümü incelendiğinde, birim elektrik tüketim fiyatının 0,977 TL/kWsa olduğu görülmüştür [27]. Tasarlanan ofisin günlük enerji tüketimi 12,021 kWsa, yıllık enerji tüketimi ise 4387,665 kWsa olarak hesaplanmıştır. Bu durumda ofisin yıllık klasik enerji tüketim değeri 4286,75 TL'ye (493,87 \$) tekabül etmekte olup, panel sisteminin kurulmasıyla yıllık 1433,61 TL'lik (165,16 \$) tasarruf sağlanacağı belirlenmiştir. Kurulması planlanan yenilenebilir enerji sistemine ait toplam maliyet 17730 TL (2042,63 \$) olarak hesaplanmış ve bu değer sağlanacak tasarrufla kendisini 12,4 yılda amorti edebileceği belirlenmiştir.

Ülkemiz bulunduğu coğrafik konum dolayısıyla yüksek güneş enerji potansiyeli barındırmaktadır. Fakat güneş enerjisi sistemlerinin kurulum ve yatırım masraflarının yüksek olması, güneş enerjisinden faydalanma noktasında dezavantaj oluşturmaktadır. Bu noktada devlet desteği ile yapılacak yatırım ve altyapı çalışmalarıyla güneş enerjisi kullanımının yaygınlaşması sağlanabilecektir. Yapılacak enerji teşvikleriyle halkın bu enerji kaynağını kullanması konusunda yüksek katılım sağlanması ile ülke genelinde güneş enerjisinden yararlanma oranının artacağı öngörülmektedir. Yatırımların uzun vadede ülke ekonomisine yapacağı katkıyla enerjide dışa bağımlılığın azalması ve çevre sağlığının korunmasının sağlanabileceği düşünülmektedir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışmaya katkılarından ötürü Gülçin KESKİN ve Burcu DÖNMEZ'e teşekkür ederiz.

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] A. Acaravcı ve S. Erdoğan, “Yenilenebilir enerji, çevre ve ekonomik büyüme ilişkisi: seçilmiş ülkeler için ampirik bir analiz,” *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, c. 13, s. 1, ss. 53-64, 2018.
- [2] Z. Garip, M. E. Çimen ve A. F. Boz, “Meta-sezgisel algoritmalar kullanarak güneş pili modellerinin parametre çıkarımında karşılaştırmalı performans analizi,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c. 36, s. 2, ss. 1133-1144, 2021.
- [3] G. Kum, M. E. Sönmez ve M. Karabaş, “Gaziantep ilinde güneş enerjisi potansiyelinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi (AHP) ile belirlenmesi,” *Coğrafya Dergisi*, c. 0, s. 39, ss. 61-72, 2019.
- [4] TEİAŞ, “Aralık 2020 Kurulu Güç Raporu,” Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı, Türkiye, 2020.
- [5] T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021, 3 Haziran). *Güneş*. [Çevrimiçi]. Erişim:<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>.
- [6] M. Altın. (2021, 3 Haziran). *Binaların enerji ihtiyacının Fotovoltaik (PV) bileşenli cepheler ile azaltılması*. [Çevrimiçi]. Erişim:<http://www.catider.org.tr/pdf/sempozyum/Bil7.pdf>
- [7] B. G. Şanlı ve E. T. Dilsel, “Mersin İli'nde kullanılan yer değiştirebilir ofis-konteyner elektrik ihtiyacının güneş pili sistemi ile karşılanması ve maliyet analizi,” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 33, s. 2, ss. 93-100, 2018.
- [8] M. Arı, G. Bilgin ve O. Özcan, “Alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisinin günlük hayatta kullanılabilirliği ve güneş enerjisi ile çalışan piknik sepeti tasarımı,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Özel Sayı 1, ss. 163-171, 2017.
- [9] A. Çiftçi, İ. Kırbaş ve B. İşyarlar, “Güneş pili kullanılarak burdur'da bir evin ortalama elektrik ihtiyacının karşılanması,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 5, s. 1, ss. 14-17, 2014.
- [10] T. Biçen, “Güneş panelleri ile elektrik üretiminin teknik ve ekonomik analizi: Bursa örneği,” Yüksek lisans Tezi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2018.
- [11] Anonim. (2021, 8 Haziran). *Ülkelere göre güneş enerjisi*. [Çevrimiçi]. Erişim:<https://www.enerjiatlasi.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html>.
- [12] K. M. Aksungur, M. Kurban ve Ü. B. Filik, “Türkiye'nin farklı bölgelerindeki güneş ışınım verilerinin analizi ve değerlendirilmesi,” *5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 2013, ss.1-4.
- [13] E. Özgür. (2021, 9 Haziran). *Türkiye'de güneş enerjisi*. [Çevrimiçi]. Erişim:[https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020\\_12\\_T%C3%BCrkiye%27de%20G%C3%BCne%C5%9F%20Enerjisi\\_Evren%20%C3%96zg%C3%BCr.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020_12_T%C3%BCrkiye%27de%20G%C3%BCne%C5%9F%20Enerjisi_Evren%20%C3%96zg%C3%BCr.pdf).

- [14] S. Cebeci, “Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi,” Uzmanlık Tezi, T.C. Kalkınma Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2017.
- [15] M. Yılmaz. (2021, 7 Haziran). *Uzaktan takip edilebilen, bakım ve onarımı kolay güneş enerji sistemlerine ilgi artıyor.* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/uzaktan-takip-edilebilen-bakim-ve-onarimi-kolay-gunes-enerji-sistemlerine-ilgi-artiyor/2163098>.
- [16] Anonim. (2021, 8 Haziran). *Bursa Büyükşehir Belediyesi enerji ihtiyacını “güneşten” karşılayacak.* [Çevrimiçi]. Erişim: [https://temizenerji.org/2020/09/30/bursa-buyuksehir-belediyesi-enerji-ihytiyacini-gunesten-karsilayacak/?gclid=Cj0KCQjwnueFBhChARIsAPu3YkT0MZxQi77OQNdoBw\\_ty6gV5c3rxBh8QJ7jgsT5MQ9LO6CwtMUCDv8aAr5uEALw\\_wcB](https://temizenerji.org/2020/09/30/bursa-buyuksehir-belediyesi-enerji-ihytiyacini-gunesten-karsilayacak/?gclid=Cj0KCQjwnueFBhChARIsAPu3YkT0MZxQi77OQNdoBw_ty6gV5c3rxBh8QJ7jgsT5MQ9LO6CwtMUCDv8aAr5uEALw_wcB).
- [17] Anonim. (2021, 4 Haziran). *Bursa güneş enerjisi santralleri.* [Çevrimiçi]. Erişim:<https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/bursa>.
- [18] T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı. (2021, 4 Haziran). *Bursa ili genel bilgiler.* [Çevrimiçi]. Erişim:<https://bursa.ktb.gov.tr/TR-70229/cografya.html>.
- [19] Anonim. (2021, 4 Haziran). *Bursa 2020 nüfusu.* [Çevrimiçi]. Erişim:<https://www.nufusu.com/il/bursa-nufusu>.
- [20] Anonim. (2021, 6 Haziran). *Bursa ili güneş radyasyonu.* [Çevrimiçi]. Erişim:[https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon\\_iller.aspx?il=bursa](https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=bursa).
- [21] G. Görel ve B. Cengil, “Tarımsal sulama sistemlerinde yakıt pili birleşik enerji sistemlerinin kullanım olanakları,” *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, c. 5, s. 2, ss. 128-132, 2012.
- [22] S. Ç. Çolak, “Fotovoltaik paneller yardımı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin maliyet analizi ve gelecekteki projeksiyonu,” Yüksek lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [23] A. Karakan ve Y. Oğuz, “Mevcut yapılara uygulanan fotovoltaik sistemlerin incelenmesi: Afyonkarahisar örneği,” *2<sup>nd</sup> International Sustainable Buildings Symposium*, Ankara, Türkiye, 2015, ss. 887-897.
- [24] Anonim. (2021, 3 Haziran). *Güneş panelleri nasıl çalışır?* [Çevrimiçi]. Erişim:[http://www.kocsanenerji.com/tr/faydali\\_bilgiler-15/gunes\\_panelleri\\_nasil\\_calisir\\_-66.html](http://www.kocsanenerji.com/tr/faydali_bilgiler-15/gunes_panelleri_nasil_calisir_-66.html).
- [25] Anonim. (2021, 6 Haziran). *Bursa ili sıcaklık verileri.* [Çevrimiçi]. Erişim:<https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BURSA>.
- [26] Anonim. (2021, 6 Haziran). *Elektrikli aletlerin güç tüketim değerleri.* [Çevrimiçi]. Erişim:<https://solaravm.com/elektrikli-aletler-kac-watt-harcari-ne-kadar-elektrik-harcari#Elektrikli%20Alet%20Elektrik%20Harcamas%C4%B1%20Hesaplama%20Form%C3%BCI%C3%BC>.
- [27] UEDAŞ, “Ticarethane Tip Elektrik Faturası,” Limak Enerji, Türkiye, 2021.