



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **FOTOVOLTAİK (PV) SİSTEMLERİN TASARIMI İÇİN BÜTÜNLEŞİK BİR METODOLOJİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE BİR UYGULAMA**

**YARKIN GENÇ  
EMRE AKTAŞ  
ORHAN ATAY  
ARIF HEPBAŞLI  
EMRAH BIYIK  
MUSTAFA ARAZ  
YAŞAR ÜNİVERSİTESİ**

**MUSTAFA EMRE EREN  
ORBİT ENERJİ**



# FOTOVOLTAİK (PV) SİSTEMLERİN TASARIMI İÇİN BÜTÜNLEŞİK BİR METODOLOJİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE BİR UYGULAMA

*Developing a Holistic Methodology for Designing Photovoltaic (PV) Systems and an Application*

**Yarkın GENÇ**  
**Emre AKTAŞ**  
**Orhan ATAY**  
**Arif HEPBAŞLI**  
**Emrah BIYIK**  
**Mustafa ARAZ**  
**Mustafa Emre EREN**

## ÖZET

Binaya entegre fotovoltaik (BEFV) sistemler, yenilenebilir enerji kaynaklarının en bol, tükenmez ve temiz olan güneş enerjisini kullanmak için en iyi yollardan biridir. Bu çalışmanın ana amacı, fotovoltaik sistemlerin tasarımı için bütünsel bir metodolojiyi geliştirmektir. Bu bağlamda, BEFV sistemler önce gözden geçirilmiş, daha sonra, bu sistemler çeşitli uygulama alanlarına göre sınıflandırılmıştır. Son olarak, geliştirilen metodoloji sunulmuştur.

Burada verilen metodolojinin, bu konuda çalışan tasarımcı, uygulayıcı, mühendis ve mimarlara katkı sağlayacağı yazarlar tarafından beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemler, BEFV, Fotovoltaik, FV, Yenilenebilir Enerji, FV Metodolojisi.

## ABSTRACT

Building Integrated Photovoltaic Systems (BIPVs) seem to be one of the best ways of utilizing solar energy, which is the most abundant, inexhaustible and clean of all the renewable energy resources. The main objective of the present study is to develop a holistic methodology for the design of photovoltaic systems. In this regard, BIPV systems are reviewed first. They are then classified by their various application areas. Finally, the methodology developed was presented.

The authors expect that the methodology given here will contribute to designers, practitioners, engineers and architects working in this field.

**Keywords:** Building Integrated Photovoltaic Systems, BIPV, Photovoltaic, PV Renewable Energy, Methodology for PVs.

## 1. GİRİŞ

Artan CO<sub>2</sub> emisyonu dünya için zararlı etkilere neden olmaktadır. CO<sub>2</sub> emisyonunun 2030 yılının sonuna kadar 10 milyar tona ulaşması beklenmektedir [1]. Bununla baş edebilmenin, sistem enerji verimliliğini artırma, yenilenebilir enerjiyle kullanıcı tarafında enerji tasarrufu sağlamak için çeşitli enerji depolama seçenekleri gibi değişik yolları vardır [1,2]. Avrupa Komisyonu, 2020 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından toplam enerji bütçesinin % 20'sini elde etmek için bir hedef belirlemektedir [3]. Bununla birlikte, dünyanın mevcut güç ihtiyacı yaklaşık olarak 15 TW iken, ülkemizin yıllık güç ihtiyacı 813 GW' dır [4]. Ülkemizdeki ve dünyadaki bilim adamları yeni enerji kaynakları aramaya zorlanmış ve sahip olduğumuz birçok enerji kaynağı ile binalar için güneş enerjisi kullanımı çok büyük bir önem kazanmıştır. Bir Binaya Entegre Fotovoltaik (BEFV) sistemi, çatı ve cephe gibi bina yapısına fotovoltaik (FV) modüllerin entegrasyonundan oluşmaktadır. BEFV sistemleri, aynı zamanda inşaat malzemeleri ve elektrik jeneratörleri, malzeme ve elektrik maliyetlerinden tasarruf, fosil yakıt kullanımını azaltma ve ozon tabakasına zarar veren gaz emisyonunu azaltıcı olarak kullanılabilir ve binaya mimari çekicilik katabilir.

Bu çalışmada, güneş enerjisi ile enerji tasarrufu sağlayarak, binanın ayrılmaz bir parçası olarak, BEFV sistemlerin tasarımı için, geniş kapsamlı bir metodoloji geliştirilmiştir.

## 2. DAHA ÖNCE YAPILAN BAZI ÇALIŞMALAR

Daha önce yapılan bazı çalışmalar aşağıda kısaca açıklanırken, Tablo 1'de özetlenmiştir: Bir çalışmada, Kolombiya'da kurulan şebekeye bağlı BEFV sistemi anlatılmıştır. Sistem parametreleri ve performans analizi yapılmıştır [5]. FV sistemlerin binaya nasıl entegre edileceğinin ve FV sistemin çeşitlerinin neler olduğunun ele alındığı başka bir çalışmada, Çin'de BEFV tasarımları, sistem kapasiteleri ve sistem yararları ile sakıncaları anlatılmıştır [6]. Singapur'da bir binanın çatısına kurulan 142,5 kW gücündeki bir FV sistem tasarımı incelenmiştir. Sistemin şebekeye bağlı olup olmaması durumu belirlenmiştir. Kurulan sistem için ekonomik ve performans analizi yapılmıştır [7]. Muğla Sıtkı Koçman Üniversite binası yüzeyine kurulan 40 kW'lık bir FV sistem ve bu sistemin parametrik ve termodinamik analiz çalışmaları, BEFV sistemlerin Türkiye'deki durumu ve gelecekte ne kadar kapasiteye ulaşacağı araştırılmıştır [8]. Derby Üniversitesi çatısına kurulan 8,5 kW'lık bir FV sistem ve bu sistemin yararları, ne kadar enerji tasarrufu yapılacağı binaya entegre sistemin tasarım çeşitleri ve bu sistemlerin verimleri incelenmiştir [9]. Kanada'daki bu çalışmada BEFV sistem çeşitleri ve sistem kurulurken baştan sona yapılacak adımlar anlatılmıştır [10].

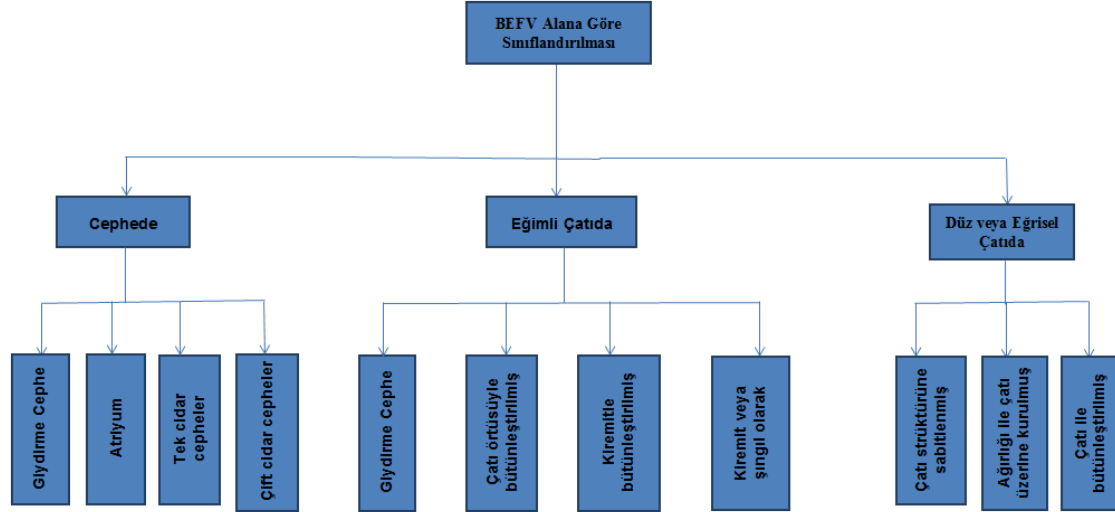
Düzce Üniversitesi'ndeki bir çalışmada farklı panel tiplerinin dış mekan performans analizleri incelenmiştir [11]. Kore'deki bir binanın yüzeyine kurulan paneller, sistem tasarımı, analitik ve termodinamik çalışmaları anlatılmıştır [12]. Yaşar Üniversitesi kampüsünde bulunan bir binanın güneydoğu cephesine, 8 Şubat 2016 tarihinde kurulmuş olan bir BEFV sistemi; her biri 155 W<sub>p</sub> olan 48 adet monokristalin FV modülden oluşmakta olup, toplam kapasitesi 7,44 kW'tır. Kullanılan panellerin boyutları ise, 1650x850 mm olup, iki adet 4 mm kalınlıkta temperlenmiş cam arasında lamine edilmiş hücrelerden oluşmakta ve alan olarak % 30 oranında saydamdır. Toplam alanı 57,6 m<sup>2</sup> olup, güneş hücresi alanı ise 42,08 m<sup>2</sup>'dir [13].

## 3. BİNAYA ENTEGRE FOTOVOLTAİK (BEFV) SİSTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI

Bu çalışmada, son zamanlarda yaygınlaşmaya başlayan ve sayıları ülkemizde göreceli olarak daha az olan, BEFV üzerinde durulacaktır. Bu paneller kuruldukları alana göre, Şekil 1'de gösterildiği gibi, üçe ayrılabilir:

**Tablo 1.** Daha önce yapılan bazı çalışmaların listesi [5-13].

No.	Araştırmacı	Yıl	Yeri	Kapas. (kW)	Tipi	Notlar
1	Aristizabel ve Gordilla [5]	2008	Kolombiya	669,8	Çatı ve Cephe	Kolombiya'da kurulan şebekeye bağlı binaya entegre PV sistemi anlatılmıştır. Sistem parametreleri ve performans analizi incelenmiştir.
2	Peng ve Diğ. [6]	2011	Çin	4382	Çatı	BIPV yapıları nasıl tasarlanır anlatılmıştır BIPV ve BAPV karşılaştırılması yapılmıştır.
3	Wittkop ve Diğ. [7]	2012	Singapur	142,5	Çatı	Singapur'da binanın çatısına kurulan panellerin elektrik üretimi ve enerji tasarrufuna katkısı hesaplanıp daha sonra performans analizleri yapılmıştır.
4	Eke ve Senturk [8]	2013	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	40	Cephe	FV sistemlerin Türkiye'de ki uygulamaları ve kurulan sistemler için gerekli performans ve termodinamik analiz çalışmaları incelenmiştir.
5	Ikede ve Okoroh [9]	2015	İngiltere	8,5	Çatı	BEFV sistemlerin enerji tasarrufuna katkıları ve Derby Üniversitesi'ne kurulan sistem anlatılmıştır.
6	Delisle ve Kummert [10]	2016	The John Molson Building School of Business, Kanada	20	Cephe	BEFV sistem çeşitleri ve sistem kurulurken baştan sona yapılacak adımlar anlatılmıştır.
7	Elibol ve Diğ. [11]	2016	Düzce Üniversitesi	7,5	Çatı	Farklı panel tiplerinin dış mekan performans analizleri incelenmiştir.
8	Lee ve Diğ. [12]	2016	Kore	10,6	Cephe	Kore'de binanın yüzeyine kurulan panelleri sistem tasarımı ve analitik ve termodinamik çalışmaları anlatılmıştır.
9	Hepbasli ve Diğ. [13]	2016	Yaşar Üniversitesi	7,44	Cephe	Yaşar Üniversitesi kampüsünde bulunan bir binanın güneydoğu cephesine konmuştur.

**Şekil 1:** BEFV alana göre sınıflandırılması [14].

### 3.1 BEFV Alana Göre Sınıflandırma

#### 3.1.1 Eğimli Çatıda Kullanımı

Eğimli çatı konstrüksiyonları, genelde konut yapıları için özellikle de ekvatora yönelmişse, FV'lerin kullanımı için çok uygundur. Eğimli çatılarda FV kullanımı dörde ayrılabilir:

1. Kiremitle bütünleştirilmiş eğimli çatı örtüsü olarak
2. Çatı örtüsü ile bütünleştirilmiş olarak
3. Kiremit ve şingil olarak
4. Cepheye entegre olarak

### 3.1.2 Düz ve Eğrisel Çatıda Kullanımı

Düz ve eğrisel çatılarda FV tesisatı, optimal pozisyonda, destek yapılarla istenilen eğim açısıyla ve istenilen yere uygulanabilir. Montaj için farklı sistemleri 3 kategoride toplanabilir:

1. Çatı strüktürüne mekanik olarak sabitlenmiş
2. Ağırlığı ile çatı üzerine kurulmuş
3. Çatı ile bütünleştirilmiş

FV'lerin kullanımını eğrisel çatılarda da olanaklıdır. Eğrisel çatılarda metal sac veya sentetik esnek malzemeye uygulanmış amorf silisyum, ince film, ya da eğrisel düzenlenmiş opak, yarı saydam güneş pili modülleri kullanılmaktadır [15].

### 3.1.3 Cephede Kullanımı

Cepheler binaların en büyük dış yüzeyini oluşturur. Binaya dıştan bakıldığında ilk etkiyi veren cephe dir. Mimarlar isteklerini ve kullanıcıların beklentilerini cephenin form ve renk alternatifleri ile dışa vururlar. PV'ler yapı cepheleri için estetik kaygıların yaşandığı bölümdür. PV'leri bina cephelerinde kullanmak bu teknoloji ve yapım endüstrisini çatıdan çok daha ifadeli bir şekilde gösterir [16]. Cephede PV entegrasyonunu 4'e ayırmak mümkündür;

1. Giydirmeye cephelerde
2. Atriyumlarda
3. Çift cidarlı cephelerde
4. Tek cidarlı cephelerde

## 3.2. BEFV Sistemleri Teknolojiye Göre Sınıflandırılma

FV paneller üretildikleri teknolojiye göre üçe ayrılabilir:

### 3.2.1 Monokristal Paneller

Kalite ve verimlilik açısından monokristal güneş pilleri yüksek verimli monokristal hücrelerden oluşmuşlardır. Bu panellerin verimi yaklaşık %15 civarındadır ayrıca aynı gücü üreten polikristal panellere göre %1-2 daha küçük alana sahiptir. Buna karşın üretiminde kullanılan teknoloji sebebiyle üretim süreci uzun sürmektedir.

### 3.2.2 Polikristal Paneller

Kalite ve verimlilik açısından polikristalin güneş pilleri monokristal olanlardan biraz daha düşük verimli hücreler ile üretilir. Bu güneş pillerinin verimlilik oranları yaklaşık %12 civarındadır. Ayrıca kullanımı oldukça yaygındır. Bunun en büyük nedeni ise daha kolay ulaşılabilir ve buna bağlı olarak daha uygun fiyatla bulunabilmesidir.

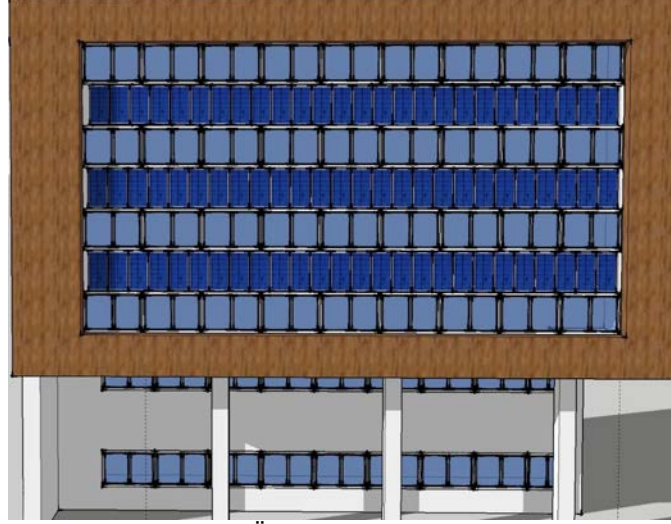
### 3.2.3 İnce Film Paneller

Işık yutma oranı yüksek olan bu hücreler, düşük verimlilikleri nedeni ile pazar payının küçük bir bölümünü oluştururlar. İnce film FV malzeme genellikle çok kristalli malzemelerdir. Bu panellerin verimlilikleri % 7 ile % 14 arasında değişmektedir [17].

## 4. SİSTEMİN AÇIKLAMASI

Örnek hesaplama olarak (senaryo; ancak bina mevcut), Yaşar Üniversitesi Y binasına kurulacak 22 metre genişlik 1,7 metre uzunluğa sahip toplamda 37,2 m<sup>2</sup> alanı olan BEFV sistemi için Şekil 2'de gösterilmiştir. Burada, 63 adet seri bağlı FV hücreden oluşan % 14,85 verim ve 241 W<sub>p</sub> güce sahip, 1641 mm uzunluğa, 989 mm genişliğe, 51,9 mm derinliğe ve 23,5 kg ağırlığa sahip Onyx Solar'dan 04TA-16410989 modeli seçildi. Alana 63 adet panel yerleştirildi.

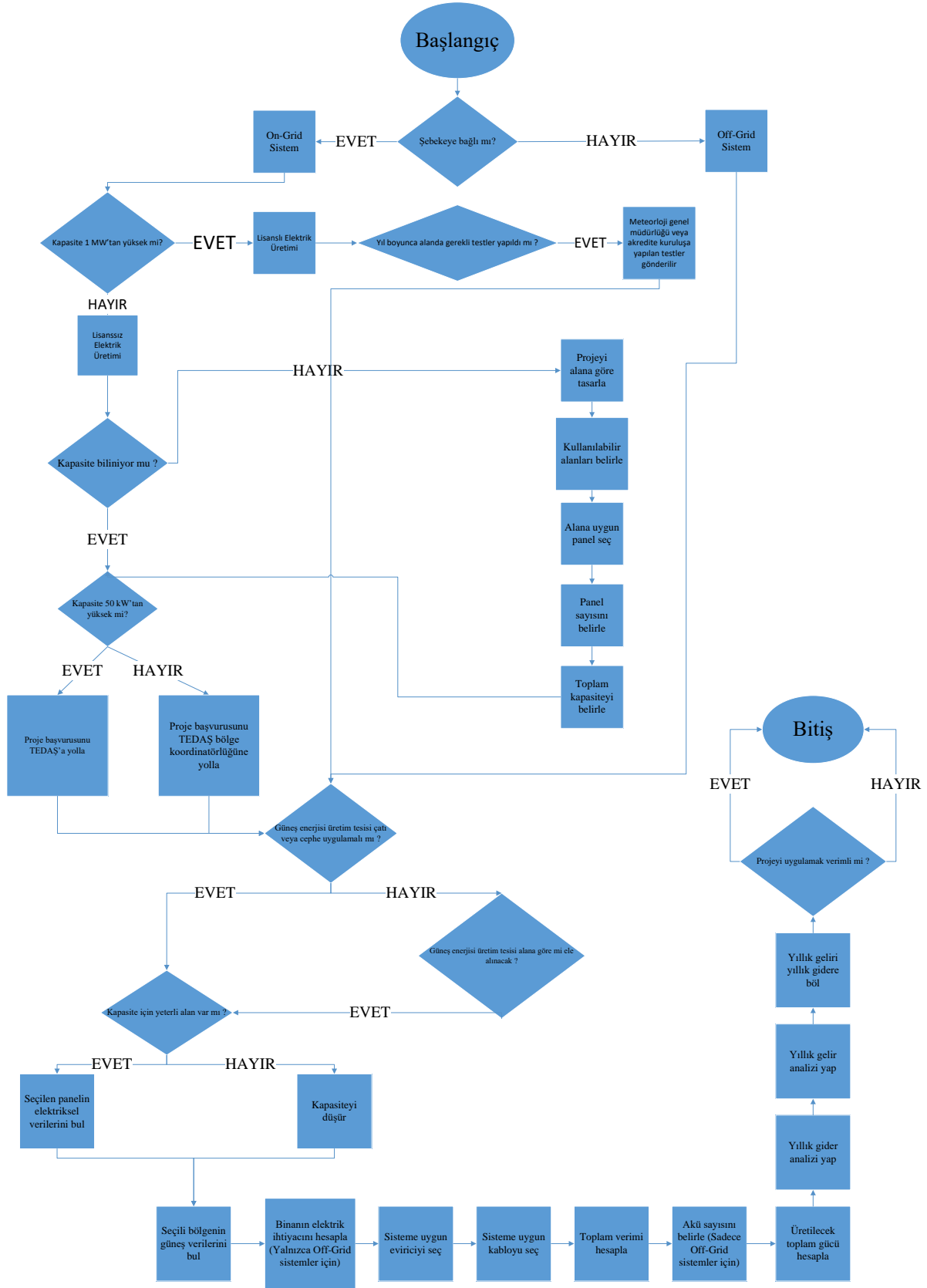
İlk olarak güneş ışığı gün ışığının etkin saatlerinde güneş panellerine düşer. Güneş paneli güneş enerjisini bir eviriciye göndererek doğru akım (DC) elektriğine çevirir. Evirici doğru akımı alternatif akım (AC) elektriğine çevirir. Buna gücün "şartlandırılması" denir. Güneş enerjisi sistemi pik güneş saatlerinde ihtiyaç duyulduğundan daha fazla elektrik ürettiğinde fazla elektrik otomatik olarak şebeke şirketine gönderilir ve elektrik sayacı geriye doğru çalışır. Ayrıca, güneş enerjisi sistemleri, elektronik ekipmana zarar verebilecek güç dalgalanmalarını önleyen çok yüksek kaliteli elektrik üretmektedir.



Şekil 2: Yaşar Üniversitesi Y-binası 3B çizimi.

## 5. TASARIM METODOLOJİSİ

Bu çalışmada, BEFV sistem algoritması baştan sona bütünlük bir şekilde ele alınarak geliştirilmiştir. Elektrik üretimi lisanslı ve lisanssız olmak üzere 2 çeşittir. Lisanslı projeler için gerekli saha testleri ve ölçümleri belirli bir süre boyunca yapılır. En az bir yıllık ölçüm verileri, meteoroloji genel müdürlüğüne veya akredite edilmiş kuruluşa gönderilir. Bir yılın sonunda "Ölçüm Sonuç Raporu" nun meteoroloji müdürlüğü veya akredite edilmiş organizasyon tarafından onaylanması gerekir. Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği ve EPDK Kurul Kararları ile ilan edilen başvuru sahibi bilgi ve belgeleri hazırlanır ve ön lisans başvuruları EPDK Yönetim Kurulu Kararları ile ilan edilen tarihlerde yapılır. BEFV sistemler, şebekeye bağlı olup olmamasına bağlı olarak ikiye bölünmüştür. Eğer sistem şebekeye bağlı ise on-grid, eğer bağlı değil ise off-grid adını alır. On-grid sistemler için dikkat edilmesi gereken en önemli şey sistemin kapasiteye bağlı olup olmasıdır. Eğer kapasite 50 kW'dan büyük ise lisanslı elektrik üretim yönetmeliği kontrol edilir ve proje başvurusu TEDAŞ'a teslim edilir. Kapasite 50 kW'ın altındaysa, lisanssız elektrik üretim düzenlemesi kontrol edilir ve proje başvurusu TEDAŞ Bölge Koordinatörüne yapılır. Şekil 3'ten görüldüğü gibi, kapasite belirsiz olduğunda binanın uygun alanına göre sistem tasarlanır. Projeyi alana göre tasarlamak için, öncelikle mevcut alanların belirlenmesi ve uygun panel projesi alanının seçilmesi gereklidir. Ardından toplam kapasite için panel sayısı hesaplanır. Eğer tasarlanacak olan güneş enerjisi sistemi çatı veya cephe uygulanacaksa, kapasite için yeterli alan olup olmadığını kontrol edilir. Şebekeden bağımsız sistemlerde aşağıdaki prosedürler tam olarak uygulanır. Eğer, güneş enerjisi sistemi alana uygulanırsa, aynı prosedürler izlenir. Eğer yeterli alan kapasitesi yoksa, kapasite düşürülür ve kapasite ayarlandıktan sonra, seçilen panellerin elektriksel verileri bulunur. Seçilen bölgenin güneşlenme verileri ve binanın toplam elektrik ihtiyacının analizi yapılır. Daha sonra evirici ve kablo seçimi yapılır ve sistemin toplam verimliliği hesaplanır. Akü hesabı yapılır ve üretilecek toplam güç hesaplanır. Elektrik maliyeti analizi yapıldıktan sonra yıllık parasal kazanç hesaplanır. Sistem yıllık kârı, yıllık elektrik maliyeti ile bölünür ve sistem verimliliği hesaplanır. Projenin bu adımların sonunda verimli olması halinde, projenin uygulanması uygundur eğer verimli değilse adımlarda değişiklik yapılarak verimli hale getirilmeye çalışılır.



Şekil 3: BEFV sistemi tasarım metodolojisi akış şeması.

## 6. KISA HESAPLAMA BAĞINTILARI

Bu çalışmada, saatlik seçilen alan için güneş radyasyonu verileri kullanılarak [18] seçilen panel için enerji dengesi yapılarak termodinamik hesaplamalar elde edilmiştir. Hesaplamaların sonucunda panelin tüm aylar için ortalama verimi, panelin tüm kayıpları ve üretilen net enerjiye ulaşılmıştır.

Birim metrekare başına enerji akımı dengesi, güneşten  $T_s$  (C) sıcaklığındaki gelen ısı akısı ( $q_s$ ,  $W/m^2$ ), yansıtılan ısı akısı ( $q_r$ ,  $W/m^2$ ), taşınan ısı akısı ( $q_k$ ,  $W/m^2$ ), radyasyon ısı akısı ( $q_0$ ,  $W/m^2$ ) ve soğurulan ısı akısına ( $q_c$ ,  $W/m^2$ ) bağlıdır. Buna göre üretilen net enerji [17,18]:

$$E = q_s - (q_r + q_k + q_0 + q_c) \quad (1)$$

$$q_r = \rho_c * q_s \quad (2)$$

$$q_k = k_1 * (T_c - T_0) \quad (3)$$

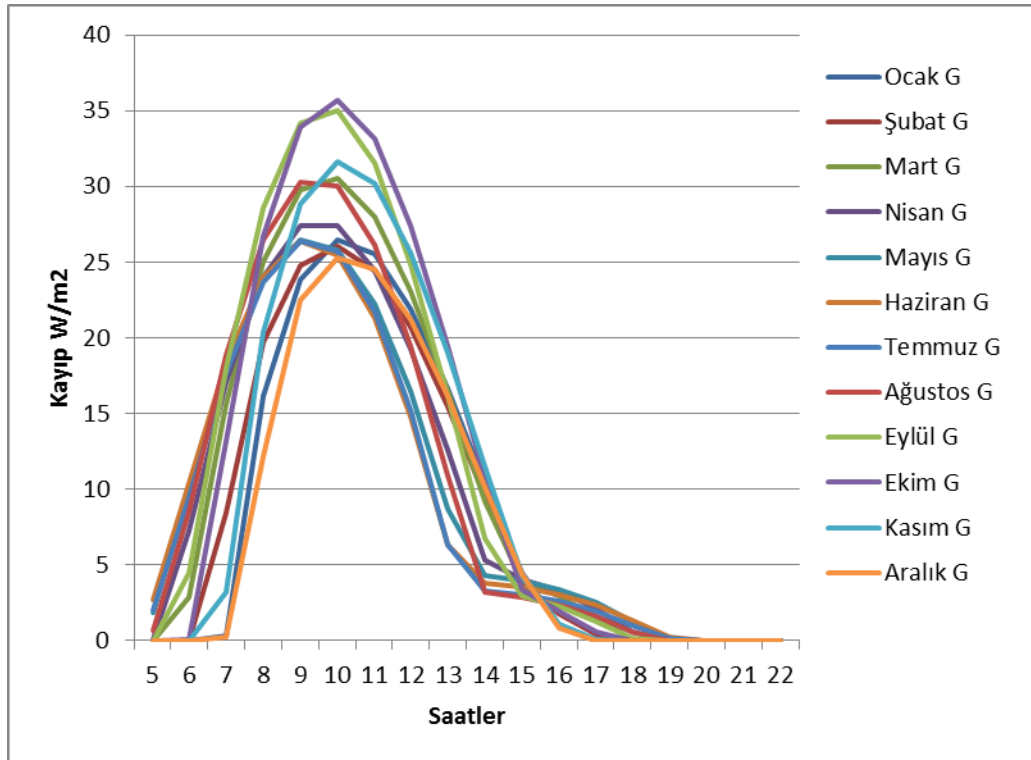
$$T_c = T_0 + k_2 * G_t \quad (4)$$

$$q_0 = \epsilon_c * \sigma * (T_c^4 - T_0^4) \quad (5)$$

$$\eta = \eta_r * [(1 - \beta) * (T_c - T_0) + (\gamma * \text{Log} G_T)] \quad (6)$$

Burada;  $T_0$  çevre sıcaklığı (C) [18],  $G_t$  güneşten gelen aylık ışınım ( $W/m^2$ ) [18],  $E$  Üretilen net güç (W) [19],  $k_1$  taşınım katsayısı= 3 ( $W/m^2 \cdot K$ ) [19],  $\epsilon_c$  yutma katsayısı= 0,95 [19],  $\sigma = 5.6693 * 10^{-8}$   $W/(m^2 \cdot K^4)$  Boltzmann sabiti [19],  $\rho_c$  güneş hücresinin yansıtma katsayısı= 0,05 [19],  $T_c$  panelin hücre sıcaklığı (C) [20],  $\eta_r$  FV panelin standart durumdaki verimi [20],  $\beta$  panelin standart durumdaki ürettiği gücün sıcaklık katsayısı,  $k_2$  Ross sabiti= 0,0538 ( $K \cdot m^2/W$ ) [21,22],  $\gamma$  panelin standart durumdaki ürettiği gücün ışınım katsayısı ve 0 olarak varsayılanmıştır [23].

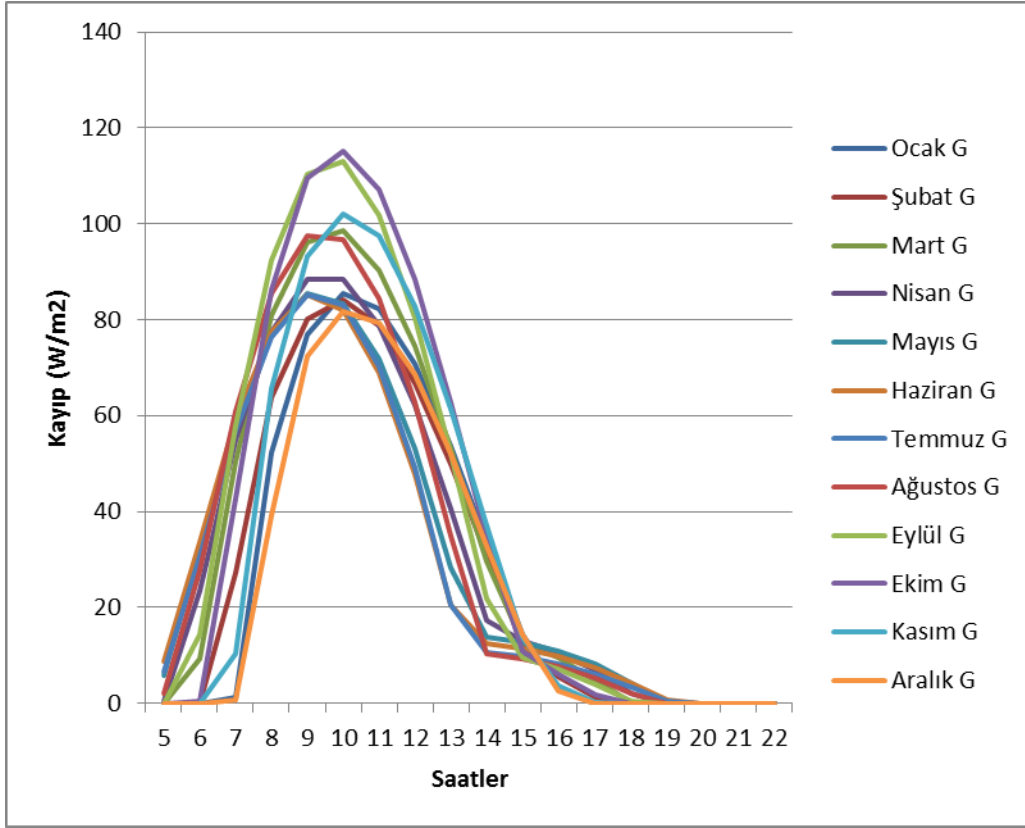
Yansıtımdan dolayı oluşan aylara göre kayıp;  $q_r$ , Şekil 4'te görüldüğü gibidir.



Şekil 4: Aylık toplam yansıtma kaybı değerleri.

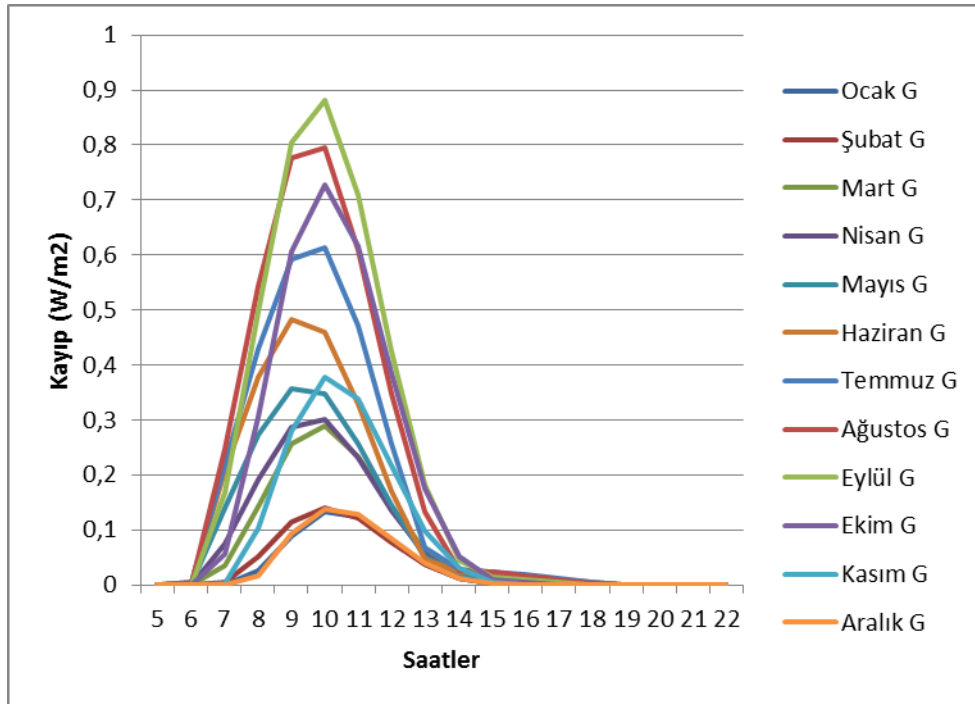


Taşınmadan dolayı oluşan aylık kayıp  $q_k$ , Şekil 5'te görüldüğü gibidir.



Şekil 5: Aylık toplam taşıma kaybı değerleri.

Radyasyondan dolayı oluşan aylık kayıp;  $q_0$ , Şekil 6'da görüldüğü gibidir.



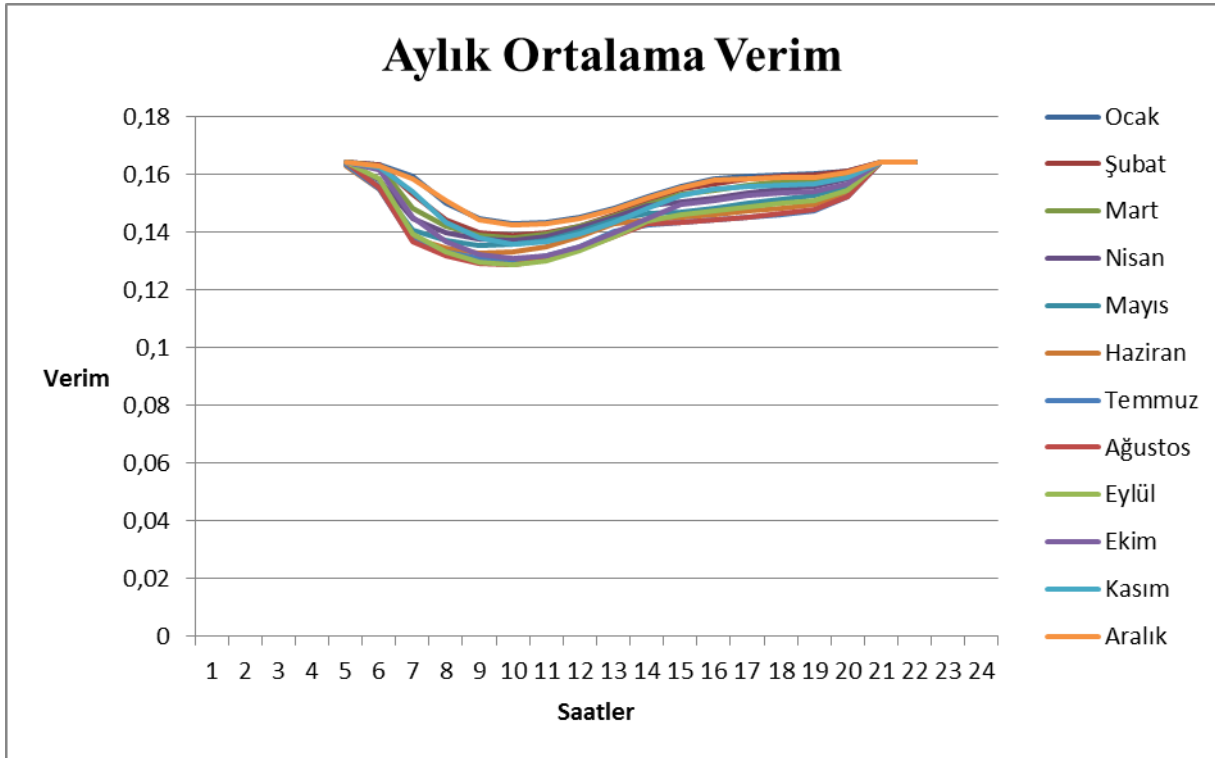
Şekil 6: Aylık toplam radyasyon kaybı değerleri.

Kayıpların yüzdesel değerleri; yansıtmadan dolayı oluşan kayıp  $q_r/q_s$ , taşınımından dolayı olan oluşan kayıp  $q_k/q_s$ , radyasyondan dolayı oluşan kayıp;  $q_0/q_s$  şeklinde hesaba katılmıştır. Hesaplanan kayıpların açıklaması ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

- Tüm hesaplamaların sonucunda lokasyonun saat sabah 09.00-10.00 arasında azimuth açısı -38,5 olduğu durumda panel yüzeyine gelen güneşin ışınımı daha fazla olduğundan yansıtılan enerji daha fazladır ve bundan dolayı birçok ayda sabah saat 9.00-10.00 arasında yansıtma kaybı daha fazladır. Toplam yansıtma kaybı % 5 olarak hesaplanmıştır.
- Panellerin bulunduğu konumda birçok ayda sabah 10.00-11.00 arasında rüzgardan dolayı hücre sıcaklığı ve ortam sıcaklığı arasındaki fark fazla olduğundan taşınım kaybı fazladır. Toplam taşınım kaybı %16,14 olarak hesaplanmıştır.
- Radyasyon kara yüzeyde emildiği için çok az miktarda yansıdığından radyasyondan dolayı kayıp düşüktür. Toplam radyasyon kaybı % 0,033 olarak hesaplanmıştır.

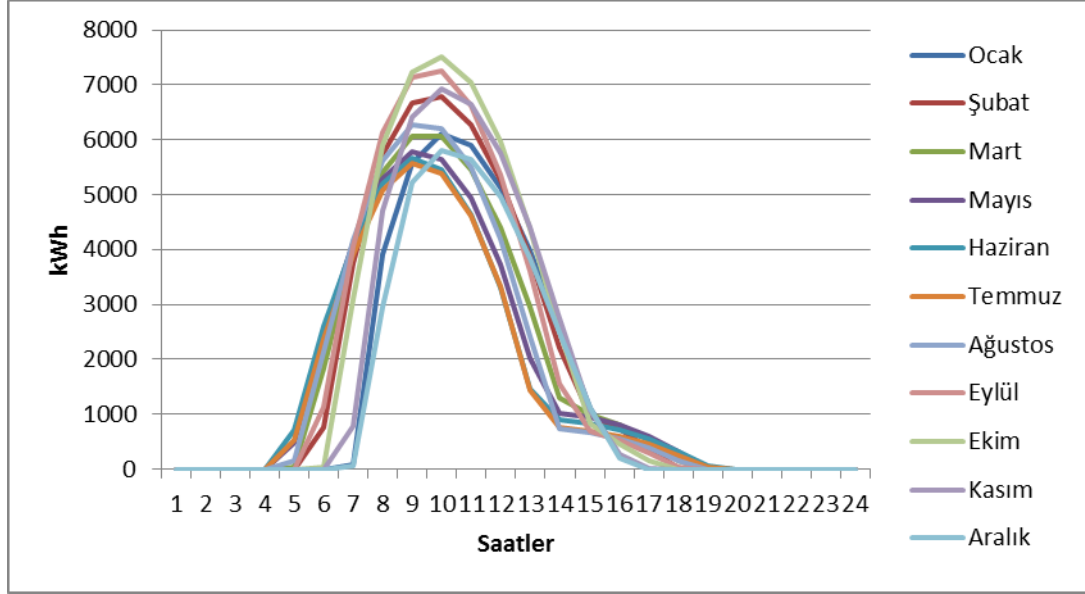
Yıllık toplam kayıp % 21,17 olarak bulunmuştur.

Sistemin aylık ortalama verim grafiği Şekil 7’de görüldüğü gibidir;



Şekil 7: Aylık ortalama verim.

Üretilen net enerjiyi aylık ortalama verimle çarptığımızda elde edilen toplam enerji, Şekil 8’de görüldüğü gibi, 14122,17 kWh/yıl olarak bulunmuştur.



Şekil 8: Aylık üretilen net enerji değerleri.

DC Yüzde Gerilim Düşümü Formülü:

$$\%u = \frac{2 * P * L * R' * 100}{U^2} \quad (7)$$

DC Mutlak Enerji Kayıp Formülü:

$$\Delta P = \frac{2 * P^2 * L * R'}{U^2} \quad (8)$$

AC Yüzde Gerilim Düşümü Formülü:

$$\%u = \frac{P * L * R' * 100}{U^2} \quad (9)$$

AC Mutlak Enerji Kayıp Formülü:

$$\Delta P = \frac{p^2 * L * R'}{U^2 * (\cos \phi)^2} \quad (10)$$

Buna göre, P güç (W), L kablunun uzunluğu (m), R' kablunun iç direnci (ohm), U kablunun voltajı (V), p kablunun güç kaybı (W) olmak üzere kullanılmıştır.

Yukarıdaki bağıntılar kullanılarak, Tablo 4'de verilen toplam üretim değerleri ve Tablo 5' de verilen kablo kaybı hesabı sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 2. Toplam üretim değerleri

Toplam Kablo kayıp	% 2,37	
Toplam GES Üretim	14122,7	kWh/yıl
Ac Şebeke	13787,5	kWh/yıl
Pvsol	13927,1	kWh/yıl
Fark	% 1,00	

**Tablo 3.** Kablo kaybı hesabı sonuçları.

DC Kablo Hesabı												
Sistem Girdisi					Gerilim Kaybı		Güç Kaybı		Akım Kontrolü			
Sn	P	L	R	U	u	%	p	%	Ip	Ik	Uygunluk	
1	5,061	91,98	5,09	638,2093	3,712653	0,6%	0,029441	0,6%	8,45	43,45	Ip < Ik	
2	5,061	100,21	5,09	638,2093	4,044846	0,6%	0,032076	0,6%	8,45	43,45	Ip < Ik	
3	5,061	107,71	5,09	638,2093	4,347574	0,7%	0,034476	0,7%	8,45	43,45	Ip < Ik	

PVF-14 mm2  
PVF-14 mm2  
PVF-14 mm2

AC Kablo Hesabı												
Sistem Girdisi					Gerilim Kaybı		Güç Kaybı		Akım Kontrolü			
Sn	P	L	R	U	u	%	p	%	li	Ik	Uygunluk	
1	15	10	5,09	400	1,90875	0,5%	0,071578	0,5%	21,6763	41,08	Ip < Ik	

5x6 mm2 NYY

## 7. MALİYET HESABI

Bu çalışmada ele alınan sistemin yaklaşık maliyeti hesaplanmıştır. Bu bağlamda, maliyette göz önüne alınan elemanlar ve toplam maliyet değeri Tablo 4'de gösterilmiştir.

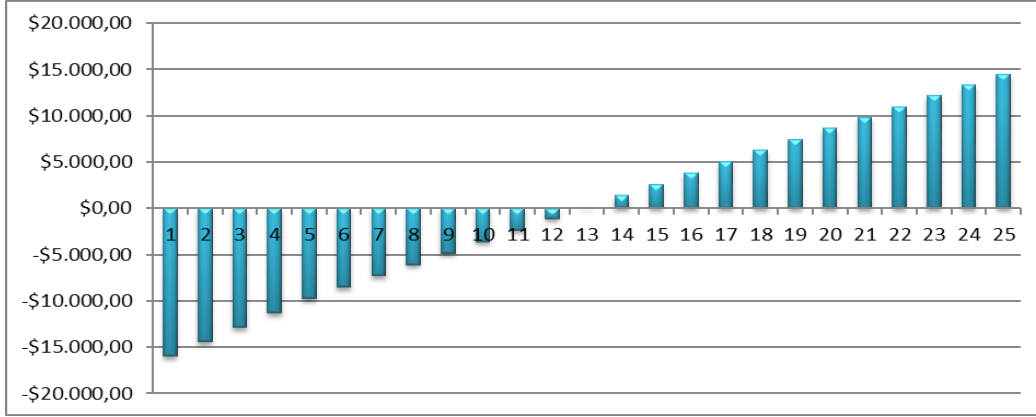
**Tablo 4.** Maliyet hesabında göz önüne alınan elemanlar.

SN	Malzeme Tanım	Adet	Birim	Toplam Maliyet
1	241 W Güneş Paneli	63	Adet	\$ 17.808,462
2	15 kW İnverter	1	Adet	
3	Konstrüksiyon	132	Metre	
4	DC Kablo	300	Metre	
5	AC Kablo	10	Metre	
6	Ekstra Malzeme (Panel Tutturma Aparatı & AC Pano vs.)	1	Takım	

Amortisman süreleri, Tablo 5 ve Şekil 9'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Amortisman süresi.

Amortisman Süresi	12.88	yıl
İlk Yıl Getirisi	1.733	\$
Toplam Satış Geliri	33.177	\$
Net Satış Geliri	14.437	\$



Şekil 9: Amortisman süreleri.

## 8. SONUÇ

Bu çalışmada, FV sistemlerin tasarımı için bütüncül bir metodoloji geliştirilerek, senaryo olarak Yaşar Üniversitesi'nde kurulacağı düşünülen, örnek bir BIPV sistemi tasarlanmıştır. Termodinamik hesaplamalarda, seçilen yer için saatlik güneş radyasyonu değerlerini kullanarak, panellerden gelen yüzdesel kayıplar hesaplanmış, sistemin yılda ürettiği net enerji miktarı 14122,17 kWh olarak hesaplanmıştır ve toplam maliyet 17.808,462 \$ olarak hesaplanmıştır.

Toplam elektrik üretimi kablo kayıpları da dâhil edilerek 13787,5 kWh/yıl bulunmuştur. PVSOL programında hesaplanan toplam elektrik üretim 13927,1 kWh/yıl olarak çıkmıştır. Aradaki fark % 1'dir.

Projeye başlamadan önce gerekli mevzuatların gözden geçirilmesinin ne kadar önemli olduğunu, mimari yapının göz ardı edilmemesi gerektiğini ve kompakt bir sistem yaratmanın önemi vurgulanmıştır.

Dünyamızdaki giderek artan enerji ihtiyaçlarımızın karşılanması için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmamız gerektiği herkesin ortak görüşüdür. Asıl amaç, BEFV sistemlerine dikkat çekmek ve gelecekteki projelere örnek teşkil etmektir.

## KAYNAKÇA

- [1] LI G., "Review of Thermal Energy Storage Technologies and Experimental Investigation of Adsorption Thermal Energy Storage for Residential Application", Thesis. United States: University of Maryland at College Park, 2013.
- [2] LI G., HWANG Y., "Review of cold storage materials for air conditioning application", Int J Refrig, 35(8), 2053–2077, 2012.
- [3] EUROPEAN COMMISSION, Communication from the commission to the European parliament, "The Council, the European Economic and social committee and the committee of the regions-20 20 by 2020 Europe's climate change" opportunity.com, 30 final, 2008.
- [4] LEWIS, N.S., "Powering the planet", MRS Bull; 32(10), 808–820, 2007.
- [5] ARISTIZABAL, A.J., GORDILLO, G. "Performance monitoring results of the first grid-connected BIPV system in Colombia", Renewable Energy 33(11), 2475-2484, 2008.
- [6] PENG, C., HUANG, Y., WU, Z., "Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China", Energy and Buildings, 43(10), 3592–3598, 2011.
- [7] WITTKOPF, S., VALLIAPPAN, S., LIU, L., ANG, K. S., CHENG, S. C. J., "Analytical performance monitoring of a 142.5kWp grid-connected rooftop BIPV system in Singapore." Renewable Energy, 47(Ocak 2009), 9–20, 2012.



- [8] EKE R., SENTURK A., "Monitoring the performance of single and triple junction amorphous silicon modules in two building integrated photovoltaic (BIPV)", 2013.
- [9] IKEDI, C.U., OKOROH, M.I., "Monitoring results of CO<sub>2</sub> avoidance with an 8.5 kWh solar electric generator integrated in a high rise commercial building in UK", *Int. J. Sustainability Built Environment*, 4(2), 189-201, 2015.
- [10] DELISLE, V., KUMMERT, M., "Cost-benefit analysis of integrating BIPV-T air systems into energy-efficient homes. *Solar Energy*", 136, 385–400, 2016.
- [11] ELIBOL, E., ÖZMEN, Ö. T., TUTKUN, N., KOYSAL, O., "Outdoor performance analysis of different PV panel types", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 651–661, 2017.
- [12] LEE, H. M., YOON, J. H., KIM, S. C., SHIN, U. C., "Operational power performance of south-facing vertical BIPV window system applied in office building". *Solar Energy*, 2016 (Baskıda).
- [13] HEPBASLI A., BIYIK E., ARAZ, M., SHAHRESTANI M., YAO R., ESSAH E., SHAO L., OLIVEIRA A.C., CANO T., RICO E., LECHON J.L., "Some Preliminary Results of a Building Integrated Photovoltaic (BIPV) System Installed at Yasar University, Izmir, Turkey", *International Academic Conference, Venedik, Italya*, 2016.
- [14] Francesco Frontini, P. B., BIPV status report - SEAC., [www.seac.cc:fileadmin/seac/user/doc/SEAC-SUPSI\\_report\\_2015\\_-\\_BIPV\\_product\\_overview\\_for\\_solar\\_facades\\_and\\_roofs\\_1\\_.pdf](http://www.seac.cc:fileadmin/seac/user/doc/SEAC-SUPSI_report_2015_-_BIPV_product_overview_for_solar_facades_and_roofs_1_.pdf), 2015.
- [15] EKIN, M. U. , "Güneş Pillerinin Yapı Kabuk Elemanları ile Bütünleştirilmelerine Yönelik Bir Araştırma", Yüksek Lisans Tezi, D.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, 2006.
- [16] MUJDE A., Research on the Architectural Use of Photovoltaic(PV) Components in Turkey from the Viewpoint of Building Shape, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2005.
- [17] UYAR, F., "Solar Panel Çeşitleri Nelerdir?" *Enerji Beş*: <http://www.enerjibes.com/solar-panel-cesitleri-nelerdir>, Şubat 13, 2016.
- [18] JRC., "Performance of Grid-connected PV", EU JRC PVGIS: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, Mart 18, 2010.
- [19] PETELA, R., "Engineering Thermodynamics of Thermal Radiation: for Solar Power Utilization. Thermodynamic Analysis of the Photovoltaic, Chapter", *Access Engineering*, 2010.
- [20] EVANS, D.L., "Simplified method for predicting photovoltaic array output", *Solar Energy*, 27, 555-560, 1981.
- [21] SKOPLAKI, E., PALYVOS, J.A., "Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations", *Renewable Energy*, 34, 23-29, 2009.
- [22] NORDMANN T., CLAVANDETSCHER L., "Understanding temperature effects on PV system performance", *Proceedings of the Third World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, Isaka, Japonya, 801-806, 2003.
- [23] EVANS, D.L., FLORSCHUETZ, L.W., "Cost studies on terrestrial photovoltaic power systems with sunlight Concentration", *Solar Energy*, 19, 255-262, 1977.

## ÖZGEÇMİŞ

### Yarkın GENÇ

1993 yılı İzmir doğumludur. 2012 yılında Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümüne başlamıştır. Güneş enerjisi ve fotovoltaiik paneller konularında çalışmaktadır

### Emre AKTAŞ

1994 yılı İzmir doğumludur. 2012 yılında Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümüne başlamıştır. Güneş enerjisi ve fotovoltaiik paneller konularında çalışmaktadır.

### Orhan ATAY

1994 yılı Afyon doğumludur. 2012 yılında Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümüne başlamıştır. Güneş enerjisi ve fotovoltaiik paneller konularında çalışmaktadır.

### **Arif HEPBAŞLI**

1958 yılı İzmir doğumludur. 35 yıllık iş yaşamı olup, bunun 10 yılı değişik sanayi kuruluşları ve geri kalanı ise, 1996 yılından beri, yurt içi ve dışındaki değişik üniversitelerde çalışarak geçmiş olup, halen Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. 600 adetten (290'dan fazlası SCI kapsamında makale) fazla bilimsel yayının yazarı/ortak yazarıdır. Web of Science (WOS) kategorisinde akademik ayak izi (h-indeks) 41 ve atıf sayısı 5586 (kendi atıfı dahil edilmeden) iken, Google Akademik kapsamında ise, akademik ayak izi; 57 olup, 11219 atıf almıştır. Çok sayıda ulusal/uluslararası bilimsel etkinliklerin organizasyonunda yer alan/almakta olan Dr. Hepbaşlı, prestijli yedi adet derginin Uluslararası Yayın Danışma Kurulu Üyesi ve bir adet uluslararası derginin Yardımcı Editörü olup, ayrıca, enerjile ilgili çok sayıda ulusal ve uluslararası dergilere ve projelere de hakemlik yapmaktadır. HORIZON 2020 Enerji Programı Türkiye Uzmanlarından biridir. Bunun yanı sıra, ulusal ve uluslararası bazda, değişik meslek kuruluşları üyelikleri olup, ilgi alanları çerçevesinde sanayiye de uzun yıllardır danışmanlık hizmeti vermektedir. Sertifikalı Enerji Yöneticisi olan Dr. Hepbaşlı, İngilizce ve Almanca bilmekte olup, bir kız babasıdır.

### **Emrah BIYIK**

Boğaziçi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2003 yılında lisans derecesini aldıktan sonra, yüksek lisans eğitimine ABD'de devam etmiş ve New York Eyaleti'nde bulunan Rensselaer Polytechnic Enstitüsü'nden 2004 yılında Elektrik Mühendisliği ve 2006 yılında Uygulamalı Matematik Yüksek Lisans derecelerini almıştır. Aynı kurumda Elektrik Mühendisliği alanında doktora çalışmalarını 2007 yılında tamamlamıştır. Sonrasında General Electric firmasının ABD'deki AR-GE merkezinde araştırmacı olarak çalışmış, elektrik şebekeleri, doğalgaz santralleri, uçuş dinamiği ile ilgili birçok projede yer almıştır. 2012 yılından bu yana Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmakta olup, enerji sistemlerinde kontrol ve optimizasyon, akıllı şebekeler, güç sistemleri ve binalarda enerji optimizasyonu konularında çalışmaktadır. TÜBİTAK ve Avrupa Komisyonu 7. Çerçeve Programı destekli çeşitli projelerde araştırmacı olarak görev almış, halen Marie Skłodowska-Curie Fellow olarak Horizon 2020 "BuildingControls" projesinin yürütücülüğünü sürdürmektedir.

### **Mustafa ARAZ**

1986 yılında Karaman'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya'da tamamladı. 2010 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. 2011 - 2013 yılları arasında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini tamamlayarak, Makina Yüksek Mühendisi unvanını aldı. Aynı bölümde doktora eğitimine devam etmekte olup, aynı zamanda Ekim, 2012 itibarıyla Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Çeşitli ulusal (TÜBİTAK ve SANTEZ) ve uluslararası (AB 7. Çerçeve Programı) projelerde bursiyer ve araştırmacı olarak yer almış olup, çalışma konuları arasında termodinamik, soğutma ve ısı pompası sistemleri, alternatif soğutucu akışkanlar, ısı güneş sistemleri, binaya entegre fotovoltaik sistemler (BIPV) ve enerji sistemlerinin ekserjetik analizi yer almakta olup, Sertifikalı Enerji Yöneticisidir.

### **Mustafa Emre EREN**

26 Şubat 1992 İzmir doğumludur. Üniversite eğitimini Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği'nde tamamlamıştır. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Yüksek Lisans yapmaktadır. 2014 yılından itibaren özel sektörde çalışmaktadır. Türkiye'nin değişik illerinde 8,23 MW GES (fotovoltaik güneş enerjisi santrali) projelendirmesinde, fizibilitesinde ve onayında bulunup, 1,4 MW GES kurulumunda çalışmıştır. İlgili alanları, fotovoltaik panel uygulamaları, röle koordinasyon, hata akımları ve ENH (enerji nakil hatları) projelendirmeleri, GES'ler için CBS tabanlı fizibilite çalışmalarıdır. İngilizce bilmektedir.