


# Çukurova Koşullarında Tarımsal İşletme Çatılarında Fotovoltaik Sistemlerin Tekno-Ekonomik Yönden Tasarımı

Mehmet Emin BİLGİLİ<sup>1,\*</sup> 

Adil AKYÜZ<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü- Adana

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Zir. Fak. Biyosistem Mühendisliği Bölümü

\*Sorumlu yazar e-mail (Corresponding author e-mail): eminbilgili@gmail.com

Geliş tarihi (Received): 09.07.2019

Kabul tarihi (Accepted): 19.07.2019

DOI : 10.21657/topraksu.654810

## Öz

Bu çalışmada, Çukurova'daki bazı tarımsal işletmelerin genelde atıl durumda olan çatı kısımlarının fotovoltaik ile faydalı hale getirilmesi suretiyle işletmelerin refah düzeyinin ve ekonomiye katkısının artırılması planlanmıştır.

Çalışmada, günlük tüketimi 150 kWh olan bir işletme için 333 m<sup>2</sup>'lik bir çatının üzerine 50 kWh'lık fotovoltaik sistem kurulması tasarlanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre, sistemin kayıpları %28 ve ekonomik ömrü 20 yıl olarak kabul edilerek, elde edilen enerjinin akümülatörlerde depolanabilir ve depolanamaz olma durumu incelenmiştir. Depolanabilir durumda olursa %46 şebekeden ve %54 fotovoltaikten beslenebileceği; eğer depolanamaz ise %36 fotovoltaikten ve %64 şebekeden besleneceği hesaplanmıştır. Sistem ekonomik yönden irdelenmiş, yıllık banka faiz oranının %10 olduğu ve yıllık enflasyon %7 düzeyinde iken kâra geçiş noktasının 7. yıldan sonra başladığı hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler :** Çukurova, fotovoltaik, tarımsal işletmelerde çatı, tekno-ekonomik

## Techno-Economic Design of Photovoltaic Systems in Agricultural Enterprises in Cukurova Conditions

### Abstract

In this study, it was planned to increase the welfare level of the enterprises and the contribution of them to economy by rendering the idle roofs of agricultural enterprises with photovoltaics in Çukurova Region of Turkey.

In the study, a 50 kWh photovoltaic system was designed on a 333 m<sup>2</sup> roof for an enterprise with a consumption of 150 kWh.days. According to calculations, the losses of the system are assumed to be 28% and the economic life is assumed to be 20 years, and also the energy storable and non-storable conditions of the accumulators has been examined. It is calculated that, it can be fed 46% from the grid and 54% from photovoltaic if energy is storable, thus if energy is not storable it can be fed 36% from photovoltaic and 64% from the grid. The system has been examined from the economic point of view and it was calculated that the profit point will begin after 7 years when annual bank interest rate is at 10% and the inflation point is at 7%.

**Keywords:** Çukurova, photovoltaic, roof in agricultural enterprises, techno-economic

\* TAGEM/TSKAD/15/A13/P08/04 Nolu projeden üretilmiştir.

## GİRİŞ

Günümüzde nüfus ve sanayileşmenin artış oranı ile birlikte elektrik enerjisine olan talepte her geçen gün artmaktadır. Türkiye’de enerji ihtiyacının 3/4’ünün dışa bağımlı olması, yeni alternatifleri gündeme getirmiştir. Özellikle alternatif enerji kaynaklarından olan yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) açısından kontrol edilebilir nitelikte ve çözümler üretilebilir olması, bu nedenle önem arz etmektedir.

YEK arasında yer alan güneş enerjisi, temiz, tükenmez ve kullanımının kolay olması açısından daha cazip hale getirdiğini belirtmektedir (Karafil vd., 2016).

Dünyanın küresel (geotik) şeklienden kaynaklı güneş ışınlarının geliş açısı farklılık gösterir. Buna bağlı olarak fotovoltaiik (PV) güneş enerjisi panel tasarımı planlanan bir yerin bulunduğu koordinatların yıllık güneşlenme değerleri, PV’den elde edilecek enerjiyi doğrudan etkilediğini ifade etmektedir (Thomas ve Fordham 2001).

Güneş hücresi, PV sistemlerde güneş ışığını doğrudan doğru gerilime (DC) dönüştüren en küçük birimdir. Güneş hücreleri seri ve/veya paralel bağlanarak PV modülünü oluşturur. Birleştirme ile de istenilen akım, gerilim ve güç değerleri elde edilebildiğini vurgulamışlardır (Almaktar vd., 2012; Turhan ve Çetiner 2012).

PV paneli, panel yapısındaki yarı iletken malzemeye bağlı olarak güneş enerjisini %6-20 verimle elektrik enerjisine dönüştürür. Düşük verimliliğe etki eden birçok faktör yer almaktadır. Bunlar; panel eğim açısı, gölgelenme, tozlanma, güneş ışınım şiddeti, sıcaklık ve diğer kayıplar olarak gösterilmektedir (Irwanto vd., 2014; Bhol vd., 2015).

Bu faktörler arasında “güneş ışınım şiddeti” ve “sıcaklık” panel verimine etki eden en önemli iki parametredir. Gün boyunca ışınım şiddeti ve sıcaklık değişmesi panel verimini de önemli ölçüde etkilemektedir. Fakat PV panel üretici firmaları kataloglarında laboratuvar ortamlarında gerçekleştirdikleri testler sonucu “Standart Test Koşulları” (STC) olarak adlandırılan 1 000 W.m<sup>2</sup> güneş ışınım şiddeti, 25°C hücre sıcaklığı ve hava kütle oranı (AirMass-A.M) 1.5 şartlarındaki panelin elektriksel değerlerini vermektedirler. STC dışındaki değişimlerde PV’in elektriksel değerleri bilinmemektedir. Değişen atmosferik şartlarda

da PV panelin elektriksel değerlerinin bilinmesi önemlidir. Şebekeden bağımsız ve/veya bağlı sistemlerin tasarımında değişen atmosferik şartlar göz önünde bulundurularak hesaplamaların yapılmasının daha doğru sonuçlar vereceği belirtilmiştir (Karafil 2016; Islam vd., 2014; Besli vd., 2010).

PV’lerin tekno-ekonomik ömürleri 20-30 yıl gibi kabul görülmekte ve finansal analizlerde buna göre hesaplanmaktadır. Ömürleri boyunca tesisin verimliliğindeki küçük değişiklikler kümülatif olarak zaman içindeki etkisi üst düzeylere ulaşmaktadır.

Deniz (2013) yapmış olduğu bir çalışmada, PV verimliliğini üretilen enerjideki kayıpların belirlediği, PV kayıpları kullanılan malzeme, işçilik, çevresel koşullar, tasarım ve daha birçok faktöre bağlı olup bu nedenle uygulamacılar ve yatırımcılar tarafından detaylı analiz edilmesi gerektiği belirtilmektedir.

Türkiye, Güneş enerjisi konusunda şanslıdır. Elektrik üreten PV güneş panellerin sadece ev, işyeri çatıları ile geniş çatı alanına sahip fabrika gibi yerler dışında tarımsal işletme çatılarında da yılda milyarlarca kWh elektrik enerjisi üretilebilir. Türkiye’nin elektrik tüketimi dikkate alındığında bu miktarın önemli olduğunu vurgulamıştır (Türe 2008). Buna bağlı olarak, gelecekte elektrik üretimi için herhangi bir yakıtı bedel ödenmeyecek ayrıca çevre kirliliği açısından karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu düşecektir. Böylece çatıların II. görevi olarak enerji üreten ve daha faydalı hale getirilecektir.

Genel ifade ile çatı, işletmelerde barınağın temel unsuru olmanın yanısıra, doğa koşullarından korumayı sağlaması ayrıca, mekânın tanımlanmasında önemli bir rol alır. Bu çalışma ile PV panellerin yerleştirilmesi için uygun olan, çatıları tanımlamak için bir iş akışı planlanmıştır. Buna göre, değerlendirme kriterleri, çatı tipi, çatı eğimi, çatı alanı, diğer kullanılmayan alanlar, yükseklikleri (gölgelemeye etkili olanlar), gölgelendirme etkileri gibi parametreler dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada, Çukurova’daki bazı tarımsal işletmelerin genelde atıl durumda olan çatılarının PV ile faydalı hale getirilmesi suretiyle, işletmelerin refah düzeyinin yükseltilmesi ve ekonomiye katkısının artırılması incelenmiştir. Bu araştırmanın sonuçları ile PV’in çatıdaki kullanılabilirliği ve

tasarımı açıklanmıştır. Ayrıca konu çalışanlarına faydalı olması hedeflenmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Çukurova'daki bazı tarımsal işletmelerin genelde atıl durumda olan çatı kısımlarının PV uygulaması ve "teknolojik-ekonomik tasarım" ile faydalı hale getirilmesi suretiyle işletmelerin refah düzeyinin ve ekonomiye katkısının artırılması planlanmıştır. Örnek çalışma için seçilen işletmede, enerji tüketimi

150 kWh gün<sup>-1</sup> olan bu amaçla kullanılabilir "tam güneşe bakan" 333 M<sup>2</sup>'lik çatı alanı üzerine 50 kWh kapasiteli bir PV sistemi planlanmıştır. Çalışmada üç farklı materyal değerlendirilmiştir; birincisi PV sistemin teknik yapısı, ikincisi sistemin ekonomisi ve üçüncüsü tasarım aşamasıdır.

"Teknolojik-ekonomik tasarım" başlığı altında şu amaçlar hedeflenmiştir: Çatılarda PV tasarımı, mevcut koşullar ve teknolojik çatı tasarımını gerçekleştirmek, yeni yaklaşımlar ile mevcut durum arasındaki fark, yeni tasarım kararları, tasarımda karar vericilerin enerji korunumu açısından rolü.

### PV sistemin teknik yapısı

PV için enerji kaynağı olarak güneş radyasyonu kullanılmıştır. Dünyaya atmosferden erişen Güneş ışınımı miktarı "güneş radyasyonu" olarak adlandırılır. Bu güneş radyasyon miktarı 1 367 kWh m<sup>-2</sup> sabit değeridir ve yıl içerisinde Dünya'nın eliptik şekli nedeniyle ±%3.3 oranında değişim gösterebilmektedir (Anonim 2017b).

Güneş radyasyonunun Dünya yüzeyine ulaştığı iki farklı yol vardır: doğrudan radyasyon ve yaygın

radyasyon. Güneş ışınlarının yaklaşık %75'i küresel güneş ışınımı olarak Dünya yüzeyine ulaşır. Bu değer, güneş ışınlarına dikey bir yüzey üzerinde yılda metrekaresine başına kilowatt saat [kWh.m<sup>-2</sup>. yıl<sup>-1</sup>] olarak belirtilir. Almanya ve Orta Avrupa için, küresel güneş radyasyonu ortalama değeri, yaz ortasında 900 ila 1 200 kWh.m<sup>-2</sup>.yıl<sup>-1</sup> civarındadır. Çölde (Sahra) ortalama değer 2 500 kWh m<sup>-2</sup>. yıl<sup>-1</sup>'dir. Güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA) verilerine göre Adana ili yıllık güneş radyasyon değerleri Şekil 1.'de verilmiştir (Anonim 2017a).

### PV sistemin enerji üretimi ve hesabı

Hesaplamalar PC ortamında excel ile oluşturulan modüller ile Eşitlik 2.1 esas alınarak hesaplanmıştır:

$$E = A \cdot r \cdot H \cdot PR \quad (2.1)$$

Toplam sistem gücü = r . A (verim \*alan),

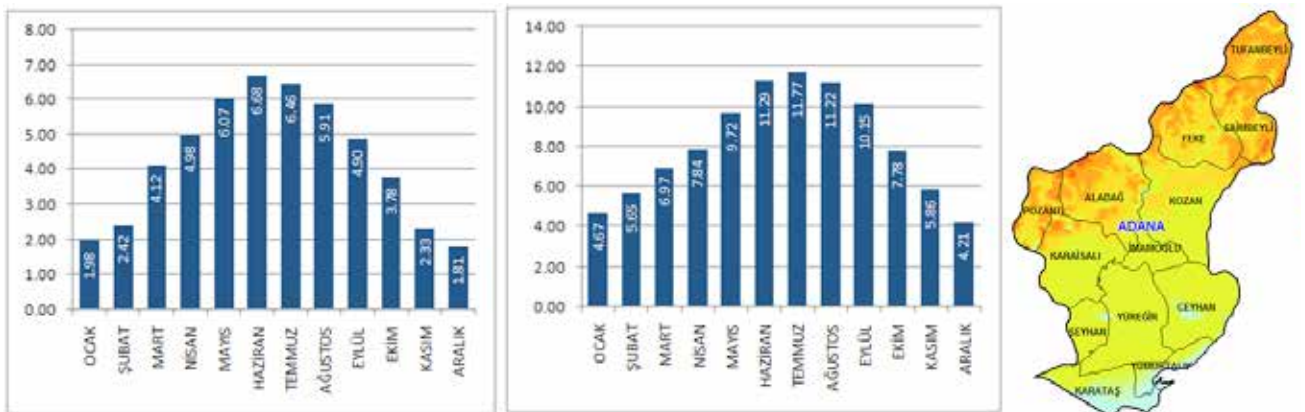
Burada; E = Enerji (kWh), A = Toplam solar panel alanı (m<sup>2</sup>), r = solar panel verimi (%), H = Eğimli panelde yıllık ortalama güneş radyasyonu (ışınımı) (Gölgelendirmeler dahil değildir), PR = Performans oranı, kayıplar için katsayı (0.9- 0.5 arasında, varsayılan = 0.75 dir)

Çalışmada dikkate alınan kayıplar Çizelge 1'de verilmiştir. Bu değerler; sistem ölçüleri, teknolojisi ve bölgeye göre değişiklik gösterir:

$$TOPK=(1-İK)(1-SK)(1-DCK).(1-ACK).(1-GK).(1-ZİK).(1-TK).(1-DK) \quad (2.2)$$

Toplam kayıplar Eşitlik 2.2 ile hesaplanmıştır.

Çalışmada, değerlendirilmeye alınan işletmenin çatısında tam güney yönünde olan ve faydalanılabilen PV amaçlı 333 m<sup>2</sup>'lik çatı üzerine 50 kWh'lık PV sistem kurulması tasarlanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre, sistemin kayıpları



Şekil 1. Adana ili yıllık güneş radyasyon değerleri (GEPA 2017)

Figure 1. Annual solar radiation values in Adana province (GEPA 2017)

**Çizelge 1.** PV Sistem enerji kayıp miktarları  
**Table 1.** PV System energy loss amounts

Enerji kayıp noktaları	%
Invertör kayıpları (IK)	6-15
Sıcaklık kayıpları (SK)	5-15
DC kablo kayıpları (DCK)	1-3
AC kablo kayıpları (ACK)	1-3
Gölgeleme kayıpları (GK) (bölgeye göre değişir)	0-40
Zayıf ışın kayıpları (ZIK)	3-7
Toz, kar vs. kayıpları (TK)	2
Diğer kayıplar (DK)	0-10
Toplam Kayıplar (TOPK)	28

%28 ve ekonomik ömrü 20 yıl olarak kabul edilerek, elde edilen enerjinin akümülatörlerde depolanabilir ve depolanamaz olma durumu hesaplanmıştır. Depolanabilir durumda olursa şebekeden ve PV'den beslenebileceği; eğer depolanamaz ise PV'den ve şebekeden besleneceği durumu hesaplanmıştır.

### Bu çalışmada kullanılan ekonomik değerlendirme yöntemi

PV Sistem ekonomik yönden irdelenmiş, hesaplamalar PC ortamında excel ile oluşturulan modüller ile yapılmıştır. Yıllık banka faiz oranının %10 olduğu ve yıllık enflasyon %7 düzeyinde iken kâra geçiş noktasının kaçınıcı yıldan sonra başladığı hesaplanmıştır. Bu durum, yatırımın 7. yıl sonuna kadar geri ödenebildiğini gösteriyor.

#### Geri ödeme süresi yöntemi

Geri ödeme süresi, yatırımda sarf edilen tüm paranın geri alınması için geçen süredir. Yani yatırım maliyetinin yıllık tasarrufa oranıdır. Eşitlik 2.3 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Geri ödeme süresi (Yıl)} = \frac{\text{Yatırım Tutarı-Hurda değeri}}{\text{Yıllık Kar+Amortisman}} \quad (2.3)$$

#### Net bugünkü değer yöntemi (NBD)

Net bugünkü değer, bir projenin, gelecekteki nakit giriş ve çıkışlarının bugünkü değerleri arasındaki farkın toplamı olarak ifade edilir. Bu değer Eşitlik 2.4 ile hesaplanmıştır:

$$\text{N.B.D.} = \frac{R1}{(1+i)^1} + \frac{R2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{Rn}{(1+i)^n} - C \quad (2.4)$$

Burada; NBD=Net Bugünkü Değer, R1, R2, Rn=Net Nakit Girişleri, i=Marjinal Sermaye Maliyeti (İskonto Oranı), C=Yatırım Harcaması, n=Yatırımın Ekonomik Ömrü.

Buna göre üç alternatif irdelenir, net bugünkü değer pozitif (NBD>0) ise yatırım yapılır, bu değer negatif (NBD<0) ise yatırım yapılmaz. Üçüncü durumda, bu değer sifıra eşit (NBD=0) ise yatırımın diğer üstünlükleri ya da zorunluluklarına göre yatırımcı yatırım kararı verir.

#### İç verim oranı yöntemi

NBD yöntemi gibi paranın zaman değerini ve projenin tüm ömrü boyunca sağlayacağı nakit girişlerini dikkate alır.

İndirgeme oranının (iskonto oranının) hesap yöntemi

İndirgeme oranı, NBD'in düzeyini belirlemektedir. İndirgeme oranı, projeye bağlanan kaynakların zaman içindeki gerçek değerini gösteren orandır. Bu kaynakların, projede kullanılmayıp da başka bir alanda kullanılmaları halinde, sağlayabileceği minimum fayda oranıdır, yani fırsat maliyetidir. Dolayısıyla, indirgeme oranı, bir bakıma, paranın zaman içindeki gerçek değerini yansıtmaktadır. Hesaplanması, şu temel yöntemle yapılmıştır. Öz kaynak dahil olmak üzere tüm kullanılan dış kaynakların (kredilerin) fiili faiz oranları ile beklenen enflasyon (fiyat artış oranı) arasında bağlantı kurulur ve bir anlamda, paranın zamana karşı, ortalama yıpranma oranı Eşitlik 2.5 ile hesaplanır:

$$i = [(1+k)/(1+II)] - 1 \quad (2.5)$$

Burada; i=indirgeme oranı, k= nominal indirgeme oranı (cari faiz oranları),

II = beklenen enflasyon oranını gösterir.

Çalışmada finansal hesaplamada kullanılan diğer parametreler 2.6 ile 2.9 nolu eşitliklerden faydalanılmıştır.

$$\text{Brüt kâr} = \text{Gelirler} - \text{İlk yatırım gideri} - \text{İşletme gideri} - \text{Faizler} - \text{Amortismanlar} \quad (2.6)$$

$$\text{Kurumlar vergisi} = \text{Brüt Kâr} \times \text{Vergi oranı} (\%20) \quad (2.7)$$

$$\text{Net kâr} =$$

$$\text{Brüt Kâr} - \text{Kurumlar vergisi} \quad (2.8)$$

$$\text{Net Nakit Akımı} =$$

$$\text{Net Kâr} + \text{Amortismanlar} -$$

$$\text{İlk Yatırım Gideri} \quad (2.9)$$

#### PV güneş panellerin çatıya tasarımı

PV güneş panelleri çatı üzerine doğrudan konulabileceği gibi çatı malzemesi olarak da

kullanılabilmektedir. Dolayısıyla çatıdan elektrik enerjisi üretilebilir aynı zamanda kaplama fonksiyonunu da yerine getirebilecektir. Bu durum uzun vadede daha ekonomik olacaktır. Bu tip PV güneş sistemlerinin avantajları şöyle sıralanabilir; Çatı kaplama malzemelerinde fiyatların azalması, Çatı mimarisinin temiz ve fark edilir olması, Bakım ve onarım giderlerinin düşük olması (20 yıldan fazla dayanıklılık), Tüketilen elektrik enerjisi faturasına faydası, Düzenli ve sabit voltaj ile elektronik cihazların bozulmalarına önlem, Elektrik enerjisi kesintilerine alternatif çözüm, Çevre koruma ve sosyal sorumluluk çerçevesinde emisyonları azaltma, Bazı yerlerde ısı yalıtımına katkı sağlaması.

PV panelleri Şekil 2'de gösterildiği gibi çatıya montajı tasarlanmıştır.

PV güneş enerjisi sistemleri geneli elektronik parçalardan oluşmakta olduğundan, ayrıca hareketli yani oynar parça bulunmaması nedeniyle tesisattan 30–40 yıl gibi oldukça uzun süre faydalanılabilir. Uzaya gönderilen uydularda bulunan bu sistemler 1960'lı yıllarından beri hala çalışmaya devam etmektedir. Üretici firmaların bazıları PV güneş panelleri için ekonomik ve verimlilik açısından 20 yıl garanti ömrü vermekteler.

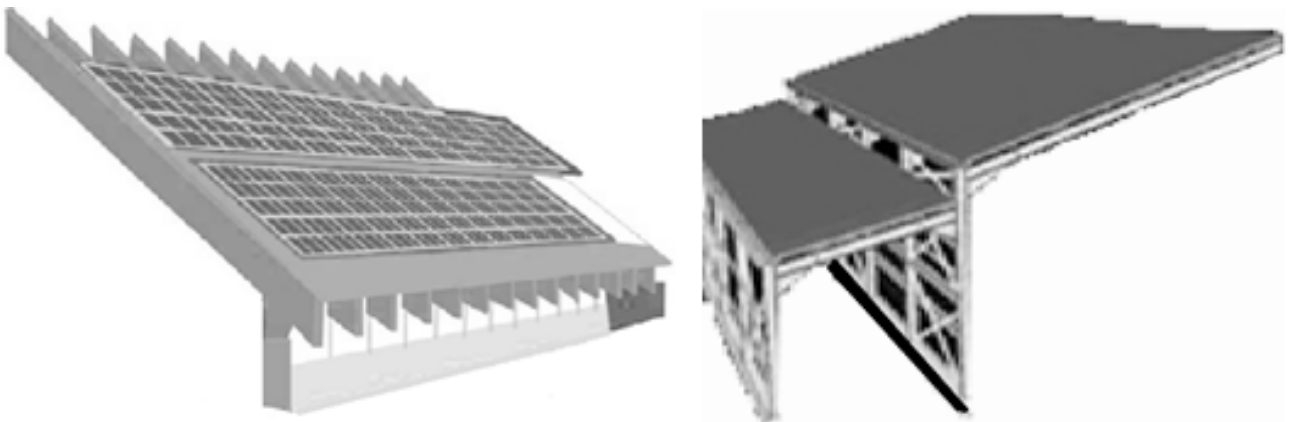
PV güneş panellerinden elektrik enerjisi elde etmek amacıyla, genellikle mevcut bina çatılarına, çatı malzemesi üzerine yerleştirilmektedir. Bunun dışında, geliştirilen ileri teknoloji PV güneş panelleri, günümüzde çatı kaplaması yerine ikame etmektedir. Bu teknoloji çatı kaplama malzemeleri ile elektrik üretebilmekte ayrıca çatının sağlam bir şekilde hava şartlarına karşı

korunumu sağlamaktadır. Ekonomik olarak 40–50 yıl ömürlü bu malzemeler ile yatırımcıların enerji ihtiyacı ekonomik ve sürdürülebilir olarak karşılanabileceği belirtilmektedir (Türe, 2008). PV panellerinin çatıya yerleştirilmesinde; çatıda herhangi bir çalışma için panel yanlarından en az bir kişilik yürüme alanları tasarlanmalıdır. Çatıya monte edilen panellerin çatı altındaki yapıya ısı iletmemesi için panel ile çatı malzemesi arasında hava akımı için gerekli boşluk bırakılmalıdır. Gerekliğinde ısı yalıtımı sağlanmalıdır.

Gelişmiş teknoloji ile üretilen bu tip yapı elemanlarının olumsuz risklerden; yıldırım düşmeleri, elektrik kaçakları ve yangına karşı önlemler alınmaz ve gereken güvenlik kuralları gerektiği gibi uygulanmaz ise sürdürülebilir yapıların sağladıkları tüm avantajlara rağmen yarattıkları tehlike artabilir. Beklenilmeyen tehlikelere karşı önlem alınırsa yeni tasarımlar daha güvenli olacaktır. Topraklama, kablo muhafaza, paratoner, yangın riski ve iş sağlığı-güvenliği vb. tedbirlerinin uygun olarak yapılmalıdır.

Çatı formunun oluşturulmasında etkili etmenler; doğal, yapma, teknolojik, ekonomik, sosyo-kültürel ve hukuksal çevre etmenleri etkili olur. İmarlı yerlerde, ilgili yönetmeliklerde belirtilen ölçüde çatı konstrüksiyon uygulanır. Çatı üstü kullanılmayacak ise eğimli olarak yapılır. Bu eğim iklime, örtü gerecinin cinsine ve çatı arasından yararlanma durumlarına göre tespit edilmektedir.

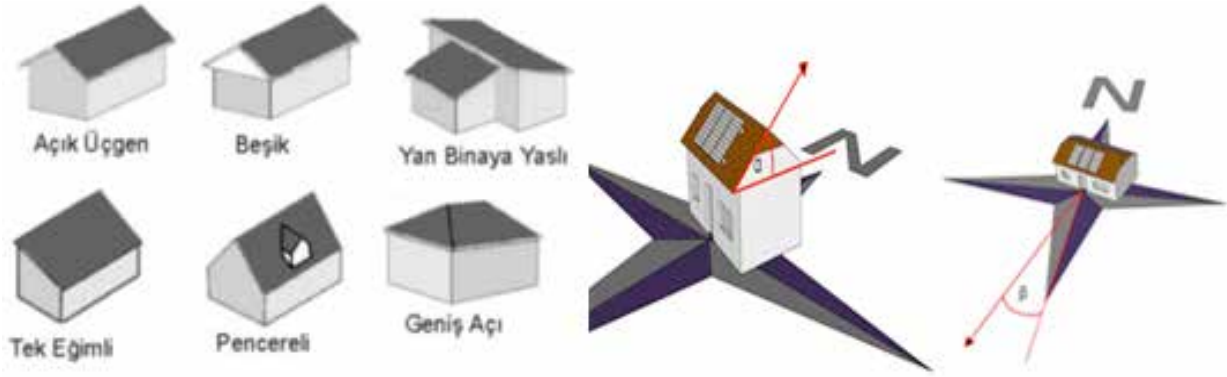
Çatı eğimleri 3 şekilde ifade edilir, açı (°), oran ve yüzde (%) cinsinden ifade edilebileceğini belirtmektedir (Mutlu, 2010).



a) Çatı malzemesi olarak PV entegreli çatı b) Çatı malzemesi üstüne PV monteli çatı  
a) Roof with PV integrated roofing material b) PV-mounted roof on top of roofing material

**Şekil 2.** PV'lerin çatıya montaj edilmesi (a-b) için tasarımın genel görünümü.

**Figure 2.** Overview of the design for the installation of PVs on the roof (a-b).



**Şekil 3.** Yörede yaygın olan çatı tipleri ve eğim ile yöney görünümü  
**Figure 3.** The type of roofs which are common in the region

Eğim derecelerine göre çatılar şu şekilde sınıflandırılırlar: Düz çatılar: eğimi %5'ten az olan çatılar, Az eğimli çatılar: eğimi %5'ten %22'ye kadar olan çatılar, Eğimli çatılar: eğimi %22'den %45'e kadar olan çatılar, Çok eğimli çatılar: eğimi %45'ten fazla olan çatılar, Değişken eğimli çatılar: kubbe, tonoz ve kabuk gibi yüzeylerin eğimleri 0-90° arasında değişen çatılardır. PV -Çatı tasarımında, çatı eğimi ve PV eğimi oryantasyonu ile çatının tam güneşe bakan yüzeyinin alanı bu tip çalışmalar için çok önemlidir. Yörede yaygın olan çatı tipleri ve eğim ile yöney Şekil 3'te verilmiştir.

Çalışmada, Meteoroloji il Müdürlüğü'nden alınan uzun yıllık iklim verilerine göre, bölge; sıcak-nemli olarak kabul görmekte. Ayrıca rüzgâr yükü, güneş radyasyonu rüzgâr yönü, yağış miktarı ve kapalı gün sayısı gibi değerler kullanılmıştır.

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Elde edilen bulgulara göre; çatı tip PV için finansal model durumu incelenmiş (Çizelge 2'de), sistemin girdileri ve çıktıları hesaplanmıştır.

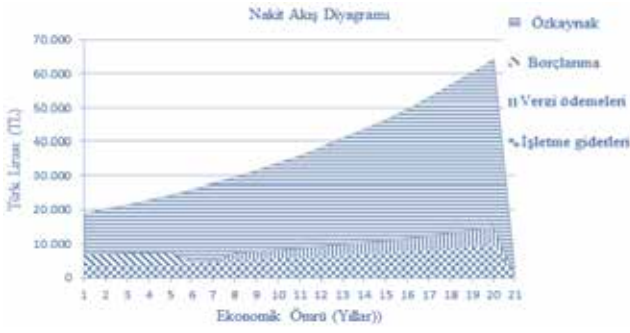
Ayrıca ekonomik boyutu hesaplanmıştır. 50 kWp gücündeki tesisin kendisini 7 yıl içinde finanse edebildiği ve proje iç verim oranı %18.4 olarak hesaplanmıştır.

Nakit akış diyagramı incelendiğinde (Şekil 4.) özkaynak, borçlanma, vergi ödeme ve işletme giderleri sistemin ekonomik ömrüne göre değerlendirilmiştir. Sistem ekonomik yönden irdelenmiş, yıllık banka faiz oranının %10 ve enflasyon %7 düzeyinde iken kâra geçiş noktasının 7. yıldan sonra başladığı hesaplanmıştır. Sistemin ekonomik ömrüne bağlı olarak nakit geri ödeme

diyagramı (Şekil 5) incelendiğinde, ekonomik ömrünün 7.yılda ödemeyi tamamladığı ve kâra geçtiği hesaplanmıştır.

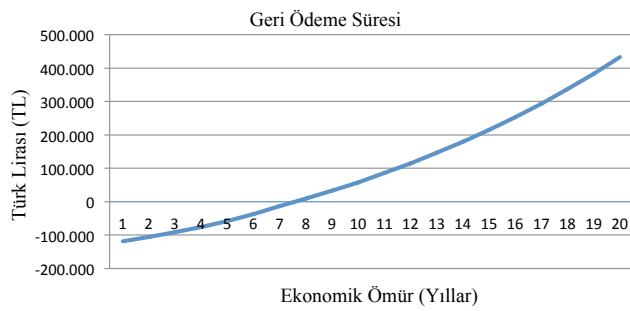
**Çizelge 2.** PV Sistem enerji kayıp miktarları  
**Table 2.** PV System energy loss amounts

Çıktılar		
Toplam kapasite	50	kWp
Yıllık güneşlenme	1 300	kWh.m <sup>-2</sup>
Performans oranı (%)	83	
Yıllık indirgeme (%)	0.3	
Yıllık Üretim (İlk yıl)	53 950	kWh
Kendi kullanım yüzdesi (%)	100	
Gelir ve oranları		
Müşteriye satış tarifesi	0.35	TL.kWh <sup>-1</sup>
Tarife ile beslenme	0.25	TL.kWh <sup>-1</sup>
Vergi oranı (%)	10	
Enflasyon oranı (%)	7	Her yıl için
Yatırım ve kurulum		
Anahtar teslim	2 500	TL.kWp <sup>-1</sup>
Proje geliştirme	5 000	TL
Diğer başlangıç masrafları	500	TL
Giderler		
Bakım (ilk yıl)	25	TL.kWp <sup>-1</sup> Yıllık <sup>-1</sup>
Parça değişimi (İlk yıl)	100	TL.Yıllık
Çatı kiralama	999	TL. Yıllık <sup>-1</sup>
Sigorta primi (%)	0.8	İlk yatırımdan
Finans yapısı		
Toplam Yatırım	130 500	TL
Bankadan alınan nakit faizi (%)	10	
Toplam borç	13 050	TL
Borç maliyeti (%)	10	
Vade	5	Yıl
Özkaynak (%)	90	
Toplam Özsermaye	117 450	TL
Oranlar		
Proje iç verim oranı (%)	18.4	
Yatırımın geri dönüşü	7	Yıl



**Şekil 4.** PV için ekonomik ömre bağlı olarak nakit akış diyagramı

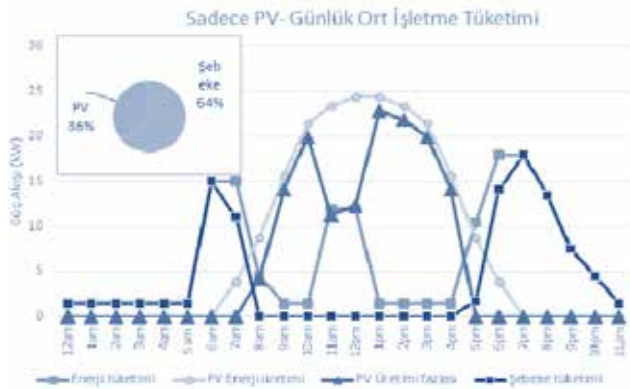
**Figure 4.** Cash flow diagram for PV for economic life



**Şekil 5.** PV için ekonomik ömre bağlı olarak nakit geri ödeme diyagramı

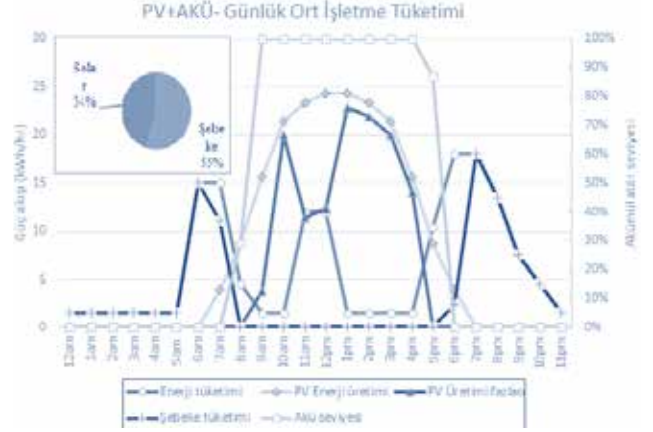
**Figure 5.** Cash repayment diagram based on economic life for PV

PV için depolamasız günlük enerji üretimi ve tüketim diyagramı (Şekil 6) incelendiğinde enerjinin akümülatörlerde depolanamaz olma durumu incelenmiştir. Eğer depolanamaz ise %36 PV'den ve %64 şebekeden besleneceği hesaplanmıştır. PV için depolamasız günlük enerji üretimi ve tüketim diyagramı (Şekil 7) incelendiğinde enerjinin akümülatörlerde



**Şekil 6.** PV için depolamasız günlük enerji üretimi ve tüketim diyagramı

**Figure 6.** Storage-free daily energy production and consumption diagram for PV



**Şekil 7.** PV için depolamalı günlük enerji üretimi ve tüketim diyagramı

**Figure 7.** Daily energy generation and consumption diagram for PV

depolanabilir olma durumu incelenmiştir. Eğer depolanabilir ise %46 şebekeden ve %54 PV'den beslenebileceği hesaplanmıştır.

## SONUÇLAR

Anonim (2017c)'e göre, AB'de 5 cent.kWh<sup>-1</sup> olan sanayi elektrik enerjisi, Türkiye'de 8.6 cent.kWh<sup>-1</sup> sanayiciye, hayvancılık işletmelerinde 11.80-12 cent kWh<sup>-1</sup>, kümes hayvanları çiftliklerinde 7.74 cent.kWh<sup>-1</sup> Bu verilere göre; 200 baş sağmallık 350 baş sığır kapasiteli günde 3 sağım yapan, otomatik sağım sistemi, soğutma tankları, gübre çukuru, dalgıç motoru, karıştırıcısı, sıyrıcı sistemi, derin su kuyusu motorları, hidroforu olan yani son teknolojinin kullanıldığı ve aynı zamanda akıllı sayaç kullanan bir hayvancılık işletmesinin elektrik enerjisi kullanımından doğan fatura aylık ortalama (11.80-12 cent kWh<sup>-1</sup>'e göre) 3 100 TL olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde 150 baş sağmallık 375 baş kapasiteli son teknoloji kullanan bir işletmenin aylık elektrik gideri minimum 4 500 TL iken 80 baş sağmallık otomatik sağım sistemi olan bir işletmenin aylık elektrik gideri 1 200-1300 TL civarında olduğu belirtilmiştir.

Harputlugil (2009)'e göre Avrupa Birliği (AB) binaların enerji performansı" ile ilgili direktifi, 16/12/2002'de resmi yayın olarak yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Buna göre; enerji performansının tanımlanması, enerji tüketimleri ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının değerlendirilmesi, bina enerji ihtiyacının belirlenmesi için CO<sub>2</sub> değerlendirmeye, tüm ısı kayıp ve kazançlarını, ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacının hesaplanmasına, bu bağlamda

10'dan fazla standart daha hazırlanmıştır. Bu standartlar, aydınlatma, havalandırma, iklimlendirme sistemlerinin enerji tüketimlerini belirlemek ve hesaplamak amaçlıdır.

Elektrik enerjisi günümüzde su, yol gibi mecburi bir ihtiyaç olmuştur. İşletmeler için uygun ve ucuz enerji kaynağı araştırılması bunun dışında karar vericilerin Türkiye hayvancılık işletmelerini ve tavukçuluk sektörünü hem tarife seçenekleri kullanmaları hem de Katma Değer Vergisini (KDV) aşağı çekerek desteklenmeleri bekleniyor.

Yörede bazı tarımsal işletmelerde çatı yüzeyinin başka amaçlı kullanılabilir nitelikte olması, düz çatıların tercih sebebi olmuştur. Ancak iklim koşullarından kaynaklı düz çatılarda su ve ısı yalıtımı uygulanmalıdır. Barınaklarda bu etkenler daha da önemlidir.

Çatı eğiminin belirlenmesinde dört etkili faktör vardır. Bunlar; hukuksal yasalar, tasarım kriterleri, çevreye uygunluk ile iklimsel faktörlerdir. Yörede, çatı eğimini etkileyen iklimsel faktörler, yağış, sıcaklık ve rüzgâr etkisi olarak belirlenmiştir.

Çatı yapı malzemelerinde gelinen noktada, çok düşük ve yüksek eğimli çatılar, farklı eğimlerde çatıların yapılmasına uyumlu değişik malzemeler pazarda mevcuttur. Çatı eğimi artık günün koşullarına ve ihtiyaca göre dizayn edilebilmelidir. Bu nedenlerden dolayı çatı eğimlerinin tekniğe uygun belirlenmeli, faydalı hale getirilerek ve yapı kalitesi artırılarak uygulanmalıdır. Çatılarda elektrik üretimi ihtiyacının ve doğal havalandırmanın ön plana çıktığı yerlerde buna göre tasarım yapılması uygun olabilir.

Türe (2008)'ye göre Türkiye'de PV güneş panellerin sadece bazı ev, işyeri ile fabrika çatıları gibi yerlerde kullanılması ile yılda tahmini 40.10<sup>9</sup> kWh elektrik üretilebileceğini belirtmektedir. Türkiye'nin elektrik tüketiminin 2007 itibarıyla yılda yaklaşık 190.109 kWh olduğu göz önüne alındığında bunun kesinlikle önemli bir miktar olduğu açıktır. Ayrıca, önümüzdeki yıllarda elektrik üretimi için herhangi bir yakıtı para ödenmeyeceği gibi CO<sub>2</sub> emisyonu düşecek ve çevre kirliliği de azalacağını belirtmiştir.

Mutlu (2010)'ya göre, çatı sistemi tasarım süreci için esas olan beş girdi önerilmektedir: kullanıcı gereksinimleri, dış etmenler, performans gereksinimleri ve analizi, malzeme bileşeni ile önlemler ve özellikleri olarak gruplandırılır.

Kullanım açısından; çatının güvenli olması, dayanaklı, güneş ışınlarını yansıtma, suyu geçirme, kolay alev almama, yağışma terleme, kimyasal ayrışma olmaması, enerji tüketimi, CO<sub>2</sub> salınımı, yanmaz malzeme, malzemenin mukavemeti vs. kuvvetlerdir.

Sonuç olarak; atıl olan çatılarda elektrik üretimi için yasal kısıtlar ve başka olumsuz bir durum yok ise uygun olan bir tasarım ile bu gibi yerler ekonomiye kazandırılabilir. Çatının tam güneye bakan kısmı meteorolojik koşullara uygun olması ve diğer olumsuzlukların minimize edilmesi durumunda yörede atıl durumda olan çatıların ekonomiye kazandırılması uygun bir planlama ile gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada, 333 m<sup>2</sup>'lik bir çatının üzerine 50 kWh'lık PV sistem kurulması tasarlanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre, sistemin kayıpları %28 ve ekonomik ömrü 20 yıl olarak kabul edilerek, elde edilen enerjinin akümülatörlerde depolanabilir ve depolanamaz olma durumu incelenmiştir. Depolanabilir durumda olursa %46 şebekeden ve %54 PV'den beslenebileceği eğer depolanamaz ise %36 PV'den ve %64 şebekeden besleneceği hesaplanmıştır. Sistem ekonomik yönden irdelenmiş, yıllık banka faiz oranının %10 olduğu ve yıllık enflasyon %7 düzeyinde iken kâra geçiş noktasının 7. yıldan sonra başladığı hesaplanmıştır.

## KAYNAKLAR

Anonim (2017a). "Adana Global Radyasyon Değerleri, Güneşlenme Süreleri, PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji". <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/1.aspx> Erişim: Temmuz 2017.

Anonim (2017b). Solar radiation. [http://www.enerpoint.co.uk/photovoltaic\\_technology\\_1.php](http://www.enerpoint.co.uk/photovoltaic_technology_1.php) Erişim: Temmuz 2017.

Anonim (2017c). "Hayvancılık İşletmelerinde Kullandığımız Elektrik Enerjisi ve Tarifelerdeki Farklılıklar" <http://tarimbilgibankasi.com/Yazi/2017/Hayvancilik-Isletmelerinde-Kullandigimiz-Elektrik-Enerjisi-v.aspx> Erişim: Haziran 2017.

Almaktar M, Rahman H A. ve Hassan M Y (2012). "Effect of losses resistances, module temperature variation, and partial shading on PV output power", Power and Energy (PECon), IEEE International Conference on. IEEE, 360-365.

Besli N, Aktacir MA, Yeşilata B (2010). "Fotovoltaik panellerin gerçek arazi koşullarında test ve karakterizasyonu", Engineer & the Machinery Magazine, 51(601), 21-28.

Bhol R, Pradhan A, Dash R, Ali SM (2015). "Environmental effect assessment on performance of solar PV panel", Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2015 International Conference on. IEEE, 1-5.



Deniz E (2013). "Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar" III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri. İzmir.

Harputlugil GU (2009). "Enerji Performansı Öncelikli Mimari Tasarım Sürecinin İlk Aşamasında Kullanılabilecek Tasarıma Destek Değerlendirme Modeli". Doktora Tezi Mimarlık Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

Irwanto M, Irwan YM, Safwati I, Leow WZ, Gomesh N (2014). "Analysis simulation of the photovoltaic output performance", Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 2014 IEEE 8th International. IEEE, 2014, 477-481.

Islam M, Rahman M Z, Mominuzzaman SM (2014). "The effect of irradiation on different parameters of monocrystalline photovoltaic solar cell", Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), 3rd International Conference on the IEEE, 1-6.

Karafil A, Özbay H, Kesler M (2016). Sıcaklık ve Güneş Işınım Değişimlerinin Fotovoltaik Panel Gücü Üzerindeki Etkilerinin Simülasyon Analizi. EEB 2016 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Tokat.

Mutlu A (2010). "Fotovoltaik Çatı Sistemlerin Tasarımı için Bir Model Mimarlık". Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Yük. Lis. Tezi İTÜ Fen Bilimleri Ens. İstanbul.

Thomas R, Fordham M (2001). "Photovoltaics and Architecture", Spon Press, London and New York.

Turhan S, Çetiner İ (2012). "Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi". 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi. Bursa.

Türe İE (2008). "Çatı Malzemesi Olarak Güneş Enerjisi Sistemleri" 4. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler" Sempozyumu, İstanbul.