

Ankara’da teras çatılarda kurulacak fotovoltaik sistemler için optimum eğim açısının belirlenmesi

BETÜL BEKTAŞ EKİCİ^{1*}

ÖZET

Teras çatılarda konumlandırılan fotovoltaik sistemler, yardımcı strüktürler yardımıyla güneş ışınlarının yerküreye geliş durumlarına göre farklı eğim açılarına ayarlanma esnekliği sağlarlar. Bu çalışmanın amacı, Ankara’da bir binanın teras çatısına 250 m²’lik alanda kurulduğu varsayılan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin performansının değerlendirilmesidir. Fotovoltaik sistemin enerji çıkışı için gerekli hesaplamalar PVsyst 6.2.6 paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda Ankara iline ait kullanılan toplam ve yayılı güneş ışınımı, dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı değerleri Meteonorm programından elde edilmiştir. Panel eğim açısının aylık, mevsimlik ve yıllık optimum değerleri tespit edilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

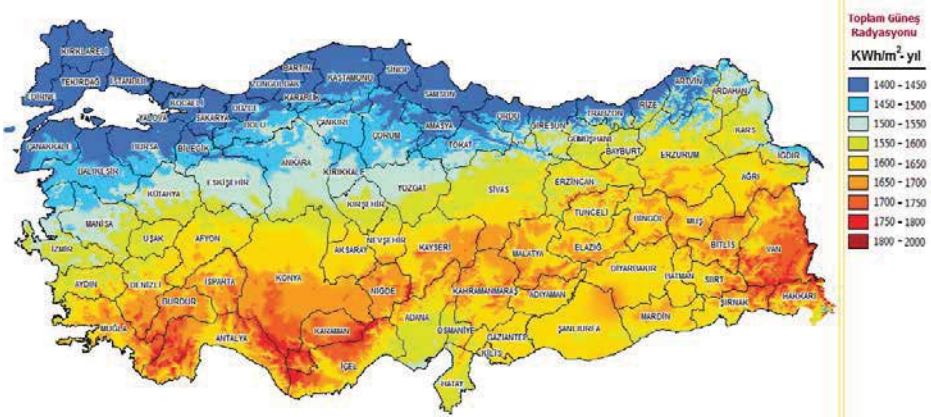
Anahtar Sözcükler: optimum eğim açısı, PVsyst, fotovoltaik, teras çatı

¹ Fırat Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 23119, ELAZIĞ; Tel: (0424)2370000-5575; bbektas@firat.edu.tr

1. GİRİŞ

Kaynakların aşırı kullanımı ve artan yüksek talepler enerjinin verimli kullanımı ve yenilenebilir enerji tabanlı çalışmaların hızlanmasına yol açmıştır [1]. Güneş enerjisi yenilenebilir kaynaklar arasında en bol olanıdır. Türkiye bulunduğu konum itibarıyla güneş enerjisi açısından elverişli bir konumdadır. Türkiye güneş haritası [2] ortalama güneş ışınımının yılda 1400 ile 2000 kWh/m² arasında değiştiğini ifade etmektedir (Bkz. Şekil 1). Güneş enerjisi endüstrisinin hızla büyümesi ile fotovoltaiik sistemlerin önemi de son yıllarda büyük ölçüde artmıştır. Bu açıdan bakıldığında güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmede kullanılan fotovoltaiik sistemler sürdürülebilir bina tasarımı konusunda en ümit verici yenilenebilir enerji teknolojilerinden biri olarak görülmektedir[3]. Kullanımı süresince çevreyle dost olması ve sera gazlarının açığa çıkmasına fırsat vermemesi de sistemin en önemli avantajları arasındadır [4].

Dünyanın pek çok bölgesinde gerek binalarda, gerekse güneş tarlalarında elektrik üretiminde kullanılan bu teknoloji, ülkemizde yeni rağbet görmeye başlamış ancak ilk yatırım maliyetlerinin yüksekliği ve gerekli bilgilendirme çalışmalarının eksikliği nedeniyle yaygınlaşmamıştır.



Şekil 1. Türkiye güneş haritası [2]

Ülkemizde PV sistemlerin çalışma prensipleri, teknolojileri ve örnek uygulamalar ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur. Kacira vd. [5], Şanlıurfa koşullarında PV güneş panellerinin optimum eğim açısını belirlemek için eğimli yüzeyler üzerine gelen güneş ışınımını hesaplamış, sonuç olarak yıl

boyunca en düşük eğim açısının 13° (Temmuz ayında) ve en yüksek eğim açısının 61° olarak (Aralık ayında) tespit etmişlerdir. İzgi ve Akkaya [6], İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Parkı'nda kurulan 750 Wp gücündeki PV sistemin eksergo-ekonomik analizini gerçekleştirdikleri çalışmada sistemin farklı hava koşullarından ne şekilde etkilendiğini değerlendirmişlerdir. Kesler vd [7] Manavgat için kış şartlarında iki eksenli güneş takip sistemine sahip bir PV kurulumu ile sabit-açılı bir PV sisteminin kış koşullarındaki ölçülen performanslarını karşılaştırmış ve Manavgat için elektrik enerjisi üretimi potansiyelini tespit etmişlerdir. Çağlayan vd. [8] 22 yıllık meteorolojik veriyi kullanarak şebeke bağlantılı 0.2, 0.5, 1, 3, 5 ve 10 MW'lık fotovoltaik güç kurulumunun Türkiye'de uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Çelik [9], Türkiye'de şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemin tekno-ekonomik uygulanabilirliğini ana enerji kaynağı fotovoltaik sistem olan ve Ankara'da bulunduğu varsayılan bir konut üzerinden değerlendirmiştir.

Bu çalışmanın amacı $39^\circ.56'$ kuzey enleminde ve $32^\circ.53'$ doğu boylamında yer alan Ankara'da bir binanın 250 m²'lik teras çatısında kurulacak şebeke bağlantılı PV sistemin yıllık performansının belirlenmesi ve PV modüllerin optimum eğim açısının tespit edilmesidir. Benzetimlerde kullanılan Ankara iline ait yatay düzlem üzerine gelen tüm ve yayılı güneş ışınlamı (W/m²), dış sıcaklık (°C) ve rüzgar hızı (m/s) değerleri Meteoronorm [10] yazılımından elde edilmiştir. PV kurulumuna ait benzetimler PVsyst 6.2.6 [11] yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Optimum eğim açısının aylık, mevsimlik ve yıllık durumlarına ait elde edilen elektrik enerjisi üretim miktarları tespit edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. PVsyst

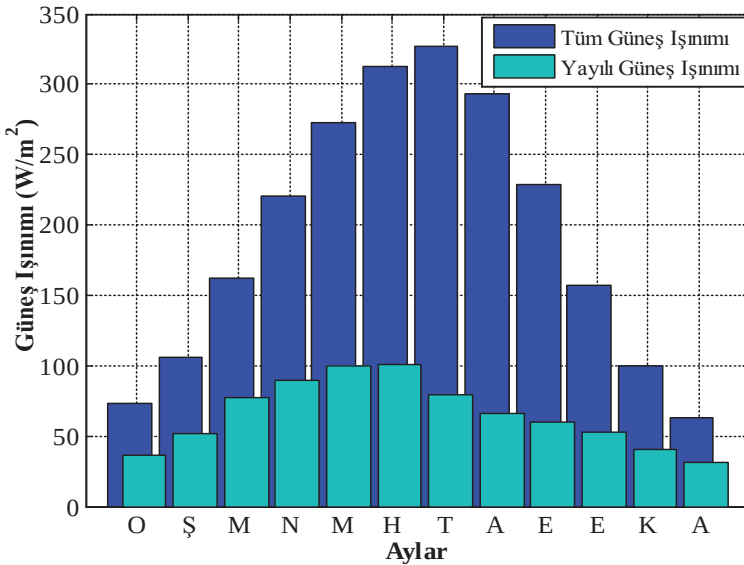
PVsyst 6.2.6 mimar, mühendis ve araştırmacılara fotovoltaik sistemler ile ilgili çalışma ve tasarım yapma fırsatı sunan bir benzetim programıdır. Geneva Üniversitesi (İsviçre) tarafından geliştirilen program aracılığıyla şebeke bağlantılı, bağımsız ve pompalama sistemlerine ait benzetimler yapılabilmektedir. Tek diyot modelini temel alan PVsyst, basitleştirilmiş ve detaylı analizleri gerçekleştirebilecek kapasitededir. Program meteorolojik ve coğrafik verileri bulunduran bir veritabanını içerdiği gibi, kullanıcı tarafından bu bilgilerin manuel olarak yüklenmesine de fırsat tanımaktadır. Zengin veri tabanı piyasada mevcut olan ve üretimden kaldırılmış çok sayıda

PV modül, inverter ve batarya seçeneği sunmaktadır. Yapılan benzetim sonucunda verilen detaylı rapor sayesinde sistemdeki kayıplar açıkça görülmekte ve mevcut proje üzerinden düzeltmeler yapılması mümkün olmaktadır.

3. ÖRNEK FOTOVOLTAİK SİSTEM

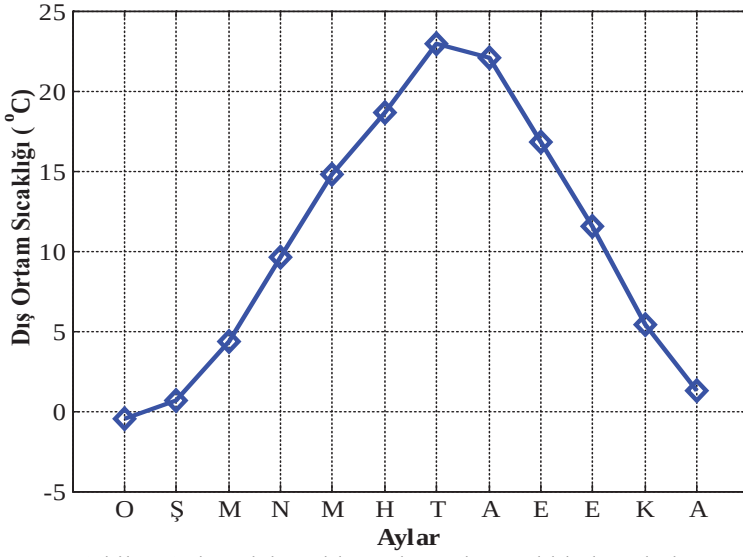
Benzetimi yapılan örnek PV kurulumunun Ankara coğrafi ve iklimsel koşullarında bir binanın teras çatısında konumlandırıldığı varsayımından yola çıkılmıştır. Teras çatılar sistem kurulumunda destekleyici strüktürler sayesinde PV panellerin eğimlerinin kolaylıkla değiştirilmesinde esneklik sağladığı için tercih edilmiştir. Çünkü bina düşey yüzeyleri ile eğimli çatı yüzeyleri üzerinde gerçekleştirilen montajla ilave detay ve maliyet gerektirmektedir.

PV sistem kurulumu için teras çatıdaki uygun alan 250 m^2 olarak belirlenmiştir. PV modüllerinden azami derecede istifade edebilmek için güneye yönlendirildikleri (azimut açısı $\gamma=0^\circ$) düşünülmüştür. Meteonorm programı ile elde edilen yatay yüzeyler üzerine gelen tüm ve yayılı güneş ışıınımı ve benzetimlerde kullanılan dış ortam sıcaklık ve rüzgar hızı değerleri sırasıyla Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.

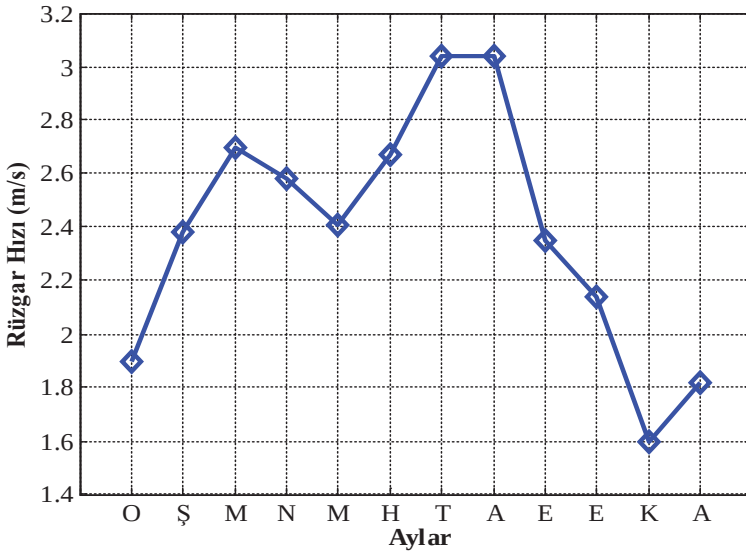


Şekil 2. Ankara için aylık ortalama güneş ışıınımı değerleri

Hesaplamalarda güneş ışınlımı yutma katsayısı 0.9 (birimsiz), ısı kayıp faktörü ise sabit olarak $29 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak alınmıştır.



Şekil 3. Ankara için aylık ortalama dış sıcaklık değerleri



Şekil 4. Ankara için aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

Piyasada çok sayıda farklı teknoloji kullanan ticari PV modülü bulunmaktadır. %13-%17 arasındaki yüksek verimleri ve diğer teknolojilerden daha düşük maliyetli olmalarından dolayı bu çalışmada mono-kristal silikon teknolojisi ile oluşturulmuş PV modüller tercih edilmiştir. PV kurulumu 14 sıra, 18 adet seri bağlı toplam 252 modülden oluşmaktadır. Çalışmada kullanıldığı varsayılan PV modül ve inverterlere ait teknik bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

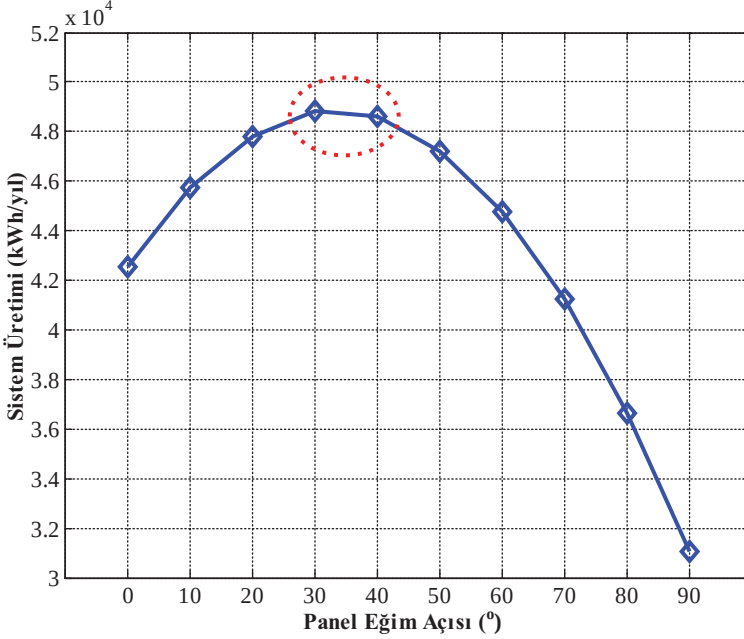
Tablo 1. PV modül ve inverterlerin teknik özellikleri [11]

PV Paneli		İnverter	
Üretici	Sunworld	Üretici	Solar Max
Model	QSM 125-120X	Model	SolarMax 15MT3
Güç	120 Wp	Güç	300 W
Verim	%12.15	Verim	% 98
V_{oc}	32.70 V	Min MPP	250 V
I_{sc}	4.89 A	Maks MPP	750 V
V_{mpp}	26.70 V	Maks PV Gerilimi	900 V
I_{mpp}	4.49 A	Şebeke Gerilimi	400V
μ_{ISC}	4.4 mA/°C	Tip	3 fazlı
R_{sh}	350 Ω	Frekans	50 Hz
R_s	0.536 Ω	Derinlik	550 mm
Uzunluk	1218 mm	Yükseklik	200 mm
Genişlik	812 mm	Genişlik	750 mm

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Fotovoltaik panel eğim açısının PV kurulumlarının enerji çıkışları üzerindeki etkisi Ankara’da bir binanın teras çatısında kurulduğu varsayılan bir PV sistem üzerinden değerlendirilmiştir. Eğim açısının yıllık, mevsimlik ve aylık optimum değerlerinin tespit edilebilmesi amacıyla iki aşamalı bir hesaplama gerçekleştirilmiştir.

PV kurulumlarının elektrik enerjisi çıkışlarının PVsyst 6.26 paket programı ile hesaplandığı çalışmada öncelikle 10 farklı panel eğim açısı için sistemin yıllık elektrik enerjisi üretim potansiyeli belirlenmiştir. 0°’den 90°’ye kadar değişen panel eğim açıları için elde edilen sonuçlar Şekil 5’te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere maksimum elektrik enerjisi üretimini sağlayan optimum eğim açısı 30° ile 40° arasında yer almaktadır. Optimum eğim açısının kesin olarak belirlenebilmesi amacıyla bu aralıkta ikinci bir tarama daha gerçekleştirilmiştir.

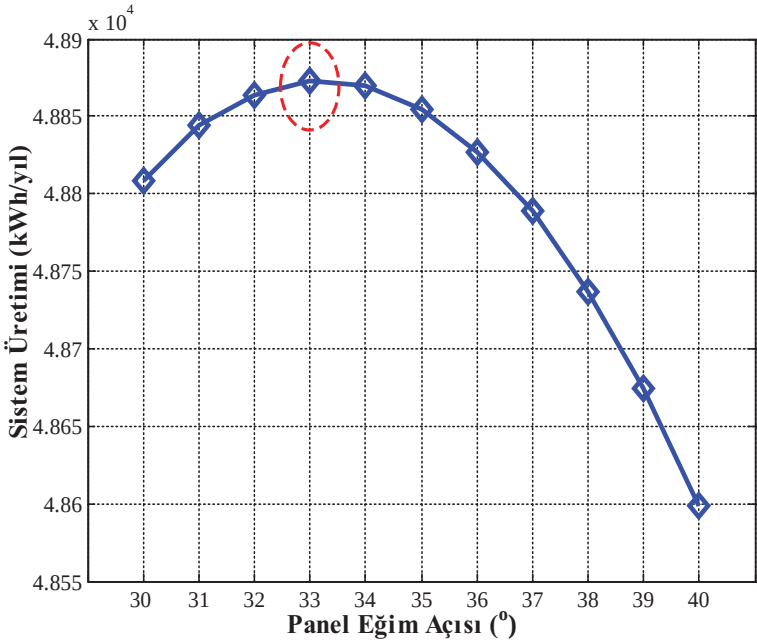


Şekil 5. 0° ile 90° arasında yapılan optimum panel eğim açısı taraması

30° ile 40° arasında 1'er derecelik aralıklarla gerçekleştirilen bu taramanın sonucunda ise Ankara ili için yıllık optimum eğim açısının 33° olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 6). Bu durumda sistemden elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı yıllık 48872 kWh olmaktadır. Literatürde optimum eğim açısının bulunulan bölgenin enlemi ile aynı olduğu yönünde sonuçlar ortaya koyan çalışmalar [12-13] olmasına rağmen bu durum gerçekleştirilen benzetimlerle Ankara için doğrulanamamıştır.

Panel eğimlerinin aylık olarak değiştirilebileceği varsayımı ile örnek PV sistemin 0° ile 90° arasındaki her 10°'lik eğim açısı için aylık enerji üretimi miktarları Tablo 2'de verilmiştir. Tablo üzerinde her bir ay için maksimum elektrik enerjisi üretiminin gerçekleştiği panel eğimleri farklı renklerle vurgulanmıştır. Bu tablodan yola çıkarak kış aylarında güneş ışınlarının yerküreye eğik gelmesiyle birlikte maksimum güneş enerjisinin eğim açılarının 50° ile 60° civarında olması gerektiği, yazın ise yerküreye dik olarak gelen güneş ışınlarından maksimum fayda sağlayabilmek amacıyla panellerin mümkün olduğunca yatık (0° ile 20° arasında) tutulması gerektiği görülmektedir. Bahar aylarında ise güneşin konumuna bağlı olarak 30° ile 40° civarında olmaktadır. Tablodaki gibi PV modüller her ay için en yüksek

elektrik enerjisi çıkışını veren açı değerlerine ayarlandığında yıllık elektrik enerjisi üretimi 51185 kWh olmaktadır. Yıllık optimum eğim açısının seçildiği duruma göre 2313 kWh daha fazla enerji elde edilmektedir.

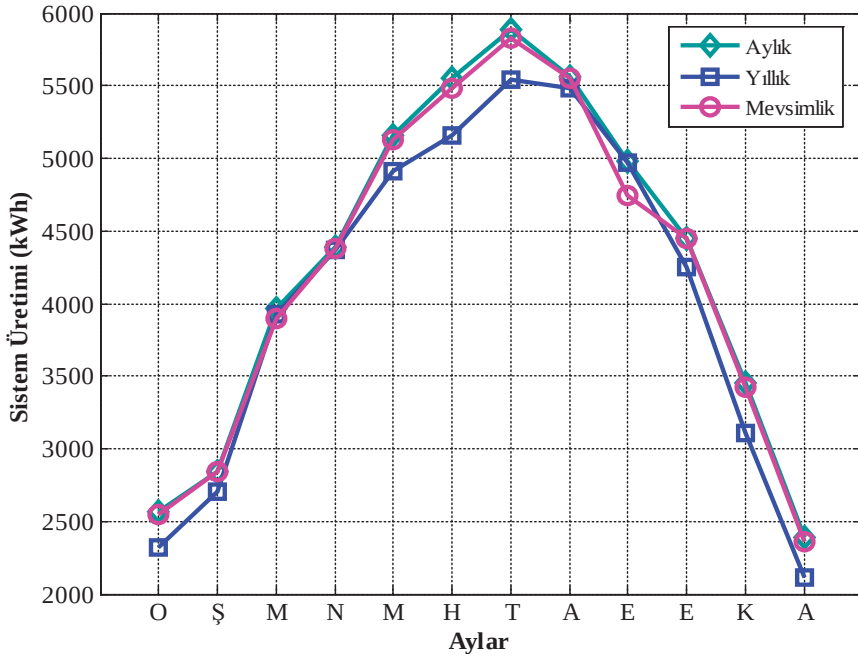


Şekil 6. 30° ile 40° arasında yapılan optimum panel eğim açısı taraması

Tablo 2. Farklı eğim açıları için aylık elektrik enerjisi üretimi (kWh)

Aylar	Panel Eğim Açısı									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
O	1419	1759	2043	2268	2429	2528	2564	2537	2449	2298
Ş	1900	2217	2472	2661	2783	2838	2827	2748	2605	2394
M	3184	3513	3754	3904	3961	3927	3803	3589	3288	2899
N	4092	4289	4389	4392	4295	4101	3818	3443	2982	2440
M	5082	5153	5112	4976	4729	4383	3936	3399	2779	2090
H	5555	5555	5449	5242	4914	4477	3948	3320	2607	1858
T	5859	5891	5810	5627	5302	4847	4301	3639	2874	2029
A	5264	5472	5560	5519	5349	5044	4629	4094	3443	2684
E	4117	4515	4792	4948	4984	4902	4704	4388	3951	3396
E	2982	3490	3892	4186	4371	4448	4418	4280	4034	3677
K	1868	2334	2724	3033	3258	3397	3451	3420	3304	3101
A	1206	1541	1825	2053	2224	2336	2388	2381	2314	2188

Panel eğim açılarının aylık olarak değiştirilmesinin pratik olmadığı literatürde bazı çalışmalarda ifade edilmektedir. Bu durumda ise panel eğimlerinin mevsimlik olarak değiştirilmesi söz konusu olabilir. Ankara ili için mevsimlik optimum eğim açıları tespit edilirken; yaz mevsimi için Nisan-Eylül dönemine ve kış mevsimi için ise Ekim-Mart dönemine ait aylık optimum eğim açılarının aritmetik ortalamaları alınmıştır. Yaz mevsimi için optimum eğim açısı $18^{\circ}.33'$, kış ise optimum eğim açısı $53^{\circ}.33'$ olarak hesaplanmış ve yıllık üretilen elektrik enerjisinin 50633 kWh olacağı belirlenmiştir. Örnek sistemin aylık, mevsimlik ve yıllık optimum eğim açıları için aylık üretebileceği elektrik enerjisi miktarları Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Optimum eğim açısının aylık, mevsimlik ve yıllık durumları için aylık elektrik enerjisi üretimi

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Ankara coğrafi ve iklimsel koşullarında bir binanın teras çatısında kurulduğu varsayılan şebeke bağlantılı bir PV sistemin performansı

ve sistemden maksimum fayda sağlanabilmesi için panel optimum eğim açıları tespit edilmiştir.

Ankara ili için optimum eğim açısı 33° olarak tespit edilmiştir. Ancak eğim açısının yaz dönemi için $18^\circ.33'$ ve kış dönemi için de $53^\circ.33'$ olarak ayarlanması ile % 3.6 daha fazla elektrik enerjisi üretimi mümkün olmaktadır. Çok pratik olmamakla birlikte panel eğimlerinin aylık olarak değiştirilmesi ile yıllık duruma göre % 4.7 daha fazla enerji sağlanabilmektedir. Bütün bunlara ilave olarak panel türünün değiştirilmesi ve sistemde yapılacak iyileştirmelerle ön kayıplar ve inverter kayıplarının azaltılmasıyla üretilen enerji miktarının artırılması da mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Sanchez, E. ve Izard, J. (2015). Performance of photovoltaicsin non-optimal orientations: An experimental study. *Energy and Buildings*, 87, 211-219.
- [2] Türkiye güneş haritası: <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> adresinden 18.03.2015 tarihinde edinilmiştir.
- [3] Saber, E.M., Lee S.E., Manthapuri, S., Yi, W. ve Deb, C. (2014). PV (photovoltaics) performance evaluation and simulation-based energy yield prediction for tropical buildings. *Energy*, 71, 588-595.
- [4] Said, M., EL-Shimy, M. ve Abdelraheem, M.A. (2015). Photovoltaics energy, improved modeling and analysis of the levelized cost of energy (LCOE) and grid parity- Egypt case study. *Sustainable Energy Technologies and Assesments*, 9, 37-48.
- [5] Kacira M., Simsek M., Babur Y. ve Demirkol S. (2004). Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey. *Renewable Energy*, 29(8), 1265-1275.
- [6] İzgi, E. ve Akkaya, Y.E. (2013). Exergoeconomic analysis of a solar photovoltaic system in İstanbul, Turkey. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 21, 350-359.
- [7] Kesler, S., Kıvrak, S., Dinçer, F., Rüstemli, S., Karaaslan, M., Ünal, E. ve Erdiven, U. (2014). The analysis of Power and system installation in Manavgat, Turkey - A case study in winter season. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 671-680.
- [8] Çağlayan, N., Ertekin, C. ve Evrendilek, F. (2014). Spatial viability analysis of grid- connected photovoltaic power systems for Turkey. *Electrical Power and Energy Systems*, 56, 270-278.
- [9] Çelik, A.N. (2006). Present Status of Photovoltaic energy in Turkey and life cycle techno-economic analysis of a grid connected photovoltaic-house. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10, 370-378.

- [10]Meteonorm: <http://meteonorm.com/>. adresinden 18.03.2015 tarihinde edinilmiştir.
- [11]PVsyst: <http://www.pvsyst.com> adresinden 18.03.2015 tarihinde edinilmiştir.
- [12]Pavlovic, T., Pavlovic, Z., Pantic, L. ve Kostic, L. J., “Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Nis, Serbia”, Contemporary Materials, ISSN: 1986-8677, I (2):151-156 (2010).
- [13]Fletcher G. The electrician’s guide to photovoltaic system installation. NY, USA: Delmar: Cengage Learning, 2014.