

II. OTURUM

- DİYARBAKIR İLİ İÇİN GÜNEŞ ENERJİSİ AÇISINDAN
METEOROLOJİK VERİLERİN ÖLÇÜLMESİ VE ANALİZİ
Hibetullah KILIÇ - Dicle Üniversitesi
Bilal GÜMÜŞ - Dicle Üniversitesi
Musa YILMAZ - University of California
- FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER
Yeliz YOLDAŞ - Abdullah Gül Üniversitesi
Ahmet TEKE - Çukurova Üniversitesi
- ADIYAMAN İLİNDE GÜNEŞ BACASI SİSTEMİNDEN ELEKTRİK
ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ
Yasin İÇEL - Adıyaman Üniversitesi
Abdulcelil BUĞUTEKİN - Adıyaman Üniversitesi
M.Salih MAMIŞ - İnönü Üniversitesi
- FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE EVİRİCİ TOPOLOJİLERİNİN
SİSTEM PERFORMANSINA OLAN ETKİLERİ
Özgür ÇELİK - Adana Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi
Hatice Başak YILDIRIM - Adana Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi
Ahmet TEKE - Çukurova Üniversitesi
- ARAZİ TİPİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ TASARIMI
Orhan TOY - İstanbul Teknik Üniversitesi
Canan KARATEKİN - İstanbul Teknik Üniversitesi



DIYARBAKIR İLİ İÇİN GÜNEŞ ENERJİSİ AÇISINDAN METEOROLOJİK VERİLERİN ÖLÇÜMESİ VE ANALİZİ

Hibetullah KILIÇ¹, Bilal GÜMÜŞ², Musa Yılmaz³

Hibetullah.kilic@dicle.edu.tr, bilgumus@dicle.edu.tr, musayilmaz@ucla.edu

1 Dicle Üniversitesi Mühendislik Diyarbakır Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Elektrik-Enerji Bölümü

2 Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

3 Smart Grid EnergyResearch Center (SMERC), University of California Los Angeles (UCLA)

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden yararlanabilmek için, bu enerjinin kullanılması düşünülen yerdeki potansiyelinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Elde edilen veriler, benzetim modellerinde ve tasarım kriterlerinde kullanılabilir. Bu çalışma, Nisan 2013 ve Mayıs 2015 tarihleri arasında Diyarbakır'da (Enlem: 37°55' D, Boylam: 40° 14' K) Dicle Üniversitesi DÜPTAM (Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi) binası çatısına kurulan güneş ölçüm istasyonu kullanılarak yapılmıştır. Veriler anlık olarak ölçülmüş ve 10 dakikalık ortalamalar olarak kaydedilmiştir. Günde 144 kez, global ışınlam, güneşlenme süresi, sıcaklık, nem, rüzgar hızı, rüzgar yönü, maksimum rüzgar hızı ve yönü olarak 8 farklı veri kaydı alınmaktadır. İki yıllık ölçüm süresince ortalama sıcaklığın maksimum değeri 31,8°C ile 2014 Temmuz ayında, ortalama sıcaklığın minimum değeri -2,5°C ile Aralık ayında; maksimum güneşlenme süresi 423 saat ile 2013 Temmuz ayında, minimum güneşlenme süresi; 83 saat ile 2014 Aralık ayında; maksimum global ışınlam; 7.6 KWh/m²-gün ile 2013 Temmuz ayında, minimum global ışınlam, 0.64KWh/m²-gün ile 2014 Aralık ayında ölçülmüştür. Bunlara ek olarak Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında ortalama Global ışınlam 5,4 KWh/m²-gün Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart aylarında ise ortalama 2.03 KWh/m²-gün saptanmıştır. Bu sonuçlara göre, Diyarbakır ilinin güneş enerjisi potansiyeli ısı ve ışınlam bakımından oldukça yüksektir. Bu fark, Türkiye aylık ortalaması olan 220 saatten 23 saat güneşlenme süresi ve 3,6 KWh/m²-gün olan ışınlam miktarından 0,2KWh/m²-gün daha yüksektir olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Global Işınlam, Güneşlenme Süresi, Güneş Enerjisi

1. Giriş

Günümüzde uygarlığın ve bilgi toplumunun her alanda ihtiyaç duyduğu enerjinin önemi giderek artmaktadır. Enerji, uygarlığımızın temel girdisi olup, üretim ve tüketimi, kalkınma ve gelişmişlik düzeylerini ölçmede kullanılan en geçerli göstergelerdendir. Sürekli artan enerji ihtiyacını karşılamada mevcut kaynakların yetersiz kalması sonucu alternatif enerji kaynaklarını bulma ve geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır[1]. Zira klasik yöntemlerle yapılan, özellikle fosil yakıt kaynaklı enerji üretim ve tüketimi, doğada onarılması imkânsız zararlara yol açmaktadır. Dünyadaki yaşanabilir ortamın korunması, iklim değişikliğinin sebep olduğu zararlı etkilerin yanı sıra, enerji üretim ve tüketiminden kaynaklanan çevre tahribatının azaltılması gibi konular tüm insanlığa sorumluluk yüklemektedir. Bu sorumluluğun gereği olarak ulusal ve uluslararası hukuki düzenlemelerin yapılması, enerji üretimi teknolojilerinde ve kaynak seçiminde çevresel etkilerin öncelikle dikkate alınması, enerji kullanımında verimliliğe azami özenin gösterilmesi gibi hususlar zaman içinde giderek öncelik ve ağırlık kazanmaktadır [2].



Şekil 1: Güneş ölçüm istasyonun yandan görünümü

Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden açığa çıkan ısıma enerjisidir. Termonükleer bir reaktör olan güneşten çeşitli dalga boylarında (62 MW/m^2) enerji yayılmakta ve güneşin bütün yüzeyinden yayılan enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir. Dünya'ya güneşten, 150 milyon km kat ederek gelen enerji, dünyada bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 15 bin katıdır [3].



Şekil 2: Güneş ölçüm istasyonun yandan görünümü

Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşmaz, % 30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır, % 50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Güneşten gelen ışınımın % 20'si ise, atmosfer ve bulutlarda tutulur. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Yer yüzeyine gelen güneş ışınımının % 1'den azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Fotosentez, yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır. Dünya'ya gelen bütün güneş ışınımı, sonunda ısıya dönüşür ve uzaya geri verilir. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri, teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş ve güneş enerjisi çevresel bakımdan temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir [4].

Güneş ışınımından yararlanmak için kullanılan sistemlerin ilk yatırım maliyetleri fazladır ve yatırımcı açısından ekonomik gelmemektedir. Bu nedenle, güneş enerjisi ile ilgili yatırımlar yapılmadan önce, bölgenin güneş enerjisi potansiyelinin araştırılması buraya yapılacak yatırımlar açısından çok önemlidir. Böylece, her hangi bir bölgedeki güneş enerjisinin karakteristikleri hakkında edinilen genel bilgiler bölgede güneş enerjisi uygulamalarının çalışılması, planlanması ve dizaynında oldukça önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada ise Türkiye'de, güneş enerjisi konusunda son derece elverişli bir konumda olan Diyarbakır iline ait güneş ölçüm verileri analiz edilip, ilin güneşlenme süreleri ve ışınım değerlerinin güneş enerjisinden enerji üretimi için uygun olup olmadığı incelenmiştir [5].

1. Materyal ve Metot

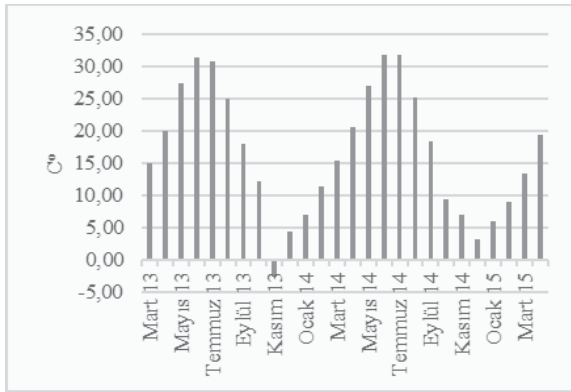
Bu çalışmada kullanılan ölçüm düzeneği, şekil 1 ve şekil 2'de gösterilen, Diyarbakır'da (Enlem: $37^{\circ}55'$ D, Boylam: $40^{\circ} 14'$ K) Dicle Üniversitesi DÜBTAM (Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi) binası çatısına yerleştirilen güneş ölçüm istasyonundan oluşmaktadır. Güneş ölçüm istasyonu global ışınım, güneşlenme süresi, sıcaklık, nem, rüzgar hızı, rüzgar yönü, maksimum rüzgar hızı ve yönü olarak sekiz farklı veriyi ölçebilmekte ve kaydedebilmektedir. Bu amaçla güneş ölçüm istasyonunda bir adet pranometre, rüzgar ve sıcaklık ölçümleri için ilgili sensörler ve datalogger kullanılmaktadır. Anlık olarak ölçülen verilerin onar dakikalık periyotlarla ortalamaları datalogger'a kaydedilmektedir.

Pranometreler yatay yüzeye gelen doğrusal ve yansıyan ışınımın tamamını ölçmek için tasarlanmışlardır. Toplam ışınım verileri 10 dakikalık aralıklarla W/m^2 cinsinden, güneşlenme süresi dakika, sıcaklık ise santigrat derece cinsinden ölçülmüştür. Bu veriler 12 bit analog dijital (A/D) çevirici kullanılarak datalogere kaydedilmiştir. Bu ölçümlerin bilgisayara kaydedilmesi ve analiz edilmesi amacıyla LoggerNet programı kullanılmıştır. W/m^2 cinsinden alınan toplam global ışınım daha sonra KWh/m^2 birimine dönüştürülmüştür. Her gün için, ayrı olarak, global ışınım, güneşlenme süresi ve sıcaklık verilerinin ortalaması alıp, Nisan/2013-Mayıs/2015 tarihleri arasında günlük ortalama değerler hesaplanmıştır. Daha sonra günlük ortalama değerlerden yine aynı tarih aralığı için aylık ortalama değerler hesaplanmış ve bu veriler grafikler ile gösterilmiştir.

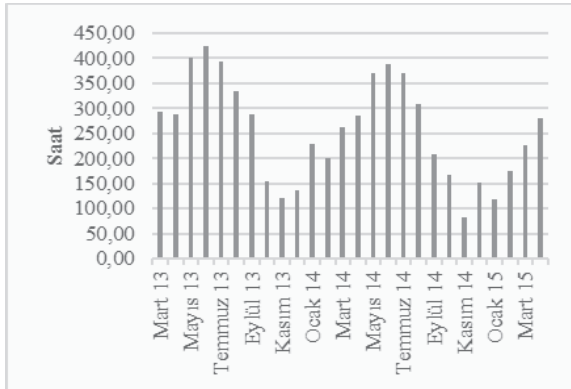
Tablo1: Nisan/2013-Mayıs/2015 aylık ortalama sıcaklık, toplam güneşlenmesi süresi ve ortalama global ışıma değerleri

2. Sonuçlar ve Tartışma

Diyarbakır'da Nisan/2013-Mayıs/2015 tarihleri arasında ölçümü yapılan, güneş enerji verilerinin değerlendirilmesinde, her gün global ışıma, güneşlenme süresi ve sıcaklık için 144 veri olmak üzere toplam 791 adet günlük veri kullanılmıştır. Ölçüm yapılan aralıkta aylık bazda sıcaklık, global ışıma ve güneşlenme sürelerinin ortalamaları Tablo 1'de verilmiştir.

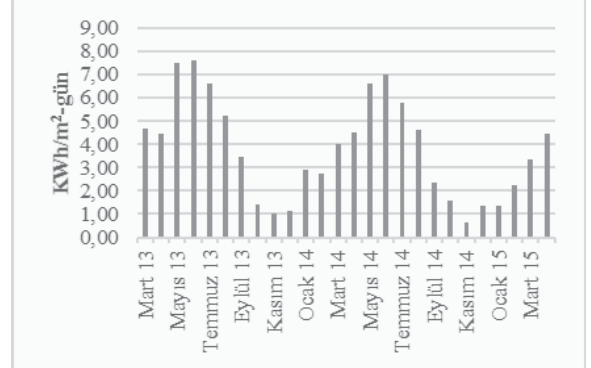


Şekil 3: Aylık ortalama sıcaklık grafiği



Şekil 4: Aylık toplam güneş süresi

Tarih	Ortalama sıcaklık(C)	Toplam güneşlenme süresi (saat)	Global Işıma (KWh/m ² -gün)
04/13	14,92	293,42	4,70
05/13	20,03	288,06	4,44
06/13	27,39	401,53	7,53
07/13	31,41	423,79	7,63
08/13	30,82	392,11	6,64
09/13	25,06	334,01	5,24
10/13	17,91	286,69	3,47
11/13	12,24	155,29	1,39
12/13	-2,51	121,56	1,01
01/14	4,40	136,25	1,15
02/14	7,02	227,77	2,88
03/14	11,43	200,80	2,72
04/14	15,42	263,39	3,99
05/14	20,61	285,85	4,49
06/14	26,97	368,93	6,62
07/14	31,81	387,38	6,99
08/14	31,80	371,41	5,80
09/14	25,16	307,64	4,62
10/14	18,35	208,41	2,36
11/14	9,41	167,49	1,60
12/14	7,02	83,27	0,64
01/15	3,13	151,95	1,36
02/15	6,03	119,39	1,34
03/15	8,95	176,13	2,26
04/15	13,36	225,85	3,36
05/15	19,39	279,61	4,47



Şekil 5: Aylık ortalama global ışıma

Diyarbakır için sıcaklığın en yüksek olduğu aylar temmuz (ortalama: 31,81°), en düşük olduğu aylar ise aralık (ortalama : -2°) aylarıdır (Şekil 3), sıcaklıkla doğru orantılı olarak aylık toplam güneşlenme süresinin en yüksek olduğu aylar Temmuz (423 saat) en düşük olduğu aylar Aralık (83 saat) olarak saptanmıştır (Şekil 4). Global ışıma değerleri ise sıcaklık ve güneşlenme süresine paralel olarak en yüksek Temmuz ayında (7.63KWh/m²-gün), en düşük ise aralık ayında (0.64KWh/m²-gün) ölçülmüştür (Şekil 5).

İki yıllık ölçümler temel alınarak yapılan hesaplamalarda Diyarbakır ili için aylık ortalama 243 saat güneşlenme süresi hesaplanmıştır. Türkiye

ortalama aylık güneşlenme süresi ise yaklaşık olarak 220 saat olarak belirlenmiştir[6]. Aylık ortalama global ışınlam miktarı Diyarbakır ili için $3,8 \text{ kWh/m}^2$ olarak hesaplanırken, Türkiye ortalaması $3,6 \text{ kWh/m}^2$ olarak belirtilmiştir[7]. Sonuç olarak Türkiye aylık ortalaması olan 220 saatten 23 saat güneşlenme süresi ve $3,6 \text{ kWh/m}^2$ -gün olan ışınlam miktarından $0,2 \text{ kWh/m}^2$ -gün daha yüksektir. Türkiye Güneş Enerji Atlası (GEPA)'da Türkiye'nin maksimum aylık global ışıma değeri $6,57 \text{ kWh/m}^2$ -gün olarak belirtilmiştir[8]. Yapılan ölçüm aralığında Diyarbakır'ın maksimum global ışıma değeri $7,63 \text{ kWh/m}^2$ -gün olarak ölçülmüştür. Bu veriler ışığında Diyarbakır ilinin güneş enerjisi potansiyeli ısı ve ışınlam bakımından oldukça yüksek olduğu söylenebilmektedir.

3. Kaynaklar

- [1] J. A. Duffie and W. A. Beckman, (1991). Solar Engineering of Thermal Processing, John Wiley & Sons, Madison, Wis, USA, 4th edition, 6p.
- [2] Musa YILMAZ, (2013). Güneş Takip Sistemi ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri ve Optimum Verim Belirlenmesi, Doktora tezi.
- [3] R. Ventre, (2000). Photovoltaic System Engineering, CRC press, London, 3rd edition, 385p
- [4] M. ŞAHAN, (2010). Yıllık toplam ve Ultraviyole (UV) Güneş Enerjisi Verilerinin Ölçülmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi.
- [5] H. BULUT, (2003). Diyarbakır ili için Güneş verilerinin analizi ve Tipik Güneş Işınlam Değerlerinin Türütülmesi, TMMOB makine mühendisleri odası 3. GAP ve sanayi kongresi, Şanlıurfa, Türkiye.
- [6] K.B. Varınca, (2006) Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal, Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir, Türkiye.
- [7] Y. ÖZDEMİR, (2012). MSG Uydu Verilerini Kullanarak Türkiye için Global Güneş Radyasyonu Dağılımının Belirlenmesi, Meteoroloji Genel müdürlüğü Araştırma Daire Başkanlığı Atmosfer Modelleri Şubesi, Ankara, Türkiye.
- [8] <http://www.eie.gov.tr>, 27 Ağustos 2015

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Yeliz YOLDAŞ¹ Ahmet TEKE²

yeliz.yoldas@agu.edu.tr, ahmetteke@cu.edu.tr

¹Abdullah Gül Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, KAYSERİ

²Çukurova Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, ADANA

ÖZET

Fotovoltaik (FV) sistemlerin uygulanmasındaki en önemli problemler ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve çevresel faktörlerin sistem performansını büyük ölçüde etkiliyor olmasıdır. Bu çalışmada FV sistemlerin performansını etkileyen faktörler ve kayıp noktaları detaylı olarak incelenmiştir. Bu faktörlerin yüzdesel olarak sistem performansına olan etkileri sunulmuştur. Dünyada kurulu FV santrallere ait performans oranı değerleri ve ölçülen kayıpların yüzdesel dağılımları da özetlenmiştir. Kurulu santrallere ait performans sonuçlarının değerlendirilmesiyle ve FV sistemlerin doğru tasarlanmasıyla en yüksek verim ve performans oranı değerine ulaşılması mümkün olabilmektedir. Yaklaşık 25 yıl olarak öngörülen sistem ömründe performansı etkileyen faktörlerin yüzdesel olarak takip edilmesi, bu sistemlerin toplam verimliliğinin yıllara göre değerlendirebilmesini de sağlayarak toplam sistem verimliliğinde artış sağlanabilecektir.

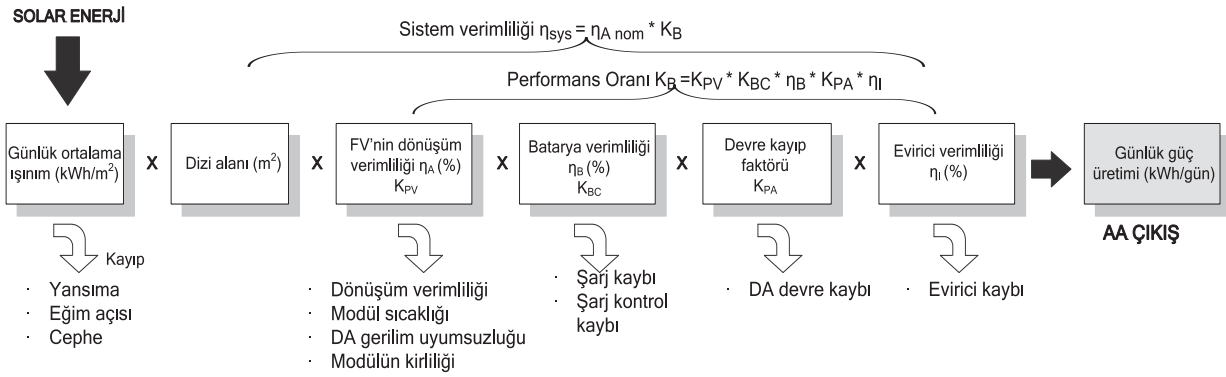
Anahtar kelimeler: Fotovoltaik sistemler, performans oranı, verimlilik.

1. Giriş

Güneş ışınlarını elektrik akımına dönüştüren fotovoltaik (FV) sistemler, önemi her geçen gün artan bir enerji teknolojisidir. Enerji fiyatlarındaki artış, çevre duyarlılığı ve işletim maliyetlerinin çok düşük oluşu FV sistemleri ciddi bir seçenek haline getirmiştir. [1]. 2013 yılında küresel solar FV pazarı hidroelektrik hariç diğer yenilenebilir teknolojilerinden daha fazla kapasitede kurulum yapılarak kısa bir yavaşlamadan sonra rekor bir yıla sahip olmuştur. 39 GW'tan daha fazla kurulum yapılarak toplam kapasite yaklaşık olarak 139 GW olmuştur. Çalışan tüm FV kapasitelerinin neredeyse yarısı son iki yılda eklenmiştir ve %98'i 2004'ün başından bu yana kurulmuştur. 2013 yılında kurulumda ilk 3'e Çin, Japonya ve ABD gibi ülkeler girerken toplam kapasiteye göre solar FV liderleri Almanya, İtalya, Belçika, Yunanistan, Çek Cumhuriyeti ve Avustralya'dır. Almanya yaklaşık 36 GW toplam kapasite ile hala dünyanın en büyük kapasitesine sahiptir. Teknolojinin gelişmesi, modül fiyatlarının azalması ve verimliliğinin artması sebebiyle 2013 yılında FV sistemlerinin kurulum maliyetleri %22 azalırken, kurulu kapasite %32'lik bir değerle önemli ölçüde artmıştır [2].

Bir FV sistemi tasarımı yapılırken sistemde oluşabilecek kayıpları saptamak oldukça önemlidir. Şekil 1 bunun daha iyi anlaşılabilmesi için yararlı olacaktır.

Performans oranı (PO) FV santralinin verimliliğini ölçmek için kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Bir FV sistemin PO'su, sistemin AA çıkışında üretilen enerjinin Standart Test Koşulları - STK (1.000 W/m² ışınım değeri, 25°C solar hücre sıcaklığı ve hava kütlesi (Air Mass 1,5 güneş spektrumu) altında sistemdeki FV paneller tarafından üretilen enerjiye oranıdır. Şebeke çıkışındaki FV sistem enerjisi, STK'da sistemdeki FV modüller tarafından üretililecek enerjiden sistem kayıplarının düşülmesiyle elde edilir. Yani bir FV sistemin kayıpları ne kadar düşükse o kadar yüksek PO'ya sahiptir. PO, FV santralinin yöneliminden ve anlık güneş ışınımından bağımsızdır. Bu bakımdan PO'su farklı FV santrallerinin karşılaştırılması için kullanılabilir. FV santralinin performansını etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerin birçoğu FV santralinin elektrik üretiminde kayıplara yol açmaktadır. Bu kayıplar; çevresel kayıplar, FV modül kaynaklı kayıplar ve diğer faktörler olmak üzere 3'e ayrılabilir. Işınım, yansıma, sıcaklık, kirlenme, gölgelenme gibi etmenler çevreseldir ve FV santralin içinde bulunduğu yerel koşullarla ilgilidir. Ambalaj malzemesinin bozulması, hücreler/modüller arası bağlantıların bozulması, adezyon bozulması, nemin sebep olduğu bozulmalar ve yarıiletken malzemenin bozulması modülün bozulmasından kaynaklı kayıplardır. Diğer faktörler ise evirici kayıpları, uyumsuzluk, kablolama kayıpları ve maksimum güç noktası takibi (MGNT) kayıpları olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 1. Batarya ile güç üretimi blok diyagramı [3]

Diğer önemli bir parametre olan dolum faktörü (DF) bir güneş hücresinin veya modülün performansını belirlemek için sıklıkla kullanılır. DF, maksimum güç noktasında (MGN) akım ve gerilimin çarpımının açık devre gerilimi ve kısa devre akımının çarpımına oranıyla bulunur. Silikon hücrelerinin tipik değerleri %75-85 arasındayken ince film teknolojilerine sahip hücrelerin DF %70-80 arasında değişmektedir.

Bu giriş bölümünden sonraki ikinci bölümde güneş pili çeşitleri ve verimlilikleri incelenecektir. Ardından sistemi etkileyen kayıplar çevresel faktörler, modülün kaynaklı faktörler ve diğer faktörler olmak üzere üçe ayrılıp, ayrı başlıklar halinde açıklanmıştır. Sonraki bölümde, Dünya'da kurulu olan bazı FV sistemlerinin PO değerleri karşılaştırılıp tablo olarak verilmiştir. Çalışmanın önemli sonuçları ve önerileri sonuçlar bölümünde vurgulanmıştır.

2. Güneş Pili Çeşitleri

İlk kullanılan güneş pili olan kristal silikon güneş pillerinin verimliliği uygulamada %14-20'dir ve güneş pili pazarının yaklaşık %80-90'ını oluşturur. Amorf ince tabaka silikon güneş pilleri kristal silikonlardan daha ucuzdur fakat verimliliği %6-10 arasındadır. Bakır indiyum galyum selenyum (CIGS) ve kadmiyum sülfür-kadmiyum tellür (CdTe-CdS) ince

tabaka güneş pillerinin verimlilikleri %10 civarında olup pazarın yaklaşık %15'ine sahiptir. Yüksek absorpsiyon katsayısı nedeniyle, ihtiyaç duyulan malzeme miktarı azdır ve böylece watt başına birim fiyatı kristal silikon pillerden daha ucuzdur. Günümüzde, organik güneş pillerinin verimliliği hala düşüktür ve ömürleri kısadır [4]. Tablo 1'de güneş pillerinin verimlilikleri ve DF değerleri özetlenmektedir.

3. FV Sisteminin Performansını Etkileyen Faktörler

Tablo 2'de gerçek FV santral ölçümlerini kullanarak hesaplanan ve FV sistemlerinin performansını etkileyen faktörler özetlenmiştir.

3.1. Çevresel Faktörler

A. Güneş Işınımı: FV teknolojilerinin çalışmasını etkileyen en önemli parametre ışıdır. FV cihazının çalışma gerilimi ışıma logaritmik olarak bağlı iken akım lineer olarak bağlıdır. Güneş ışıının etkilerini değerlendirmenin temel zorluğu ışıının FV'nin performansını da etkileyebilen diğer faktörler ile ilişkili olmasından kaynaklanmaktadır. Bu faktörler bulutlu koşullar nedeniyle açık gökyüzü veya dağınık ışıının etkilerini, sabah erken veya akşamüstü olması sebebiyle düşük ışıının etkilerini, spektral ve geliş açısı etkilerini kapsamaktadır [6].

Tablo 1. STK altında ölçüldüğünde doğrulanmış hücre, alt modül ve modül verimlilikleri [5]

Sınıflandırma	Hücre		Modül	
	Verimlilik (%)	Dolum Faktörü (%)	Verimlilik (%)	Dolum Faktörü (%)
Silikon				
Si (kristal)	25.6 ± 0.5	82.7	22.9 ± 0.6	80.3
Si (polikristal)	20.8 ± 0.6	80.3	18.5 ± 0.4	76.2
Si (amorf)	10.2 ± 0.3	69.8	-	-
III-V				
GaAs (ince film)	28.8 ± 0.9	86.5	24.1 ± 10.	84.2
GaAs (polikristal)	18.4 ± 0.5	79.7	-	-
İnce film				
CIGS	20.5 ± 0.6	77.2	15.7 ± 0.5	72.5
CdTe	21.0 ± 0.4	79.4	17.5 ± 0.7	76.6
Organik				
Organik (ince film)	11.0 ± 0.3	71.4	8.7 ± 0.3	70.4
Organik (mini modül)	9.5 ± 0.3	70.9	-	-
Çok eklemli				
InGaP/GaAs/InGaAs	37.9 ± 1.2	86.7	-	-
a-Si/nc-Si (ince film)	12.7 ± 0.4	70.2	12.2 ± 0.3	68.8

Tablo 2. Kayıpların nedenleri ve yıllık kayıp yüzdeleri

Enerji kaybının nedenleri	Yıllık kayıp
Uyumsuzluk	% 1-2
Yansıma	% 2-4
Sıcaklık	% 7-11
Bağlantı kayıpları	% 1-2
Arıza	% 0-2
Evirici	% 3-6
MGNT	% 0.2-2
Geç başlama/erken kapanma	% 0-4
Şebeke arızaları	% 0-4
Evirici sıcaklık etkisi	% 0.5-1.5
Gölgeleme, Kirlenme	% 0-6
Toplam sistem kaybı	% 15-25

B. Yansıma: Modül yüzeyine düşen solar ışının bir kısmı hücreler tarafından emilmeden modül yüzeyinden geri yansır. Işının geri yansıyan kısmından dolayı oluşan kayıplara yansıma kayıpları denir [5,7]. Bir FV modülde, ışık akısının bir kısmı emilip elektrik enerjisine dönüştüğü için güneş enerjini daha iyi emen eden ve yansımayı minimuma indiren malzemelerin seçilmesi sistemin performansını daha da arttıracaktır. Kristal silisyum, amorf silisyumdan daha çok ışık emer. Amaç; ışığı hapsedmek ve yansımaları mümkün olduğu kadar azaltmaktır (hava ile temastaki ham silisyum ışığın %33'nü geri yansıtır). Yansımaların önlenmesi ve emilmenin azami seviyeye çıkartılması için modüller farklı katmanlardan üretilir. Yansıyan solar ışının şiddeti güneş ve FV modül arasındaki açıya ve modülün kırılma indeksine bağlıdır. Normal bir ışınmada solar modüller gelen ışığın %4'ünü yansıtır [8].

C. Sıcaklık: Modül sıcaklığı arttıkça FV performansı düşmektedir. FV paneller güneş enerjisinin %5-25'ini elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu nedenle güneş enerjisinin fazlası modüllerde ısınmaya sebep olur [9]. Kristal silisyum hücreler bu sıcaklıktan amorf silisyum hücrelere oranla daha fazla etkilenir. Bu nedenle daha kötü performans gösterir. FV ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı güneş ışığı yoğunluğuna göre değişir ve bazen 40°C üzerine kadar çıkabilir. Yaz aylarında FV sıcaklığı 70-75°C'ye kadar yükselebilir. 25°C modül sıcaklığında modüllerde oluşan her 1°C artış %0.4-0.5 enerji düşüşüne neden olmaktadır [10]. FV arkasında oluşan sıcaklık panellerin havalandırmasıyla doğrudan ilişkilidir. Eğer FV arka yüzeyinden havalandırma imkânı vermeyecek şekilde monte edilirse, arka yüzeyde oluşacak sıcaklık nedeniyle performans düşer. Bunun yerine, montaj yüzeyi ile FV panel arka yüzeyi arasında bir hava boşluğu bırakılarak doğal havalandırma sağlanırsa istenmeyen sıcaklık etkileri azaltılabilir [11]. FV panellere çeşitli iklimlendirme testleri de uygulayarak FV panellerin elektrik enerjisi kazançları artırılabilir. Yapılan çalışmalar sonucunda çeşitli iklimlendirme sistemleri ile FV panellerden

%4-10 civarlarında daha fazla elektrik enerjisi kazancı elde edilebileceği tespit edilmiştir [12].

D. Kirlenme: Kir, toz, su, kum ve yosun gibi parçacıkların FV panelinin yüzeyinde birikmesi güneş hücresine ulaşan ışık enerjisini engeller veya dağıtır [13]. Bu sorunun niteliği coğrafi konuma göre değişebilir. Bu da yaklaşık %4 ya da daha fazla performans düşüşüne neden olur. Örneğin Suudi Arabistan'da Riyad yakınlarında yapılan bir çalışmada 8 aylık bir süre içinde FV'nin performansında %32'lik bir düşüşe sebep olduğu ortaya çıkmıştır [14]. Kuveyt'te yapılan bir çalışmaya göre ise 6 gün sonra toz birikmesi sebebi ile FV'nin gücünde %17'lik bir azalma olduğu kaydedilmiştir [15].

E. Gölgeleme: FV panellerin performansını etkileyen en önemli etkilere birisi gölgeleme. Gölgelemeye sebep olabilecek etmenler; komşu binalar, ağaçlar ve çalılar ve direkler olarak sayılabilir. Özellikle şehir ve kent merkezlerinde yakın konumlanmadan dolayı birbirlerinin üstüne gölge düşürmektedirler. Bazı durumlarda tasarımdan dolayı binanın kendi kendini gölgelemesi de mümkündür. Bu gibi durumlar panelin performansını düşürecek için tasarım esnasında doğru kararlar verilmeli ve FV panel sistemi doğru projelendirilmelidir [11]. Gölgeleme % 1-6 oranında performans düşüşüne neden olmaktadır.

3.2. FV Modülünün Bozulmasından Kaynaklanan Faktörler

FV modülünün bozulması arızaya sebep vermeksizin performans kaybına neden olabilir [16].

A. Ambalaj malzemesinin bozulması: Bir FV modülünün ambalaj kalitesi hem modül hem de dizi sayısı üzerindeki performans kayıplarına yol açabilir. Örnek olarak cam kırılması, bypass diyot arızası ve arka sacın kırılması verilebilir. Bozuk ambalajlı modüller topraklama hatalarına veya kaçak akıma maruz kalabilir ve nem girişi olduğunda daha fazla bozulmalara maruz kalabilirler [16].

B. Hücreler/modüller arası bağlantının bozulması: Bağlantı bozulması, hücre-şerit veya şerit-şerit temas bölgelerinin yapısında ve geometrisinde değişiklik anlamına gelir [16]. Bazı durumlarda, kalay (Sn) ve kurşun (Pb) daha büyük metal parçacıklarının oluşmasına yol açan lehim alaşımından ayrılır. Termomekanik gerilim bu parçacık kenarlarında birleşme yerlerinde arızaya sebep olabilecek çatlaklar oluşturabilir. Gereksiz lehimli eklemlerin sayısının azaltılması ve eklemlerde boşlukların oluşturulması etkili temas yüzeyini azaltır ve seri direncini artırır. Bu, lehim eklemlerin ve yakın bileşenlerin yanmasına sebep olan çok yüksek sıcaklıklara ve bölgesel sıcak noktalara yol açabilir [17].

C. Adezyon bozulması: Delaminasyon da denilen adezyon bozulması kapsülleme polimeri ve hücreler arasında veya hücreler ve ön cam arasında meydana

gelen tabaka ayrışmasıdır. Modül yapısının içindeki su girişinin artması ve ısı yansımasının artışına neden olması sebebiyle önemli bir problemidir [18]. Delaminasyon hücrelerden verimli ısının atılmasını bozar ve hücre çalışmasını tersine çevirebilir [16].

D. Nemnin sebep olduğu bozulmalar: Nem korozyona ve kaçak akıma yol açan modül ambalajına sızar. Zarar gören ambalaj modüle nem girişini arttırabilir. Nem yarıiletken malzemesini tahrip etmesinin yanı sıra bağlantıların bozulmasına ve adezyon bozulmasına sebep olabilir [16].

E. Yarıiletken malzemenin bozulması: Yarıiletken malzemenin bozulması da modülde performans kaybına neden olabilir. Işık kaynaklı bozulma dış ortam şartlarında ilk birkaç saat içinde kristal silikon hücrelerinde oluşur ve kısa devre akımını %1-5 azaltır [16], oysa ki amorf silikon modüllerde ışık kaynaklı bozulma bir kaç ay sürer ve %10-30 civarı verimlilikte bir düşüşe sebep olabilir [19].

3.3. Diğer faktörler

A. Evirici Kayıpları: Bir eviricinin verimliliği DA gerilimin AA gerilime dönüşümünü ne kadar iyi yaptığıdır. Tipik olarak FV evirici verimi her 150 V DA giriş gerilim genliği değişiminde %0.3-1 oranında azalır. Bunun yanı sıra verim, düşük ısı ve yüksek DA giriş gerilimlerinde kontrol ünitesinin güç tüketiminden ve anahtarlama kayıplarından dolayı %5'e kadar düşüş gösterir [7]. Şu anda şebekeye bağlı eviriciler %96-98.5 verimliliğe sahiptir [20].

B. Uyumsuzluk: FV modüller, evirici girişinde gerekli olan DA gerilim ve akımı tutturabilmek için birbirlerine seri ve paralel şekilde bağlanır. Böyle bir yapıdaki toplam DA güç, tek tek panellerin güçlerinin toplamından daha düşüktür. Bu durumun ana sebepleri; *statik uyumsuzluk, çevresel gerilim ve gölgelenme faktörleridir*. Statik uyumsuzluk üretim esnasındaki toleranslar ve dize içindeki modüllerin yaşlanma faktörleridir. Çevresel gerilim, hava koşullarından dolayı modüllerin zarar görmesiyle ilgilidir. Bir FV dizesindeki modüllerin birbirlerinden farklı çalışma sıcaklıklarında bulunması ya da farklı ısıyı değerine maruz kalması uyumsuzluk

kaynağıdır. Yine aynı FV dizesindeki modül DA kabloları arasındaki mesafe ve kesit farkları uyumsuzluk kayıplarına neden olur. Dinamik uyumsuzluk modüllerin MGN'den uzakta çalıştırılmalarından kaynaklanır.

Paralel bağlanmada gerilim, seri bağlanmada akımın bütün modüller için eşit olmasından dolayı seri ya da paralel olarak birbirine bağlanmış FV modüller kendi MGN değeri de üretim yapmıyor olabilir [7]. Uyumsuzluk kayıplarını azaltmak için aktif bypass, modül entegre dönüştürücüler (Module Integrated Converters) ve dağıtık MGN izleme (Distributed Maximum Power Point Tracking) gibi teknolojiler kullanılmaktadır [21].

C. Kablolama Kayıpları: Kablo kayıpları, FV sistemde kullanılan DA ve AA kablolarındaki omik kayıplardan kaynaklanmaktadır. Kabloların boyutlandırılması, FV sistem tasarımının önemli bir safhasıdır. Birbirine seri ve paralel bağlı FV modüller, DA kablolar aracılığı ile eviriciye bağlanmak zorundadır. İletken akım taşıma kapasitesi ve iletken boyunca meydana gelecek gerilim düşümü, iletkenin boyutunun belirlenmesindeki etkenlerdir. DA ve AA tarafta kablo kesitleri, gerilim düşümleri ve kablo fiyatlarının dengelenmesiyle bulunur. Her iki tarafta da %1-3 arası gerilim düşümleri kabul edilebilir sınırlar dahilindedir [7].

D. MGNT kayıpları: FV dizisi tarafından üretilen güç beklenen değerden saptığında MGNT kayıpları oluşmaktadır. Bu kayıplar 2 başlık altında düşünülebilir: (a) *Statik MGNT kaybı:* Kararlı ısıtım koşulları altında MGNT'nin verimliliği ve tepe güç noktasını belirleyememesi ile ilgilidir (b) *Dinamik MGNT kaybı:* MGNT'nin takip algoritmasından ve dizi gücünün hızlı bir şekilde değişmesine sebep olan hızlı değişen güneş radyasyonunun, sıcaklık değişiminin ve gölgelenme etkisinin yavaş bir gerilim izleyicisi tarafından hızlı olarak algılanamamasından kaynaklanmaktadır. Genellikle modüller MGN akımına göre dizildiğinde daha küçük, MGN gerilimine göre dizildiğinde daha yüksek MGN kayıpları oluşur [22].

Tablo 3. FV santrallerin son yıllara ait PO değerleri

İzleme dönemi	Analiz edilen sistem sayısı	Lokasyon	PO aralıkları (%)	Ortalama PO (%)	Kullanılabilirlik (%)	Referans
1990-1997	170	Dünya geneli	25-90	66	-	[23]
1990-2002	62	İsviçre	49.7-85.4	69.4	94.6-95.9	[24]
1991-2002	235	Almanya	37.8-88.3	67.1	94.6-95.9	[24]
1992-2000	20	Hollanda	58.8-79.6	69.4	-	[24]
1992-2002	29	İtalya	44.8-82.6	67.1	-	[24]
1994-2002	22	Avusturya	42.5- 79.8	63.9	-	[24]
2006-2008	202	Tayvan	60-90	74	95.7	[25]
2007	-	Girit	58-73	67.36	95.46	[26]
2009-2010	352	Belçika	50-95	78	95.3	[27]
2010	100	Almanya	70-90	84	-	[28]
2010-2011	1635	Fransa	48-93	76	95.1	[29]

4. Sonuçlar

Bir FV sisteminin toplam verimliliği performans oranıyla tanımlanır. PO'nun değeri fotovoltaik santralin kayıplarıyla doğrudan ilişkilidir. Genel olarak toplam gücün %15-25 arasında değişmekte olan bu kayıplar çevresel kayıplar, FV modül kaynaklı kayıplar ve diğer faktörler olarak 3'e ayrılabilir. Bu çalışmada ayrıca dünyadaki mevcut santrallerin PO değerleri karşılaştırılmıştır. Tablo 3 dünyada kurulu bulunan bazı FV santrallere ait PO aralıkları ve ortalama değerleri sunulmuştur. FV santrallerindeki bu kayıpların bilinmesi ve değerlendirilmesi, panel seçimi, yerleşimi ve sistem tasarımının daha doğru yapılmasını sağlayarak yüksek verimliliğin elde edilmesine önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

[1] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2009. "Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi", ss. 246.

[2] Renewable Energy Policy Network for 21st Century, 2014. "Renew. Global Status Report", ss. 216.

[3] "Guideline for Application of Photovoltaic Power Generation System", Department of Energy Renewable Energy Management Bureau, 2009.

[4] Chen, C. J., 2011. "Physics of Solar Energy", John Wiley & Sons, Inc., ss. 326.

[5] Green M.A., Emery K., Hishikawa Y., Warta W. Dunlop E.D., 2015. Solar cell efficiency tables (Version 45), Progress in Photovoltaics: Research and Applications-WILEY 23:1-9.

[6] Makrides G., Zinsser B., Norton M., Georgiou G.E., 2012. "Third Generation Photovoltaics-Chapter 9", Intech, s. 201-231.

[7] Deniz E., "Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar", Akademi Enerji.

[8] Delplanque E. "Case study: impact of photovoltaic modules reflection in an urban area", www.a-sunenergy.com.

[9] Roberts S., Guariento N., 2009. "Building Integrated Photovoltaics A Handbook", Birkhauser Press.

[10] Giesler B., 2010. "String vs. Central inverters: Dimension of the inverter", Photon's 1st PV Inverter Conference, Germany, s. 1-23.

[11] Turhan S., Çetiner İ., 2012. "Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi", 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi Müh. ve Mim. Fakültesi-Görükle Kampüsü - Bursa.

[12] Rüstemli S., Dinçer F., Çelik M., Cengiz M.S., 2013. "Fotovoltaik Paneller: Güneş Takip Sistemleri ve İklimlendirme Sistemleri", BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 2(2), 141-147.

[13] Sulaiman S.A., Singh A.K., Mokhtar M.M.M., Bou-Rabee M.A., 2014. "Influence of Dirt Accumulation on Performance of PV Panels", Energy Procedia vol. 50, s. 50-56.

[14] Salim A., Huraib F., Eugenio N., 1988. "PV power-study of system options and optimization," 8th European PV Solar Energy Conference, Italy, 1988.

[15] Wakim F., 1981. "Introduction of PV power generation to Kuwait," Kuwait Ins. for Scientific Researchers, Kuwait City, 1981.

[16] Quintana M.A., King D.L., McMahon T.J., Osterwald C.R., 2002. "Commonly Observed Degradation in Field-Aged Photovoltaic Modules", 29th IEEE PV specialists conference, New Orleans.

[17] Dubey R., Chattopadhyay S., Kuthanazhi V., John J.J., Arora B.M., Kottantharayil A., Narasimhan K.L., Solanki C.S., Kuber V., Vasi J., Kumar A., Sastry O.S., 2014. "All-India Survey of Photovoltaic Module Degradation: 2013".

[18] Munoz, M.A., Alonso-Garcia, M.C., Nieves, V., Chenlo, F., 2011. "Early degradation of silicon PV modules and guaranty conditions", Solar Energy 85, 2264-2274.

[19] Goldstein M., Dunn L., 2011. "Light Soaking Effects on PV Modules: Overview and Literature Review" 37th IEEE Photovolt. Spec. Conf., 3126-3131.

[20] "Performance of Solar Power Plants in India", Central Elec. Regulatory Comm.-New Delhi, 2011.

[21] Koirala B.P., Sahan B., Henze N. "Study on MPP Mismatch Losses in Photovoltaic Applications".

[22] Norton B., Eames P.C., Mallick T.K., Huang M.J., McCormack S.J., Mondol J.D., Yohanis Y.G. 2011. "Enhancing the performance of building integrated photovoltaics", Solar Energy, 85, 1629-1664.

[23] Jahn U., Mayer D., Heidenreich M., and et. Al., 2000. "International Energy Agency PVPS Task 2: Analysis of the Operational Performance of the IEA Database PV Systems", 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference.

[24] Jahn U., Nasse W., 2004. "Operational Performance of Grid-connected PV Systems on Buildings in Germany", Prog. Photovolt: Res. Appl. 12:441-448.

[25] Huang H.S., Jao J.C., Yen K.L., Tsai C.T., 2011. "Performance and Availability Analyses of PV Generation Systems in Taiwan", World Academy of Science, Eng. and Technology, vol:5, no:6, pp. 36-40.

[26] Kymakis E., Kalykakis S., Papazoglou T.M., 2009. "Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete", Energy Conversion and Management 50, 433-438.

[27] Leloux J., Narvarte L., Trebosc D., 2012. "Review of the performance of residential PV systems in Belgium" Renew. and Sustain. Energy Reviews, 16, 178-184.

[28] Reich N.H., Mueller B., Armbruster A., van Sark W.G.J.H.M., Kiefer K., Reise C., 2012. "Performance ratio revisited: is PR>90% realistic?" Prog. Photovolt: Res. Appl., 20:717-726.

[29] Leloux J., Narvarte L., Trebosc D., 2012. "Review of the performance of residential PV systems in France" Renew. and Sustain. Energy Reviews, 16, 1369-1376.

ADİYAMAN İLİNDE GÜNEŞ BACASI SİSTEMİNDEN ELEKTRİK ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Yasin İçel¹, M.Salih MAMİŞ², Abdulcelil BUĞUTEKİN³

¹Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü
Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman
yasinicel@gmail.com

²Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
İnönü Üniversitesi, Malatya
msalihmamis@gmail.com

³Makine Mühendisliği Bölümü
Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman
acelil56@gmail.com

Özet

Güneş Bacası Enerji Santrali üç temel bileşenden oluşur: güneş kolektörü, baca ve türbin. Kolektörün altındaki hava sera etkisi ile ısınır, ısınan havanın yoğunluğu azalır ve kolektörün merkezindeki bacaya doğru yükselir. Böylece baca girişine konulan türbinden elektrik üretilir.

Bu çalışmada, Adıyaman Üniversitesi yerleşke alanı içine kurulan Güneş Bacası Enerji Santral sisteminden alınan ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Bu amaçla günün belirli saatlerinde baca içindeki hava akış hızı ve sıcaklığı, ortam sıcaklığı, ortam rüzgâr hızı, kolektörün sera etkisi ile ısınan zemin sıcaklığı, kolektör altındaki sıcaklık ve hava hızı, farklı çaplarda türbinlerin devir sayısı ve Adıyaman güneş ışıınım değerleri ölçülerek değerlendirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada güneş ışıınımı, çevre sıcaklığı, baca yüksekliği ve çapının, kolektörün altındaki zeminin güneş ışıınım emilim oranının sistem verimlilik performansını etkileyen parametreler olduğu belirlenmiştir. Türbin montajının yapılacağı noktada sıcaklık ve hava hızının en yüksek olduğu görülmüş, ayrıca 0.8 m çaplı 3 kanatlı türbin modelinin sistem için en verimli model olduğu

belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Güneş Bacası Enerji Santralinin Adıyaman için bir alternatif enerji kaynağı olabileceği neticesine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Güneş Bacası Enerji Santrali, kanat modelleri, verimlilik.

1. Giriş

Enerjinin bugün sahip olduğumuz medeniyetin temel taşlarından ve ekonomik, sosyal kalkınmanın önemli bileşenlerinden biri olduğu ve gelişmişliğin bir göstergesi olarak yaşam standartlarının yükseltilmesinde hayati bir rol oynadığı bilinmektedir. Sürdürülebilir bir kalkınmanın sürekli ve kaliteli bir enerji arzıyla mümkün olacağı da bilinen bir diğer husustur. Dünya nüfusunun hızla artması, sanayileşmenin ve globalleşmenin de buna paralel olarak hızlanması, dünya enerji ihtiyacını da giderek arttırmaktadır. Günümüz modern bilgi toplumunun; teknoloji, sanayi, ulaşım, iletişim gibi hayatın vazgeçilmez parçaları haline gelmiş her faaliyet için ihtiyaç duyduğu enerji, bugün en kıymetli ve en önemli bir kaynak haline gelmiştir [1,2].

Enerji tüketiminin tam olarak karşılanamaması, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açığın hızla artmasına neden olmaktadır. Bu durumda da öncelikle

ülkemizde artan enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarından daha etkin ve rasyonel bir biçimde faydalanılması gerekir [3].

Ayrıca, geleneksel enerji üretim yöntemleri günümüzde çevre kirliliğinin başlıca nedenidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer bir avantajı da enerji üretimiesnasında çevreye çok az zarar vermesidir. Başta kömür ve petrol olmak üzere kullanılan yakıtların yanması sonucu oluşan ve atmosfere verilen SO_x , NO_x ve toz gibi kirlletici emisyonlarla beraber sera etkisi yaratarak küresel ısınma ve iklim değişikliklerine neden olan CO_2 emisyonları çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle ısıl değerleri düşük, kül ve kükürt içerikleri yüksek olan kalitesiz yerlilinyit kömürlerin kullanılması, hava kirliliğini daha da artırmaktadır [4].

Güneş bacası fikri ilk olarak 1931 yılında Alman araştırmacı Hanns Günther tarafından ortaya atılmıştır [5,6,7]. Daha sonra Güneş bacası1970'li yılların sonralarına doğru Prof. Dr. Jörg Schlaich tarafından tasarlanmış ve 1978yılında ise konsept bir güneş bacası modellemesi Prof. Dr. Jörg Schlaich tarafından dizayn edilmiştir [5]. Daha sonraki yıllarda dünya çapında birçok araştırmacı güneş bacası sistemi üzerinde inceleme yapmaya başlamıştır.1997 yılında Florida Üniversitesi kampüs alanında inşa edilen güneş bacası elektrik santralinde enerji üretim uygulama modelinde teorik ve deneysel incelemeler başarıyla gerçekleştirilmiştir [6].

Pasumarthi ve Sherif 1998'de, güneş bacasının hem teorik hem de deneysel olarak performans karakteristiklerini incelemiştir [4,8]. Gannon 2000'de, sistem kayıpları ve kollektör performansı düşünülerek güneş bacası çevrim analizi yapmıştır [5]. Sistem kayıpları olarak sürtünme kayıpları, sistem, türbin ve kinetik enerji kayıpları düşünülmüştür.

Güneş bacası enerji üretimi ile ilgili olarak çeşitli yerlerde uygulama prototipleri kurulmuştur.

Kulunk tarafından İzmit'te inşa edilen sistem, baca yüksekliği 2 m baca çapı 0.07 m kolektör alanı 9 m² olup 0.14 W elektrik üretilmiştir [9].

Çinin kuzeybatı bölgesinde Dai ve arkadaşları, 200 m yükseklik ve 10 m çaplı baca ve 196.270 m²lik kolektör alanına sahip güneş bacası enerji santralinden, aylık 110-190 kW elektrik enerjisi üretilmektedir [10].

2. Güneş Bacası Elektrik Santrali Tasarımı

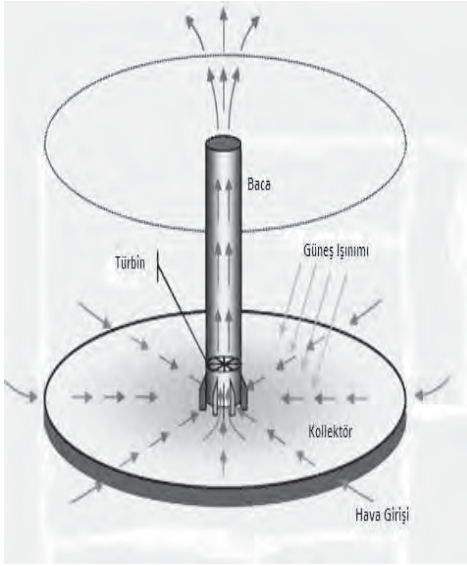
2.1. Güneş Bacası Elektrik Santral Yapıları

Güneş bacası sistemi için yapılan ilk tanımlamalardan biri 1931 yılında Alman yazar Hanns Gunther'e aittir. [4].

Güneş bacası sisteminde üç temel prensip bulunmaktadır. Bunlar; sera etkisi, yoğunluk ve sıcaklık farkıyla oluşan baca çekişi ve kinetik enerjidir. Sistem dairesel ya da dairesel kesite yakın bir kesitte oluşmuş sera alanından ve bu alanın merkezine konumlandırılmış bacadan oluşmaktadır.

Dairesel cam kollektör altında bulunan hava, kollektör yüzeyine gelen güneş ışıını sayesinde ısınır. Isınan hava, dış ortamdaki soğuk hava ile arasında oluşan yoğunluk farkından dolayı, kolektörün merkezine doğru hareket eder. Kollektör merkezinde bulunan dikey baca yardımıyla havanın çekişi hızlanır ve hava üst ucu açık olan baca tarafından dış ortama atılır. Hızı artarak bacaya yönelen hava, bacanın giriş bölgesinde bulunan türbini döndürür ve türbine bağlı olan jeneratör yardımıyla elektrik enerjisi elde edilmiş olur.

Bu çevrim güneş ışıını ne kadar büyükse o kadar hızlı bir şekilde gerçekleşir. Baca aynı zamanda kollektör altındaki havayı emdiği için, açık bulunan kollektör yanlarından sisteme tekrar hava girer. Böylece sürekli bir çalışma sağlanmış olmaktadır [4,5,11].



Şekil 1 Güneş bacası sisteminin çalışma prensibi [7]

Güneş bacasından elde edilen güç, gelen güneş miktarıyla, baca yüksekliğiyle ve kollektör alanı ile doğru orantılıdır. Aynı güç; yüksek baca ve nispeten küçük kollektör alanı veya daha kısa baca ve daha büyük bir kollektör alanı ile de elde edilebilir.

2.2. Sistemin Kurulumu

Araştırmanın yapılabilmesi için Mart 2009'da Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu bölgesinde $38^{\circ} 11' - 37^{\circ} 25'$ kuzey enlemi ile $39^{\circ} 14' - 37^{\circ} 31'$ doğu boylamı üzerinde yer alan, 669 rakımlı Adıyaman ilinde, Adıyaman Üniversitesi yerleşke alanı içinde günün tüm saatlerinde güneş gören ve çevresi açık alan seçilerek kurulmaya başlanan sistem, Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen proje ile Haziran 2010'da güneş bacası enerji santral prototipi kurulmuştur. Ayrıca prototip imalatı aşamasında TPAO Adıyaman Bölge Müdürlüğünden destek alınmıştır.

Adıyaman Üniversitesi kampüs alanına kurulan güneş bacası sisteminin kollektörü 6° derece eğimli ve

27 m çapındadır. Sistemin baca çapı 0.8 m ve yüksekliği 15 m dir. Araştırmamızda türbin olmadan yapılan ölçümler sonucunda baca girişine bir adet düşey eksenli özel olarak imal edilmiş rüzgar türbini ve DC jeneratör kullanılmasının uygun olacağına karar verilmiştir [12,13,14,15].

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Güneş bacası sisteminde türbin montajı yapıldıktan sonra gerçekleştirilen ölçümler 27 – 29 – 31 Temmuz 2011 tarihlerinde günlük olarak yapılmış elde edilen veriler paralellik gösterdiğinden 27 Temmuz 2011 tarihinde elde edilen veriler kullanılmıştır [15].

Kanat Modeli (çap)	Türbin Devir Sayısı (rpm)					
	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
0.8-1 Kanat	112,5	291	465	388	295,2	80,8
0.8-2 Kanat	255,5	349,5	435	466,5	435	205,9
0.8-3 Kanat	294,6	437,4	525	586	488,5	289,8
0.8- 4 Kanat	188,8	254,5	364,5	405	287,8	204,8
0.8- 5 Kanat	249	290	424,9	342	369	244,3
1.2-1 Kanat	0	0	0	0	0	0
1.2-2 Kanat	10	15	10	10	55	0
1.2-3 Kanat	55	19	45	85	73,3	35
1.2- 4 Kanat	30	35	40	60	25	20
1.2- 5 kanat	35	30	35	110	55,5	30

Çizelge 1. Güneş bacası sistemi için değişik kanat modelli türbinler için saatlik devir sayısı

Çizelge 1'de 0.8 m çaplı türbin modellerinin devir sayılarının 1.2 m çaplı türbin modellerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Rüzgar türbinlerinde devir sayısı ile türbin girişindeki hava hızı doğru orantılı olarak değişmektedir.

Türbin montajından sonra yapılan ölçümlerde de ana huni içindeki 0.8 m çaplı türbinlerin konulduğu

noktadaki hava hızının, 1.2 m çaplı türbinlerin konulduğu noktadaki hava hızından yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Ölçüm yapılan gün için güneş ışınlam değerlerinin Adıyaman ili için en yüksek olduğu 12:00 ile 13:00 saatleri arasında 0.8 m çaplı türbin modeli için farklı kanat sayılı tipleri Çizelge 2’de birbirleri ile kıyaslayacak olursak, sistem için en verimli türbin modelinin 0.8 m çaplı 3 kanatlı türbin modeli olduğu görülecektir.

Kanat Modeli (çap)	Zaman	Türbin Hızı (dev/d)	Türbin Giriş Hızı (m/sn)	Türbin Çıkış Gücü (W)
0.8-1 Kanat	12:00	465	2,91	5,3572
0.8-2 Kanat	12:10	435	2,79	4,756
0.8-3 Kanat	12:20	525	2,95	5,6894
0.8- 4 Kanat	12:30	364,5	2,62	3,984
0.8- 5 Kanat	12:40	424,9	2,57	3,774

Çizelge 2. Güneş bacası sistemi için kullanılan türbin modellerinin kıyaslanması

4. Sonuç ve Öneriler

Adıyaman üniversitesi yerleşke alanı içine kurulan güneş bacası siteminde yapılan ölçümlerde güneş ışınlam şiddetinin çevre sıcaklığını belirleyici bir parametre olduğu ve dolayısıyla güneş bacası siteminin performansını etkileyen önemli bir faktör olduğu, kollektörün altındaki ısının bacaya doğru gittikçe yükseldiği ve bacadan yukarı doğru yükseldikçe azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca küçük çaplı güneş bacası sistemlerinde enerji üretirken en iyi performansı elde etmek için baca girişine düşey eksenli bir türbin yerleştirilmesinin uygun olacağı, bu tür güneş bacası sistemlerinde en yüksek gücün 3

kanatlı türbin modelinden elde edildiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, güneş bacası sisteminin Adıyaman şartlarında enerji üretimi için alternatif bir sistem olduğu ve kurulan prototipin geliştirilerek bölgede güneş bacası elektrik santrali kurulabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

[1] K.Varınca, G.Varank, *Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri*, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü.

[2] K.Kavak, *Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi*, İktisadi Sektörler Ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Yayın No:2689, Ankara, 2005.

[3] Oda Raporu, Türkiye’nin enerji görünümü, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, MMO/588, 2012.

[4] A.Koyun, “Güneş bacası ile enerji üretiminin incelenmesi”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2006.

[5] Z.R. Yabuz, “Güneş bacasında konstrüktif iyileştirme çalışmaları ve performans artırıcı yöntemlerin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2009.

[6] Z.Xinping, J.Yang, B.Xiao, G. Hou, *Experimental study of temperature field in a solar chimney power setup*, Applied Thermal Engineering, 27 (2007) 2044–2050.

[7] J.Schlaich, R.Bergermann, W.Schiel, G.Weinrebe, *Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems - Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation*. 2004.

[8] N.Pasumarthi, S.A.Sherif, *Experimental And Theoretical Performance Of A Demonstration Solar Chimney Model Part 2: Experimental And Theoretical Results And Economic Analysis*. International Journal Energy Research, 22 (1998) 443-461.

[9] H.Kulunk, *A prototype solar convection chimney operated under Izmit conditions*. In: Veziroglu TN, editors. In:Proceedings of seventh MICAES, 1985. p. 162.

- [10] Y.J. Dai, H.B. Huang, R.Z. Wang, *Case study of solar chimney power plants in North-western regions of China*, Renewable Energy, 28 (2003) 1295–304.
- [11] K.Delikanlı, Z.R.Yabuz, *Güneş bacası prototipinde verimliliği artırıcı yöntemlerin araştırılması*, C.B.ü. Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 1:15 (2011) 36-54.
- [12] A.Bugutekin, *Effect of the collector diameter on solar chimney power plants*, Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research, 27(1) (2011) 155-168.
- [13] A.Bugutekin, *An Experimental Investigation Of The Effect Of Periphery Height And Ground Temperature Changes On The Solar Chimney System*, Journal of Thermal Science and Technology, 32:1 (2012) 51-58
- [14] A.Bugutekin, *Experimental study of temperature field in a solar chimney plant in ADIYAMAN*, Journal of Thermal Science and Technology, in pres, October 2012.
- [15] Y.İçel, “*Farklı çaplarda kanat modelleri ile güneş bacası enerji sisteminden elektrik üretim verimliliğinin incelenmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, 2012.

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE EVİRİCİ TOPOLOJİLERİNİN SİSTEM PERFORMANSINA OLAN ETKİLERİ

Özgür ÇELİK¹, Ahmet TEKE², H. Başak YILDIRIM¹

ozgurcelik@adanabtu.edu.tr, ahmetteke@cu.edu.tr, byildirim@adanabtu.edu.tr

¹Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, ADANA

²Çukurova Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, ADANA

ÖZET

Dünya enerji arzı çok büyük baskıya maruz kaldığından dolayı enerji verimliliği ve alternatif enerji kaynaklarının etkin kullanılması çok önemli bir konu haline gelmiştir. Fotovoltaik (FV) sistemler en çok kullanılan alternatif enerji üretim seçeneklerinden birisidir. Fakat FV sistemler düşük verimlilik, yüksek kurulum maliyeti, proje tasarım hataları ve değişken atmosferik koşullardan negatif olarak etkilenmektedirler. FV sistemlerde sistem bütününe verimliliğini etkileyen önemli bileşenler arasında eviriciler ilk sıralarda yer almaktadır. Özellikle şebekeye bağlı FV sistemlerde ve evsel kullanımlarda, evirici tasarımı ve işletimi farklı güç yapılandırmalarında yüksek verimlilikte güç çıkışı elde etme açısından çok büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada FV sistemlerin performansını etkileyen en önemli bileşenlerden biri olan FV evirici topoloji çeşitleri detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca, bu eviricilerin avantaj-dezavantajları, devre topolojileri ve önerilen seçim kriterleri ile belirlenen evirici topolojilerinin yüzdesel olarak sistem performansına olan etkileri ayrıntılı olarak sunulmuştur. Ek olarak, ticari olarak piyasaya sunulan evirici çeşitleri, güç aralıkları ve verimlilikleri ile performans oranı değerleri özetlenmiştir.

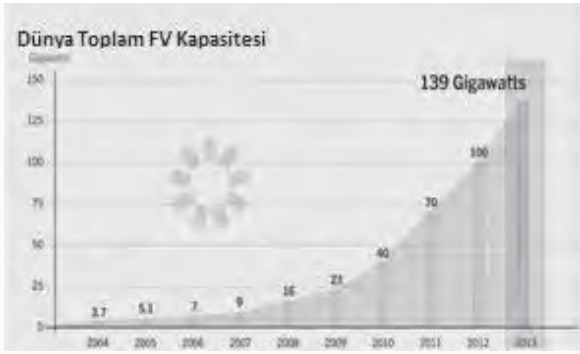
Anahtar kelimeler: Fotovoltaik sistemler, FV evirici topolojileri, evirici verimliliği, evirici devre topolojileri.

1. Giriş

Nüfus artışı ve sanayileşme ile birlikte hızla yükselen enerji talebi son yıllarda büyük önem arz etmeye başlamıştır. Enerji hayatımızın temel yapı taşlarından birisidir ve kullanımı direkt olarak toplumların sosyal ve ekonomik gelişimi üzerinde etki bırakmaktadır. Kısacası enerji üretim ve tüketimi toplumların gelişmişliği açısından önemli bir kıstastır. Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bilgi İdaresine göre dünya genelindeki toplam enerji tüketiminin 2007 yılından 2035 yılına kadar %49 artacağı tahmin edilmektedir [1]. Fakat artan talebe rağmen, yeterli enerji üretimi sağlanamamakta ve yeni kaynak arayışları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların tükenmesi, petrol fiyatlarının artması, fosil kaynakların yakımı sonucu oluşan karbon emisyonu, küresel ısınma, kirlilik gibi geleneksel enerji kaynaklarının yarattığı çevresel problemler bizleri alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmektedir [2,3]. Sürdürülebilirliği ve bolluğundan dolayı, güneş enerjisi günümüz ve

geleceğin en temel yenilenebilir enerji kaynağı olarak gösterilebilir [4,5].

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları çok büyük ilgi odağı haline gelmiş ve üzerinde yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. Uygulanma alanları özellikle 4 ana başlık altında sıralanabilir. Bunlar elektrik üretimi, ısınma ve soğutma, araç yakıtı olarak kullanım ve kırsal alanlarda kullanım. Yenilenebilir enerjinin küresel enerji üretim ve tüketimine katkısı günden güne artmakta, 2012 ve 2013 yıllarında enerji tüketimimize katkısı %19 ve elektrik enerjisi üretimine katkısı %22 olmuştur [5]. Renewables 2014'ün küresel statü raporuna göre FV santrallerin toplam küresel kapasitesi 139GW olarak belirlenmiştir. 2004 yılından 2013 yılına kadar toplam kapasite artışı Şekil 1. de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. 2014 yılında kurulan santrallerin toplam kurulu gücü totalde 40GW seviyesine ulaşmıştır, bu rakam FV sektörü için yeni bir rekordur [6].



Şekil 1. Yenilenebilir enerji dünyada kullanımı [5]

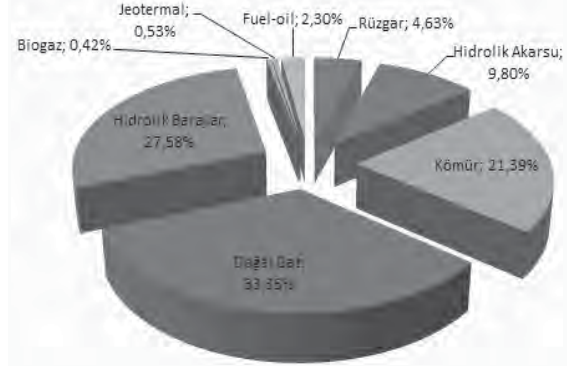
Avrupa'da FV güneş pazarı hızla büyümekte ve enerji üretimi açısından beklentiler günden güne artmaktadır. Tablo 1. de 2014 yılında kurulan FV santrallerin kurulu gücü ve 2014 yılına kadar kurulan FV santrallerin toplam kurulu gücü verilmiştir. Rakamlar incelendiğinde FV santrallerden elektrik üretimi konusunda bütün Avrupa ülkelerinin hızla büyüdüğü görülmektedir.

Tablo 1. Avrupa FV santralleri kurulu güçleri [6]

Avrupa Ülkeleri	Yıllık Kurulu Güç MWdc (2014)	Toplam Kurulu Güç MWdc (2014)
Avusturya	140	767
Belçika	65	3.104
Bulgaristan	2	1.022
Hırvatistan	13	33
Çek	2	2.134
Danimarka	47	608
Fransa	927	5.632
Almanya	1.898	38.235
Yunanistan	17	2.596
İtalya	385	18.313
Malta	0	23
Hollanda	400	1.042
Polonya	27	34
Portekiz	115	414
Romanya	72	1.223
Slovakya	0.4	524
İspanya	22	5.388
İsviçre	320	1.046
Türkiye	40	58
Birleşik	2.402	45.047

Ülkemiz açısından incelendiğinde oldukça zengin kaynaklara sahip olunmasına rağmen yenilenebilir enerji kaynaklarından yeteri kadar faydalanılamamakta ve kaynakların etkin kullanımı yeterince sağlanamamaktadır. Ülkemizde kullanılan

kaynaklara göre üretilen elektrik enerjisi santrallerinin kurulu güç dağılımı Şekil 2. de sunulmuştur.



Şekil 2. Kaynaklara göre santrallerin kurulu güç dağılımları [7]

Ülkemizde de enerji tüketimi 2011 yılının sonunda 230 milyar kWh iken, 2023 yılının başında 450 milyar kWh'e ulaşması tahmin edilmektedir. Türkiye'nin enerji politikasında belirlenen hedeflere göre 2023 yılına kadar, güneş enerjisi santrallerinde kurulu gücü 600MW, rüzgâr enerjisi santrallerinde 20.000MW, jeotermal enerji santrallerinde 600MW, hidrolik enerji santrallerinde 36.000MW yükseltme hedeflenmiştir. Böylelikle yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi arzındaki payının %30'a çıkartılması hedeflenmiştir [8].

FV hücreler güneş ışığını direk olarak elektrik enerjisine çevirebilme işlevine sahip aygıtlardır ve FV sistemlerin en temel bileşenleridir. Yapılarında fotoelektrik olayına bağlı olarak enerji üretebilme yeteneğine sahip olan yarıiletken malzemeler bulunur. FV sistemler basit kurulum, gürültüsüz çalışma, düşük bakım ve sürdürülebilirlik masrafları, tükenmezlik ve çevre dostu olması gibi birçok avantajı taşımaktadır. Fakat düşük verimlilik, ilk kurulum maliyeti ve buna bağlı olarak uzun vadeli amortisman süreleri ile dezavantajlı hale gelmektedir. PV paneller yaklaşık olarak üzerlerine düşen güneş ışığının %40'ını kullanabilirken, verimlilikleri de %15-18 arasında değişmektedir [5]. FV hücrelerin verimliliğini arttırmaya yönelik çalışmalar artırılarak sürdürülmesine rağmen, hala istenilen değerlerde büyüme sağlanamamıştır. Öte yandan bu sistemlerin verimliliklerini sadece hücrelerin verimliliğinden ibaret düşünmek yanlış olacaktır. Çünkü sistem bütünü düşünülmeli ve her türlü bileşen hesaba katılmalıdır. Örneğin DC-DC çeviriciler ve bunların kontrolcüsü olarak çalışan maksimum güç noktası izleyicileri (MPPT), eviriciler ve kontrolcüler, doğru tasarım, kablolama ve bağlantılar da sistem verimliliğinin önemli ölçüde etkilemektedir.

Şebeke bağlantılı FV sistemlerde, DC elektriğin AC elektriğe dönüştürülüp şebeke kullanımına uygun hale getirilmesi görevi üstlenen eviriciler giderek büyük

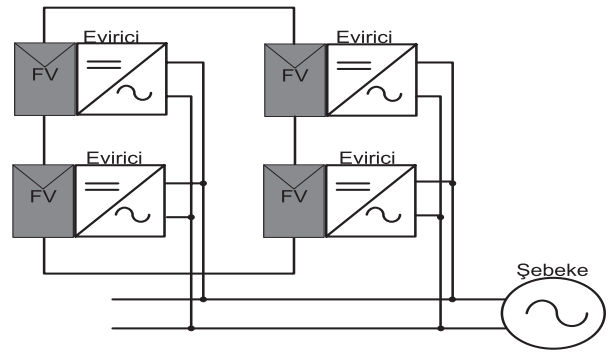
önem kazanmaktadır. Bu eviricilerin kurulan sisteme uygun topoloji seçimleri, sistem verimliliği açısından önemli katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada şebeke bağlantılı FV sistemler için evirici topolojileri ve kontrol stratejileri detaylı olarak incelenmiş, seçim kriterleri ve avantaj-dezavantajları belirtilmiştir. İlk bölümde şebeke bağlantılı FV sistemlerin çeşitli konfigürasyonları ve bunlara bağlı olarak kullanılması uygun olan evirici topolojileri ile devre şemaları verilmiştir. Sonraki bölümde önemli üreticiler ve ürün güç aralıkları ile verimlilikleri gösterilmiş, son bölümde ise evirici topolojilerine yönelik çıkarımlar anlatılmıştır.

2. FV Evirici Topolojileri

FV panellerin konfigürasyonu ve uygun evirici topolojisinin seçimi, sistem bütünüünün verimliliği ve fiyat analizi üzerinde doğrudan etki yaratacaktır. Eviriciler, işletim şartlarına bağlı olarak iletilen gücü optimize eden (maksimum güç noktası izleyici) MGNİ olarak adlandırılan güç düzenleme üniteleri içermektedir [3]. FV modül tarafından üretilen doğru gerilim, evirici devresiyle istenilen gerilim ve frekanstaki (220 Volt 50 Hz) alternatif gerilime dönüştürülmektedir. Ayrıca, evirici şebekeyi güvenli bir şekilde izlemeli ve herhangi bir kesinti durumunda şebekeyi desteklemelidir. FV panellerin düzenlenmesine bağlı olarak, sistem genel olarak dört farklı topolojide tasarlanabilir. Bunlar merkezi evirici topolojisi, dizi evirici topolojisi, çoklu-dizi evirici topolojisi ve panel bazlı evirici topolojileridir [9].

2.1. Panel Bazlı Eviriciler

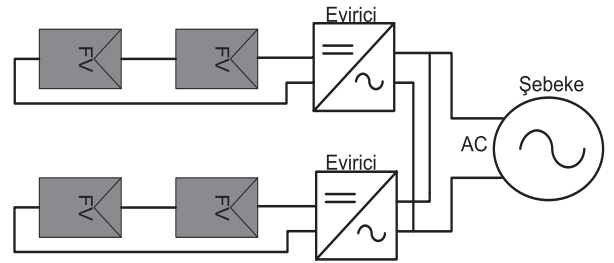
Şekil 3.'de gösterilen panel bazlı eviricilerde, her panele bir evirici bağlanır. Düşük güçlü uygulama olduğundan dolayı, bu eviriciler küçük boyutludur ve panel çerçevesine monte edilebilirler. Ayrıca bu şekilde evirici monte edilen paneller uygun bağlantı şartları oluşturularak şebekeye bağlanabilirler. Bu topolojinin avantajları, paneller arasındaki statik uyumsuzluk (karakteristik uyumsuzluk), çevresel gerilim ve gölgelenme faktörlerinden dolayı oluşan uyumsuzluklar ortadan kalkar, DC kablolama azaltılarak ark ve yangın risklerinin minimize edilmesinin yanında kayıpların azalması sağlanır ve en önemlisi her FV panel için ayrı MGNİ kontrolcüsü sağlanır. Öte yandan, çok sayıda evirici kullanımı sistem bütünüünde kayıplara yol açar, yüksek güçlü sistemler için yüksek maliyet oluşturur ve işçilik açısından uygun değildir. Ayrıca panel ömrü ve evirici ömrü düşünüldüğünde panel bazlı evirici topolojileri dezavantajlı hale gelmektedir [10].



Şekil 3. Panel bazlı evirici devre topolojisi

2.2. Dizi Eviriciler

Şekil 4.'te gösterilen dizi eviriciler merkezi eviricilerin indirgenmiş tipleri olarak düşünülebilir. Çatı veya düzensiz şekildeki bir alana kurulan orta güçte bir uygulama düşünüldüğünde, FV paneller alana aynı yön ve sayıda yerleştirilemeyebilir. Ayrıca gün içerisinde farklı gölgelenme şekillerine maruz kalabilir. Dizi eviriciler bu tür durumlar için oldukça uygun topolojilerdir. Çünkü oluşturulan her dizi bir eviriciye bağlanacak ve böylelikle oluşabilecek uyumsuzluk problemlerinin önüne geçilebilecektir. Öte yandan her dizi için ayrı MGNİ uygulanması verimliliğe katkıda bulunacaktır. Sonuç olarak bahsedilen durumlarda merkezi eviricilere göre daha yüksek verimlilik elde edilebilecek ve daha etkin kontrol sağlanabilecektir. Fakat kW başına düşen fiyat düşünüldüğünde dizi eviriciler merkezi eviricilere göre amortisman süresi yönünden dezavantajlı hale gelmektedirler [10,11].

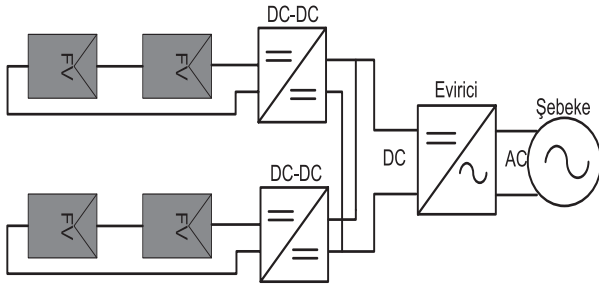


Şekil 4. Dizi evirici devre topolojisi

2.3. Çoklu-Dizi Eviriciler

Şekil 5.'de verilen çoklu-dizi eviriciler dizi eviricilerin bir varyasyonu olarak düşünülebilir. Temel olarak bir dizi eviricidir, fakat birden fazla girişi bulunur ve her girişin kendi MGNİ kontrolcüsü bulunur. Ekstra girişler bölünmüş dizilere uygulanan MGNİ ile sistem bütünüünün etkin kontrolünü sağlar. Aslında amaç birbirinden farklı ve bağımsız FV diziler oluşturup ayrı MGNİ kontrolcüsü sağlamaktır. Dizi eviricilere göre daha yüksek güç seviyesi için kullanılabilir ve dizi eviricilerin kW başına düşen yüksek maliyeti düşürülebilir. Dizi eviricilere göre daha az malzeme ve işçilik ücretleri ile kurulum yapıp amortisman süresine katkıda bulunulur. Ayrıca uyumsuzluk sorununa karşı

kurulumculara rahatlık sağlar ve giriş gerilim aralıkları oldukça geniştir [12].

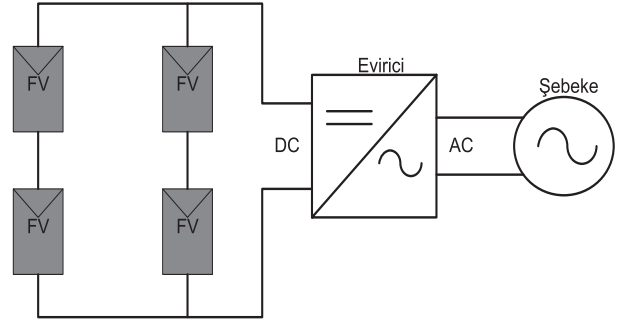


Şekil 5. Çoklu-Dizi evirici devre topolojisi

2.4. Merkezi Eviriciler

Şekil 6.'da gösterilen merkezi eviriciler sistemde bulunan tüm panellerin tek bir eviriciye bağlandığı en eski teknolojiler olarak tanımlanabilir. En önemli dezavantajları panellerde oluşabilecek uyumsuzluk sorunudur. MGNİ kontrolcüsü sistemin bütününe uygulandığından kısmi gölgelenme şartları ve

panellerin uyumsuzluk sorunu sistemin bütününe etki edebilir. Ayrıca paneller arasında yüksek gerilim değerine sahip DC kabloların kullanımı ve kullanılan dizi diyotlarda meydana gelen kayıplar dezavantaj olarak gösterilebilir. Bunun yanında yüksek evirici verimliliği, basit kurulum ve düşük maliyet merkezi eviricileri orta ve yüksek güçlü FV uygulamalarında hala geniş kullanım alanı sağlamaktadır [11].



Şekil 6. Merkezi evirici devre topolojisi

Tablo 2. Farklı evirici topolojilerinin karşılaştırılması

	Merkezi Evirici	Dizi Evirici	Çoklu-Dizi Evirici	Panel bazlı Evirici
Avantajlar	Yüksek evirici verimliliği	Azaltılmış tüm sistem kayıpları	Her dizi için bağımsız MGNİ	Yüksek MGNİ yeteneği
	Kurulumu daha basit	Karmaşık kurulum	Geniş giriş gerilim aralığı	Azaltılmış DC kablolama
	Düşük total harmonik	Farklı yönlerde dizi yerleşim serbestliği sağlar	Dizi eviriciye göre daha verimli	Yerden kazanç
	Düşük maliyet	Düşük DC kablolama kaybı	Yüksek sistem verimliliği	Soğutma ihtiyacı yoktur
	Tek MGNİ kullanılır	Kısmi gölgelenme şartları için uygundur	Dizi eviriciye göre daha yüksek güçlü sistemlerde kullanılır	Evirici bozulduğunda sadece tek panel etkilenir
	Orta ve yüksek güç uygulamaları için	Evirici arızasında daha az sayıda panel etkilenir	Her dizi için ayrı MGNİ kontrolü sağlar	Farklı yönlerde dizi yerleşim serbestliği
Dezavantajlar	Uyumsuzluk problemi	kW başına yüksek maliyet	DC-DC çevirici ihtiyacı	Yüksek kurulum maliyeti
	DC kablo kayıpları	Evirici yerleşimi için yer ihtiyacı	DC-DC çevirici kayıpları	Düşük güçte kullanım
	Kısmi gölgelenmeden dolayı verimlilik düşüşü	Yüksek gerilim seviyesinden dolayı tehlike	Evirici yerleşimi için yer ihtiyacı	

3. Piyasada Kullanılan Evirici Çeşitleri ve Verimlilik Analizleri

FV eviriciler güce bağlı olarak, 50-250W arasında panel bazlı evirici, 1,5-10kW arasında dizi evirici, 4kW-33kW arası çoklu-dizi evirici ve 50kW-2MW arasında merkezi eviriciler şeklinde dört ana gruba ayrılırlar. Tablo 3'te bazı evirici

marka/modellerine göre güç ve verimlilikleri verilmiştir. 250kW merkezi evirici ve 10kW'lık dizi eviriciler ve 27.6kW'lık çoklu-dizi evirici için verimlilik yönünden karşılaştırma yapılmıştır. Çoklu-dizi evirici için verimlilik ve kontrol yönünden diğer topolojilere göre daha kullanışlı olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 3. Piyasada bulunan evirici verimlilikleri

Evirici Markası	Modeli	Güç (kW)	Verim (%)
Advanced Energy Industries	Solaron 250kW (3159200-XXXX)	250	97,5
Eaton	S-Max 250KW (480V)	250	96
Power-One	PVI-CENTRAL-250-US (480 V)	250	97
PV Powered	PVP250KW-600	250	96,5
SanRex	PV-250K-48T-13	250	95
SatCon Tech.	PVS-250 (480 V)	250	96
Shenzhen	BSG250K-U or U/N	250	95
SMA America	SC250U (480V)	250	97
Solertia Renewables	SGI 250-480	250	97,5
Sungrow Power Supply	SG250KU	250	96,5
Xantrex Tech.	GT250-480-PG	250	96
Fronius USA	IG Plus V 10.0-277	10	96
Growatt New Energy Tech.	GROWATT 10000 TL3-US	10	95,5
KACO	XP10U-H4	10	97
Power-One	PVI-10.0-I-OUTD-x-US-480-y-z	10	97
Samil Power	SolarRiver10000TL-US (240V)	10	97,5
SMA America	SB10000TL-US (240V)	10	98
Solertia Renewables	PVI10kW-208	10	96
SunPower	SPR-10000f-277	10	96
SunPower	SPR-10000f-240	10	95,5
Xantrex Technology	PV10-480	10	92
ABB Power-One	Trio 27.6-TL-OUTD-W	27.6	98,2

4. Sonuçlar

Bu çalışmada şebeke bağlantılı FV sistemler için farklı evirici topolojileri avantaj ve dezavantajları ele alınarak sunulmuştur. Bu topolojilerden merkezi evirici topolojisi bütün panellerin yüksek evirici verimliliği ile tek noktadan şebekeye bağlantısına olanak sağlarken, evirici arızasında sistemin tümüyle şebeke bağlantısının kesilmesine sebep olup, kısmi gölgelenme, panel yerleşimi ve karakteristik uyumsuzlukları ile DC kablolama yönünden kayıplar oluşturmaktadır. Bu eksiklikler doğrultusunda dizi eviriciler ortaya çıkmış, uyumsuzluk problemleri, evirici arızasında tüm sistemin şebekeden kopması, kablolama kayıpları gibi dezavantajların önüne geçilmiştir. Daha sonra geliştirilen çoklu-dizi eviriciler ile her dizi için DC-DC çevirici eklenmiş giriş gerilim aralığı genişletilmiştir. Ayrıca her dizi için ayrı MGNİ kontrolü sağlanmıştır. Evirici çalışma gücü artırılmıştır. Son olarak geliştirilen

panel bazlı eviriciler ile optimum kontrol ile minimum kayıp hedeflenmiştir fakat maliyet, işçilik ve düşük güç problemlerinden dolayı şebeke bağlantılı büyük güçlü sistemler için uygunluk sağlanamamıştır. FV santrallerinde kullanılan bu evirici topolojilerinin uygun seçimi ve değerlendirilmesi, sistem tasarımının daha doğru yapılmasını sağlayarak yüksek verimliliğin elde edilmesine önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

5. Referanslar

- [1] Energy Informative (EI), available at <http://energyinformative.org/> [erişim 24.06.2015].
- [2] Chiu C. S., Ouyang Y. L., Ku C. Y., 2012. Terminal Sliding Mode Control for Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Power Generation Systems, Solar Energy 86 (2012) 2986–2995.
- [3] Kjaer S. B., Pedersen J. K., Blaabjerg F., A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 41, No. 5, 2005.
- [4] Ishaque K., Salm Z., Taheri H., Syafaruddin, 2011. Modeling and Simulation of Photovoltaic (PV) System during Partial Shading Based on a Two-Diode Model. Simulation Modeling Practice and Theory 19 (2011) 1613–1626.
- [5] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2014. Renewables 2014 Global Status Report, http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full%20report_low%20res.pdf.
- [6] Global_Market_Outlook_2015_-2019, available at http://www.solarpowereurope.org/fileadmin/user_upload/documents/Publications/Global_Market_Outlook_2015_-2019_lr_v23.pdf [erişim 30.07.2015].
- [7] Enerji Enstitüsü (EE). available at <http://enerjiensitusu.com/turkiye-kurulu-elektrik-enerji-gucu-mw/>, [erişim 04.06.2015].
- [8] Republic Of Turkey Ministry Of Energy And Natural Resources (YEGM), available at <http://www.eie.gov.tr> [accessed 27.05.2015].
- [9] Özdemir E., Özdemir Ş., 2008. Güneş Pilleri ile Dağıtılmış Elektrik Üretim Sistemlerindeki Gelişmeler. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008
- [10] EVJU S. E., 2007. MSc Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Electrical Power Engineering, 164 sayfa.
- [11] Schimpf F., Norum E. L., 2008. Grid Connected Converters for Photovoltaic, State Of The Art, Ideas for Improvement of Transformerless Inverters, Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics (NORPIE), June 9-11, 2008.
- [12] Meza, C., Negroni, J.J., Guinjoan, F. And Biel, D., 2007. Inverter Configuration Comparative for Residential PV-grid connected systems, 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics, IECON 2006, pp. 4361 - 4366.

Arazi Tipi Güneş Enerjisi Santral Tasarımı

Orhan Toy Canan Karatekin

İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Maslak, İstanbul

orhan.toy@itu.edu.trtrkaratekin@itu.edu.tr

Özet

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin artmasıyla güneş enerji sistemlerinin de kullanımı artmaya başlamıştır. Güneş enerji sistemleri düşük verimlerine rağmen fosil yakıtlara göre sağladığı birçok avantajı sayesinde tercih sebebi olmuş, panel teknolojisinin gelişmesiyle ilerleyen yıllarda daha yüksek verimli hale gelip, konvansiyonel enerji üretim sistemleri de bu sistemlere çevrilecek, fosil yakıtlara bağımlılık azalmaya başlayacaktır. Bu çalışmada ilk olarak güneş enerjisi ölçüm sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra arazi tipi güneş santrali tasarımında parametrelerin nasıl belirlendiği, PVsyst bilgisayar programı yardımıyla yapılan enerji üretim simülasyonları, elektriksel teknik hesaplar verilip projenin çizimleri eklenmiştir. Ardından, 10MW gücünde Karaman Kızılkuyu’da tasarlanan bu santralin ekonomik olarak getirisi, amortisman aralığı, kendi maliyetini ne kadar sürede karşılayacağı ile ilgili tahminler yapılmıştır. Son olarak ülkemiz şartlarında bir güneş enerjisi santrali kurulumu için ilgili mevzuat hakkında bilgi verilip kurulum sürecinin bürokratik aşamaları anlatılmıştır. Tüm bunların sonucunda 10 MW’lık bir santralin yaklaşık 10 milyon dolar bir maliyetle gerçekleştiği, enerji üretim değerlerine göre bu santralin 4-5 yılda kendi maliyetini amorti edebileceği sonucuna varılmıştır. Gelişen panel ve tasarım teknolojisiyle önümüzdeki yıllarda bu rakamların düşmesi ve amorti sürelerinin kısalması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi ölçüm sistemleri, arazi tipi güneş panelleri, güneş santrali tasarım parametreleri, amortisman, güneş enerjisi mevzuatı

1. Güneş Enerjisi Ölçümü

Güneş enerjisinin temelini güneş ışıınımı miktarı ve güneşlenme süresi oluşturmaktadır. Güneş enerjisinin rüzgara göre değişimi daha düşük olsa da bölgeden bölgeye büyük farklılıklar göstermektedir. Özellikle bulutluluk önemli bir faktör olarak güneş enerjisinde karşımıza çıkmaktadır. Bu enerji kaynağı enlem, yükselti, bulut kapallılığı, bağıl nem, toz miktarı, görüş uzaklığı, hava kirliliği vb. değişkenlere doğrudan bağlıdır. Dolayısıyla bu değişkenlerin etkileri ancak ölçümler ile belirlenebilmektedir. Gelişmiş ülkelerde güneş ışıınımı ölçümleri çok sık ağırlarla örülmüş istasyonlarda yapılmaktadır. Bu istasyonlardan alınan değerler ile uydu verileri karşılaştırılmakta ve aralarında ilişkiler belirlenerek alansal haritalar oluşturulmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)’den 6 Şubat 2015 itibariyle edinilen bilgiye göre güneş ölçüm istasyonu 672’ye yükselmiştir[1]. Az sayıda istasyonun yanısıra sürekli olmayan güneş ışıınımı ölçüm değerleriyle genel model kurmak güneş santrali tasarımlarında hata paylarının çok yüksek çıkmasına teoride ulaşılan enerji değerlerine pratikte ulaşamamasına neden olur.

Güneş ışınlamı ölçümlerinin oldukça sık aralıklar ile ve özellikle kalibrasyonu yapılmış, güvenilir aletler ile ülkemizde güneş radyasyonunun da dahil olduğu klimatolojik gözlemler Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır. 2006 yılından önce “Aktinograf” adı verilen cihazla yapılan ölçümler bu yıldan itibaren daha hassas sonuç veren “Solarimetre” ile yapılmaktadır.

1966-1982 yıllarında DMİ tarafından ölçülen güneşlenme süresi ve güneş ışınlamı şiddeti verilerinden yararlanarak Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmaya göre;

- Ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat)
- Ortalama toplam ışınlamı şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²)

değerindedir [2].

Çizelge 1 :Türkiye’nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı [3]

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ(kWh.m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

2. Santral Tasarım Parametreleri

2.1. Lokasyon Seçimi

Lokasyon seçiminin santral tasarımında büyük etkisi vardır. Güneş santralinin kurulduğu lokasyon beklenen özelliklere sahip değilse enerji üretimi istenilen seviyeye ulaşamaz ve yapılan santral yatırımlarının boşa gitmesine, büyük miktarlarda maddi kayıpların yaşanmasına neden olur. Güneş enerjisi santralının lokasyonunun belirlenmesinde yatırımcılara yasalarca belirlenmiş bazı kriterler vardır. Buna göre;

sürekli olarak yapılması esastır.

- Santral yapılacak lokasyonun tarıma elverişli olmaması,
- Santral yapılacak bölgede yıllık güneşlenme süresinin en az 2000 saat olması,
- Santral yapılacak bölgede 4 saatlik güneşlenme süresine sahip gün sayısının 150’den fazla olması gerekmektedir.

Bunun dışındaki lokasyon seçiminde dikkat edilecek hususları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Santral yapılacak bölgenin yıllık yağış miktarının düşük olması
- Hava kirliliğinin olmaması
- Sis ve bulut etkisinin az olması
- Rüzgar hızının düşük olması
- Ormanlık bölgelerden uzak olması

Sıralanan bu özellikler dikkate alınarak santral yapılacak alan olarak Karaman iline bağlı Kızılkuyu köyü yakınlarındaki bir arazi seçilmiştir. Bu arazi yaklaşık 250.000 m²’dir ve 10 MW’lık bir santral için yeterli genişliğe sahiptir.

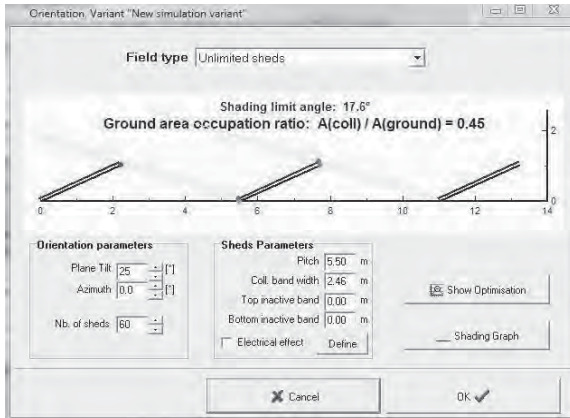
2.2.Ekipman Seçimi

Ekipman seçimi santralin uzun ömürlü ve verimli bir şekilde enerji üretmesi için önemlidir. Tesiste kullanılacak olan panel, invertör, trafo ve kablo seçimleri yapılarak boyutlandırılmıştır. Panel olarak ince film teknolojisine sahip 110W’lık 1200x600x6.8mm ölçülerindeki modül seçilmiştir. İnvertör olarak 1 MW’lık invertörlerden 10 adet kullanılarak tasarım gerçekleştirilmiştir. Trafo olarak 1000 kVA, 36 kV’luk yağlı tip bir trafo seçilmiştir. Bu değerlerden herhangi biri uygun olmadığı takdirde PVsyst programı tespit ederek kullanıcıya uyarı

vermektedir. Sistem buna göre uygun değerlerle tekrar revize edilebilir.

2.3. Panel Parametreleri

Panel parametreleri santral tasarımında bilgisayar simülasyonları aşamasında belirlenen Azimuth açısı, Tilt açısı, Pitch mesafesi ve modül band genişliği gibi parametrelerdir. Simülasyon sonucu yazılımın verdiği üretim raporu kontrol edilmeli, maksimum enerji üretimini verecek şekilde bu parametreler değiştirilmeli ve santral tasarımında bu parametreler kullanılmalıdır. Bu çalışmada azimuth açısı 0°, tilt açısı 25°, panel sıraları arasındaki mesafe 5.50m, band genişliği 2.46 m olarak seçilmiştir. Band genişliğini 2.46 m seçilmesinin nedeni düşeyde bir kenarı 0.6 m olan 4 panelin aralarında 0.02 m boşluk bırakmak içindir. Şekil 1’de PVsyst panel parametreleri sayfası görülmektedir.



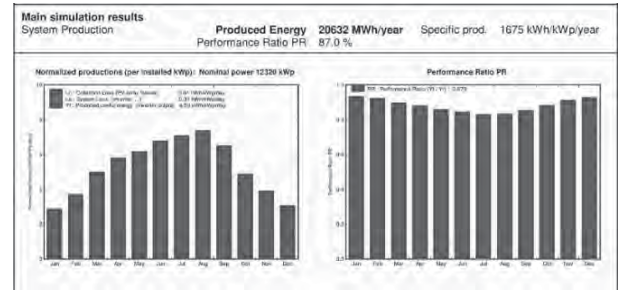
Şekil 1 : PVsyst panel parametreleri sayfası

3. PVsyst Analizi

Güneş enerjisi santralini tasarlarken enerji üretim simülasyonları PVsyst adlı program ile yapılmıştır. Programın başındaki seçeneklerden ister şebekeye bağlı sistem tasarımı, isterse şebekeden bağımsız sistem tasarımı gerçekleştirilebilir. PVsyst programı internet üzerinden 30 günlük deneme sürümü ücretsiz olarak indirilebilir[4]. Bu çalışmada şebekeye bağlı bir sistem tasarlanmıştır.

PVsyst ile simülasyonlar tamamlandıktan sonra programın verdiği enerji üretim raporları kontrol edilip ilgili değişiklikler yapıldıktan sonra optimum değerler elde edilinceye kadar simülasyonlar tekrar edilir. Santral tasarımında elde ettiğimiz proje raporu Şekil 2’de görülmektedir. Bu rapora göre santral yıllık 20632 MWh enerji üretmektedir.

Ayrıca grafiklerde santralin sistem ve toplam kayıplarıyla beraber aylara göre ürettiği enerji miktarı da görülmektedir.



Şekil 2 : PVsyst üretim değerleri raporu

4. DC Giriş Gerilim ve Akım Kontrolü

Güneş santrali tasarımında bir dize içerisinde kullanılacak maksimum ve minimum modül sayısını belirlemek ve seçilen invertörün doğru olup olmadığını belirlemek için doğru akım (DC) giriş gerilim ve akım kontrolü yapılır. Bu hesaplar için aşağıdaki formüller kullanılır

$$1 - (C - C_{\min}) \cdot \frac{\beta_L}{100} = 1 - (25 - (-28)) \cdot \frac{0,29}{100} = 1,1537$$

$$V_{oc} \times 1,1537 = 87,2 \times 1,1537 = 100,60 \cong 100V$$

$$\frac{V_{maks}}{100} = \frac{1000}{100} = 10 \quad (4.1)$$

Burada,

- C: Oda sıcaklığı (°C)
- Cmin: Santral arazisinin minimum sıcaklığı (°C)
- β_L : Panelin sıcaklığa bağlı verim katsayısı
- Voc: Panel açık devre gerilimi (V)

- V_{maks} : Maksimum sistem gerilimi (V)

Buna göre her dize için 10 modül kullanılır.

4.1. DC Hesaplar

Modüllerden invertöre kadar olan kısım için yapılan hesaplar doğru akım (DC) hesaplarıdır. Bu hesaplar kullanılacak kablo kesidini belirlemek, gerilim düşümü ve güç kaybının istenen toleransta olup olmadığına karar vermek için yapılır.

Bu hesapları her dize için tek tek yapmak yerine bir excel tablosu ile kolayca yapılabilir. Tablo oluşturup formülleri yazdıktan sonra girdi olarak sadece kablo uzunluğunu yazmak o dize hattındaki gerilim düşümü ve güç kaybı bilgilerini verecektir. Bu hesaplar aşağıdaki formüllere göre yapılır:

$$P_k = \frac{2 \times L \times I^2}{S \times K} \quad (4.2)$$

- P_k : Güç kaybı (W)
- L : Kablo uzunluğu (m)
- I : Dize akımı (1,59A alınacaktır)
- S : Kablo kesiti (6 mm² alınacaktır)
- K : Kablo iletkenlik katsayısı (Bakır için 56 m/Ω.mm² alınacaktır)

$$\% \mathcal{E} = \frac{2 \times 100 \times L \times I}{S \times U \times K} \quad (4.3)$$

- $\% \mathcal{E}$: Gerilim düşümü oranı
- L : Kablo uzunluğu (m)
- I : Dize akımı (1,59A alınacaktır)
- S : Kablo kesiti (6 mm² alınacaktır)
- U : Dize maksimum güçteki gerilimi (Bir dizede 10 modül olduğu için 69,4x10=694V alınacaktır)

- K : Kablo iletkenlik katsayısı (Bakır için 56 m/Ω.mm² alınacaktır)

4.2. AC Hesaplar

Invertör ile trafo arasında kalan kısım için yapılan hesaplar alternatif akım (AC) hesaplarıdır. Bu hesaplar da aynı DC hesaplardaki gibi kablo kesidini belirlemek, kayıpların istenen düzeyde olup olmadığını kontrol etmek için yapılır.

$$I = \frac{N_k}{\sqrt{3} \times U \times \cos \Phi} = \frac{1000000}{\sqrt{3} \times 400 \times 1} = 1443 A \quad (4.4)$$

- N_k : AC kurulu güç (W)
- U : İşletme gerilimi (V)
- $\cos \Phi$: Güç faktörü

$$\% e = \frac{\sqrt{3} \times 100 \times L \times I}{S \times U \times K} = \frac{\sqrt{3} \times 100 \times 10 \times 1443}{4 \times 240 \times 400 \times 56} = 0,11 \leq \%1 \quad (4.5)$$

$$P_k = \frac{3 \times L \times I^2}{S \times K} = \frac{3 \times 10 \times 1443^2}{4 \times 240 \times 56} = 1161,96 W \quad (4.6)$$

Sistemin bürokratik aşamalarında da ilgili kurumlara verilmesi gereken sistem kurulum planı çizimi ve tek hat şeması çizimi Autocad programı ile gerçekleştirilmiştir.

Sistem kurulum paftası çizimi santral arazisinde santralin nasıl konumlandırılacağını gösterir. Tek hat şeması ise sistemin elektriksel bağlantı noktalarını gösterir.

Bu santralde her bir dizede 10 adet modül olmak üzere 4x10'luk masa sistemi kullanılmıştır. Modüllerden çıkan kablolar 4'lü harnesslara bağlanarak buradan DC toplama panosuna iletilir.

Bu sayede kullanılan kablo miktarı azaltılarak maliyet düşürülmüş olur. İçlerinde invertör, AC toplama panosu, trafo ve OG hücre bulunan her birime PCS adı verilmektedir. 10 PCS biriminin kullanıldığı bu santralde her bir PCS birimine 8 adet DC toplama panosu bağlıdır.

Bu DC toplama panolarına ise 36 ve 32 masalı invertör dizeleri bağlanmıştır. Bütün bu hesaplardan sonra kullanılan toplam modül sayısı 112000, masa sayısı 2800, DC toplama panosu sayısı 80, PCS birimi sayısı 10'dur.

5. Maliyet Hesabı

Maliyet analizi için bir excel tablosu oluşturularak santralin toplam maliyeti görülebilir. Buna göre tasarlanan santral ortalama 10 Milyon dolara mal olmuştur. Güneşten elde edilen yenilenebilir enerji için kWh başına devletin verdiği teşvik miktarı 13,3 dolar/cent'tir. Enerji üretim raporunda yılda üretilen enerji ise 20632 MWh olarak görülmektedir. Bu bilgilere göre santralin kendi maliyetini amorti etme süresi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$20632000 * 0,133 = 2744056 \$$$

$$\frac{10112650}{2744056} = 3,68 \cong 4 \quad (5.1)$$

Yapılan hesaba göre santral yaklaşık 4 yıl gibi bir sürede kendi maliyetini çıkartmaktadır.

GES kurulacak arazi tespit edildikten sonra gerekli yasal izinlerin alınması gerekmektedir. Yasal izin süreci yaklaşık 4-6 ay sürmektedir. Lisanslı ve lisanssız GES kurulumu için bürokratik aşamaları temelde aynıdır. Sadece lisanslı santrallerde EPDK'dan üretim lisansı alınması zorunludur[5]. Bu aşamalar aşağıdaki şekilde gruplanabilir.

1.AŞAMA : EDAŞ'a Başvuru Yapılması ve Çağrı Mektubunun Alınması

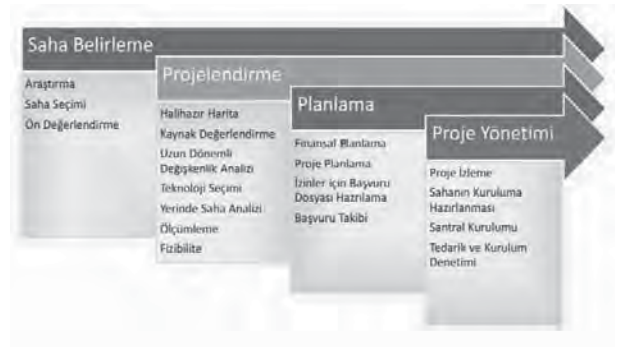
2.AŞAMA : TEDAŞ Proje onaylaması ve EDAŞ'la Bağlantı Anlaşmasının Yapılması

3.AŞAMA : TEDAŞ'ın Geçici Kabulü yapılması ve EDAŞ'la Sistem Kullanım Anlaşmasının Yapılması

Bütün bu aşamalardan sonra tesis çalışmaya hazır hale gelmiş bulunur. Burada uyulması gereken yasal süreler ise;

- AG bağlantı noktası ise; 1 yıl
- OG bağlantı noktası ise; 2 yıl [6]

Kurulum aşamaları tamamlanarak faaliyete geçebilmek için tesisin TEDAŞ tarafından kabulünün yapılması gerekmektedir. Şekil 3'te güneş santralı projesindeki uyulması gereken süreçler görülmektedir.



Şekil 3: Proje Süreci [7]

6. Sonuçlar (10.1)

Bu çalışmada PVsyst bilgisayar programı yardımıyla enerji üretim simülasyonları yapılarak 10MW gücünde bir arazi tipi güneş enerji santrali tasarlanmıştır.

Sistemin parametreleriyle çeşitli olasılıklar denenerek en düşük maliyetli, en verimli sistem tasarlanmaya çalışılmıştır. Bir güneş santralı için gerekli olan panel, inverter, trafo, kablo seçimi yapılmıştır.

Maliyet analiziyle bu santralin kendini ortalama 4 yılda amorti edeceği öngörümü yapılmıştır. Son olarak santral kurulumunun bürokratik aşamalarından bahsederek yatırımcının izlemesi gereken yollar belirlenmiştir. Tüm bunların sonucunda 10 MW'lık bir santralin yaklaşık 10 milyon dolar bir maliyetle gerçekleşeceği, enerji üretim değerlerine göre bu santralin 4-5 yılda kendi maliyetini amorti edeceği sonucuna varılmıştır.

Güneş enerji santrallerinin şuan ortalama 3-10 yıl gibi bir amortisman süresi göz önüne alındığında 4-5 yıl olarak belirlenen öngörü başarılı bir çalışma olduğunun göstergesidir. İlerleyen yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına ve güneş enerjisine olan ilginin daha çok artmasıyla bu alanda yapılan çalışmalar hız kazanacak, panel verimleri artacak, kurulan santrallerin maliyetleri giderek düşecek, dolayısıyla yapılan tasarımların geri dönüş süreleri de azalacaktır.

7. Kaynaklar

[1] **Url-1** <[http://www.icsgistanbul.com/wp-content/uploads/2014/08/Enerji IQ Sayı 119.pdf](http://www.icsgistanbul.com/wp-content/uploads/2014/08/Enerji_IQ_Sayi_119.pdf)> , alındığı tarih 13.08.2015

[2] **Varınca, K.B., Gönüllü, M.T.**, “Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma”, 1.Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir, 21-23 Haziran 2006

[3] **Url-2**<<http://www.nukte.org/node/163>> alındığı tarih 13.08.2015

[4] **Url-3** <<http://www.pvsyst.com>>

[5] Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik (2013). EPDK, 28783, 02.10.2013

[6] Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularının Teknik Değerlendirilmesi Hakkında Yönetmelik (2013). EPDK, 28664, 01.06.2013

[7]**Url-4**
<<http://www.gensed.org/CF/CD/15929964a2018dbf6bee06f95410b57dcbe81422351680.pdf>> ,alındığı tarih 12.08.2015