

TÜRKİYE’DE FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNİN KALİTE GEREKSİNİMLERİ

Yrd. Doç. Dr. Mete ÇUBUKÇU

Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü,

E-posta: mete.cubukcu@ege.edu.tr

ÖZET

Fotovoltaik Güç Sistemi (FVGS) performansının sürekliliğini sağlamak amacıyla, sistemin kalite karakteristiklerini ortaya çıkarmak ve bu verilerden hareketle bir sistem modeli oluşturmak mümkündür. Bu hedef doğrultusunda iklim verilerinin ve sistem bileşenlerinin başarıma etkisi kapsamlı olarak incelenmektedir ve sonuçlar uluslararası değerlendirme ölçütleri ile açıklanabilmektedir. Bu çalışmada, küresel ölçekte ve Türkiye özelinde fotovoltaik sektörünün mevcut durumu özetlenmiş ve FVGS başarımlarını etkileyen temel karakteristikler tanımlanmıştır.

1. GİRİŞ

Küresel elektrik enerjisi üretiminin farklı kaynaklara göre dağılımı, Tablo 1’de gösterilmektedir. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) tarafından

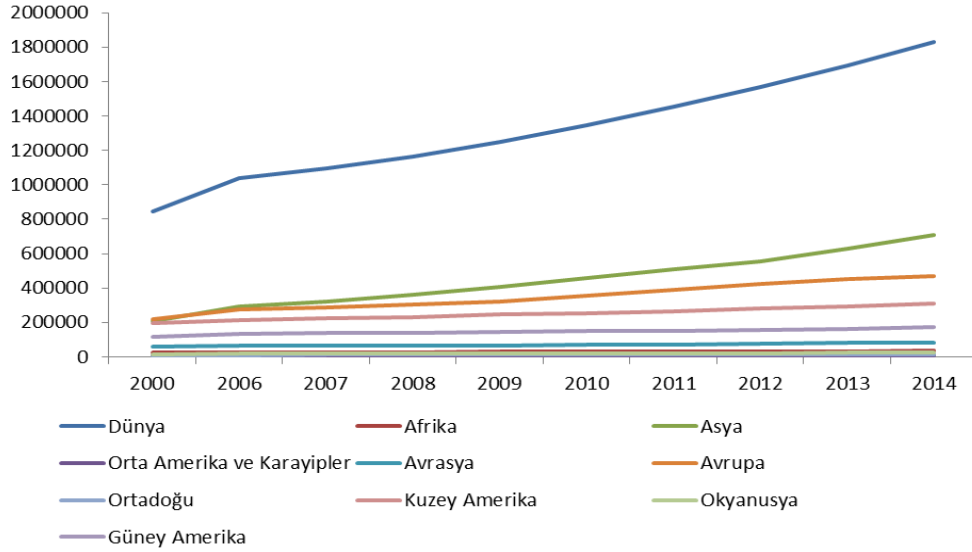
yayınlanan, elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin kurulu güç istatistikleri (MW) Tablo 2’de gösterilmektedir. Grafikselsel olarak, Şekil 1’de yükseliş eğilimi görülmektedir [2].

Tablo 1. Küresel elektrik enerjisi üretiminin farklı kaynaklara göre dağılımı [1].

	2014 (%)
Fosil Yakıtlar ve Nükleer	77,2
Yenilenebilir Enerji Kaynakları	22,8
Hidroelektrik	16,6
Rüzgar	3,1
Biyokütle	1,8
FVGS	0,9
Diğer (Jeotermal, CSP ve okyanus)	0,4

Tablo 2. Yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik enerjisi üretimi güç kapasitesi (MW) [2].

(MW)	2000	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Dünya	842594	1036837	1094458	1164173	1250215	1347755	1456265	1569791	1695574	1828722
Afrika	23119	25094	25530	26124	28209	29179	29509	30665	31668	34276
Asya	209432	292592	321394	359493	407081	456113	507780	555630	631188	706812
Orta Amerika ve Karayipler	5543	6549	6880	7011	7250	7593	8437	9139	9495	10100
Avrasya	58673	63928	65075	65866	67181	69244	71164	75810	80896	84546
Avrupa	216996	272859	285518	302358	322581	352649	389606	423986	450550	471989
Ortadoğu	4107	10677	11591	12100	12183	13025	13445	14576	15408	16201
Kuzey Amerika	194170	212980	221583	231702	244909	253026	264067	281667	292185	309281
Okyanusya	15930	16869	17579	17894	18449	19129	20508	22032	22915	24500
Güney Amerika	114624	135290	139308	141628	142373	147797	151749	156287	161270	171018



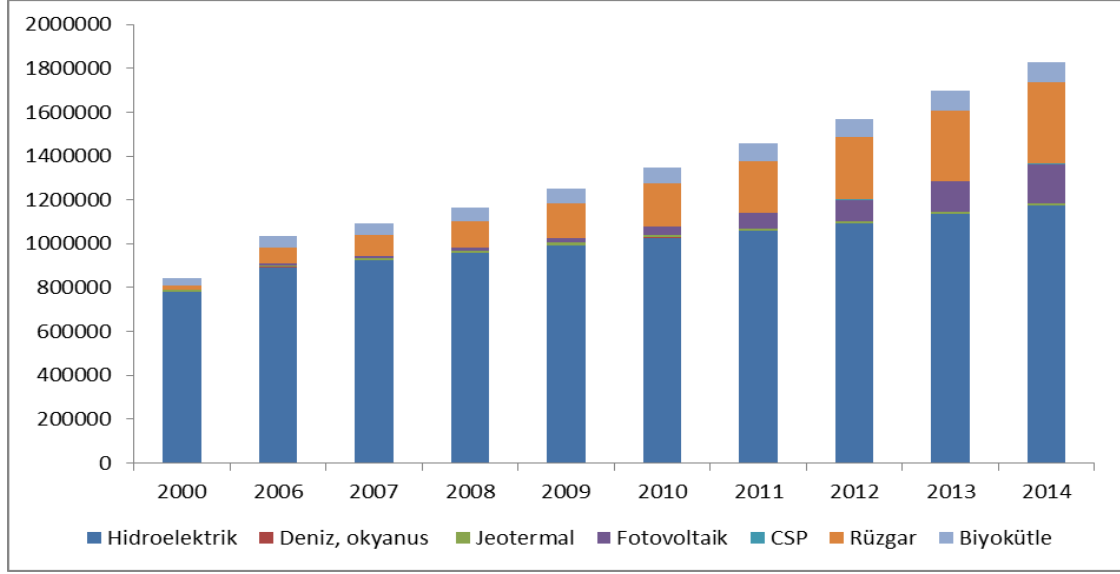
Şekil 1. Yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik enerjisi üretimi güç kapasitesi yıllık değişimi (MW) [2].

Elektrik enerjisi üretiminde, yenilenebilir enerji kaynakları kurulu güç kapasitesinin alt dağılımı, Tablo 3'de gösterilmektedir.

Şekil 2'de gösterilen yükseliş eğiliminden anlaşılacağı üzere, fotovoltaik ve rüzgar sistemlerindeki artış dikkat çekicidir.

Tablo 3. Elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının alt dağılımı (MW) [2].

(MW)	2000	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Küçük hidroelektrik (< 1 MW)	29217	29268	29295	29338	29502	30477	29869	29710	27229	27533
Orta hidroelektrik (1-10 MW)	48925	67667	71371	75701	79900	85215	90079	95133	102890	106835
Büyük hidroelektrik (>10 MW)	597032	677534	701276	727641	753172	779001	801295	817838	855770	886899
Pompajlı hidroelektrik santral	106561	118500	122653	125080	130323	132912	136725	148025	149588	150736
Deniz, okyanus	265	265	266	266	269	271	526	533	533	534
Jeotermal	8322	9497	9863	10326	10727	10979	10914	11294	11698	12414
Fotovoltaik	805	6060	8611	14541	22372	38795	68956	97290	135503	175305
CSP	419	412	479	531	776	1250	1718	2580	3800	4334
Rüzgar	17333	73504	93709	119653	158427	196321	236594	282679	318197	369608
Biyokütle	33715	54131	56935	61098	64749	72536	79591	84710	90366	94526
TOPLAM	842594	1036837	1094458	1164173	1250215	1347755	1456265	1569791	1695574	1828722



Şekil 2. Elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının alt dağılımı (MW) [2].

2014 yılı içinde en fazla kurulum, önce rüzgâr (370 GW), ardından da fotovoltaik güç sistemlerinde (177 GW) olmuştur. 2014 yılında bir önceki yıla göre % 30 büyüyen Fotovoltaik Güç Sistemi (FVGS) kurulumu, son beş yılda da ortalama yıllık % 50 büyümeye göstermiştir. Yenilenebilir enerji sektörüne ilişkin temel göstergeler, Tablo 4’de özetlenmiştir. Yenilenebilir enerji sektörü açısından, önemli diğer parametreler, sektörün yatırım hacmi ve istihdam edilen kişi sayısıdır. 2014 yılında,

yenilenebilir enerji sektörüne küresel ölçekte 270 milyar USD yatırım yapılmıştır. Alt sektörlerine yapılan yatırımlar, Şekil 3’de gösterilmektedir. Fotovoltaik sektörü, en çok yatırımın yapıldığı alan olmuştur. Küresel ölçekte, yenilenebilir enerji sektöründe çalışan sayısı 7,7 milyonu bulmuştur. Alt alan dağılımında, yaklaşık 2,5 milyon istihdamı ile FV sektörü en çok istihdam yaratan yenilenebilir enerji sektörü olmuştur [1].

Tablo 4. Yenilenebilir enerji sektörü göstergeleri [1]

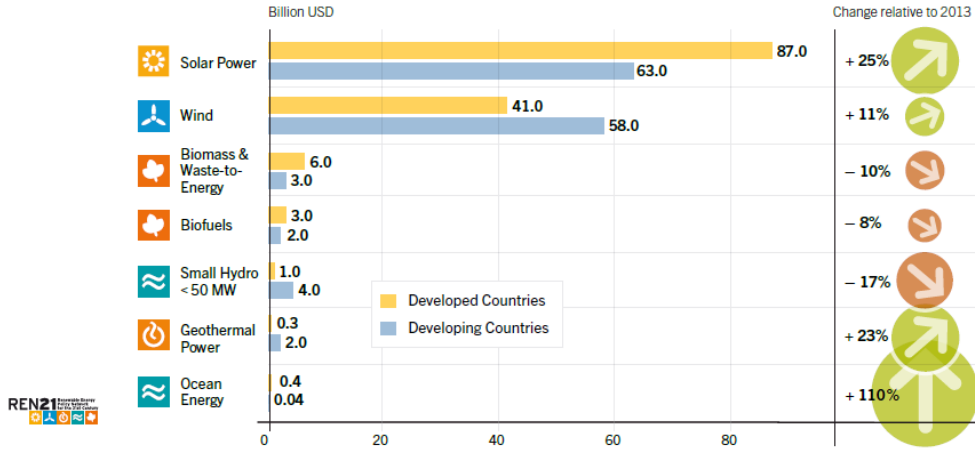
	2004 ¹	2013	2014 ²
YATIRIM			
Yenilenebilir enerji sektörü yıllık yatırım miktarı, [milyar USD] ³	45	232	270
KÜMÜLATİF GÜÇ KAPASİTESİ			
Yenilenebilir güç kapasitesi (Hidroelektrik hariç), [GW]	85	560	657
Yenilenebilir güç kapasitesi (Hidroelektrik dahil), [GW]	800	1.578	1.712
Hidroelektrik güç kapasitesi, [GW]	715	1.018	1.055
Biyokütle güç kapasitesi, [GW]	< 36	88	93
Jeotermal güç kapasitesi, [GW]	8,9	12,1	12,8
Fotovoltaik güç (FVGS) kapasitesi, [GW]	2,6	138	177
Yoğunlaştırılmış güneş ısı (CSP) güç kapasitesi, [GW]	0,4	3,4	4,4
Rüzgar güç kapasitesi, [GW]	48	319	370
KÜMÜLATİF ISIL ENERJİ KAPASİTESİ			
Güneş enerjili su ısıtma kapasitesi, [GW _{th}]	86	373	406
ULAŞIM SEKTÖRÜ KULLANIM KAPASİTESİ			
Yıllık etanol üretimi, [milyar litre]	28,5	87,8	94
Yıllık biyodizel üretimi, [milyar litre]	2,4	26,3	29,7
POLİTİKA GÖSTERGELERİ			
Politika hedefi olan ülke sayısı	48	144	164
“Tarife garantisi” (feed-in tariff) tanımlamış ülke/eyalet/bölge sayısı	34	106	108
“Yenilenebilir Portföy Standardı” (RPS) tanımlamış ülke/eyalet/bölge sayısı	11	99	99
“Kamusal Rekabete Açık İhale” düzenleyen ülke sayısı	-	55	60
Yenilenebilir enerji kaynaklı ısı üretimini zorunlu kılan ülke sayısı	-	19	21
Biyoyakıtı zorunlu kılan ülke sayısı	10	63	64

¹ 2004 yılına ilişkin kümülatif verilen kapasite değerleri, yıl başında olan değerlerdir. Yatırım ve biyoyakıt üretimi gibi veriler ise bütün yılı kapsayan verilerdir.

² Yılın ilk çeyreğinde verilen geçici değerlerdir.

³ Yenilenebilir enerji kaynaklı, elektriksel güç ve yakıt toplamı yatırımdır. “Bloomberg New Energy Finance” kaynaklı bir bilgidir. Tüm biyokütle, jeotermal, okyanus, güneş enerjisi projeleri [1 MW altı ayrıca küçük projeler olarak ayrılmıştır], 1 MW üstü rüzgar enerjisi projeleri, 1-50 MW aralığı hidroelektrik güç santrallerini ve 1 milyon litre üzeri yıllık üretim kapasitesindeki biyoyakıt projelerini kapsamaktadır.

Global New Investment in Renewable Energy by Technology, Developed and Developing Countries, 2014



Şekil 3. Yenilenebilir enerji kaynak türüne göre 2014 yılı yatırımları [1].

Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketim artış hızı, son 11 yılda ortalama %5,59 seviyelerinde gerçekleşmiş ve 2004 yılında 150 milyar kWh olan elektrik tüketimi, 2014 yılında 1,70 kat artarak 255,5 milyar kWh'e ulaşmıştır. Elektrik enerjisi talebindeki artış, 2012 yılında % 5,2, 2013 yılında ise % 1,6 iken 2014 yılında %3,7 olarak gerçekleşmiştir. 2015 Yılı Haziran ayı sonu itibarıyla 124.929 GWh olan elektrik üretiminin 82.635 GWh'i termik santrallerden, 35.410 GWh'i hidroelektrik santrallerden, 6.885 GWh'i de diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır. 2009 yılı ile birlikte yenilenebilir enerji kaynak bazlı üretimimizde ciddi artışlar gözlenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal ve rüzgâr bazlı üretimimiz 2004 yılından bu yana yaklaşık 70 kat artarak 151 GWh seviyelerinden 10.635 GWh düzeyine ulaşmıştır. Son 11 yıllık süreç içerisinde 2009 yılı hariç tüm yıllarda elektrik üretiminde %8,9'lara varan artışlar yaşanmıştır. 2004 yılında; termik santrallerden üretilen elektrik miktarı 104.464 GWh iken bu rakam 2014 yılı sonu itibarıyla 199.404 GWh'e yükselmiştir. 2015 Yılı Haziran Ayı sonu itibarıyla elektrik üretimimizin %66,1'i termik santrallerden, %28,3'ü hidroelektrik santrallerden, %5,5'i de diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır. 2004-2015 Haziran dönemi içerisinde termik ve hidrolik kaynaklı elektrik üretim oranları

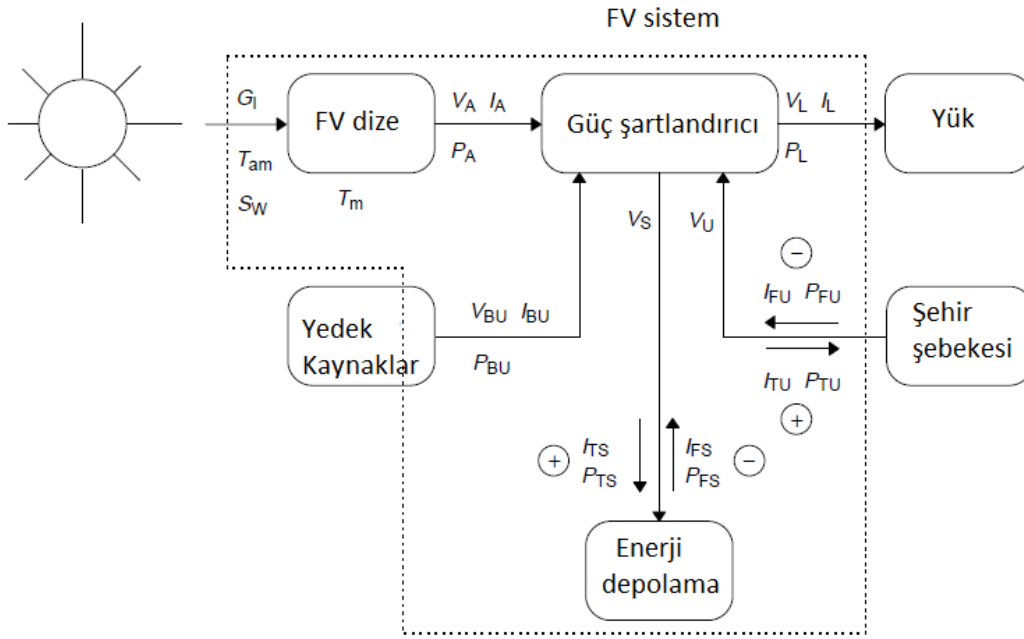
mevcut oranlara kıyasla çok fazla değişkenlik göstermezken jeotermal ve rüzgâr kaynaklı elektrik üretim oranları 2004 yılındaki değeri olan %0,1'lerden, 2015 Yılı Haziran Ayı sonu itibarıyla %5,5'e yükselmiştir. [3].

Fotovoltaik sektörünün, Türkiye'de yakın gelecekte kayda değer bir gelişme göstermesi beklenmektedir. Özellikle, lisanssız elektrik enerjisi üretiminde (< 1 MW) uygulama sayılarında hızlı bir artış görülmektedir. 2015 yılının ilk yarısının sonunda, Türkiye'de kurulu kümülatif lisanssız Fotovoltaik Güç Sistemi (FVGS) gücü 250 MW'a yaklaşmıştır [4]. Kurulu kümülatif FVGS gücünün, 2012 yılı sonunda 2 MW, 2013 yılı sonunda 6 MW ve 2014 sonunda 60 MW olduğu dikkate alındığında, kaydadeğer bir yükselme olduğu gözlemlenebilir [5-7]. Ayrıca, toplam 600 MW gücündeki lisanslı güneş enerjisi santralleri için de Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu nezdindeki ihale süreçleri, 2015 yılının ilk yarısında tamamlanmıştır. Lisanslı FVGS'lerin kurulmasıyla birlikte, Türkiye'nin fotovoltaik temelli güneş enerjisi santralleri gücünün önümüzdeki yıllarda hızla artması beklenmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2015-2019 Stratejik Planına göre, önümüzdeki 4 yıl boyunca FVGS kurulu güç kapasiteleri şu şekilde olacaktır: 2015: 300 MW, 2017: 1800 MW ve 2019: 3000 MW [8].

2. FVGS BAŞARIM İNCELEMESİ İÇİN ÖLÇÜLMESİ GEREKEN DEĞİŞKENLER

Fotovoltaik (FV) ve hibrid güç sistemlerinin başarımlarını incelemesinde zorunlu olan ölçüm ve değerlendirme değişkenleri, “TS EN 61724: Fotovoltaik sistem başarımlarını izleme – Ölçüm, veri değişimi ve incelemesi için kılavuz” başlıklı standart metninde açıklanmaktadır. Bu metinde, FV sistemin *düzlemsel ışınım*, *dize çıkışı*, *depolama girişi ve çıkışı*, *güç şartlandırıcı girişi ve çıkışı* gibi

karakteristiklerinin izlenmesi ve izlenen verinin değişimi ve incelemesi için yöntemler önerilmektedir. Bu yöntemlerin amacı, bağımsız veya şebeke bağlantılı veya jeneratör ve rüzgâr türbini gibi FV güç kaynağı olmayan kaynaklarla melezleştirilerek oluşturulan FV güç sistemlerinin toplam başarımlarını değerlendirmektir. Şekil 4’de ve Tablo 5’te FV güç sistemlerinde gerçek zamanlı ölçülmesi gereken değişkenler gösterilmektedir. [9].



Şekil 4. FV güç sistemlerinde gerçek zamanlı ölçülmesi gereken değişkenler [9].

Tablo 5. FV güç sistemlerinde gerçek zamanlı ölçülmesi gereken değişkenler [9].

Değişken	Sembol	Birim
İklim verileri: Toplam ışınlım, dize yüzeyinde ¹⁾ Işınlım korumalı ortam hava sıcaklığı Rüzgâr hızı ²⁾	G_1 T_{am} S_W	W / m^2 $^{\circ}C$ $m.s^{-1}$
Fotovoltaik dize: Çıkış gerilimi Çıkış akımı Çıkış gücü Modül sıcaklığı İzleyici eğim açısı ⁵⁾ İzleyici yön (azimut) açısı ⁵⁾	V_A I_A P_A T_m ϕ_T ϕ_A	V A kW $^{\circ}C$ <i>derece</i> <i>derece</i>
Enerji depolama ³⁾ : Çalışma gerilimi Depolanan akım ⁴⁾ Depodan kullanılan akım ⁴⁾ Depolanan güç ⁴⁾ Depodan kullanılan güç ⁴⁾	V_S I_{TS} I_{FS} P_{TS} P_{FS}	V A A kW kW
Yük ³⁾ : Yük gerilimi Yük akımı Yük gücü ⁶⁾	V_L I_L P_L	V A kW
Şehir şebekesi ³⁾ : Şebeke gerilimi Şehir şebekesine verilen akım ⁴⁾ Şehir şebekesinden kullanılan akım ⁴⁾ Şehir şebekesine verilen güç ^{4), 6)} Şehir şebekesinden kullanılan güç ^{4), 6)}	V_U I_{TU} I_{FU} P_{TU} P_{FU}	V A A kW kW
Yedek kaynaklar ³⁾ : Çıkış gerilimi Çıkış akımı Çıkış gücü	V_{BU} I_{BU} P_{BU}	V A kW

¹⁾ Toplam ışınlım, dize yüzeyindeki ışınlım olarak da bilinir, eğimli birim yüzey alana gelen doğrudan ve yayınık ışınlım gücünün toplamı olarak tanımlanır.

²⁾ Rüzgâr hızı gibi değişkenlerin ölçümü isteğe bağlıdır, fakat FV dizinin aşırı çalışma koşullarına tabi olması durumunda özel bir sözleşme ile zorunlu kılınabilir.

³⁾ a.a. ve d.a. miktarları, alt simgelerin eklenmesi ile ayırt edilebilir. Çok-fazlı sistemlerde, V_L , I_L ve P_L değişkenleri her bir faz için ayrı belirtilmelidir.

⁴⁾ Tek bir akım veya güç algılayıcısı, normalde hem giriş hem de çıkış yönleri için akım veya güç ölçümü için kullanılabilir. Algılayıcının çıkış sinyalindeki pozitif işareti enerji depolama cihazına veya şehir şebekesine giriş olduğunu gösterir, negatif işaret depolama cihazından veya şehir şebekesinden çıkış olduğunu gösterir. Tek bir algılayıcıdan giriş ve çıkış, yazılımda ayrı olarak toplanmalıdır.

⁵⁾ İzleyicili dize sistemlerinde, izleyici açısının ölçümü isteğe bağlıdır. Tek eksenli izleyicilerde, ϕ_T izleme eksenindeki dizinin konumunu tanımlamak için kullanılır. Örneğin, yatay tek eksenli bir izleyici için bu değişken yatay eksenden olan açıyı verecektir, doğu negatif ve batı pozitif olacaktır.

⁶⁾ Güç şartlandırıcının evirici kısmının güç çıkışının doğrudan ölçümü, doğruluğunu arttırıyorsa yapılabilir.

Tablo 5'te listelenen değişkenlerin ölçüm yöntemleri, TS EN 61724 nolu standart metninde tanımlanmıştır. Standartta göre, ışımla doğrudan değişen değişkenlerin örnekleme aralığı, 1 dakika veya daha az olacaktır. Daha geniş zaman katsayılarına sahip değişkenler için 1 dakika ve 10 dakika arasında keyfi bir aralık belirlenebilir. Sistem yükünün fonksiyonu olarak hızla değişen değerler için örnekleme sıklığı artırılır. Bütün değişkenler, belirlenen izleme döneminde sürekli olarak ölçülür. İzleme süresi, yük ve ortam koşullarını gösteren işletme verilerini sağlayacak yeterlilikte olmalıdır. Dolayısıyla, en düşük sürekli izleme süresi, toplanan verilerin son kullanımına uygun seçilir. [9].

FV ve melez güç sistemlerinin başarımlarının incelemesinin gerçekleştirildiği birçok literatür çalışmasında [10-15] TS EN 61724 standardında açıklanan değişkenler kullanılmaktadır:

- Masoud Farhoodnea ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, şebekeye bağlı 3 kWp kurulu gücünde olan bir FVGS'yi altı ay boyunca (Ekim 2013 ve Mart 2014 aralığında), Malezya'da Kebangsaan Üniversitesi'nin kampüsünde, 1 dakikalık aralıkla izlemiş ve yapılan modelleme ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Deneysel çalışmanın sonucuna göre FV modülün verimi % 10,11, eviricinin verimi % 95,15, sistemin aylık ortalama performans oranı % 77,28 ve kapasite faktörü de % 15,7 olarak gözlenmiştir [10].
- FVGS performansını etkileyen faktörler bölgeden bölgeye değişmektedir. Pablo Ferrada ve arkadaşları, Antofagasta-Şili'nin kıyı bölgesinde bu kapsamda uygulamalı bir çalışma yapmıştır. Bu bölgedeki global ışımlım, yaz aylarında 8.5 kWh/(m².d) ve kış aylarında 6 kWh/(m².d) değerindedir. Bu çalışmada, farklı FV teknolojileri karşılaştırılmıştır. On altı ay boyunca

izlenen sistemin performans oranı ve hasadı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre değişik teknolojiler arasındaki nihai hasad farkının, özellikle yaz aylarında gerçekleştiği gözlenmiştir [11].

- Ammar M. Al-Sabounchi ve arkadaşları, Abu Dhabi / Birleşik Arap Emirliği'nde yaptıkları çalışmada, şebekeye bağlı olan 36 kWp gücünde olan bir FVGS performansını, çok sıcak ve tozlu olan iklim koşullarında gerçek-zamanlı olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, FVGS üzerinde, fazla toz birikiminden ve aşırı ortam sıcaklığı nedeniyle ciddi kayıplar tespit edilmiştir. Bu iklim koşullarında yapılacak FVGS kurulumlarına ilişkin birkaç öneride bulunulmuştur. Örneğin: Aylık periyotlarda FV modüllerin düzenli temizlenmesi önerilmiştir [12].
- 5 MWp gücünde bir FVGS sistemi, Tailandu-Hindistan'da kurulmuş ve performans analizi yapılmıştır. Sistemin yıllık enerji üretimi yaklaşık 8495 MWh olmuştur ve ortalama aylık enerji üretimi yaklaşık 708 MWh değerindedir. Ortalama yıllık güneş enerjisi, ortam sıcaklığı, modül sıcaklığı ve rüzgar hızı sırası ile 5,414 kWh/[(m²).d], 30,76°, 37,90° ve 3,191 m/s olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada RETscreen programı kullanılarak, enerji ve performans tahmini yapılmıştır. Gerçek ölçülen değer ile tahmin edilen değer birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir [13].
- Fotovoltaik sistemlerin ana bileşenlerinin birisi olan fotovoltaik modüllerin performansı üzerinde de deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan birisi, Kolombiya'da Franklin Jaramillo ve arkadaşlarının yaptığı örnek araştırmadır. Bu çalışmada, iki farklı FV modül teknolojisi incelenmiştir: 55 Wp tek kristal silisyum temelli FV modül ile

12.4 Wp gücünde olan esnek organik yapılı FV modül incelenmeye alınmıştır. Elde edilen sonuçlarda, esnek organik yapıda olan FV modülün düşük güneş ışınımlarda (400 W/m² den az ışınımda) ve yüksek nem ortamlarda daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir [14].

- FVGS performans incelemelerinde, yerinde kısa dönem incelemeleri de oldukça faydalı sonuçlar verebilmektedir. Örneğin: Tamer Khatib ve arkadaşlarının yaptıkları 31 günlük performans analiz çalışmasında, 5 kWp gücünde şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistemini, sıcak ve tropik hava şartları altında incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre, performans oranı % 73,12, eviricin ortalama performansı % 98,56 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, sistemin günlük ortalama hasadı 2,51 kWh/[(kWp).d] ve sistemin kapasite faktörü % 10,47 olarak hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar, sistemden beklenen performansı gösterememiştir. Sistemde bir problem olduğu anlaşılmıştır ve konumunun gölgeleme açısından kontrol edilmesi önerilmiştir [15].

3. FVGS BAŞARIMI BELİRLEYİCİLERİ

Farklı konumlardaki ve farklı yapıdaki FV sistemler, birimlenmiş sistem başarımları ölçütleri (hasatlar, kayıplar ve verimler) değerlendirilerek karşılaştırılabilirler.

- *Hasatlar, dize anma gücüne birimlenmiş enerji miktarlarıdır.*
- *Kayıplar, hasatlar arasındaki farklardır.*
- *Sistem verimleri, dize yüzey alanına birimlenmiştir.*

Tablo 5'te listelenen ölçüm değerleri kullanılarak sistem başarımının değerlendirilmesinde dikkate alınacak ölçütler türetilmektedir (Bknz. Tablo 6). Bu başarımlar parametrelerinin hesaplama eşitliği, TS EN 61724 standardında açıklanmaktadır. Örneğin; **Gerçekleme Oranı** (Birim: boyutsuz, genellikle yüzde (%)) olarak ifade edilir), FV sistem kayıplarının FV anma dize kapasitesine etkisini belirten göstergedir. *FV sistem kayıpları genellikle FV dize sıcaklığı, ısıtımı tam kullanamama ve bileşenlerin verimsizliği ya da arızalarına bağlı olarak oluşur.* Gerçekleme oranı nihai sistem hasadının referans hasat değerine oranından hesaplanır [9]. Literatürde, PR (Performance Ratio) olarak da kısaltılmaktadır.

$$R_p = \frac{Y_f}{Y_r} = \frac{E_{A,d} \cdot G_{I,ref}}{P_0 \cdot H_I}$$

Tablo 6. FV ve melez güç sistemi incelemesi için türetilen ölçütler [9].

Ölçüt	Sembol	Birim
İklim verileri: Günlük küresel ışıltım, dize düzleminde.	$H_{1,d}$	$kWh.m^{-2}.d^{-1}$
Elektrik enerjisi miktarları: Dizeden kullanılan net enerji Yüke verilen net enerji Depolamaya verilen net enerji Depodan kullanılan net enerji Yedek kaynaklardan kullanılan net enerji Şebekeye verilen net enerji Şebekeden kullanılan net enerji Toplam sistem giriş enerjisi Toplam sistem çıkış enerjisi FV sistemin toplam giriş enerjisindeki oranı Yük verimi	$E_{A,r}$ $E_{L,r}$ $E_{TSN,r}$ $E_{FSN,r}$ $E_{BU,r}$ $E_{TUN,r}$ $E_{FUN,r}$ $E_{in,r}$ $E_{use,r}$ $F_{A,r}$ η_{LOAD}	kWh kWh kWh kWh kWh kWh kWh kWh kWh $Boyutsuz$ $Boyutsuz$
Denge bileşenleri başarıımı: Denge bileşenleri verimi	η_{BOS}	$Boyutsuz$
Sistem başarıımı belirteçleri: Dize hasadı ¹⁾ FV sistem nihai hasadı ¹⁾ Referans hasat ¹⁾ Dize yakalama kayıpları ¹⁾ Denge bileşenleri kayıpları ¹⁾ Gerçekleme oranı Ortalama dize verimi Tüm FV santral verimi	Y_A Y_F Y_r L_C L_{BOS} R_P $\eta_{Amean,\tau}$ $\eta_{tot,\tau}$	$h.d^{-1}$ $h.d^{-1}$ $h.d^{-1}$ $h.d^{-1}$ $h.d^{-1}$ $Boyutsuz$ $Boyutsuz$ $Boyutsuz$
¹⁾ (h.d ⁻¹) birimi daha tanımlayıcı olarak şu şekilde verilebilir: $(kWh.d^{-1})_{GERÇEK} / (kW)_{ANMA}$		

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Şebeke bağlantılı fotovoltaik güç sistemlerinin elektrik enerjisi arzındaki payı, her geçen gün artmaktadır. Bu sistemlerin kalitesindeki en ufak bir iyileşme, teknik ve mali açıdan birçok kazanımı da beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla, FVGS kalitesinin ve güvenilirliğinin artırılmasına yönelik çabalar, ilgili tüm paydaşların dikkatini çekmektedir.

Bir fotovoltaik sistemin performansını etkileyen faktörleri, üç ana başlıkta gruplandırabiliriz: İklimsel ve Çevre Koşulları, Sistemin Tasarım Kararları, Sistem Bileşenlerinin Kalitesi.

FV güç sistemlerinin uluslararası değerlendirme ölçütleri ile incelenmesi, izleme sonuçlarının güvenilir bir şekilde karşılaştırılmasını sağlamaktadır. Günümüzde, şebeke bağlantılı FV güç sistemlerinde gerçekleme oranlarının (PR), % 80 altına düşmesi, sistemin çalışmasında çeşitli hata etkenlerinin olduğunu göstermektedir. Kirlilik, gölge, yük talebindeki değişim gibi uyumsuzluk koşullarının ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Yeni ve gelişmekte olan sistem bileşenleriyle ilgili uygulamada karşılaşılan en önemli sorun, belirtilen ürün teknik karakteristiklerinin işletme esnasında yakalanamama riskidir. Bu ürünlerin

karakteristiklerinin, uluslararası standartlara uygun testlerden geçirilerek belirlenmesi son derece önemlidir.

Türkiye’de, FV güç sistemlerinde müşteri memnuniyetini arttırmanın en önemli etkenlerinden birisi, şüphesiz işletmeye alınan sistem performansının ve kalitesinin arttırılması olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Renewables 2015 Global Status Report, REN21, ISBN: 978-3-9815934-6-4.
- [2] Renewable Energy Capacity Statics 2015, IRENA.
- [3] TEİAŞ, Erişim Tarihi: 11.8.2015.
- [4] Enerji Atlası, <http://www.enerjiatlası.com/>, 2015.
- [5] IEA-PVPS Annual Report, 2012, Imprimerie St-Paul, Fribourg, Switzerland, ISBN: 978-3-906042-11-4, 118 pp.
- [6] IEA-PVPS Annual Report, 2013, Imprimerie St-Paul, Fribourg, Switzerland, ISBN: 978-3-906042-22-0, 130 pp.
- [7] IEA-PVPS Annual Report, 2014, Imprimerie St-Paul, Fribourg, Switzerland, ISBN: 978-3-906042-34-3, 130 pp.
- [8] ETKB Stratejik Planı 2015-2019, <http://www.etkb.gov.tr/tr-TR/Stratejik-Plan> (Erişim tarihi: 1 Haziran 2015)
- [9] TS EN 61724, 1999, Fotovoltaik sistem başarımlarını izleme – Ölçüm, veri değişimi ve incelemesi için kılavuz, 26 s.
- [10] Farhoodnea, M., Mohamed, A., Khatib, T., Elmenreich, W., 2015, Performance evaluation and

characterization of a 3-kWp grid-connected photovoltaic system based on tropical field experimental results: new results and comparative study, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42: 1047-1054 pp.

- [11] Ferrada, P, Araya, F., Marzo, Aitor., Fuentealba, E., 2015, Performance analysis of photovoltaic systems of two different technologies in a coastal desert climate zone of Chile, Solar Energy, 114: 356-363 pp.
- [12] Al-Sabounchi, A.M., Yalyali, S.A., Al-Thani, H.A., 2015, Design and performance evaluation of a photovoltaic grid-connected system in hot weather conditions, Renewable Energy, 53: 71-78 pp.
- [13] Chandra Babu, J.S., Sundaram, S., 2015, Performance evaluation and validation of 5 MWp grid connected solar photovoltaic plant in South India, Energy Conversion and Management, 100: 429-439 pp.
- [14] Jaramillo, F., Velilla, E., Valencia, J., 2014, Performance evaluation of two solar photovoltaic technologies under atmospheric exposure using artificial neural network models, Solar Energy, 107: 260-271 pp.
- [15] Khatib, T., Sopian, K., Kazem, H.A., 2013, Actual performance and characteristic of a grid connected photovoltaic power system in the tropics: A short term evaluation, Energy Conversion and Management, 71: 115-119 pp.