

# ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK ELEKTRİK ÜRETİM SİSTEMLERİNİN GÜÇ KALİTESİNE ETKİLERİ

Samet Çalıkoglu<sup>1</sup>, Engin Özdemir<sup>2</sup>, Mehmet Uçar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi ABD, 41380, Umuttepe, Kocaeli

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 41380, Umuttepe, Kocaeli

<sup>3</sup>Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, Elektrik Programı, 81010, Düzce

e-posta: <sup>1</sup>samet\_calikoglu@hotmail.com, <sup>2</sup>eoedemir@kocaeli.edu.tr, <sup>3</sup>mehmetucar@duzce.edu.tr

## Özet

Yenilenebilir enerji bilincinin oluşmasıyla, fotovoltaik (FV) güç sistemlerine duyulan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada, günümüzde tüm dünyada kullanımı hızla artan şebeke bağlantılı FV elektrik üretim sistemleri incelenmekte ve bu tür sistemlerin elektrik şebekesine olan güç kalitesi etkileri araştırılmaktadır. Bu amaçla, tek-faz şebeke bağlantılı FV evirici içeren 360 Wp FV elektrik üretim sisteminden alınan bazı gözlem ve ölçümler sunulmaktadır. Ayrıca, ülkemiz için yeni olan şebeke bağlantılı FV güç sistemlerinin, şebeke bağlantısında karşılaşılan sorunlar ve çözüm yöntemleri tanımlanmaktadır. Şebeke bağlantı sorunlarını azaltmak ve güç kalitesini iyileştirmeye yönelik çalışmalar, önümüzdeki yıllarda ülkemizde kurulacak olan şebeke bağlantılı FV güç sistemleri için önemli avantajlar sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik elektrik üretimi, şebeke bağlantılı evirici, güç kalitesi, harmonik.

## 1. Giriş

FV güç sistemi kurulumları son yıllarda büyük artış göstermektedir. 2008 yılında FV pazarı, önceki yıllara oranla önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Bu ilerlemenin en önemli nedeni, İspanya'nın FV endüstrisindeki payını büyük oranda artırması olmuştur. 2007 yılında 560 MW FV güç sistemi kurulan İspanya'da, 2008 yılında 2511 MW sistem kurulmuştur. 2008 yılı için, İspanya haricinde diğer ülkelerde de önemli gelişmeler yaşanmıştır. Almanya'da 1500 MW, Amerika'da 342 MW, Japonya'da 230 MW'lık FV güç sistemi kurulmuştur. Bu gelişmelerle, 2008 yılında, toplam FV kurulu gücü 5.559 MW olmuştur [1-2].

Ülkemizde ise 29.12.2010 tarihinde Resmi Gazetede yayınlanan "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" ile artık yenilenebilir enerji üretiminin önündeki belirsizlik ortadan kalkmış yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin şebekeye satış fiyatı kanunla belirlenmiştir.

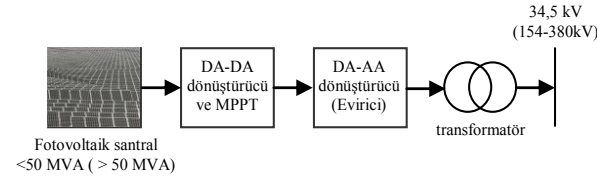
Bu kanuna göre; güneş enerjisine dayalı üretim tesisi tarafından üretilen elektrik enerjisi devlet tarafından on yıl süreyle 13,3 ABD Doları cent/kWh destekle alınacaktır. Ayrıca devlet desteğinin yerli üretimi destekleyecek yönde üretim tesisinin işletmeye giriş tarihinden itibaren beş yıl süreyle ABD Doları cent/kWh olarak; FV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı 0,8 cent, FV modülleri 1,3 cent, FV modülünü oluşturan hücreler 3,5 cent, evirici 0,6 cent, FV modülü üzerine güneş ışını odaklayan malzeme 0,5 cent ilave destekler öngörülmüştür. Bu kanun ile güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesislerindeki aksamın sağlaması gereken standartlar ve denetimlerde uygulanacak test yöntemleri ile birlikte, bu tesislerde ve hibrit üretim tesislerinde üretilen elektrik enerjisi içerisindeki güneş enerjisine dayalı üretim miktarlarının denetimine ilişkin usul ve esaslar EPDK'nın görüşü alınarak Bakanlık tarafından çıkarılacak yönetmelikle belirlenecektir.

Dağıtık üretimin bir parçası olarak FV elektrik üretim sistemleri güç elektroniği devreleri içerdiğinden şebekede güç kalitesi problemlerine neden olmaktadır. Şebekeye bağlı FV elektrik üretim sistemlerinin güç kalitesine etkileri ile ilgili araştırmalar bulunmaktadır [3-5]. Dağıtım sistemine bağlı çok sayıdaki FV eviricilerin harmonik etkileri analiz edildiğinde eviriciler tarafından üretilen harmoniklerin şebeke ile etkileşimi sonucunda rezonans olayı olasılığı tespit edilmiştir [4-5]. Bu çalışmada, kullanımı hızla artan şebeke bağlantılı FV elektrik üretim sistemleri ve bu sistemlerin elektrik şebekesine olan güç kalitesi etkileri incelenmektedir.

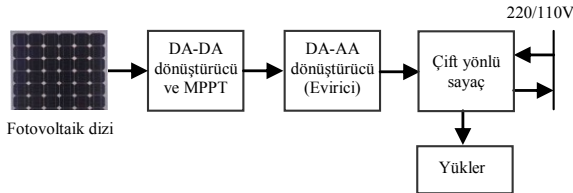
## 2. Şebeke Bağlantılı FV Elektrik Üretim Sistemleri

Şebeke bağlantılı FV güç sistemleri iki şekilde tasarlanabilmektedir. Bu sistemlerde, üretilen Doğru Akım (DA), evirici aracılığıyla Alternatif Akıma (AA) çevrilerek doğrudan şebekeyi besleyebileceği gibi, eviriciden sonra çift yönlü sayaç kullanılarak hem çeşitli yükler beslenebilir hem de üretilen fakat kullanılmayan fazla enerji şebekeye verilebilir. Elektrik üretim santrali olarak kullanılan, sadece şebekeyi besleyen sistemlerde, bağlantı noktası,

sistemin kurulu gücüne göre değişiklik göstermektedir. Kurulu gücü, 50 MVA'ye kadar olan sistemler 34,5 kV dağıtım hattı gerilim seviyesinden, 50 MVA üzeri olanlar ise 154 kV veya 380 kV iletim hattı gerilim seviyesinden şebekeye bağlanırlar [6]. Bu sistemlerin en önemli avantajı, üretilen enerjinin depolanma ihtiyacının olmamasıdır. Bu sayede, akü ve şarj kontrol cihazı masrafları ortadan kalkmaktadır. Şekil 1'de elektrik üretim santrali olarak kullanılan, sistemlerin güç akış diyagramı görülmektedir. Şekil 2'de ise, evsel uygulamalarda kullanılan, üretilen enerjinin şebekeye verildiği, harcanan enerjinin şebekeden alındığı sistem görülmektedir.



Şekil 1: Şebeke bağlantılı FV santral güç akış diyagramı.



Şekil 2: Evsel uygulamalarda kullanılan şebeke bağlantılı FV sistem güç akış diyagramı.

Şebeke bağlantılı bir eviricinin şebekeye aktardığı güç öncelikle yerel yükler tarafından tüketilmektedir. Artan güç ise elektrik şebekesine verilerek daha uzaklarda bulunan yükler tarafından tüketilmektedir. Genellikle 5 kW altındaki güçlerde tek-fazlı şebeke bağlantılı eviriciler, daha yüksek güçlerde ise 3-fazlı şebeke bağlantılı eviriciler kullanılmaktadır.

### 3. Şebeke Bağlantılı FV Sistemlerin Güç Kalitesi Parametreleri

Şebeke bağlantılı FV eviriciler şebekeye mümkün olabilecek en yüksek güneş gücünü aktarmak için Maksimum Güç Noktası İzleyici (MGNI, MPPT, Maximum Power Point Tracker) modunda çalışmaktadır. Bu mod, mevcut sıcaklık ve ışınım koşullarında en yüksek gücün elde edildiği panel gerilimi ve akımını saptayarak eviricinin panel dizisinden aynı gerilim ve akım değerlerini çekmesini sağlar. Eviricilerin bu gücü AA akıma çevirerek minimum harmonik bozulma ve faz kayması ile AA şebekeye aktarması amaçlanmaktadır. Dolayısıyla güç kalitesi şebeke bağlantılı FV elektrik üretim sistemlerinde en önemli konulardan birisidir.

FV sistemlerin şebeke bağlantısı yapılmadan önce, sistemin şebeke üzerinde nasıl etkiler göstereceği değerlendirilmelidir. Şebekeye ek güç sağlamak

isterken şebekeyi olumsuz etkilemekte mümkündür. Bu sebeple, kurulacak sistemin bağlantı yapılacağı şebekeye senkronizasyonu çok iyi olmalıdır. Elektrik dağıtım kuruluşu, şebeke bağlantısı yapılacak sistemler için önemli hususları belirler ve bunlara uyulmasını ister. Bu hususlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

**Aşırı ve düşük gerilim:** Yenilenebilir enerji kaynaklarının çıkış gücündeki değişim uyarınca şebeke gerilimi seviyesinde azalma ve artma yönünde yavaş değişimler gözlemlenmektedir. EN50160 standardı uyarınca orta gerilim şebekesindeki gerilim değişimleri  $\pm 10\% V_{rms}$  değerini geçmemelidir [7].

**Ani gerilim değişimi:** Şebekede kısa devre gibi sorunlarla karşılaşıldığında, koruma rölesi tarafından bu sorun algılanır, fakat kesiciler şebeke bağlantısını kesene kadar geçecek sürede gerilim çökmesi yaşanır. Gerilim çökme süresi, koruma rölelerinin ve kesicilerin çalışma süresine bağlıdır [8].

**Gerilim dengesizliği:** Gerilim dengesizliği, üç fazlı sistemlerde her fazın genliğinin birbirinden farklı olduğu durumdur. FV sistemlerdeki faz farkları, dağıtım hattında fazlar arasında gerilim dengesizliğine sebep olabilir [8].

**Harmonik:** Bir harmonik dalga, temel frekansın birkaç katı olarak kendini gösteren frekanslar olarak tanımlanır. FV eviriciler yarı iletken anahtarlama elemanları içerdiklerinden harmonik kaynağı olarak adlandırılırlar [8].

**Adalama:** Şebeke bağlantılı FV güç sistemlerinde, herhangi bir sebepten dolayı şebeke elektriğinin kesilmesi durumunda, FV sistemin elektrik üretmeye devam etmesi elektriksel bir durumdur. Şebeke bağlantılı FV güç sistemleri, elektrik şebekesini güç kalitesi yönünden takip ederek, herhangi bir sorunla karşılaştığı takdirde bu sorunu algılayabilmelidir. Bu sorun karşısında FV sistem eviricisi devreyi açarak elektriğin şebekeye verilmesini önlemelidir. Aksi takdirde, ana şebekenin herhangi bir yerinden kesilen enerji, bütün şebekede enerjinin kesilmesine sebep olmaz ve bakım için sorun oluşturur [8].

**Kısa devre kapasitesi:** Ülkemizde EPDK ve TEİAŞ tarafından uygulanmakta olan yenilenebilir enerji santrallerinin bağlantı kriterleri uyarınca özellikle rüzgar santralleri için bağlantı yapılacak trafo kısa devre gücünün %5 değerini aşmaması gerekmektedir. Bu sınırlama değeri, dünya genelinde uygulanmakta olan güçlü şebeke tanımı uyarınca esas alınarak hesaplanmıştır. Bu değer pratikte uygulamalar için genel-geçer bir değer olup, her yenilenebilir enerji santralinin kurulum gücü bağlantı yapacağı şebekenin herhangi bir noktası uyarınca değişmektedir [7]. Sistem kısa devre arıza akım limiti olan 16 kA'ın aşılması gerekir [6].

**Sistemler arası arızanın süresi:** Transformatörlerde alçak ve yüksek gerilim tarafı birbirinden yalıtımlıdır. Sistemler arası arıza, transformatör üzerinde yıldırım düşmesi gibi herhangi bir sorun meydana geldiğinde bu yalıtımın ortadan kalkmasıyla ortaya çıkan arızadır. Böyle bir sorun meydana geldiğinde güç santralının çalışması durdurulmalı ve şebeke ile bağlantısı kesilmelidir [8].

**Frekans değişimi:** Güç arzı ve talebi arasındaki dengesizlik frekans dalgalanmalarına sebep olmaktadır. Frekans, güç kalitesi konusunda en önemli faktörlerden biridir. Dolayısıyla şebeke bağlantılı sistemlerde, sistem frekansı şebeke frekansı ile eşit tutulmak zorundadır [8].

**DA bileşen:** DA bileşen, alternatif akım temel dalga şeklindeki pozitif veya negatif yönde meydana gelen sapmaları oluşturur. FV güç sistemlerinde kullanılan transformatörsüz eviricilerde DA bileşenin, şebeke tarafına sızmasını önlemek için, dönüştürücülerde DA bileşen algılayıcıları kullanılmaktadır [8].

**Yüksek frekans taşınımı:** FV güç sistemlerinin en önemli elemanı olan eviriciler, FV modüllerle üretilen DA gerilimi, 10–20 kHz civarında olan yüksek frekans anahtarlama ile AA gerilime çevirirler. Bu yüksek frekans anahtarlama sebebiyle, eviricide bir elektromanyetik gürültü olur. Bu gürültü, elektrik kablolarıyla taşınarak elektronik cihazlar üzerinde olumsuz etki gösterir [8].

**Hat iletim kapasitesi:** Şebekenin herhangi bir noktasına yenilenebilir enerji kaynağı bağlamadan önce o noktayı şebekeye bağlayan hatlarda aşırı yüklenme olmayacağından emin olunmalıdır. Hattın tipi ve dağıtım trafosunun kurulu gücü yenilenebilir enerji kaynağından şebekenin diğer noktalarına iletilecek gücün sınır değerini belirlemektedir [7].

**İletim ve dağıtım kayıplarının azalması:** Büyük güçlü elektrik üretim santralleri genellikle tüketim noktasına uzak yerlere inşa edilirler. Güç kaybı mesafe ile orantılı olarak arttığından güç iletimi ve dağıtımında büyük miktarda kayıplar olmaktadır. Fakat FV sistemler, güneş ışığının olduğu yerler olmak koşuluyla, tüketim noktasında kurulabilirler. Böylelikle, iletim ve dağıtım kayıplarında önemli ölçüde azalmalar olur. Ayrıca, FV güç sistemleri bina çatısına veya ön yüzeyine monte edilebilir [8].

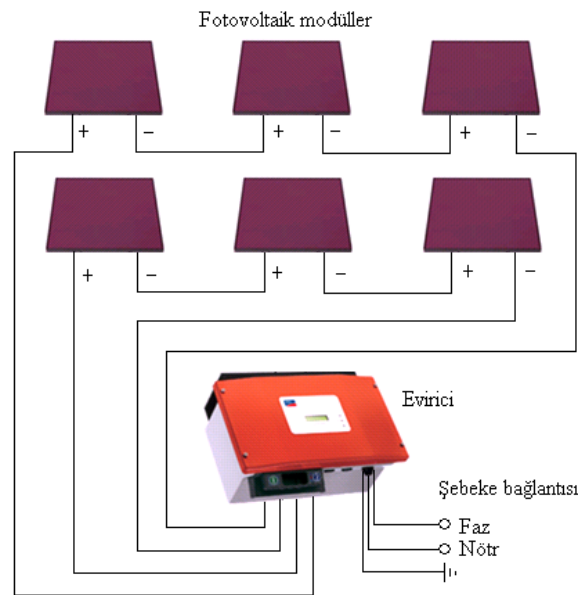
**Arz güvenliği:** FV sistemlerin güç çıkışında, herhangi bir kaza veya doğal afet tarafından kesinti oluşabilir. Sık sık doğal afet deneyimi yaşayan Japonya’da FV sistemler acil durumlarda elektrik kesintilerine rağmen, sisteme güç aktarabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kullanıcılar FV sistemleri normal moddan ada moduna dönüştürebilirler. Bu sistemde akü grubunun, sisteme dahil edilmiş olması gerekmektedir [8].

**Maksimum güç talebi:** Her ne kadar bölgesel koşullara bağlı olsa da, genel olarak, elektrik tüketimi gündüz vakitlerinde artarken, gece vakitlerinde azalmaktadır. FV sistemlerin, gündüz vakitlerinde elektrik üretimi yaptığı için, maksimum güç talebinin olduğu zamanlarda güç ihtiyacının karşılanıp karşılanamayacağı önemli bir konu olmuştur. Özellikle, sıcak iklimli ülkelerde, FV sistemlerin yaz aylarında soğutma ihtiyacını karşılayabilmesi gerekir. Diğer taraftan, FV sistemler tarafından güç temininin etkisini değerlendirmek kolay değildir. Örneğin, birçok ülkede akşam vakitlerinde güç talebi fazla olabilmektedir. Dolayısıyla, enerji sıkıntısı olmaması için, FV sistemler enerji depolama sistemleri ile desteklenmelidir. Eğer FV sistem yüksek güç çıkışı verdiği zamanlarda akülerle enerji depolar, ve bunu yük ihtiyacı için kullanırsa, şebekeden çekilecek tepe güç değerlerinde azalma olur [8].

**Güç kalitesi yönetimi:** FV sistemlerde gerilim dalgalanması, kısa devre kapasitesi ve harmonikler gibi olumsuz etkiler, yüksek performanslı güç dönüştürücüsü kullanılması halinde olumlu etkiye dönüştürülebilir. Aktif filtre ve statik VAR kompanzasyon ünitesi ile kaliteli güç dönüştürücüsü elde etmek mümkündür [8].

#### 4. Şebeke Bağlantılı FV Elektrik Üretim Sistemi Uygulaması

Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakülte’sinde, 360 W<sub>p</sub> gücündeki şebeke bağlantılı FV elektrik üretim sisteminin uygulaması, gerçekleştirilmiştir [9]. Şekil 3’de 360 W<sub>p</sub> şebeke bağlantılı FV güç sistemi bağlantı şeması görülmektedir.



Şekil 3. 360 W<sub>p</sub> şebeke bağlantılı FV güç sistemi bağlantı şeması.

6 adet 60 W<sub>p</sub> ince film FV modül kullanılarak üretilen FV elektrik enerjisi, Teknik Eğitim Fakültesi binasına alınarak dağıtım panosuna şebeke bağlantılı evirici üzerinden bağlanmıştır. Kullanılan FV modül nominal gerilimi 67 V'tur. Sistem akımının şebekeyle uyumlu olması açısından AA gerilime çevirebilmek için MGNİ yapabilen şebeke bağlantılı evirici kullanılmıştır. Güneş panellerinden alınan enerji ile evirici üzerinde, üçü seri olmak üzere iki adet paralel kol oluşturulmuştur. 201 V olan toplam sistem gerilimi 139 V–400 V aralığındaki evirici DA girişine bağlanmaktadır. Ayrıca, şebeke bağlantılı evirici bu sisteme ilave edilebilecek, toplam gücü 1200 W<sub>p</sub>'a kadar olan FV modüllerle beslenebilecek şekilde seçilmiştir.

Evirici üzerinde bulunan ekrandan, FV sistemden şebekeye aktarılan güç, sistem gerilimi, üretilen toplam enerji miktarı, gün içinde üretilen enerji miktarı ve sistemin toplam çalışma süresi görülmektedir. Ayrıca bu değerler, uzaktan izleme ünitesi ve internet bağlantısı ile de takip edilebilmektedir. Şekil 4'de 360 W<sub>p</sub> şebeke bağlantılı FV elektrik üretimi sistemine ait FV modüllerin fotoğrafı görülmektedir. Şekil 5'de MGNİ içeren şebeke bağlantılı evirici fotoğrafı görülmektedir. Tablo 1'de şebeke bağlantılı evirici teknik özellikleri verilmektedir.



Şekil 4. FV modüllerin fotoğrafı.

Sistem kurulumu 10 Mart 2010 günü tamamlanmıştır. FV modüllerin ilk 2-3 yıl içinde ürettiği güç, normal gücünün %10 fazlası olabilmektedir. Bu ihtimal dahilinde, kurulan sistemden 12 Mart 2010 Cuma günü maksimum 402 W gücün şebekeye aktarıldığı gözlemlenmiştir. 19 Mart 2010 Cuma günü 2,6 kWh enerji üretilerek maksimum enerji üretimi yapılmıştır. Bu değer, bir gün içinde yaklaşık 7 saat boyunca sistemin maksimum enerji üretiminde bulunduğunu göstermektedir. Sistem kurulumundan 15 gün sonra, 25 Mart 2010 Perşembe günü ise, toplam üretilen enerji 25 kWh olmuştur. Kurulumdan tam bir yıl sonra 10 Mart 2011 Perşembe günü toplam çalışma süresinin 3898 saat, üretilen toplam enerjinin ise 421,2 kWh olduğu gözlemlenmiştir.

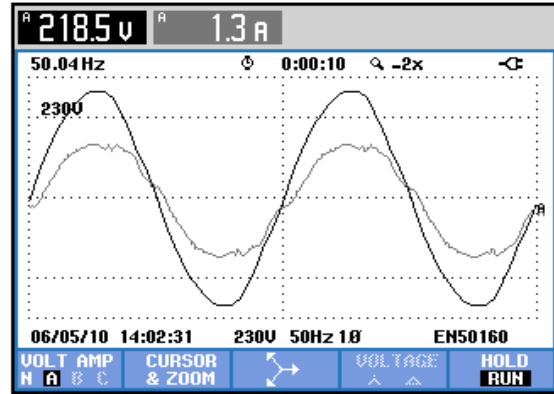


Şekil 5. Şebeke bağlantılı evirici fotoğrafı.

Tablo 1. Şebeke bağlantılı evirici teknik özellikleri.

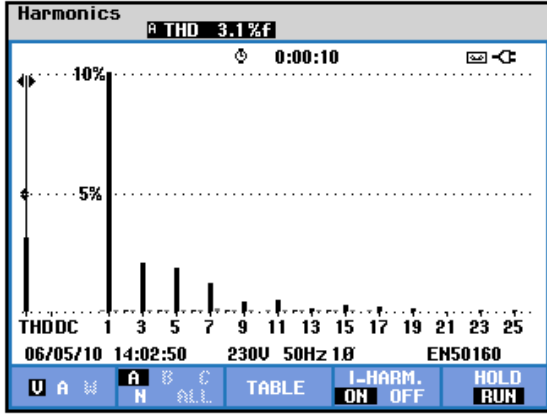
Parametreler	Değerler
V <sub>DA</sub> maksimum	400 V
V <sub>DA MPP</sub>	139 - 400V
I <sub>DA</sub> maksimum	10 A
V <sub>AA</sub> nominal	230 V
f <sub>AA</sub> nominal	50/60 Hz
P <sub>AA</sub> nominal	1000 W
I <sub>AA</sub> nominal	4,4 A
Cosφ	1

Kurulan FV elektrik üretim sisteminin şebeke tarafında Fluke 434 güç kalitesi analizörü ile ölçümler alınarak akım, gerilim ve harmonik incelemesi yapılmıştır. Şekil 6'da, güneşli bir günde saat 14:02:31 itibarı ile alınan ölçümde akım ve gerilim dalga şekilleri görülmektedir. Ölçülen gerilim 218,5 V ve akım 1,3 A'dır.

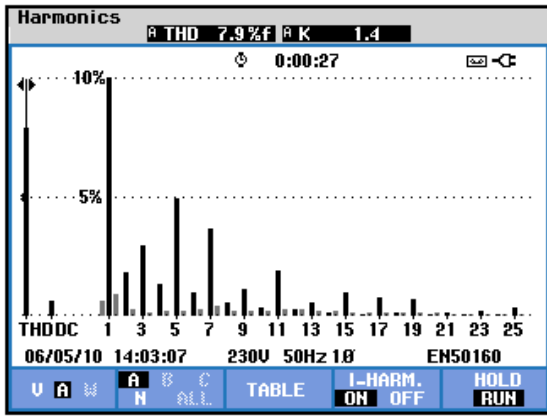


Şekil 6. FV güç sisteminin şebeke tarafından alınan akım ve gerilim dalga şekilleri.

Sistemin şebekeye verdiği gerilim ve akımın harmonik dağılımları ise sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmektedir. Toplam Harmonik Bozulma (THB) gerilim değeri %3,1 ve THB akım değeri %7,9'dur. Bu değerlerin IEEE 519-1992 standardında belirtilen %5 sınır değerine yakın olduğu görülmektedir. Şekil 9'da saat 14:03:30 itibarı ile sistemden alınan güç değerlerine göre, sistem geriliminin 218,9 V, akımının 1,3 A, gücünün 0,27 kW ve güç faktörünün 0,98 olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Şebeke gerilimi harmonik dağılımı.



Şekil 8. Şebeke akımı harmonik dağılımı.

Power & Energy		
FULL 0:00:06		
	A	Total
kW	0.27	0.27
kVA	0.28	0.28
kVAR	0.05	0.05
PF	0.98	0.98
Cosφ	0.99	
A <sub>rms</sub>	1.3	
A		
V <sub>rms</sub>	218.9	
06/05/10 14:03:30 230V 50Hz 1Ø EN50160		
VOLTAGE	ENERGY	TREND
▲ ▲		HOLD RUN

Şekil 9. FV güç sisteminden alınan güç değerleri.

## 5. Sonuçlar

Günümüzde enerji, dünya siyasetinde en önemli konu olarak gösterilebilir. Enerjinin bu kadar önemli olduğu bir zamanda, yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajları her ülkenin ilgisini çekmektedir. Dünya üzerinde, FV güç sistemleri ile elektrik üretimindeki artışla beraber, ülkemizde de bu bilinç oluşmuş ve birçok farklı uygulama yapılmıştır. Bu çalışmada, şebeke bağlantılı FV güç sistemleri açıklanmakta ve şebeke bağlantısında dikkat edilmesi gereken önemli

hususlar üzerinde durulmaktadır. Ayrıca, ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlantısıyla ilgili güncel gelişmeler anlatılmakta ve Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nde uygulaması yapılan 360 W<sub>p</sub> şebeke bağlantılı FV elektrik üretim sisteminin güç kalitesine etkileri açıklanmaktadır. Yapılan gözlem ve ölçüm sonuçlarından, FV elektrik üretim sisteminde kullanılan şebeke bağlantılı eviricilerin harmonik bozulma değeri bakımından dikkatle seçilmesi gerektiği öngörülmektedir.

## 6. Teşekkür

Bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi hızlı destek programı tarafından desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- [1] European Photovoltaic Industry Association, "Global Market Outlook for Photovoltaics until 2013, EPIA, 4, 5, (2009).
- [2] European Photovoltaic Industry Association, "Global Market Outlook for Photovoltaics until 2014, EPIA, 3, (2010).
- [3] A. Çelebi, M. Çolak, "Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemlerde Oluşan Harmoniklerin Şebekeye Etkileri" YEKSEM'05, (2005).
- [4] J.H.R. Enslin, Peter J. M. Heskes, "Harmonic Interaction Between a Large Number of Distributed Power Inverters and the Distribution Network," IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 19, No. 6, (2004).
- [5] P.J.M. Heskes, "Power Quality Behaviour of Different PV Inverter Topologies", PCIM 2003, 24th International Conference, Germany, (2003).
- [6] B., Şimşek, "Dağıtım Gerilimi Seviyesinden Bağlı Santrallerin Ülkemizdeki Genel Durumu", PV Platformu Alt Çalışma Grubu Toplantısı, Muğla, 10 Temmuz, (2009).
- [7] E., Akdeniz, "Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Üretiminin Şebekenin Enerji Kalitesi ve Kararlılığına Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 43-57, (2006).
- [8] International Energy Agency, "Overcoming PV Grid Issues in The Urban Areas", IEA, Report IEA-PVPS T10-06-2009, 8, 9, (2009).
- [9] S. Çalıkoğlu, "Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Güç Sistemleri İle Elektrik Üretimi" Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
- [10] S. Çalıkoğlu, E. Özdemir, "Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemleri", UTES 2010, 1-5 Aralık 2010, 121-132, Bursa, (2010).