

# ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK ELEKTRİK ÜRETİM SİSTEMLERİNİN GÜÇ KALİTESİNE ETKİLERİ VE PERFORMANS ANALİZİ

Selma Erkurt<sup>1</sup>, Engin Özdemir<sup>2</sup>, İsmail Murat Koç<sup>3</sup>, Ahmet Aktaş<sup>4</sup>, , Koray Erhan<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD, Kocaeli

e-posta: <sup>1</sup>[erkurtselma@gmail.com](mailto:erkurtselma@gmail.com), <sup>2</sup>[eoazdemir@kocaeli.edu.tr](mailto:eoazdemir@kocaeli.edu.tr), <sup>3</sup>[ismailmuratkoc@gmail.com](mailto:ismailmuratkoc@gmail.com),  
<sup>4</sup>[ahmet\\_aktas\\_1987@hotmail.com](mailto:ahmet_aktas_1987@hotmail.com), <sup>5</sup>[korayerhan@gmail.com](mailto:korayerhan@gmail.com)

## Özet

Güneş enerjili güç sistemlerinde kullanılan elemanların güç kalitesi üzerine etkileri bulunmaktadır. Güç kalitesinin değişken olması, kurulan fotovoltaik sistemin şebekeyi olumsuz etkilemesine neden olmaktadır. Bu nedenle panel seçimi, inverter seçimi, sistem optimizasyonu ve performans analizlerinin dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi binasında kurulan üç farklı fotovoltaik güç sisteminin performans analizi yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Fotovoltaik sistemler, monokristal, polikristal ve ince film türü güneş panellerinden oluşmaktadır. Tüm fotovoltaik sistemlerin performansları, belirlenen bir gün için karşılaştırılmıştır. Ayrıca lisanssız elektrik üretimi ile ilgili güncel bilgilere de bu çalışmada yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik elektrik üretimi, lisanssız elektrik üretimi, şebeke bağlantılı FV sistemler, güç kalitesi.

## 1. Giriş

Enerjiye olan ihtiyacın her geçen gün artmasıyla birlikte, enerji arz tarafındaki yoğun çalışmalar da gün geçtikçe hız kazanmaktadır. Bu yönde yapılan büyük yatırımların lisans süreçleri, kurulum çalışmaları ve üretimdeki payları oldukça önemlidir.

Diğer taraftan ise ülkemizde son zamanlarda lisanssız elektrik üretiminden kaynaklı kapasite hızla artmaktadır. 21 Temmuz 2011 tarihli yönetmelikte belirtildiği gibi kendi elektriğini üretmek isteyen herkese azami 500 kW sınırı ile elektrik üretebilme hakkı tanınmış, sonrasında 26 Haziran 2012 lisanssız elektrik üreticileri için dağıtım sistemine bağlantı anlaşması ve lisanssız elektrik üreticileri için dağıtım sistem kullanım anlaşmasıyla bu süreç tamamlanmıştı. Daha sonra 14 Mart 2013'te kabul edilen Elektrik Piyasası Kanunu ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisanssız elektrik üretmek isteyenler için 500 kW olan üst sınır 1 MW'a yükseltildi [1]. Bu sınırın yükseltilmesiyle birlikte lisanssız üretime verilen önem artmıştır. Bu noktadan itibaren lisanssız elektrik

üretim sektörü bir dönüm noktası yaşamaya başlamıştır. 2 Ekim 2013 de yayınlanan ve yürürlüğe giren yeni yönetmelik ve uygulama tebliği ile başvurularda çok büyük bir artış görülmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın verilerine göre bugüne kadar 1275 lisanssız elektrik üretimi başvurusunun 417'si onaylanmıştır. Türkiye'de son iki yılda kabulü tamamlanıp işletmeye alınan 156 lisanssız elektrik üretimi başvurusu bulunmaktadır. Bu projelerin kurulu gücü 56 MW'yi bulmaktadır. Kendi elektriğini üretmek isteyen kişi ve kurumların yüzde 90'ından fazlası yatırımlarını güneş enerjisi santrallerine (GES) yapmak istemektedir [3]. Lisanssız elektrik üretiminde 1142 kişi ve kurum GES yatırımı için başvururken, işletmede olan 156 santralin de 148'i yine GES'lerden oluşmaktadır.

5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'a göre teşvikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yapılan yatırıma göre teşvik oranları.

Yapılan Yatırımın Cinsi	Teşvik (ABD Dolar Cent / kWh)
Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi	13.3
Konstrüksiyon	0.8
PV Modülleri	1.3
PV Modülünü oluşturan hücreler	3.5
İnvertör	0.6
PV Modülü üzerine güneş ışığını odaklama cihazı	0.5

Güneş enerjisinden üretilen elektriğin satış fiyatı

$$= 13.3 \text{ cent } \$ / \text{ kWh}$$

Yerli üretim konstrüksiyon kullanıldığında ilavesi

$$= 0.8 \text{ cent } \$ / \text{ kWh}$$

Yerli üretim PV modülü kullanıldığında ilavesi

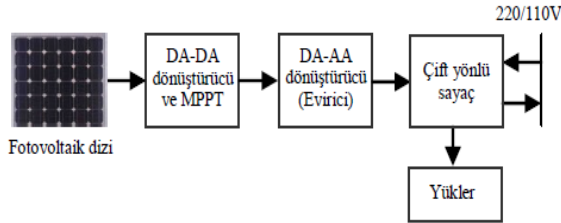
$$= 1.3 \text{ cent } \$ / \text{ kWh}$$

## 2. Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemler

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler, merkezi elektrik şebekesine bağlanır ve üretilen elektriği şebekeye aktarır [4]. Güneş enerjisinden üretilen elektriğin, üretildiği anda ve üretildiği yerde hiçbir ilave depolama (akü-batarya vb.) birimi olmadan şebekeyi beslediği ve anında kullanıldığı sistemler şebeke bağlı (On-Grid) sistemler olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1’de evsel uygulamalarda kullanılan şebeke bağlantılı bir FV sistemin güç akış diyagramı gösterilmektedir

Bu sistemlerde elde edilen elektrik enerjisi direkt olarak ülkenin enterkonnekte şebeke hattına aktarılır. Üretilen fazla elektriğin (tüketim-kullanım fazlası gibi) şebekeye satış imkânı mevcuttur. Bu alanda devletler tarafından güncel koşullara bağlı olarak farklı kanun, yönetmelik, alım garantisi süreleri ve tarifeler geliştirilmektedir.

Ayrıca geçmişten günümüze bakıldığında, olumlu teknolojik gelişmeler ile artan üretim kapasitesi, ticari koşullar vb. hususlara bağlı olarak ilk yatırım maliyetlerinde kayda değer bir düşüş görülmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemlerin kurulumunda ciddi bir artış görülmektedir.



Şekil 1. Evsel uygulamalarda kullanılan FV sistem güç akış diyagramı.

### 2.1. Şebeke bağlantılı FV sistemlerin güç kalitesine etkileri

Statik anahtarlamalı eviriciler (FV, rüzgar, yakıt hücresi gibi güç sistemlerinde) düşük seviyeli ve düşük dereceli harmonikler üretmekte ve enerji dağıtım sisteminde bozucu etkilere sebep olmaktadır. Bu harmonikler, anahtarlama kontrol yöntemleri ile azaltılarak oldukça temiz bir akım dalga şekli oluşturulabilmekte fakat tamamen ortadan kaldırılamamaktadır. Güç sistemlerinde harmoniklerin bozucu etkilerinin önlenmesi amacıyla standartlar ve yönetmeliklerle harmonikler bakımından sınırlamalar getirilmektedir. Sınır değerler IEEE 519-2014, EN 50160, IEEE 1574, IEC 61727 gibi standartlarla belirlenmiştir. Bu sınır değerlerin sağlanabilmesi için evirici cihazlara harmonik filtre işlevleri eklenmektedir.

## 3. Fotovoltaik Sistemler

Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi binasında kurulan fotovoltaik güç sistemlerinde, monokristal, polikristal ve ince film güneş panelleri kullanılmıştır. Kullanılan panellerin cinsleri, adetleri ve güçleri Tablo 2’de verilmiştir. Bahsi geçen üç ayrı panel grubu 1,2 kW, 2 kW ve 4,5 kW’lık eviriciler aracılığıyla şebekeye bağlanmış ve tüm sistemler ile ilgili verilerin çevrimiçi (online) takibi sağlanmıştır.

Tablo 2. Kullanılan FV panellerin güçleri, adetleri ve cinsleri.

Panelin Cinsi	Güç Değeri ve Adedi
Monokristal	200 W x 10 = 2000 W
İnce Film	60 W x 12 = 720 W
PoliKristal	255 W x 20 = 5,1 kW

### 3.1. Monokristal panel dizisi

Monokristal sistemde, 10 adet 200 Wp gücündeki güneş panelinden elde edilen elektrik enerjisi 2 kW’lık evirici (inverter) yardımıyla şebekeyi beslemektedir. Bağlı olduğu evirici 2 kW güç değerine sahip SMA Sunny Boy’dur. Monokristal panel dizisi Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Monokristal panel dizisi.

### 3.2. Polikristal panel dizisi

Polikristal sistemde, 20 adet 255Wp’lık Yingli FV panel ve 3 fazlı 4,5 kW’lık Fronius Symo evirici kullanılmaktadır. FV panel dizisi 10’ar adet seri olmak üzere iki paralel kol ile toplam 5100Wp DC güç üretmektedir. Şekil 3’de polikristal panel dizisi görülmektedir. Kocaeli hava şartlarına göre bu paneller maksimum 4,5 kW civarına ulaşabildiğinden, Fronius evirici gücü 4,5kW seçildi. Seçilen inverterin teknik özelliklerine bakıldığında, 4,5 kW nominal güç değerine sahip olmasına rağmen

5 kW maksimum güç değerlerine kadar yüklenmeleri tolere edebilmektedir. 5100 W'lık FV sistemden gelen DC güç optimum şartlar için belirtilmiş bir güç değeridir (etiket değeri).



Şekil 3. Polikristal panel dizisi.

### 3.3. İnce film panel dizisi

12 adet 60 Wp (12x60=720W) ince film FV modül kullanılarak üretilen elektrik enerjisi, Teknoloji Fakültesi binasına alınarak dağıtım panosuna şebeke bağlantılı 1,2 kW'lık Sunny Boy SMA evirici üzerinden bağlanmıştır. Şekil 4'de bu panel dizisi görülmektedir.

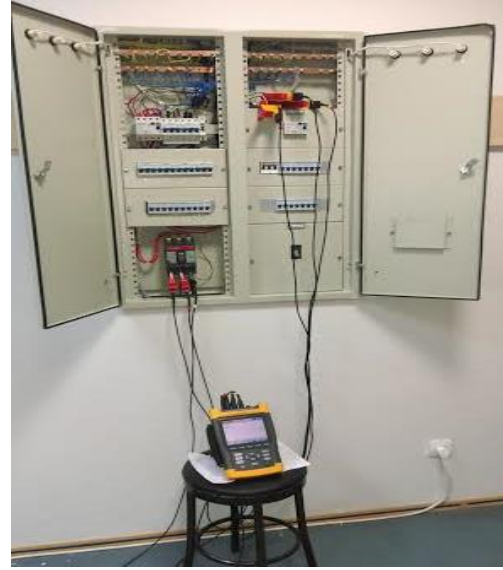


Şekil 4. İnce film panel dizisi.

## 4. Performans Değerlendirmeleri

Kurulan üç farklı fotovoltaik güç sisteminin şebeke tarafındaki bağlantı noktasından Fluke 434 güç kalitesi analizörü ile ölçümler alınmıştır. Bağlantı resmi Şekil 5'de verilmiştir. Bu ölçümlerde akım, gerilim değerleri ölçülerek harmonik değerler bakımından incelemeler yapılmıştır. Her bir ölçüm sonucu analizör ekran görüntüsü olarak kaydedilmiştir.

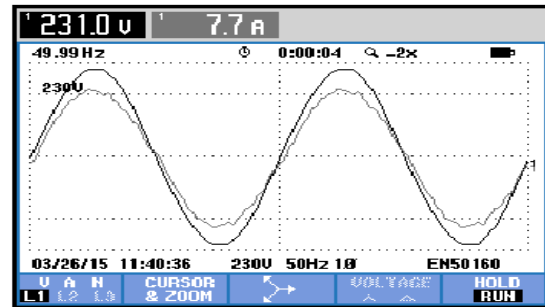
Hava sıcaklığının 21°C olduğu 26 Mart 2015 tarihinde saat 11:40 itibarı ile kurulu olan her FV güç sistemi için ayrı ayrı alınan veriler aşağıda gösterilmektedir.



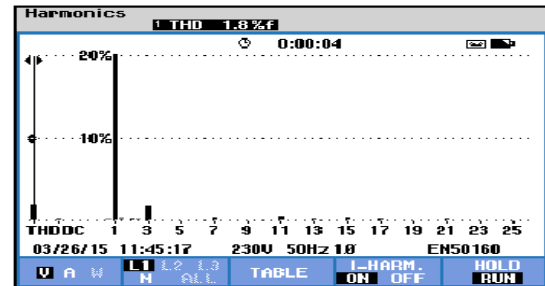
Şekil 5. Fluke 434 güç analizörü ile ölçüm.

### 4.1. 2kW SMA sunny boy evirici sonuçları

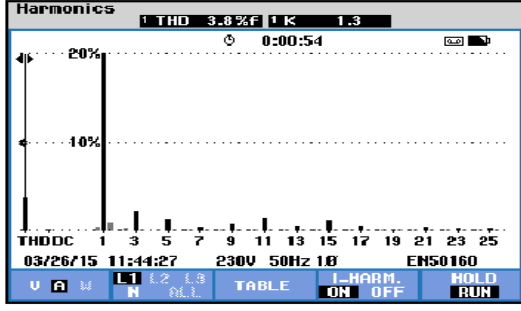
Şekil 6'da 11:40 itibarı ile alınan ölçümde akım ve gerilim dalga şekilleri görülmektedir. Ölçülen gerilim 231 V, akım 7,7 A'dir. Sistemin şebekeye verdiği gerilim ve akımın harmonik dağılımları Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmektedir. Toplam Harmonik Bozulma (THD<sub>V</sub>) gerilim değeri % 1,8 ve THD<sub>I</sub> akım değeri % 3,8'dir. Şekil 9'da sistemin şebekeye aktardığı güç değerlerine göre, sistem geriliminin 231 V, akımının 7,7 A, gücünün 1,62 kW ve güç faktörünün ve cosΦ değerlerinin 1 olduğu görülmektedir.



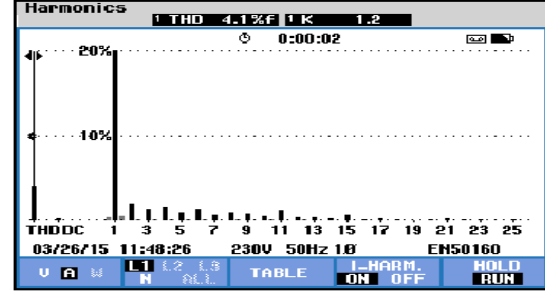
Şekil 6. L1 akım-gerilim dalga şekli.



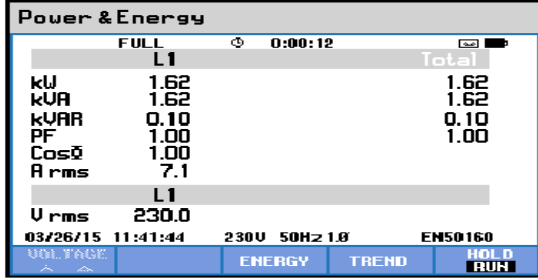
Şekil 7. Gerilim THD bar grafiği.



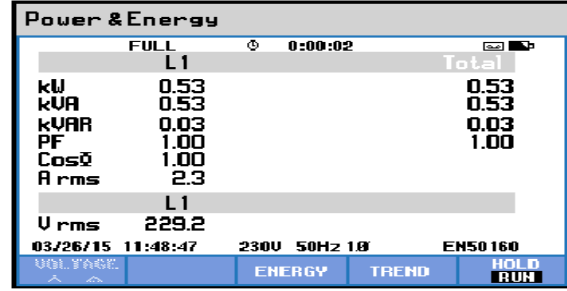
Şekil 8. Akım THD bar grafiği.



Şekil 12. Akım THD bar grafiği.



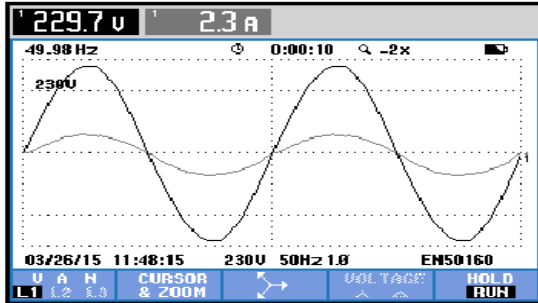
Şekil 9. Güç değerleri.



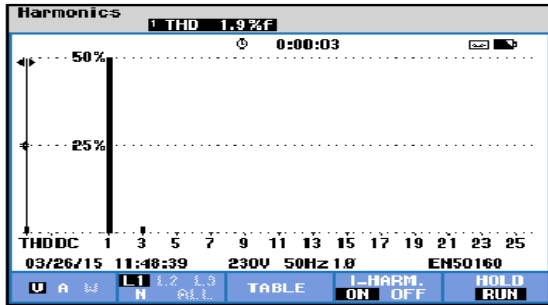
Şekil 13. Güç değerleri.

#### 4.2. 720W sunny boy SMA evirici sonuçları

Şekil 10'da ölçülen gerilim 229,7 V, akım 2,3 A'dır. Şekil 11 ve 12'ye bakıldığında Toplam Harmonik Bozulma (THD<sub>v</sub>) gerilim değeri %1,9 ve THD<sub>i</sub> akım değeri %4,1'dir. Şekil 13'de sistemin şebekeye aktardığı güç değerlerine göre, sistem geriliminin 229,7 V, akımının 2,3 A, gücünün 0,53 kW ve güç faktörünün ve cosφ değerlerinin 1 olduğu görülmektedir.



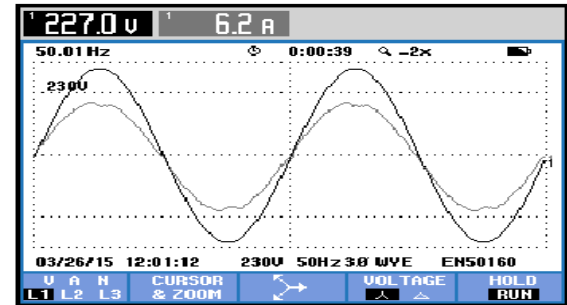
Şekil 10. L1 akım-gerilim dalga şekli.



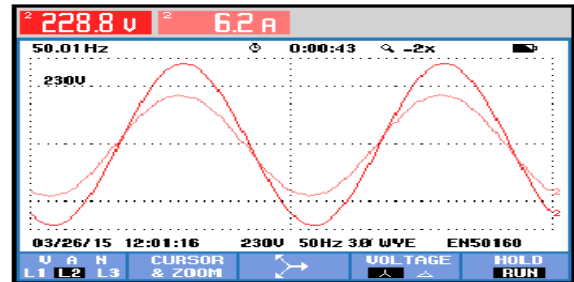
Şekil 11. Gerilim THD bar grafiği.

#### 4.3. 4,5 kW Fronius evirici sonuçları (3faz)

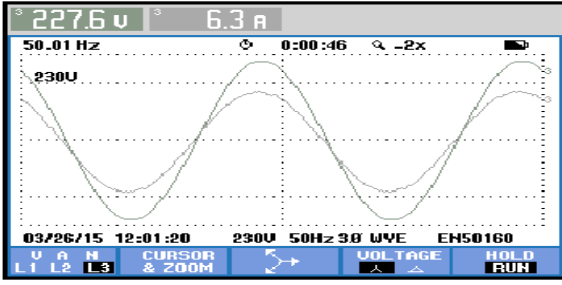
Şebeke tarafından ölçülen gerilim değerleri her bir faz için sırasıyla 227 V, 228,8 V ve 227,6 V olarak ölçülmüştür. Bu değerler Şekil 14, 15 ve 16'da görülmektedir. Akım değerleri ise 6,2 A ile 6,3 A arasında değişmektedir. Şekil 17, 18, 19 ve 20'ye bakıldığında Toplam Harmonik Bozulma (THD<sub>v</sub>) gerilim değeri ortalama % 0,9 ve THD<sub>i</sub> akım değeri ortalama %2,9'dur. Şekil 21'de sistemin şebekeye aktardığı güç değerlerinin her bir faz için 1,41 kW ve toplamda 4,230 kW olduğu görülmektedir. Güç faktörünün ve cosφ değerlerinin de 1 olduğu görülmektedir.



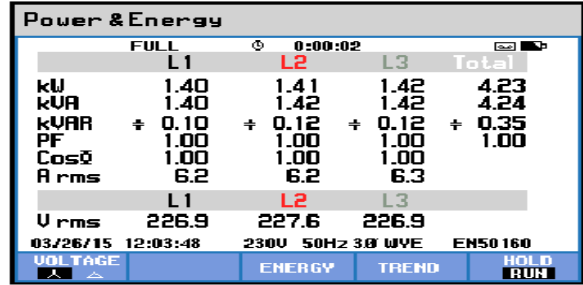
Şekil 14. L1 akım-gerilim dalga şekli.



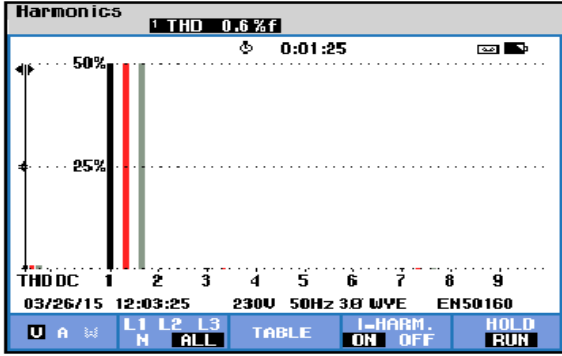
Şekil 15. L2 akım-gerilim dalga şekli.



Şekil 16. L3 akım-gerilim dalga şekli.



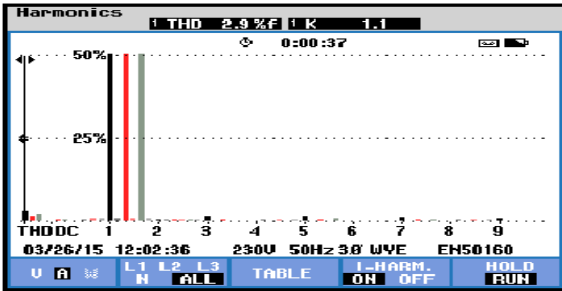
Şekil 21. Güç değerleri.



Şekil 17. Gerilim THD bar grafiği.

HARMONICS TABLE				
Uolt	L1	L2	L3	N
THD%F	1.0	0.8	0.9	13.3
H3%f	0.3	0.3	0.2	4.0
H5%f	0.1	0.1	0.1	0.8
H7%f	0.2	0.2	0.3	3.2
H9%f	0.1	0.1	0.0	0.8
H11%f	0.4	0.3	0.4	4.4
H13%f	0.1	0.1	0.1	1.4
H15%f	0.1	0.1	0.1	1.6

Şekil 18. Gerilim THD değerleri tablosu.



Şekil 19. Akım THD bar grafiği.

HARMONICS TABLE				
Amp	L1	L2	L3	N
THD%f	3.0	1.4	1.7	377.0
H3%f	1.5	0.3	0.1	41.7
H5%f	1.3	0.5	0.6	38.4
H7%f	1.1	0.3	0.4	43.7
H9%f	0.7	0.1	0.1	38.3
H11%f	1.1	0.5	0.8	50.4
H13%f	0.4	0.1	0.2	39.1
H15%f	0.5	0.1	0.2	37.4

Şekil 20. Akım THD değerleri tablosu.

## 5. Sonuçlar

Fotovoltaik sistemlerin güç kalitesini etkileyen en önemli parçası FV panellerin ürettiği DC akımı ve gerilimi evirerek AC akım ve gerilime çeviren eviricilerdir (inverter). Üretilen güneş panellerinin, enerji dönüşüm verimlerinin düşük olması, panel çeşitlerinin performans analizinin önemini arttırmaktadır. Bu çalışmada üç farklı güneş paneli dizisinin THD, güç faktörü, akımı ve gerilim değerleri ölçülerek performans analizi yapılmıştır. Yapılan ölçümlerin sonucunda, FV elektrik üretim sistemlerinde güç kalitesi yönünden monokristal ve polikristal panellerin daha verimli olduğu belirlenmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Ş. Oktik 'Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yolla Elektrik Enerjisi Üretme Sektörünün Güncel Verileri'(2013)
- [2] M.Çubukçu 'Quality Assurance PV Modules and Systems', (2014).
- [3] B., Şimşek, "Lisanssız Elektrik Üretimi", ATO Semineri, (2014).
- [4] S. Çalikoğlu, "Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Güç Sistemleri İle Elektrik Üretimi" Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
- [5] Y. El Mghouchi, I. El Abbassi, Z. Choulli, A. Sadouk, T. Ajzoul, A. El Bouardi 'Performance of the PV panels in Tetuan City, Northern of Morocco'
- [6] Lisanssız Elektrik Üretim yönetmeliği, (2013).