

GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN ELEKTRİK ŞEBEKESİ GÜÇ KALİTESİNE HARMONİK VE ARA-HARMONİK AÇISINDAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mozhgan MOAZZENZADEH¹, Hacer ŞEKERCİ²

¹Ege Üniversitesi, Güneş Enerji Enstitüsü, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye

²Yaşar Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye

¹mozhgan.moazzenzadeh@mail.ege.edu.tr, ²hacer.sekerci@yasar.edu.tr

ÖZET

Küresel ısınma ve çevre kirliliğine duyulan kaygıların giderek artmasından dolayı Fotovoltaik (FV) sisteminin enerji üretim potansiyelinde, önemsenen yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarından biri olarak karşımıza çıkmasıyla birlikte enerji üretimindeki payı gün geçtikçe hızla artmaktadır. Enerji ihtiyacıyla paralel olan en önemli beklentilerden biri enerjinin güvenilir olması ve diğeri ise enerji(güç) kalitesidir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte doğrusal olmayan yükler, akım ve gerilimin dalga şeklinde bozukluklar meydana getirerek ve dalga şekillerini sinüs formundan uzaklaştırarak çeşitli sorunlara sebebiyet vermiştir. Bu durumun en büyük dezavantajı, bozucu etkilerin bireysel olmayıp tüm şebekeyi ve diğer komşu tesisleri de etkilemesidir. Sık görülmekte olan bu sorun harmonikler ve son yıllarda araştırma konusu olan ara-harmonikler olarak tanımlanmaktadır. Fotovoltaik sistemlerin güç kalitesini etkileyen ve harmonik sorunuyla bizi karşı karşıya bırakan en önemli kısmı, FV panellerin ürettiği DC akım ve gerilimi AC akım ve gerilime çeviren eviricilerdir (invertör). Bu çalışmada fotovoltaik elektrik üretim sistemlerinin güç kalitesi etkilerini araştırma amacıyla iki farklı FV sistemin iki farklı frekansta, birincisi Türkiye, İzmir’de (240V/50Hz) ve diğeri Kanada, Edmonton’da (120V/60Hz), eviricilerinin yarattığı harmonik ve ara-harmoniklerinin, Fluke “435” ve “434” güç kalitesi analizörü vasıtasıyla ölçümleri alınarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik elektrik üretimi, Güç kalitesi, Harmonik, Ara-harmonik, Evirici.

1. GİRİŞ

Son zamanlarda Fotovoltaik (FV) teknolojisi, çevresel herhangi bir kirlilik yaratmadan, elektrik üretme kabiliyeti nedeniyle gelecek vaat eden yenilenebilir enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir. Buna ek olarak, hükümetlerin ciddi destekler verdiği gelişmiş ülkelerde FV sistem fiyatı özellikle şebekeye bağlı FV sistemi için istikrarlı olarak düşerek hızlı bir şekilde bupazarın büyümesine neden olmuştur [1]. Diğer taraftan güç(enerji) kalitesini etkileyen unsurlar son yıllarda önemli bir araştırma kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Güç kalitesini iyileştirmek için gerekli önlemler alınmadan önce, bu tür bozulmaların kaynakları ve nedenlerinin bilinmesi çok önemlidir. En temel güç kalitesi sorunlarının başında harmonikler gelmektedir ki gerilim/akım dalga şeklinin ideal sinüs biçiminden uzaklaşması olarak tanımlanabilir ya da başka deyişle enerji sistemlerinde harmonikler en basit olarak temel frekansın tam katları olan sinüs dalgaları şeklinde ortaya çıkan akım ve gerilimlerdir. Temel bileşen ve tam katlarındaki harmonik bileşenlerin toplanmasıyla elde edilen dalga şeklinin ideal sinüs biçiminden uzaklaşmasının en temel nedeni doğrusal olmayan yükler ve bunların dağıtım sistemlerine etkisidir [2-3].

Güç kalitesi sorunlarının başında harmoniklerin yani sıra; ayrıca temel

frekansın tam katları olmayan sinüzoidalakım ve gerilimlerden meydana gelen ara-harmonikler de gün geçtikçe daha fazla önem kazanmakta olan bir konu olarak ortaya çıkmaktadır. Geçmişte birçok ülke bölgesel çözüm olarak kendilerine has harmonik standartlarını oluşturmakla beraber, dünyadaki küreselleşme süreci ile birlikte üretilen cihazların farklı ülkelerde kullanılması, harmonik ve ara-harmoniklerde uluslararası standartizasyonu beraberinde getirmiştir [3].

Güç kalitesi problemlerinin çözümü için güç sistemi parametrelerin sürekli ve standartlara uygun olarak izlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle güç kalitesi izleme sistemleri, güç sistemlerinin önemli bir parçası haline gelmiştir. Güç sisteminde belirlenen noktalara yerleştirilen izleme cihazları ile güç kalitesi olaylarının tespiti ve analizi sağlanmaktadır. Bu izleme sistemleri; ölçüm yapılan sisteminin güç kalitesi performansının belirlenmesi, sistemde meydana gelen bozulma türünün ve bazen de kaynağının tespit edilmesi, gerekli işletim şartlarının belirlenmesi gibi teknik personele önemli bilgiler sunmaktadır[2-4].

Yapılan bu çalışmada;ilk olarak İzmir/Gaziemir semtinde havalandırma sistemleri üzerinde faaliyet gösteren bir firmanın çatısında kurulu olan 50kW fotovoltaiik sisteminden bir haftalık veriler alınmıştır. Bu sistemde iki adet 20 kW ve 30 kW invertör mevcut olup, söz konusu ölçümler 30 kW invertörden alınmıştır. İkinciölçüm iseKanada'nın Edmonton şehrindebulunan Northern Alberta Institute of Technology, AlternativeEnergy Departmant'ın çatısında kurulu olan 2.5 kW Güneş enerji sisteminde yine bir haftalık ölçümler yapılarak nihayetinde iki sistem karşılaştırılmıştır. Bu iki sistemin harmonik ve ara-harmonikleri

ölçülerek elektrik şebekesine olan etkileri incelenmektedir. Karşılaştırılan bu iki sistem farklı frekans ve gerilim değerinde enerji üretmektedir. İzmir/Gaziemir de kurulu olan güneş enerji sistemi 240V, 50Hz iken Kanada/Edmonton güneş enerji sistemi 120V, 60Hz'dir.

2. HARMONİK VE ARA-HARMONİK ÖLÇÜM STANDARTLARI VE YÖNTEMLERİ

Güç sisteminde kirlenme diye de tanımlanan bozulmalara sebep olan parametrelerden biriharmoniklerin genlik olarak belirli değerlerin üzerinde olmasıdır. Harmonik akımları güç sistemi empedansı üzerinden gerilim dalga şeklinde bozulmaya sebep olduğu için, bu sözkonusu gerilim harmonikleri yakın çevredeki diğer yükleri etkileyerek istenmeyen bazı durumlara yol açabilmektedirler. Sistem içindeki olumsuz etkileri dışında, öngörülemez bir biçimde diğer sistemleri de etkileyebilmektedirler. Bu nedenle birçok işletme, kendi doğrusal olmayan yüklerinin şebekeye enjekte edebileceği harmonik akım ve gerilim büyüklüğünü standart limitler içinde tutmaya çalışmaktadırlar. IEC ve IEEE tarafından geleneksel sistemler için daha yeni standartlar getirilmiştir[5].

Harmoniklerin yarattığı etkiler ve dolayısıyla sistemde yol açacağı zararları en aza indirebilmek ve enerji kalitesinin üst düzeyde tutabilmek amacı ile harmonikler ve ara-harmonikler için daha yeni sayılabilecek standartlar oluşturulmuştur. Bu standartlar ülkelere göre değişebilmekle birlikte IEC ve IEEE tarafından belirlenen limitler neredeyse tüm standartlarda yer almaktadır. Harmonikler ve ara-harmonikler için IEC 519-2014 ve IEC

61000-4-7’de üst limitler getirilmiştir. Uluslar arası IEC 519-2014’ye göre standartlar içinde kabul edilen harmonik bozulma değerleri, 69 kV bara gerilimi ve altındaki değerler için gerilim harmoniklerinde %3 ve akım harmoniklerinde %5 olarak belirlenmiştir[6]. Ara-harmonikler ilk olarak IEC tarafından IEC 1000-2-1 standartları içinde getirilmiştir ve sonrasında IEC 61000-2-2: 2002 yılında kullanılan başka standart oluşturulmuştur. En detaylı standart ise; IEC 61000-4-7’dir ve IEEE 519’de ara-harmonik limitlerini önceki standartlarına göre revize ederek IEC 61000-4-7 standardını kullanmaya karar vermiştir[7-8]. Herne kadar IEC 61000-4-7 standardı şimdiye kadar en iyi ara-harmonik limitlerine açıklama getirirse de, hala ara-harmoniklerin limitleri tartışmaya açıktır. Özet olarak söylemek gerekirse tüm standartlara göre: ara harmonik voltaj bozulumu temel frekansın 0.2%’nin altında olmalı ve 200 Hz’den büyük bileşenler için ise 0.3%’ün altında olması istenir [9-10]. Bu limit değerlerinin üzerinde bulunan harmonik ve ara-harmonik oranlarında, elektrik sistemleri için tehlikeli ve büyük maddi zararlar oluşturabilecek problemler meydana gelmektedir. Standartlar göz önünde bulundurulduğunda, harmoniklerin etkilerinin minimuma indirilebileceği ancak sistem üzerindeki etkilerinin tamamen kaldırılamayacağı açıktır. Bu nedenle harmonikleri çok daha düşük seviyelere indirerek onların sisteme zarar vermelerini engelleyebiliriz[6-11]. Sistemdeki harmoniklerin sınırlandırılmasını amaçlayan standartlarda çok yaygın olarak kullanılan Toplam Harmonik Bozulumu (THB) tanımı, akım ve gerilim için ayrı ayrı yapılmaktadır. Akım için,

$$\%THB_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (I_n)^2}}{I_1} \quad (1)$$

şeklinde dir. Gerilim için ise,

$$\%THB_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (V_n)^2}}{V_1} \quad (2)$$

şeklinde tanımlanabilir.

Burada,

THB_V : Gerilimin Toplam Harmonik Bozulumu,

THB_I : Akımın Toplam Harmonik Bozulumu,

V_n : Devreye uygulanan gerilimin n ’inci mertebedeki harmoniğinin etkin değeri,

I_n : Devreden geçen akımın n ’inci mertebedeki harmoniğinin etkin değeri,

V_1 : Devreye uygulanan gerilimin temel frekanstaki etkin değeri,

I_1 : Devreden geçen akımın temel frekanstaki etkin değeridir.

Akım ve gerilim için tanımlanan THB değerleri genel olarak yüzde cinsinden ifade edilirler[12].

Toplam Talep Bozulumu (TTB): Akım harmonik bileşenlerinin etkin değerlerinin kareleri toplamının karekökünün, maksimum yük akımına (I_L) oranı olan ve dalga şeklindeki bozulmayı yüzde olarak ifade eden ve aşağıdaki formül uyarınca hesaplanan değerini, temsil eder[13].

$$\%TTB = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (I_h)^2}}{I_L} \quad (3)$$

Gerilim harmoniklerinin sınır değerleri Tablo-1, akım harmoniklerinin sınır değerleri Tablo-2 ve IEEE-519 standarına göre harmonik gerilim sınır değerleri Tablo-3’de verilmiştir[14].

Tek Harmonikler				Çift Harmonikler	
3'un Katları Olmayanlar		3'un Katları Olanlar			
Harm onik Sırası	Sınır Değer	Harmonik Sırası	Sınır Değer	Harmonik Sırası	Sınır Değer
h	(%)	h	(%)	h	(%)
5	% 6	3	% 5	2	% 2
7	% 5	9	% 1, 5	4	% 1
11	% 3, 5	15	% 0, 5	6.... 24	% 0, 5
13	% 3	21	% 0, 5		
17	% 2				
19	% 1, 5				
23	% 1, 5				
25	% 1, 5				

Tablo-1 Gerilim Harmonikleri İçin Sınır Değerler [14]

Tek Harmonikler						
I_{sc}/I_L	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TTB
<20	4. 0	2. 0	1. 5	0. 6	0. 3	5. 0
20<50	7. 0	3. 5	2. 5	1. 0	0. 5	8. 0
50<100	10. 0	4. 5	4. 0	1. 5	0. 7	12. 0
100<1000	12. 0	5. 5	5. 0	2. 0	1. 0	0
>1000	15. 0	7. 0	6. 0	2. 5	1. 4	15. 0
Çift harmonikler, kendinden sonraki tek harmonik için tanımlanan değer %25'i ile sınırlandırılmıştır.						

Tablo-2 Akım Harmonikleri İçin Maksimum Yük akımına (Il) Göre Sınır Değerler[14]

Bara Gerilimi	Tekil Gerilim Bozulması%	Toplam Gerilim Bozulması THB %
1. 0 kV ve altı	5, 0	8, 0
69 kV ve altı	3, 0	5, 0
69 kV... 161 kV	1, 5	2, 5
161. 000 ve üstü	1, 0	1, 5

Tablo-3 Harmonik IEEE-519-2014 Gerilim Limitleri[14]

IEC–61000–4-7 standardında farklı harmonik ve ara harmonik hesaplama yöntemleri tanımlanmıştır [6]. Birbirine yakın ama farklı sonuçlar veren harmonik ve ara-harmonik için üç

hesaplama yöntemi aşağıdaki gibi açıklanmaktadır[15]:

1) Harmonik ve ara harmonik grupları:

$G_{g,n}$ şeklinde ifade edilen harmonik grubu; bir harmoniğin kendisine bitişik olan spektral bileşenlerinin karelerinin toplamının kare köküne eşittir (Çözünürlüğü 5 Hz ve sistem frekansı 50 Hz olduğunda, her 10. DFT örneği bir harmoniğe denk gelmektedir, yani 10. DFT örneği temel bileşeni (1), 20. DFT örneği ise 2. harmoniği gösterir). Aşağıdaki eşitlikte (1); C_k , 5 Hz aralıkla değişen DFT bileşenini göstermektedir:

$$G_{g,n}^2 = \frac{C_{k-5}^2}{2} + \sum_{i=-4}^4 C_{k+i}^2 + \frac{C_{k+5}^2}{2} \quad (1)$$

Benzer şekilde, ara harmonik grubu da, (n). ve (n+1). harmonikler arasındaki DFT örneklerinden şu şekilde elde edilir:

$$C_{ig,n}^2 = \sum_{i=1}^9 C_{k+i}^2 \quad (2)$$

Yukarıdaki eşitlikte (2), C_{k+i} , (k+i). DFT örneğidir.

2) Harmonik ve ara harmonik alt grupları:

Harmonik alt gruplama, harmonik gruplamadan farklı olarak, harmonik bileşeninin çevresindeki DFT bileşenlerinden yalnızca bir önceki ve bir sonrakini kapsar:

$$G_{sg,n}^2 = \sum_{i=-1}^1 C_{k+i}^2 \quad (3)$$

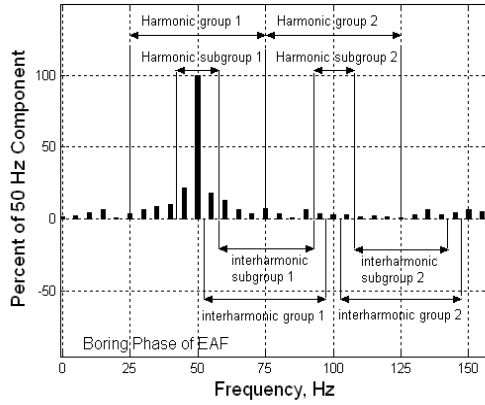
Ara harmonik alt grubunda ise, harmonik genlikleri ve fazlarındaki dalgalanmaların etkileri, harmonik frekanslarına bitişik olan bileşenlerin ortadan kaldırılmasıyla kısmi olarak azaltılabilir:

$$C_{isg,n}^2 = \sum_{i=2}^8 C_{k+i}^2 \quad (4)$$

3) Tek hat harmonik frekansı:

Bu frekans, IEC 61000-4-7 standardına göre 5Hz çözünürlüğündeki DFT örneklerinden doğrudan elde edilen akım ve gerilim frekans genlikleri harmonik bileşeninin ölçümüdür. Yani DFT örneklerinin 50, 100, 150, ... Hz'e denk gelen bileşenleridir.

Şekil 1, harmonik/ara harmonik grup ve alt grupları kavramlarının açıklamalarını grafiksel olarak vermektedir[15].



Şekil1. Harmonik/ara harmonik grubu ve alt grubu hesaplamalarının gösterimi[15]

3. YÖNTEM VE ÖLÇÜMLER

3.1. İzmir/Türkiye ölçümleri

İzmir'in Gaziemir semtinde havalandırma sektöründe hizmet vermek üzere kurulu olan bir firmanın çatısında bulunan 50 kW güneş enerji sisteminde kullanılan iki adet 20 kW ve 30 kW invertörlerden 30 kW olanında ölçümler alınmıştır. Ölçümler Fluke "435" güç kalitesi analizörü ile 30kw invertörden 7 gün kesintisiz süren 10 dakika arayla alınarak akım ve gerilim harmonik ve ara-harmonik incelemeleri yapılmıştır.

Bu sistemde, 200 (120+80) adet 250

Wp (200x250=50 kW) gücündeki polikristal güneş panelinden elde edilen elektrik enerjisi iki adet 3-fazlı 20 kW ve 30 kW toplam 50 kW'lık eviriciler (invertör) yardımıyla şebekeyi beslemektedir. Bağlı olduğu eviriciler Delta marka eviricilerdir. Paneller seri bağlantılıdır ve 120 panel 30 kW eviriciye ve 80 panel 20 kW eviriciye bağlıdır. İzmirGaziemir'deki FV sistem Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. İzmir/GaziemirFV Sistemi

Ölçümler şebekenin OG tarafından yapılmış ve analizör bağlantıları Şekil-3 ve Şekil-4'de görülmektedir.



Şekil 3. Pano ve İnvörtörler

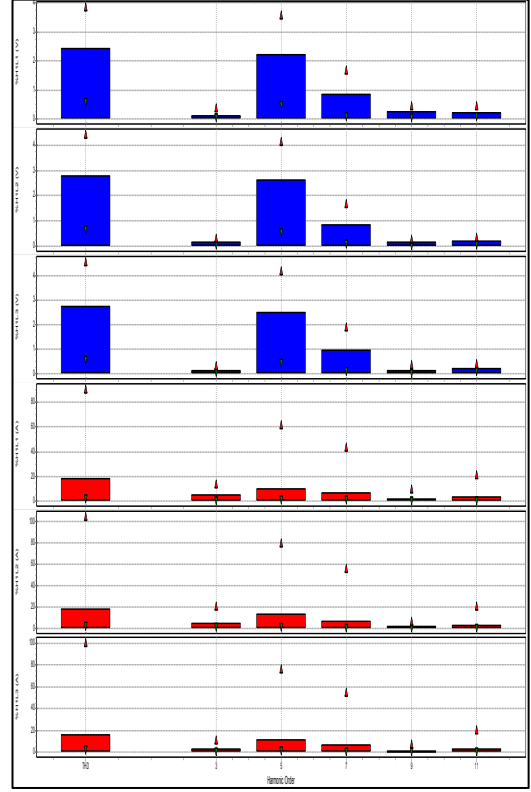


Şekil 4. Analizörün bağlantı şekli

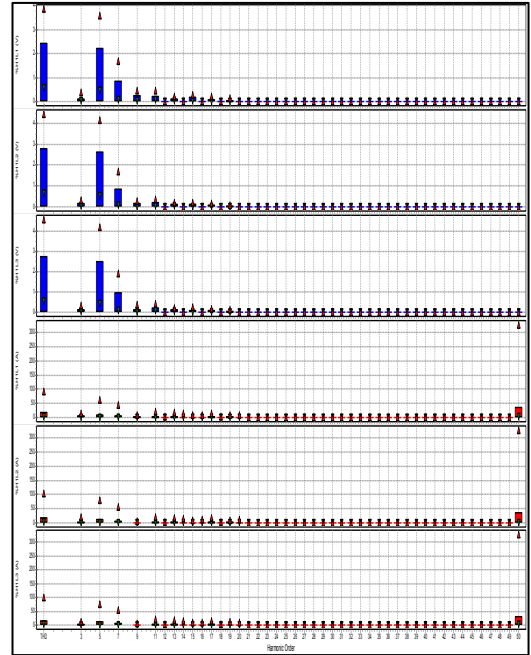
3.1.1. Ölçüm Sonuçları

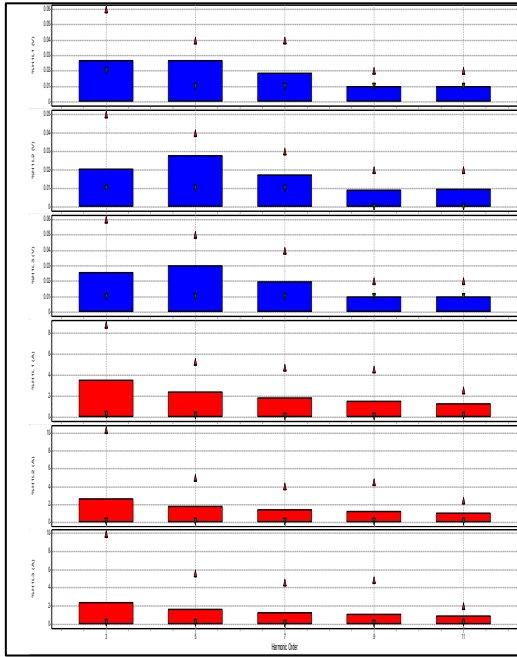
Yapılan ölçümler neticesinde alınan veriler Power Log isimli bilgisayar program yardımıyla incelenmiştir. 13.02.2015 tarihinde saat 12:42'den itibaren 20.02.2015 tarihine kadar bir hafta boyunca Fluke“435”güç kalitesi analizörü kullanılarak ölçümler 50'inci harmoniğe kadar yapılmıştır.

Şekil 5'de her 3-faza ait gerilim ve akımların toplam harmonik histogramları sadece 3, 5, 7, 9, 11'inci harmonikler için ve Şekil 6'da 50'inci harmoniklere kadar verilmiştir. Şekil 5'de A, B ve C faz gerilimlerde oluşan THB uygun sınırlarda olmakla birlikte, A faz akım THB %17'nin altında, B faz akım THB %16, C faz akım THB %16, gibi değerde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Akım ve gerilimlere ait toplam harmonik histogramı



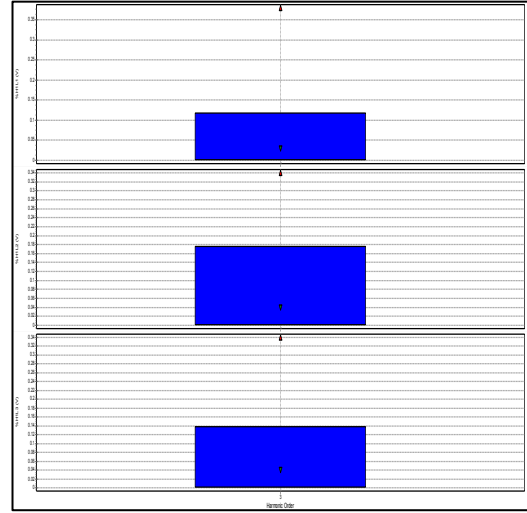


Şekil 7. Akım ve gerilimlere ait toplam ara-harmonik histogramı

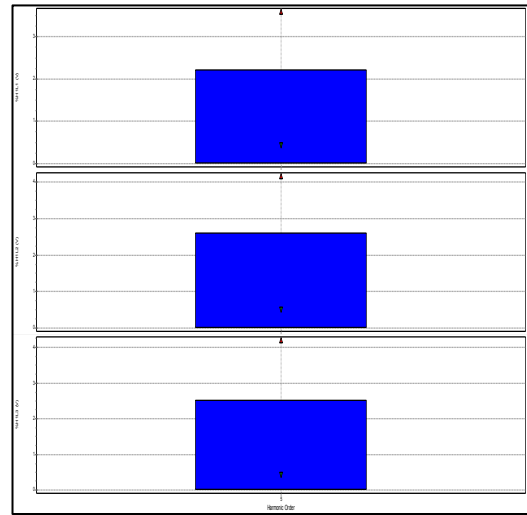
Şekil 7’da görüldüğü gibi bu ölçümdeki ara-harmonikler istenen sınır değerler içindedir.

3. 1. 1. 1. Gerilim Harmonikleri Ölçümleri

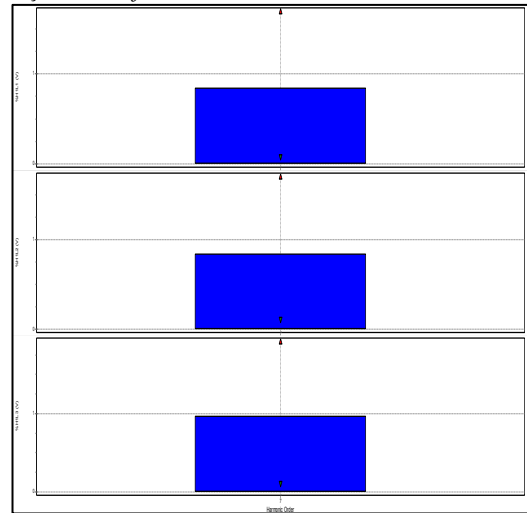
Gerilim harmoniklerinden 3, 5 ve 7. harmonikler dışındaki harmoniklerin değerleri çok küçük olduğu için dikkate değer bulunmamıştır. Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10 ve 11’e bakıldığında 3, 5, 7. harmoniklerin istenen sınır değerler içinde olduğu Tablo-1’den anlaşılmaktadır. Gerilimdeki THB’nin (Şekil 11) ise gün boyu sınır değerinin (%3) altında olduğu görülmektedir. Tekil gerilim harmoniklerinin içinde en büyük değere sahip olan 5’inci harmonik (250 Hz) olarak görülmekte olsa da o da sınır değerlerin altındadır.



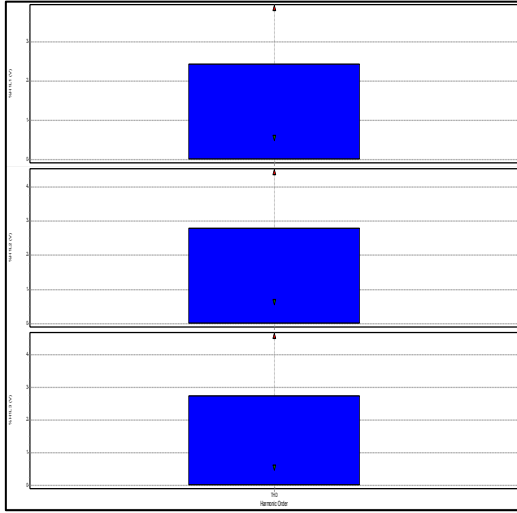
Şekil 8. 3-faz Gerilimlere ait 3’üncü Harmonik



Şekil 9. 3-faz Gerilimlere ait 5’inci Harmonik



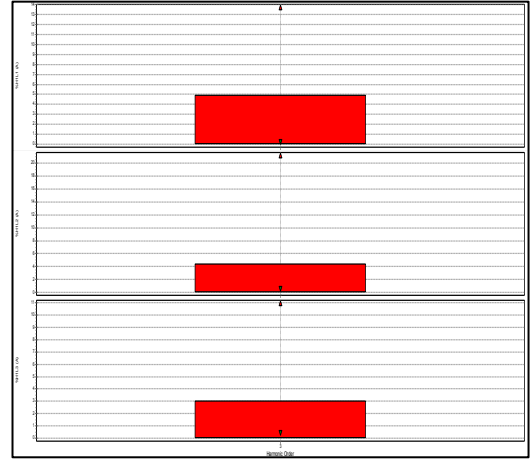
Şekil 10. 3-faz Gerilimlere ait 7’inci Harmonik



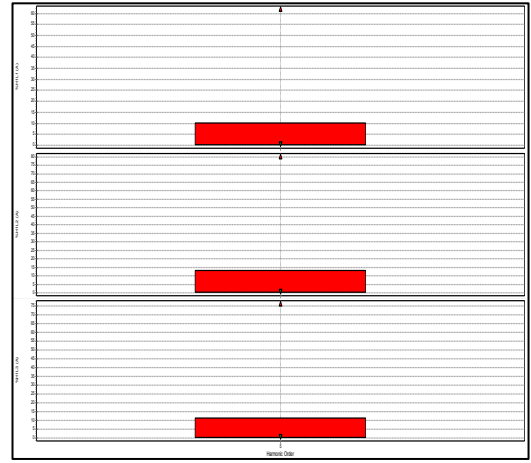
Şekil 11. Gerilimlere ait THB değerleri

3. 1. 1. 2. Akım Harmonikleri Ölçümleri

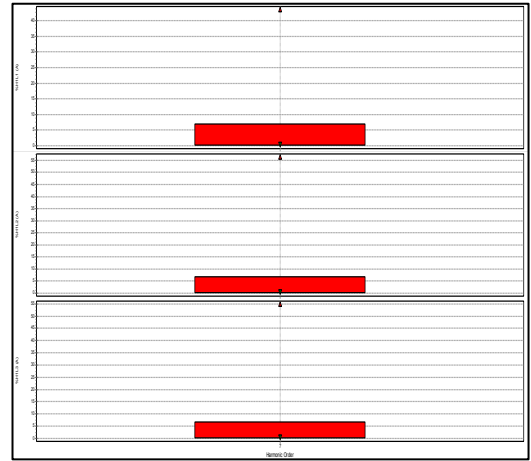
Gerilimde olduğu gibi akım harmoniklerinde de 3, 5, 7 haricindeki harmoniklerin değerleri çok küçük olduğundan grafikleri incelemeye alınmamıştır. Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'e bakıldığında; akımdaki bu tekil harmoniklerin hiçbirinin sınır değerlerini aşmadığı görülmektedir. Akım harmoniklerinde de gerilim harmoniklerinde olduğu gibi 5'inci harmoniğin baskın olduğu görülmektedir. Akıma ait THB değerini gösteren Şekil 15 incelendiğinde ise gün içinde THB'nin sınır değerini (%5) aştığı görülmektedir. Bunun nedeninin sabah ve akşam saatlerinde güneş enerji sistemin devreye alınması ve çıkmasından dolayı olduğu sanılmaktadır.



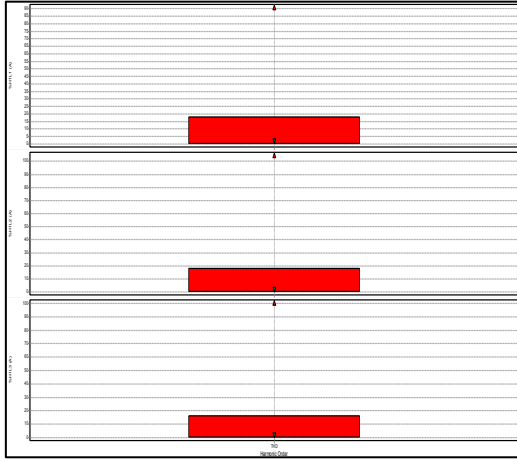
Şekil 12. 3-faz Akıma ait 3'üncü Harmonik



Şekil 13. 3-faz Akıma ait 5'inci Harmonik



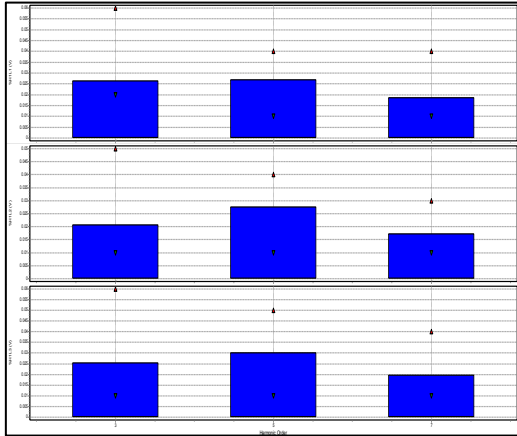
Şekil 14. 3-faz Akıma ait 7'inci Harmonik



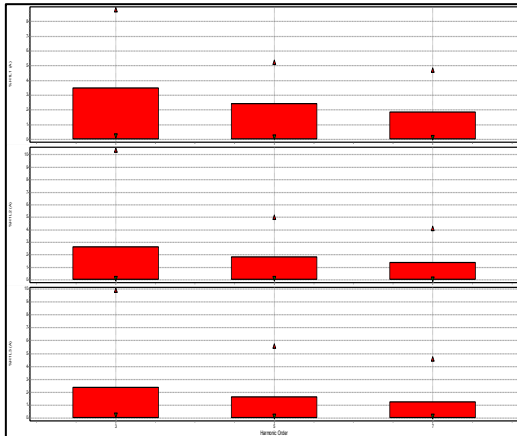
Şekil 15. Akıma ait THB değerleri

3. 1. 1. 3. Ara-harmonic Ölçümleri

Genel olarak şebekenin (Şekil 16 ve 17'den yola çıkarak) ara-harmonik açısından iyi durumda olduğu kanısı çıkarılabilir.



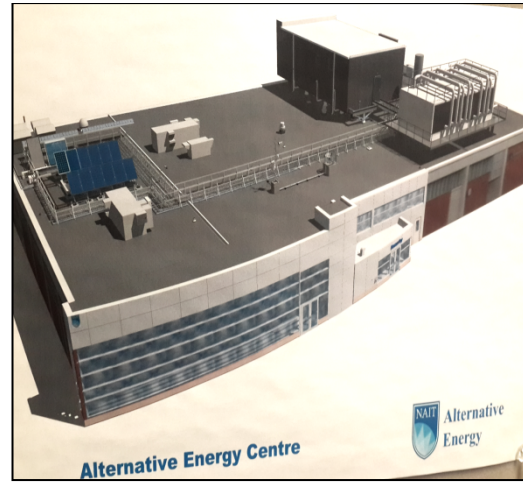
Şekil 16. 3-faz Gerilime ait Ara-Harmonikler



Şekil 17. 3-faz Akıma ait Ara-Harmonikler

3.2. Edmonton/Kanada Ölçümleri

Ölçümler Northern Alberta Institute of Technology, Kanada Edmonton şehrinde olan teknoloji enstitüsünün alternative energy departmanının çatısında kurulu olan 2.5 kW güneş enerji sisteminde yapıldı. Bu ölçümlerde ise Fluke 434 modeli enerji analizörü kullanılmıştır.



Şekil 18. Edmonton/Kanada Güneş Enerji Sistemi



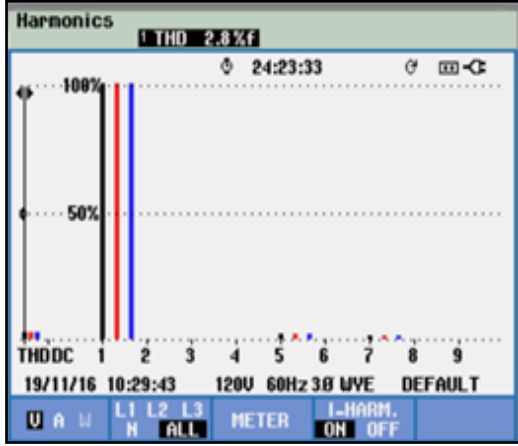
Şekil 19. Edmonton/Kanada Güneş Enerji Sistem panelleri



Şekil 21. Edmonton/Kanada Güneş Enerji Sisteminde “Fluke 434” Bağlantıları

Şekil 22’de görüldüğü gibi ölçülen gerilim 120 V ve frekans 60 Hz ’dir. Sistemin şebekeye verdiği gerilim ve akımın harmonik ve ara-harmonik dağılımları ise sırasıyla Şekil 22’den Şekil 26’ya kadar verilmektedir. Toplam Harmonik Bozulma (THB) gerilim değeri %2.8 dir. Bu değerler IEEE 519-2014 standartında belirtilen %5 sınır değerine altında olduğu görülmektedir. Ara harmonikler de standarta göre %0.2 sınır değerinin altındadır.

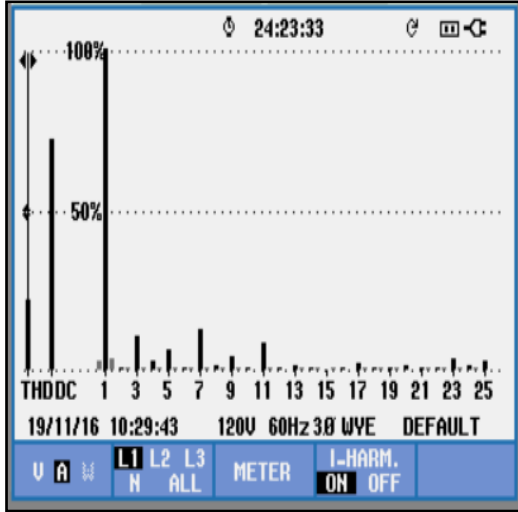
Şekil 26’da bu sistemin şebekeye aktardığı güç değerlerinin A, B, C fazları için 1,41 kW ve 1,41 kW ve 1,42 kW ve toplamda 4,23 kW olduğu görülmektedir. Güç faktörünün ve $\cos\Phi$ değerlerinin de tüm fazlar için 1 olduğu görülmektedir.



Şekil 22. Gerilim Harmonik Dağılımı

HARMONICS TABLE			
24:23:33			
Volt	L1	L2	L3
THD%f	2.8	2.7	2.7
H3%f	0.3	0.2	0.2
H5%f	2.2	2.2	2.3
H7%f	1.5	1.3	1.3
Amp	L1	L2	L3
H3%f	10.5	13.5	38.4
H5%f	6.7	7.5	39.5
H7%f	12.8	15.5	9.6
19/11/16 10:29:43 120V 60Hz 3Ø WYE			
U A W	HARMONIC TREND		
U&A			

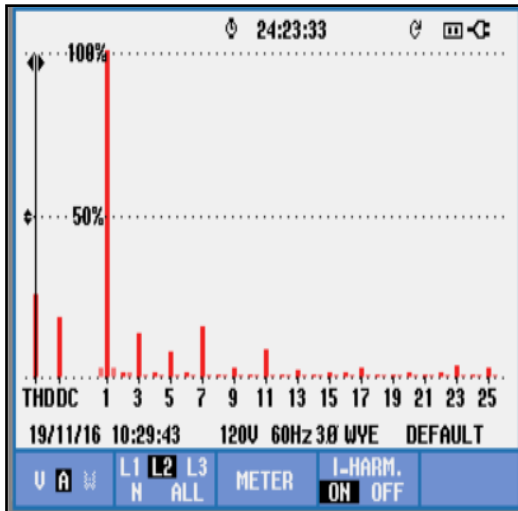
Şekil 25. Gerilim ve Akım THB Değerleri Tablosu



Şekil 23. L1 Akım Harmonik Dağılımı

Power & Energy				
FUND 0:00:14				
	A	B	C	Total
kW	1.40	1.41	1.42	4.23
kVA	1.40	1.42	1.42	4.24
kVAR	÷ 0.10	÷ 0.12	÷ 0.12	÷ 0.35
PF	1.00	1.00	1.00	1.00
cosφ	1.00	1.00	1.00	
Rms	6.3	6.2	6.2	
19/11/16 11:18:57 120V 60Hz 3Ø WYE				
U rms	123.0	123.5	123.4	
VOLTAGE	ENERGY TREND HOLD RUN			
△				

Şekil 26. Güç Değerleri



Şekil 24. L2 Akım Harmonik Dağılımı

4. SONUÇLAR

Fotovoltaik sistemlerin güç kalitesini etkileyen en önemli parçası FV panellerin ürettiği DC akımı ve gerilimi AC akım ve gerilime çeviren eviricilerdir (invertör). Bu nedenle performans analizi FV sistemlerde önemli olduğundan bu makalede iki farklı FV sisteminin akım ve gerilim harmonik ve ara-harmonikler verileri alınarak grafikler analizi sonucunda iki sistemin de farklı frekans ve eviricilere sahip olmalarına rağmen akım ve

gerilim harmonik ve ara-harmoniklerinin genellikle sınır değerler içinde kaldığı görülmüştür. İki sistemin de bir haftalık verilerine bakıldığında FV sistemelerimize ait gerilim THB değeri sınır değeri olan (%3) aşmadığı gözlemlenmiştir. Akıma ait THB değeri ilk sistemde (İzmir / Gaziemir sisteminde) ise günün belli saatlerinde kısa süreliğine sınır değeri (%5) geçtiği görülmüştür. Buna sebep ise güneş enerji sistemin o saatlerde devreye girmesi ve çıkması olarak düşünülmektedir. Edmonton / Kanada olarak adlandırdığımız ikinci sistem de ise THB akım sınır değerleri içinde kalmıştır. Ara-harmoniklerin gerilimine bakılırsa iki sistemde standart limitleri içinde oldukları için bu yönden zararsız olarak nitelendirilmiştir. Tüm bu değerlendirmeler sonucunda iki sistemin farklı frekans ve evirici ve panellere sahip olduklarına rağmen genel olarak harmonik ve ara-harmonikleri sınır değerleri içindedir.

TEŞEKKÜR

İzmir/Gaziemir semtinde Tekpa firmasına ve Kanada/Edmonton şehrinde “Northern Alberta Institute of Technology, Alternative Energy Department”a tüm ölçüm esnasında yardım ve destekleri için sonsuz teşekkürler.

KAYNAKLAR

- [1].Katiraei, F., Mauch, K., and Dignard-bailey, L., “Integration Of Photovoltaic Power System In High Penetration Cluster for Distribution Network and Mini-Grid” in Published in the International Journal of Distributed Energy Resources, 2007, vol. 3, no. 3.
- [2].Yalçın, T., Ozgonenel, O., “Deneyisel Kip Çözümleme İle Güç Kalitesi Bozukluklarından Özellik

Vektörü Çıkarımı” IEEE Conference Publications, Pages: 1-4, 2012.

- [3].Arrilaga, J., Watson, N.R., Power System Harmonics, John Wiley & Sons, Ltd West Sussex, England, 2003.
- [4].Keçecioğlu, Ö.F., Tekin, M., Gani, A., Açıkgoz, H., Gemci, A., Şekkeli, M., “Bir Güneş Enerji Santralinin Elektrik Şebekesindeki Güç Kalitesi Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi” KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi 18(2), 2015.
- [5].Wakileh, G.J., Power System Harmonics: Fundamentals, Analysis and Filter Design, Springer, New York, 2001.
- [6].General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements, for Power Supply Systems and Equipment Connected Thereto, IEC Std. 61000-4-7, 2002.
- [7].Wilsun, X., “Comparison and Comments on Harmonic Standards IEC 1000-3-6 and IEEE Std. 519,” Harmonics and Quality of Power, pp. 260-263, 62 2000.
- [8].CEI/IEC 1000-2-1:1990, “Electromagnetic Compatibility”, Part 2: Environment, Sect. 1: Description of the environment – Electromagnetic environment for low-frequency conducted disturbances and signalling in public power supply systems. First Edition, 1990-05.
- [9].Chun, L., Wilsun, X., Thavatchai T., “Interharmonic: basic concepts and techniques for their detection and measurement”, Electric Power Systems Research 00 (2003), p: 1-10.
- [10].Micheal, B.M., “Interharmonics: What They Are, Where They Come From and What They Do”,

American Transmission Company
Waukesha, WI.

- [11].Chun, L., Wilsun, X., Thavatchai T., “Interharmonic: basic concepts and techniques for their detection and measurement”, Electric Power Systems Research 00 (2003), p: 1-10.
- [12].Mustafa, Ş. , Yüksel, O., Hatice, z, T., Güç Sistemlerinde Enerji Kalitesinin Harmoniklerin İncelenmesi, Fen bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt-Sayı: 7-2 Yıl: 2014 199-218.
- [13].Mehmet, S., “Elektrik Enerji Sistemlerinde Oluşan Harmoniklerin Filtrelenmesinin Bilgisayar Destekli Modellenmesi ve Simülasyonu” Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bil, Enst. 2003.
- [14].Keçecioglu, Ö. F., Tekin, M., Gani, A., Sarı, M., Şekeli, M., “Endüstriyel Isı Santrallerinde Enerji Kalitesi Ölçümü ve Değerlendirilmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Örneği” 6. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 2015.
- [15].Ö. Salor, B. Gültekin, S. Buhan, B. Boyrazoğlu, T. İnan, T. Atalık, A. Açık, A. Terciyanlı, Ö. Ünsar, E. Altıntaş, Y. Akkaya, E. Özdemirci, I. Çadırcı, M. Ermiş, “Electrical Power Quality of Iron and Steel Industry in Turkey”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 46, No. 1, January/February 2010.