

Fotovoltaik Sistemlerin Gerilim Kalitesi Açısından Etkilerinin Değerlendirmesi

Evaluating Effects of Photovoltaic Systems in Terms of Voltage Quality

Murat Göl¹, Deniz Şengül²

¹ODTÜ Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
mgol@metu.edu.tr

²ODTÜ Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
deniz.sengul@metu.edu.tr

Özet

Devlet destekleri sayesinde dağıtık fotovoltaik (FV) sistemlerin Türkiye’de popülaritesi artmaya başladı. Bu çalışmanın amacı FV sistemlerin elektrik sistemine olan etkilerini, gerilim kalitesi parametreleri özelinde ve Milli Güneş Enerjisi Santrali Geliştirilmesi Projesi’ne (MILGES) odaklanarak incelemektir. FV sistemlerin etkilerinin sistem güç kalitesi olarak en çetrefilli durum altında değerlendirilmesi için, FV sisteminin elektrik ark ocağı (EAO) sistemiyle aynı trafo merkezine bağlı olduğu düşünüldü. EAO sistemi gerçek saha bilgilerine dayalı olarak modellendi, FV sistemi parametreleri ise proje bilgilerinden alındı.

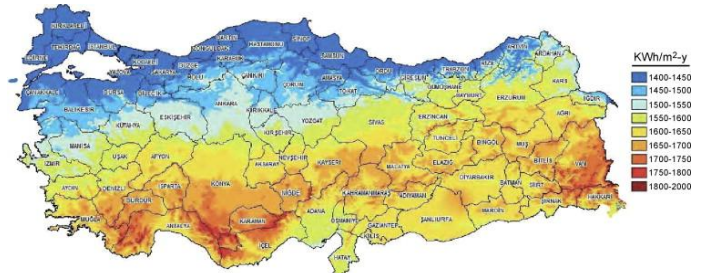
Abstract

Because of the governmental incentives, the distributed photovoltaic systems are populating rapidly in Turkish Electric System. This work aims to evaluate the effects of those plants to the electrical system in terms of voltage quality by focusing on the specific example of the solar plant being built under the National Solar Power Plant Development Project (Milli Güneş Enerjisi Santrali Geliştirilmesi Projesi, MILGES). In order to be able to evaluate the effects of the PV system under the most challenging situations in terms of power quality, it is assumed that the solar plant is connected to a substation that also supplies an iron and steel plant with an electric arc furnace (EAF). The EAF system is modeled based on the collected real field data, while PV system parameters are obtained from the project documents.

1. GİRİŞ

Fotovoltaik (FV) sistemler, fiyatlarının düşmesi ve artan verimlilikleriyle, son yıllarda araştırmacıların bu konuya olan ilgisini arttırdı. Bu gelişmelerin yanında, devletin lisanssız üretime teşviki ve düzenlemeleri Türk Elektrik Sistemi’nde FV sistemlerinin artışına sebep oldu. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın amacı Şekil.1’de görülen Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyelinden, en iyi şekilde fayda sağlamaktır. Bu yüzden, bakanlık Milli Güneş Enerjisi Santrali Geliştirilmesi Projesi’ni (MILGES) desteklemektedir [1]. MILGES projesinin sonunda, 10-MW kapasiteli bir güneş enerjisi santrali milli kaynaklarca kurulacaktır. [1]. Uzun vadede, bu projenin 100-MW’a kadar büyüülmesi planlanmaktadır.

Güç kalitesi, kullanıcı ekipman ve cihazlarına sağlanan enerjinin uygun veya elverişli olması olarak tanımlanabilir [2]. Güç kalitesi parametrelerinin sabit frekanslı ideal sinüzoidaldeki değişimler olduğu düşünülürse (Çukur, tepe, kesinti, kırışma ve harmonikler), gerilim kalitesiyle eşdeğer olarak kabul edilebilir [2]. Bu çalışmada, FV sistemlerinin etkileri gerilim kalitesinin alt başlıkları olan kırışma ve gerilimdeki değişimlerle incelenmiştir. Çalışma FV sisteminin elektriksel olarak elektrik ark ocağına (EAO) yakın bir yere bağlandığı varsayılarak yapılmıştır, çünkü EAO gibi yükler güç kalitesi bakımından elektrik sisteminde ciddi sorunlara sebep olmaktadır.



Şekil 1. Türkiye Güneş Haritası [3]

FV sistemlerin güç kalitesi üzerine etkileri [4]’te incelenmiştir. [4]’ün yazarları FV sisteminin yüksek belirsizlikle değişken hava şartları altında olumsuz etkilerine odaklanmışlar. Öte yandan, bu çalışma FV sistemlerin düşük güç kalitesindeki bir sisteme bağlandığında, örneğin EAO bağlı bir şebeke, gerilim kalitesine katkısını incelemektedir. Bu çalışmada hava durumundaki değişimler, uygun enerji deposu birimleri olduğu düşünülerek dikkate alınmamıştır.

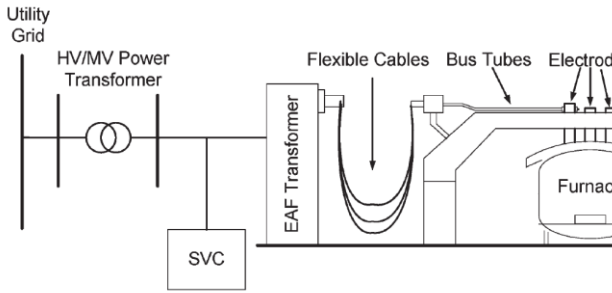
Bu çalışma EAO’ları FV sisteminin gerilim kalitesi üstündeki etkilerini incelemek için kullanılmaktadır. Bilindiği üzere, EAO’lar şebekelerde güç kalitesi sorunlarının ana sebeplerinden biri olarak düşünülür, çünkü harmonikler, ara-harmonikler ve kırışmaya sebep olurlar. Bunun yanı sıra EAO’lar çok hızlı değişen bir reaktif güç talebine sahiptirler. Bu çalışma [5]’te geliştirilmiş olan modeli EAO’nun elektriksel

davranışlarını modellemek için kullanmıştır. Kullanılan model gerçek saha bilgilerine dayanmakta ve EAO'nun tüm karakteristik davranışlarını sergileyebilmektedir.

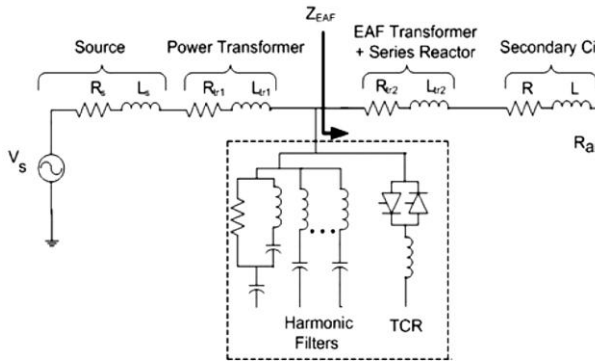
Makalenin kalanı şöyle düzenlenmiştir; Bölüm II'de, kullanılan EAO modeli açıklanacak, Bölüm III'te, güneş enerjisi elektrik santrali parametreleri tanımlanacak, Bölüm IV'te, gerilim kalitesi PSCAD ortamında incelenecek, son olarak, Bölüm V'te de tartışma ve sonuç bölümü sunulacaktır.

2. EAO MODELLEME

EAO'nun şematik gösterimi Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 3'te görülen EAO'nun elektriksel modeli, EAO'nun çalışması sırasındaki değişimlerden dolayı; örneğin esnek kabloların elektrot hareketlerine bağlı lokasyon değiştirmesi, pota içindeki eriyik halde bulunan hurdanın değişimleri ve kontrol ayarlarındaki değişimler, zamanla değişen bir empedans içerir [5]. Hurdanın bilinmeyen içeriğinden dolayı, bu zamanla değişen empedansın karakteristiği rastgele bir yapıya sahiptir. Sonuç olarak, EAO yüksek derecede endüktif, lineer olmayan, dengesiz ve hızlıca değişen elektriksel bir yüküdür [5].



Şekil 2. EAO güç sistemi çizimi [5]



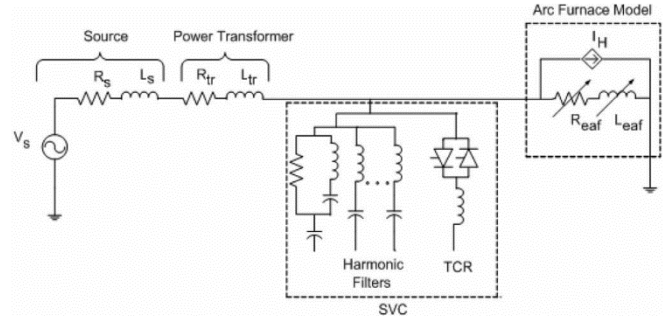
Şekil 3. EAO tek hat şeması [5]

EAO temel frekanstaki (50 Hz) zaman değişimlerini temsil eden eşdeğer bir değişken-direnç-endüktans kombinasyonu (VRL) ve buna paralel harmonik ve ar-harmonik enjekte eden bir akım kaynağı olarak modellenmiştir. Şekil 4'te bahsedilen model gösterilmiştir. Model gerçek saha verilerine dayanmaktadır. Bu veriler 3200 Örnek/saniyelik bir

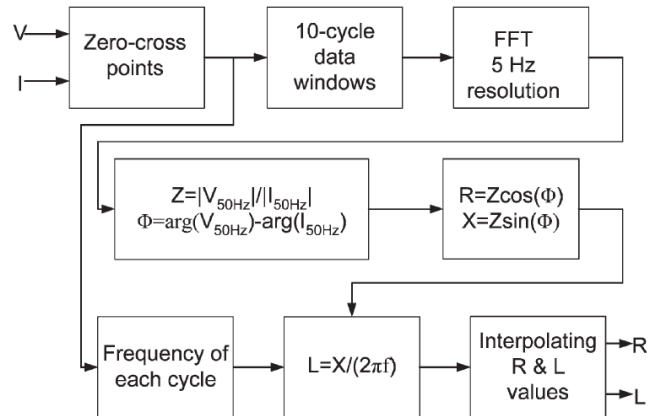
hızla, anlık, 3 faz gerilim ve akım ölçümleridir. Model EAO'nun elektriksel karakterindeki değişimleri başarılı bir şekilde yansıtmaktadır [5].

Şekil 5 VRL'nin hesaplanmasını blok şema olarak göstermektedir. İlk olarak, elektriksel niceliklerin gerçek frekansı gerilim verilerinin sıfırdan geçiş noktaları belirlenerek hesaplanır. [6]'da önerilen standartlara göre, frekans spektrumunda 5-Hz'lik frekans çözünürlüğü elde etmek için, 10-çevrim uzunluğundaki veri pencereleri sıfırdan geçiş noktalarına dayanarak kullanıldı. Sistemin kaynak tarafından görülen bu 10-çevrim sürelik empedans modeli 50 Hz gerilim ve akım bileşenlerinin Şekil 5'te gösterildiği şekilde birbirlerine bölünmesiyle bulunabilir. Son olarak, hesaplanan frekansa bağlı olarak, endüktans hesaplanır. Tüm veriler işlendikten sonra, sonuçlar aradegerlenir, öyle ki bir saniye için 3200 empedans değeri bulunur. Şekil 4'te görülen paralel harmonik akım kaynağı da gerçek akım verilerinin spektrumundan temel frekans parçaları filtre edilerek elde edilir. EAO modelinin detayları [5]'te bulunabilir.

Bu çalışmada, EAO'nun anma değeri ölçülen gerçek sisteme dayalı olarak 150 MVA olarak belirlendi.



Şekil 4. Önerilen modelin tek hat şeması [5]



Şekil 5. VRL belirleme blok şeması [5]

3. FV SİSTEMİYLE BİRLİKTE SİSTEM MODELLEME

Bu bölümde, EAO dışında kalan tüm sistemin modellenmesi anlatılmıştır. İncelenen sistem, Şekil 6'ya görülen, YG/OG trafoları, FV sistemi, OG iletim hattı ve konut bölgesi yükünden oluşmaktadır. FV sistemi, güç kalitesine olan etkilerinin incelenmesi için, MİLGES projesinden gelen gerçek verilere göre modellenmiştir [1].

Tesiat şebekesi sistem operatörü olan Türkiye Elektrik İletim A.Ş.'den (TEİAŞ) gelen trafo merkezi verilerine göre modellenmiştir. Trafo verileri Tablo I'de belirtilmiştir.

TABLO I. 2013 YAZ TALEP PUANTINDA ALINAN TRAFÖ MERKEZİ VERİLERİ

GERİLİM (kV)	SCMVA (MVA)
154	3500

FV sisteminin de bağlanmakta olduğu OG tarafı, Şekil 6'da gösterildiği gibi 2 adet YG/OG trafo tarafından beslenmektedir. Tablo II'de trafonun anma değerleri görülmektedir.

TABLO II. YG/OG TRAFÖ VERİLERİ

	Gerilim (kV)	S (MVA)	R (pu)	X (pu)
1	154/33.6	50	0.0303	0.1196
2	154/33.6	100	0.0147	0.1200

MİLGES projesi 1-MW'lık alt sistemlerle 10 MW'lık bir santral kurmayı amaçlamaktadır. Türkiye'de FV sistemleri için reaktif güç basma standardı yoktur, bu yüzden ticari amaçlı eviriciler genellikle maksimum güç faktörüne ayarlanır. Fakat MİLGES projesinin sonucunda kurulacak olan santral 0.83 güç faktörü bandına kadar düşebilecek ve böylece reaktif güç kontrolü yapabilecektir. FV sistemi sistemin geri kalanına birbirine paralel OG/AG trafolarla bağlanmıştır. Tablo III'te bu OG/AG trafoların verileri görülmektedir.

TABLO III. OG/AG TRAFÖ VERİLERİ

Gerilim (kV)	S (kVA)	Yüksüz Kayıplar (kW)	Yük Altında Kayıplar (kW)
33/0.315	1260	1.40	14.00

Trafo merkeziyle PV sistemi arasındaki iletim hattının verileri Tablo IV'te görülürken, konut bölgesi sabit 10 MW'lık bir yük olarak modellenmiştir.

TABLO IV. İLETİM HATTI VERİLERİ

Kablo Tipi	R (Ohm/km)	L (mH/km)	Kapasite (A)
Hawk	0.14	0.983	460

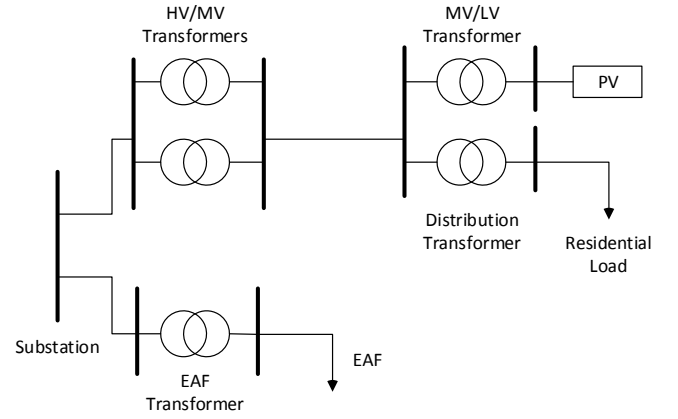


Fig. 6. Güç sisteminin tek hat şeması.

4. EAO Bağlı Sisteme FV sisteminin Etkilerinin Değerlendirmesi

FV sistemlerinin gerilim kalitesi performansı kırpışma ve yüzdelik gerilim değişimi olarak analiz edildi. Bu bölümde bilgisayar ortamındaki simülasyonların sonuçları verilirken, değerlendirme Bölüm V'te yapılacaktır. Çalışmalar PSCAD ortamında yürütülmüştür.

4.1. Kırpışma

Kırpışma, gerilim biçimindeki sistematik değişim veya rastgele gerilim değişimi serisiyle oluşan gerilim dalgalanmasının sonucudur. EAO gibi yüksek derecede dalgalanan yükler komşu baralarda böyle dalgalanmalara sebep olur [7].

Kırpışma ölçümü için IEC 61000-3-3 standardına dayanan Solcept Open Source Flicker Measurement-Simulator's MATLAB kodu kullanılmıştır [8]. Bu makalede, EAO terminal geriliminin (V_{EAF}), konut bölgesi terminal geriliminin (V_{LOAD}), YG tarafı geriliminin (V_{SOURCE}) ve FV sistemi terminal geriliminin (V_{PV}) kısa dönem kırpışma (Pst) değerleri dakikalık olarak, farklı FV kapasiteleri ile analiz edilmiştir. Sonuçlar Şekil 7-10'da gösterilmiştir. 10 dakikalık ortalama Pst sonuçları da Tablo V'te görülebilir.

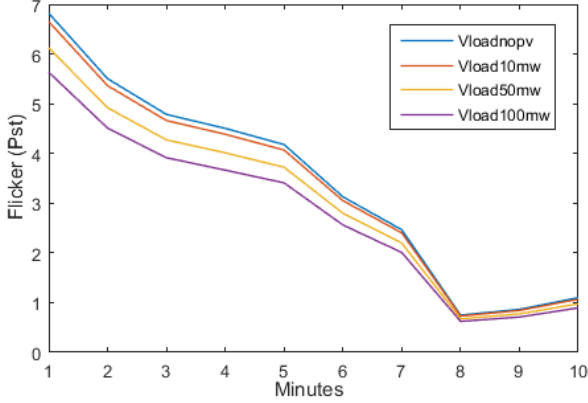
TABLO V. 10 DAKIKALIK PST SONUÇLARI

	FV'siz	10 MW	50 MW	100 MW
V_{LOAD}	4.9786	4.8499	4.4450	4.0725
V_{EAF}	11.9928	11.9559	11.8202	11.6620
V_{SOURCE}	4.8382	4.8234	4.7694	4.7154
V_{PV}	-	4.6642	4.3004	3.9465

4.2. Yüzdelik Gerilim Değişimi

Gerilim varyasyonu elektrik gücünün kalitesini belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Gerilim varyasyonunu analiz etmek için, konut bölgesi terminal geriliminin temel bileşeni (50 Hz) FFT (Fast Fourier Transformation) ile ayrıştırılmıştır. Değişen FV

kapasitesinin konut bölgesi gerilimi üstündeki etkilerini karşılaştırmak için, ardışık iki zaman aralığındaki yüzdelik değişim karşılaştırıldı. 10 dakikalık periyotta örnek sayısının büyüklüğünden dolayı (29900 gerilim tepe noktası), her dakika için gerilim değişimlerinin ortalama değerleri karşılaştırıldı. Şekil 11'de görüldüğü gibi FV sistemi bağlandıktan sonra, yüzdelik gerilim değişimi düşmekte ve daha regüle bir gerilim profili oluşmaktadır.



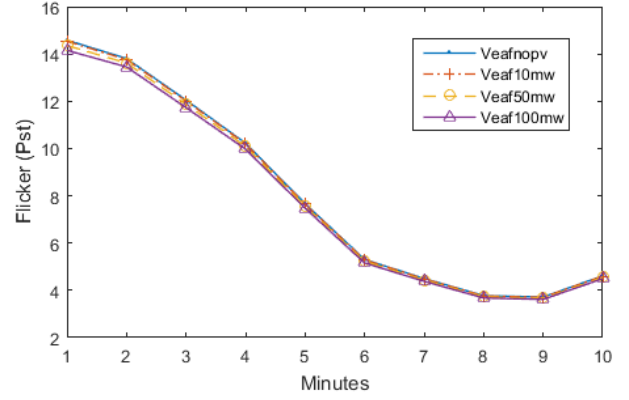
Şekil 7. Konut bölgesindeki gerilimin dakikalık Pst sonuçları.

5. Sonuç

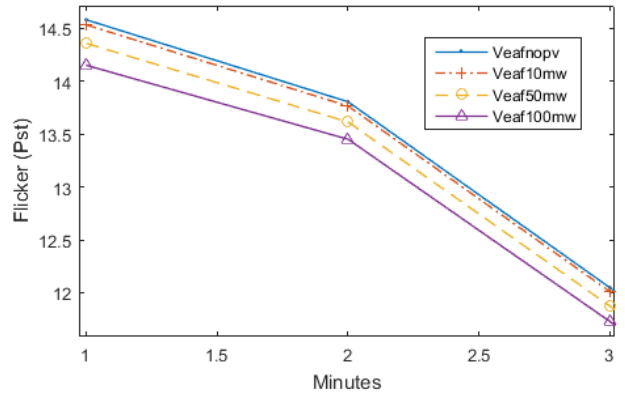
Bu makale artan FV sistem kullanımının güç şebekesine olan pozitif etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu etkiler kırışma ve gerilim varyasyonu olarak incelenmiştir. Makale İngilizce olarak [9]'da sunulmuştur.

Titreme değerleri arasındaki karşılaştırma FV sisteminin büyüklüğü arttıkça konut bölgesinde ölçülen gerilimdeki Pst'nin düştüğünü gösteriyor. Şekil 7'de de görüldüğü gibi, FV sistemi olmayan durumlarda Pst yüksekse, sistemde iyileşme daha fazla gözleniyor. Şekil 11 de kırışma çalışmasıyla aynı sonucu destekler nitelikte. Kısacası, FV sistemleri gerilim kalitesine katkı sağlıyor olarak özetlenebilir.

FV sistemlerin en büyük handikapı gece çalışmıyor oluşları. Bu yüzden FV sistemlerine geceleri de çalışabilmesi için enerji depolama sistemleri entegre edilmelidir. Ayrıca unutulmamalı ki bu depolama sistemleri hava koşullarında oluşabilecek belirsizliklerin etkisini de düşürmeye yardımcı olacaktır.

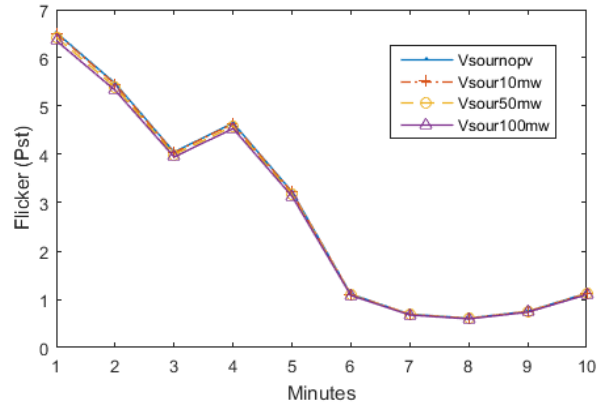


(a) Tam ölçek.

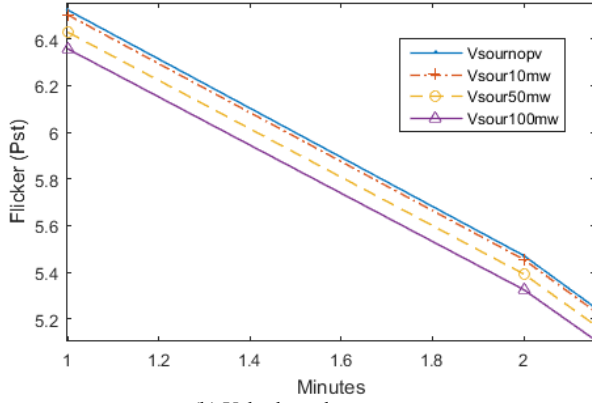


(b) Yakınlaştırılmış.

Şekil 8. EAO geriliminin dakikalık Pst sonuçları.

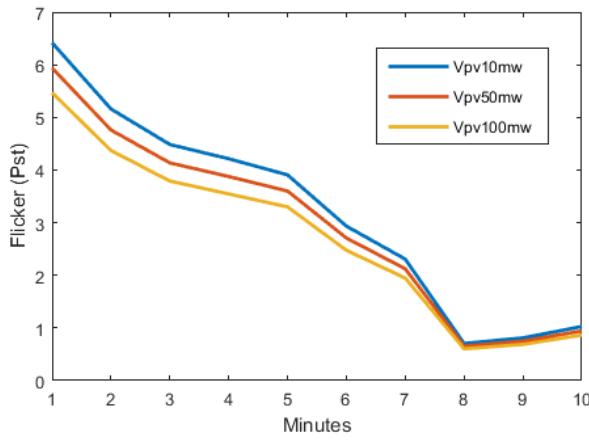


(a) Tam ölçek.

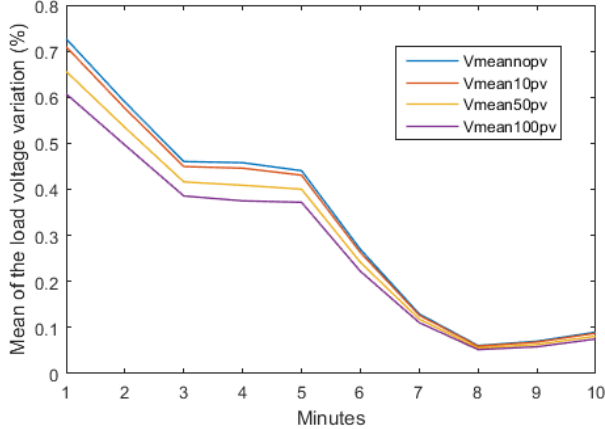


(b) Yakınlaştırılmış.

Şekil 9. YG tarafının geriliminin dakikalık Pst sonuçları.



Şekil 10. FV sistemi geriliminin dakikalık Pst sonuçları.



Şekil 11. Yük gerilimi için yüzdelik gerilim değişimi ortalaması.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBİTAK) tarafından 113G050 hibe numarası altında, ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından BAP-08-11-2016-046 hibe numarası altında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] (2014, Nov.). Milli Güneş Enerjisi Santrali Projesi (MILGES). Erişilebilir: www.eie.gov.tr/projeler/projeler_tanimli6.aspx.
- [2] R. C. Dugan, M. F. McGranahan, S. Santoso, and H. W. Beaty, "Electrical Power System Quality," 2nd ed. McGraw-Hill, 2004.
- [3] Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). Erişilebilir: <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>
- [4] James Rodway and Petr Musilek, "Towards prediction of photovoltaic power quality," 26th Annual IEEE Canadian Conference, 5-8 May 2013.
- [5] M. Gol, O. Salor, B. Alboyaci, B. Mutluer, I. Cadirci, and M. Ermis, "A new field-data-based EAF model for power quality studies," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 46, no. 3, pp. 1230–1242, May 2010.
- [6] IEC 61000-4-7, "Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto," 2002.
- [7] E. Altıntaş, O. Salor, I. Cadirci, and M. Ermis, "A new flicker contribution tracing method based on individual reactive current components of multiple EAFs at PCC," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 46, no. 5, pp. 1746–1754, Sep./Oct. 2010.
- [8] Solcept open source flicker measurement-simulator for Matlab. Erişilebilir: <http://www.solcept.ch/en/news-tools/flickersim>.
- [9] Deniz Sengül, Murat Göl, "Evaluation of the Effects of Photovoltaic Systems on Voltage Quality", IEEE North American Power Symposium (NAPS) September 2016.

Biyografiler

Deniz Şengül lisans derecesini 2015 yılında *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, Türkiye’de Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden almıştır. Şu anda *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*’nde güç sistemleri alanında yüksek lisansına devam etmekte, ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu’na (TUBİTAK) bağlı proje personeli olarak Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi’nde (GÜNAM) çalışmaktadır. Güç sistemleri, gerilim kararlılığı ve güç kalitesi ile ilgilenmektedir.

Murat Göl (M’14) lisans ve yüksek lisans derecelerini *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, Türkiye’de, 2007 ve 2009 yıllarında Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden almıştır. 2007-2010 yılları arasında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu’nun Uzun Yarımlar Araştırma Enstitüsü’nde (TUBİTAK UZAY) araştırmacı olarak çalıştı. Doktora derecesini Northeastern University’de 2014 yılında elde etti. Şu an *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*’nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Kendisi aynı zamanda Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi’nde de çalışmalarını devam ettirmektedir. Araştırma alanları güç kalitesi, güç sistemi modelleme güç sistemi durum tahmini olarak sıralanabilir.