

# FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN ŞEBEKEYE UYARLANMASINDA YAŞANAN ENERJİ KALİTE SORUNLARININ GİDERİLMESİ İÇİN MATLAB GUI TABANLI SİMÜLATÖR TASARIMI

Ali Fuat BOZ<sup>1</sup>, Metin DOĞAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup>Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü

afboz@sakarya.edu.tr, metindogan@ibu.edu.tr

## Özet

Son yıllarda artan enerji ihtiyacına fosil yakıtlar dışında alternatif kaynak arayışları hız kazanmıştır. Bu kaynaklardan birisi Güneş Enerjisidir. Temiz bir enerji kaynağı olması ve insanlık var olduğu sürece bizlere eşlik edecek olması en büyük avantajları arasındadır. Birkaç dünya ülkesine güneş tarlası kurulumu yapan şirketler son zamanlarda Türkiye’de de bazı yörelerde bu sistemleri kurmaya başlamışlardır. Buna paralel olarak da, güneş panellerinin üretimleri hızla artmaya başlamıştır. Rüzgâr enerjisinde olduğu gibi güneş enerjisinde de elde edilen enerjinin şebekeye uyarlanması frekans ve gerilim temel alınarak sürekli, kaliteli ve ucuz bir enerji hedefi bulunmaktadır. Kalite problemleri çözümünde birçok yöntem kullanılmıştır. Bu çalışmada, fotovoltaik sistemlerin yapısında bulunan eviricinin enerji verimini artırması adına, yarıiletken anahtarların anahtarlama tekniğinin geliştirilmesi amaçlı tasarlanan simülasyon ele alınacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir Enerji, Enerji Kalitesi, Fotovoltaik, IGBT, GUI.

## Giriş

Elektrik enerjisi talebinin karşılanması kadar onun kalitesinin de artırılması gereklidir. Bugün, güç kalitesi çalışmaları ile özellikle de yenilenebilir enerji kaynakları ile epey meşgul olunmaktadır [1].

Enerji kalitesi, sayıları oldukça fazla olan problemleri ve bundan daha çok sayıda çözümleri kapsayan epey karmaşık bir konudur. Bu çözümler şebekelerde uygulanmakla birlikte enerjinin yoğun olarak kullanıldığı pek çok sistemde enerji kalitesinden kaynaklanan sorunlar halen yaşanmaktadır. Çözüm için tek bir yolun etkili olması beklenmemelidir. Daha evvel yaşanan enerji kalite problemleri dikkate

alınarak, problem tam olarak anlaşılmalı ve çözüm alternatifleri birlikte değerlendirilmelidir [2].

Literatürde yapılan çalışmalara göre;

a) Hibrid fotovoltaik sistem ile yel değirmeni klasik bir şebekeye bağlanmış, harmonikleri yok eden tek seviyeli bir invertörle desteklenmiştir. Çok seviyeli invertör ile kapalı döngü bulanık mantık denetleyici kullanarak harmonikler düşürülmüştür [3].

b)Yenilenebilir enerji kaynaklarında değişken gerilimli DC kaynaklar için güç elektroniğine dayalı gerilim kaynaklı invertör uygulamaları anlatılmıştır. Gerilim kaynaklı invertör esasları tarif edilmiş, anahtarlama stratejileri ve sistem yapılandırılmaları, benzetim ve deneysel sonuçlarla analiz edilmiştir. Çalışmada geliştirilen çözümlerin, fotovoltaik aygıtlar ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında farklı ölçeklerde uygulanabileceği ifade edilmiştir [4].

c) Sürekli güç üretimi için fotovoltaik, yakıt hücresi ve ultra-kapasitör sistemlerin entegrasyonu üzerinde durulmuştur. Alternatif enerji kaynakları ile hibrid bir güç sistemi tasarlanmış ve sonuç olarak geliştirilen sistem ve onun kontrol stratejisi gün boyu ve daha uzun sürelerde yapılan simülasyonlarda mükemmel bir performans ortaya koymuştur [5].

d)Gerilim kararlılığı için yapılan analizde, iyileştirmenin yapılmadığı sistemlerdeki yüklerde artış olduğunda, enerjide kararsızlık ve gerilim çökmesi ortaya çıkacağı vurgulanmıştır. Sistemde yapılan iyileştirmeler sonucunda daha sağlıklı bara gerilimi elde edilmiş ve olumsuz durumlara karşı daha güvenli bir çalışma olacağı sonucuna varılmıştır [6].

e) Enerji kalitesi adına hat empedansı stabilizasyon ağı devresi rezonans analizi yapılmış, deneysel sonuçlarla kıyaslanmıştır. Teorik analiz ve simülasyon sonuçlarına göre harmonik sorunu ve AC sürücüler

için bu devrenin uygulama performansının çok iyi olduğu vurgulanmıştır [7].

f) Yapılan çalışmada enerji kalitesi ile ilgili terimler ve güncel konular ve enerji kalitesine etki eden bileşenler tanıtılmış, problemler ve bunların iyileştirilmesine dönük önlemler anlatılmıştır. Sonuçta, UPS satın alınması, yedek jeneratör kullanımı, aktif güç filtresi kullanımı vb. önlemler uygulanan bazı çözümler olarak gösterilmiştir [2].

Yapılan bu çalışmada ise 100 bireyli, 30 deneyli, 250 nesile sahip, başlangıç popülasyon değerleri rastgele seçilen bir problemin çözümü ve bu çözümde bulunan anahtarlama açılarının sistem üzerine etkileri analiz edilmiştir. Sonuçların klasik yöntemlere göre çok daha hızlı ve başarılı olduğu görülmüştür.

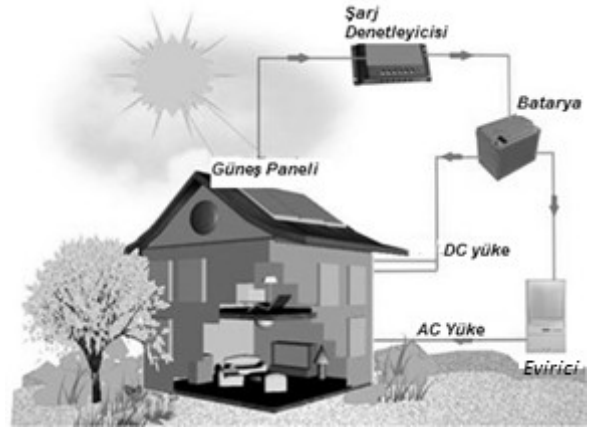
## Fotovoltaik Sistem

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak  $1370 \text{ W/m}^2$  değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı  $0-1100 \text{ W/m}^2$  değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.

Dünya ile Güneş arasındaki mesafe 150 milyon km'dir. Dünya'ya güneşten gelen enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır. Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşamaz, %30 kadarı atmosfer tarafından geriye yansıtılır. Güneş ışınımının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Güneşten gelen ışınımın %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur. Yer yüzeyine gelen güneş ışınımının %1'den azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Fotosentez, yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır. Güneş, nükleer enerji dışındaki bütün enerjilerin dolaylı veya direkt kaynağıdır [8].

Basitçe fotovoltaik (photovoltaic; PV) sistemleri de diğer elektrik üretim sistemlerine benzer olarak çalışır. Sadece kullandıkları ekipmanlar değişiktir. Sistemin operasyonel ve fonksiyonel ihtiyaçlarına bağlı olarak DC-AC evirici, akü, şarj kontrol ünitesi, yedek güç kaynağı ve kontrolör gibi ekipmanlara ihtiyaç duyulabilir [9].

Fotovoltaik modüller uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir fotovoltaik sistemi oluştururlar. Bu sistemler, geçmiş zamanlarda sadece yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırken, artık şebeke bağlantısı olan yerleşim yerlerinde de şebeke bağlantılı olarak evlerin çatılarına ve büyük ölçekli santral uygulamalarında da kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür.



Şekil 1. Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistem

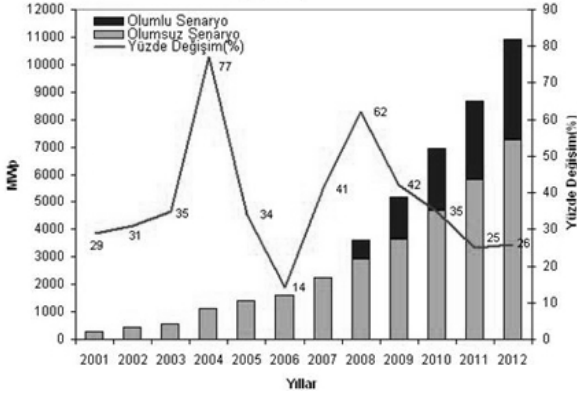
Şekil 1'de görüldüğü gibi şebekeden bağımsız sistemlerde yeterli sayıda fotovoltaik modül, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur.

Fotovoltaik modüller gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre ya fotovoltaik modüllerden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser.

Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220V. genlikli, 50 Hz. frekanslı sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir.

Bazı sistemlerde, fotovoltaik modüllerin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazda bulunur [8].

[8] numaralı referanstan alınan Şekil 2'ye göre, son yıllara ait dünya genelinde kurulu gücün değişimi gösterilmiştir. Artan enerji talebinin gün geçtikçe arttığı gözlenmektedir.



Şekil 2. Dünya Geneline PV Kurulu Güç Değişim Öngörüsü

### Geliştirilen Simülator

Bu aşamada, IGBT'lerin anahtarlama açılarını optimize etme amaçlı MATLAB GUI tabanlı geliştirilen simütörden ve bu simülator için hesaplanacak parametrelerin elde edileceği formüllerden bahsedilecektir.

Teorik olarak, sinüsoidal olmayan periyodik dalga formu, Fourier analizi ile harmonik dalga formuna dönüşebilir. Bu nedenle, sinüzoidal olmayan gerilim ve akım dalga formu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$v(t) = \sqrt{2} \left[ V_1 \sin \omega_0 t + \sum_{n=2}^{\infty} V_n \sin(n\omega_0 t + \phi_n) \right] \quad (1)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \left[ I_1 \sin \omega_0 t + \sum_{n=2}^{\infty} I_n \sin(n\omega_0 t + \theta_n) \right] \quad (2)$$

Formülde;

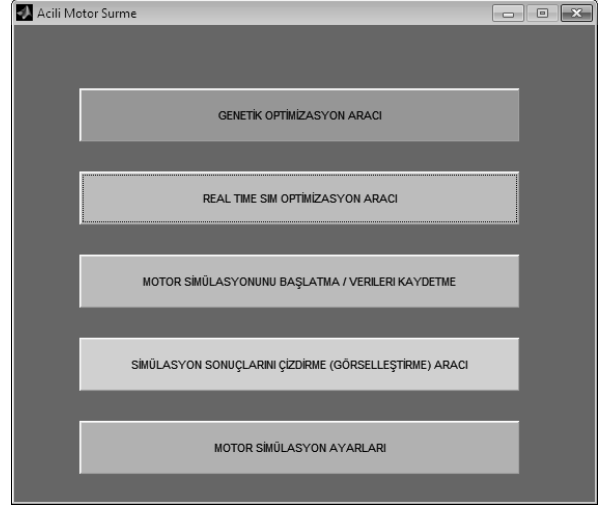
$V_1, I_1$  temel gerilim ve akım,  
 $V_n, I_n$ , n'inci harmonik bileşeninin gerilim ve akımı,  
 $\phi_n, \theta_n$ , sırayla n'inci harmonik bileşeninin gerilim ve akımının faz açıları,  
 Ve  $\omega_0$  ise temel dalganın radyan cinsinden frekansdır.

3 fazlı bir asenkron motora sinüs olmayan bir gerilim uygulandığında, n'inci harmoniğe karşılık gelen kayma şu şekilde ifade edilebilir [10];

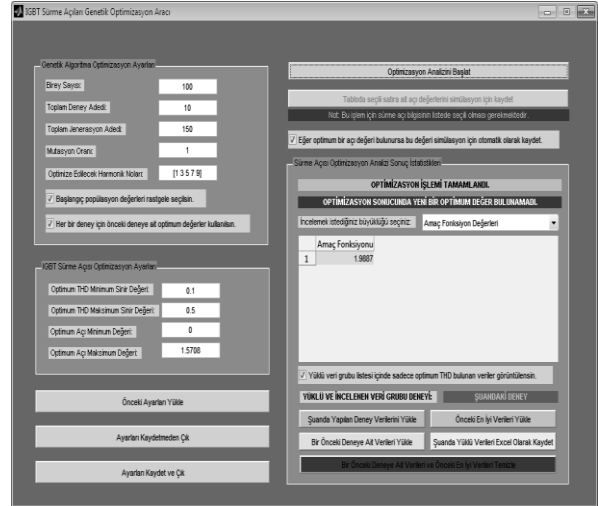
$$S_n = \frac{nN_t + (1-s)N_s}{nN_s} = \frac{n + (1-s)}{n} \quad (3)$$

Elde edilen formüller m-file içerisindeki fonksiyona aktarılmadan önce program arayüzü (Şekil 3, Şekil 4)

tasarlanmıştır. Bu arayüz sayesinde birey sayısı, toplam deney adedi, nesil sayısı, optimize edilecek parametre sayısı, sınır değerleri hızlı ve rahat bir şekilde atanabilecek, ayrıca başlangıç değerleri ve bir önceki değerlerin kaydedilmesi sağlanacak, elde edilen en iyi sonuç ekrana yansıtılıp kaç iterasyonda sağlandığı, geçen süre, excel'e aktarma vb. işlemler çok basite indirgenmiş olacaktır.



Şekil 3. Program Arayüzü-1

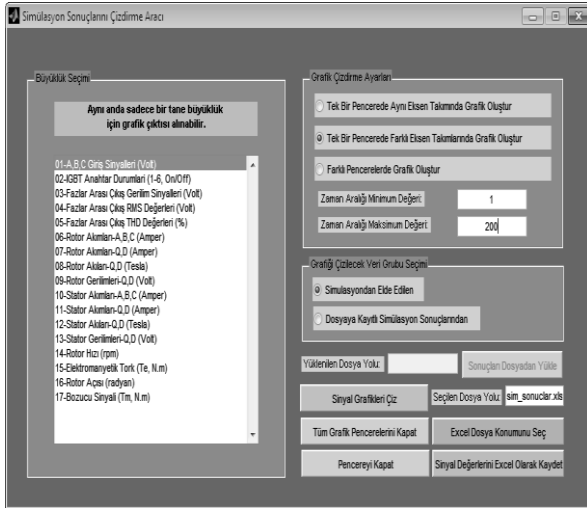


Şekil 4. Program Arayüzü-2

Simülatorün penceresinde verilerin hesaplanması için optimizasyonu başlat butonuna basmak yeterli olacaktır. Her deneyde başlangıç değerleri farklı seçilse bile her seferinde tüm fonksiyonlar ve kodlamaları tekrar yazmaya gerek kalmadan sonuçlar ayrı ayrı elde edilip kayıt altında tutulabilecek ve aynı anda excel'e ve grafik çizdirme alt arayüzüne kaydedilecek, veriler grafiklerle ifade edilebilecektir.

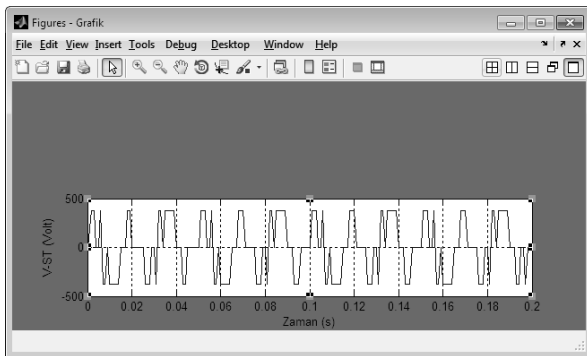
Örnek bir çalışmanın adım adım incelenmesi:

GUI başlatılır, Şekil 3'deki görüntü gelir. Şekil 4'de probleme ait değişkenler girilir. Önceki başlangıç değerlerinin kullanılıp kullanılmayacağı seçilir, sınır değerleri ve varsa yeni probleme ait fonksiyon (her deney için tekrarlanmasına gerek yoktur) girilir. İncelemek istediğiniz değer seçilir. Simülasyon başlatılır. Simülasyon sonuçlarını çizdirme penceresinden (Şekil 5) istenilen değer ve zaman aralığı seçilir ve çizdirme butonuna basılır.



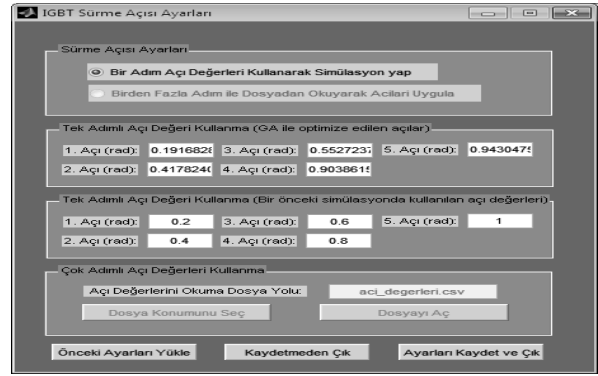
Şekil 5. Grafik Çizdirme Penceresi

Örnekten elde edilen değerlerle yapılan simülasyonda fotovoltaik sistemin AC çıkışındaki gerilim aşağıdaki gibi elde edilir.



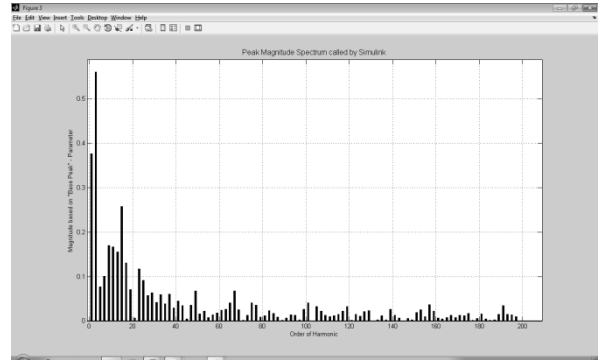
Şekil 6. Fotovoltaik Sistemin AC Çıkışındaki Gerilim

Son olarak sistemden elde edilip SIMULINK ortamındaki modele aktarılan sonuç değerlerini gözlemlene ve deney amaçlı kişisel data girmek için kullanılan pencere aşağıdaki gibidir.



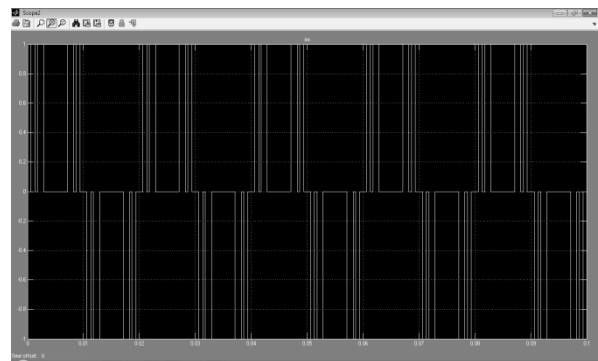
Şekil 7. Tetikleme Açısı Bilgilerinin, Hazırlanan Simulink Modeline Girilmesi

Tüm bu işlemlerden sonra FFT analizi ile aşağıdaki grafik elde edilmiştir;



Şekil 8. Evirici Çıkışı FFT Analizi

Ve son olarak yarıiletken anahtarlar için gerekli olan sinyal de şu şekilde elde edilmiştir;



Şekil 9. PWM Sinyali

## Sonuç

Güneş enerji sistemlerinin şebekeye bağlanmaları enerji kalitesi adına gerilimde dalgalanma, çökme, frekansta istenmeyen değişimler ve harmonikler gibi çeşitli problemlere neden olabilmektedir. Eviriciler hem kendileri bir harmonik kaynağı olması hem de uygulandığı sisteme harmonik enjekte etmesi sebebiyle, güneş enerji sisteminin kurulum aşamasından sonra yarıiletken elemanların enerji kalitesini artırması için en iyi tetikleme açısının tespiti çok önem arz etmektedir. Aşırı anahtarlama kayıpları artacak, düşük anahtarlama ise istenilen enerji kalitesi elde edilemeyecektir.

İşte bu problemlerin çözümü için evirici tasarımına hazırlık anlamında geliştirilen bu simülasyon, kullanıcılar açısından çok kullanışlı bir arayüze sahiptir. Bu sayede gerekli giriş parametrelerini rahatlıkla probleme ve amaca yönelik atayabilecekler ve en iyi tetikleme açılarını elde edebileceklerdir. Simülasyon hesaplama inceliği ve zaman bakımından büyük kolaylık sağlamaktadır. Problemin veya fonksiyonların karmaşıklığının analize etkisi olmamaktadır.

Hazırlanan bu programın en büyük avantajı tek pencere üzerinde bütün verilerin girilip sonuçların görülebilmesi, analizin yapılabilmesi ve raporlanabilmesidir. Simülasyon daha da geliştirilip elde edilen veriler direkt olarak deney yapılacak veya simüle edilecek modüllerin girişine entegre edilebilir.

## Referanslar

- [1] Uzunoglu, M., Harmonics and voltage stability analysis in power systems including thyristor-controlled reactor. *Sadhana*, vol. 30, part 1, pp. 57–67, 2005.
- [2] Özdemir, E., Elektrik Enerji Kalitesi. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası III. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, pp. 280-285, 2009.
- [3] Ilakkia, T., Vijayagowri, G., Hybrid Pv/Wind System For Reduction Of Harmonics Using Artificial Intelligence Technique. *IEEE- International Conference On Advances In Engineering, Science And Management (ICAESM)*. Pp. 303-308, 2012.
- [4] Chen, Z., Spooner, E., Voltage source inverters for high-power, variable-voltage DC power sources. *IEE Proceedings, Generation, Transmission and Distribution*, vol. 148, pp. 439-447, 2001.

[5] Uzunoglu, M., Onar, O.C., Alam, M.S. Modeling, control and simulation of a PV/FC/UC based hybrid power generation system for stand-alone applications. *Science Direct, Renewable Energy*, vol. 34, pp. 509-520, 2009.

[6] Doğan, M., Döşoğlu, M. K., Maden, D., Tosun, S., Öztürk, A., Investigation of the Best Placement for Voltage Stability by STATCOM. *Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, pp. 117-121, 2011.

[7] Gulez, K., Pastaci, H., Uzunoglu, M., Mutoh, N., Source Current Type Active Filter N-Dimension Matrix Application in AC Drives. *SICE Annual Conference*, pp. 369-374, 2003.

[8] [eie.gov.tr](http://eie.gov.tr), T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü web sitesi, Mart 2013.

[9] [bilgiustam.com](http://bilgiustam.com), Mart 2013.

[10] Lee, C. Y., Lee, W. J., Wang, Y. N., Gu, J. C. Effects of voltage harmonics on the electrical and mechanical performance of a three-phase induction motor. *IEEE Industrial and commercial power systems technical conference*, pp. 88-94, 1998.