

# SDFD ve SVK Cihazlarının Birlikte Kullanımı ile Hibrit Bir FV/Rüzgâr Enerji Üretim Sisteminin Geçici Kararlılık Performansının Arttırılması

## A Combined Usage of SDBR and SVC to Improve the Transient Stability Performance of a PV/Wind Generation System

Alişan Ayvaz<sup>1</sup>, Muammer Özdemir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi  
Amasya Üniversitesi  
alisan.ayvaz@amasya.edu.tr

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
ozdemirm@omu.edu.tr

### Özet

Son zamanlarda, elektrik şebekesindeki rüzgâr ve güneş enerjisi üretim sistemi sayısının artması ile güç sistemlerinde kararlılık konusu önem kazanmıştır. Şebekede meydana gelen arızalar, rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı hibrit enerji sistemlerinin çıkışında ani gerilim düşümüne ve buna bağlı güç dalgalanmalarına yol açmaktadır. Eğer bu gerilim düşümü belirli değerin altında uzun bir süre devam ederse, ana şebekede büyük çaplı gerilim çökmeleri ve sistem kayıpları meydana gelebilmektedir. Bu çalışmada, hibrit bir fotovoltaik (FV)/rüzgâr enerji sistemi çıkışına seri dinamik frenleme direnci (SDFD) ve statik var kompanzator (SVK) cihazları yerleştirilerek meydana gelen gerilim düşümünün engellenmesi ve güç dalgalanmalarının sönümlenmesi önerilmektedir. Modellemeler için MATLAB/Simulink programı kullanılmış ve analizler yine bu program üzerinde gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, SDFD ve SVK'nun birlikte kullanımının etkili bir çözüm sunduğu görülmektedir.

### Abstract

Recently, power system stability issue has gained popularity with wind and solar energy systems beginning to effective on power systems. Faults occurring at the grid cause effective voltage drops at the output of the hybrid system consist of a photovoltaic (PV) plant and a wind farm. If the voltage decrease remains under a specific value for a long time, this may cause a large-scale voltage collapse at main grid. This paper proposes a novel method to prevent this problem by using a series dynamic braking resistor (SDBR), which is serial connected between the grid and the hybrid system, and a static var compensator (SVC) which is shunt connected at the point of common coupling (PCC). The power system with SDBR and SVC devices were modeled in MATLAB/Simulink. Also, analyses were performed in this software. Results of the analyses demonstrate the effectualness of the suggested method.

### 1. Giriş

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde çoğalması ve giderek büyüyen endüstriyelleşme ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç da gün geçtikçe artmaktadır. Diğer yandan ise dünya enerji ihtiyacını büyük ölçüde karşılayan fosil kaynaklar gitgide tükenmektedir. Ayrıca, tükenme dahi bu kaynaklar meydana getirdikleri çevre kirliliği ile dünyanın ekosistemini bozmakta ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu ve bunun gibi sebepler ile temiz ve tükenmez bir çözüm olarak alternatif enerji kaynakları son yirmi yıldır gündemde bulunmaktadır [1].

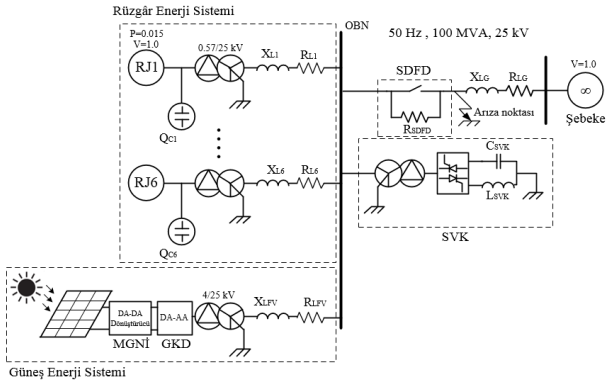
Alternatif enerji kaynakları içerisinde rüzgâr ve güneşe dayalı enerji sistemleri, hızlı bir şekilde gelişmekte ve şebekede etkisini gün geçtikçe arttırmaktadır. Global Rüzgâr Enerjisi Konseyi'nin (GWEC) raporuna göre, 2015 yılı içerisinde dünyadaki rüzgâr enerjisi kapasitesi 63 GW civarında artmış ve dünya genelindeki rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2015 yılı sonu itibarıyla 433 GW olmuştur [2]. Diğer yandan güneş enerjisine dayalı fotovoltaik (FV) sistem kapasitesi ise 2015 yılı içerisinde 50 GW'lık artış ile dünya genelinde toplam 227 GW kurulu güce ulaşmıştır [3].

Şebekede giderek artan rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesi, güç sistemlerinin kararlılığı konusundaki çalışmalara da büyük önem kazandırmıştır. Şebekede arıza meydana geldiğinde, hat akımı ani bir şekilde artmakta ve hibrit sistem çıkış barasında gerilim düşümleri ile birlikte güç dalgalanmaları meydana gelmektedir. Eğer bu kararsız durum uzun bir süre seyrederse, büyük çaplı sorunlar oluşmaması için şebeke ile hibrit sistemin bağlantısının kesilmesi gerekmektedir. Hibrit sistemin işletimden çıkması ile bozulan güç dengesinin korunması için ise yedek jeneratör grupları her zaman hali hazırda sistemde bulunması gerekmektedir. Eğer bu jeneratör grubu sistemde bulunmazsa, geniş ölçekli gerilim düşümünden dolayı sistemde ciddi sorunlar meydana gelebilmektedir [4,5].

Rüzgâr ve güneşe dayalı hibrit enerji sistemi bulunduran şebekelerin bu riskli özelliğinden dolayı, bu enerji sistemlerinin arıza karşısında şebekeden kopmasını önleyici çalışmalar geçmişten bugüne süregelmektedir. Bunlardan en çok tercih edileni ise bu tip enerji sistemlerinin çıkışında seri ve şönt bağlantılı cihazlar kullanılmasıdır.

Bu çalışmada, hibrit bir enerji üretim sisteminin çıkışına sırasıyla seri ve şönt bağlanan SDFD ve SVK yapıları birlikte kullanılarak şebekede meydana gelen bir üç faz arıza süresince ve sonrasında hibrit sistemin geçici kararlılık performansının artırılarak şebekeden kopmaması amaçlanmıştır. SDFD, yapısında bulunan direnç ve anahtarlama elemanı ile kısa devre arızası dolayısıyla artan hat akımının sınırlandırılması ve buna bağlı gerilimin düşmemesini sağlamaktadır. Ama SDFD, bazı arıza durumlarında ve arıza süreleri için tek başına gerilim düşümünü belirli düzeyin üstünde tutamamakta ve sistemin kararlılığını sağlayamamaktadır. Bu yetersizlik durumunda ise SVK yapısı devreye girerek reaktif güç desteği ile gerekli gerilim yükselmesini sağlamakta ve güç dalgalanmalarını bastırmaktadır.

## 2. Güç Sistemi Modelleme



Şekil 1: Güç sistemi modeli

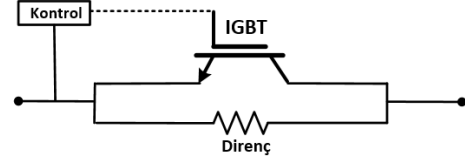
Şekil 1'de 50 Hz frekansta çalışan önerilen metodun uygulandığı güç sistemi modeli görülmektedir. Rüzgâr ve FV enerji sistemleri ile SVK cihazı, yükseltici transformatörler aracılığı ile ortak bağlantı noktasına (OBN) bağlanmış, şebeke ile OBN arasına ise seri olarak SDFD cihazı yerleştirilmiştir.

Rüzgâr enerji sistemi, 6 adet 1.5 MW'lık sincap kafes induksiyon jeneratörü (SKİJ) içeren sabit hızlı rüzgâr türbininden (SHRT) oluşmakta ve toplamda 9 MW anlık güç ile şebekeye bağlanmaktadır. Rüzgâr enerji sistemi içerisindeki her bir rüzgâr jeneratörü (RJ), çıkışında 575 V faz-faz gerilim üretmekte ve bu değer şebeke tarafında 25 kV'a yükseltilmektedir. Ayrıca şekilde rüzgâr jeneratörleri çıkışına bağlanmış kapasitör bankları görülmektedir. Bu kapasitörler, rüzgâr türbinindeki induksiyon jeneratörünün (İJ) şebekeden çektiği reaktif gücü kompanse etmek için yerleştirilmiştir.

Güneş enerji sisteminde ise 200 Watt maksimum güç verebilen FV modülleri kullanılmıştır. Bu modüllerden 100 adeti seri bağlanarak bir kol oluşturmakta, bu kolların 80 tanesi de paralel bağlanarak toplam 1.6 MW'lık kurulu güce sahip güneş enerji sistemini meydana getirmiştir. Her türlü hava koşullarında maksimum gücü şebekeye aktarmak için FV

modüllerin devamına maksimum güç noktası izleyicisi (MGNI) uygulanmıştır. Doğru akım (DA) olarak MGNI'den gelen enerji ise gerilim kaynağı dönüştürücü (GKD) yapısı ile alternatif akıma (AA) çevrilmekte ve transformatör aracılığı ile 25 kV'a yükseltilerek şebekeye bağlanmaktadır.

### 2.1. Seri Dinamik Frenleme Direnci (SDFD)



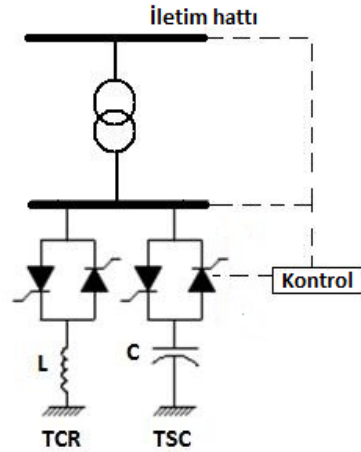
Şekil 2: SDFD yapısal şeması

SDFD yapısı Şekil 2'de görüldüğü üzere bir direnç ve bir de anahtarlama elemanından oluşmaktadır. SDFD diğer seri akım sınırlayıcı yapılarına göre daha hızlı bir karakteristiğe ve daha uygun bir maliyete sahiptir. SDFD, anahtarlama elemanı olarak izole edilmiş kapılı, çift kutuplu transistör (IGBT) kullanılmaktadır. Normal koşullar altında IGBT aktif ve hat akımını üstünden geçirir. Eğer sistemde arıza meydana gelmiş ise IGBT pasif hale gelir ve hat akımının SDFD direnci üzerinden geçmesi sağlanır.

Arıza anında akım, SDFD'nin yapısındaki direnç üzerinden geçer ve akımın yüksek değerlere çıkması engellenmiş olur. Sınırlanan arıza akımı ile birlikte hibrit enerji sistemi çıkışında gerilim yükselmesi ve güç dalgalanmalarında sönümlenme meydana gelir.

### 2.2. Statik VAR Kompanzator (SVK)

SVK, esnek alternatif akım iletim sistemi (FACTS) ailesinin şönt bağlantılı bir elemanıdır. SVK, bağlandığı bölgenin reaktif gücünü kontrol ederek sistemi kararlı halde tutmaya çalışmaktadır.



Şekil 3: SVK yapısal şeması

Şekil 3'te SVK'nın şematik gösterimi görülmektedir. Şekil incelendiğinde, SVK, yapısında tristör anahtarlama kapasitörler (TSC) ve tristör anahtarlama reaktörler (TCR) içermekte ve bu yapılar da bir transformatör aracılığıyla şebekeye bağlanmaktadır. Burada transformatörün amacı

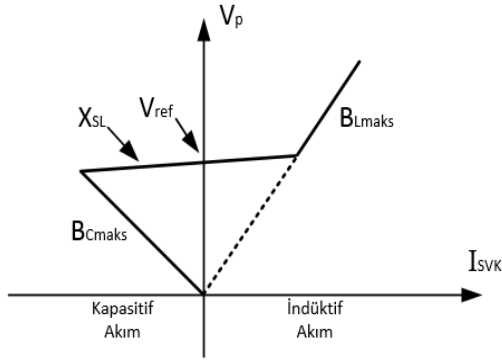
iletim hattındaki yüksek gerilimden TSC ve TCR yapılarını korumaktır.

SVK'nın çalışma mantığı ise şöyledir; bağlantı bölgesinden alınan gerilim ölçümü gerilim regülatörüne aktarılır. Gerilim regülatöründe, ölçülen sinyal ile referans gerilim değeri ( $V_{ref}$ ) karşılaştırılarak, çıkışta sırasıyla TSC ve TCR'lerin anahtarlanma durumlarını ve anahtarlanma açılarını belirleyecek süseptans değeri ( $B_{SVK}$ ) ateşleme birimine gönderilir. Ateşleme birimi ise tristörleri gelen süseptans değerine göre anahtarlama yaparak bağlantı bölgesine gerekli reaktif akımı sağlamış olur.

Şebekenin reaktif güç talebi veya fazlalığına göre SVK reaktif akımı, indüktif veya kapasitif olarak değişmektedir. İletim hattında ölçülen gerilim ile SVK akımı arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$V_p = V_{ref} + I_{SVK} X_{SL} \quad (1)$$

burada  $V_p$  iletim hattı ölçülen gerilimini,  $V_{ref}$  referans gerilim değerini,  $I_{SVK}$  SVK akımını ve  $X_{SL}$  ise değeri 0.03 ile 0.05 arasında değişen eğim reaktansını simgelemektedir. Aynı zamanda, SVK'nın bu gerilim-akım fonksiyonu Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4: SVK gerilim-akım grafiği

Eğer SVK tamamen kapasitif ise süseptans değeri  $B_{Cmaks}$  olmakta, tamamen endüktif olduğu durumda ise  $B_{Lmaks}$  olmaktadır.

### 3. Performans İndisi Tanımlama

Bu çalışmada, önerilen yöntemin etkili olup olmadığını anlaşılması ve karşılaştırma için çeşitli performans indisleri kullandık. Bu indisler, arıza esnasında ve sonrasında çıkış gerilimi, aktif güç ve rüzgâr jeneratörü rotor hızı parametrelerinin toplam değişimini ifade etmekte ve aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır[6]:

$$ger_{obn}(pu.sn) = \int_{t_0}^{t_1} |V(t) - V_{nom}| dt \quad (2)$$

$$güç_{obn}(MW.sn) = \int_{t_0}^{t_1} |P(t) - P_{nom}| dt \quad (3)$$

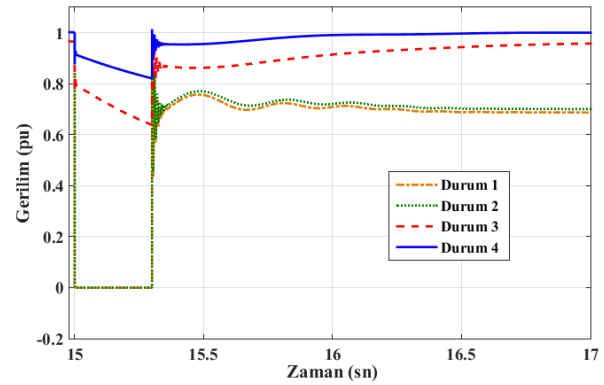
$$hız_{rj}(pu.sn) = \int_{t_0}^{t_1} |\delta(t) - \delta_{nom}| dt \quad (4)$$

Denklemler (2), (3) ve (4)'te sırasıyla anlık olarak değişen gerilim, aktif güç ve rüzgâr jeneratörü hız değeri ile bu parametrelerin nominal değerlerinin farkının belirli zaman aralığı için integrali alınarak ilgili performans indisleri hesaplanmaktadır. Burada  $t_0$ , arızanın meydana gelme zamanını,  $t_1$  ise simülasyon bitişi zamanını göstermektedir. Diğer yandan performans indisi hesabında kullanılan gerilim ve aktif güç değerleri, ortak bağlantı noktası olan hibrit enerji sistemi çıkış barasındaki değerler olup, rotor hızı değeri ise rüzgâr enerji sistemindeki herhangi bir rüzgâr jeneratörüne aittir.

### 4. Simülasyon Çıktıları ve Analizler

Önerilen metodun doğruluğu için Şekil 1'deki güç sistemi modeli MATLAB/Simulink programında oluşturuldu [7]. 3 faz-toprak (FFFT) simetrik arızası için analizler dikkate alındı. Tüm simülasyon çalışmaları için arızanın 15. saniyede meydana geldiği ve 300 ms sonra sona erdiği varsayıldı. Ayrıca karşılaştırma amacı ile analizler aşağıdaki dört durum için gerçekleştirildi:

- Durum 1: Sistemde SDFD ve SVK kullanılmadı
- Durum 2: Sistemde sadece SVK kullanıldı
- Durum 3: Sistemde sadece SDFD kullanıldı
- Durum 4: Sistemde SDFD ve SVK birlikte kullanıldı

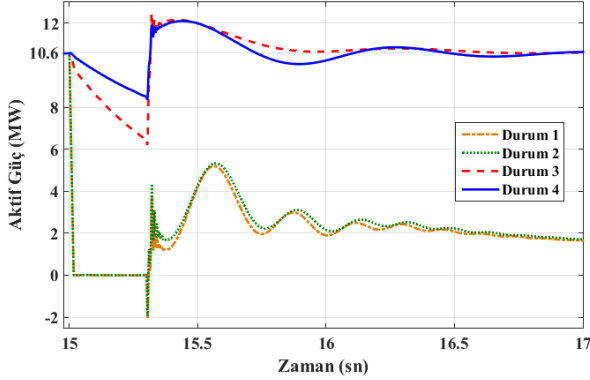


Şekil 5: OBN barasındaki gerilim değişimleri

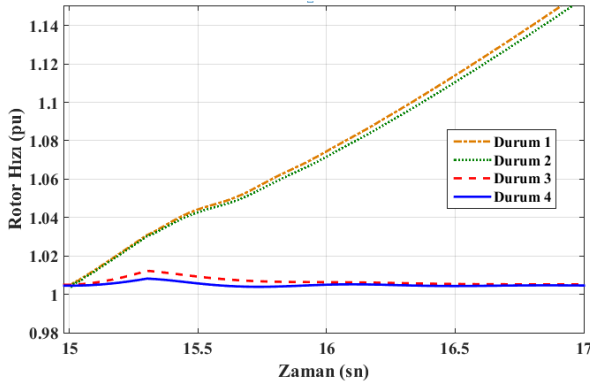
Şekil 5'te 300 ms süren bir FFFT arıza durumu için arıza esnası ve sonrası hibrit enerji sistemi çıkış barasında meydana gelen gerilim değişimleri farklı sistem durumları için görülmektedir. Durum 3 ve 4'te gerilim değerlerinin arıza esnasında bir miktar düşüme uğramış ama arıza sonrasında ise kendini hızlı bir şekilde toplamıştır. Durum 1 ve 2'de ise gerilim arıza esnasında taban yapmış, arıza sonrasında ise kendini toplayamayarak sistemi kararsızlığa götürmüştür. Durum 3 ve 4'te gerilimin arıza esnasında ve sonrasında yüksek kalışı, SDFD'nin akım sınırlaması ile sağlanmaktadır. Durum 4'te ilaveten SVK cihazı da kullanılarak sistemin arızadan en az etkilenmesi sağlanmıştır.

OBN barasındaki aktif güç değişimleri ise Şekil 6'da görülmektedir. Yine aynı şekilde durum 1 ve 2 için aktif güç değişimi, arıza esnasında ve sonrasında nominal aktif güç değerinden uzak bir yol izlemiş ve sistem kararsızlığa gitmiştir. Durum 3'te aktif güç değişimi arıza esnasında daha düşük seviyede kalmasına rağmen arıza sonrasında durum 4'e göre daha kararlı bir çizgide seyretmiştir. Bunun sebebi arıza esnasında durum 4'teki sistemde bulunan SVK yapısının

şebekeye reaktif güç aktarmasıdır. Bu güç aktarımı, arızanın düzelmesi ile OBN noktasında güç dalgalanmalarının bir miktar daha kuvvetli olmasına neden olmuştur. Ama SVK'nın bu reaktif güç desteği, durum 4'te arıza esnası için olumlu etkisini net bir şekilde göstermektedir.



Şekil 6: OBN barasındaki aktif güç değişimleri



Şekil 7: Rüzgâr jeneratörü rotor hızı değişimleri

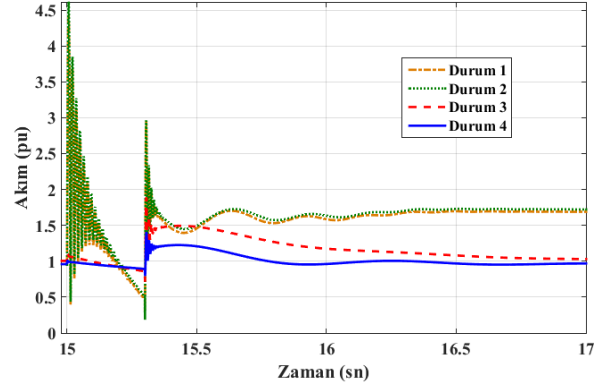
Şekil 7'de rüzgâr enerji sistemi içerisinde bulunan bir rüzgâr jeneratörüne ait rotor hızı değişimi görülmektedir. Durum 4 için rotor hızı değişiminin en az olduğu görülmektedir. Durum 1 ve 2'deki sistemlerin kararsızlığa gittiği rotor hızının sürekli bir artış göstermesi ile net bir şekilde anlaşılmaktadır.

Şekil 5-7'de farklı sistem durumlarında gerilim, aktif güç ve rotor hızı değişimleri için görsel olarak yapılan karşılaştırma, sayısal verilere dayalı olarak Çizelge 1'de sunulmaktadır. 3. başlıkta tanımlanan performans indislerine göre hesaplanan değerler farklı sistem durumları için çizelgede görülmektedir.

Çizelge 1: 3 Faz-Toprak Arızası Performans İndisi Değerleri

Sistem Durumu	Performans İndisi Değerleri		
	ger_obn (pu.sn)	güç_obn (MW.sn)	hiz_rj (pu.sn)
Durum 1	0.393	8.91	0.077
Durum 2	0.381	8.47	0.071
Durum 3	0.117	0.741	0.00182
Durum 4	0.035	0.527	0.00068

Hesaplanan performans indisleri incelendiğinde Şekil 5-7'de görsel olarak sunulan değişimler ile sayısal olarak sunulan verilerin birbirini doğruladığı görülmektedir. Durum 4'ün etkin özelliğine en yakın olarak durum 3 iyi bir performans göstermekte, durum 1 ve 2 ise indis değerlerinde yüksek rakamlar ile kötü performans sergilemektedir.



Şekil 8: Hat akımı değişimi

Şekil 8'de hibrit enerji sistemi ile ana şebeke arasındaki hattın arıza esnasında ve arıza sonrası akım değişimi görülmektedir. Durum 1 ve 2'de arıza nedeniyle meydana gelen akım yükselmesini sınırlayıcı olarak SDFD cihazı olmadığından, hat akımı nominal değerinin 4 ile 5 katına kadar yükselmiştir. Nitekim arıza başlangıcında akım yükselmesi sonrası ilk tepe değerleri Çizelge 2'de görülmektedir. Çizelgeye göre durum 1 ve 2'de akım yükselmesi 4 pu'un üstündeyken, durum 3 ve 4'te ise 1 pu'a yakın kalmıştır. Etkin bir yöntem olarak durum 4 yani güç sisteminde SDFD ve SVK'nın birlikte kullanılması, arıza akımını diğer durumlara kıyasla en iyi şekilde sınırlamıştır.

Çizelge 2: Arıza Sonrası Hat Akımı İlk Tepe Değerleri

Sistem Durumu			
Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
4.42 pu	4.6 pu	1.11 pu	1.01 pu

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, giderek şebekede önemli bir yer tutan rüzgâr ve güneş enerjisi santrallerinin, arıza karşısında şebekede meydana getireceği olumsuzlukları gidermek için yeni bir yöntem önerilmektedir. SDFD ve SVK cihazları güç sistemlerinin kararlılığı için önemli olmalarına rağmen ayrı ayrı kullanıldığı durumlarda rüzgâr ve güneş enerjisinden oluşan hibrit enerji sistemlerinin arıza karşısında şebekeye bağlı kalmasında yetersiz kalabilmektedirler. Bu çalışmada önerilen yöntem, her iki cihazın beraber kullanılmaları ve birbirlerini destekleyerek yetersizliklerin üstesinden gelmesidir. Nitekim, 3 faz-toprak arızası için gerçekleştirilen simülasyon çıktıları da bunu desteklemektedir.

## 6. Kaynaklar

- [1] IEA publications. (2015, March 15). World Energy Outlook Special Report. International Energy Agency. [Online]. Available: <http://www.worldenergyoutlook.org/>

- [2] GWEC publications. (2016, April). Global Wind Report 2015. Global Wind Energy Council. [Online]. Available: <http://www.gwec.net/>
- [3] REN21 publications. (2016, July). Renewables 2016 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network. [Online]. Available: <http://www.ren21.net/>
- [4] M. Molinas, J. A. Suul, and T. Undeland, "Low Voltage Ride Through of Wind Farms With Cage Generators: STATCOM Versus SVC," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 23, no. 3, pp. 1104 - 1117, May. 2008.
- [5] I. Ngamroo, and T. Karaipoom, "Cooperative Control of SFCL and SMES for Enhancing Fault Ride Through Capability and Smoothing Power Fluctuation of DFIG Wind Farm," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 24, no. 5, pp. 1 – 4, Oct. 2014.
- [6] Arnab Banik and Mohd. Hasan Ali, "Comparison between SFCL and TSC For Voltage Stability Enhancement of Wind Generator System," 2013 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), April 2013.
- [7] SimPowerSystems User's Guide, The Math Works, Inc 2000.