

## DFIG Tipli Rüzgâr Türbini Bağlı Mikroşebekelerde Güç Akışı ve Kısa Devre Arıza Analizinin DIgSILENT PowerFactory Programı ile Gerçekleştirilmesi

### *Power Flow and Short Circuit Fault Analysis of DFIG-Typed Wind Turbines Connected Microgrid with DIgSILENT PowerFactory Program*

Alperen ÇALIŞIR<sup>1</sup>, Alper YILMAZ<sup>2</sup>, Gökay BAYRAK\*

<sup>1</sup> TEIAS 2nd Regional Directorate Facility and Control Chief Engineering, Bursa, Turkey  
alperen.calisir@teias.gov.tr

<sup>2</sup>Bursa Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Bursa, Turkey  
alper.yilmaz@btu.edu.tr

\*Bursa Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Bursa, Turkey

\*Corresponding Author  
gokay.bayrak@btu.edu.tr

#### Özet

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisi, elektrik üretiminde kullanım payı açısından büyük önem taşımaktadır. Rüzgar türbini (RT) kaynaklarının bağlandığı güç sisteminde, şebekenin iki yönlü güç akışına cevabı belirlenmeli ve yeni elektrik koşullarına uyularak şebeke entegrasyonunun en uygun şekilde yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmada, çift beslemeli asenkron generatör (DFIG) tipli RT'lerin, şebeke bağlantı şekline göre bara gerilimlerine olan etkisi ve kısa devre arızalarında sistem akımı ile gücüne yaptığı katkı incelenmiştir. Simülasyon modeli DIgSILENT PowerFactory programı ile oluşturulmuş, gerekli analizler yine bu programda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, hem sistem güvenilirliği ve kararlılığı hem de kısa devre gücü ve akım katkısı yönünden RT'lerin branşman bağlantıya sahip olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Çift beslemeli asenkron generatör, Güç akış analizi, Kısa devre arıza analizi.

#### Abstract

Wind energy among renewable energy sources is of great importance in terms of the share of usage in electricity generation. In the power system where the wind turbine (RT) sources are connected, the response of the network to the bi-directional power flow should be determined and the network integration should be done in the most appropriate way according to the new electrical conditions. In this study, the effect of DFIG type RTs on the bus voltages according to the grid

connection and the contribution of the system current and power to the short circuit faults has been investigated. The simulation model was created with the DIgSILENT PowerFactory program and the necessary analyzes were performed in this program. When the results were compared, it was concluded that RTs should have branch connection in terms of system reliability and stability as well as short circuit power and current contribution.

**Keywords:** Double fed induction generator, Power flow analysis, Short circuit fault analysis.

#### 1. Giriş

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisi, elektrik üretiminde kullanım payı açısından son yıllarda büyük gelişme göstermiştir. Şebekeye bağlanan rüzgar santrali sayısındaki bu artış özellikle şebeke entegrasyonu konusunda yapılan çalışmaların artmasını zorunlu hale getirmiştir. Rüzgâr enerjisine dayalı dağıtık üretim sistemlerinin, şebekeye entegrasyonu gerçekleştirilirken ulusal ve uluslararası standartlara uyulmalıdır (IEEE 1547 Std. [1]). Bu standartlar, şebekenin yüksek güç kalitesinin ve sistem güvenilirliğinin sağlamak için önemlidir.

Literatürde, rüzgar türbini (WT) kaynaklı dağılımş enerji kaynaklarının mevcut elektrik şebekesine bağlanması ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan birinde değişken hızlı RT modeli oluşturulmuş ve bu türbinlerin arıza sonrası sisteme olan katkısı Bandırma civarında bulunan 4 baralı güç sistemi üzerinde incelenmiştir [2]. Şebekeye DFIG tipi RT sistemlerinin kısa devre analiz çalışmalarını içeren bir çalışmada ise bu türbinlerin güç kalitesi açısından sisteme katkısı araştırılmıştır [3]. Başka bir güç kalitesi çalışmasında [4], mikro türbin bazlı dağıtılmış güç

üretimi için elde edilen sonuçlar ATP-EMTP ve DigSILENT PowerFactory [5] programı ile analiz edilerek elde edilmiştir. IEEE 34 baralı dağıtım sistemi üzerinden farklı senaryolar için güç akışı ve kısa devre analizinin gerçekleştirildiği çalışmada, dağıtık üretim için kullanılan generatör tipleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir [6]. Dağıtılmış enerji kaynaklarının DIGSILENT PowerFactory programı ile sistemdeki farklı noktalara bağlanmasıyla oluşturulan senaryoların güç akışı ve kısa devre analizleri [7]'de yapılmıştır. Bu çalışmada, DFIG tipli farklı güçteki RT'lerin, şebeke bağlantı şekline göre bara gerilimlerine olan etkisi ve kısa devre arızalarında sistem akımı ile gücüne yaptığı katkı incelenmiştir. Doğrudan bağlantı ve branşman bağlantısının ele alındığı çalışmada hem sistem güvenliği ve kararlılığı hem de kısa devre gücü ve akım katkısı yönünden RT'lerin branşman bağlantıya sahip olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

## 2. DFIG Tipli RT Sistemleri

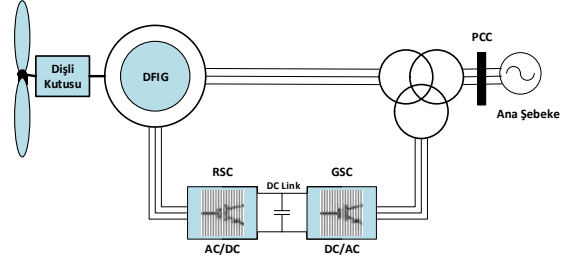
RT generatörler, hız kontrol yöntemine göre sabit hızlı ve değişken hızlı olmak üzere iki grupta incelenir [8]. Sabit hızlı (Tip A) ve sınırlı hızlı rüzgar türbinleri (Tip B), şebekeye reaktif güç desteği verememesi, kontrol edilemeyen reaktif güç harcaması, güç kalitesi sorunları ve yüksek mekanik zorluklara sebep olması nedeniyle günümüzde çok nadir olarak kullanılmamaktadır. Sabit hızlı RT generatörlerden farklı olarak, değişken hızlı RT generatörlerde rotor hızı, rüzgâr hızına bağlı olarak güç elektroniği cihazları ile kontrol edilebilir. Bu sayede, türbinler optimum rüzgâr gücü oranında çalışabilir. Piyasada kullanılan değişken hızlı RT'ler, kısmi ölçekli frekans dönüştürücü kontrollü (Tip C - Double Fed Induction Generators-DFIGs) ve tam ölçekli frekans dönüştürücü rüzgâr türbinleri (Tip D - Permanent Magnet Synchronous Generator- PMSG) olarak iki grupta incelenir.

DFIG'ler, RT endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan generatör türüdür. Bu tip generatörler, popülerliğini mekanik yapısının sadeliğine, yüksek dayanıklılığına, düşük maliyetine ve geniş dinamik hız kontrolüne borçludur. DFIG tipi RT'nin bir başka avantajı, mekanik bileşenin, bir dönüştürücüye sahip olduğu için belirli bir hızda şebekeden izole edilebilmesidir. Bunun bir sonucu olarak, rüzgâr hızındaki değişimin şebekeye olan etkisi azalır ve türbinin titreşim katkısı sınırlanır. Bu çalışmada, belirtilen avantajları nedeniyle DFIG tipi RT modeli dağıtık üretim kaynağı olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada, reaktif güç desteği olan ve geniş rüzgâr hız aralığında çalışabilen DFIG tipi RT'ler dağıtılmış enerji kaynağı üretimi için kullanılmıştır. Şekil 1'de gösterildiği gibi, bu tür türbinler bir rotor / şaft modeli, bir generatör modeli, bir rotor tarafı dönüştürücü (RSC), bir şebeke tarafı dönüştürücü (GSC) ve bir kanat açısı kontrol modelinden oluşmaktadır.

DFIG tipi generatör modelinin davranışı, generatör yapısına bağlıdır. Bu modelde, stator ana şebekeye doğrudan bağlıdır. Rotor ise halkaları aracılığıyla arka arkaya iki dönüştürücü (back-to-back bağlantı) ile şebekeye bağlanır. GSC, dönüştürücüler arasındaki DC

bağlantı voltajını kontrol ederken, RSC ise reaktif ve aktif güç çıkışını kontrol eder.



Şekil 1. DFIG kullanan RT'lerin genel prensip şeması

DFIG tipindeki rüzgâr türbinleri, frekans dönüştürücünün boyutuna bağlı olarak bir hız kontrol aralığına sahiptir. Senkron hızın üzerinde çalışma durumunda, hem dönüştürücü hem de stator üzerinden şebekeye enerji verilir. Genel olarak, % 40'ın altındaki hızlarda ve senkron hızın %30'undan daha fazla çalıştırılabilirler. Hız kontrolü belirli bir aralıkta sağlandığından, senkron generatörlerde kullanılan frekans dönüştürücülerden daha düşük maliyetli ve daha az kayıp frekans dönüştürücülerine sahiptir. Ayrıca, bu tip generatörlerde, ana şebeke etkileri en azından gözlemlenmektedir. Çünkü rotor doğrudan şebekeye bağlı olmayıp back-to-back dönüştürücü üzerinden bağlıdır.

## 3. Test Sisteminin Modellenmesi

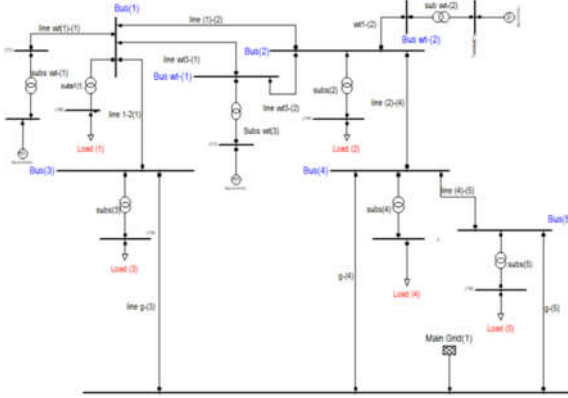
### 3.1. DigSILENT PowerFactory Programı

DigSILENT PowerFactory güç sistemi analiz programı [4], çok sayıda hem dinamik analiz hem de sürekli durum analizi gerçekleştirilmesine imkân vermesi sayesinde araştırmacılar ve güç sistemi operatörleri tarafından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kapsamlı bir güç akışı analizi DigSILENT PowerFactory programı kullanılarak gerçekleştirilebilir. Güç akışı analizi yapılarak, bir güç sistemindeki başta baralar olmak üzere herhangi bir noktadaki gerilim değişim değerleri, iletim hattı ve makine (transformatör, generatör vb.) yüklenmeleri ve iletim hattı başta olmak üzere sistem kayıpları analiz edilebilir. Kısa devre arıza analizi yapılarak, sisteme entegre edilecek RT generatörlerinin güç sistemine yapacağı kısa devre katkıları ve bu türbinlerinin mekanik dayanımları incelenebilir. Bu analizlere ek olarak, bu program sayesinde, rüzgâr türbininin FRT (Fault ride through) yeteneği, güç sisteminin gerilim ve frekans yanıtları, kalıcı durum ve dinamik durum analizleri yapılarak değerlendirilebilir.

### 3.2. Güç Sistemi Modeli

Şekil 2'de gösterilen ve DigSILENT programı ile geliştirilen güç dağıtım sistemi modeli, 50 Hz, 2000 MVA, 154 kV ana şebeke modeli (X / R: 10), üçgen/yıldız bağlı bağlı 154/34,5 kV gerilimli iki sargılı transformatörlerden ve yüklerden oluşmaktadır.

DFIG tipli rüzgar türbin üniteleri, 154 kV/34,5 kV'lik iki sargılı transformatörler üzerinden ana şebekeye farklı bağlantı şekilleriyle (bransman bağlantı ve doğrudan bağlantı ile) bağlanmıştır. Güç dağıtım sistemi modeli, ana şebeke barası hariç 5 adet baradan oluşmaktadır.



Şekil 2. DigSILENT programı ile geliştirilen güç dağıtım sistemi modeli

Dağıtım sistemi modelindeki baralara bağlı yükler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Baralara bağlı yük miktarları

Bara No	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVar)
Bus (1)	45	8
Bus (2)	55	10
Bus (3)	45	6
Bus (4)	40	7
Bus (5)	30	4

İletkenler isimlendirilirken bağlı olduğu baralara numaralarına göre isimlendirilmiştir. İletkenlere ait parametreler R: 0.124 ohm/km ve X: 1.023 ohm/km olarak alınmıştır. Rüzgâr türbinlerinin eklenmesiyle oluşturulan yeni iletken hatlar ise  $w_{t-n-m}$  şeklinde isimlendirilmiştir. Bağlanacak rüzgâr türbinlerinin bağlantı şekline göre kapasiteleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Rüzgâr türbinlerinin güç kapasitesi

Bağlandığı Bara	Aktif Güç	Reaktif Güç
Bus (1)	20 MW	4 MVar
Bus (2)	20 MW	4 MVar
Bus (1) ve Bus (2)	40 MW	4 MVar

#### 4. Sürekli Durum Analizi

Güç sistemlerinde sürekli durum analizi, güç akış analizi ve kısa devre arıza analizi olmak üzere iki başlık altında incelenebilir:

#### 4.1. Güç Akış Analizi

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisinin kullanımının artması, çok sayıda RT'nin şebekeye bağlanması anlamına gelmektedir. Rüzgar santrallerinin güç akış modellemesi yapılırken, rüzgar hızından bağımsız olarak RT generatörlerin ana şebekeye sağladığı aktif güç, senkron generatörlerde olduğu gibi sürekli durum analizlerinde sabit bir değer olarak alınır [9]. Tip A generatörlerin reaktif güç çıkışları kontrol edilemediğinden sabit güç faktörlü (0.85-0.90 arasında endüktif güç katsayısı) bara olarak modellenilebilir. Güç akışı modellemesinde Tip B generatörler, Tip A generatörler gibi davranır. DFIG tipli (Tip C) RT generatörler ile Tip D RT generatörleri, güç akışı yönünden bakıldığında  $\pm 0.90$  güç faktöründe ulusal ve uluslararası standartlarda uygun olarak reaktif güç kontrolü yapar ve tam gerilim kontrolü sağlayabilirler.

Güç akış analiz çalışmalarının asıl amacı, olması muhtemel çeşitli arıza durumlarını önceden planlamak ve bu durumlarda hesaplamalar gerçekleştirmektir. Bakım çalışması veya arıza sonucunda enerjisiz kalan hatlar dışında kalan enerji iletim hatlarının nominal değerleri ve sistem güvenlik sınırları aşmadan gerekli yükleri karşılayabilmesi gerekir. Bu ve benzeri durumlarda sistem parametrelerinin belirlenmesi gerekliliği güç akış analizini zorunlu kılmıştır. Rüzgar santralının şebekeye aktardığı akım değeri ( $I_{w-g}$ ):

$$I_{w-g} = \left( \frac{S_{WPP}}{U_{PCC}} \right)^* = \frac{P_{w-g} - jQ_{w-p}}{U_{PCC}} \quad (5.1)$$

Burada  $U_{PCC}$  rüzgâr santrali şebeke bağlantı noktasındaki gerilimini ifade ederken  $P_{w-g}$  ve  $Q_{w-p}$  ise rüzgar santralinden şebekeye aktarılan aktif ve reaktif gücü göstermektedir. Gerilim ile reaktif güç arasındaki ilişki ise:

$$\Delta U_p \approx \left( \frac{R_{ess} P_{w-g} + X_{ess} Q_{w-p}}{U_{PCC}} \right) \quad (5.2)$$

Denklem 5.2'de  $U_{grid}$  enterkonnekte baradaki gerilimi,  $\Delta U$  gerilim değişimini ve  $X_{ess}$  ise eşdeğer kısa devre empedansını belirtmektedir. Rüzgâr santralının bağlandığı şebeke şartlarında  $X \gg R$  olmasından dolayı gerilim genlik değeri, reaktif güç değişimi ile kontrol edilebilmektedir.

Senkron generatör üzerinden örnek verilmek üzere aktif güç ise, güç açısı ( $\delta$ ) ile doğrudan ilişkilidir.  $\delta$  gücünün artışı, generatör çıkış gücünde büyük oranda artışa neden olacaktır. Generatörün güç girişinin artması rotor hızını arttırırken, bu da  $\delta$ 'de artışa neden olacak ve sonuçta aktif güç çıkışı artacaktır.

#### 4.2. Kısa Devre Arıza Analizi

Güç sisteminde RT generatörlerinin tipi, şebekede meydana gelen arızadaki rüzgar santralının kısa devre akım ve gücü katkısını belirleyen en önemli etmendir. Tip A ve Tip B generatörler, geleneksel asenkron makinelerle benzer özellikler gösterirken DFIG ve Tip D generatörler ise kontrolleri üzerinden değerlendirilir. Tip A rüzgar türbinlerinin kısa devre akımına katkısı nominal kilitli rotor akımının 5 veya 6 katına kadar kısa devre

akımına katkı yapabilir. Tip B rüzgâr türbinlerinin de kısa devre gücü ve akımına yaptığı katkı Tip A generatörler ile benzerlik gösterir [10]. Tip C ve Tip D rüzgâr türbinlerinde ise kısa devre katkısı diğer generatörlerden farklı olarak sadece makinenin fiziksel yapısına bağlı olarak tespit edilemez. Burada özellikle güç elektroniği anahtarlar algoritmaları büyük önem taşımaktadır. DFIG tipli RT generatörlerinde kontrol yapısına ve arızanın gerçekleştiği yere bağlı olarak bu oran 1.1 p.u ve 6 p.u. arasında değer alabilmektedir.

RT'ler, coğrafi şartlara bağlı olarak genelde enterkonnekte şebekenin nispeten zayıf noktalarına konumlandırılırlar. Bu bölgelerde empedans değeri yüksek ve kısa devre gücü sınırlıdır. Güç sistemindeki bir noktada meydana gelen arıza anında, o noktadaki gücü ifade eden kısa devre gücü ile dinamik ve sürekli durumlardaki bara gerilim değerleri rüzgâr enerji santrallerinin entegrasyonunda, şebeke tarafındaki en önemli kriterleri oluşturur. Kısa devre gücü ( $S_{kss}$ ) enterkonnekte baradaki gerilim  $U_{grid}$  ve şebeke eşdeğer kısa devre empedansı  $Z_{grid}$  ile doğrudan ilişkilidir:

$$SC_{ratio} = \frac{S_{kss}}{S_{WPP}} = \frac{U_{grid}^2}{Z_{grid} S_{WPP}} \quad (5.3)$$

## 5. Sürekli Durum Analiz Sonuçları

Modellenen dağıtım sisteminin güç akış analizi sonuçları, çeşitli senaryolara göre Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'te "1" ile gösterilen Senaryo-1 için 20 MW güce sahip iki rüzgâr türbinin kendi baralarına doğrudan bağlantısı sağlandıktan sonra elde edilen bara gerilimleri yer almaktadır. Senaryo-2 ise bu iki santralin toplam gücüne sahip 40 MW güce sahip tek bir santralin branşman bağlantısı (tek bir rüzgâr türbini iki farklı baraya bağlı) sağlanarak oluşturulmuştur. Senaryo 3'te hiçbir rüzgâr türbini sisteme bağlı değil iken; Senaryo 4 'te ise hem branşman bağlantıya sahip rüzgâr türbini hem de doğrudan bağlantıya sahip iki rüzgâr türbini güç dağıtım sistemine bağlıdır.

Şebeke ile entegrasyonu sağlanan DFIG tipli RT'lerin güç sistemindeki kısa devre gücü ve kısa devre akımı katkısını gözlemlemek için, rüzgâr türbinlerinin bulunduğu baralarda tek faz-toprak kısa devre arızası ile 3 faz-toprak kısa devre arızası gerçekleştirilmiştir. Tablo 4 ve Tablo 5'te hiçbir türbin bağlı değilken Bus (1) ve Bus (2) baralarında oluşturulan farklı arızalar sonucunda alınan verileri göstermektedir. Tabloda verilen  $I_{kss}$  değeri, kA cinsinden kısa devre akımının değerini,  $S_{kss}$  değeri ise, MVA cinsinden kısa devre gücünü belirtmektedir.

**Tablo 3.** Senaryolara göre bara gerilim değerleri (p.u.)

Bara Gerilimleri					
	Bus (1)	Bus (2)	Bus (3)	Bus (4)	Bus (5)
1	0.989	0.989	0.994	0.995	0.988
2	0.993	0.988	0.991	0.992	0.995
3	0.983	0.984	0.989	0.990	0.982
4	0.995	0.995	0.996	0.995	0.997

**Tablo 4.** Sistemin 3 faz simetrik arıza sonuçları

3 Faz Simetrik Arızası		
Arızalı Bara	$S_{kss}(MVA)$	$I_{kss}(kA)$
Bus (1)	2044.5	7.665
Bus (2)	2407.3	9.025

**Tablo 5.** Test sisteminin tek faz-toprak arızası sonuçları

Tek Faz-Toprak Arızası		
Arızalı Bara	$S_{kss}(MVA)$	$I_{kss}(kA)$
Bus (1)	693.52	7.804
Bus (2)	821.75	9.242

Tablo 6 ve Tablo 7'de farklı güçte ve bağlantı şeklinde rüzgâr türbinlerinin bağlanması sonucunda Bus (1) ve Bus (2) baralarında oluşturulan farklı arızalar sonucunda elde edilen kısa devre gücü ve akım değerleri verilmiştir. Tablo 6, farklı tip arızalar için Bus (1) ve Bus (2) baralarına ayrı ayrı bağlanan 20 MW güce sahip türbinlerin kısa devre katkısını göstermektedir. Tablo 7 ise bu iki türbinin toplam gücünü barındıran 40 MW güce sahip tek santralin branşman bağlantısının Bus (1) ve Bus (2) üzerinde oluşturduğu kısa devre katkısını göstermektedir.

**Tablo 6.** Test sisteminin kısa devre arızası sonuçları (DFIG tipli iki türbin farklı baralara bağlı iken)

3 Faz Simetrik Arızası		
Arızalı Bara	$S_{kss}(MVA)$	$I_{kss}(kA)$
Bus (1)	2342.9	8.784
Bus (2)	2601.8	9.754
Tek Faz-Toprak Arızası		
Arızalı Bara	$S_{kss}(MVA)$	$I_{kss}(kA)$
Bus (1)	756.25	8.510
Bus (2)	849.16	9.550

**Tablo 7.** Test sisteminin kısa devre arızası sonuçları (DFIG tipli iki türbin farklı baralara bağlı iken)

3 Faz Simetrik Arızası		
Arızalı Bara	$S_{kss}(MVA)$	$I_{kss}(kA)$
Bus (1)	2150.8	8.063
Bus (2)	2400.2	8.998
Tek Faz-Toprak Arızası		
Arızalı Bara	$S_{kss}(MVA)$	$I_{kss}(kA)$
Bus (1)	713.23	8.02
Bus (2)	801.19	9.03

## 6. Analiz Sonuçları

Bu çalışmada DFIG tipli RT'lerin, şebeke bağlantı şekline göre bara gerilimlerine olan etkisi ve kısa devre arızalarında sistem akımı ile gücüne yaptığı katkı incelenmiştir. DFIG'ler, RT endüstrisinde en yaygın

olarak kullanılan generatör türü olması nedeniyle bu çalışmada kullanılan generatör tipi olarak seçilmiştir. DIGSILENT PowerFactory programından yararlanılarak güç sistemi modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model üzerinden doğrudan bağlantıya sahip iki farklı baraya bağlanmış iki adet DFIG tipli RT santralinin şebekeye entegrasyonu ile branşman bağlantıya sahip bu iki santralin toplamı kadar şebekeye güç verebilen tek bir DFIG tipli RT santrali bara gerilimlerine etki ve kısa devre katkısı yönünden karşılaştırılarak incelenmiştir.

Analiz sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılarak yapılan değerlendirmede, branşman bağlantı (tek rüzgar türbinin iki ayrı baraya bağlandığı bağlantı türü) yapıldığında RT kısa devre katkısının daha düşük olduğu görülmüştür. İki tür bağlantı için de bara gerilimlerinde önemli bir fark gözlemlenmemiştir. Sonuç olarak, hem sistem güvenliği ve kararlılığı, hem de kısa devre gücü ve akım katkısı yönünden RT'lerin branşman bağlantıya sahip olması daha iyi sonuç vermiştir.

### Referanslar

- [1] IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electrical Power Systems, IEEE 1547-2003 Std. July 2003
- [2] Koç E., Güven A. N., “Değişken Hızlı Rüzgar Türbinlerinin Modellenmesi ve Arıza Sonrasında Sisteme katkı Yeteneklerinin İncelenmesi”. *EMO Bilimsel Dergi* 2011;1:1, 51-56.
- [3] Swain, S., & Ray, P. K., “Short circuit fault analysis in a grid-connected DFIG based wind energy system with active crowbar protection circuit for ride-through capability and power quality improvement.” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 2017; 84, 64-75.
- [4] Power Factory Manual, Version 15.1
- [5] Nair, N. K. C., & Jing, L., “Power quality analysis for building integrated PV and a micro wind turbine in New Zealand”. *Energy and Buildings* 2013; 58, 302-309.
- [6] Balamurugan, K., Srinivasan, D., & Reindl, T., “Impact of distributed generation on power distribution systems”. *Energy Procedia* 2012; 25, 93-100.
- [7] Nuroglu, F. M., & Arsoy, A. B., “Voltage profile and short circuit analysis in distribution systems with DG”. *In Electric Power Conference (EPEC 2008)*, 1-5.
- [8] Bayrak G, Kabalcı E (2016), “Implementation of a new remote islanding detection method for wind-solar hybrid power plants.” *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 58:1-15.
- [9] A. Ellis, Wind power plant models for System studies, *Tutorial on Fundamentals of Wind Energy*, Section V, IEEE PES GM (Calgary, AB: July 2009).
- [10] GLOVER, J. Duncan; SARMA, Mulukutla S.; OVERBYE, Thomas. *Power System Analysis & Design*, SI Version. Cengage Learning, 2012.