

FARKLI RÜZGAR HIZ MODELLERİNİN SABİT HIZLI RÜZGAR TÜRBİNİ ÜZERİNDE OLUŞTURDUĞU ETKİLERİN İNCELENMESİ

M. Kenan DÖŞOĞLU^{1*} Salih TOSUN¹ Bilal SARAÇOĞLU¹ Gökhan POYRAZ²

¹ Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fak., Elektrik-Elektronik Müh., 81620, Düzce, TÜRKİYE

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fak., Elektrik-Elektronik Müh., 11210, Bilecik, TÜRKİYE

Özet- Yapılan bu çalışmada, farklı rüzgar hızı modellerinin Sabit Mıknatıslı Rüzgar Türbinindeki (SHRT) 3 faz arıza analizleri, bilgisayar ortamında PSAT benzetim programında gerçekleştirilmiştir. Rüzgar hızı modelleri olarak Weibull ve Birleşik Rüzgar Hızı modelleri kullanılmıştır. Bu benzetim çalışması Uluslararası Elektrik Elektronik Mühendisliğinin 14 baralı güç sisteminde gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerle, farklı generatör baralarına bağlı SHRT’de; Weibull ve Birleşik Rüzgar Hızı modellerinin 3 faz arızasındaki açılma hızı, açı ve generatör bara gerilim değişimleri üzerinde incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, Weibull dağılımı ve Birleşik rüzgar hızı modellerinin geçici durumlarda sistem üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler- SHRT, Weibull Rüzgar Hızı, Birleşik Rüzgar Hızı

INVESTIGATION OF EFFECTS OF DIFFERENT WIND SPEED MODELS ON FIXED-SPEED WIND TURBINE

Abstract- In this study, the analysis of three-phase failure of different wind speed models occurred on Fixed-Speed Wind Turbine (SHRT) was implemented in computer medium through the Power System Analysis Toolbox (PSAT) program. As models of wind speed, Weibull and Composite Wind Speed models are used. These analysis were implemented on which 14 bus power system of International Electrical and Electronics Engineering. In this analysis; angular speed, angle, changes of generator bus voltage occurred in the 3 phase fault of Weibull and Composite Wind Speed models on the SHRT connected to the different generator buses. In the result of the analyses, Weibull and Composite Wind Speed models were seen to be effective on the system in case of transient conditions.

Key Words- SHRT, Weibull Wind Speed, Composite Wind Speed

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya nüfusundaki artış ve bunun yanı sıra gelişmekte olan dünya sanayisi ve ekonomisi, insanoğlunun enerji ihtiyacını her geçen gün artırmaktadır. Kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil enerji kaynaklarının azalması, tüm dünya ülkelerini yenilenebilir enerji kaynaklarına

* kenandosoglu@duzce.edu.tr

yönlendirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en çok bilinen ve kullanılanlardan birisi de rüzgar enerjisidir [1]. SHRT maliyet açısından uygun olduğundan endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk imal aşamasında küçük güçlü olarak imal edilen rüzgar türbinleri son yıllarda büyük güçlü olarak yapılmaktadır. Büyük güçlü olarak yapılan rüzgar türbinleri şebeke ile birlikte çalışmasında çeşitli kararsızlık problemleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Şebekeye bağlı olarak çalışan SHRT'nin arıza analizinde elektriksel ve mekaniksel parametrelerin kontrolünde generatör dinamik modellemesi geliştirilmiştir. Arıza durumunda oluşan osilasyonların kısa zaman içerisinde ortadan kaldırıldığı yapılan çalışmalarda görülmüştür [2-4]. SHRT'de generatör modellerinin geliştirilmesinde kullanılan yöntemlerden biri de özdeğer analizidir. Geleneksel olarak kullanılan model ile dinamik modellemenin sistem kararlılığı değerlendirme amaç olarak karşılaştırma yapılmıştır [5-6]. Geçici kararlılık olaylarında pitch açısı kontrolü, kesici direnci ve enerji depolama sisteminin SHRT'deki üzerindeki etkiler üzerinde durulmuştur. Çeşitli kontrol modelleri ile gerilim kararlılığında iyileştirmeler sağlanmıştır [7-9]. Geçici kararlılık durumları için SHRT'de güç kalitesi problemini ortadan kaldırma için evirici kontrolü geliştirilmiştir [10-11]. Şebekeye bağlı çalışan SHRT'de devre dışı kalması esnasında kesicilerin açma kapama esnasında oluşan frekans değişimini farklı seviyelerde etkileşimleri incelenmiştir [12]. SHRT'de diğer önemli geçici kararlılık unsurlarından biride rüzgar hızı değişimleridir. Rüzgar hızı değişimlerinin SHRT üzerinde oluşturduğu etkiler bu çalışmada gösterilmesi amaçlanmıştır. Çok baralı güç sistemine bağlı olan SHRT'in 3 faz arızasında farklı rüzgar hızı modelleri ile kullanıldığı zaman generatör baralarına bağlı iken analizleri gerçekleştirilmiştir. SHRT'in farklı generatör baralarına bağlı olduğu durumlardaki açılma hızı, açısı ve generatör bara gerilim değişimleri karşılaştırılmıştır.

2. SABİT HIZLI RÜZGAR TÜRBİNİ (SHRT) (FIXED STEP WIND TURBINE)

Genelde Sincap Kafesli Asenkron generatörden oluşmaktadır. Sincap Kafesli Asenkron Generatörde geçici reaktans ve altgeçici reaktans hesaplamalarda ihmal edilerek genel hesaplamalar yapılmaktadır. Asenkron generatörün hız çalışma modunda daha çok senkron hızı bağlı olarak işlem gerçekleştirmektedir. Türbinin elektriksel moment değişimi rüzgar hızı değişimi ve güç eğrisine bağlı olarak elde edilmektedir. Genellikle bu sabit hızlı olarak rüzgar türbininin üretilmesi için kullanılan yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [13]. Rüzgar hızı modellerinden weibull hız dağılımı,

$$f_w(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada v rüzgar hızı, k rüzgar hızına bağlı bir katsayıdır. Weibull dağılımının ölçek parametresi olan c aynı zamanda rüzgar hızının birim referans değeridir. Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu ise,

$$F_w(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, rüzgar hızının, belli bir v değerinden küçük yada eşit gerçekleşme olasılığını verir. Ortalama rüzgar hızı (v_m) ve rüzgar hızının standart sapması'nın (σ), hesaplanmasında denklem 3 ve denklem 4 formülleri kullanılmaktadır.

$$v_m = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{c^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)\right]} \quad (4)$$

Burada gamma fonksiyonu,

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\alpha-1} dx \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır. Weibull dağılımına dayanarak, en büyük sıklığa sahip rüzgar hızı (v_{mod}) denklem 6'daki gibi hesaplanır.

$$v_{\text{mod}} = c \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{1/k} \quad (6)$$

Maksimum rüzgar hızı ($v_{\text{max } e}$),

$$v_{\text{max } e} = c \left(\frac{k+2}{k}\right)^{1/k} \quad (7)$$

şeklinde hesaplanır [14]. Birleşik rüzgar hızı modellemeleri ise ortalama rüzgar hızı (v_{wa}), rampa (v_{wr}), ani rüzgar (v_{wg}) ve türbülans (v_{wt}) oluşmaktadır. Birleşik rüzgar hızı hesaplaması denklem 8'de gösterilmiştir.

$$v_w(t) = v_{wa} + v_{wr}(t) + v_{wg}(t) + v_{wt}(t) \quad (8)$$

Zaman yönünden ortalama rüzgar hızı diğerlerinden bağımsızdır. Rampa değişim hızı hesaplaması denklem 9'da gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} t < T_{sr} &\Rightarrow v_{wr}(t) \leq 0 \\ T_{sr} < t < T_{er} &\Rightarrow v_{wr}(t) = A_{wr} \left(\frac{t - T_{sg}}{T_{eg} - T_{sg}}\right) \\ T_{er} < t &\Rightarrow v_{wr}(t) = A_{wr} \end{aligned} \quad (9)$$

Burada T_{eg} ve T_{sg} rüzgar hızının başlangıç ve bitiş süreleri, A_{wr} ani rüzgar hızının genliği olarak ifade edilmektedir. Ani değişim hızı hesaplaması denklem 10'da gösterilmiştir.

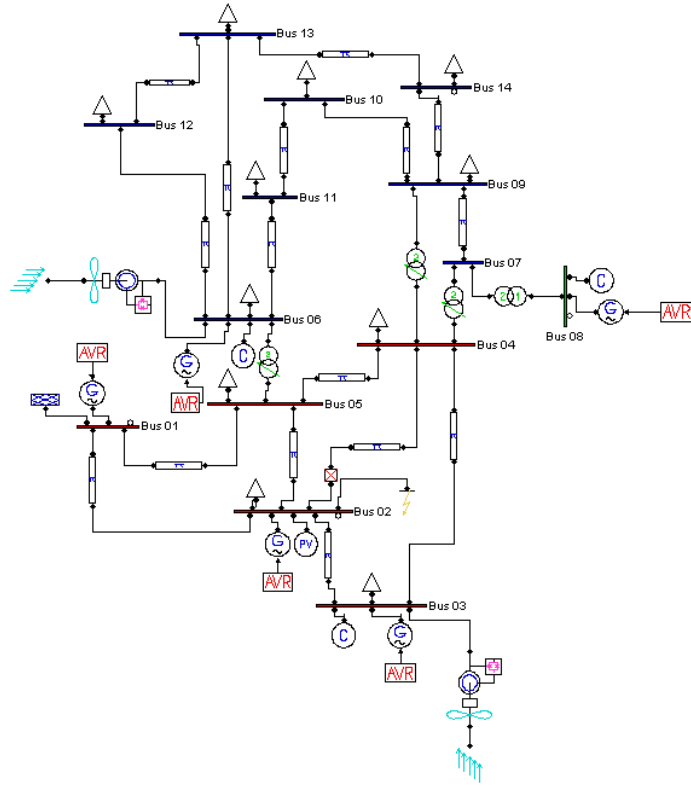
$$\begin{aligned} t < T_{sg} &\Rightarrow v_{wg}(t) \leq 0 \\ T_{sg} < t < T_{eg} &\Rightarrow v_{wg}(t) = \frac{A_{wg}}{2} \left(1 - \cos\left(2\pi \frac{t - T_{sg}}{T_{eg} - T_{sg}}\right)\right) \\ T_{eg} < t &\Rightarrow v_{wg}(t) = A_{wg} \end{aligned} \quad (10)$$

Rüzgar türbülans hızı değişiminde öncelikli olarak güç yoğunluk spektrumu hesaplanmaktadır [15].

3. BENZETİM ÇALIŞMASI (SIMULATON STUDY)

Oluşturulan 14 baral güç sisteminin devre modeli Şekil 1'de gösterilmiştir [16].

..: Farklı Rüzgar Hız Modellerinin Sabit Hızlı Rüzgar Türbini Üzerinde Oluşturduğu Etkilerin İncelenmesi:..

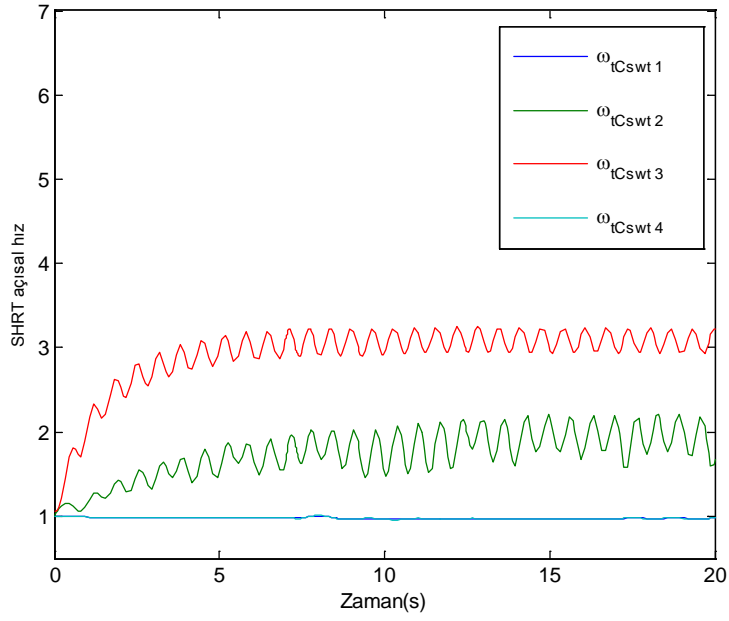


Şekil 1. SHRT ile IEEE 14 baralı güç sistemi (IEEE 14 buses power systems with SHRT)

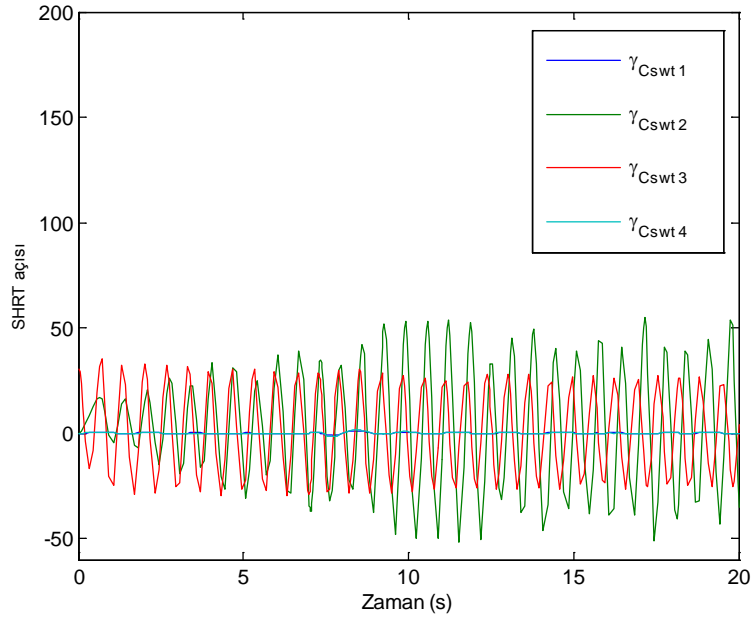
14 baralı bu güç sisteminde 1 numaralı bara sonsuz bara olarak kullanılırken, 2, 3, 6 ve 8 numaralı baralar generatör barası olarak kullanılmıştır. Diğer geri kalan 9 bara ise yük barası olarak kullanılmıştır. Bu sistemin 4-7, 4-8 ve 4-9 iletim hatlarında gerilimi düşüren transformatörler kullanılmıştır. 4-7 ve 4-9 nolu iletim hatları arasındaki transformatörlerde kademe değiştirme ve faz kaydırma işlemleri yapılmaktadır. Generatör baralarında generatörlerin güç kontrolünü sağlamada otomatik gerilim regülatörü kullanılmıştır. Analizi yapılacak olan bu güç sisteminde öncelikli olarak 2 numaralı generatör barasında 3 faz arızası oluşturulmuştur. 3 faz arızasının süresi 7 saniye ile 7.3 saniyeler arasında meydana gelmiştir. 2 numaralı ve 4 numaralı baralar arasında kullanılan kesici devresini 7 saniye ile 7.5 saniyeler arası açıp kapatmaktadır. 4 generatör barasına ayrı ayrı SHRT bağlanmıştır. SHRT'in gücü 5 MW olarak seçilmiştir. 2 analiz yöntemi ile bu benzetim çalışması incelenmiştir. İlk analizde 2, 3, 6 ve 8 numaralı baralarda weibull rüzgar hızı modeli kullanılırken, diğer analiz yönteminde birleşik rüzgar hızı modeli kullanılmıştır.

4. BENZETİM ÇALIŞMASI SONUÇLARI (RESULT OF SIMULATION STUDY)

Öncelikli olarak weibull rüzgar hızı modeline sahip SHRT'de 2,3,6 ve 8 numaralı baralara bağlandığı durumda 3 faz arızasındaki açılma hızı, açılma ve bara gerilim değişimleri şekil 2 ile şekil 4 arasında gösterilmiştir.

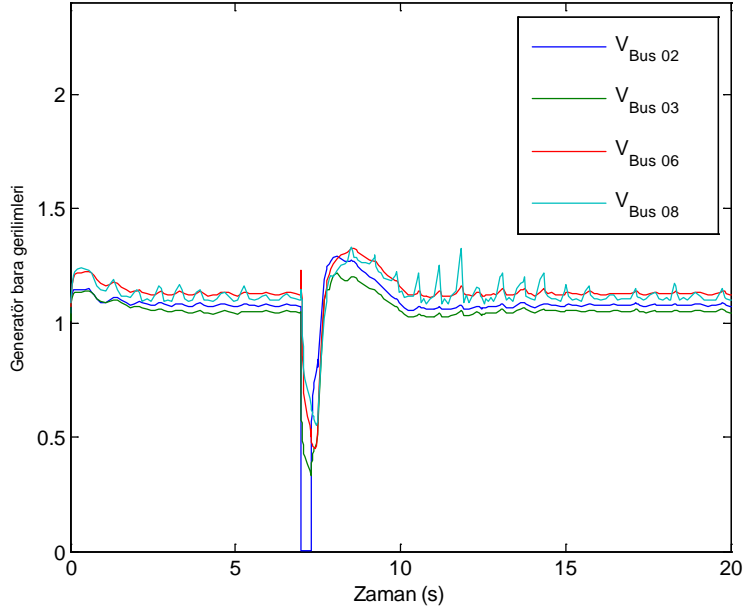


Şekil 2. SHRT’de weibull rüzgar hızında açısal hız değişimleri (Weibull wind speed in SHRT angular speed variations)



Şekil 3. SHRT’de weibull rüzgar hızında açı değişimleri (Weibull wind speed in SHRT angle variations)

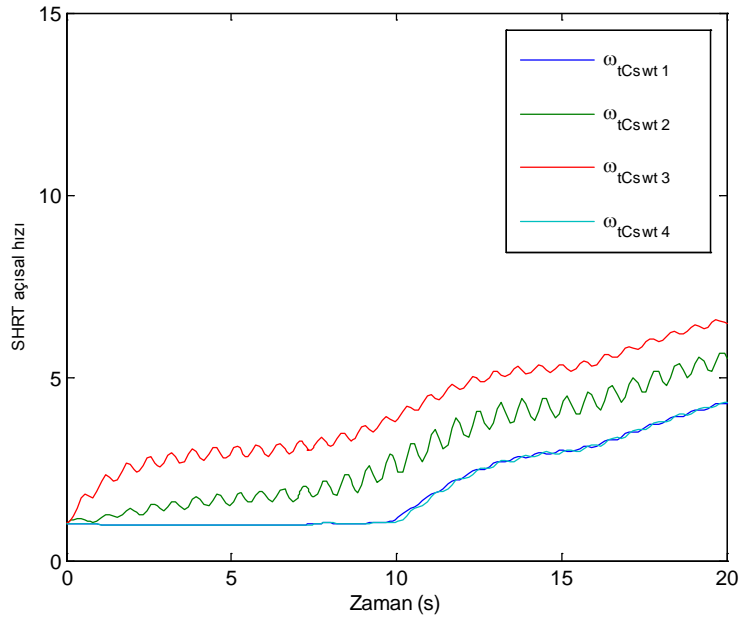
..: Farklı Rüzgar Hız Modellerinin Sabit Hızlı Rüzgar Türbini Üzerinde Oluşturduğu Etkilerin İncelenmesi:..



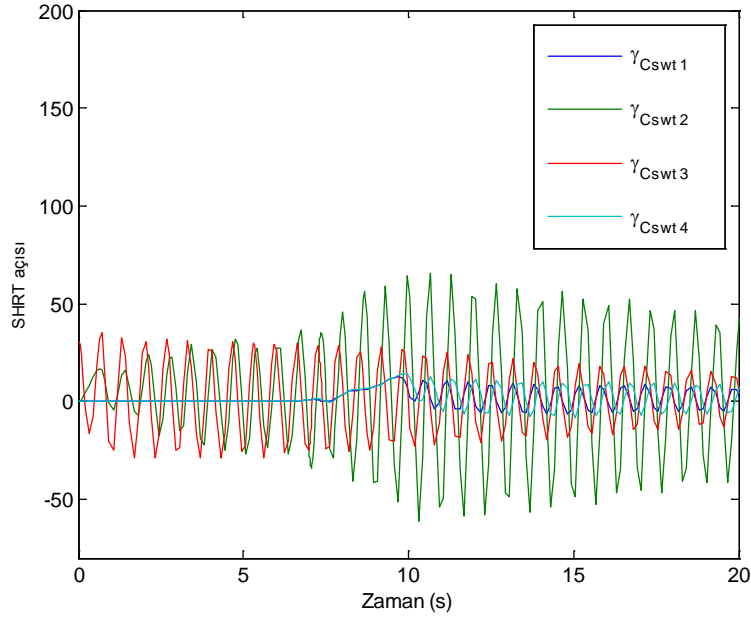
Şekil 4. SHRT’de weibull rüzgar hızında generatör bara gerilimleri (Weibull wind speed in SHRT generator bus voltage variations)

SHRT weibull rüzgar hızındaki benzetim çalışmasında 2 ve 3 numaralı rüzgar türbinlerinin açısal hız ve açı değişimlerinin kararsızlığa gittiği görülmektedir. Benzer şekilde generatör bara gerilimlerinde kararsız durumlarının olduğunu söyleyebiliriz.

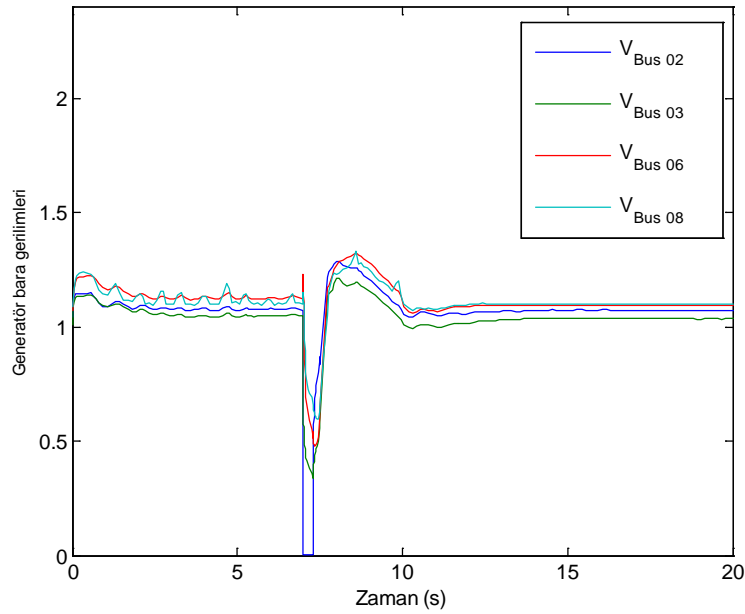
Daha sonraki analizde rüzgar hızı modelleri birleşik rüzgar hızı olarak değiştirilmiştir. 4 generatör barasına bağlı olan SHRT’nin 3 faz arıza analizinde açısal hız, açı ve bara gerilim değişimleri Şekil 5 ile Şekil 7 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5. SHRT’de birleşik rüzgar hızında açısal hız değişimleri (Composite wind speed in SHRT angular speed variations)



Şekil 6. SHRT’de birleşik rüzgar hızında açı değişimleri (Composite wind speed in SHRT angel variations)



Şekil 7. SHRT’de birleşik rüzgar hızında generatör bara gerilimleri (Composite wind speed in SHRT generator bus voltage variations)

SHRT birleşik rüzgar hızındaki benzetim çalışmasında 2 ve 3 numaralı rüzgar türbinlerinin açısal hız ve açı değişimlerinde osilasyonların arttığı görülürken, 1 ve 4 numaralı SHRT’de osilasyon oluşmadığı görülmüştür. Ayrıca generatör bara gerilimlerinde benzer şekilde 2 ve 3 numaralı SHRT’de sistemin kararsız olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

IEEE'nin 14 baralı güç sisteminde incelenen analiz sonucunda 3 faz arıza öncesinde 2 ve 3 numaralı baralarda açılma hız, açı ve gerilim değişimlerinde her iki rüzgar hız modelinde sistemde salınımların olduğu görülmüştür. Arıza sonrasında ise 2 ve 3 numaralı baralara bağlı olan SHRT'de 1 ve 4 numaralı SHRT'lere nazaran daha geç sürede kararlı hale geldiği görülmüştür. Weibull rüzgar hızı modelinde açılma hız değişimlerinde, osilasyonların arttığı ve belli bir değerde sabitlendiği görülürken, birleşik rüzgar hızı modelinde osilasyonlar ile değerin daha yükseldiği görülmüştür. Açı değişimlerinde ise 2 ve 3 numaralı baralara bağlı SHRT weibull ve birleşik rüzgar hızında benzer sonuçlar verirken, 1 ve 4 numaralı baralarda weibull hız modelinin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Generatör bara gerilimlerindeki değişimlerde ise birleşik rüzgar hızı modelinin weibull rüzgar hızından daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Birinç S.G., (2008). Değişken Hızlı Rüzgar Santrallerini Dinamik modellemesi ve karşılaştırılması, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, Türkiye.
- [2] Ledesma P., Usaola J., Rodriguez J. L. (2003). Transient stability of a fixed speed wind farm, *Renewable energy*, 28(9), 1341-1355.
- [3] Fernandez L. M., Saenz J. R., Jurado F. (2006). Dynamic models of wind farms with fixed speed wind turbines, *Renewable Energy*, 31(8), 1203-1230.
- [4] Papathanassiou S. A., Papadopoulos M. P. (2001). Mechanical stresses in fixed-speed wind turbines due to network disturbances, *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, 16(4), 361-367.
- [5] Fernandez R. D., Mantz R. J., Battaiotto P. E. (2007). Impact of wind farms on a power system. An eigenvalue analysis approach, *Renewable energy*, 32(10), 1676-1688.
- [6] Slootweg J. G., Kling W. L. (2003). The impact of large scale wind power generation on power system oscillations, *Electric Power Systems Research*, 67(1), 9-20.
- [7] Ali M. H., Wu B. (2010). Comparison of stabilization methods for fixed-speed wind generator systems, *Power Delivery, IEEE Transactions on*, 25(1), 323-331.
- [8] Senjyu T., Sakamoto R., Urasaki N., Funabashi T., Fujita H., Sekine H. (2006). Output power leveling of wind turbine generator for all operating regions by pitch angle control, *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, 21(2), 467-475.
- [9] Dusonchet L., Massaro F., Telaretti E. (2007). Transient stability simulation of a fixed speed wind turbine by Matlab/Simulink, *Clean Electrical Power, 2007. ICCEP'07. International Conference on*, 651-655.
- [10] Grabic S., Celanovic N., Katic V. A. (2008). Permanent magnet synchronous generator cascade for wind turbine application, *Power Electronics, IEEE Transactions on*, 23(3), 1136-1142.
- [11] Conroy J. F., Watson R. (2007). Low-voltage ride-through of a full converter wind turbine with permanent magnet generator, *Renewable Power Generation, IET*, 1(3), 182-189.
- [12] Slootweg J. G., Polinder H., Kling W. L. (2003). Representing wind turbine electrical generating systems in fundamental frequency simulations, *Energy conversion, IEEE transactions on*, 18(4), 516-524.
- [13] Rodríguez J. M., Fernández J. L., Beato D., Iturbe R., Usaola J., Ledesma P., Wilhelm J. R. (2002). Incidence on power system dynamics of high penetration of fixed speed and doubly fed wind energy systems: study of the Spanish case, *Power Systems, IEEE Transactions on*, 17(4), 1089-1095.
- [14] Kurban M., Kantar Y.M., Hocaoglu F.O., Weibull Dağılımı Kullanılarak Rüzgar Hız ve Güç Yoğunluklarının İstatistiksel Analizi, *Afyon Kocatepe Üniversite Fen Bilimleri Dergisi*, 7, 205-218.

- [15] Milano F., (2005). Documentation for PSAT version 1.3.4, 2005,[2007-12-30]. <http://www.Power.uwaterloo.ca/~fmilano/archive/psat-1.3.4.pdf>.
- [16] Milano F., (2005). An open source power system analysis toolbo, *IEEE Transactions on Power Systems*, 20, 1199-1206.