

FARKLI GÜÇ SİSTEMİ DENETLEYİCİ MODELLERİ İLE GEÇİCİ DURUM ANALİZİNİN İNCELENMESİ

M. Kenan DÖŞOĞLU^{1*}, Mahmut ÖZBAY¹, Mustafa DURSUN¹, Bayram KÜÇÜK¹, Gökhan POYRAZ²

¹Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

kenandosoglu@duzce.edu.tr, mahmutozbay@duzce.edu.tr, mustafadursun@duzce.edu.tr,
bayramkucuk@duzce.edu.tr

²Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

gokhan.povraz@bilecik.edu.tr

* M. Kenan DÖŞOĞLU

Özet

Yapılan bu çalışmada 14 baralı güç sisteminde farklı güç sistemleri kıyıcı tiplerinin geçici durumlardaki analizleri yapılmıştır. Bu benzetim çalışması Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT)'da gerçekleştirilmiştir. 14 baralı güç sisteminde hat kopması sonucu oluşan geçici durumlarda güç sistemleri denetleyicisi 1, güç sistemleri denetleyicisi 2 güç sistemleri denetleyicisi 3'ün sistem cevapları incelenmiştir. 14 baralı güç sisteminde, generatörlerin açışal hız değişimleri ve farklı baralardaki gerilim değişimleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde güç sistemleri denetleyicisi 2 modelinin geçici durumlara karşı daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güç Sistemi Denetleyici Modelleri, Hat Kopması, Geçici Durum

1. Giriş

Kararlılık güç sistemlerinde en önemli konusu olarak görülmektedir. Güç sistemlerinin karmaşık yapıda bulunması ve tüketicilerde sürekli yük talep değişiklikleri kararlılık problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Kararsızlık problemlerini ortadan kaldırmak için literatürde değişik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları irdelenecek olursa; Senkron generatörde farklı çalışma durumları için uyarım akım kontrol modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen uyarım akım kontrolü geçici durumlarda sistemi kısa süre içerisinde kararlı hale getirirken, osilasyonlar sönümlenmiştir [1-2]. Çok makinalı güç sistemlerinde diğer önemli konulardan biri senkron generatörün ani yük değişimlerine ve arızalara karşı sistemi kontrol etmesidir. Senkron generatörde uyarım kontrolünün yanısıra farklı otomatik gerilim regülatörleri ve farklı türbin yönetici modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu kontrol modelleri ile çok makinalı güç sistemlerinin gerilim, açı ve senkron makina açışal hızı üzerinde ne gibi etkileri olduğu kapsamlı olarak incelenmiştir [3-4]. Çok makinalı güç sisteminde hat kopması ve çeşitli arıza analizlerinde geliştirilmiş derece modelleri kullanılmıştır. Geliştirilen derece modellerinin senkron generator kısmında kullanılmasının açı ve gerilim kararlılığı açısından etkili sonuçlar verdiği ilgili çalışmalarda görülmüştür [5-7]. Bunun yanısıra yük barasına bağlı olan statik ve dinamik yük modellerinde güç sistemleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bunun için senkron generatörde farklı kontrol üniteleri geliştirilmiştir [8-9].

Bu çalışmada ise IEEE 14 baralı güç sisteminde senkron generatörlerde kullanılan farklı güç sistem denetleyicilerinin hat kopması esnasında sistem üzerinde oluşturmuş olduğu etkileri incelenmiştir. Güç sistem denetleyicisi olarak 3 farklı model kullanılmıştır. Güç sistem denetleyici modellerinin 14 baralı güç sisteminde, generatörlerin açışal hız değişimleri, ve farklı baralardaki gerilim değişimleri elde edilmiştir ve detaylı olarak yorumlanmıştır.

2. Senkron Generatör Modellemesi

14 baralı güç sisteminde kullanılan senkron generatörde 6. dinamik derece modeli kullanılmıştır. 6. dinamik derece modelinde d eksenine bir devre ve q eksenine iki devrenin ilave edilmesi ile elde edilmiştir. 6. dinamik derece modeli altı değişkenden oluşmaktadır. Bunlar; açı, açışal hız, q eksen geçici gerilim kaynağı, d eksen geçici gerilim kaynağı, q eksen alt geçici gerilim kaynağı, d eksen alt geçici gerilim kaynağıdır. 6. dinamik derece modelinin elde edilmesinde kullanılan ifadeler denklem 1 ve denklem 6 arasında verilmiştir.

$$\delta = f_b(\omega - 1) \quad (1)$$

$$\omega = (P_m - P_e - D(\omega - 1)) / M \quad (2)$$

$$\dot{e}_q = \left(-\dot{e}_q - \left(x_d - \dot{x}_d - \frac{T_{d0}''}{T_{d0}'} \frac{x_d''}{x_d'} (x_d - \dot{x}_d) \right) i_d + \left(1 - \frac{T_{AA}}{T_{d0}'} \right) v_f^* \right) / T_{d0}' \quad (3)$$

$$\dot{e}_d = \left(-f_s(e_d) + \left(x_q - \dot{x}_q - \frac{T_{q0}''}{T_{q0}'} \frac{x_q''}{x_q'} (x_q - \dot{x}_q) \right) i_q \right) / T_{q0}' \quad (4)$$



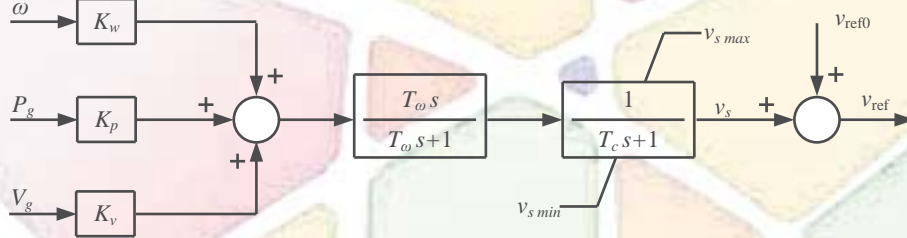
$$e_q'' = \left(-e_q'' + e_q' - \left(x_d' - x_d'' + \frac{T_{d0}''}{T_{d0}'} \frac{x_d''}{x_d'} (x_d' - x_d'') \right) i_d + \frac{T_{AA}}{T_{d0}'} v_f^* \right) / T_{d0}'' \quad (5)$$

$$e_d'' = \left(-e_d'' + e_d' + \left(x_q' - x_q'' + \frac{T_{q0}''}{T_{q0}'} \frac{x_q''}{x_q'} (x_q' - x_q'') \right) i_q \right) / T_{q0}'' \quad (6)$$

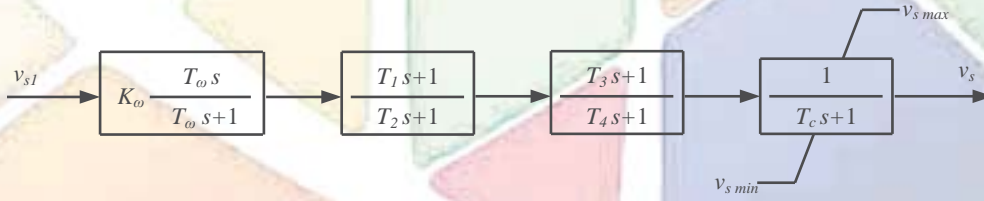
Burada, f_b temel frekans, P_m mekanik güç, M moment, D sönümleme katsayısı, x_d and x_q d-q eksen senkron reaktanslar, x_d' and x_q' d-q eksen senkron geçici reaktanslar, x_d'' and x_q'' d-q eksen senkron alt geçici reaktanslar, T_{d0} and T_{q0} d-q eksen açık devre geçici zaman sabiti, T_{d0}'' and T_{q0}'' d-q eksen açık devre alt geçici zaman sabiti, T_{AA} d-q eksen ilave kaçak zaman sabiti, i_d and i_q d-q eksen akımı, δ rotor açısı, w rotor hızı, v_f alan gerilimi, e_d' and e_q' d-q eksen geçici gerilim kaynağı, e_d'' and e_q'' d-q eksen alt geçici gerilim kaynağıdır [10].

3. Güç Sistemleri Denetleyici Modelleri

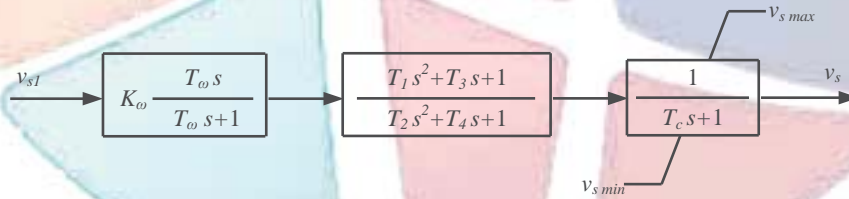
Güç sistem denetleyicisi genel olarak güç sistem osilasyonlarını kısa süre süre içerisinde bastırmak amaçlı olarak kullanılmaktadır. Güç sistemleri çıkış sinyalleri otomatik gerilim regülatörünün referans gerilimini ayarlamaktadır. Dahası çıkış sinyali sınırlayıcı ve sistem dinamiğini zaman sabitlerinin aldığı değerlere göre kontrol etmektedir. Bu çalışmada 3 güç sistem denetleyicisi modelleri üzerinde durulmuştur. Güç sistem denetleyicisi 1, güç sistem denetleyicisi 2 ve güç sistem denetleyicisi 3 modelleri Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Güç sistem denetleyici 1 modeli



Şekil 2: Güç sistem denetleyici 2 modeli



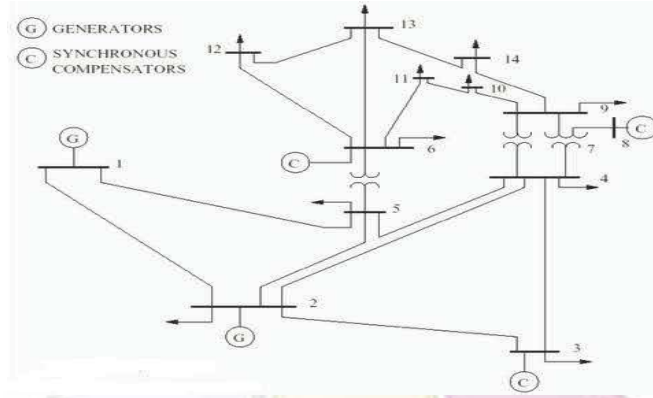
Şekil 3: Güç sistem denetleyici 3 modeli

Şekil 1'de açısal hız, aktif güç ve generator gerilimi giriş olarak kullanılmıştır. Transfer fonksiyon blokları işleminden referans gerilim değeri elde edilmektedir. Şekil 2'deki güç sistem denetleyicisi 2 ve şekil 3'deki güç sistem denetleyicisi 3 modelleri benzer model yapısına sahiptir. Ancak güç sistem denetleyicisi 3 modeli blok sayısı daha az ve güç sistem denetleyicisi modelindeki blokların bazılarını birleştirerek kullanılmaktadır. Güç sistem denetleyicisi 2 ve güç sistem denetleyicisi 3 modelinde girişler ölçülen gerilim değerleri, çıkışlar ise istenen gerilim değerleri olarak isimlendirilmiştir [10-11].

4. Benzetim Modeli

Yapılan çalışmada IEEE 14 baralı güç sisteminde analiz edilmiştir. Bu analizde Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) kullanılmıştır [10]. 14 baralı güç sisteminin devre modeli Şekil 4'de gösterilmiştir.



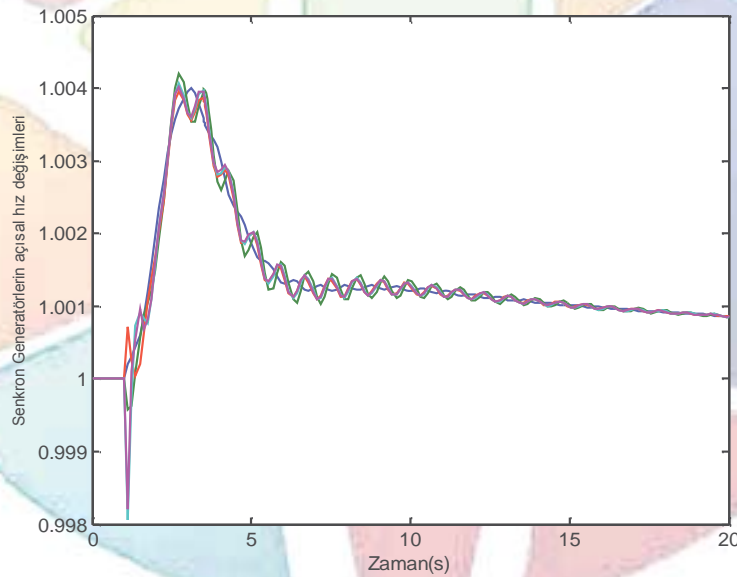


Şekil 4: 14 baralı güç sistemi

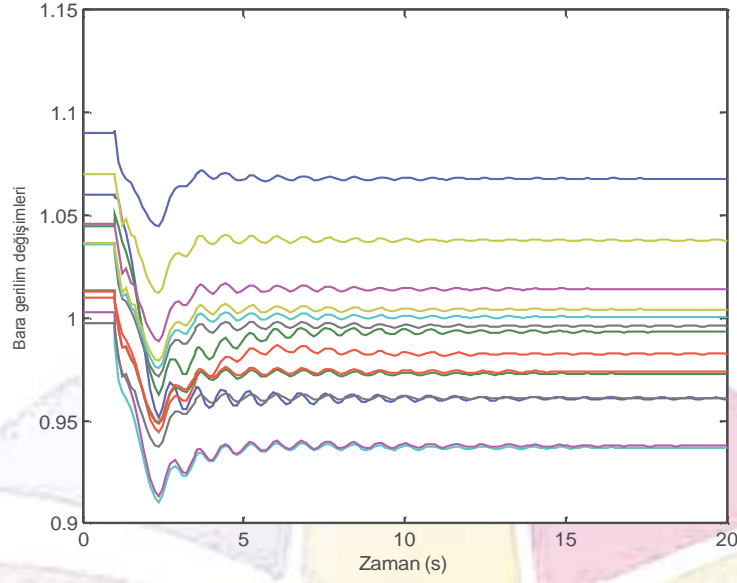
14 baralı bu güç sisteminde 1 numaralı bara salınım barası olarak kullanılırken, 2, 3, 6 ve 8 numaralı baralar jeneratör barası olarak kullanılmıştır. Diğer geri kalan 9 bara ise yük barası olarak kullanılmıştır. Bu sistemin 5-6, 4-8 ve 4-9 iletim hatlarında gerilimi düşüren transformatörler kullanılmıştır. 5-6 ve 4-9 numaralı iletim hatları arasındaki transformatörlerde kademe değiştirme ve faz kaydırma işlemleri yapılmaktadır. 4-8 numaralı transformatör 3 sargılı olarak kullanılmıştır. 2 ve 4 numaralı baralar arasında kesicinin açılması sonucu oluşan kararsızlık durumu bu çalışmada incelenmiştir. Benzetim çalışması üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, ikinci aşamada ve üçüncü aşamada sırasıyla sistemde kullanılan 1 numaralı salınım baradaki senkron jeneratörlerde güç sistem denetleyicisi 1, güç sistem denetleyicisi 2 ve güç sistem denetleyicisi 3 modelleri kullanılmıştır. Ayrıca IEEE 14 baralı güç sisteminde güç sistem denetleyiciler ile birlikte otomatik gerilim regülatör tip 2 ve türbin yöneticisi tip 1 modelleride senkron jeneratörlerde kullanılmıştır. Her bir durum için senkron jeneratör açılma hızı, senkron jeneratör aktif güç ve bara gerilim değişimleri incelenmiştir.

5. Benzetim Modeli Sonuçları

14 baralı güç sisteminde senkron jeneratörde güç sistemleri denetleyici 1 modelinin türbin kullanılması durumunda geçici durum analizi ilk aşamada incelenmiştir. Senkron jeneratörün açılma hızı ve bara gerilim değişimleri Şekil 5 ile Şekil 6'da gösterilmiştir.

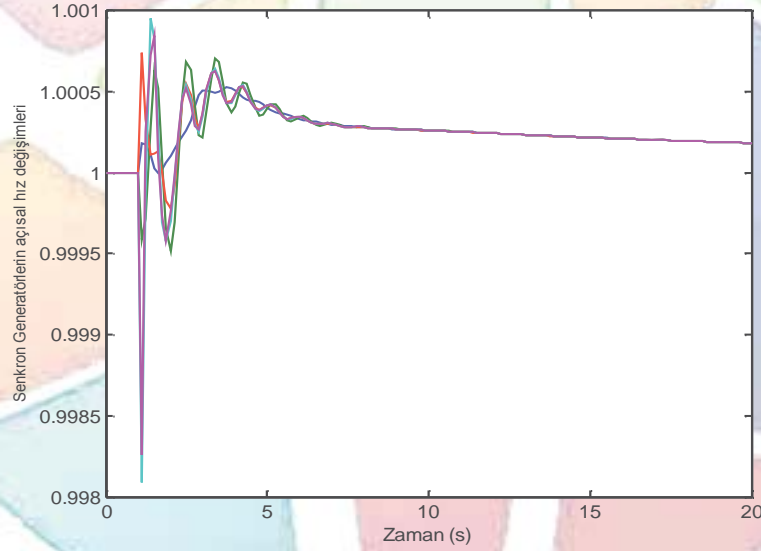


Şekil 5: Güç sistemleri denetleyici 1 modelinde senkron jeneratörlerin açılma hızı değişimleri

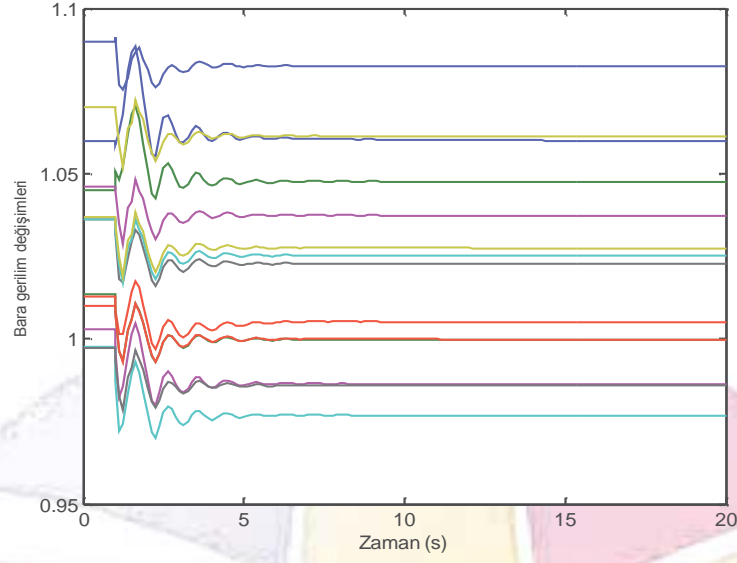


Şekil 6: Güç sistemleri denetleyici 1 bütün baralardaki gerilim değişimleri

Güç sistemleri denetleyici 1 modelinin kullanılması ile senkron generatörlerin açısız hız değişimlerinin yaklaşık olarak 15 saniyede kararlı hale geldiği görülmüştür. Bütün bara gerilimlerinin yaklaşık olarak 12 saniyede kararlı hale geldiği görülmüştür. İkinci aşamada 14 baralı güç sisteminde senkron generatörde güç sistemleri denetleyici 2 kullanılması durumunda geçici durum analizi incelenmiştir. Senkron generatörün açısız hız ve bara gerilim değişimleri Şekil 7 ile Şekil 8 arasında gösterilmiştir.

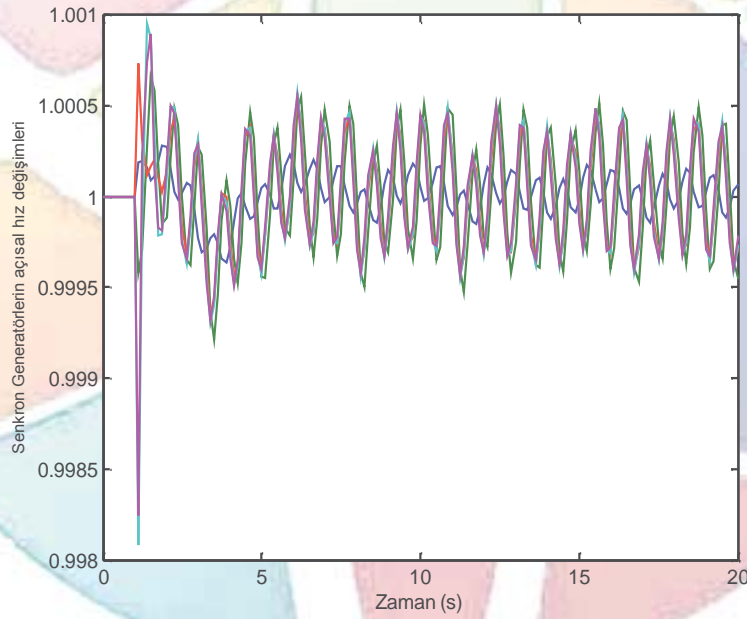


Şekil 7: Güç sistemleri denetleyici 2 modelinde senkron generatörlerin açısız hız değişimleri

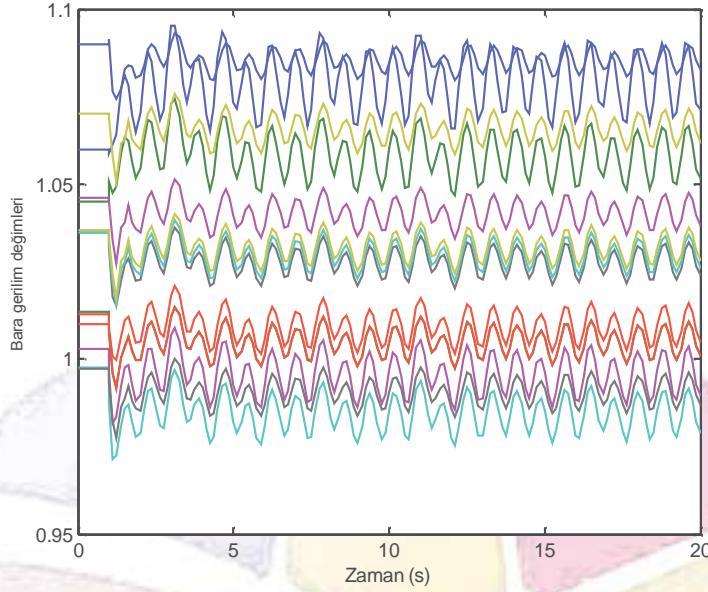


Şekil 8: Güç sistemleri denetleyici 2 bütün baralardaki gerilim değişimleri

Güç sistemleri denetleyici 2 modelinin kullanılması ile senkron generatörlerin açılma hız değişimlerinin yaklaşık olarak 8 saniyede kararlı hale geldiği görülmüştür. Bütün bara gerilimlerinin yaklaşık olarak 9 saniyede kararlı hale geldiği görülmüştür. Üçüncü aşamada 14 baralı güç sisteminde senkron generatörde güç sistemleri denetleyici 2 kullanılması durumunda geçici durum analizi incelenmiştir. Senkron generatörün açılma hız ve bara gerilim değişimleri Şekil 9 ile Şekil 10 arasında gösterilmiştir.



Şekil 9: Güç sistemleri denetleyici 3 modelinde senkron generatörlerin açılma hız değişimleri



Şekil 10: Güç sistemleri denetleyici 3 bütün baralardaki gerilim değişimleri

Güç sistemleri denetleyici 3 modelinin kullanılması ile senkron generatörlerin açılma hız değişimlerinin sürekli olarak kararsız halde olduğu görülmüştür. Benzer şekilde bütün bara gerilimlerinin de sürekli olarak kararsız olduğu ve salınımların değişmediği gözlemlenmiştir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada 14 baralı güç sisteminde senkron generatörlerde farklı güç sistemleri denetleyici modellerinin etkileri incelenmiştir. Güç sistemleri denetleyici 1 ve güç sistemleri denetleyici 2 ve güç sistemleri denetleyici 3 modellerinin sistemde hat kopması esnasında oluşan etkiler üzerindeki tepkileri karşılaştırılmıştır. 14 baralı güç sisteminde senkron generatörlerde güç sistemleri denetleyici 2 modelinin kullanılmasının daha etkili olduğu bu çalışmada görülmüştür. Her üç modelin karşılaştırılmasında güç sistemleri denetleyici 2 modelinin açılma hız ve bara gerilim değişimlerinde sistemin daha kısa zamanda kararlı hale geldiği görülmüştür. Ayrıca sistemdeki salınımların sönümlenmesinde de güç sistemleri denetleyici 2 modelinin etkili olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, en kötü sistem cevabını veren güç sistemleri denetleyicisi 3 modeli olmuştur.

7. Kaynakça

- [1] Patin, N., Vido, L., Monmasson, E., Louis, J. P., Gabsi, M. and Lecrivain, M., "Control of A Hybrid Excitation Synchronous Generator for Aircraft Applications", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(10), 3772-3783, 2008.
- [2] Kumar, P. and Kothari, D. P., "Recent Philosophies of Automatic Generation Control Strategies in Power Systems", *IEEE transactions on power systems*, 20(1), 346-357, 2005.
- [3] Döşoğlu, M. K., "Farklı Otomatik Gerilim Regülatörünün Çok baralı Güç Sistemindeki Etkilerinin İncelenmesi", *1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences*, Afyon, Turkey, 21-22 April, 498-502, 2016.
- [4] Dursun, M., Döşoğlu, M. K., Poyraz, G. and Küçük, B., "Transient Stability Analysis with Different Turbine Governor Models in Power Systems", *IMCOFE 2017*, Roma, Italy, 23-25 August, 255-262, 2017.
- [5] Azmy, A. M. and Erlich, I., "Impact of Distributed Generation on The Stability of Electrical Power System", *IEEE In Power Engineering Society General Meeting 2005*, San Francisco, USA, 16 June, 1056-1063, 2005.
- [6] Kundur, P., Paserba, J., Ajarapu, V., Andersson, G., Bose, A., Canizares, C. and Cutsem, T. V., "Definition and Classification of Power System Stability IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions", *IEEE Transactions on Power Systems*, 19(3), 1387-1401, 2004.
- [7] Döşoğlu, M. K., Güvenç, U., Poyraz, G. and Küçük, B., "Senkron Generatörlerin Farklı Derece Modelindeki Analizlerinin İncelenmesi", *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 4(2), 72-80, 2015.
- [8] Kosterev, D., Meklin, A., Undrill, J., Lesieutre, B., Price, W., Chassin, D. and Yang, S., "Load Modeling in Power System Studies: WECC Progress Update", *IEEE In Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century 2008*, Pittsburgh, USA, 20-24 July, 1-8, 2008.
- [9] Renmu, H., Jin, M. and Hill, D. J., "Composite Load Modeling Via Measurement Approach", *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(2), 663-672, 2006.



[10] Milano, F., Documentation for PSAT version 1. 3. 4., [Online]. Available: <http://www.Power.uwaterloo.ca/fmilano/archive/psat-1.3.4.pdf>, 2005.

[11] Milano, F., *Power System Analysis Toolbox*, Version 1.3.4, Software and Documentation, <http://faraday1.ucd.ie/psat.html>, 2005.

