



Ulusallararası Teknolojik Bilimler Dergisi

International Journal of Technological Sciences



Orijinal Makale/Research Article

Güç sistemlerinde farklı güç sistemi kararlı kılıcsı modellerin sekonder gerilim kontrolü üzerindeki etkileri

M. Kenan Döşoğlu^{ID*1}, Enes Kaymaz^{ID2}

^{1,2}Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliđi Bölümü, Düzce, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Farklı GSKK modelleri
Sekonder gerilim kontrolü
OGR modeli
PSAT
Geçici kararlılık

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 17.03.2023
Kabul Tarihi: 25.05.2023

Öz: Güç sistemleri hat kopması ve kısa devre gibi geçici durumlara karşı korunmasıdır. Kararsızlık problemlerini en kısa süre içerisinde ortadan kaldırmak için çeşitli modeller kullanılmaktadır. Özellikle de senkron generatör denetleyici kısımlarında Güç Sistemi Kararlı Kılıcsı (GSKK) yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada IEEE'nin 14 baralı sisteminde farklı GSKK modellerinin sekonder gerilim kontrolü ile beraber kullanılması ile geçici durum kararlılığı detaylı olarak incelenmiştir. Buna ek olarak, farklı GSKK modellerinin ve sekonder gerilim kontrolünün koordineli olarak çalışması için Otomatik Gerilim Regülatörü (OGR)'nin en uygun modeli ile beraber kullanımı düşünülmektedir. Merkezi alan kontrolü ve küme kontrolünden oluşan sekonder gerilim kontrolünün kullanımı için pilot bara belirlenmiş olup, senkron generatörde OGR ve GSKK modellerinin koordinasyon kontrolünün sağlanması amaçlanmıştır. Bu çalışma Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) kullanılarak analiz edilmiştir. Farklı GSKK modellerinin kullanılması ile senkron generatör açılma hız değişimleri, bara gerilim profilleri ve senkron generatör aktif-reaktif güç değişimleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda GSKK 2 modelinin diğer modellere göre kısa süre içerisinde sistem kararlılığını sağladığı ve salınımları azalttığı görülmüştür.

Atıf için/To Cite:

Döşoğlu, M.K. Kaymaz E. Güç Sistemlerinde Farklı Güç Sistemi Kararlı Kılıcsı Modellerin Sekonder Gerilim Kontrolü Üzerindeki Etkileri. Ulusallararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 15(2), 49-58, 2023.

Effects on secondary voltage control of different power system stabilizer models in power systems

Keywords

Different PSS models
Secondary voltage control
AVR model
PSAT
Transient stability

Article history:

Received: 17.03.2023
Accepted: 25.05.2023

Abstract: Power systems are vulnerable to transients such as line contingency and short circuit. Various models are used to eliminate instability problems as soon as possible. In particular, the Power System Stabilizer (PSS), which is one of the synchronous generator controller models, is widely used. In this study, the transient stability of IEEE's 14 bus system was investigated in detail by using different PSS models together with secondary voltage control. In addition, it is considered to use the Automatic Voltage Regulator (AVR) together with the most suitable model for the coordinated operation of different PSS models and secondary voltage control. The pilot bus has been determined for the use of secondary voltage control consisting of central area control and cluster control, and it is aimed to provide coordination control of AVR and PSS models in the synchronous generator. This study was analyzed using the Power Systems Analysis Program (PSAT). By using different PSS models, synchronous generator angular speed changes, bus voltage profiles, and synchronous generator active-reactive power changes were investigated. As a result of the study, it was seen that the PSS 2 model provided system stability and reduced oscillations in a short time compared to other models.

1. Giriş

Güç sistemlerinde geçici kararlılık durumlarında çalışma limitlerinin ayarlanması ve sistem güvenliğinin sağlanmasında öncelikli olarak gerilim kontrolünün sağlanması gerekmektedir. Gerilim kontrolünde en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi de sekonder gerilim kontrolüdür. Sekonder gerilim kontrolü pilot barada referansa bağlı olarak merkezi alan kontrolü ve küme kontrolünün OGR model ile koordineli çalışması olarak tanımlanmaktadır. Çok Makineli bir güç sisteminde iletim hattında empedans kontrolünü sağlamak için sekonder gerilim kontrolü kullanılmaktadır. Pilot baranın referans değeri belirlenerek kullanılan merkezi sekonder gerilim kontrolü ile farklı analiz yaklaşımları ile detaylı olarak gösterilmiştir [1]. Merkezi sekonder gerilim kontrolünün farklı bir yaklaşımı ise kritik bara gerilim profilinin belirlenmesi işlemidir. Kritik bara gerilim profili her bölgedeki yüklere uygulanan bozulmalara karşı bara gerilim duyarlılığına dayalı olarak bulunmaktadır. Sekonder gerilim kontrolünde farklı denetleyici modelleri kullanılarak oluşabilecek olumsuz durumların önceden kestirimi ile sistem kararlılığı sağlanmaktadır [2,3]. Çok makineli güç sisteminde sekonder gerilim kontrolü kullanılarak pilot bara seçimi fazör ölçüm ünitesi ile belirlenmektedir. Farklı noktalardaki farklı fazör ölçüm birimlerinin optimal yerleşim yerleri belirlenerek geçici kararlılık durumlarında parametreler üzerinde oluşan salınımların sekonder gerilim kontrolü sayesinde sönümlenmesi sağlanmıştır [4,5]. Sekonder gerilim kontrolü güç sistemlerinin bazı çalışma koşullarında yetersiz kalabilmektedir. Bunlardan birisi kompanzasyon düşüş oranıdır. Kompanzasyon düşüşünü telafi etmek için statik ve dinamik kompanzasyon sistemleri sekonder gerilim kontrolü ile beraber koordineli bir şekilde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [6]. Kompanzasyon düşüş oranını yükseltmek için güç elektroniği tabanlı kompanzasyon sistemi Esnek AC İletim Sistemi (FACTS) elemanlarından Statik Senkron Kompanzator (STATCOM) ve Statik Var Kompanzator (SVC) etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Geçici durum esnasında gerilim kontrolünün sağlanmasında STATCOM ve SVC'nin sekonder gerilim kontrolü ile beraber kullanılmasının etkili sonuçlar verdiği görülmüşken, bara gerilim profillerinin de iyileştiği ilgili çalışmalarda görülmektedir [7-9]. Merkezi alan kontrolü ve küme kontrolünden oluşan sekonder gerilim kontrolü, OGR modeli ile beraber kullanılmaktadır. Ancak OGR modelinin sekonder gerilim kontrolü ile koordineli çalışmasında uygun parametrelerin belirlenmesi çok önemlidir. OGR'nin uygun parametrelerin belirlenmesi sayesinde sekonder gerilim kontrolünün çok makineli güç sisteminde istenilen düzeyde sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir [10, 11]. Dahası çok makineli güç

sistemlerinde sekonder gerilim kontrolüne uygun parametrelerin belirlenmesine destek olmak için destek üçüncü gerilim kontrolü kullanılmaktadır. Hem sekonder gerilim kontrolü hem de üçüncü gerilim kontrolünün geçici durumlar karşısında koordineli çalışması ile sistem zaman cevabının hızlı olduğu ve sistemin kısa süre içerisinde kararlı bir hal aldığı ilgili çalışmalarda görülmektedir [12,13]. Son yıllarda kullanımı yaygın olan rüzgar türbinlerinin şebekeye bağlı olarak çalışmasında sekonder gerilim kontrolünün kullanımı popüler olmaya başlamıştır. Rüzgar türbinlerinin şebekeye bağlı olarak çalışmasında geçici durum çalışmaları için sekonder gerilim kontrolünün kullanımı çok önemlidir. Senkron generatör ve rüzgar türbinin koordineli çalışmasında OGR ile sekonder gerilim kontrolünün kullanılmasının gerilim kararlılığı açısından istenilen düzeyde sonuçlar verdiği görülmektedir [14-16].

Çok makineli güç sistemlerinde kararlılık durumunun daha iyi sağlanması ve sistemin daha güvenli çalışması için senkron generatörde GSKK kullanımı çok önemlidir. Özellikle de GSKK'nın OGR ile birlikte kullanılması benzetim çalışmasında sistemin daha hızlı olarak kararlı olması ve salınımların bastırılması istenilen bir durumdur. Özellikle literatürde GSKK ve OGR'nin birlikte kullanılmasının, küçük sinyal kararlılığı üzerinde oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmektedir [17]. Bu geliştirmeden yola çıkarak GSKK ve OGR'nin çok makineli güç sisteminde sekonder gerilim kontrolünde beraber kullanılması literatüre bir yenilik olarak görülmektedir. 3 farklı GSKK modelinin OGR modeli ile birlikte kullanılması durumu incelenerek, karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalar detaylı olarak yorumlanmıştır.

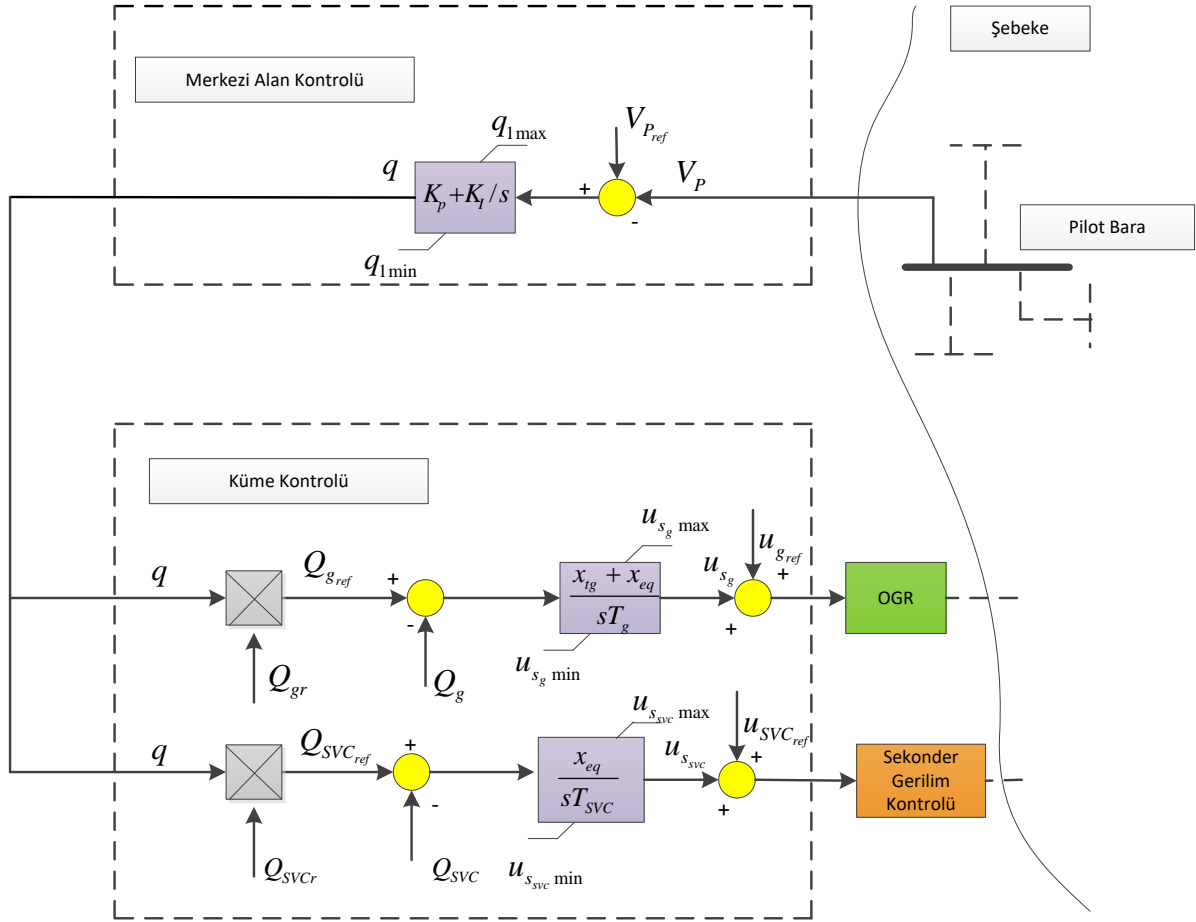
Bu çalışmada bölüm 2'de sekonder gerilim kontrolü detaylı olarak verilirken, bölüm 3'de GSKK ve OGR modellerine yer verilmiştir. Bölüm 4'de benzetim çalışması ve benzetim çalışması sonuçları verilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar kısmı makalede gösterilmiştir.

2. Sekonder Gerilim Kontrolü

Senkron generatörde kullanılan sekonder gerilim kontrolü merkezi alan kontrolü ve küme kontrol modelden oluşmaktadır. Sekonder gerilim kontrolü modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. Pilot baradan bağlantı direkt olarak merkezi alan kontrolü kısmına geçmektedir. Merkezi alan kontrolü çıkışı hem küme kontrolü hem de sekonder gerilim kontrolüne girmektedir. Bunların çıkışları senkron generatör kısmına girmektedir. Bu sekonder gerilim kontrolünün yanı sıra OGR modelinin bulunduğu kısma GSKK modeli de ilave edilmiştir. OGR modeli ve GSKK modeli senkron generatöre ardışıl olarak bağlanmıştır. Hem merkezi

alan kontrolünün hem de küme kontrolünün koordineli çalışması ile senkron generatöre bağlı bulunan OGR modellerin geçici durum esnasındaki kontrolleri sağlanmaktadır. Sekonder gerilim kontrolü için ayrıca bir pilot bara kullanılmaktadır. Bu çalışmada pilot bara IEEE 14 baralı sistemde 14 numaralı bara olarak

belirlenmiştir [18]. Pilot baradaki gerekli bilgiler alınarak sekonder gerilim kontrolünü oluşturulan merkezi alan kontrolü ve küme kontrolüne aktarılmaktadır. Küme kontrol kısmında Oransal Integral (PI) denetleyici kullanılmaktadır.



Şekil 1. Sekonder gerilim kontrolü modeli

Sekonder gerilim kontrolünde kullanılan ifadeler Denklem 1 ile Denklem 4 arasında gösterilmiştir.

$$\frac{dq}{dt} = K_I (V_{Pref} - V_P) \quad (1)$$

$$q = q_1 + K_P (V_{Pref} - V_P) \quad (2)$$

$$\frac{dv_{Sg}}{dt} = \frac{1}{T_g} (x_{tg} + x_{eq}) \times (Q_{gr} q - Q_g) \quad (3)$$

$$\frac{dv_{SVC}}{dt} = \frac{1}{T_{SVC}} x_{eqSVC} (Q_{SVCr} q - Q_{SVC}) \quad (4)$$

Burada, v_{Sg} ve v_{SVC} OGR ve sekonder gerilim kontrolü için çıkış sinyali, x_{tg} generatöre bağlanan transformör reaktansı x_{eq} ve x_{eqSVC} generatör ve pilot baranın hesaplanan eşdeğer reaktansı, V_{Pref} referans pilot bara gerilimi, V_P pilot bara gerilimi, K_I ve K_P denetleyici kazancı ve kontrol kazancı, q maksimum ve minimum çıkış sinyali, q_1 durum depişkenu, T_g ve T_{SVC} generatör ve sekonder gerilim kontrol katsayılarıdır. MAK ve KK modelde anti wind-up sınırlandırıcı kullanılmaktadır.

3. GSKK ve OGR Modelleri

Güç sistemi kontrol mekanizmalarından olan güç sistemi kararlı kılıcısının (GSKK) asıl kullanım amacı geçici durumlarda senkron generatörde kullanılarak güç sisteminde oluşan salınımları sönmüleyerek sistemi kısa süre içerisinde kararlı hale getirmektir. 3

farklı GSKK modeli kullanılmaktadır. Bu GSKK modellerinin matematiksel eşitlikleri Denklem 5 ile Denklem 14 arasında gösterilmiştir.

$$\dot{v}_1 = -(K_\omega \omega + K_p P_g + K_v V_g + v_1) / T_\omega \quad (5)$$

$$\dot{v}_s = (K_\omega \omega + K_p P_g + K_v V_g + v_1 + v_s) / T_e \quad (6)$$

$$\dot{v}_1 = -\frac{K_\omega V_{SI} + v_1}{T_\omega} \quad (7)$$

$$\dot{v}_2 = \frac{1}{T_2} \left[\left(1 - \frac{T_1}{T_2} \right) (K_\omega V_{SI} + v_1) - v_2 \right] \quad (8)$$

$$\dot{v}_3 = \frac{1}{T_4} \left\{ \left(1 - \frac{T_3}{T_4} \right) \left[v_2 + \frac{T_1}{T_2} (K_\omega V_{SI} + v_1) \right] - v_3 \right\} \quad (9)$$

$$\dot{v}_s = \frac{1}{T_e} \left\{ v_3 + \frac{T_3}{T_4} \left[v_2 + \frac{T_1}{T_2} (K_\omega V_{SI} + v_1) \right] - v_s \right\} \quad (10)$$

$$\dot{v}_1 = -\frac{K_\omega V_{SI} + v_1}{T_\omega} \quad (11)$$

$$\dot{v}_2 = \frac{1}{T_4} v_3 + \frac{1}{T_4} \left(T_1 - T_2 \frac{T_3}{T_4} \right) (K_\omega V_{SI} + v_1) \quad (12)$$

$$\dot{v}_3 = -v_2 - \frac{T_2}{T_4} v_3 + \left[1 - \frac{T_3}{T_4} - \frac{T_2}{T_4} \left(T_1 - T_2 \frac{T_3}{T_4} \right) \right] (K_\omega V_{SI} + v_1) \quad (13)$$

$$\dot{v}_s = \frac{1}{T_e} \left[v_2 + \frac{T_3}{T_4} (K_\omega V_{SI} - v_1) - v_s \right] \quad (14)$$

Bu matematiksel ifadelerde; v_1 , v_2 ve v_3 , durum değişkenleri olup, v_s , PSS'nin çıkış sinyali ve P_g PSS'nin bağlı olduğu durumdaki aktif güç olarak ifade edilir. Ayrıca, V_g generatör gerilimi, K_v gerilim kazancı, K_p aktif güç kazancı, K_ω , PSS kazancı, T_1 , T_2 , T_3 ve T_4 zaman sabiti, T_e Anti-windup zaman sabiti ve T_ω arındırma sabitidir [19,20].

OGR literatürde görüldüğü gibi sekonder gerilim kontrolü ile beraber kullanılmaktadır. OGR'nin asıl kullanım amacı senkron generatörü çalışma koşullarına bağlı olarak referans geriliminde tutmaktır. Sürekli olarak çalışma koşullarına göre gerilim kontrolünü kullanarak çıkışını günceller ve referans gerilim ile karşılaştırma yapar. Referans gerilim değeri kullanıldığı sistem ve sürekli-geçici durum çalışmasına göre farklılık gösterebilir. Sistemin çalışma koşullarında bir değişim olduğu durumda karşılaştırma sonucuna göre bir hata sinyali oluşturarak gerilimi değiştirir. OGR'nin 3 farklı modeli kullanılmaktadır. Bu çalışmada diğer modellere göre daha iyi sonuç veren

OGR 2 modeli tercih edilmiştir [11]. OGR 2 modelinin matematiksel eşitlikleri Denklem 15 ile Denklem 18 arasında gösterilmiştir.

$$\frac{dv_{r1}}{dt} = \frac{1}{T_a} \left[K_a \left(v_{ref} - v_m - v_{r2} - \frac{K_f}{T_f} v_f \right) - v_{r1} \right] \quad (15)$$

$$\frac{dv_m}{dt} = \frac{V - v_m}{T_r} \quad (16)$$

$$\frac{dv_f}{dt} = -\frac{1}{T_e} \left[v_f \left(1 + S_e(v_f) \right) - v_r \right] \quad (17)$$

$$\frac{dv_{r2}}{dt} = -\frac{1}{T_f} \left(\frac{K_f}{T_f} v_f + v_{r2} \right) \quad (18)$$

Burada, v_f geri besleme gerilimi, v_m ölçülen gerilim, v_r AVR gerilimi, $v_{r,min}$ ve $v_{r,max}$ AVR gerilimine ait üst sınır olarak ifade edilir. v_{r1} ifadesi yükseltici durum değişkeni, v_{r2} ifadesi dengeleyici durum değişkeni, ve v_f geri besleme gerilimidir. Ayrıca, μ_o regülatör kazancını ifade ederken, $T_1 - T_2 - T_3$ ve T_4 ifadeleri AVR zaman sabitlerini, T_e alan devresi sabitini, T_r ölçüm süresi sabitini, S_e uyarıcının doygunluk fonksiyonunu, U_o ilk alan gerilimini ve U_o bara offset gerilimini temsil eder.

4. Benzetim Çalışması

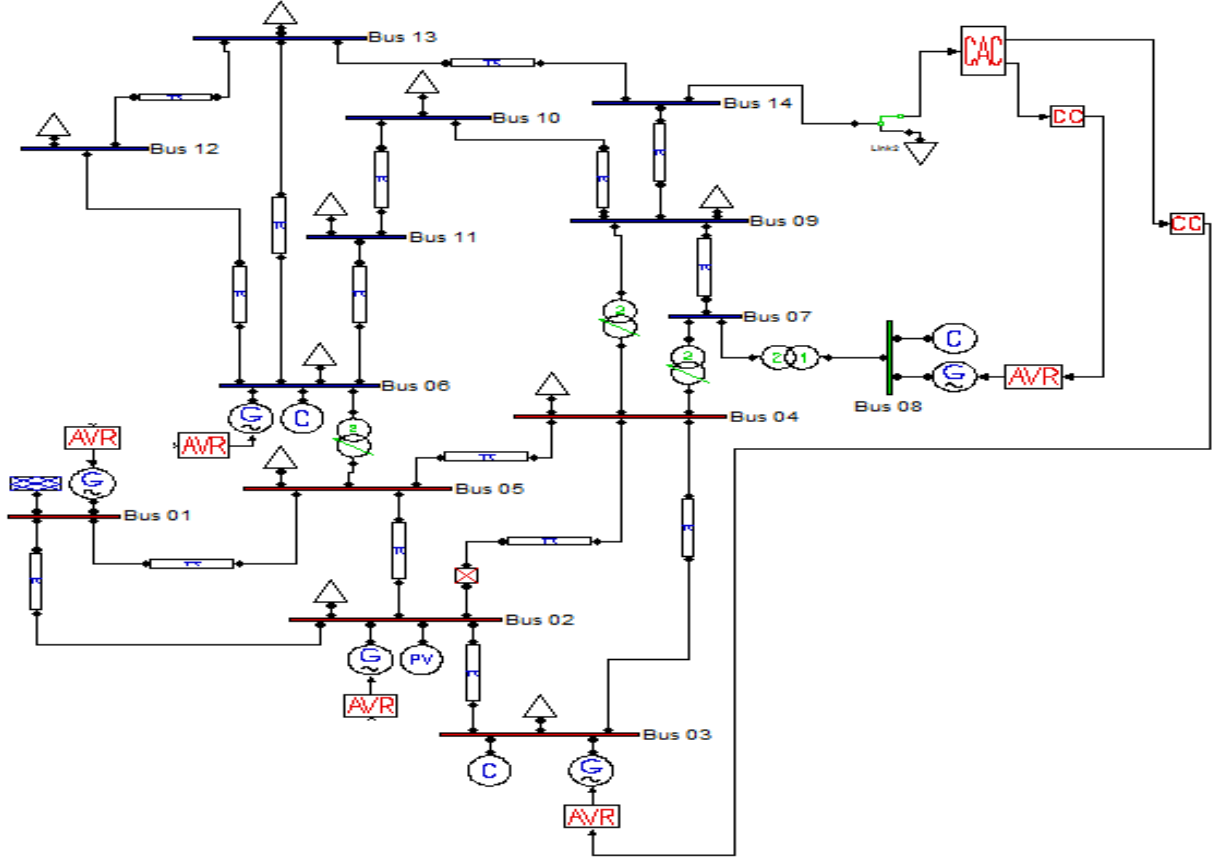
Bu çalışmada güç sistemi olarak IEEE 14 baralı sistem tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan çok makineli IEEE 14 baralı sistem Şekil 2'de gösterilmiştir.

IEEE 14 baralı güç sistemi, 1 adet salınım barası, 4 adet generatör barası ve 9 adet yük barasından oluşmaktadır. Salınım barası olarak 1 numaralı bara, generatör barası olarak 2, 3, 6 ve 8 numaralı baralar ve yük barası olarak ise 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 numaralı baralar belirlenmiştir. Bu güç sisteminde 4 tane transformatör kullanılmıştır. Salınım barası ve generatör baraları yani toplamda 5 tane barada OGR 2 modeli kullanılmıştır. 1, 2 ve 6 numaralı baralarda OGR'nin yanı sıra GSKK modelleri de kullanılmıştır. Pilot bara olarak 14 numaralı bara bu çalışma için belirlenmiştir. Pilot baranın bulunduğu kısma merkezi alan kontrol modeli bağlanırken, 3 ve 8 numaralı generatörlerin bağlı olduğu OGR modellerine küme kontrol modelleri bağlanmıştır. Bu çalışmadaki geçici kararlılık durumu hat açma-kapama olarak belirlenmiştir. Bu çalışma için hat açma-kapama olayı hat 2 ve hat 4 arasında gerçekleştirilmiştir. Sekonder gerilim kontrolünü oluşturulan merkez alan kontrolü ve küme kontrolü modellerinin bağlı olması ile senkron generatörlerde kullanılan farklı GSKK modelleri detaylı olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca diğer modellere göre

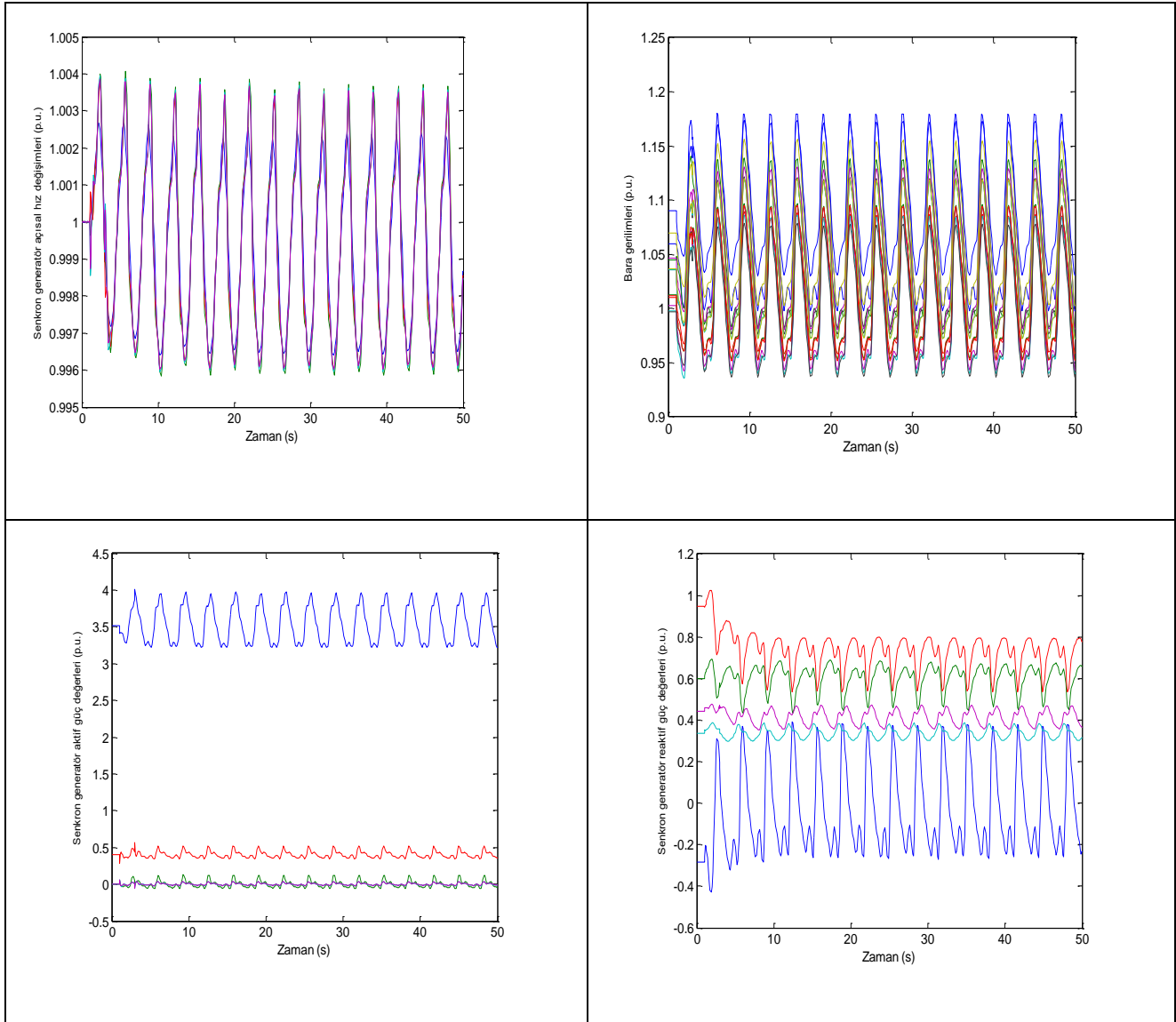
literatürde daha iyi sonuç veren OGR 2 modeli bu çalışmada tercih edilmiştir. Yapılan karşılaştırmalarda, senkron generatör açısal hız değişimleri, bara gerilimleri ve senkron generatörlere ait aktif-reaktif güç değişimleri detaylı olarak analiz edilmiştir. GSKK 1, GSKK 2 ve GSKK 3 modelleri kullanılarak analiz edilen sonuçlar detaylı olarak değerlendirilmiştir.

4.1. Benzetim çalışması sonuçları

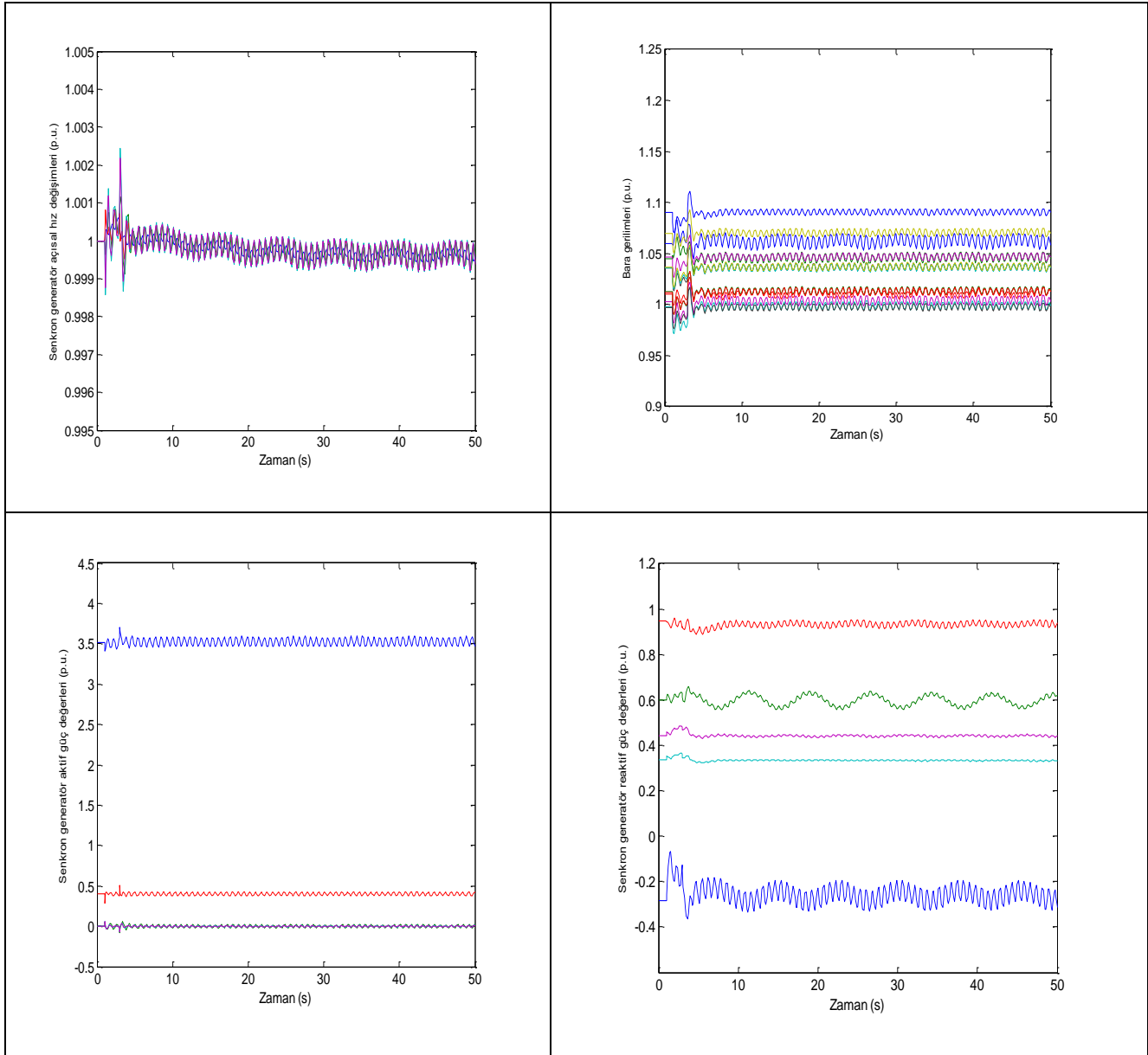
Test sistemi olarak belirlenen IEEE 14 baralı sistemde gerçekleştirilen benzetim çalışması için Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) kullanılmıştır. Benzetim çalışması 3 senaryodan oluşmaktadır. GSKK modelleri 1, 2 ve 3 numaralı generatör baralarında kullanılmıştır. Otomatik Gerilim Regülatörü (OGR) 3 senaryo için de model 2 kullanılarak incelenmiştir. İlk senaryoda GSKK 1 modelinin kullanılması ile benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. GSKK 1 modelinin kullanılması ile elde edilen sonuçlar Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. IEEE 14 baralı güç sistemi



Şekil 3. GSKK model 1'in kullanılması ile elde edilen sonuçlar

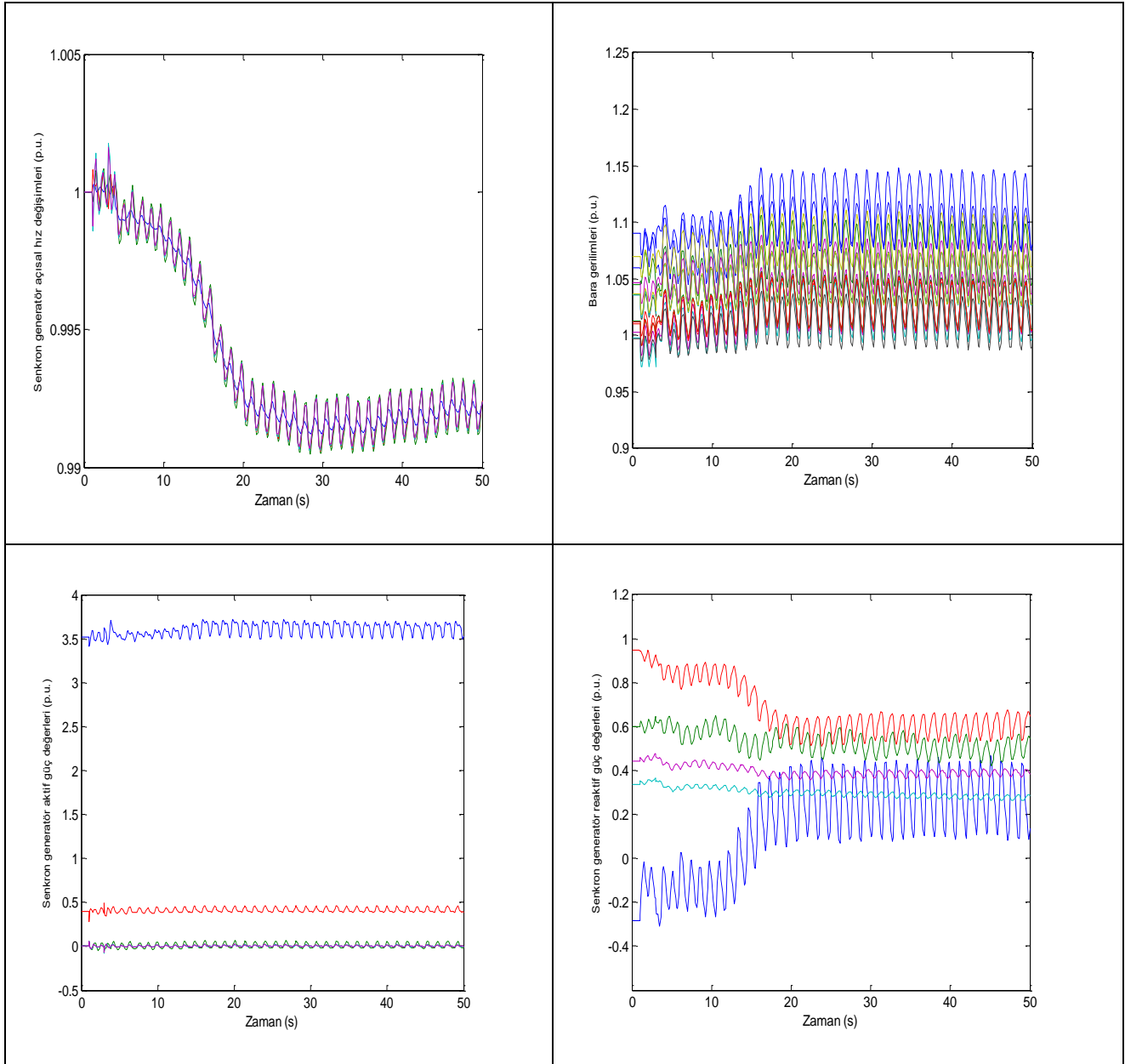


Şekil 4. GSKK model 2'in kullanılması ile elde edilen sonuçlar

GSKK model 1'in kullanılması ile senkron generatör açısal hız değişimlerinin, bara gerilimlerinin, senkron generatörlerin aktif ve reaktif güç değişimlerinin detaylı olarak incelenmesiyle, sistem parametrelerinin kararsız olduğu görülmektedir. Dahası salınımların benzetim çalışması boyunca sönümlenmediği görülmektedir. Benzetim çalışmasında senaryo 2'de GSKK model 2 kullanılmıştır. GSKK 2 modeli 1, 2, ve 3. baralarda bulunan senkron generatörlere bağlanmıştır. GSKK 2 modelinin kullanılması ile elde edilen sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir.

1, 2, ve 3 numaralı senkron generatörlerde kullanılan GSKK model 2 ile elde edilen sonuçlar neticesinde senkron generatörlerin açısal hız değişimlerinde, bara

gerilimlerinde, senkron generatörlerin aktif ve reaktif güç değişimlerinde kararlılığın arttığı görülmektedir. Sistemde GSKK model 2'nin kullanılması ile salınımların belirli bir zaman içerisinde sönümlendiği görülürken, sistemin kısa zaman içerisinde kararlı hale gelmeye çalıştığı görülmektedir. Son senaryoda ise GSKK model 2'nin sistem üzerinde oluşturduğu etkiler üzerine yoğunlaşmıştır. GSKK model 3'ün kullanılması ile benzetim çalışmasında elde edilen sonuçlar Şekil 5'te detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 5. GSKK model 3'ün kullanılması ile elde edilen sonuçlar

IEEE 14 baralı sistemde GSKK model 3'ün 1,2 ve 3 numaralı senkron generatörlerde kullanılması ile generatörlerin açılma hız değişimlerinin, bara gerilimlerinin ve generatörlerin aktif-reaktif güç değişimlerinin nispeten kararlı hale geldiği görülmektedir. Senkron generatör aktif güç parametresinde sistem kararlı hale gelirken, hız değişimleri, bara gerilimleri ve generatörlerin reaktif güç değişimlerinde ise sistemin kararsız olduğu görülmektedir.

5. Sonuçlar

IEEE 14 baralı güç sisteminde sekonder gerilim kontrolü için farklı GSKK modellerinin geçici kararlılık

durumundaki etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Sekonder gerilim kontrolünde kullanılan OGR modelinin yanı sıra GSKK modellerinin kullanılması ile senkron generatörlerin daha iyi zaman cevabı vermesi amaçlanmıştır. GSKK ve OGR modellerin birlikte kullanıldığı çalışmalarda geçici kararlılık durumlarında etkili olduğu referans [19] ve referans [21]'de gösterilmektedir. Sistemin kısa süre içerisinde kararlı hale gelmesinde uygun denetleyici seçiminin kararlılık süresi ve salınım üzerinde ne kadar etkili olduğu bu çalışma ile gösterilmiştir. GSKK model 1, GSKK model 2 ve GSKK model 3'ün OGR model 2 ile birlikte kullanılması ile senkron generatör açılma hız değişimleri, bara gerilimleri ve senkron generatör aktif-reaktif güç değişimleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. GSKK 2

modelinin sekonder gerilim kontrolü ile birlikte kullanılması ile en iyi sonuçların elde edildiği görülürken, GSKK 1 ve GSKK 3 modelinin OGR 2 model ile kullanılması ile daha kötü sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile farklı güç sistemlerinde GSKK ve OGR kullanımının yanı sıra Türbin Yöneticisi (TY) modelleri ile birlikte kullanılmasına imkan sağlanmaktadır. FACTS cihazları, rüzgar türbinleri ve enerji depolama sistemi elemanlarından batarya ile farklı güç sistemlerinin geçici kararlılık esnasında koordinasyonunun sağlanması ile beraber kullanılabilmesine zemin hazırlanmaktadır. Bunun yanı sıra GSKK ve OGR modellerin sekonder gerilim kontrolünde etkin olarak kullanılabilmesi küçük sinyal kararlılığı ile yapılacak olan çalışmalarda detaylı olarak ele alınabilmesine bir yol göstermektedir.

Kaynaklar

- [1] da Silva, R. J. G., De Souza, A. Z., Leme, R. C., & Sonoda, D. (2013). Decentralized secondary voltage control using voltage drop compensator among power plants. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 47, 61-68.
 - [2] Mehrjerdi, H., Lefebvre, S., Saad, M., & Asber, D. (2012). A decentralized control of partitioned power networks for voltage regulation and prevention against disturbance propagation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(2), 1461-1469.
 - [3] Islam, S. R., Muttaqi, K. M., & Sutanto, D. (2014). A decentralized multiagent-based voltage control for catastrophic disturbances in a power system. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(2), 1201-1214.
 - [4] Flórez, J., Tapia, A., Criado, R., & Griajalba, J. M. (1994). Secondary voltage control based on a robust multivariable PI controller. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 16(3), 167-173.
 - [5] Abdalla, O. H., Ghany, A. A., & Fayek, H. H. (2016, December). Coordinated PID secondary voltage control of a power system based on genetic algorithm. In *2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)* (pp. 214-219). IEEE.
 - [6] Lefebvre, H., Fragnier, D., Boussion, J. Y., Mallet, P., & Bulot, M. (2000, July). Secondary coordinated voltage control system: feedback of EDF. In *2000 Power Engineering Society Summer Meeting (Cat. No. 00CH37134)* (Vol. 1, pp. 290-295). IEEE.
 - [7] Paserba, J. J. (2002, July). Secondary voltage-VAR controls applied to static compensators (STATCOMs) for fast voltage control and long term VAR management. In *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, (Vol. 2, pp. 753-761). IEEE.
 - [8] Mehrjerdi, H., Lefebvre, S., & Saad, M. (2015). STATCOM application for decentralized secondary voltage control of transmission networks. In *Static Compensators (STATCOMs) in Power Systems* (pp. 531-556). Springer, Singapore.
 - [9] Nguyen T.T., & Nguyen, V.L. (2005, June) Application of wide-area network of phasor measurements for secondary voltage control in power systems with FACTS controllers. In *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005* (pp. 2927-2934). IEEE
 - [10] Corsi, S., Pozzi, M., Sabelli, C., & Serrani, A. (2004). The coordinated automatic voltage control of the Italian transmission grid-part I: reasons of the choice and overview of the consolidated hierarchical system. *IEEE Transactions on power systems*, 19(4), 1723-1732.
 - [11] Döşoğlu M. K., Demirbaş M., Duman S., (2022) Güç Sistemlerinde Farklı OGR Modellerinin Sekonder Gerilim Kontrolü Üzerindeki Etkileri. *International Istanbul Congress of Multidisciplinary Scientific Research*, pp. 62-68. Proceedings Book ISBN: 978-625-7464-91-8.
- Güç sistemlerinde farklı PSS modelleri ve UPFC-POD ile küçük sinyal kararlılığının incelenmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 14(1), 11-22.
- [12] Hu B., Cañizares, C. A., & Liu, M. (2010, August). Secondary and Tertiary Voltage Regulation based on optimal power flows. In *2010 IREP Symposium Bulk Power System Dynamics and Control-VIII (IREP)* (pp. 1-6). IEEE.
 - [13] Hernandez, B., Canizares, C. A., Ramirez, J. M., Hu, B., & Liu, M. (2018, June). Secondary and tertiary voltage regulation controls based on regional optimal power flows. In *2018 Power Systems Computation Conference (PSCC)* (pp. 1-7). IEEE.
 - [14] El Moursi, M., Joos, G., & Abbey, C. (2008). A secondary voltage control strategy for transmission level interconnection of wind generation. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 23(3), 1178-1190.
 - [15] El - Moursi, M. S. (2010). A novel line drop secondary voltage control algorithm for variable speed wind turbines. *Wind Energy*, 13(7), 633-655.
 - [16] Tapia, G., Tapia, A., & Ostolaza, J. X. (2007). Proportional-integral regulator-based approach to wind farm reactive power management for secondary voltage control. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22(2), 488-498.

- [17] Demirbaş M., Döşoğlu M. K. Güç sistemlerinde farklı PSS modelleri ve UPFC-POD ile küçük sinyal kararlılığının incelenmesi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 14(1), 11-22.
- [18] Pillai, A. G., Thomas, P. C., Sreeranjini, K., Baby, S., Joseph, T., & Srecdharan, S. (2013, June). Transient stability analysis of wind integrated power systems with storage using central area controller. In 2013 Annual International Conference on Emerging Research Areas and 2013 International Conference on Microelectronics, Communications and Renewable Energy (pp. 1-5). IEEE.
- [19] Essallah S., Buallegue A., Khedher A., "Integration of Automatic Voltage Regulator and Power System Stabilizer: Small-Signal Stability in DFIG-Based Wind Farms," J. Mod. Power Syst. Clean Energy, c. 7, sayı 5, ss. 1115-1128, 2019.
- [20] Sorrentino E., Leon F., "Comparison Among Typical Input Signals of Different Types of Power System Stabilizers (PSS)," in 2020 IEEE ANDESCON, ss. 1-6, 2020.
- [21] Ramos RA. Stability analysis of power systems considering AVR and PSS output limiters. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 31(4), 153-159, 2009.