

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİ SENKRON GENERATÖRLÜ DİNAMİK GÜÇ
SİSTEMLERİNDE KÜÇÜK İŞARET KARARLILIĞININ
ANALİZİ**

Beyda TAŞAR

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZDEMİR

HAZİRAN-2011

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİ SENKRON GENERATÖRLÜ DİNAMİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE KÜÇÜK İŞARET
KARARLILIĞININ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beyda TAŞAR
(08113102)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Haziran 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Haziran 2011

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZDEMİR (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Mehmet CEBECİ (F.Ü)
Doç. Dr. Hüseyin ALTUN (F.Ü)

HAZİRAN-2011

ÖNSÖZ

Günümüzün önemli araştırma konularından biri olan bulanık mantık tabanlı kontrolör ile güç sistemi kararlılığının iyileştirilmesi konusunda yaptığım araştırmalarda beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZDEMİR'e, aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Beyda TAŞAR
ELAZIĞ - 2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
ABSTRACT	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XIV
SEMBOLLER LİSTESİ	XV
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Taraması ve Özetleri	3
1.2. Çalışmanın Amacı ve Organizasyonu	7
2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK.....	10
2.1. Güç Sistemlerinde Kararlılık Tanımı ve Sınıflandırılması.....	10
2.1.1. Rotor Açık Kararlılığı	12
2.1.1.1 Geçici Hal Kararlılığı	14
2.1.1.2. Küçük Sinyal Kararlılığı	15
2.1.2. Gerilim Kararlılığı	16
2.1.2.1 Büyük Bozucu Etki Gerilim Kararlılığı	17
2.1.2.2. Küçük Bozucu Etki Gerilim Kararlılığı	17
2.1.2.3. Kısa Süreli Gerilim Kararlılığı	17
2.1.2.4. Uzun Süreli Gerilim Kararlılığı.....	18
3. GÜÇ SİSTEMLERİ VE MODELLENMESİ	19
3.1. Generatör Kontrolleri ve Kontrol Çevrimleri.....	19
3.2. Uyarım Sistemleri	22
3.2.1. Uyarım Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi	22
3.2.2. Uyarım Sisteminin Yapısı ve Birimleri.....	23
3.2.2.1. Otomatik Gerilim Regülatörü (OGR).....	24
3.2.2.2. Uyarma Tipleri	24
3.2.2.3. Uyarma Sisteminin Modellenmesi	25
3.2.2.4. Generatörün Uyarmasının Modellenmesi	27
3.3. Senkron Generatörler	28

3.3.1.	Güç Sistemlerinde Senkron Generatörlerin Yeri.....	29
3.3.2.	Senkron Generatör Modeli	29
3.3.2.1.	Rotor referans çevresi dönüşüm matrisi	31
3.3.2.2.	Rotor Referans Çevre Dönüşümü.....	33
3.3.3.	Kararlılık Çalışmalarında Kullanılan Senkron Generatör Modelleri	35
3.3.3.1.	Senkron Generatörün Kararlılık Çalışmasında Kullanılmak Üzere Tasarlanan t- Modeli	36
3.4.	Tek Senkron Generatör Sonsuz Güçlü Bara (TGSGB) Sisteminin Modellenmesi	41
3.5.	İki Senkron Generatör Sonsuz Güçlü Bara (İGSGB) Sisteminin Modellenmesi	42
4.	GÜÇ SİSTEM KARARLI KILICISI TASARIMI	46
4.1	Güç Sistemi Kararlı Kılıcıların Genel Yapıları.....	46
4.2.	Geleneksel Yapıdaki Güç Sistem Kararlı kılıcısı (GSK) ve Modellenmesi ...	47
4.3.	Bulanık Mantık Kontrolörün Genel Yapısı	49
4.3.1.	Bulanık Mantık Tabanlı Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı (BGSK) ve Modellenmesi	51
5.	TEK GENERATÖR VE SONSUZ GÜÇLÜ BARADAN OLUŞAN GÜÇ SİSTEMİNE AİT ANALİZLER VE MATEMATİKSEL SONUÇLAR .	57
5.1.	Genel Bilgiler	57
5.2.	Sistemin Eylemsizlik Sabiti Ve Sönüm Katsayısının Değişimi Durumundaki Performansının Analizi.....	57
5.3.	Sistemin Farklı Yük İşletme Durumundaki Performansının Analizi	60
5.4.	Sistemin Bara Bağlantı Empedansının Sistem Performansına Etkisinin Analizi	71
5.5.	Sisteme Etkiyen Bozucunun Değişimi Durumundaki Performansının Analizi	79
6.	İKİ GENERATÖR VE SONSUZ GÜÇLÜ BARADAN OLUŞAN GÜÇ SİSTEMİNE AİT ANALİZLER VE MATEMATİKSEL SONUÇLAR .	90
6.1.	Genel Bilgiler	90
6.2.	Sonsuz Güçlü Baraya Bağlı Aynı Karakteristik Özelliğe Sahip İki Senkron Generatörlü Sisteme Etkiyen Bozucunun Değişimi Durumunda Performansının Analizi.....	90

6.3.	Sonsuz Güçlü Baraya Bağlı Aynı Karakteristik Özelliğe Sahip İki Senkron Generatörlü Sisteme Etkiyen Bozucunun Değişimi Durumunda Performansının Analizi.....	103
7.	DEĞERLENDİRME ve SONUÇLAR	115
7.	1 Sonuçlar.....	115
7.2.	Öneriler.....	116
KAYNAKLAR.....		117
EKLER		122
EK-1	Tek Generatör Sonsuz Güçlü Bara Sisteminin Simulink Detayları	122
EK-2	İki Generatör Sonsuz Güçlü Bara Sisteminin Simulink Detayları	124
EK-3	Tek Generatör Sonsuz Güçlü Bara Sisteminin Sürekli Durum parametrelerinin Hesaplandığı Matlab M-File Programı	125
EK-4	İki Generatör Sonsuz Güçlü Bara Sisteminin Sürekli Durum parametrelerinin Hesaplandığı Matlab M-File Programı	127
ÖZGEÇMİŞ		132

ÖZET

İki Senkron Generatörlü Dinamik Güç Sistemlerinde Küçük İşaret Kararlılığının Analizi

Bu çalışmada, sonsuz güçlü baraya bağlı bir ve iki senkron generatörden oluşan iki ayrı dinamik sistemin küçük genlikli ve düşük frekanslı küçük işaret bozucular karşısındaki kararlılığı analiz edilmiştir.

Güç sistemlerinin dinamik kararlılık çalışmalarında kullanılmak üzere senkron generatörlerin farklı dereceden çeşitli basitleştirilmiş modelleri literatürde önerilmiş ve kullanılmıştır [4-22]. Rotor dinamiğine ilave olarak rotor sargı dinamiğinin de dikkate alındığı fakat d ve q eksenlerindeki sönüm sargılarının (k_d , k_q) etkisinin, stator sargı direncinin (r_s) ve stator akı değişimlerinin ($d\lambda_q/dt$ ve $d\lambda_d/dt$) ihmal edildiği 3. dereceden Sonsuz Güçlü Baraya Bağlı Senkron Generatör (SGBSG) model en çok kullanılan modeldir.

Bu çalışmada; literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak; stator sargı direnci (r_s) ve stator akı değişimlerinin de dikkate alındığı senkron generatörün t modeli kullanılmış ve sonsuz güçlü baraya bağlı tek ve çift senkron generatör sistemlerinin dinamik modellerinin ayrı ayrı Matlab/Simulink ile benzetimi yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada SGBSG sisteminin kararlılığını arttırmak amacı ile literatürde yer alan doğrusallaştırılmış model kullanılarak tasarlanan klasik Güç Sistem Kararlı kılıcılarının (GSK'ların) seçilen çalışma noktasının değişmesi durumunda önemli derecede performans kaybına uğradıkları bilindiğinden, güç sistemlerinde çalışma noktasını ve hat empedansı gibi diğer bazı sistem parametrelerinin değişmesi durumunda dahi performans kaybına uğramayan, dayanıklı (robust) yapıya sahip Bulanık mantık tabanlı Güç Sistem Kararlı kılıcısı (BGSK) tasarımı gerçekleştirilmiştir. BGSK'lı sistem performansı ile Klasik GSK'lı ve ek destekleyici kontrolör içermeyen sadece otomatik gerilim regülatörünün (OGR'nin) bulunduğu sistemlerin küçük işaret bozucular karşısındaki performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güç sistem kararlı kılıcısı, Bulanık mantık kontrolör, GSK, OGR, küçük işaret kararlılığı

ABSTRACT

Small Signal Stability Analysis of Dynamic Power System With Two Generators

In this study, stability of two different dynamic systems consist of one and two synchronous generator connected to infinite bus have been analyzed against small signal which is low amplitude and low frequency.

Different degrees in various simplified models of synchronous generator is purposed and used in the literature for use in studies of dynamic stability of power systems. The most widely used model is third order model of synchronous generator which is taken into rotor dynamics in addition of stator dynamics and is neglected stator resistance (r_s) and change of flux ($d\lambda_q/dt$ ve $d\lambda_d/dt$).

In this study; unlike the studies in the literature, t-model of synchronous generator without neglecting stator resistance and change of flux is used and dynamic model of systems of connected infinite bus with one and two synchronous generator were simulated in Matlab /Simulink program. Otherwise in this study fuzzy logic based power system stability controller with a robust structure which can't lose performance in the event of change of system parameters such as operation point and line impedance at the power system is designed. Because PSS which is designed using the linearized model in order to improve the stability of synchronous generator in literature.

System with fuzzy logic controller and traditional power system stabilizer and only system with AVR performances were compared across the small signal disturbance.

Key Board: Power system stability, fuzzy logic kontrol, PSS, AVR, small signal stability

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Güç sisteminin uyarma kontrol sistem blok diyagramı.....	2
Şekil 1.2. Küçük işaret kararlılık analizi yapılan iki senkron generatör sonsuz güçlü bara sisteminin uyarma ve kontrol blok diyagramı	3
Şekil 2.1. Güç sistem kararlılığının sınıflandırılması	12
Şekil 2.2. İki makinalı bir sistemin güç iletim modeli	13
Şekil 2.3. Küçük bozulma cevabının özelliği.....	15
Şekil 3.1. Güç sistemi için uyarım ve frekans kontrol çevrimi	20
Şekil 3.2. Uyarım kontrol sisteminin fonksiyonel blok diyagramı	23
Şekil 3.3. Fırçasız tip uyarma sistemi çevrimi	25
Şekil 3.4. Kuvvetlendirici ve uyarmayı içeren blok diyagramı.....	27
Şekil 3.5. Generatör uyarmasını da içeren uyarım sistemi modeli.....	27
Şekil 3.6. İdeal senkron makine devre gösterimi	30
Şekil 3.7. Senkron generatör dq eksen eşdeğer devreleri.....	35
Şekil 3.8. Tek makine sonsuz güçlü bara sistem şeması	41
Şekil 3.9. Sonsuz güçlü baraya bağlı tek senkron generatör sistemi için oluşturulan simülasyon bloğu	42
Şekil 3.10. Analizini yaptığımız İGSGB sistemi	42
Şekil 3.11. Sistemin Thevenin eşdeğer modeli	44
Şekil 3.12. Sonsuz güçlü baraya bağlı iki senkron generatör sistemi için oluşturulan simülasyon bloğu	45
Şekil 4.1. Geleneksel GSK modeli.....	47
Şekil 4.2. OGR ve GSK içeren uyarma sistemi blok diyagramı	48
Şekil 4.3. Temel bulanık mantık kontrolör yapısı	49
Şekil 4.4. PD tip bulanık kontrolörün yapısı	52
Şekil 4.5. Bilgisayar benzetiminde kullanılan BGSK'nın matlab modeli.....	53
Şekil 4.6. TGSGB sistemi için BGSK]	53
Şekil 4.7. TGSGB sisteminde “dø” giriş işareti için kullanılan üyelik fonksiyonları	54
Şekil 4.8. TGSGB Sisteminde “ceø” giriş işareti için kullanılan üyelik fonksiyonları.....	54
Şekil 4.9. TGSGB Sisteminde “u” çıkış işareti için kullanılan üyelik fonksiyonları.....	54
Şekil 4.10. TGSGB Sistemi için BGSK Kuralları	54

Şekil 4.11. İGSGB sistemi için BGSK.....	55
Şekil 4.12. İGSGB sisteminde “dω” giriş işareti için kullanılan üyelik fonksiyonları	56
Şekil 4.13. İGSGB sisteminde “ceω” giriş İşareti için kullanılan üyelik fonksiyonları	56
Şekil 4.14. İGSGB sisteminde “u” çıkış işareti için kullanılan üyelik fonksiyonları	56
Şekil 5.1. Analiz 1 için sonsuz güçlü baraya bağlı tek senkron generatör sisteminin simülasyon bloğu	58
Şekil 5.2. TGSGB sisteminde analiz 1, durum 1 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi	58
Şekil 5.3. TGSGB sisteminde analiz 1, durum 2 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi	58
Şekil 5.4. TGSGB sisteminde analiz 1, durum 3 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi	59
Şekil 5.5. TGSGB sisteminde analiz 1, durum 4 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi	59
Şekil 5.6. TGSGB sisteminde analiz 1, durum 5 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi	59
Şekil 5.7. Sonsuz güçlü baraya bağlı senkron generatör sisteminde analiz 1, durum 6 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi	60
Şekil 5.8. Analiz 2 için sonsuz güçlü baraya bağlı tek senkron generatör sisteminin simülasyon bloğu	61
Şekil 5.9. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 1 parametreleri için rotor hız sapmasının değişimi.....	62
Şekil 5.10. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 1 parametreleri için açının değişimi.....	62
Şekil 5.11. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 1 parametreleri için momentin değişimi .	63
Şekil 5.12. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 1 parametreleri için elektriksel gücün değişimi.....	63
Şekil 5.13. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 2 parametreleri için rotor hız sapmasının değişimi.....	64
Şekil 5.14. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 2 parametreleri için açının değişimi.....	64
Şekil 5.15. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 2 parametreleri için momentin değişimi .	65
Şekil 5.16. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 2 parametreleri için elektriksel gücün değişimi.....	65

Şekil 5.17. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 3 parametreleri için rotor hız sapmasının değişimi.....	66
Şekil 5.18. TGSGB generatör sisteminde analiz 2, durum 3 parametreleri için açının değişimi.....	66
Şekil 5.19. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 3 parametreleri için momentin değişimi .	67
Şekil 5.20. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 3 parametreleri için elektriksel gücün değişimi.....	67
Şekil 5.21. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 4 parametreleri için rotor hız sapmasının değişimi.....	68
Şekil 5.22. TGSGB generatör sisteminde analiz 2, durum 4 parametreleri için açının değişimi.....	68
Şekil 5.23. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 4 parametreleri için momentin değişimi .	69
Şekil 5.24. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 4 parametreleri için elektriksel gücün değişimi.....	69
Şekil 5.25. Analiz 3 için sonsuz güçlü baraya bağlı tek senkron generatör sisteminin simülasyon bloğu	71
Şekil 5.26. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 3 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi	72
Şekil 5.27. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 3 parametreleri için uç gerilimi ve akımının değişimi	72
Şekil 5.28. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 3 parametreleri için momentin değişimi	73
Şekil 5.29. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 3 parametreleri için aktif ve reaktif gücün değişimi.....	73
Şekil 5.30. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 2 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi	74
Şekil 5.31. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 2 parametreleri için uç gerilimi ve akımının değişimi	74
Şekil 5.32. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 2 parametreleri için momentin değişimi .	75
Şekil 5.33. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 2 parametreleri için aktif ve reaktif gücün değişimi.....	75
Şekil 5.34. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 1 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi	76

Şekil 5.35. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 1 parametreleri için uç gerilimi ve akımının değişimi	76
Şekil 5.36. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 1 parametreleri için momentin değişimi ..	77
Şekil 5.37. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 1 parametreleri için aktif ve reaktif gücün değişimi.....	77
Tablo 5.7. Küçük işaret bozucu sinyal değişim durum tablosu	79
Şekil 5.38. Analiz 4 için sonsuz güçlü baraya bağlı tek senkron generatör sisteminde küçük işaret kararlılık analizi için oluşturulan simülasyon modeli	79
Şekil 5.39. Bozucu 1'in etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre rotor hız sapmasının değişimi.....	80
Şekil 5.40. Bozucu 1'in etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre generatör uç geriliminin değişimi.....	80
Şekil 5.41. Bozucu 1'in etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre rotor açısı değişimi	80
Şekil 5.42. Bozucu 1'in etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre elektriksel momentin değişimi.....	81
Şekil 5.43. Bozucu 1'in etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre reaktif gücün değişimi ..	81
Şekil 5.44. Bozucu 1'in etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre aktif gücün değişimi ..	81
Şekil 5.45. Bozucu 2'nin etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre rotor hız sapmasının değişimi.....	82
Şekil 5.46. Bozucu 2'nin etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre uç geriliminin değişimi.....	82
Şekil 5.47. Bozucu 2'nin etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre rotor açısı değişimi	82
Şekil 5.48. Bozucu 2'nin etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre momentin değişimi ..	83
Şekil 5.49. Bozucu 2'nin etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre reaktif gücün değişimi.....	83
Şekil 5.50. Bozucu 2'nin etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre aktif gücün değişimi ..	83
Şekil 5.51. Bozucu 3'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre rotor hız sapmasının değişimi.....	84
Şekil 5.52. Bozucu 3'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre uç geriliminin değişimi.....	84
Şekil 5.53. Bozucu 3'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre rotor açısı değişimi	84
Şekil 5.54. Bozucu 3'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre momentin değişimi ...	85

Şekil 5.55. Bozucu 3'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre reaktif gücün değişimi.....	85
Şekil 5.56. Bozucu 3'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre aktif gücün değişimi..	85
Şekil 5.57. Bozucu 4'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre rotor hız sapmasının değişimi.....	86
Şekil 5.58. Bozucu 4'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre uç geriliminin değişimi.....	86
Şekil 5.59. Bozucu 4'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre rotor açışımı	86
Şekil 5.60. Bozucu 4'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre momentin değişimi ...	87
Şekil 5.61. Bozucu 4'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre reaktif gücün değişimi.....	87
Şekil 5.62. Bozucu 4'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre aktif gücün değişimi..	87
Şekil 6.1. İki generatör sonsuz güçlü bara sisteminin küçük işaret kararlılık analizi için gerçekleştirdiğimiz simülasyon modeli	91
Şekil 6.2. Bozucu 1'in etkidiği İGSGB sisteminde rotor hız sapmasının değişimi	92
Şekil 6.3. Bozucu 1'in etkidiği İGSGB sisteminde generatör uç geriliminin değişimi	92
Şekil 6.4. Bozucu 1'in etkidiği İGSGB sisteminde rotor açısının değişimi.....	93
Şekil 6.5. Bozucu 1'in etkidiği İGSGB sisteminde elektriksel momentin değişimi	93
Şekil 6.6. Bozucu 1'in etkidiği İGSGB sisteminde reaktif gücün değişimi.....	94
Şekil 6.7. Bozucu 1'in etkidiği İGSGB sisteminde aktif gücün değişimi	94
Şekil 6.8. Bozucu 2'nin etkidiği İGSGB sisteminde rotor hız sapmasının değişimi	95
Şekil 6.9. Bozucu 2'nin etkidiği İGSGB sisteminde generatör uç geriliminin değişimi	95
Şekil 6.10. Bozucu 2'nin etkidiği İGSGB sisteminde rotor açısının değişimi.....	96
Şekil 6.11. Bozucu 2'nin etkidiği İGSGB sisteminde elektriksel momentin değişimi	96
Şekil 6.12. Bozucu 2'nin etkidiği İGSGB sisteminde reaktif gücün değişimi.....	97
Şekil 6.13. Bozucu 2'nin etkidiği İGSGB sisteminde aktif gücün değişimi.....	97
Şekil 6.14. Bozucu 3'ün etkidiği İGSGB sisteminde rotor hız sapmasının değişimi	98
Şekil 6.15. Bozucu 3'ün etkidiği İGSGB sisteminde generatör uç geriliminin değişimi ...	98
Şekil 6.16. Bozucu 3'ün etkidiği İGSGB sisteminde rotor açısının değişimi.....	99
Şekil 6.17. Bozucu 3'ün etkidiği İGSGB sisteminde elektriksel momentin değişimi	99
Şekil 6.18. Bozucu 3'ün etkidiği İGSGB sisteminde reaktif gücün değişimi.....	100
Şekil 6.19. Bozucu 3'ün etkidiği İGSGB sisteminde aktif gücün değişimi	100
Şekil 6.20. Bozucu 1'in etkidiği FK-İGSGB sisteminde rotor hız sapmasının değişimi..	104

Şekil 6.21. Bozucu 1'in etkidiği FK-İGSGB sisteminde generatör uç geriliminin değişimi.....	104
Şekil 6.22. Bozucu 1'in etkidiği FK-İGSGB sisteminde rotor açısının değişimi	105
Şekil 6.23. Bozucu 1'in etkidiği FK-İGSGB sisteminde elektriksel momentin değişimi.....	105
Şekil 6.24. Bozucu 1'in etkidiği FK-İGSGB sisteminde reaktif gücün değişimi	106
Şekil 6.25. Bozucu 1'in etkidiği FK-İGSGB sisteminde aktif gücün değişimi	106
Şekil 6.26. Bozucu 2'nin etkidiği FK-İGSGB sisteminde rotor hız sapmasının değişimi.....	107
Şekil 6.27. Bozucu 2'nin etkidiği FK-İGSGB sisteminde generatör uç geriliminin değişimi.....	107
Şekil 6.28. Bozucu 2'nin etkidiği FK-İGSGB sisteminde rotor açısının değişimi	108
Şekil 6.29. Bozucu 2'nin etkidiği FK-İGSGB sisteminde elektriksel momentin değişimi.....	108
Şekil 6.30. Bozucu 2'nin etkidiği FK-İGSGB sisteminde reaktif gücün değişimi	109
Şekil 6.31. Bozucu 2'nin etkidiği FK-İGSGB sisteminde aktif gücün değişimi	109
Şekil 6.32. Bozucu 3'ün etkidiği FK-İGSGB sisteminde rotor hız sapmasının değişimi.....	110
Şekil 6.33. Bozucu 3'ün etkidiği FK- İGSGB sisteminde generatör uç geriliminin değişimi.....	110
Şekil 6.34. Bozucu 3'ün etkidiği FK-İGSGB sisteminde rotor açısının değişimi	111
Şekil 6.35. Bozucu 3'ün etkidiği FK-İGSGB sisteminde elektriksel momentin değişimi.....	111
Şekil 6.36. Bozucu 3'ün etkidiği FK-İGSGB sisteminde reaktif gücün değişimi	112
Şekil 6.37. Bozucu 3'ün etkidiği FK-İGSGB sisteminde aktif gücün değişimi	112
Şekil Ek-1.1. TGSGB sisteminin modeli.....	122
Şekil Ek-1.2. TGSGB sistem bloğunun iç yapısı.....	122
Şekil Ek-1.3. qde2qdr bloğunun iç yapısı.....	123
Şekil Ek-1.5. Moment ve hareket bloğunun iç yapısı.....	123
Şekil Ek-1.6. Çıkış büyüklükleri bloğunun iç yapısı	123
Şekil Ek-1.7. Uyarım bloğunun iç yapısı.....	124
Şekil Ek-2.1. ÇGSGB sistem bloğunun iç yapısı	124
Şekil Ek-2.2. Şebeke bloğunun iç yapısı	125

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. Tek generatör sonsuz güçlü bara sistemi için BGSK kural tablosu	55
Tablo 4.2. İki generatör sonsuz güçlü bara sistemi için BGSK kural tablosu	56
Tablo 5.1. H ve D katsayılarının değişim durum tablosu	57
Tablo 5.2. Analiz 1 için matematiksel sonuçlar.....	60
Tablo 5.3. P ve Q yüklerinin ve x_e bağlantı bara empedansının değişim durum tablosu...	61
Tablo 5.4. Analiz 2 için matematiksel sonuçlar.....	70
Tablo 5.6. Analiz 3 için matematiksel sonuçlar.....	78
Tablo 5.7. Küçük işaret bozucu sinyal değişim durum tablosu	79
Tablo 5.8. Analiz 4 için matematiksel sonuçlar.....	88
Tablo 6.1. Senkron generatörlerin parametreleri	91
Tablo 6.2. Sisteme etkileyen bozucu etki durumları	91
Tablo 6.3. Analiz 1 için matematiksel sonuçlar.....	102
Tablo 6.4. Senkron generatörlerin parametreleri	103
Tablo 6.5. Farklı karakteristiklere sahip iki senkron generatörün bağlı olduğu sonsuz güçlü bara (FK-İGSGB) sisteme etkileyen bozucu etki durumları	103
Tablo 6.6. Analiz 2 için matematiksel sonuçlar.....	114

SEMBOLLER LİSTESİ

BGSK	: Bulanık mantık güç sistem kararlı kılıcısı
d	: Güç (rotor) açısı
E_{fd}	: Uyarma gerilimi
FK-İGSGB	: Farklı karakteristikli iki generatör sonsuz güçlü bara
GSK	: Güç sistem kararlı kılıcısı
H	: Senkron generatör atalet sabiti
I_t	: Hat akımı
İGSGB	: İki generatör sonsuz güçlü bara
KA	: Kuvvetlendirici kazancı
KE	: Uyarıcı kazancı
KF	: Generatör uyarması kazancı
L_{lfd}	: Uyarma sargısı kaçak endüktansı
L_{lkd}	: d -ekseni sönüm sargı endüktansı
L_{lkq}	: q -ekseni sönüm sargı endüktansı
L_{ls}	: Stator sargı kaçak endüktansı
L_{md}	: d -ekseni stator sargı mıknatıslanma endüktansı
L_{mfd}	: Uyarma sargısı mıknatıslanma endüktansı
L_{mkd}	: d -ekseni sönüm sargı mıknatıslanma endüktansı
L_{mkq}	: q -ekseni sönüm sargı mıknatıslanma endüktansı
L_{mq}	: q -ekseni stator sargı mıknatıslanma endüktansı
OGR	: Otomatik gerilim regülatörü
r_e	: İletim hattı direnci
r_f	: Uyarma sargı direnci
r_{kd}	: d -ekseni sönüm sargı direnci
r_{kq}	: q -ekseni sönüm sargı direnci
r_s	: Stator sargı direnci
SG	: Senkron Generatör
T_e	: Elektrik momenti
T_m	: Tahrik momenti
TA	: Kuvvetlendirici zaman sabiti

T_{do}	: d -ekseni geçici zaman sabiti
T_E	: Uyarıcı zaman sabiti
T_F	: Generatör uyarması zaman sabiti
$TGSGB$	: Tek generatör sonsuz güçlü bara
T_{qd0}	: Dönüşüm matrisi
u	: Destekleyici kontrol işareti
V_t	: Generatör uç gerilimi
V_∞	: Sonsuz bara gerilimi
x_e	: İletim hattı empedansı
x'_d	: d -ekseni geçici reaktansı
ω	: Açısal hız

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi, günümüz yaşamında en yaygın olarak kullanılan enerji çeşidi olup aynı zamanda çok pahalı bir enerji türüdür. Enerji güç sistem üretici ve planlayıcı şirketleri minimum maliyet, maksimum verim ve tasarruf için bu alanda pek çok araştırma ve geliştirme çalışmalarını sürdürmektedirler. Enerji güç sistemleri lineer olmayan sistemlerdir. Güç sisteminin doğal yapısından dolayı, küçük değerli yük değişimleri kaçınılmaz olarak, tahmin edilemeyen ve planlanamayan sıklık ve değerlikte sürekli olarak meydana gelir. Bir güç sisteminin normal çalışma anında sisteme ilave yük girmesi veya sistemden yük çıkması durumunda güç sisteminde düşük genlikli ve düşük frekanslı (0.2 - 3.0Hz) salınımlar oluşur. Güç sistemlerinde oluşan bu salınımların kısa sürede sönümlenmesi ve sistemin sürekli hal kararlılığına kısa sürede erişmesi için gerekli kontrol yapılarının geliştirilmesi, güç sistemlerinin en önemli ve güncel araştırma konularının başında gelmektedir.

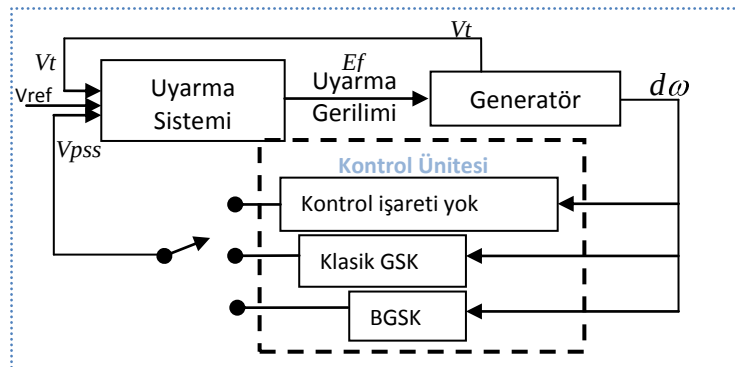
Güç sistemlerinde küçük işaret kararlılığı veya sürekli hal kararlılığı olarak bilinen dinamik kararlılık; en basit ve en genel şekli ile normal çalışma koşulları altında sistemin denge noktasında kalmasını, maruz kaldığı herhangi bir küçük bozucu (düşük genlikli ve düşük frekanslı) karşısında ise güç sisteminin senkronizmayı koruyabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Yani bozucu etki ortadan kalktığında bozucu etkinin neden olduğu salınımların sonlu bir zamanda sönümlenmesini ve sistemin yeniden kabul edilebilir bir denge noktasına ulaşması gereklidir. Bozucu etki sonrasında sistemin üretim tüketim dengesinde bir değişiklik yok ise sistem başlangıçtaki denge noktasına geri dönmeli, üretim tüketim arasındaki güç dengesinde bir artış veya azalma var ise sistem yeni bir kararlı çalışma noktasına kabul edilebilir sonlu bir sürede yerleşmelidir.

Birden fazla SG'den oluşan bir güç sisteminin sağlaması gereken temel kriterler; sistemdeki bütün SG'lerin senkronizmada kalmalarını sağlamak ve sürekli değişen güç tüketimini karşılayacak miktarda güç üretmektir. Aksi durumda sistemdeki SG'lerden birinin senkronizmadan ayrılması iletim hattında önemli derecede gerilim ve akım dalgalanmalarına neden olur hatta gerekli önlemler alınmadığı takdirde senkronizmadan ayrılan generatör, yüksek hızlara ulaşır ciddi zarar görebilir. Normal çalışma koşulları altında bir SG'nin senkronizmadan ayrılması zordur. SG'ün rotoru hızlanmaya veya

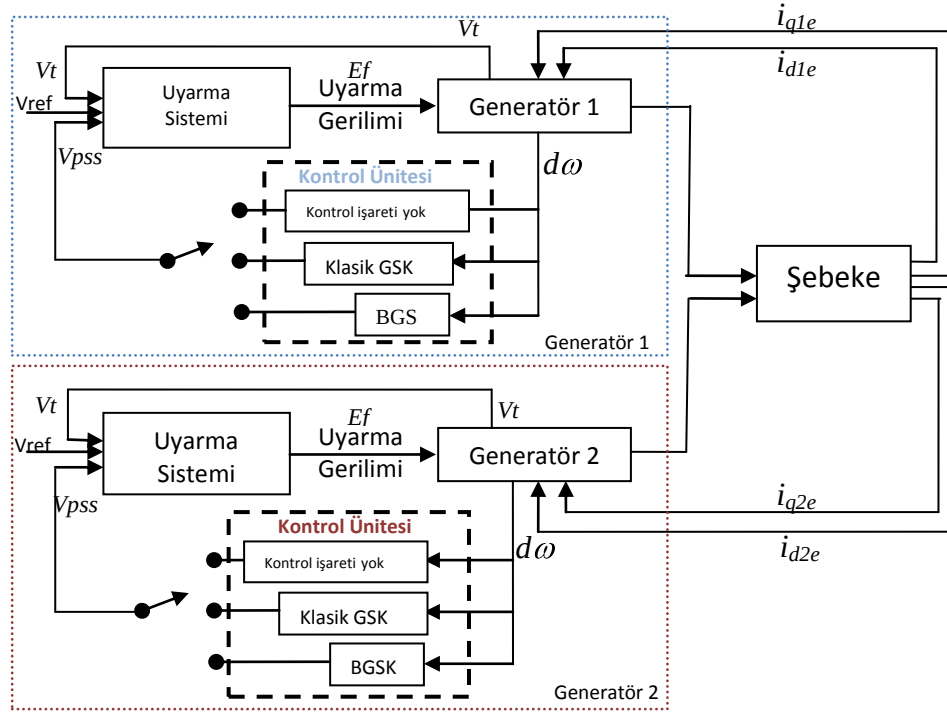
yavaşlamaya başladığında, senkronlayıcı kuvvetler SG'yi nominal hızında tutmaya çalışır. Ancak senkronlayıcı momentin yetersiz olması rotor açısının sürekli olarak artmasına veya sönümleyici momentin yetersiz olması sonucunda artan genlikli rotor salınımlarının oluşmasına neden olabilir [1-10]. Bu salınımların gerektiği gibi sönümlendirilememesi güç sisteminin kararsızlığa gitmesine ve neticede geniş bir bölgede enerji kesintisinin gerçekleşmesine neden olabilir.

Güç sistemlerinde görülen salınımların sönümlenmesi ve böylece güç sisteminin dinamik kararlılığının iyileştirilmesi amacı ile Senkron Generatör (SG) uyarım sistemine destekleyici bir kontrol işaretinin uygulanması uzun yıllardır kullanılan etkili bir yöntemdir. Literatürde; güç sistemlerindeki SG'lerin uyarım sistemlerine destekleyici sönümleme momenti üretmek amacı eklenen kontrol sistemleri Güç Sistem Kararlı kılıcılar (GSK) olarak adlandırılırlar. GSK'lar, sisteme etkiyen küçük bozucular sonrasında SG'lerin rotorlarında oluşan düşük genlikli ve düşük frekanslı salınımları sönümlendirerek güç sisteminin kararlılığını iyileştirirler. GSK tasarımına yönelik yapılan çalışmaların birçoğunda doğrusallaştırılmış model kullanılarak tasarlanan klasik GSK'lar seçilen çalışma noktasında beklenen performansı sağlarken, çalışma noktasının değiştiği durumlarda önemli derecede performans kaybına uğradığı görülmüştür [1-24].

Bu çalışmanın temelini de oluşturan BGSK kontrolörler; güç sistemlerinde çalışma noktası ve/veya hat empedansı gibi bazı sistem parametrelerinin değişmesi durumunda dahi performans kaybına uğramayan, dayanıklı (robust) yapıya sahip destekleyici kontrolörler olup üzerinde araştırmaların devam ettiği aktif bir çalışma alanıdır [11-15,17-20,24]. Hatanın ve türevinin lineer kombinasyonlarını kullanarak çalışan kararlı kılıcılar nonlinerliği yüksek olan güç sistemlerinde çok iyi sonuç vermeyebilmektedirler [7]. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de bu tez çalışmasında tasarımı yapılan sonsuz baraya bağlı tek senkron generatörlü ve iki senkron generatörlü güç sistemlerinin kontrol blok diyagramları yer almaktadır.



Şekil 1.1. Güç sisteminin uyarım kontrol sistem blok diyagramı [1,2]



Şekil 1.2. Küçük işaret kararlılık analizi yapılan iki senkron generatör sonsuz güçlü bara sisteminin uyarma ve kontrol blok diyagramı

Bu çalışmada Şekil 1.1 ve Şekil 1.2’de yer alan sistem diyagramları esas alınarak sistem birimleri ayrı ayrı Matlab/Simulink’de modellenmiş ve bu birimler arasındaki bağlantılarda tasarlanarak tam sistem modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sistem modellerinde farklı sistem parametreleri ve bozucu etkiler karşısında güç sisteminin küçük işaret kararlılık analizi yapılmıştır.

1.1. Literatür Taraması ve Özetleri

Yılmaz [4] çalışmasında, düşük frekanslı salınımların güç sistem kararlı kılıcı ile sönümlendirilmesi üzerine çalışmıştır. Delta-omega ve Delta-P-omega tipi güç sistem kararlı kılıcısı tasarımlarını gerçekleştirmiş ve kararlı kılıcılar ile sistemde medyana gelen salınımların azaldığını ve gücün istenmeyen şekilde değişiminin önlendiğini ifade etmiştir.

Yazıcı [5] çalışmasında, GSK tasarımına yeni bir yaklaşım olarak ayrık-zaman model referans kayan kipli kontrolör tabanlı (MR-KKK) bir yapıyı sunmuştur. Farklı çalışma noktaları ve sistem parametreleri için yaptığı benzetim çalışmalarında sunulan MR-KKK

tabanlı GSK yapısının literatürde mevcut olan klasik GSK, LQR tabanlı GSK, KKK tabanlı GSK yapılarına oranla güç sistemlerinde görülen salınımları daha az asımlı ve daha hızlı bir şekilde sönümlediği, sistem parametrelerindeki değişimlere daha az duyarlı olduğu dolayısıyla daha dayanıklı bir yapıda olduğu göstermiştir.

Erdem [6] çalışmasında, bulanık mantık tabanlı kontrolör kullanarak bir güç sistemi kararlı kılıcı modellemiştir. Modellediği bulanık güç sistemi kararlı kılıcının, tek makinasız baradan oluşan bir güç sisteminde üç fazlı bir kısa devre meydana gelmesi durumunda rotor açısı salınımlarını söndürme kabiliyeti, geleneksel yapıdaki güç sistemi kararlı kılıcı ile karşılaştırmıştır. Geleneksel yapıdaki kararlı kılıcı parametrelerinin belirli bir şebeke çalışma noktasına göre seçilmesinden dolayı, farklı şebeke çalışma noktalarında iyi bir sönüm sağlayamadığını analiz etmiştir. Bulanık güç sistemi kararlı kılıcısı ise geniş bir çalışma koşulu bölgesinde iyi bir sönüm sağlayabildiğini ifade etmiştir.

Caner [7] çalışmasında, enerji üretim kontrollerinden biri olan uyarım kontrol sisteminin dinamik performansının artırılması konusunda çalışmıştır. Ve uyarım kontrol sistemi bileşenlerinden güç sistem kararlı kılıcısına “hiyerarşik fuzzy kontrol metodu” uygulanma konusunda çalışmıştır. Önerdiği metodun kontrol performansı tek makineli sonsuz baraya bağlı sistem modeli üzerinde yaptığı simülasyon çalışmalarıyla geleneksel güç sistem stabilizatörü, PID ve iki girişli klasik fuzzy kontrolör ile karşılaştırılarak test etmiştir ve önerdiği yöntemde ilave edilen üçüncü giriş değişkeninin kontrolör performansına olumlu etki sağladığını simülasyon sonuçlarıyla göstermiştir.

Varbak [8] çalışmasında, bulanık mantık PID (BPID) kontrol yöntemi tek makineli sonsuz baralı sistemde Güç Sistemi Kararlı Kılıcısına (GSKK) uygulamıştır. Simülasyon çalışmalarıyla BPID kontrol performansı Klasik GSKK (KGSKK), PID denetleyici, Bulanık Mantık (BM) denetleyici ile karşılaştırmış ve BPID denetleyici ile en iyi performansı elde etmiştir.

Öztürk [10] çalışmasında, güç sistemi kritik değerlerinin hesaplanmasında yeni bir yöntem olarak genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. Güç sisteminin değişik çalışma şartlarındaki kritik değerlerinin belirlenmesi ile gerilim kararlılığı açısından en uygun durum ortaya konulması konusunda çalışmıştır. Gerek iki baralı gerekse N baralı güç sistemi kritik değerlerinin değişik yöntemler ve genetik algoritma yöntemi ile belirlenmesi çalışmalarında ortaya çıkan sonuçların yakınlığı, genetik algoritma yönteminin gerilim kararlılığı kritik değerinin hesaplanmasındaki potansiyelini ortaya koymuş ve bu

sonuçlardan kritik değerlerin genetik algoritma ile daha kolay bir şekilde belirlenebileceği de göstermiştir.

Sağlam [11] çalışmasında, bulanık mantığın temel kontrolörlerinden olan bulanık PID kontrolörüne hiyerarşik özelliğin kazandırılması konusunu ele almıştır. İki girişli ve üç girişli PID kontrolör yapılarının yanı sıra üç girişli PID kontrolörden faydalanarak oluşturulan hiyerarşik PID kontrolörün, temel üç doğrusal sistem ve bir doğrusal olmayan sistem üzerinde uygulanmış ve ele alınan sistemler üzerinde hangi kontrolör yapısının etkili sonuçlar verdiğine karar vermeye çalışılmıştır.

Demircioğlu [12] çalışmasında, ilgilenilen yerel bara arkasındaki güç sisteminin Thevenin eşdeğeri bir modelin bulunduğu kabulü ile, yerel bara parametrelerini kullanarak, eşdeğer devre parametrelerinin kestirilmesine ilişkin bir dizi yöntem elde etmiştir. Oluşturduğu maksimum güç fazör diyagramından, gerilim kararlılığının kolayca değerlendirilmesini sağlayacak kritik değer eşitlikleri elde etmiş ve gerçek zamanlı değerlendirmeler için gerilim kararlılığı sınırlarına ilişkin marjinler tanımlamış ve elde edilen yaklaşımlar yük akışı yöntemlerinin de uygulandığı örnekler ile karşılaştırmıştır. Simülasyon sonuçları, önerilen değerlendirme yaklaşımları ile gerçek zamanlı uygulamalarda klasik yük akışı algoritmalarının kullanıldığı durumlara göre daha pratik ve yeterince doğru kaldığını göstermiştir.

Nalbantoğlu, Orhan ve Bayındır [13] çalışmalarında, sonsuz güçlü baraya bağlı bir senkron generatör için güç sistem kararlılığını iyileştiren dayanıklı bir uyarma kontrolörünü GSK Kayma Kipli Kontrol tekniği kullanılarak tasarlamışlardır. Önerdikleri Kayma Kipli GSK (KKGSK) güç sisteminin dördüncü dereceden lineerleştirilmiş modeline dayalıdır. Kontrolör tasarlanırken kontrol edilebilir kanonik forma dönüşüm matrisi kullanılarak kayma-özdeğerleri belirlemeksizin kayma yüzeyi belirlenmişlerdir ve tasarladıkları bu KKGSK kontrolörü eşdeğer kontrol ve nonlinear kontrol olarak iki parçayı içermektedir. Bu nedenle önerilen KKGSK çalışması şartlarının değişimine ve parametre sapmaları ve bozucular gibi belirsizliklere karşı dayanıklıdır. Benzetim sonuçlarının Klasik Güç Sistem Kararlı kılıcısı performansı ile karşılaştırmış, önerdikleri KKGSK'nın dayanıklılık özelliği ile senkron makinenin dinamik performansını iyileştirdiğini göstermişlerdir.

Nalbantoğlu, Orhan ve Bayındır [14] çalışmalarında, sonsuz baraya bağlı bir senkron generatör için dayanıklı bir uyarma kontrolörü sağlamak için Kurallı Kayma Kipli GSS yapısını tasarlamışlardır. Önerdikleri Erişim Kurallı Kayma Kipli GSS (EKKGSS)

Çalışma şartlarının değişimine ve parametre sapmalarının bozucu etkilerine karşı dayanıklı olduğunu simulasyon sonuçları ile klasik g sistem stabilizatörü ile karşılaştırmış ve önerdikleri EKKKGSS'nn senkron makinenin kararlılığını fark edilir şekilde iyileştirdiğini göstermişlerdir.

zkop, Altaş ve Akpınar [15] çalışmalarında; bir güç sistem modelinde yük frekans kontrolü bulanık mantık tabanlı kontrolör ile gerçekleştirmiş ve sistem üzerinde farklı fonksiyonların etkilerini gözlemlenmişlerdir.

Kartez, Gözde ve Taplamacıoğlu [16] çalışmalarında; generatör çalışma durumunda olan bir senkron makinenin görünür kutup d-q eksenlerine göre matematiksel modeli oluşturarak, makinenin uyartım devresinin kontrolünde kullanılan klasik kontrol sistemleri ve kendi kendine ayarlanabilen bulanık mantık kontrol sistemlerini karşılaştırmışlardır. rnek bir sistemi MATLAB Simulink'de simule edip senkron makinenin çıkış akımı, gerilimi, gücü, reaktif gücü, yk açısı, rotor hızı, elektriksel torku ve hatadaki değişiminin sabit durum şartında, geçiş zamanına göre karşılaştırılmasını gerçekleştirmişlerdir.

Oğuz ve Demirören [17] çalışmalarında, tek makinalı güç sisteminde geçici (transient) durumda oluşan salınımların sönümünü arttırmak için bulanık mantık teorisine dayandırılan otomatik gerilim regülatörü ve g sistemi kararlı kılıcısını tasarlamışlardır. Alışılagelmiş ve bulanık mantık kullanılarak tasarladıkları otomatik gerilim regülatörü ve g sistemi kararlı kılıcısının davranışlarını, sonsuz baraya iki paralel hat üzerinden bağlı olan senkron makinenin ucunda oluşan şiddetli bir arıza durumu için karşılaştırmalı olarak incelenmişlerdir. Matlab Simulink ve Bulanık Mantık Toolbox'ları kullanılarak transient analiz için bilgisayar benzetimi gerçekleştirmişlerdir. İnceledikleri büyüklükler uç gerilimi ve generatör rotor açısı olup, bulanık mantığa dayalı kontrolörlü yaklaşımın alışılagelmiş kontrolöre göre daha üstün olduğu göstermişlerdir

Caner, Umurkan ve imen [18] çalışmalarında, enerji üretim kontrol sistemlerinden senkron generatörlerin uyartım sistemleri hakkında bilgi verilerek büyük ölçekli sistem kararlılığı çalışması için kullanılan IEEE tip 1 uyartım sistemi modelinin dinamik performansı incelemiş ve Bulanık mantık (BM) kontrol uygulamasının bu uyartım kontrol sistem modeli üzerinde BM kontrol uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları simulasyon çalışmalar sonucunda, BM kontrolörün performansının geleneksel kontrolör (regülatör ve uyartım sistem kararlaştırıcısı) ile kıyaslanamayacak ölçüde yüksek olduğunu göstermişlerdir.

Yazıcı ve Özdemir [19] çalışmalarında, üç farklı GSK yapısını yani klasik faz ilerletici-geriletici, sabit kazançlı optimal ve optimal kazanç tabloları GSK yapılarını karşılaştırmalı olarak incelenmişlerdir. Yaptıkları benzetim çalışmalarında, optimal kazanç tabloları GSK' nın güç sisteminin çalışma noktasının değiştiği durumlarda diğer iki GSK yapısına oranla daha üstün bir performans sergilediği göstermişlerdir.

Gelen ve Ayasun [21] çalışmalarında, generatör uyarma kontrol sisteminde; ölçüm ve veri transferlerinden kaynaklanan zaman gecikmelerinin dikkate alındığı, zaman gecikmeli bir dinamik sistem modelini Matlab/Simulink programı kullanılarak oluşturmuş ve uyarma sisteminin kararlılığını kaybetmeden tolere edebileceği maksimum gecikme değerleri belirlemişlerdir. Ayrıca, bu gecikme değerlerinin Oransal-İntegral (PI, Proportional-Integral) denetleyici kazançlarına göre nasıl değiştiğini analiz etmiş ve zaman gecikmesinin sistemi kararsızlaştırdığı benzetim sonuçları ile göstermişlerdir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Organizasyonu

Bu çalışmada enerji üretim sistemlerinde kullanılan senkron generatörlerin küçük işaret bozucular karşısındaki kararlılığının ve dinamik performansının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle senkron generatörlerin küçük işaret kararlılık kontrolünde destekleyici kontrol sinyali üretmek amacı ile kullanılan kontrol sistemlerinden literatürde en çok kullanılan klasik Güç Sistem Kararlı Kılıcısı (GSK) ve bizim bu sistemler için dayanıklı yapılarından dolayı önerdiğimiz Bulanık Mantık Kontrol Tabanlı Güç Sistem Kararlı kılıcısı (BGSK) tasarımları gerçekleştirilmiş ve performansları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile aynı zamanda aşağıda belirtilen hedeflerin de gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

- Otomatik gerilim regülatörün kararlılık üzerindeki etkilerinin incelenmesi.
- Senkron generatörlerde güç sistem kararlı kılıcıları (GSK) yardımı ile uyarım kontrolünün iyileştirilmesi yani güç açısı ve açısal hız gibi güç parametrelerindeki düşük frekanslı osilasyonların sönümlenmesi
- Senkron generatörlerde dayanıklı yapıları bulanık mantık tabanlı güç sistem kararlı kılıcıları (BGSK) tasarımının gerçekleştirilmesi ve uyarım kontrolünün iyileştirilmesi yani güç açısı ve açısal hız gibi güç parametrelerindeki düşük frekanslı osilasyonların sönümlenmesi.

- Sonsuz güçlü baraya bağlı tek senkron generatörden oluşan güç sisteminin farklı özelliklere sahip küçük işaret bozucu etkiler karşısındaki dinamik davranışının analiz edilmesi.
- Sonsuz güçlü baraya bağlı iki senkron generatörden oluşan güç sisteminin farklı özelliklere sahip küçük işaret bozucu etkiler karşısındaki dinamik davranışının analiz edilmesi.
- Bağlantı empedansı, sönüm katsayısı ve atalet değerinin sistem performansındaki etkilerinin incelenmesi.
- Tasarımı yapılan geleneksel GSK ve BGSK destekleyici kontrol yapılarının sistem performansındaki kararlılık etkilerinin karşılaştırılması
- Güç sisteminin dinamik performansının ve güvenliğinin artırılması
- Üretilen elektriksel güç kalitesinin artırılması

Yapılan tez çalışmasının organizasyonu şu şekildedir:

II. Bölümde güç sisteminin yapısı ve kararlılık çeşitleri hakkında genel bilgiler ve literatür özetleri yer almaktadır.

III. Bölümde tasarlanan sistemlerinin temelini oluşturan senkron generatör ve uyarma sistemlerinin durum uzay modelleri elde edilmiştir ve küçük işaret kararlılık analizleri yapılacak olan tek senkron generatör sonsuz güçlü bara ve iki senkron generatör sonsuz güçlü bara sistemlerinin durum uzay modelleri oluşturulmuştur.

IV. Bölümde destekleyici kontrolör sistemi olarak yaygın olarak kullanılan klasik faz iletici-geriletilici GSK yapısı ve Bulanık mantık tabanlı kontrolör (BGSK) yapısı tanıtılmış ve sistemlerimiz için tasarımları gerçekleştirilmiştir, matlab/simulink bloklarına yer verilmiştir.

V. Bölümde III. ve IV. bölümlerde açıklanan ve tasarımı gerçekleştirilen senkron generatör, uyartım sistemi ve destekleyici kontrolör sistemleri olan klasik GSK, BGSK yapıları sentezlenerek oluşturulan sonsuz güçlü baraya bağlı tek senkron generatör sisteminin matlab/simulink modeli üzerinden küçük işaret kararlılık analizi gerçekleştirilmiş, grafiksel ve matematiksel olarak analiz sonuçlarına yer verilmiş ve yorumlanmıştır.

VI. Bölümde III. ve IV. bölümlerde açıklanan ve tasarımı gerçekleştirilen senkron generatör, uyartım sistemi ve destekleyici kontrolör sistemleri olan klasik GSK, BGSK yapıları sentezlenerek oluşturulan sonsuz güçlü baraya bağlı iki senkron generatör

sisteminin matlab/simulink modeli üzerinden küçük işaret karalılık analizi gerçekleştirilmiş, grafiksel ve matematiksel olarak analiz sonuçlarına yer verilmiştir ve yorumlanmıştır.

VII. Sonuç bölümde ise elde edilen grafiksel ve sayısal veriler ışığında bulanık mantık kontrolörün, güç sistemlerinde çalışma noktası ve hat empedansı gibi bazı sistem parametrelerinin değişmesi durumunda dahi performans kaybına uğramayan, dayanıklı yapısından dolayı klasik GSK'lardan çok daha iyi bir destekleyici kontrol yapısı olduğu sonucuna varılmıştır.

2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK

Güç sistemlerinde kararlılık problemi; üzerinde yoğun olarak çalışmaların devam ettiği önemli bir konudur. Güç sistemlerinin sürekli gelişmesi ve güvenilir elektrik enerjisine olan talebin artması güç sistemlerinde kararlılık probleminin karmaşıklığını ve önemini artırmaktadır [5]. Güç sistemlerinin dengeli ve sağlıklı çalışabilme yetenekleri, sisteme etki eden bozucu etkiler karşısında kararlılık şartlarını koruyabilmelerine bağlıdır [6]. Bu bölümde kararlılığın tanımı ve sınıflandırılması yapılarak bu tezinde ana çalışma konusu olan küçük işaret kararlılığı hakkında genel bilgilere yer verilmiştir.

2.1. Güç Sistemlerinde Kararlılık Tanımı ve Sınıflandırılması

Kararlılık; güç sisteminin normal çalışma koşulları altında mevcut denge durumunu koruması ve bir bozucu etkiye maruz kalması durumunda ise kabul edilebilir bir denge noktasına ulaşabilmesi olarak tanımlanabilir. Fakat daha kısa bir şekilde ifade edilmek istenirse senkron generatörlerin şebeke veya bağlı olduğu diğer senkron generatörler ile senkronizasyon halinde çalışma durumunu koruması ve sürdürmesi olarak da ifade edilebilir [5].

Güç sistemleri sürekli durum çalışma koşulları altında iken, mekanik giriş enerjisi ve elektriksel çıkış enerjisi denge durumundadır ve rotor açısal hızı sabittir. Güç sistemleri için mekanik giriş enerjisi, senkron generatöre etkiyen tahrik sistemlerinden elde edilen mekanik enerji olup; elektriksel çıkış enerjileri ise, sisteme bağlı olan elektriksel yüklerle ilişkilidir. Sistemin kararlı çalışabilmesi için giriş ve çıkış enerjilerinin biri birine eşit olması gereklidir [6].

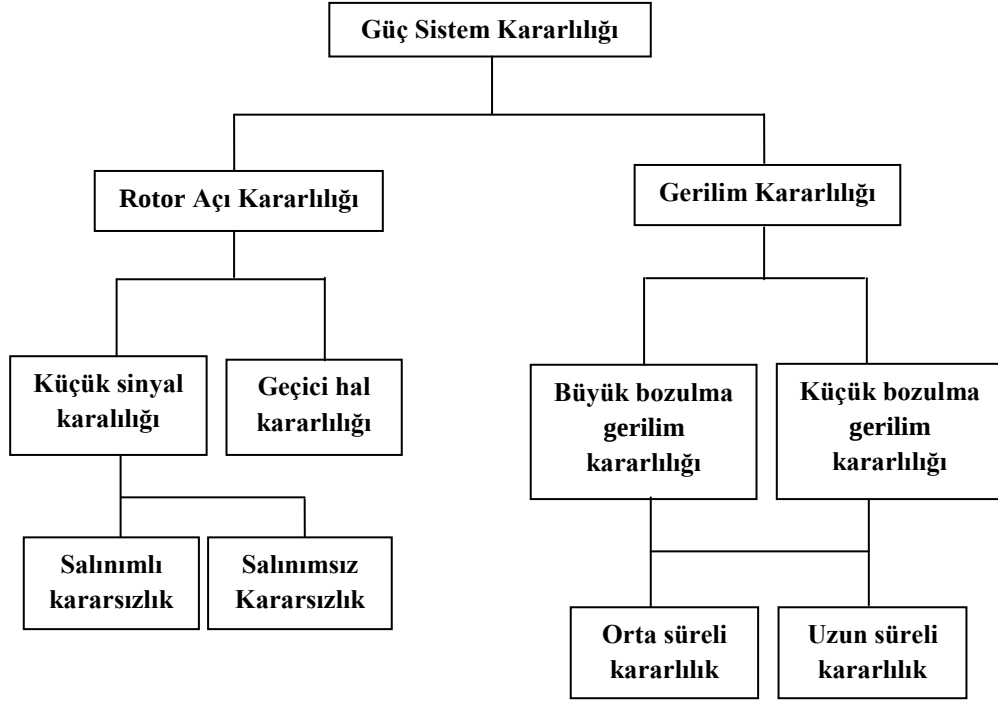
Sistemde oluşan ani yük değişimleri, iletim hatlarındaki kısa devreler gibi bozucu etkiler nedeni ile elektriksel ve mekaniksel enerjiler arasındaki denge bozulabilir. Bu durumda sistemin aktif gücü; mekanik regülatörler kullanılarak generatöre giriş olarak verilen tahrik gücünün ayarlanması ile tekrar çıkış gücüne eşitlenir. Reaktif güç değişimi ise uyarma devresindeki elektriksel elemanlar tarafından uç geriliminin ayarlanması ile dengelenir. Enerji dengesinin bozulması sonucunda sisteme bağlı olan senkron generatörlerin rotor açılarındaki oluşan salınımlar makinanın kararlılığını belirler [6]. Birden fazla generatörden oluşan bir güç sisteminde, bir generatör sürekli olarak bağlı olduğu

diğer generatörden daha hızlı dönüyorsa, yavaş dönen makinaya göre onun rotorunun açısai durumu ileri olacaktır. Sonuçta, ortaya çıkan açısai fark yükün bir kısmını yavaş makinadan hızlı makinaya, güç açii bağıntısına bağıli olarak aktarmaktadır. Bu yönelim hız farkını azaltacaktır ve sonuç olarak açısai fark azalacaktır. Güç açii bağıntısı nonlineer olduğundan belli sınırlar ötesinde açısai sapmadaki bir artış güç iletiminde bir azalmaya eşlik etmektedir, bu açısai sapmayı ileri olarak arttırmakta ve kararsızlığa neden olmaktadır. Herhangi belli bir durum için, sistemin kararlılığı rotorların açısai durumlarındaki sapmaların yeterli düzeltme momentlerini oluşturup oluşturmadıklarına bağılidir [2,8]. Senkronizma generatörlerin rotor açılarına ilişkin dinamikler ve güç açii bağlantıları ile ilişkilidir. Senkronizmanın korunması olarak ifade edilen kararlılık çeşidine rotor açii kararlılığı denir. Senkronizma kaybı olmaksızın güç sistemlerinde gerilim çökmeleri gibi kararlılık problemleri ile de karşılaşılabilir.

Güç sistemlerinde sistemlerin kararlılığı aslında tek bir problem gibi görünse de aslında sistemin kararsızlığı farklı şekillerde olabilmektedir ve farklı faktörlerden etkilenmektedir. Kararlılık analizi probleminde kararsızlığa neden olan asıl faktörlerin tanımlanması ve kararlı çalışmayı sağlamak için kararlılığın sınıflandırılarak incelenmesi son derece faydalıdır [2]. Şekil 2.1’de güç sistemi kararlılık probleminin sınıflandırılma şekli göstermektedir [1]. Bu sınıflama aşağıdaki faktörlere göre yapılmaktadır [2]:

- Sonuçta oluşan kararsızlığın fiziksel doğası
- İncelenen bozucunun büyüklüğü
- Kararlılığı belirlemek için dikkate alınması gereken aygıtlar, işlemler ve zaman aralığı
- Kararlılığın tahmin edilmesinde ve hesaplanmasında en uygun yöntem

Pratik kullanım için uygun ve kesin olan tanımlamalar yapmak ve kararlılık çeşitlerini birbirlerinden tamamen bağımsız kategoriler şeklinde düşünmek ve oluşturmak zordur. Örneğin orta-sürelili/uzun-sürelili kararlılık ve gerilim kararlılığı arasında bazı benzerlikler vardır [1].

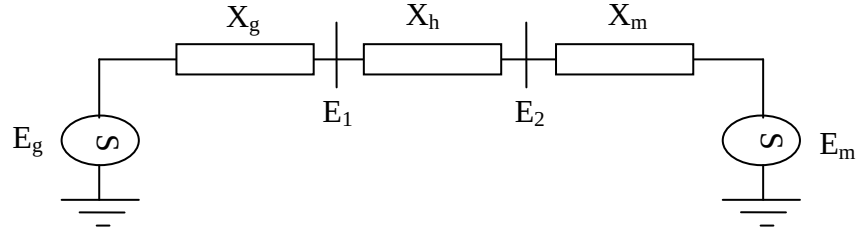


Şekil 2.1. Güç sistem kararlılığının sınıflandırılması [1]

2.1.1. Rotor Açık Kararlılığı

Güç sistemlerinde rotor açı kararlılığı; enterkonnekte şebekeye bağlı senkron generatörlerin senkronizmayı sürdürme yeteneği olarak tanımlanabilir [2]. Kısa süreli bir kararlılık problemi olan rotor açı kararlılığı, güç sisteminin elektromekaniksel dinamiklerine bağlı olarak birkaç saniye sürebilir [10]. Bozulmanın büyüklüğüne ve içeriğine bağlı olarak, rotor açı kararlılığı küçük işaret kararlılığı ve geçici hal kararlılığı olmak üzere iki sınıfta incelenir [12].

Rotor açı kararlılık problemi güç sistemindeki içsel elektromekanik salınımların incelenmesi konusunu kapsar. Bu problemde temel faktör rotor salınımlarından dolayı senkron makinaların güç çıkışlarındaki değişimdir [1,7]. İki ya da daha fazla senkron makina birlikte çalışırken, tüm makinaların stator gerilimleri ve akımları aynı frekansa sahip ve her rotorun mekanik hızı bu frekansa uyumlu olmalıdır. Böylece birlikte çalışan tüm senkron generatörler senkronizmada kalmaktadır.



Şekil 2.2. İki makinalı bir sistemin güç iletim modeli

Güç sistem kararlılığında önemli olan karakteristik, senkron makinaların rotorlarının açısal konumları ile güç alış-verişi arasındaki bağıntıdır. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi, direnci ve kapasitansı ihmal edilmiş yalnız X_h reaktansına sahip olan bir iletim hattı ile birbirlerine bağlı iki senkron makinadan meydana gelen basit bir sistem incelendiğinde generatör senkron motora güç sağlamaktadır. Generatörden motora iletilen güç değeri, iki makinanın rotorları arasındaki δ açısal farkın fonksiyonu ile değişmektedir. Bu açı farkı üç bileşenden oluşmaktadır; generatör iç açısı δ_g , generatör ve motorun uç gerilimleri arasındaki açı farkı δ_h ve motorun iç açısı δ_m .

$$P_e = \frac{E_g E_m}{X_T} \sin \delta \quad (2.1)$$

$$X_T = X_g + X_h + X_m \quad (2.2)$$

Gücün açıya göre değişimi sinüs biçiminde olup (2.1) ile ifade edilmektedir. X_T generatörle motor arasındaki seri empedanstır ve (2.2) ile ifade edilmektedir. E_g generatör iç EMK’sını, E_m motor iç EMK’sını göstermektedir. Açı sıfır olduğunda güç iletimi olmamaktadır. Açı büyürken, güç transferi maksimuma ulaşmaktadır. 90° ’de nominal olur belli bir değerden sonra, açıyı daha çok arttırmak, güç iletiminde azalmaya sebep olmaktadır. Bu yüzden iki makina arasında iletilebilecek maksimum sürekli durum gücü vardır. İki makinadan daha fazla makine olduğunda, onların açısal yer değiştirmeleri de benzer şekilde güç alış-verişini etkilemektedir. Analize uygunluk için ve kararlılık problemlerinin özelliklerini daha iyi anlamak için rotor açısı kararlılığı geçici hal kararlılığı ve küçük sinyal kararlılığı olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır [5].

2.1.1.1 Geçici Hal Kararlılığı

Geçici hal kararlılığı ise, güç sistemlerinin büyük geçici bozulmalardan sonraki senkronizasyonunun korunma yeteneği ile ilgilidir [2,12]. İletim hatlarındaki arızalar ve generatör birimindeki salınımlar geçici hal kararlılığına örnek olarak verilebilir [12]. Bu bozucu etkiler sonucunda generatör rotor açılarındaki büyük titreşimler meydana gelmektedir[12].

Geçici hal kararlılığının analizinde enerji sistemi büyük bir bozucu etkiye maruz kaldığından dolayı sistemdeki senkron makinelerle ilişkin rotor (yük) açılarındaki ilk salınımları büyük öneme sahiptir [5]. Sistemin senkronizmada kalma yeteneği ya da kararlı olarak çalışması, ilk salınımdan sonraki salınımların birincisinden daha küçük olup olmadıkları ile değerlendirilir. İlk salınımı etkileyen en önemli parametreler ise şunlardır [6]:

- Bozucu etkinin türü, yeri, süresi
- Geçici hal sırasında enerji iletim hatlarının senkronlama sağlayabilme yeteneği
- Türbin-generatör ve iletim sistemi parametreleri

Arızaların genellikle iletim hatları üzerinde olduğu düşünülürken birlikte, bazen bara ve transformatör arızaları da göz önüne alınmaktadır. Geçici hal kararlılık incelemelerinde inceleme süresi, küçük sistemlerde bozucu etkiyi izleyen 3 veya 5 saniye ile sınırlı olmakla beraber, çok büyük sistemler için yaklaşık 10 saniyeye kadar genişleyebilmektedir [5].

Eğer güç sistemi transient kararlılık sınırları ötesinde çalışır ise arıza sonrasında bir veya birkaç generatör diğer generatörlerle aralarındaki senkronizmayı kaybeder. Bu durum genellikle arızadan 5-10 saniye sonra meydana gelir. Sonuçta bu generatörlerin güç sisteminden ayrılması gerekecektir. Eğer bunlar büyük bir generatör grubu ise sonuçta tüm bölge ve diğer bölgelerle arasındaki senkronizmasını kaybeder. Dolayısıyla yük ile bağlantı kesintiye uğrar. Bu durum sistemde arıza öncesindeki yük akışının kesintiye uğraması anlamına gelir [10].

Kararlılık analizi için sayısal benzetim işleminde önce sistemin sürekli halde yük akışı incelenir. Sonra sistemin tüm çalışma koşullarını kapsayacak şekilde oluşturulmuş sistemin matematiksel modelinin bilgisayar simülasyonu ile çözümü ile sistemin kararlılık analizi yapılır [6].

2.1.1.2. Küçük Sinyal Kararlılığı

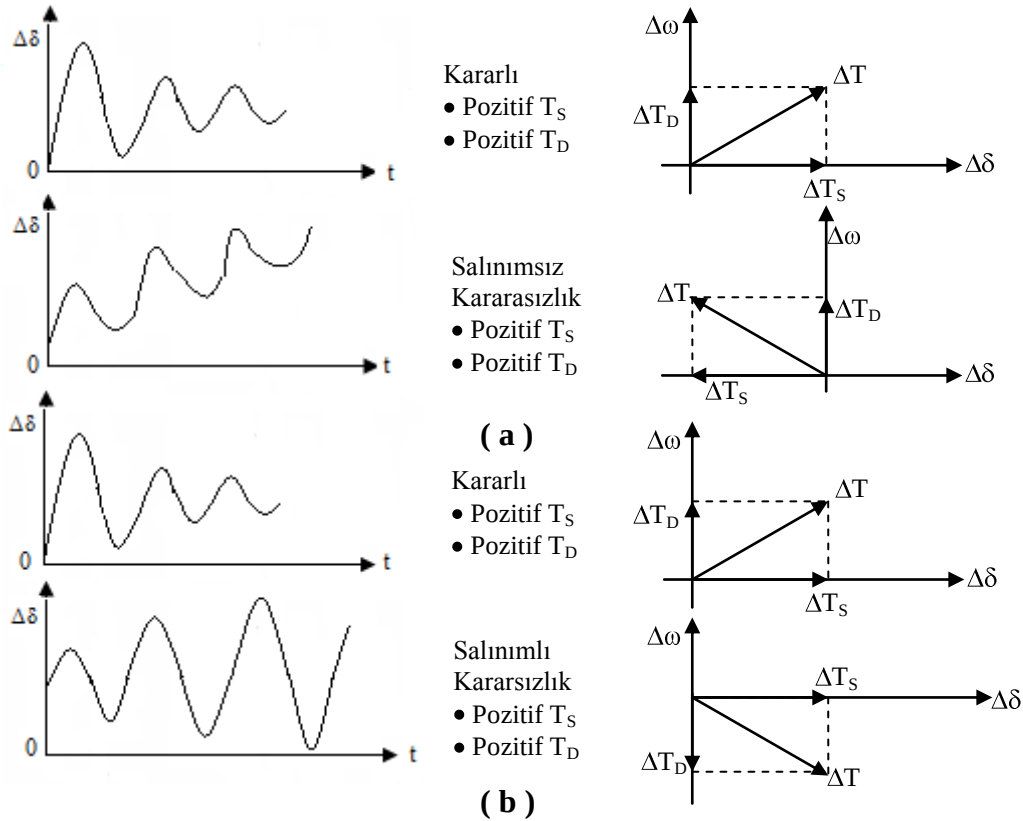
Literatürde dinamik kararlılık veya sürekli hal kararlılığı olarak da bilinen küçük işaret kararlılığı; güç sistemlerinde elektromekanik olarak zararsız salınımlar meydana getiren küçük bozucu sinyaller (düşük genlikli ve düşük frekanslı (0.2 - 3.0 Hz) salınımlar altında şebekeye bağlı senkron generatörlerin senkronizasyonunu koruyabilme yeteneği olarak tanımlanır [5,10,12].

Yükteki ve üretimdeki küçük değişimlerin neden olduğu böyle küçük bozucu etkiler sistemde sürekli meydana gelmektedir. Kararsızlık iki şekilde meydana gelebilmektedir;

- (i) Yeterli senkronlayıcı momentin kaybindan dolayı rotor açısında artış
- (ii) Yeterli sönüm momentinin kaybindan dolayı rotor salınımlarının genliğinde artış.

Sistem küçük bozucu işaretlere verdiği cevap; iletim sisteminin dayanıklılığı, kullanılan generatörün uyarım kontrollerinin çeşidi gibi birçok faktöre bağlıdır [5,8].

Bozucu etkiye maruz kalan sistemin otomatik gerilim regülâtörleri (OGR), mekanik ve elektrik enerji dengesini sağlayarak sistemi nominal hıza ulaştırmaya çalışırlar. Dengeyi sağlamak amacıyla tahrik makinaları tarafından üretilen mekanik güç değiştirilir [6,8].



Şekil 2.3. Küçük bozulma cevabının özelliği
a)Sabit alan gerilimli; b)Uyarım kontrollü [1,8]

Büyük bir güç sistemine bağlı generatörler için sistemde OGR yoksa (yani sabit alan gerilimli ise) kararsızlığın nedeni, yeterli senkronlayıcı momentin sağlanamamasıdır. Bu kararsızlık Şekil 2.3 (a)'da gösterildiği gibi salınımsız modla sonuçlanmaktadır. Sürekli çalışan gerilim regülatörü ile küçük sinyal kararlılık problemi sistem salınımlarının yeterli sönümünü sağlamaktır. Kararsızlık problemi salınımların genliğinin artmasıdır. Şekil 2.3(b) OGR ile generatörün cevabını göstermektedir [1,8].

2.1.2. Gerilim Kararlılığı

Gerilim kararlılığı güç sisteminde yük baralarının gerilimlerinin belirli sınırlar içinde kalabilme yeteneğidir. Genel olarak gerilim için kabul edilebilir sınır değerleri nominal gerilim değerinin %6 eksiği veya fazlasıdır [5]. Kararlılık, güç sisteminin normal çalışma koşullarında veya bozucu bir etkiye maruz kalması halinde bozucu etki ortadan kalktıktan sonra gerilimin kabul edilebilir sınır değerleri arasında kalabilmesi olarak da tanımlanır [5]. Çoğu zaman kararlılık problemi rotor açısı kararlılığı gibi senkronizmada kalma sorunu olarak ifade edilmesine rağmen aslında senkronizmada bozulma olmadan da kararsızlık meydana gelebilmektedir. Bu durum gerilim kararlılığı ve kontrolü konusuna girmektedir. Literatürde mevcut olan birkaç gerilim kararlılığı tanımlamaları verilmiştir. Gerilim kararsızlığı süresince meydana gelen olayların çok geniş bir alanda incelenmesinden dolayı değişik tanımlamalar belirtilmiştir [12]. Gerilim Kararlılık tanımlamaları için iki temel referans tanımlama kaynağı bulunmaktadır. Bunlar CIGRE ve IEEE'dir [12]. CIGRE tanımı diğer dinamik sistem kararlılık problemlerine benzemektedir. IEEE tanımı ise daha çok, güç sistem şebekesinin gerçek işletme sürecini vurgulamaktadır. Bu tanımlamalar arasındaki ortak noktalar aşağıda verilmiştir.

Gerilim kararsızlığı, iletim ve üretim sistemlerinde normal çalışma koşullarının dışında, dinamik yüklerin aniden sistemleri etkilemesinden kaynaklanır. Gerilim kontrolü ve gerilim kararsızlığı yerel bir problemdir. Ancak sonuçta sistem üzerinde çok geniş bir etki oluşturmaktadır. Gerilim kararsızlığı neticesinde oluşan gerilim çökmesi olayı, güç sistemi için büyük felaketler zincirinin başlamasına öncülük eden bir etkidir [5]. Bir güç sisteminde gerilim dengesizliği bir bozucu etki sonrasında gerilimin azalmasının kontrol edilememesinden kaynaklanır.

Gerilim kararlılığı yüklerin durumuna bağlı olarak oluşur. Gerilim kararlılığına etki eden yüklerin dinamik özellikleri; bozulmanın büyüklüğünü belirlemede, kararlılık

tahmininde ve analiz metodunu belirlemede etkilidir. Gerilim kararlılığı, bozulmanın büyüklüğüne bağlı olarak büyük bozucu gerilim kararlılığı ve küçük bozucu etki gerilim kararlılığı olarak iki kategoride sınıflandırılabilir [10,12].

2.1.2.1 Büyük Bozucu Etki Gerilim Kararlılığı

Büyük bozucu etki gerilim kararlılığı (BBEGK) sistemin arızalanması, üretim kaybı, hat arızaları gibi büyük bozucu etki sonrası güç sisteminin kabul edilebilir gerilim seviyesinde tutulabilme yeteneğidir [5,12]. Kesintili ve kesintisiz kontrol ve koruma cihazları arasındaki etkileşimi kapsayan güç sisteminin lineer olmayan cevabı, büyük bozucu etki gerilim kararlılığını belirlemek için incelenmelidir. Sistemde oluşan büyük bozulmalar altında BBEGK'da kararlılık yerleşme süresi 10-30 saniyeden onlarca dakikaya kadar varabilir [12].

2.1.2.2. Küçük Bozucu Etki Gerilim Kararlılığı

Küçük bozucu etki gerilim kararlılığı (KBEGK); sistem gerilimini, yüklerindeki değişimler gibi küçük bozucu etkiler sonrasında kabul edilebilir limitler arasında tutabilme yeteneğidir [5,12]. Bu analizde çalışma noktası etrafında lineer model tasarlanır. KBEGK dakikalar sürebilir hatta bu zaman saatler süresine dahi çıkabilir [5].

Küçük bozucu etki gerilim kararlılığında da, büyük bozucu etki gerilim kararlılığında da arızanın çeşidine bağlı olarak, güç sistemi üzerinde bozucu etki zamanı açısından, kısa süreli ve uzun süreli olmak üzere iki şekilde ele alınabilir.

2.1.2.3. Kısa Süreli Gerilim Kararlılığı

Kısa süreli gerilim kararlılığı (KSGK), indüksiyon motorları, elektronik kontrollü yükler, yüksek doğru gerilim (HVDC) dönüştürücüleri gibi değişim zamanları çok hızlı olan yüklerin etkisi ile oluşan bir kararlılık olayıdır. Bu alanda çalışma zamanı birkaç saniyedir ve sorunun analizinde hazırlanan diferansiyel denklemlerin çözümü gerekmektedir. Bu durum rotor açısı kararlılığı analizine benzer bir durumdur [5]. Problemin modellenmesi ve analizi de aynı şekilde yapılır. Kısa süreli gerilim kararlılığı ile açısı kararlılığı problemlerini meydana geliş nedenleri arasındaki farkları birbirlerinden

ayırt etmek çok zordur. Bütün gerilim çökmelerinin sebeplerinin arkasında gerilim ve açılı kararsızlıklarının her ikisi de birlikte bulunmaktadır [10]. Kısa süreli değişimler olduğunda, sistemin kontrol değerlerinin zaman değişimleri daha yavaş olduğundan kısa sürede kontrol sistemleri iş yapamaz fakat bozucu etkide sistemi çok etkilemez ve bozucu etki bazen kendiliğinden de yok olabilir [10].

2.1.2.4. Uzun Süreli Gerilim Kararlılığı

Uzun süreli gerilim kararlılığı (USGK) termostatik kontrollü yükler (ısıtıcı özellikli omik yükler), yük altında kademe değiştiren transformatörler gibi daha yavaş çalışma özelliğine sahip malzemelerin oluşturduğu bir kararlılık olayıdır [5]. Uzun süreli zamana sahip bozucu etki değişimleri, birkaç dakika hatta daha da uzun süreli olabilir. Uzun süreli kararlılık problemleri frekans ve gerilim kararlılığı olmak üzere iki şekilde ortaya çıkar. Frekans problemi güç sisteminde temel bir bozucu etki neticesinde oluşur [10]. Frekans kararsızlığı generatörler ve yükler arasındaki aktif güç dengesizliğinden kaynaklanır. Generatörlerden talep edilen aktif güç değerlerinde artma meydana geldiğinde generatörlerin ürettiği enerjinin frekanslarında da değişimler olur. Frekanslardaki değişimler generatörlere bağlı hız regülatörleri ile kontrol edilmeye ve sabit frekanslı enerji üretilmeye çalışılır. Sistem frekansı düştüğü veya yükseldiği zaman üretilen güç artar veya azalır [10]. Uzun süreli simülasyonlarda sistemin dinamik performansının analizi gereklidir [5].

3. GÜÇ SİSTEMLERİ VE MODELLENMESİ

Güç sistemi dizayn edilirken aşağıdaki temel gereksinimleri sağlamasına dikkat edilmelidir [1,7]:

- Sistem sürekli olarak aktif ve reaktif güç talebini karşılayabilmelidir. Elektrik enerjisi diğer enerji türleri gibi kolayca depolanamadığı için aktif ve reaktif güç için emniyetli çalışma şartı sağlanmalı ve her zaman kontrol edilmelidir.
- Sistem enerjiyi minimum maliyet ve minimum ekolojik zararlar sağlamalıdır.
- Enerji üretim sisteminin kalitesini belirleyen frekans, gerilim ve güvenilirlik seviyesi değerleri minimum standartlara uygun olmalıdır.

Bu gereksinimlerin karşılanabilmesi için güç sistem elemanları üzerinde kontrolörler mevcuttur. Üretim ünitesi, tahrik sistemi ve uyarım sistemi kontrol yapılarına sahip birimlerdirler. Tahrik sistemi kontrolleri, hız regülasyonu ve enerji sağlayan sistem değişkenleri (buhar basınçları, sıcaklıklar ve akış) ile ilgilidir. Uyarım kontrol sistemleri ise generatör çıkış gerilimi ve reaktif güç çıkışının regülasyonunu sağlar [1,7]. Tüm bu kontroller sistem değişkenlerinin belirli limitler içerisinde kalmasını sağlayarak sistemin gerilim ve frekans kararlılığına katkıda bulunurlar. Güç sisteminin dinamik performansını artırarak bozucu etkilere karşı dayanma kabiliyeti kazandırılırlar.

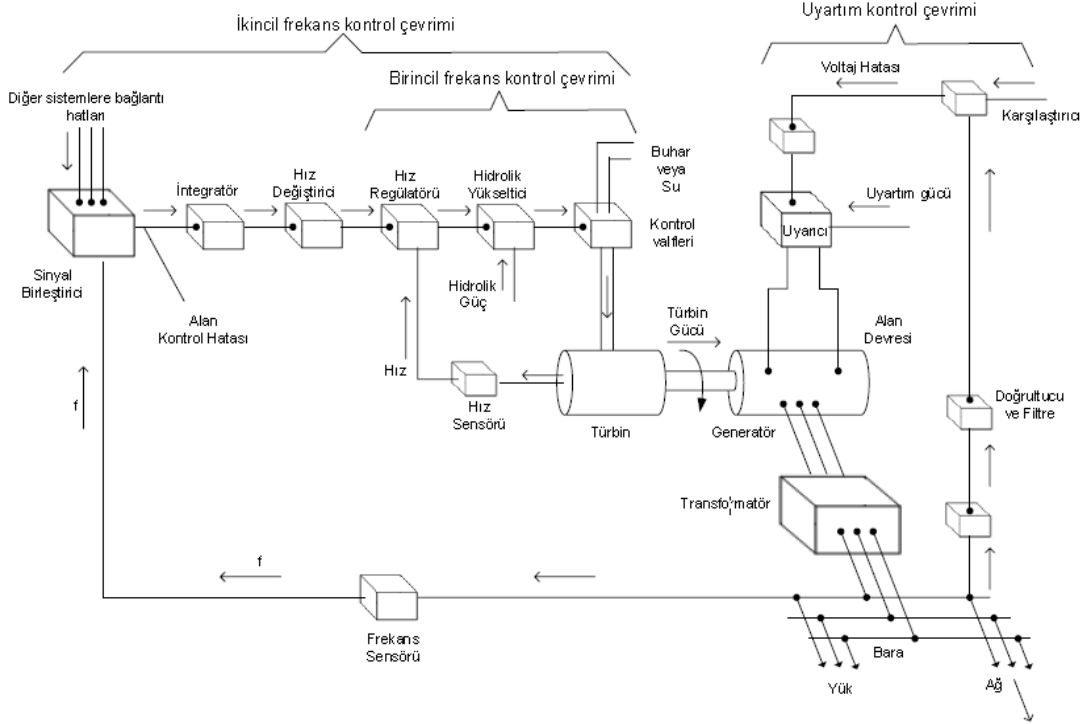
3.1. Generatör Kontrolleri ve Kontrol Çevrimleri

Enerji üretim birimlerinin çalışma prensibi, generatörlerin paralel bağlı bulunduğu diğer generatörlerle senkron halde (aynı hız ve gerilim değerlerinde) çalışmaları esasına dayalıdır. Ayrıca bu esasa dayalı çalışan generatör gruplarından oluşan her bir enerji üretim birimi de diğer enerji üretim birimleriyle senkron halde paralel bağlanarak enterkonnekte sistemi oluştururlar. Tüm sistem eşzamanlı olarak birbiriyle enterkonnekte çalıştığından hız ve gerilim kontrolleri sistemin önemli bir parçasını oluşturur ve sistem üzerinde önemli rol oynarlar.

Güç sistemlerinin üretim biriminin bir elemanı olan senkron generatörlerin yapısından kaynaklanan hız-frekans ve uyarım akımı-gerilim ilişkilerinden yola çıkılarak iki adet kontrol ünitesi ve çevrimi geliştirilmiştir [7]. Bu çevrimler ve kontrol üniteleri;

- Hız Kontrol Ünitesi (Frekans kontrol çevrimi)
- Gerilim Kontrol Ünitesi (Uyartım kontrol çevrimi)

Bu iki geri beslemeli kontrol çevrimi ile senkron generatör çıkışlarındaki frekans ve gerilimin regülasyonu sağlanır. Bu çalışma prensibinin blok diyagramına Şekil 3.1’de yer verilmiştir [7].



Şekil 3.1. Güç sistemi için uyartım ve frekans kontrol çevrimi

Generatörler senkronize bağlandığı zaman hız regülatörü olsa da olmasa da tüm generatörlerin hızları birbirine eşit kalır. Bu durumda hız regülatörleri, generatörler arasındaki güç dağılımının kontrol edilmesini sağlarlar. Operatörler tarafından regülatörün referans girişi değiştirilerek generatör güç ayarı yapılır. Tam olarak aynısı olmasa da OGR’ler için de durum böyledir. Enterkonnekte güç sisteminin gerilimi nominal değerlere çok yakındır. OGR’ler esasında generatör tarafından üretilen reaktif gücü kontrol ederler ve bu kontrolü de belirli bir alt ve üst limitler dahilinde gerçekleştirebilirler. Enterkonnekte sistemde bir değişim olduğunda hız ve uyartım regülatörleri birincil amaçlarını yerine getirirler. Sistemde yük azalırsa generatörler hızlanır ve hız regülatörleri tarafından belirlenen yeni kararlı hız değerine ulaşırlar. Sonuçta sistemden çekilecek güç, generatörlerin etiket değerlerine göre paylaşılacaktır. OGR’ler ise çıkış gerilimini nominal değer ve reaktif güç ihtiyacına uygun bir değerde tutmaya çalışırlar. Her iki kontrolde de, enterkonnekte sistem içerisinde sürekli oluşan küçük yük değişimlerinden kaynaklanan

frekans ve gerilim değişimleri minimize edilmeye çalışılır. Aslında generatör kontrollerinin ana amacı da budur. Yüklü bir generatörün sistemden ayrılması ender bir olaydır. Bu durumda hız regülatörü tahrip edici aşırı hızları önlemeye, OGR ise tahrip edici aşırı gerilimleri önlemeye çalışır [7].

Frekans Kontrol Çevrimi: Frekans kontrol çevrimi genel olarak birincil ve ikincil olmak üzere iki döngüye sahiptir. Birincil döngüde hız regülatörü ve kontrol valfleri vardır. Aktif güç çıkışını ve frekansı yani generatör mil hızını düzenler. Hızlı yük değişimlerine karşı aktif güç dengesi sağlanır. Kontrol valfleri ile buhar veya sıvı akış kontrolü sağlanır. Hız regülatörü ile de frekans kontrolü sağlanır. Yani birincil döngü ile aktif güç dengesi sağlanmasının dolaylı etkisiyle hız ve frekansın kabaca kontrolü sağlanır. İkincil döngü ile de diğer güç havuzlarıyla aktif güç alışverişı yapılarak frekansta hassas ve iyi bir ayar sağlanır. Fakat bu döngü hızlı yük ve frekans değişimlerine karşı duyarsızdır [7].

Uyartım Kontrol Çevrimi: Uyartım kontrol çevriminde ise çıkış geriliminin genliği kontrol edilir. Çıkış gerilimi sürekli olarak algılanır, doğrultulur ve filtrelendir. Çıkış gerilim değerini ifade eden “ V_t ”, referans gerilim değeri “ V_{ref} ” ile karşılaştırılır. Oluşan hata gerilim sinyali, yükseltme ve kırılma işlemlerinden sonra uyartım sisteminin girişine verilir. Uyartım sistemi çıkış gerilimi E_f ise generatör alan sargısını besler. Senkron generatörlerin uyartım sistemi kontrol edilerek gerilim ve reaktif güç kontrolü sağlanır. Uyartım ve frekans kontrol çevrimleri birbirlerinden bağımsız değildirler. Yani birbirleriyle etkileşim içindedirler. Uyartım kontrol çevrimi generatörün ürettiği emk’nın genliğini etkiler. Generatörün iç emk’sındaki değişim de aktif gücün genliğini değiştirir. Bu güç değişikliği de frekans kontrol çevrimini etkiler. Uyartım kontrol çevrimi çok daha hızlı olduğundan aktif güçte oluşan değişimler, frekans kontrol çevrimini çok daha yavaş etkiler [7].

Bu tez çalışmasının konusu olan küçük işaret kararlılığı analizi, uyartım kontrolü ve çevrimi ile alakalıdır. Bu nedenle bu bölümde uyartım sistemlerinin ve otomatik gerilim regülatörünün yapıları, çalışma prensiplerinden bahsedilecek ve simülasyon modelleri oluşturulacaktır. Güç sisteminin ana elemanı, yani üretim elemanı olan senkron generatöründe t-modeli yine bu bölümde elde edilecektir.

3.2. Uyarım Sistemleri

Genel olarak bir uyarıcı ve bir gerilim regülatörünü içeren uyarım sisteminin ana görevi senkron generatöre DA alan akımı sağlamaktır. Güç sistemleri açısından bakıldığında; uyarım sistemleri etkili bir gerilim kontrolü sağlamalı ve güç sisteminin kararlılığını arttırmalıdır. Geçici hal kararlılığını arttırmak için bozucu etkilere karşı hızlı cevap verebilme kabiliyeti olmalı ve küçük sinyal kararlılığını arttırmak için generatör alanını modüle etme yeteneğine sahip olmalıdır [1,7].

3.2.1. Uyarım Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

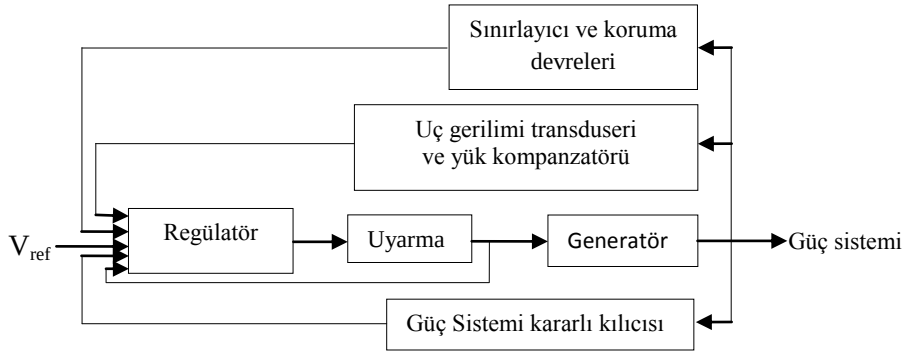
Tarihsel olarak uyarım sistemleri güç sistemlerinin performansının artırılmasına sürekli olarak artan bir şekilde katkıda bulunmuşlardır. İlk uyarım sistemlerinde, generatör çıkışında istenen gerilim ve reaktif güç dengesini sağlamak için manüel olarak kontrol sağlanmıştır. İlk zamanlar çok yavaş olan otomatik gerilim kontrolü temelde ikaz operatörünün rolünü üstlenmiştir. Küçük sinyal kararlılığını ve geçici hal kararlılığını arttırmak için 1920'li yıllarda sürekli ve hızlı çalışan regülatörler üretilmiştir. Uyarım sistemlerinin değiştirilmesine olan ilgi sayesinde, kısa sürede hızlı cevaba sahip uyarıcı ve regülatörler endüstriye kazandırılmıştır. 1960'lı yıllarda uyarım sistemlerinin rolü artmıştır. 1960'ların başlarında alan gerilimi kontrolü ve sistemdeki salınımların sönümlenmesi için çıkış gerilimi hata sinyaline ilaveten yardımcı kararlı kılıcı sinyallerin kullanımına başlanmıştır. Uyarım kontrolünün bu bölümü Güç Sistem Kararlı kılıcı birimi (GSK) olarak isimlendirilir. Modern uyarım sistemleri yüksek tavan gerilimleri sayesinde ani cevap verebilme yeteneğine sahiptir. Bu yüksek alan gücüne sahip uyarıcıların ve ilave kararlı kılıcı sinyallerin kullanımı, tüm sistemin dinamik performansının artırılmasına büyük bir katkı sağlamıştır [1,7]. Uyarım sisteminin görevini tam olarak yerine getirilebilmesi için aşağıdaki performans gereksinimlerini sağlaması gerekmektedir [1]:

- Güç sisteminin kararlılığı için yeterli performansa karşılık gelen sistem tepkisine sahip olmalı
- Sınırlama ve koruma fonksiyonları generatörün ve diğer cihazların zarar görmelerini engelleyecek özellikte olmalı
- İşletmede esneklik sağlanması için gerekli özelliklere sahip olmalı

- İstenen güvenilirlik özelliklerine, gerekli dayanıklılık, dahili hata bulma ve yalıtım kapasitesine sahip olmalıdır.

3.2.2. Uyarım Sisteminin Yapısı ve Birimleri

Büyük senkron generatörler için tipik bir uyarım kontrol sisteminin blok diyagramı Şekil 3.2'deki gibidir. Bu sistemde bulunan elemanlar kısaca aşağıdaki gibi ifade edilebilir [1,2,7].



Şekil 3.2. Uyarım kontrol sisteminin fonksiyonel blok diyagramı [1,7]

Uyarma: Uyarma sisteminin güç sahasını oluşturan senkron generatör uyarma sargılarına D.A. gücünü sağlar.

Regülâtör: Uyarmanın kontrolü için uygun şekil ve seviyede kontrol işaretlerini kuvvetlendirir ve işler [1,2,7].

Uç gerilimi transduseri ve yük kompanzatörü: Generatör uç gerilimini doğrultur, filtre eder ve onu referans olarak belirlenmiş uç gerilimi değeri ile karşılaştırır. Yük kompanzatörü ise generatörün içindeki veya uzağındaki bir noktadaki gerilimi kontrol etmek için kullanılır [1,2,7].

Güç sistem kararlı kılıcısı: Güç sisteminde oluşan salınımları sönümlendirmek için regülâtöre ilave olarak bir kontrol işareti üreten sistemlerdir. Güç sistem kararlı kılıcısına genellikle rotor hızında ki değişim, ivmesel güç ve frekanstaki değişim giriş işareti olarak verilir. GSK'nın dinamik davranışı sistem osilasyonlarının sönümlendirilmesini sağlar. Küçük işaret kararlılığını sağlamada etkin bir rol oynar [1,2,7]. Bölüm 5'de güç sistem kararlı kılıcılarının yapısına ve modellenmesine geniş olarak yer verilmiştir.

Sınırlayıcı: Sınırlayıcı uyarma ve senkron generatörün fiziksel sınırlarını aşmayacak şekilde koruma ve kontrol fonksiyonlarını gerçekleştirmeyi sağlar. Bazı bilinen ve

kullanılan sınırlayıcı fonksiyonlar uyarma akımını sınırlamak, uç akımını sınırlandırmaktır [7].

3.2.2.1. Otomatik Gerilim Regülatörü (OGR)

Otomatik gerilim regülatörünün temel görevi yükte normal, küçük ve yavaş değişimler olduğu zaman uyarma akımını kontrol ederek generatör uç geriliminin ve reaktif gücün belirlenen değerlerde sabit kalmasını sağlamaktır [7]. Pratikte karşılaşılan acil durumlar sırasında uyarma devresinde güçlü yardım sağlamak için uygun özelliğe sahip regülatör ve kararlı kılıcı devreleri tasarlanmalıdır.

OGR'ler çıkış gerilimindeki değişimleri algılayan ve bu gerilim ile orantılı uyarma kontrolü sağlayan cihazlardır. Eğer regülatör yavaşsa ölü banda sahip ve duyarsızdır anlamına gelir ki bu güç sistemlerinde istenmeyen bir durumdur. Bu elaman güç sistemi için kritik öneme sahip bir elamandır bu nedenle uç gerilimindeki değişim ne kadar küçük olursa olsun iyi algılamalı ve oransal kontrol yapısı ile bu değerle orantılı bir geri besleme işareti üretmelidir [1,2,7]. Bunun yanı sıra yüksek kazanç ve küçük zaman sabitine sahip modern OGR sistemlerinin güç sisteminin kararlılığı üzerine birbirine zıt iki etkiye sahip olduğu bilinmektedir. OGR'ler yüksek çalışma hızları sayesinde bir yandan senkronlayıcı moment değerini artırarak güç sisteminin senkronizmasını korumasına destek olurken diğer yandan sönümleyici momentini azaltıcı etkilerinden dolayı güç sisteminin dinamik kararlılığının bozulmasına neden olurlar. OGR'lerin güç sisteminin dinamik kararlılığına olan negatif etkilerini gidermek amacı ile de uyarma sistemlerine güç sistem kararlı kılıcıları olarak adlandırılan destekleyici kontrol işareti üreten kontrol sistemleri eklenmiştir [1,2,4,7].

3.2.2.2. Uyarma Tipleri

Uyarma senkron generatörün uyarma sargıları için gerekli olan D.A akımı üreten, uyarma sisteminin güç katını oluşturan kısımdır. Uyarma gücünün sağlandığı kaynağa bağlı olarak uyarma sistemleri DA, AA ve statik olmak üzere üç ana gruba ayrılır [1,2,4]. Eski sistemlerde uyarma, ana generatör miliyle sürülen doğru akım generatöründen ibaretti. Yani bilezikler ve fırçalar yardımı ile generatör uyarmasına doğru akım gücünün aktarılması gerekiyordu. Modern uyarma sistemleri ise ya statik yada fırçasız yapıdadır.

Kararlılık kompanzatörünün etkileri ihmal edilip işlem kolaylığı açısından sadece karşılaştırıcı ve bir kuvvetlendiricinin varlığı dikkate alınarak uyarma kontrolünün matematiksel modeli çıkarılmaya çalışılırsa;

$$\Delta|V|_{ref} - \Delta|V| = \Delta e \quad (3.1)$$

$$\Delta v_R = K_A \Delta e \quad (3.2)$$

Burada K_A kuvvetlendirici kazancıdır. G_A kuvvetlendiricinin transfer fonksiyonu olmak üzere;

$$G_A = \frac{\Delta v_R}{\Delta e} = K_A \quad (3.3)$$

Bu eşitlik kuvvetlendiricinin cevabını verir. Fakat pratikte kuvvetlendirici bir gecikme zamanına sahiptir [3]. Gecikme zaman sabiti T_A olarak ifade edilip, kuvvetlendiricinin transfer fonksiyonu yazılacak olursa;

$$G_A = \frac{\Delta v_R}{\Delta e} = \frac{K_A}{1+sT_A} \quad (3.4)$$

elde dir. R_e ve L_e sırası ile uyarma alanındaki direnç ve indüktansı sembolize etmek üzere, gerilim eşitlikleri yazılırsa;

$$\Delta v_R = R_e \Delta i_e + L_e \frac{d\Delta i_e}{dt} \quad (3.5)$$

olur. Ana uyarma alanında; uyarma K_I 'yı üretir. (Uyarma akımı başına endüvi gerilimi olarak);

$$v_{fd} = K_I \Delta i_e \quad (3.6)$$

Bu eşitliklerden yola çıkılarak uyarmanın transfer fonksiyonu elde edilirse;

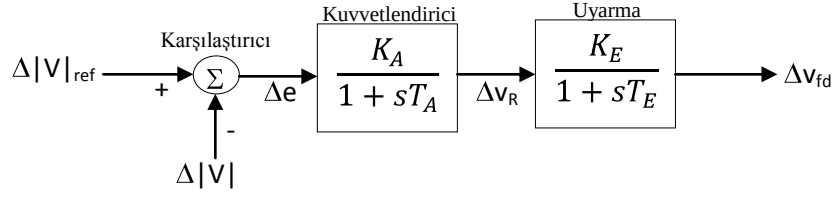
$$G_E = \frac{\Delta v_{fd}}{\Delta v_R} = \frac{K_E}{1+sT_E} \quad (3.7)$$

$$K_E = \frac{1}{R_e} \quad (3.8)$$

ve

$$T_E = \frac{L_e}{R_e} \quad (3.9)$$

tanımlamaları yapılırsa, bu eşitlikler ve transfer fonksiyonundan da yararlanarak blok diyagramı oluşturabiliriz. Şekil 3.4'de kuvvetlendiriciyi ve uyarma birimlerini içeren blok diyagramı görülmektedir [3].



Şekil 3.4. Kuvvetlendirici ve uyarmayı içeren blok diyagramı [3]

3.2.2.4. Generatörün Uyarmasının Modellenmesi

Yukarıdaki şekilde uyarma gerilimi v_{fd} ve $|V|$ uç gerilimi arasındaki kayıp dinamik bağıntısının kurulması gerekir. Uç gerilimi, iç emk ve iç empedans üzerindeki gerilim düşümünün farkına eşit olduğundan, uyarma gerilimi v_{fd} ve $|V|$ uç gerilimi arasındaki bağıntı generatörün yüklenmesine bağlıdır. En azından yüklenme sıfır veya çok küçük değilse, V uç gerilimi E 'ye eşittir. Uyarma sargısı gerilim eşitliği aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\Delta v_{fd} = R_{fd} \Delta i_{fd} + x_{fd} \frac{d\Delta i_{fd}}{dt} = \frac{\sqrt{2}}{\omega L_{ad}} \left[R_{fd} \Delta E + x_{fd} \frac{d\Delta E}{dt} \right] \quad (3.10)$$

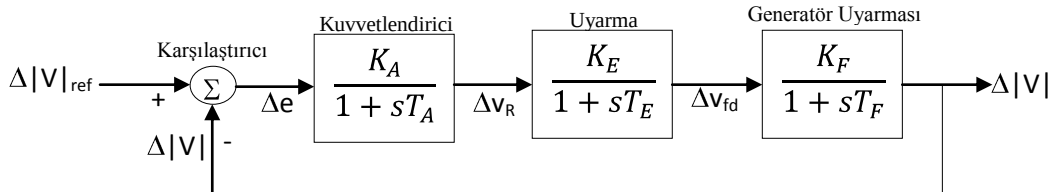
Bu eşitliğin laplace dönüşümü gerçekleştirilirse, uyarma kısmının transfer fonksiyonu elde edilir.

$$\frac{\Delta E(s)}{\Delta v_{fd}(s)} = \frac{\Delta |V|(s)}{\Delta v_{fd}(s)} = \frac{K_F}{1 + sT_F} \quad (3.11)$$

$$T_F = \frac{1}{\omega_0 R_{fd}} (x_{fd\sigma} + x_{ad}) = \frac{1}{\omega_0 R_{fd}} x_{fd} \quad (3.12)$$

$$K_F = \frac{\omega_0 L_{ad}}{R_{fd} \sqrt{2}} \quad (3.13)$$

diye tanımlanacak olursa bu durumda uyarım sisteminin blok diyagramı Şekil 3.5'deki gibi olur.



Şekil 3.5. Generatör uyarmasını da içeren uyarım sistemi modeli [3]

3.3. Senkron Generatörler

Dünyada tüketilen elektrik enerjisinin çok büyük bir kısmı senkron generatörler tarafından üretilir. Senkron generatörler rotor miline bağlı olan su veya buhar türbinleri tarafından sağlanan mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elektromekanik sistemlerdir. Senkron generatör yapısal olarak diğer çoğu elektrik makinaları gibi rotor ve stator olarak adlandırılan iki temel kısımdan oluşur. Uyarma (alan) sargıları rotor üzerine yerleştirilir. Statora 120°'lik açıyla yerleştirilen sargılar ise endüvi sargıları veya stator sargıları olarak adlandırılır. Uyarma sargılarından DA akıtılıp tahrik sistemi ile senkron generatör rotorunun döndürülmesi sonucunda rotorda oluşan manyetik döner alan stator sargılarında gerilim indükler. Stator sargılarında indüklenen gerilimin frekansı, güç sistem frekansı, rotorun dönüş hızına dolayısıyla tahrik momentine bağlıdır. Senkron makinenin enerji dönüşümünü gerçekleştirebilmesi için uyarma (alan) sargısının oluşturduğu rotor manyetik alanı stator akımlarının oluşturduğu stator manyetik alanı ile aynı hızda dönmelidir. Bundan dolayı bu yapıdaki makinelere “senkron=eş zamanlı” ismi verilmiştir [2,5].

Senkron makinenin rotorunda uyarma sargılarına ilave olarak güç sistemi salınımlarının sönümlenmesinde yardımcı olması amacı ile kendi üzerine kısa devre edilmiş sönüm sargıları bulunur. Sürekli sinüzoidal çalışmada, senkron generatör rotor ve stator döner alanı aynı hızla döndüğünden dolayı, sönüm sargılarının etkisi yoktur. Ancak bozucu etki sonrasında senkron makinede iki döner alan arasında hız farkı oluşur. Bu durumda sönüm sargıları senkronizasyonu koruyacak yönde iki döner alan arasındaki hız farkı ile orantılı senkronlayıcı elektriksel moment üretir ve makinayı senkron hıza çeker.

Senkron generatörler çalışma hızlarına bağlı olarak; yüksek hızlı (turbo generatörler) ve düşük hızlı; rotorun fiziksel yapısına bağlı olarak da silindirik rotorlu ve çıkık kutuplu olarak iki gruba ayrılırlar. Buhar türbinleri tarafından tahrik edilen ve 3600 devir/dk gibi yüksek hızlarda çalışan turbo generatörler; merkezkaç kuvvetini azaltmak amacı ile rotor çapı küçük, eksensel boyu uzun olarak imal edilirler. Silindirik rotorlu generatör olarak da bilinen turbo generatörler çoğunlukla 2 veya 4 kutuplu olarak üretilirler. Çıkık kutuplu düşük hızlı generatörler ise tipik olarak 300-500 d/dk hızla su türbinleri ile tahrik edilirler. Çapı büyük, eksensel boyu kısa olan çıkık kutuplu generatörlerde güç sisteminin nominal frekans değerini sağlayabilmek amacı ile manyetik kutup sayısı (12-24) fazladır [2,5].

3.3.1. Güç Sistemlerinde Senkron Generatörlerin Yeri

Modern güç sistemlerinde, senkron generatörler bir grup halinde paralel olarak işletilirler. Güç sistemlerinde, muhtemel arıza durumunda veya sistemin çalışma koşullarının değişmesi durumunda generatörlerin gerektiği gibi çalışmalarını sürdüreceklerinden emin olunmalıdır. Senkron generatörün dinamik davranışı ile ilgili çalışmalar genellikle güç sistem analizlerinde üç sınıfa ayrılır [3]:

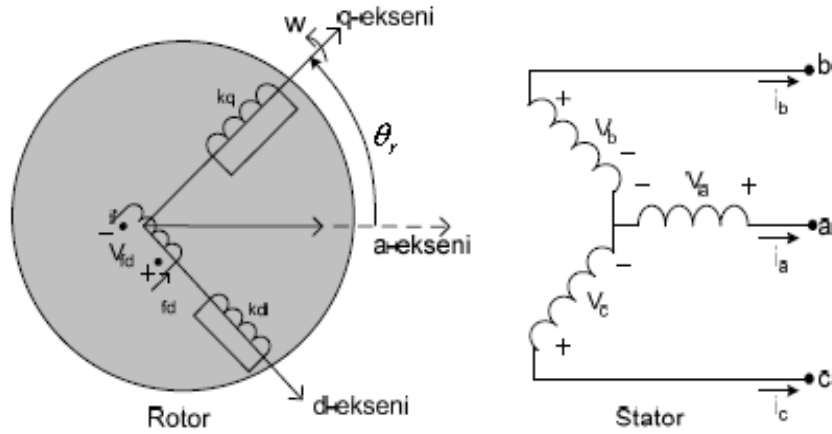
1. Geçici durum kararlılık çalışmaları; ciddi büyüklükteki bir geçici bozucu tarafından oluşturulan geniş osilasyonların varlığı durumunda generatörlerin senkronizmalarını sağlayabilme yeteneğini inceler. Makine modelleri, osilasyonlar büyük olduğu için makine modelleri 0.1 den 5 Hz frekans aralığında nonlineer olarak modellenmelidir. Böyle senkronize osilasyonların dinamik davranışlarının kontrol çeşidi ve sistem parametreleri tarafından etkilendiği bilinmektedir.
2. Dinamik kararlılık çalışmaları; bazı işletme koşulları için kararlılık ve küçük işaret davranışları üzerinde çalışır.
3. Uzun süreli dinamik enerji denge çalışmaları; senkronizma ve osilasyon problemlerinin dışında uzatılmış bir periyot boyunca sistem davranışları ile ilgilenir.

3.3.2. Senkron Generatör Modeli

Güç sistemlerinin analizine yönelik uzun yıllardır yapılan çalışmalarda SG'nin modellenmesinde, rotorunda uyarma sargısına ilave olarak dq eksenlerinde bir veya iki adet sönüm sargısı içeren, eşdeğer ideal senkron makine yapısının kullanılabileceği gösterilmiştir [2,3,5].

Bu kısımda Şekil 3.6'da gösterildiği gibi, 120° lik elektrik açıyla yerleştirilmiş üç adet stator sargısı (a, b, c) bir adet uyarma sargısı (fd) ve iki adet sönüm sargısı (kd, kq) bulunan SG için matematiksel model aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

Çalışmalarda SG'ler inceleneceğinden matematiksel modelin elde edilmesinde pozitif stator akım yönünün terminal uçlarından dışarı doğru alınması uygundur [2,5]. Bu koşul altında senkron makinenin stator ve rotor sargı gerilimleri aşağıdaki gibi yazılabilir.



Şekil 3.6. İdeal senkron makine devre gösterimi[2,3]

$$\begin{bmatrix} V_s \\ V_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_s & 0 \\ 0 & r_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ i_r \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Lambda_s \\ \Lambda_r \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

(3.14) eşitliğinde;

$$V_s = [v_a \quad v_b \quad v_c]^t \quad (3.15)$$

$$V_r = [v_{fd} \quad v_{kd} \quad v_{kq}]^t \quad (3.16)$$

$$i_s = [i_a \quad i_b \quad i_c]^t \quad (3.17)$$

$$i_r = [i_{fd} \quad i_{kd} \quad i_{kq}]^t \quad (3.18)$$

$$r_s = \text{diag}[r_a \quad r_b \quad r_c] \quad (3.19)$$

$$r_r = \text{diag}[r_{fd} \quad r_{kd} \quad r_{kq}] \quad (3.20)$$

$$\Lambda_s = [\lambda_a \quad \lambda_b \quad \lambda_c]^t \quad (3.21)$$

$$\Lambda_r = [\lambda_{fd} \quad \lambda_{kd} \quad \lambda_{kq}]^t \quad (3.22)$$

şeklinde. Stator ve rotor akıları Λ_s ve Λ_r aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} \Lambda_s \\ \Lambda_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ss} & L_{sr} \\ [L_{sr}]^t & L_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -i_s \\ i_r \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

(3.23) eşitliğinde L_{ss} matrisi stator sargılarının öz indüktansları (L_{aa}, L_{bb}, L_{cc}) ve stator sargıları arasındaki ortak indüktansları $L_{ab} = L_{ba}$, $L_{ac} = L_{ca}$ ve $L_{bc} = L_{cb}$ belirten katsayılardan oluşur.

$$L_{ss} = \begin{bmatrix} L_{ls} + L_0 - L_{ms} \cos 2\theta_r & -\frac{1}{2}L_0 - L_{ms} \cos 2\left(\theta_r - \frac{\pi}{3}\right) & -\frac{1}{2}L_0 - L_{ms} \cos 2\left(\theta_r + \frac{\pi}{3}\right) \\ -\frac{1}{2}L_0 - L_{ms} \cos 2\left(\theta_r - \frac{\pi}{3}\right) & L_{ls} + L_0 - L_{ms} \cos 2\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & -\frac{1}{2}L_0 - L_{ms} \cos 2\left(\theta_r - \frac{\pi}{3}\right) \\ -\frac{1}{2}L_0 - L_{ms} \cos 2\left(\theta_r + \frac{\pi}{3}\right) & -\frac{1}{2}L_0 - L_{ms} \cos 2\left(\theta_r + \frac{\pi}{3}\right) & L_{ls} + L_0 - L_{ms} \cos 2\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Benzer şekilde matrisi L_{rr} rotor sargılarının öz-endüktansları ($L_{fdfd}, L_{kdkd}, L_{kqkq}$) ve alan sargısı ile d-ekseni sönüm sargısı arasındaki ortak endüktansı $L_{fdkd} = L_{kd fd}$ gösteren

katsayılardan oluşur. Alan sargısı ile q-ekseni ve d-q eksenleri birbirine dik olduğundan bu sargılar arasındaki ortak endüktans sıfırdır. $L_{fdkq} = L_{kqfd} = L_{kdkq} = L_{kqkd} = 0$.

$$L_{rr} = \begin{bmatrix} L_{lf} + L_{mfd} & L_{fdkd} & 0 \\ L_{kafd} & L_{lk d} + L_{mkd} & 0 \\ 0 & 0 & L_{lkq} + L_{mkd} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

L_{sr} matrisi ise stator-rotor sargıları arasındaki ortak indüktanslardan oluşur.

$$L_{sr} = \begin{bmatrix} L_{sfd} \sin \theta_r & L_{skd} \sin(\theta_r) & L_{skq} \cos(\theta_r) \\ L_{sfd} \sin\left(\theta_r - \frac{\pi}{3}\right) & L_{skd} \sin\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & L_{skq} \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) \\ L_{sfd} \sin\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) & L_{skd} \sin\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) & L_{skq} \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

(3.22) ve (3.24) ifadelerinden görüldüğü gibi L_{ss} ve L_{sr} endüktans matrislerine ait katsayılar rotor açısı θ_r 'nin birer fonksiyonudur. θ_r zamanla değiştiğinden dolayı bu katsayılar da zamanla değişecektir. L_{ss} , L_{sr} matrislerinin zamanla değişen katsayılarından oluşması, (3.14) denklemi ile ifade edilen faz büyüklüklerinin hesaplanmasını zorlaştırır. Çünkü her hesaplama için bu matris katsayılarının yeniden bulunması gerekir [2,3,5].

3.3.2.1. Rotor referans çevresi dönüşüm matrisi

R.H.Park tarafından 1929 yılında elektrik makinelerinin analizini kolaylaştıran bir yaklaşım geliştirilmiştir. Park dönüşümü olarak adlandırılan bu yaklaşım, stator sargı değişkenlerini (gerilim, akım ve akı) rotora kilitli kabul edilen hayali bir referans eksen takımı üzerinde tanımlar. Bu dönüşüm gerçek stator değişkenlerinin d ve q eksenleri olarak adlandırılan hayali iki eksen üzerindeki izdüşümlerinin hesaplanması ile gerçekleştirilir [2,3,5]. Park dönüşümü (3.22) ve (3.24)'de tanımlanan değişken katsayılı endüktans matrislerinin sabit katsayılı matrislere dönüşmesini sağlar. Böylece (3.14) denklemi ile ifade edilen faz büyüklüklerinin hesaplanmasındaki zorluk giderilmiş olur. Elektrik makinelerinin analizinde kullanılan üç temel referans eksen vardır. Bunlar; durağan referans eksen, senkron hızla dönen referans eksen ve rotora kilitli referans eksen olarak adlandırılır. Senkron makinelerde zamanla değişen katsayılarla sahip endüktans matrislerinin sabit katsayılı matrislere dönüştürülebilmesi için rotora kilitli referans eksenin kullanılması gerekmektedir.

Park dönüşümü senkron makinelerin gerilim denklemlerinde bulunan zamanla değişen katsayıları elimine etmesi özelliği ile senkron makinelerinin analizinde büyük kolaylık

sağlamıştır. Stator sargılarına ait değişkenler, gerilim, akım ve akı, park dönüşümü yardımı ile rotor referans çevresine indirildiğinde (3.22) ve (3.24) ile verilen ve zamanla değişen katsayılardan oluşan L_{ss} ve L_{sr} endüktans matrisleri sabit katsayılı matrislere dönüşür. Böylece (3.14) ifadesinin hesaplanmasındaki problem giderilmiş olur. R.H. Park tarafından önerilen dönüşüm matrisine (3.25) ifadesinde verilmiştir [2,3,5].

$$T_{qd0}(\theta_r) = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta_r & \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin\theta_r & \sin\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

(3.25) ifadesinde verilen dönüşüm matrisinin tersi (3.26)'da verilmiştir.

$$[T_{qd0}(\theta_r)]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_r & \sin\theta_r & 1 \\ \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

Senkron generatör için anlık güç; gerçek faz değişkenleri cinsinden;

$$P_{abc} = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \quad (3.27)$$

d-q bileşenleri cinsinden ise;

$$P_{dq0} = P_{abc} = \frac{3}{2}(v_q i_q + v_d i_d + 2v_0 i_0) \quad (3.28)$$

olarak yazılabilir. (3.28) ifadesinde 3/2 katsayısı dönüşüm sonrası güç korunumunu sağlamak için kullanılmıştır.

Literatürde elektrik makinelerinin analizi için önerilmiş çeşitli dönüşüm matrisleri vardır. Bunlardan, Lewis tarafından sunulan güç korunumunu sağlayan dönüşüm matrisi aşağıda verilmiştir.

$$T_{qd0}(\theta_r) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta_r & \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin\theta_r & \sin\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

(3.29) ifadesi görüldüğü gibi Park dönüşümündeki bazı katsayıların değiştirilmesi ile elde edilmiştir [2,5]. Bundan dolayı bu dönüşüm matrisi modifiye edilmiş park dönüşümü olarak adlandırılır. (3.29) ifadesi ile verilen dönüşüm matrisinin tersi (3.30) de verilmiştir.

$$[T_{qd0}(\theta_r)]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta_r & \sin\theta_r & \sqrt{\frac{1}{2}} \\ \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \sqrt{\frac{1}{2}} \\ \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) & \sqrt{\frac{1}{2}} \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

(3.29) ve (3.30) ifadelerinden modifiye edilmiş dönüşüm matrisinin ortogonal olduğu, $T_{qd0}(\theta_r) = [T_{qd0}(\theta_r)]^{-1}$ anlaşılır. Bu durum dönüşüm sonrasında güç korunumunun sağlandığını gösterir.

$$P_{dq0} = P_{abc} = (v_q i_q + v_d i_d + v_0 i_0) \quad (3.31)$$

3.3.2.2. Rotor Referans Çevre Dönüşümü

Şekil 3.7’de gösterildiği gibi ideal makine yapısında rotor sargıları dq eksenleri üzerindedir. Dolayısıyla (3.25)’de verilen Park dönüşümünün sadece stator sargılarına uygulanması yeterlidir. Stator gerilim, akım ve akı denklemleri için dq dönüşümü aşağıdaki gibi elde edilir[2,3,5].

$$V_{qd0} = T_{qd0\theta(r)} V_s \quad (3.32)$$

$$V_{qd0} = [v_q \ v_d \ v_0]^t \quad (3.33)$$

$$i_{qd0} = T_{qd0\theta(r)} i_s \quad (3.34)$$

$$i_{qd0} = [i_q \ i_d \ i_0]^t \quad (3.35)$$

$$\Lambda_{qd0} = T_{qd0\theta(r)} \Lambda_s \quad (3.36)$$

$$\Lambda_{qd0} = [\lambda_q \ \lambda_d \ \lambda_0]^t \quad (3.37)$$

Park dönüşümü 3.14 de verilen stator sargı gerilim ifadelerine uygulanırsa;

$$V_{qd0} = -T_{qd0} r_s T_{qd0}^{-1} i_{qd0} + T_{qd0} \left[\frac{d}{dt} T_{qd0}^{-1} \right] \Lambda_{qd0} \quad (3.38)$$

ifade edilir. Stator dirençleri eşit kabul edilirse, $r_a = r_b = r_c = r_s$, (3.38) ifadesinin ilk terimi aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$T_{qd0} r_s T_{qd0}^{-1} i_{qd0} = r_s i_{qd0} \quad (3.39)$$

(3.38) ifadesinin ikinci kısmı ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$T_{qd0} \left[\frac{d}{dt} T_{qd0}^{-1} \right] \Lambda_{qd0} = T_{qd0} \left[\left(\frac{d}{dt} T_{qd0}^{-1} \right) \Lambda_{qd0} + T_{qd0}^{-1} \frac{d}{dt} \Lambda_{qd0} \right] \quad (3.40)$$

(3.40) ifadesinin ilk terimi aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$\left(\frac{d}{dt}T_{qd0}^{-1}\right)\Lambda_{qdo} = \omega_r \begin{bmatrix} -\sin\theta_r & \cos\theta_r & 0 \\ -\sin\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & 0 \\ -\sin\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) & 0 \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

Trigonometrik ifadelerin düzenlenmesi ile;

$$T_{qd0} \left[\frac{d}{dt}T_{qd0}^{-1}\right]\Lambda_{qdo} = \omega_r \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Lambda_{qdo} = \begin{bmatrix} \omega_r \lambda_d \\ -\omega_r \lambda_q \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.42)$$

$$\omega_r = d\theta_r/dt \left(\frac{rad}{s}\right)$$

şeklinde elde edilir. Eşitlik (3.40)'daki son terim ise aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$T_{qd0}T_{qd0}^{-1}\frac{d}{dt}\Lambda_{qdo} = \frac{d}{dt}\Lambda_{qdo} \quad (3.43)$$

(3.39), (3.42) ve (3.43) ifadelerinden rotor referans çevrimine dönüştürülen senkron generatör stator gerilim ifadesi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V_{qd0} = -r_s i_{qd0} + \begin{bmatrix} \omega_r \lambda_q \\ -\omega_r \lambda_d \\ 0 \end{bmatrix} + \frac{d}{dt}\Lambda_{qdo} \quad (3.44)$$

$$\begin{bmatrix} \Lambda_{qdo} \\ \Lambda_{qdr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{qd0}L_{ss}T_{qd0}^{-1} & T_{qd0}L_{sr} \\ [L_{sr}]^t T_{qd0}^{-1} & L_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -i_{qd0} \\ i_{qdr} \end{bmatrix} \quad (3.45)$$

Yukarıdaki işlemlerden sonra elde edilen senkron makinenin rotor referans çevresine indirgenmiş sargı denklemleri aşağıda verilmiştir [2,3,5].

$$v_q = -r_s i_q + \omega_r \lambda_d + \frac{d\lambda_q}{dt} \quad (3.46)$$

$$v_d = -r_s i_d + \omega_r \lambda_q + \frac{d\lambda_d}{dt} \quad (3.47)$$

$$v_0 = -r_s i_0 + \frac{d\lambda_0}{dt} \quad (3.48)$$

$$v'_{fd} = r'_{fd} i'_{fd} + \frac{d\lambda'_{fd}}{dt} \quad (3.49)$$

$$v'_{kd} = r'_{kd} i'_{kd} + \frac{d\lambda'_{kd}}{dt} \quad (3.50)$$

$$v'_{kq} = r'_{kq} i'_{kq} + \frac{d\lambda'_{kq}}{dt} \quad (3.51)$$

$$\lambda_q = -(L_{ls} + L_{mq})i_q + i'_{kq} \quad (3.52)$$

$$\lambda_d = -(L_{ls} + L_{md})i_d + L_{md}i'_{fd} + L_{md}i'_{kd} \quad (3.53)$$

$$\lambda_0 = -L_{ls}i_0 \quad (3.54)$$

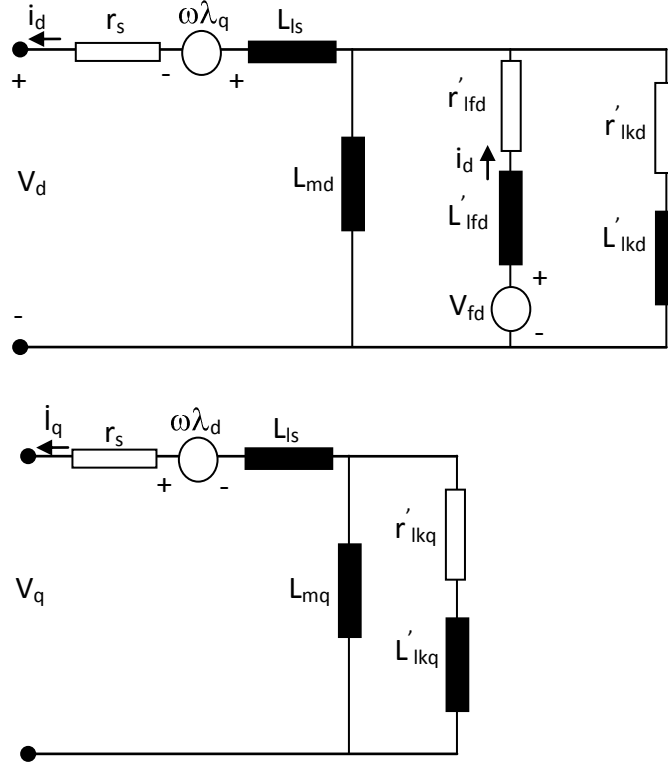
$$\lambda'_{fd} = -L_{md}i_d + (L'_{lfd} + L_{md})i'_{fd} + L_{md}i'_{kd} \quad (3.55)$$

$$\lambda'_{kd} = -L_{md}i_d + (L'_{lkd} + L_{md})i'_{kd} + L_{md}i'_{fd} \quad (3.56)$$

$$\lambda'_{kq} = -L_{mq}i_q + (L'_{lkq} + L_{mq})i'_{kq} \quad (3.57)$$

$$L_d = -L_{md} + L_{ls}, L_q = -L_{mq} + L_{ls} \quad (3.58)$$

Şekil 3.7'de (3.46) - (3.58) ile eşitlikleri edilen gerilim ve akı eşitlikleri için düzenlenen eşdeğer devreler gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Senkron generatör dq eksenli eşdeğer devreleri [5]

3.3.3. Kararlılık Çalışmalarında Kullanılan Senkron Generatör Modelleri

Literatürde güç sistemi dinamik kararlılık çalışmalarında kullanılmak üzere SG'ler için farklı derecelerden çeşitli modeller önerilmiştir ve kullanılmıştır [1-23]. Bu modeller içerisinde en çok kullanılanı rotor dinamiğine ilave olarak uyarma sargı dinamiğinin de dikkate alındığı 3. dereceden basitleştirilmiş modelidir. Fakat bu modelde aşağıda belirtilen sistem parametreleri ihmal edildiği bilinmektedir.

1. d ve q eksenlerindeki sönüm sargılarının (kd, kq) etkisi ihmal edilmiştir.
2. Stator sargıları direnci (r_s) ihmal edilmiştir.
3. Stator akı değişimleri $d\lambda_q/dt$ ve $d\lambda_d/dt$, hız gerilimlerinin $\omega_r\lambda_q$, $\omega_r\lambda_d$ yanında küçük olduğu için ihmal edilir [5,14,15].

Bu nedenle biz bu tez çalışmasında stator sargı akımı ve sönüm sargılarının etkilerinin ihmal edilmediği senkron generatörün bu ihmallerinde yapılmadığı t-modelinin elde edilip kullanılması uygun görülmüştür.

3.3.3.1. Senkron Generatörün Kararlılık Çalışmasında Kullanılmak Üzere Tasarlanan t- Modeli

Bu modelde; damper sargılarının uzun süre aktif olmadıklarını farz ederek transient periyot için d ekseninde stator akımı ve akı bağı arasındaki ilişkiyi kullanarak geçici durum model bağıntılarını çıkarmaya başlanmıştır. d eksenini döner alan akı bağıntıları; kd damper sargısının katkısı ihmal edilerek i_{kd} 'nin başlangıç değeri sıfır olmak için elde edilirse [3];

$$\begin{aligned}\lambda_d &= -L_d i_d + L_{md} i'_f \quad \text{Wb. sarım} \\ \lambda'_f &= -L_{md} i_d + L'_{ff} i'_f\end{aligned}\quad (3.59)$$

λ'_f 'i $\omega_r L_{md}/L'_{ff}$ ifadesi ile çarparsak, aşağıdaki ifadeyi elde ederiz.

$$\frac{\omega_r L_{md}}{L'_{ff}} \lambda'_f = -\frac{\omega_r L_{md}^2}{L'_{ff}} i_d + \omega_r L_{md} i'_f \quad (3.60)$$

Aşağıdaki denklemler arasındaki ilişkileri de kullanarak

$$E'_q = \omega_r \lambda'_d = \omega_r \frac{L_{md}}{L'_{ff}} \lambda'_f, \quad E_q = \omega_r L_{md} i'_f, \quad \frac{L_{md}^2}{L'_{ff}} = L_d - L'_d \quad (3.61)$$

denklem (3.61) düzenlenecek olursa;

$$E'_q = E_q - \omega_r (L_d - L'_d) i_d \quad V \quad (3.62)$$

(3.57)'deki iki akı bağıntısında yer alan; alan akımı i_f 'yi elimine edilir ve 3.61'deki bağıntılardan da yararlanırsa, λ_d ifadesi için (3.63)'teki bağıntı ile ifade edilebilir.

$$\begin{aligned}\lambda_d &= \frac{L_{md}}{L'_{ff}} \lambda'_f - L_d i_d + \frac{L_{md}^2}{L'_{ff}} i_d = \frac{L_{md}}{L'_{ff}} \lambda'_f - L'_d i_d \quad \text{Wb. sarım} \\ &= \frac{E'_q}{\omega_r} - L'_d i_d\end{aligned}\quad (3.63)$$

i_d 'yi yalnız bırakmak için (3.63) denklemi tekrar düzenlenirse;

$$i_d = \frac{1}{L'_d} \left(\frac{E'_q}{\omega_r} - \lambda_d \right) \quad A \quad (3.64)$$

q eksenini döner alanı için de benzer ifadeler elde edilmeye çalışılırsa;

$$\lambda'_g = -L_{mq} i_q + L'_{gg} i'_g \quad \text{Wb. sarım} \quad (3.65)$$

(3.65) eşitliği $\omega_r L_{mq}/L'_{gg}$ ifadesi ile çarpılırsa, (3.66) eşitliği elde edilir.

$$\frac{\omega_r L_{mq}}{L'_{gg}} \lambda'_g = -\frac{\omega_r L_{mq}^2}{L'_{gg}} i_q + \omega_r L_{mq} i'_g \quad (3.66)$$

aşağıdaki denklemler arasındaki ilişkileri de kullanarak,

$$E'_d = -\omega_r \lambda'_q = -\omega_r \frac{L_{mq}}{L'_{gg}} \lambda'_g, \quad E_d = \omega_r L_{mq} i'_g, \quad \frac{L_{mq}^2}{L'_{gg}} = L_q - L'_q \quad (3.67)$$

denklem (3.66)'yı tekrar yazacak olursak;

$$E'_d = -E_d - \omega_r (L_q - L'_q) i_q \quad V \quad (3.68)$$

alan akımı i_g 'yi elimine eder ve (3.66)'daki bağıntılardan da yararlanırsak λ_q ifadesini elde etmeye çalışırsak,

$$\begin{aligned} \lambda_q &= \frac{L_{mq}}{L'_{gg}} \lambda'_g - L_q i_q + \frac{L_{mq}^2 i_q}{L'_{gg}} \\ &= -\frac{E'_d}{\omega_r} - L'_q i_q + (L_q - L'_q) i_q \\ &= \frac{E'_d}{\omega_r} - L'_q i_q \end{aligned} \quad (3.69)$$

i_d 'yi yalnız bırakmak için (3.69) eşitliği tekrar düzenlenirse [3];

$$i_q = \frac{1}{L'_q} \left(\frac{-E'_d}{\omega_r} - \lambda_q \right) \quad A \quad (3.70)$$

a) *Stator sargılarının gerilim denklemleri:*

Stator sargılarının dq gerilim denklemlerini i_d ve i_q stator akımları cinsinden ifade edilirse [3];

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_q}{dt} &= v_q - r_s(-i_q) - \omega_r \lambda_d \quad Wb \cdot \frac{sarım}{s} \quad veya \quad V \\ \frac{d\lambda_d}{dt} &= v_d - r_s(-i_d) - \omega_r \lambda_q \end{aligned} \quad (3.71)$$

Eğer akı bağlantıları modelde sabit bağlantılı ise denklem (3.65) ve (3.70)'deki i_q ve i_d eşitlikleri (3.71)'de yerine konularak;

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_q}{dt} &= v_q + \frac{r_s}{L'_q} \left(\frac{-E'_d}{\omega_r} - \lambda_q \right) - \omega_r \lambda_d \\ \frac{d\lambda_d}{dt} &= v_d + \frac{r_s}{L'_d} \left(\frac{E'_q}{\omega_r} - \lambda_d \right) - \omega_r \lambda_q \end{aligned} \quad (3.72)$$

eşitlikleri elde edilir.

b) *Alan sargısı gerilim denklemleri:*

f ve g alan sargılarının gerilim denklemleri onların ayrı ayrı zaman sabitlerini kapsayan bir şekilde ifade edilmiştir. d ekseninden başlayacak olursak; f alan gerilim denklemini veren ifade [3];

$$v_f' = r_f' i_f' + \frac{d\lambda_f'}{dt} V \quad (3.73)$$

(3.72) eşitliği $\omega_r L_{md}/r_f'$ ifadesi ile çarpılırsa, aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{\omega_r L_{md}}{r_f'} v_f' = -\frac{\omega_r L_{md}}{r_f'} \frac{d\lambda_f'}{dt} + \omega_r L_{md} i_f' \quad (3.74)$$

(3.74) denkliğinde $E_f = \frac{\omega_e L_{md}}{r_f'} v_f'$ ifadesi yerine konulur ve T_{d0}' ve E_q' cinsinden ifade edilmeye çalışılırsa;

$$\frac{\omega_r L_{md}}{r_f'} \lambda_f' = \frac{L_{ff}'}{r_f'} \left(\frac{\omega_r L_{md}}{L_{ff}'} \lambda_f' \right) = T_{d0}' E_q' \quad (3.75)$$

veya (3.75) eşitliği aşağıdaki gibide yazılabilir.

$$E_f = E_q + T_{d0}' \frac{dE_q'}{dt} V \quad (3.76)$$

veya

$$T_{d0}' \frac{dE_q'}{dt} = E_f - E_q \quad (3.77)$$

E_q' 'yu $E_q' - \omega_r (L_d - L_d') i_d$ olarak tekrar düzenlersek (3.77) eşitliği (3.79) formunu alır.

$$T_{d0}' \frac{dE_q'}{dt} + E_q' = E_f - \omega_r (L_d - L_d') i_d \quad (3.78)$$

$$T_{d0}' \frac{dE_q'}{dt} + \frac{L_d}{L_d'} E_q' = E_f + \left(\frac{L_d - L_d'}{L_d'} \right) \omega_r \lambda_d \quad (3.79)$$

c) *q eksenini alan sargısı gerilim denklemi:*

Denklemlerdeki simetri nedeni ile g sargısını q ekseninde alabiliriz. Simetri nedeni ile q eksenini alan gerilim denklemlerini çıkarmak kolaydır. g sarımını rotorda q eksenini devresinde indüklenen gerilimin etkilerini temsil etmek için kullanılan hayali bir sarım gibidir [3].

g sarımının gerilim denklemi yazılacak olursa;

$$v_g' = r_g' i_g' + \frac{d\lambda_g'}{dt} V \quad (3.80)$$

(3.80) eşitliği $\omega_r L_{mq}/r_g'$ ifadesi ile çarpılırsa, aşağıdaki ifadeyi elde edilir.

$$\frac{\omega_r L_{mq}}{r_g'} v_g' = -\frac{\omega_r L_{mq}}{r_g'} \frac{d\lambda_g'}{dt} + \omega_r L_{mq} i_g' \quad (3.81)$$

(3.81) denkliğinde $E_g = \frac{\omega_r L_{mq}}{r_g'} v_g'$ ve $E_d = -\omega_r L_{mq} i_g'$ ifadeleri yerine konulacak olursa

ve T_{q0}' ve E_d' cinsinden ifade edilmeye çalışılırsa;

$$\frac{\omega_r L_{mq}}{r_g'} \lambda_g' = \frac{L_{gg}'}{r_g'} \left(\frac{\omega_r L_{mq}}{L_{gg}'} \lambda_g' \right) = T_{q0}' E_d' \quad (3.82)$$

veya (3.82) denklemini aşağıdaki gibide yazılabilir.

$$T'_{qo} \frac{dE'_d}{dt} = -E_g - E_d \quad (3.83)$$

E_d 'yu $E'_d - \omega_r(L_q - L'_q)i_q$ olarak tekrar düzenlersek (3.83) eşitliği (3.85) formunu alır.

$$T'_{qo} \frac{dE'_d}{dt} + E'_d = E_g - \omega_r(L_q - L'_q)i_q \quad (3.84)$$

$$T'_{qo} \frac{dE'_d}{dt} + \frac{L_q}{L'_q} E'_d = -E_g - \left(\frac{L_q - L'_q}{L'_q} \right) \omega_r \lambda_q \quad (3.85)$$

d) *Moment denklemleri:*

Döner alan içerisinde oluşan elektromanyetik moment ifadesi motor çalışma için pozitif olup statordan dışarıya akan akımlar i_q ve i_d olmak üzere;

$$\begin{aligned} T_{em} &= \frac{3}{2} \frac{P}{2} \{ \lambda_d(-i_q) - \lambda_q(-i_d) \} \quad N.m \\ &= \lambda_d(-i_q) - \lambda_q(-i_d) \quad pu \end{aligned} \quad (3.86)$$

(3.86) eşitliğinde dikkat edilmesi gereken; i_q ve i_d stator sarımlarından akan akımlar oldukları için T_{em} motor durumunda çalışma için sürekli pozitif generatör çalışma durumunda ise sürekli negatif olacaktır. (3.86)'daki λ_d ve λ_q ifadeleri $\lambda'_q + L'_q(-i_q)$ ve $\lambda'_d + L'_d(-i_d)$ kullanılarak tekrar düzenlenecek olursa;

$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \{ \lambda'_d(-i_q) - \lambda'_q(-i_d) + (L'_d - L'_q)i_d i_q \} \quad (3.87)$$

Buna ek olarak; λ'_q ifadesi $-\frac{E'_d}{\omega_r}$ ve λ'_d ifadesi $-\frac{E'_q}{\omega_r}$ kullanılarak tekrar düzenlenecek olursa;

$$\begin{aligned} T_{em} &= -\frac{3}{2} \frac{P}{2} \left\{ \frac{E'_q i_q + E'_d i_d}{\omega_r} - (L'_d - L'_q)i_d i_q \right\} \quad Nm \\ &= -\left\{ \frac{E'_q i_q + E'_d i_d}{\frac{\omega_r}{\omega_b}} - \omega_b (L'_d - L'_q)i_d i_q \right\} \quad pu \end{aligned} \quad (3.88)$$

(3.75) ve (3.82) eşitlikleri kullanılarak (3.88) eşitliği tekrar düzenlenirse;

$$\begin{aligned} T_{em} &= -\frac{3}{2} \frac{P}{2} \left\{ \frac{\lambda_d}{L'_q} \left(-\frac{E'_d}{\omega_r} - \lambda_q \right) - \frac{\lambda_q}{L'_d} \left(\frac{E'_q}{\omega_r} - \lambda_d \right) \right\} \quad Nm \\ &= -\frac{3}{2} \frac{P}{2} \left\{ \frac{\lambda_d E'_d}{\omega_r L'_q} + \frac{\lambda_q E'_q}{\omega_r L'_d} - \left(\frac{1}{L'_d} - \frac{1}{L'_q} \right) \lambda_d \lambda_q \right\} \quad Nm \end{aligned} \quad (3.89)$$

g sargısı denklemleri; rotorda indüklenen akımların etkilerinin temsil edilmesinde kullanıldığı zaman harici giriş gerilimi v'_g ve E'_g sıfır olacaktır [3]. Bütünlük sağlamak için transient modelde stator akı bağlarının türevleri de yer almaktadır. Pek çok uygulamada bu modelde yer alan türev ifadeleri ihmal edilebilir. Transient kararlılık çalışmaları için bir

model kullanıldığında rotor sargısı transientlerinin daha etkin olduğu incelenmektedir. İlgilenilen aralıkta ki bu aralık genellikle ilk rotor salınımının gerçekleştiği aralıktır. Rotor transientleri T'_{do} ve T'_{qo} oranlarına bağlı olarak değişir. Genellikle $\omega_r \lambda_d$ ve $\omega_r \lambda_q$ genellikle $d\lambda_d/dt$ ve $d\lambda_q/dt$ den daha iyi gözlemlenebilir. Sonuç olarak stator gerilim denklemlerinde $d\lambda_d/dt$ ve $d\lambda_q/dt$ ihmal edilebilir. Bunun yanı sıra rotor dinamik denklemleri dışında geri kalan denklemlerde basitleşmeyi sağlamak için ω_r yerine ω_e uyartım frekansı kullanılabilir. $\omega_e = \omega_b$ farz edersek transient modeller biraz daha basitleşmiş olur.

e) *Düzenlenmiş denklemler:*

Stator sargı denklemleri:

$$v_q = -r_s i_q - x'_d i_d + E'_q (\text{V veya pu}) \quad (3.90)$$

$$v_d = -r_s i_d - x'_q i_q + E'_d \quad (3.91)$$

Rotor sargı denklemleri:

$$T'_{do} \frac{dE'_q}{dt} + E'_q = E_f - (x_d - x'_d) i_d \quad (3.92)$$

$$T'_{qo} \frac{dE'_d}{dt} + E'_d = E_g - (x_q - x'_q) i_q \quad (3.93)$$

Ve burada;

$$\lambda'_q = \lambda_q - L'_q (-i_q) \quad (3.94)$$

$$E'_q = -\omega_e \lambda'_q \quad (3.95)$$

$$\lambda'_d = \lambda_d - L'_d (-i_d) \quad (3.96)$$

$$E'_d = \omega_e \lambda'_d \quad (3.97)$$

Moment denklemi:

$$\begin{aligned} T_{em} &= -\frac{3}{2} \frac{P}{2\omega_e} \{E'_q i_q + E'_d i_d + (x'_q - x'_d) i_q i_d\} \quad Nm \\ &= -\{E'_q i_q + E'_d i_d + (x'_q - x'_d) i_q i_d\} \quad pu \end{aligned} \quad (3.98)$$

Hareket Denklemleri:

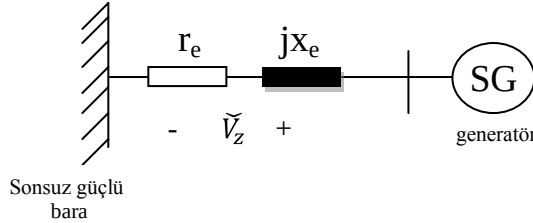
$$J \frac{d\omega_{rm}}{dt} = -T_{em} + T_{mech} - T_{damp} \quad Nm \quad (3.99)$$

$$2H \frac{d\{(\omega_r - \omega_e)/\omega_b\}}{dt} = -T_{em(pu)} + T_{mech(pu)} - T_{damp(pu)} \quad p.u \quad (3.100)$$

$$\frac{d\delta_e}{dt} = \omega_r - \omega_e \quad \omega_r = \frac{P}{2} \omega_{rm} \quad (3.101)$$

3.4. Tek Senkron Generatör Sonsuz Güçlü Bara (TGSGB) Sisteminin Modellenmesi

Bu çalışma kapsamında; küçük işaret kararlılık analizi yapılan sonsuz güçlü baraya bağlı tek senkron generatörden oluşan dinamik sistemin elektriksel eşdeğerine Şekil 3.8’de yer verilmiştir.



Şekil 3.8. Tek makine sonsuz güçlü bara sistem şeması [3]

Bir önceki başlık altında senkron generatörlerin geçici durum modeli elde edilmişti, şimdi ise sonsuz güçlü baraya r_e ve x_e bağlantı hattı empedansı ile bu generatör sonsuz güçlü baraya bağlanmıştır [3].

Denklem 3.90-3.101’deki stator denklem takımı cebirseldir. Bu nedenle daha doğru ve kolay bir çözüm için senkron generatör denklemleri ile şebeke denklemleri birleştirilmelidir. Tek senkron generatör sonsuz güçlü bara sisteminde bu denklemlerin bütünleştirilmesi oldukça kolaydır. Sonsuz güçlü bara olarak temsil edilen şebekenin gerilim fazörü diğer bara gerilimleri ve rotor açıları için referans olarak seçilmiştir [3]. Generatörlerin dinamik denklemlerini uygun bir sistem bütünlüğü oluşturmak amacı ile statik şebeke durumu (sonsuz güçlü baranın) için cebirsel denklemlerle bağlantılı olarak ifade edilmeye çalışılmıştır.

Fazör formda; bağlantı hattındaki gerilim düşümü:

$$\tilde{V}_z = (r_e + jx_e)\tilde{I} \quad (3.102)$$

olup fazör değerler senkron döner alan referans çatı dq bileşenleri cinsinden ifade edilecek olursa; $\tilde{V}_z = v_{qz}^e - v_{dz}^e$ ve $\tilde{I} = i_{qz}^e - ji_{dz}^e$ dir. Makinanın dq referans çatı formunda ifade edilmesi ile ;

$$v_{qz} - jv_{dz} = e^{-j\delta}v_{qz}^e - jv_{dz}^e \quad (3.103)$$

$$i_q - ji_d = e^{-j\delta}(i_q^e - ji_d^e) \quad (3.104)$$

Fazörler ve senkron döner alanı parametreleri arasındaki ilişkileri ve senkron döner alan parametreleri ile rotor dq dönüşüm arasındaki ilişkileri göz önüne alınır ve bağlantı hattındaki gerilim düşümü yazacak olursak;

$$\tilde{V}_z = v_{qz}^e - v_{dz}^e = (r_e + jx_e)(i_q^e - i_d^e) \quad (3.105)$$

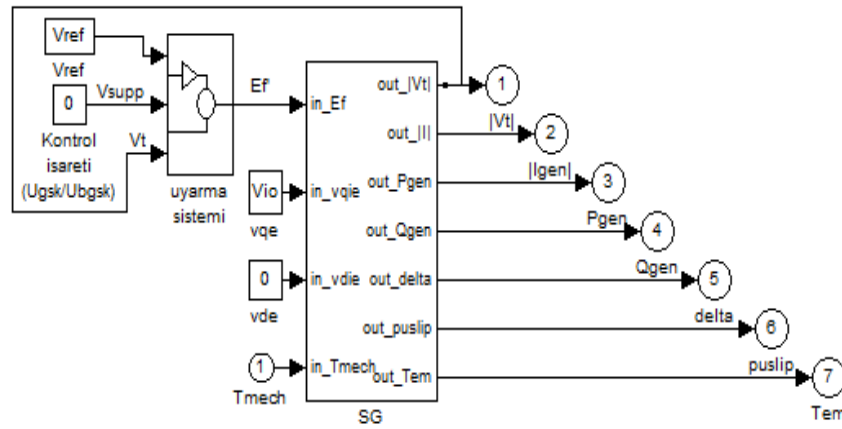
$$\begin{aligned} v_q - v_d &= e^{-j\delta}(r_e + jx_e)e^{j\delta}(i_q^e - ji_d^e) \\ &= (r_e + jx_e)(i_q - i_d) \end{aligned} \quad (3.106)$$

Sonsuz güçlü baraya bağlantı hattı iletkenlerinde düşen gerilim stator alan gerilim denklemlerine eklenmelidir bu durumda stator gerilim denklemleri tekrar düzenlenirse;

$$v_q = -(r_s + r_e)i_q - (x'_d + x_e)i_d + E'_q(V_{veyapu}) \quad (3.107)$$

$$v_d = -(r_s + r_e)i_d - (x'_q + x_e)i_q + E'_d \quad (3.108)$$

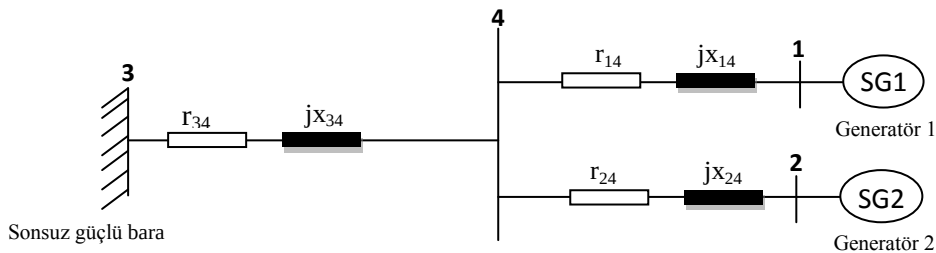
şeklinde yazılır [3].



Şekil 3.9. Sonsuz güçlü baraya bağlı tek senkron generatör sistemi için oluşturulan simülasyon bloğu

3.5. İki Senkron Generatör Sonsuz Güçlü Bara (İGSGB) Sisteminin Modellenmesi

Bu çalışma bünyesinde küçük işaret karahlılık analizi yapılan sonsuz güçlü baraya bağlı iki senkron generatörden oluşan dinamik sistemin elektriksel eşdeğeri Şekil 3.10'da verilmiştir. SG1 ve SG2 yerel generatörler olup sistemin geri kalan kısmı sonsuz güçlü bir bara olarak modellenmiştir ve bu generatörler ile sonsuz güçlü olarak seçilen 3 nolu bara hat empedansları ile birbirlerine bağlanmıştır.



Şekil 3.10. Analizini yaptığımız İGSGB sistemi [3]

Şekil 3.10’da görüldüğü gibi senkron generatörler sonsuz güçlü baraya ile jx_{24} , jx_{34} ve r_{24} , r_{34} bara empedansları ile bağlanmışlardır [3]. Denklem 10.90-10.101’de verilen cebirsel stator denklemlerinden hareketle iki generatör için bu denklemler statik şebeke denklemleri ile beraber çözmeye çalışılırsa cebirsel döngüler oluşacaktır ve işlemler karışıklaşacaktır. Bu nedenle daha doğru ve kolay bir çözüm için senkron generatör denklemleri ile şebeke denklemleri birleştirilmelidir. Tek senkron generatör sonsuz güçlü bara sisteminde bu denklemlerin bütünleştirilmesi oldukça kolaydır. Fakat birden çok makinadan oluşan veya geniş şebeke denklemlerinin yer aldığı bir sistem için stator gerilim denklemleri ile şebeke çok bütünleşik ve ilişkilidir.

Sonsuz güçlü bara olarak temsil edilen şebekenin gerilim fazörü diğer bara gerilimleri ve rotor açıları için referans olarak seçilmiştir [3]. Generatörlerin dinamik denklemleri uygun bir sistem bütünlüğü oluşturmak amacı ile statik şebeke durumu (sonsuz güçlü baranın) için cebirsel denklemlerle bağlantılı olarak ifade edilmeye çalışılmalıdır.

Bu nedenle stator denklem takımını şebeke denklem takımı ile birleştirmek için stator gerilim denklemleri, senkron döner alan çatı referansı q eksenini belirlemiş denklem takımına dönüştürülmelidir.

Kendi rotor çatısını referans alan denklem takımı kompleks veya durum uzay vektör formunda yazılacak olursa,

$$(v_q - jv_d) = -r_s(i_q - ji_d) - x'_d i_d - jx'_q i_q + (E'_q - jE'_d) \quad (3.109)$$

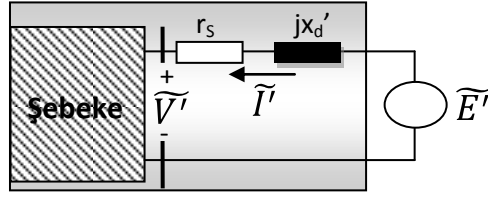
$(v_q - jv_d) = e^{-j\delta}(v_q^e - jv_d^e)$ ve $(i_q - ji_d) = e^{-j\delta}(i_q^e - ji_d^e)$ denklemleri yerine yazılır ve düzenlenirse,

$$(v_q^e - jv_d^e) = -r_s(i_q^e - ji_d^e) - x'_d ji_d^e - jx'_q i_q^e + e^{j\delta}(E'_q - E'_d) \quad (3.110)$$

Dikkat edilmesi gereken durum reaktansın reel ve sanal kısımlarının farklı olmasıdır. Diğer yandan geçici durumda $x'_d \neq x'_q$ dır [3].

$$(v_q^e - jv_d^e) = -(r_s + x'_d)(i_q^e - ji_d^e) + e^{j\delta}(E'_q - jE'_d) \quad (3.111)$$

Yukarıdaki fazör formundaki stator gerilim denklemleri bir thevenin eşdeğer devresi olarak modellenabilir. Şekil 3.11’de görüldüğü gibi eşdeğer empedans $(r_s + x'_d)$, şebekenin Z_{bus} veya Y_{bus} empedansına kolaylıkla eklenebilir.

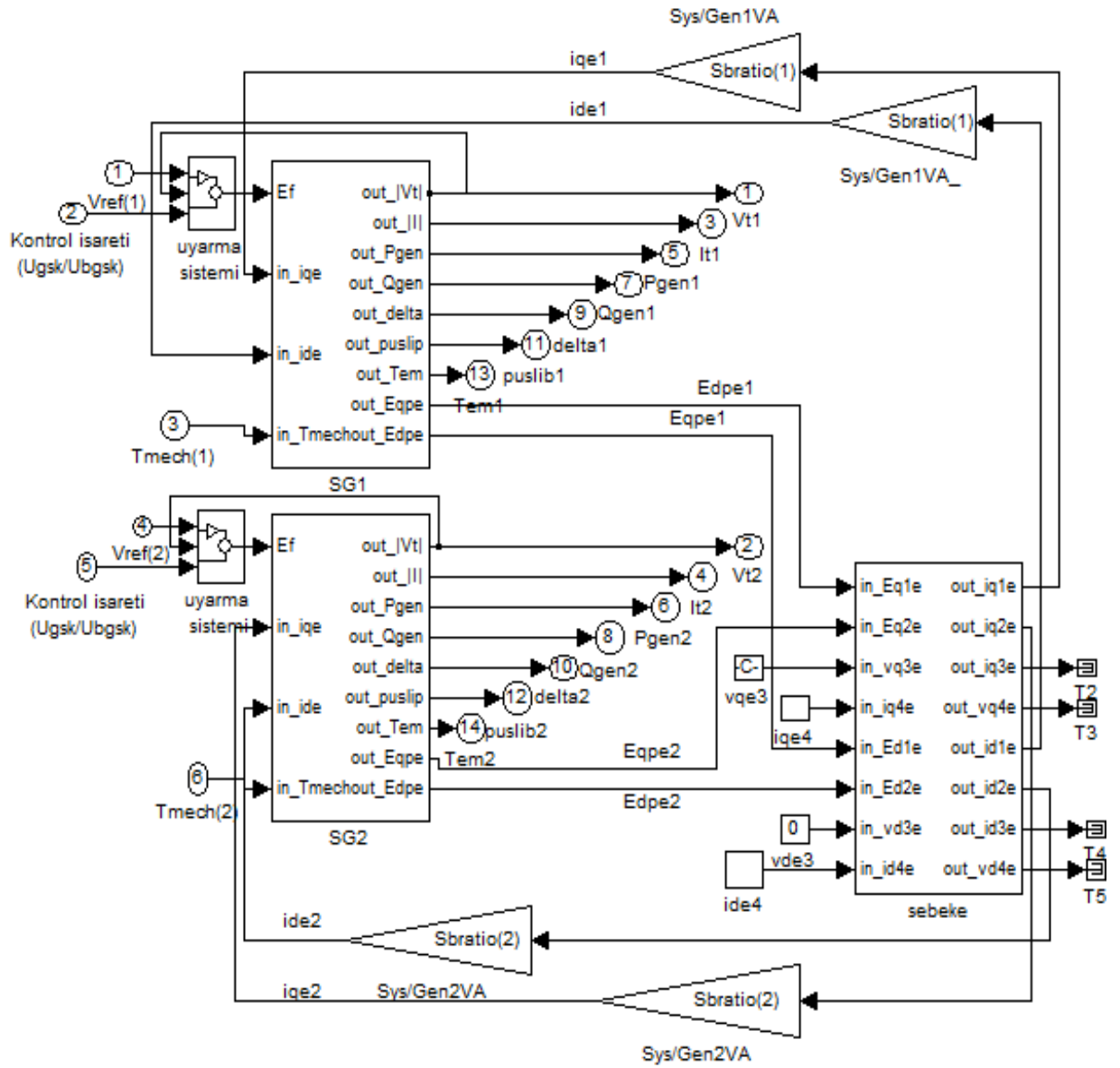


Şekil 3.11. Sistemin Thevenin eşdeğer modeli

Eğer Şekil 3.11'deki gibi thevenin eşdeğer devresinden yola çıkarsak $\widetilde{E'}$ dahili geriliminin değeri, rotor alan denklemlerinden elde edilebilir. Makinaların geçici durum empedansları şebeke admitans matrisi ile birleştirildiği zaman, akan akım; dâhili gerilim vektörü ile sonuç admitans matrisinin çarpımı ile elde edilebilir. $\widetilde{I'}$ nin veya $i_q^e - ji_d^{e'}$ nin değeri makina simülasyonunda ihtiyaç duyulan makinanın terminal geriliminin elde edilmesinde kullanılan $i_q - ji_d$ formunu elde etmek için rotor çatı referans eksenine geri dönüştürülmelidir. Şebekenin bara admitans matris denklemleri iki generatör geçici durum empedanslarını da kapsayacak şekilde tekrar yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} i_{q1}^e - ji_{d1}^e \\ i_{q2}^e - ji_{d2}^e \\ i_{q3}^e - ji_{d3}^e \\ i_{q4}^e - ji_{d4}^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{q1}^e - jE_{d1}^e \\ E_{q2}^e - jE_{d2}^e \\ v_{q3}^e - jv_{d3}^e \\ v_{q4}^e - jv_{d4}^e \end{bmatrix} \quad (3.112)$$

Burada Y'ler referans olarak şebeke toprağının alınması ile oluşturulan admitans matris elemanlarıdır [3]. Şekil 3.12'de şebeke ile Y admitans matrisi üzerinden bağlı olan iki generatörden oluşan dinamik sistemin Matlab/Simulink modeli yer almaktadır. Modelde yer alan Sbratio(1) ve Sbratio(2) generatör güçlerinin referans olarak seçilen baz güce bölünmesi ile elde edilen oran katsayısıdır[3].



Şekil 3.12. Sonsuz güçlü baraya bağlı iki senkron generatör sistemi için oluşturulan simülasyon bloğu

4. GÜÇ SİSTEM KARARLI KILICISI TASARIMI

Bu bölümde senkron generatörün küçük işaret kararlılığını sağlamak amacı ile uyarımına destekleyici kontrol sistemi olarak eklenen güç sistemi kararlı kılıcılarının genel yapıları ve görevinden bahsedilecektir. Daha sonra geleneksel yapıdaki güç sistemi kararlı kılıcılarının transfer fonksiyonları elde edilerek Matlab/Simulink programında simülasyon modeli oluşturulacak ve son olarak ise dayanıklı yapısından dolayı bu tez çalışmamızda da tercih ettiğimiz ve önerdiğimiz bulanık mantık tabanlı güç sistemi kararlı kılıcılarının çalışma prensibine ve Matlab/Simulink bilgisayar benzetimi modeline yer verilecektir.

4.1 Güç Sistemi Kararlı Kılıcılarının Genel Yapıları

Güç sistemi kararlı kılıcıları; üretim birimi olarak sistemde yer alan generatörlerin uyarımlarını yardımcı kontrol işaretleri üreterek kontrol eden ve bu şekilde generatörde oluşan elektromekanik salınımların sönümlendirilmesine yardımcı olan elemanlardır [8]. Güç sistemi kararlı kılıcıları; uzun yıldır birçok senkron generatörde kararlılık limitlerini iyileştirmek amacı ile kullanılmaktadırlar.

Güç sistemlerinde normal çalışma koşullarında ani bir değişim meydana gelmesiyle, generatör rotor hızında ve elektriksel gücünde salınımlar meydana gelir. Bu değişkenler arasındaki ilişki salınım (4.1)'deki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{2H}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = T_m - T_e \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte; ω_0 rotor hız sapmasını, δ rotor açısını, T_m mekanik momenti, T_e elektriksel momenti, H eylemsizlik sabitini ifade etmektedir. Salınım denklemi göstermektedir ki, mekanik ve elektriksel güçler arasındaki dengenin bozulması sonucunda rotor; üzerine etkiyen ve makinanın eylemsizlik sabitiyle orantılı net moment ile hızlanmaya veya yavaşlamaya başlar. Salınım denkleminin çalışma noktası civarında küçük değişimler cinsinden ifade edilmesi ile (4.2) eşitliği elde edilir.

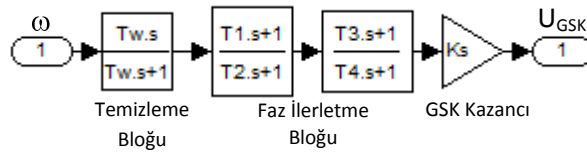
$$\Delta T_{EM} = K_s \Delta\delta + K_D \Delta\omega \quad (4.2)$$

(4.2) eşitliğinde K_s senkronlama katsayısını, K_D sönüm katsayısını ifade etmektedir. Bu denklemden görülebileceği gibi senkron makinanın elektriksel momentindeki değişim,

senkronizasyon ve sönüm olmak üzere iki elemana ayrılabilir. Senkronizasyon momenti rotor açısının değişimi, sönüm momenti de rotor açısal hızının değişimi üzerinde etkili moment bileşenleridir. Yeterli pozitif senkronizasyon ve sönüm momenti olması durumunda senkron makina bütün çalışma koşullarında kararlı kalır. Normal çalışma koşullarında yeterli olan sönüm katsayısı herhangi bir arıza durumunda yetersiz kalabilir ve senkron makine kararsız çalışma durumuna geçebilir. Böyle durumlarda güç sistemi kararlı kılıcılarının genel görevi, generatörün ürettiği pozitif sönüm momentine ilave sönüm momenti üreterek generatörün açısal kararlılık limitlerini iyileştirmek ve kararlılığı sağlamaktır. Sönümü sağlamak için güç sistem kararlı kılıcıları rotor hız sapması ile aynı fazda olan bir elektriksel moment bileşeni üretirler.

4.2. Geleneksel Yapıdaki Güç Sistem Kararlı kılıcısı (GSK) ve Modellenmesi

Geleneksel güç sistemi kararlı kılıcısı, güç sisteminin herhangi bir sürekli çalışma noktasındaki lineerleştirilmiş modeli kullanılarak tasarlanır. Güç sisteminin çıkış olarak ürettiği gerilim işareti uyarım kontrol bloğuna destekleyici kontrol sinyali olarak verilir [2,4-13]. Rotor hız sapması, frekans, ivmelendirme gücü, elektriksel güç gibi işaretler güç sistemi kararlı kılıcısı için giriş işareti olarak seçilebilir. GSK'nın temel görevi rotor salınımlarını söndürmek olduğu için rotor hız sapması en çok tercih edilen giriş işaretidir [8]. Hız değişiminin kullanıldığı kontrolörde genellikle türevsel ayarlama ve yüksek kazanç birimleri kullanılır. Rotor hız sapmasını giriş olarak alan bir GSK modeline Şekil 4.1'de yer verilmiştir.



Şekil 4.1. Geleneksel GSK modeli

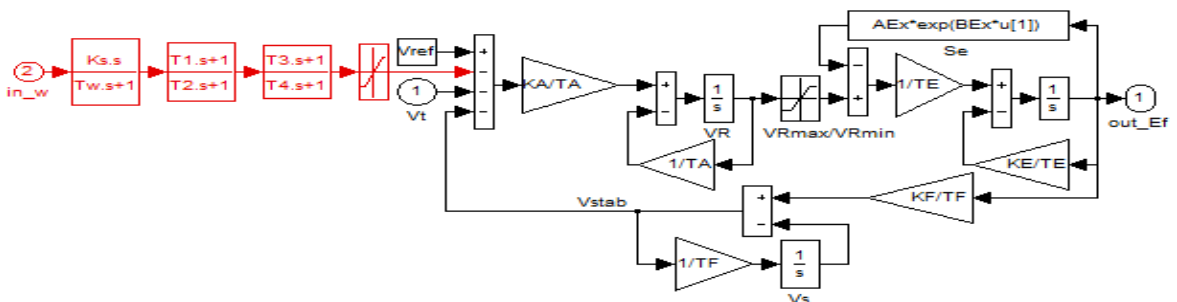
Geleneksel güç sistemi kararlı kılıcısı kazanç, temizleme, faz kompanzasyonu ve işaret sınırlayıcı bloklarından oluşmaktadır.

GSK Kazancı: GSK kazancı ile üretilecek salınım miktarı belirlenir [2,4-8]. Kazanç değeri seçilirken her türlü koşulda yeteri sönümü üretecek optimum bir değer belirlenmelidir. Kazanç için [1-20] arasında bir değer seçilmesi uygundur.

Temizleme bloğu: Yüksek frekanslı işaretlerin alçak frekanslı işaretlerden ayrılmasını sağlayan yüksek-geçiren bir filtre olarak görev yapar [2,4-8]. Buradaki amaç sürekli haldeki değişimlerin uç gerilimini değiştirmesini engellemektir. T_w zaman sabitinin seçimi çok kritik olmamakla birlikte [1-20] s arasında seçilebilir. Bu seçim yapılırken bu T_w zaman sabitinin ilgilenilen frekanslarda kararlı kılıcı işaretleri değişmeden geçecek kadar uzun olmasına fakat sistem ayırma koşulları esnasında istenmeyen generatör gerilimi değişimlerine de yol açacak kadar da uzun olmamasına dikkat edilmelidir.

Faz kompanzasyonu bloğu: Bu blok, uyarma çıkışı ile generatör hava aralığı momentleri arasındaki faz gecikmesini kompanse etmek için uygun faz-ilerletici karakteristiğine sahiptir [2,4-8]. Uygulamada istenen kompanzasyonu sağlamak amacıyla birden fazla birinci dereceden blok ard arada bağlanarak kullanılabilir. Zaman sabitleri (0.02-2) s arasında seçilebilir. Kompanzasyon bloğu 0.1 ile 2.0 Hz arasındaki bölgede kompanzasyonu sağlamalıdır. Genellikle güç sistemi kararlı kılıcısının büyük ölçüde artan sönüm momentine ilave olarak, senkronizasyon momentinde de hafif bir artış oluşturacak şekilde, bir miktar az kompanzasyon yapması istenebilir.

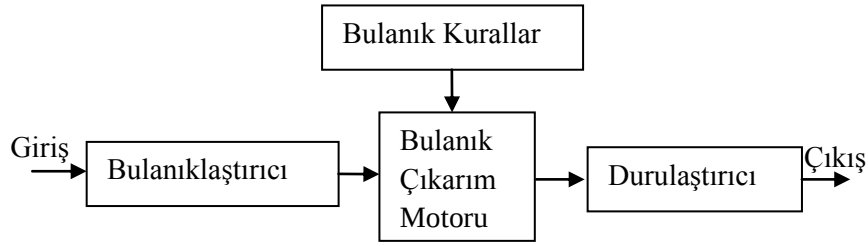
Geleneksel GSK çıkış işaretini üretebilmesi için önce mil hızı ölçülür. Ölçülen hız işareti hızla orantılı doğru gerilime dönüştürülür. Yüksek geçiren filtre sürekli hal hız işaretini ayırır ve sadece hızdaki değişimi ifade eden işareti üretir. Böylece GSK'nın sadece hızda değişim meydana geldiğinde uç gerilimine etki etmesi sağlanır. Faz gecikmesi kompanse edilip kazanç ayarı ve işaret sınırlamaları yapıldıktan sonra çıkış işareti uyarım bloğuna destekleyici kontrol sistemi giriş işareti olarak uygulanır. Sistemden aldığı girişe göre güç sistemi kararlı kılıcıları kendi aralarında sınıflandırılabilirler. Hız değişimi ve ivmelendirme gücünü giriş olarak alan tek girişli GSK yapısına ilave olarak, hız değişimi ve ivmelendirme gücünü beraber alan iki girişli GSK yapıları da mevcuttur. Bu çalışmada Şekil 4.2'de yer alan geleneksel rotor hızını tek giriş işareti olarak alan GSK ve OGR'yi içeren uyarma sistemi blok diyagramı yer almaktadır.



Şekil 4.2. OGR ve GSK içeren uyarma sistemi blok diyagramı

4.3. Bulanık Mantık Kontrolörün Genel Yapısı

Bulanık mantık kontrolörü; bulanıklaştırıcı, bilgi kural tabanı, bulanık çıkarım motoru ve durulaştırıcı olmak üzere dört ana bileşenden oluşur [21]. Bulanık mantık tabanlı kontrolörün temel yapısı genel olarak Şekil 4.3’de yer alan blok gösterim ile ifade edilebilir.



Şekil 4.3. Temel bulanık mantık kontrolör yapısı

Bulanıklaştırıcı: Bulanıklaştırma işlemi klasik mantık yapısındaki kümeye ait verileri bulanık hale getirmektir. x_0 sayısal giriş ve x bulanık çıkış olmak üzere bulanıklaştırma işlemi sembolik olarak (4.3) eşitliği ile ifade edilebilir [8].

$$x = \text{bulanıklaştırıcı}(x_0) \quad (4.3)$$

Bulanıklaştırıcı giriş değişkenlerinin ölçümünü, normalizasyonu yapar ve üyelik fonksiyonları aracılığıyla bulanık değişkenler için üyelik derecelerini üretir. Bulanıklaştırma mekanizması ile gerçek dünyadan gelen keskin giriş değerlerine bulanık kümeler atayarak keskin değerleri bulanık değerlere çevirir [21]. Küçük, büyük, orta gibi dilsel ifadelerle oluşturulan bu bulanık kümeler ile kural tabanı oluşturulur. Böylece keskin giriş değerleri bulanık yapıya aktarılmış ve kontrol sistemine dahil edilmiş olur. Bu bulanık kümeler genellikle üçgen şeklinde seçilmekle beraber yamuk ve çan ergisi şeklinde ya da özel tanımlanmış üyelik fonksiyonları şeklinde de kullanılabilir. Üyelik fonksiyonlarının şekli, giriş değerlerinin bulanık kümeye üyelik derecesini, üyelik derecesi de bir kuralın ne ölçüde hesaba katılacağını belirleyerek kural kümesi ve üyelik fonksiyonları arasındaki ilişkiyi oluşturur [21].

Bulanık kurallar: Bulanık kontrol kuralları ile uygulamada meydana gelen koşullara karşılık sisteme verilecek kontrol işareti belirlenir. Bulanık kontrol kuralları ile sistemin tüm bulanık davranışı belirlenir. Bulanık kural tabloları ise belirli koşulların oluşması

durumunda belirli sonuçların meydana geleceği ifade eden kuralların topluluğudur [8,21].
Kural yapısı:

“**EĞER** (oluşabilecek koşullar) **İSE O ZAMAN** (oluşabilecek sonuçlar)” şeklindedir. Temel olarak bulanık kontrol kuralları, üzerinde çalışılan sistem bilgilerini ve uygulanacak kontrol işaretlerini içerirler. Bulanık kontrol kuralları ile tek giriş – tek çıkış (SISO), çoklu giriş – çoklu çıkış (MIMO), çoklu giriş tekli çıkış (MISO) yapısındaki sistemler modellenabilir. Çoklu girişe sahip sistemlerin modellenmesi durumunda giriş koşulları arasına “ VE, VEYA” cümle birleştirme operatörleri konulur. Bulanık kural tabanı oluşturulurken şu iki özellik göz önünde bulundurulmalıdır; ilk olarak kurallar tam olmalıdır yani tüm olası koşulları içermelidir, ikinci olarak tutarlı olmalıdır yani çelişkili sonuçlar barındırmamalıdır.

Bulanık çıkarım motoru: Bulanık kural tabanını kullanarak bulanık giriş işaretlerine karşılık düşen bulanık çıkış işaretlerinin üretilmesini sağlar [8,21]. Bulandırma mekanizmasından elde edilen bulanık çıkışlar çıkarım mekanizmasında kullanılarak o anki giriş değeri için hangi kontrol kuralının uygun olduğunu belirlenir ve bu şekilde çıkarım mekanizmasında kontrol çıkışının ne olması gerektiğine karar verilir. Çıkarım mekanizmasından elde edilecek çıkış yine bir bulanık kümedir.

Bulanık mantık tabanlı kontrolörün çekirdek kısmıdır. Bu kısım insanın karar verme ve çıkarım yapma yeteneğinin benzeri bir yolla bulanık kavramları işlemekte ve çıkarım yaparak gerekli kontrol denetimini belirlemektedir [8,21].

Durulaştırıcı: Bulanık sistemden elde edilen çıkış bulanık bir sayıdır. Kontrol işleminin yapılabilmesi için, kontrol işaretinin bulanık olmayan, sayısal bir işaret olması gerekir. İşte bu bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi için yapılan işlemlerin hepsine ‘durulaştırma’ işlemleri adı verilir. z bulanık çıkış ve z_0 da gerçek sayı olan kontrol çıkışı bilgisini ifade etmek üzere durulaştırıcı sembolik olarak (4.4) ile ifade edilebilir [8].

$$z_0 = \text{bulanıklaştırıcı}(z) \quad (4.4)$$

Üretilen bulanık çıkışın; sisteme uygulanabilecek şekilde gerçek işarete dönüştürülmesi ve ölçeklendirilmesini sağlar. Durulama birimi çıkarım mekanizmasından gelen bulanık kümeyi uygulamada kullanılacak gerçek değere dönüştürür [8,21]. Durulayıcı mekanizma seçilirken, durulayıcıdan elde edilen keskin çıkış değerinin çıkarım

mekanizmasından elde edilen bulanık kümeyi sezgisel ve mantıksal açıdan iyi ifade etmesine dikkat edilmeli, durulamada kullanılacak algoritmanın hesaplama kolaylığı sağlayacak şekilde seçilmesine özen gösterilmelidir. Ayrıca durulayıcının süreklilik sağlamasına yani çıkarım mekanizmasından elde edilen bulanık sonuçtaki küçük değişimlerin; elde edilen keskin çıkışta çok büyük değişikliklere sebep olmamasına da dikkat edilmelidir.

Literatürde çeşitli durulama yöntemleri kullanılmaktadır. Hiçbir yöntem bir diğerinden fazla avantaja sahip değildir. Hangi yöntemin kullanılacağı öncelikle tasarımcının deneyimine bağlıdır [21].

1. Maksimum üyelik yöntemi: Yükseklik yöntemi olarak da bilinmektedir ve bütün üyelik dereceleri içinde en büyük olana eşittir. En büyük üyelik ilkesi yönteminin kullanılabilmesi için tepeleri olan çıkarım bulanık kümeleri gerekmektedir.

2. Ağırlık ortalaması yöntemi: Alan merkezi olarak da bilinmektedir ve en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık ortalaması yönteminde girişlerden elde edilen bütün bulanık değerler ile üyelik değeri kullanılarak durulama yapılmaktadır. Ağırlıklı ortalama yöntemi simetrik çıkışlı üyelik fonksiyonları için kullanılır.

3. Ortalama-maksimum üyelik yöntemi: Bu yöntem maksimumun ortası olarak da bilinmektedir. Bu yöntem, maksimum üyelik yöntemiyle ilişkilidir. Bu yönteme göre maksimum üyelik derecesi tek bir nokta olmayıp, düz olabilen sistemler içinde kullanılabilir.

4. En büyük alanın merkezi yöntemi: Bu yöntem ise eğer çıkış bulanık kümesi en azından iki tane dış bükey alt bulanık kümeyi içeriyorsa, dış bükey bulanık kümelerin en büyük alanlısının ağırlık merkezinin durulama işleminde kullanılması prensibine dayanır. Bu yöntem en hızlı durulama yöntemidir.

4.3.1. Bulanık Mantık Tabanlı Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı (BGSK) ve Modellenmesi

Geleneksel yapıdaki güç sistemi kararlı kılıcılarında kazanç ve zaman sabitleri şebekenin belli bir sürekli çalışma noktası değerlerine göre optimum performans gösterecek şekilde tasarlanmakta idi. Bu tasarım şeklinden kaynaklanarak geleneksel GSK parametrelerinin sabit olmasından dolayı şebeke koşullarının değişmesi durumunda veya herhangi bir arıza sonucunda GSK iyi performans gösteremez. Geleneksel güç sistem kararlı kılıcılarının bu dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacı ile sistem parametrelerinin

ve hat empedansı gibi değişimlere daha az duyarlı dayanıklı yapıya sahip pek çok destekleyici kontrol sistemi tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın temelini de oluşturan BGSK kontrolörler; güç sistemlerinde çalışma noktası ve/veya hat empedansı gibi bazı sistem parametrelerinin değişmesi durumunda dahi performans kaybına uğramayan, dayanıklı yapıya sahip destekleyici kontrolörlerde olup üzerinde araştırmaların devam ettiği aktif bir çalışma alanıdır.

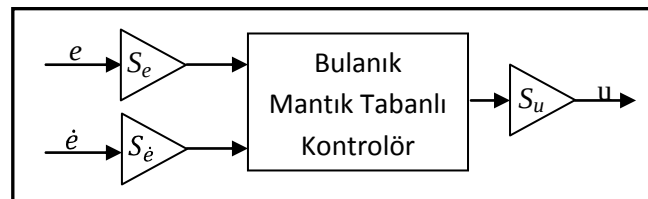
BGSK'da; geleneksel GSK'da kontrolü sağlayan transfer fonksiyonlarının görevini üyelik fonksiyonları ve kural tablosu yerine getirmektedir. Hatanın ve hatanın türevinin lineer kombinasyonlarını kullanarak çalışan kararlı kılıcılar nonlinerliği yüksek olan güç sistemlerinde çok iyi sonuçlar vermeyebilmektedirler.

Literatürde yer alan bulanık mantık kontrolör çeşitleri yapıları bakımından üçe ayrılmaktadır[11];

- a. Bulanık PI kontrolör
- b. Bulanık PD kontrolör
- c. Bulanık PID kontrolör

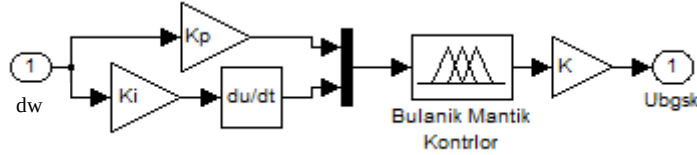
Bu çalışmada sistemlerimiz için destekleyici kontrol sistemi kullanılmadığı durumda dahi otomatik gerilim regülatörü sayesinde sistemde sürekli durum hatası oluşmaması nedeni ile sürekli durum hatasını ortadan kaldırmak amacı ile kullanılan PI tip bulanık kontrolörlere gerek duyulmamış sadece sürekli duruma erişim süresini ve maksimum aşma değerlerini sınırlamak amacı ile bulanık PD kontrolör tasarımı yeterli görülmüştür.

PD tip bulanık kontrolörlerin girişinde sistemden gelen e hata ve $\dot{e}$ hatanın türevi bilgileri yer alır ve çıkışında ise sisteme verilecek olan uygun (u) kontrol işareti bu girişlere göre üretilir. Bulanık PD tip kontrolörün en önemli özelliği, kontrolünü gerçekleştirdiği sistemin yanıtında iyi bir sönüm sağlaması ve maksimum aşma, yükselme zamanı ve yerleşme zamanı değerlerini azaltmasıdır [11]. Ayrıca PD kontrolör geri beslemeli sistemlerin kararlılığını arttırmaktadır. Şekil 4.4'de PD tip bulanık kontrolörün yapısı görülmektedir.



Şekil 4.4. PD tip bulanık kontrolörün yapısı[11]

Bu çalışma için oluşturulan BGSK modeline giriş olarak rotor hız sapması ve hızın sapmasının türevi verilmiştir. Sürekli çalışma durumunda sıfır olan rotor hız sapması ve türevinin; sıfırdan farklı olması durumunda uyarma sistemine pozitif gerilim işareti uygulanır ve rotor açısının salınımı sönümlenir. Değişimlerin sıfır olduğu durumda geleneksel GSK’da olduğu gibi BGSK da sisteme herhangi bir çıkış işaret üretilmez.

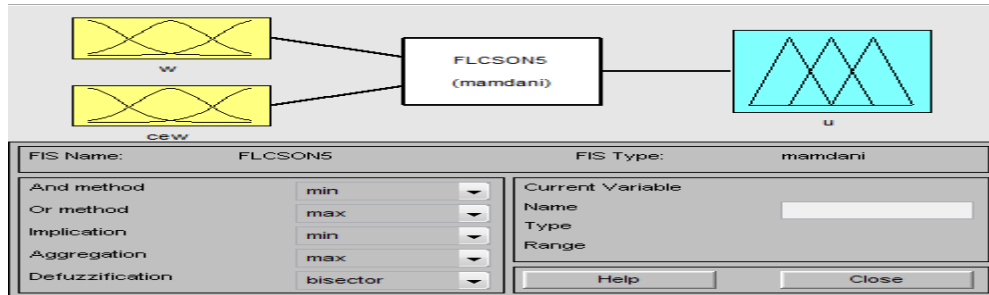


Şekil 4.5. Bilgisayar benzetiminde kullanılan BGSK’nın matlab modeli

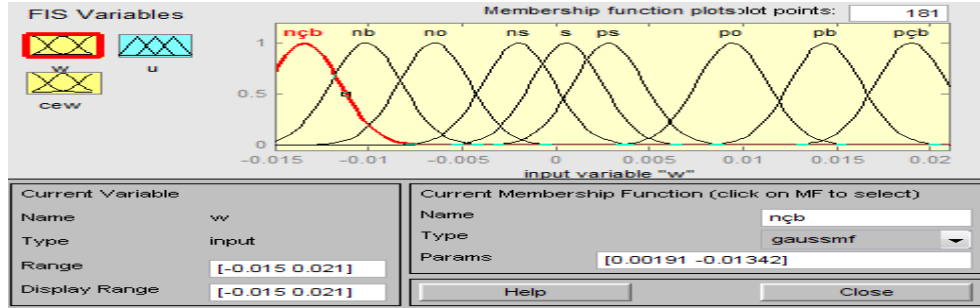
Giriş işaretleri K_p ve K_i ölçeklendirme faktörleri kullanılarak $[-0.015, +0.02]$ aralığına oturtulmuştur. Çıkış işareti de K ölçeklendirme faktörüyle aynı aralığa oturtulmuştur.

Tek Generatör Sonsuz Güçlü Bara (TGSGB) sisteminde Şekil 4.5’de iç yapısı görülen BGSK’nın giriş işaretleri $d\omega$ ve $ce\omega$ uygun ölçeklendirme faktörleriyle; ω $[-0.015, +0.02]$ aralığında ve $ce\omega$ $[-0.015, +0.02]$ aralığında sınırlandırılmıştır. Giriş işaretleri bu aralıkta negatif çok büyük (NÇB) negatif büyük (NB), negatif orta (NO), negatif küçük (NS), sıfır (S), pozitif küçük (PS), pozitif orta (PO), pozitif büyük (PB) ve pozitif çok büyük (PÇB) olmak üzere dokuz dilsel değişkene ayrılmıştır [24].

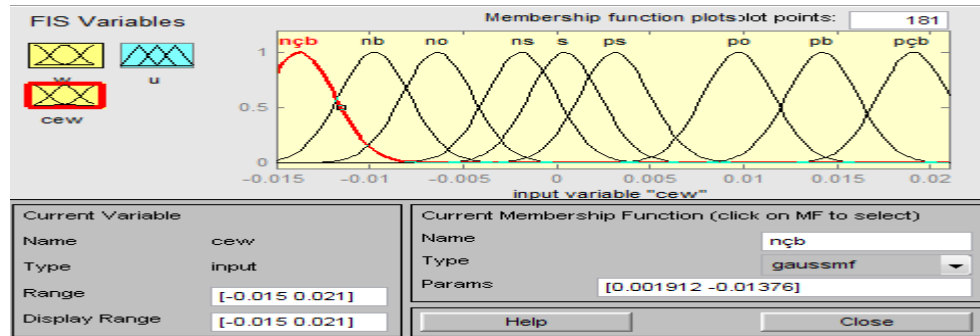
Bulanık kontrolör karar tablosunda hız ve hızın türevinin bozucu sinyale bağlı değişimlerinin farklı kombinasyonları için sisteme geri besleme kontrol gerilimi olarak uygulanacak çıkış kontrol işaretinin dilsel değerleri belirlenmiştir. Uyarım sistemine destekleyici kontrol sinyali olarak uygulanan BGSK’nın çıkış sinyali U_{bgsk} ise $[-0.15, +0.15]$ aralığında sınırlandırılmıştır.



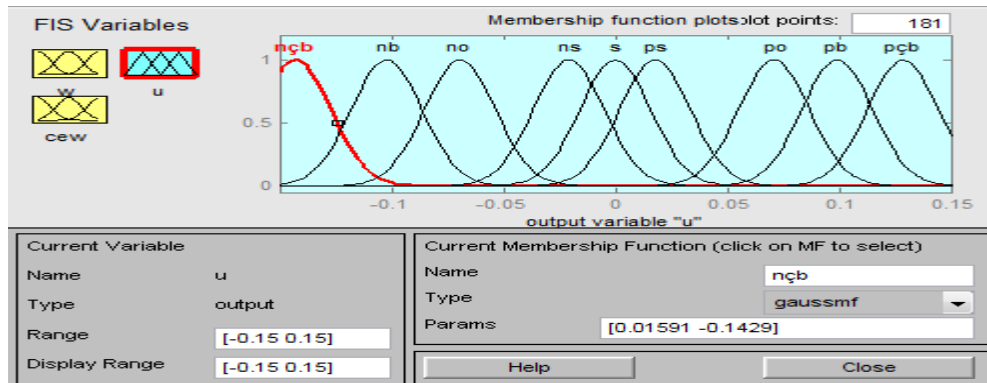
Şekil 4.6. TGSGB sistemi için BGSK [24]



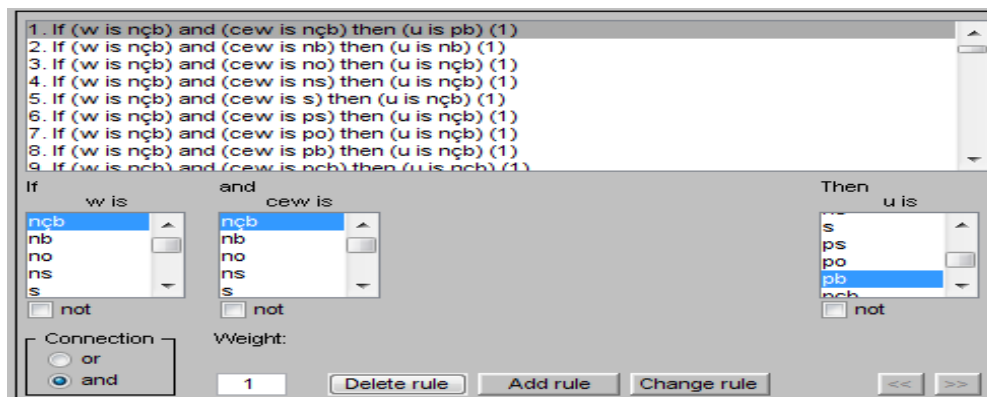
Şekil 4.7. TGSGB sisteminde “dö” giriş işareti için kullanılan üyelik fonksiyonları



Şekil 4.8. TGSGB Sisteminde “cew” giriş işareti için kullanılan üyelik fonksiyonları



Şekil 4.9. TGSGB Sisteminde “u” çıkış işareti için kullanılan üyelik fonksiyonları



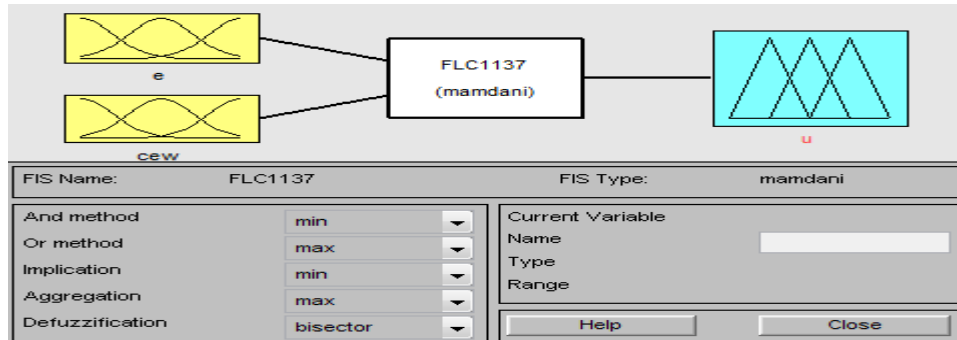
Şekil 4.10. TGSGB Sistemi için BGSK Kuralları

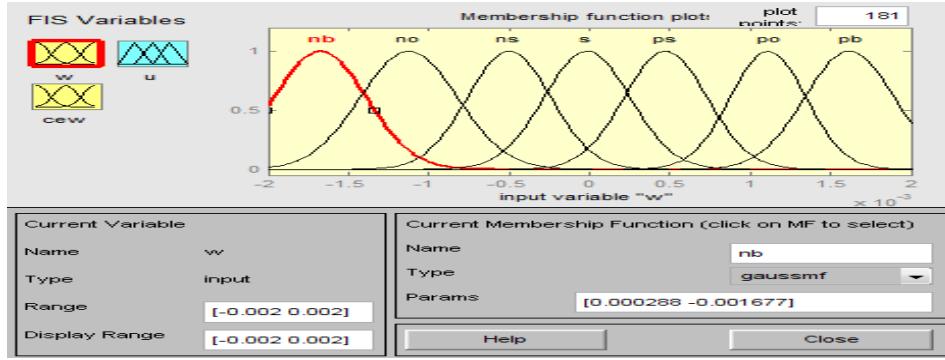
Tablo 4.1. Tek generatör sonsuz güçlü bara sistemi için BGSK kural tablosu

$\begin{matrix} dw \\ cew \end{matrix}$	NÇB	NB	NO	NS	S	PS	PO	PB	PÇB
NÇB	PB	PÇB	PÇB	PÇB	PS	PÇB	PB	PS	S
NB	NB	S	NO	PB	PO	PB	PÇB	PB	PO
NO	NÇB	NB	S	PO	PB	PS	PB	PÇB	PB
NS	NÇB	NO	NO	NS	PB	S	PO	PB	PÇB
S	NÇB	NB	NO	NS	NS	PS	PB	PB	PÇB
PS	NÇB	NB	NO	NS	NO	S	PO	PB	PÇB
PO	NÇB	NÇB	NB	NO	NB	NO	S	PÇB	PÇB
PB	NÇB	NÇB	NÇB	NS	NÇB	NS	PB	PB	PÇB
PÇB	NÇB	NÇB	NÇB	NÇB	S	PB	PB	PB	PÇB

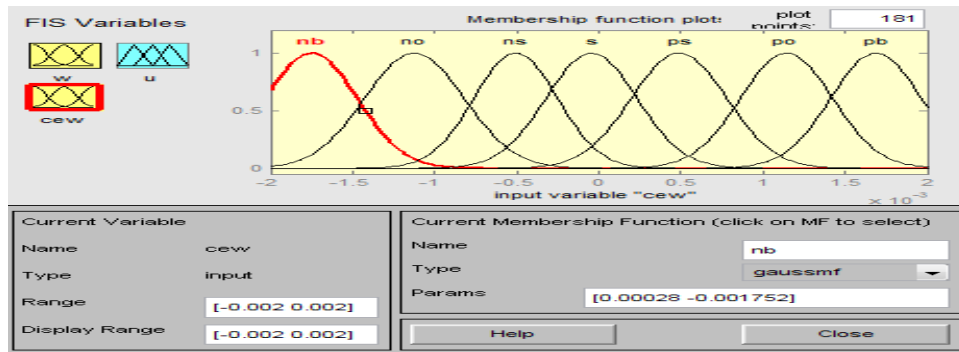
İki Generatörlü Sonsuz Güçlü Bara (İGSGB) sisteminde ise Şekil 4.5’de iç yapısı görülen BGSK’nın giriş işaretleri dw ve cew uygun ölçeklendirme faktörleriyle; dw $[-0.002, +0.002]$ aralığında ve cew $[-0.002, +0.002]$ aralığında sınırlandırılmıştır. Giriş işaretleri bu aralıkta negatif büyük (NB), negatif orta (NO), negatif küçük (NS), sıfır (S), pozitif küçük (PS), pozitif orta (PO), pozitif büyük (PB), olmak üzere yedi dilsel değişkene ayrılmıştır.

Bulanık kontrolör kural tablosunda hız ve hızın türevinin bozucu sinyale bağlı değişimlerinin farklı kombinasyonları için sisteme geri besleme kontrol gerilimi olarak uygulanacak çıkış kontrol işaretinin dilsel değerleri belirlenmiştir. Uyarım sistemine destekleyici kontrol sinyali olarak uygulanan BGSK’nın çıkış sinyali U_{bgsk} ise $[-0.15, +0.15]$ aralığında sınırlandırılmıştır.

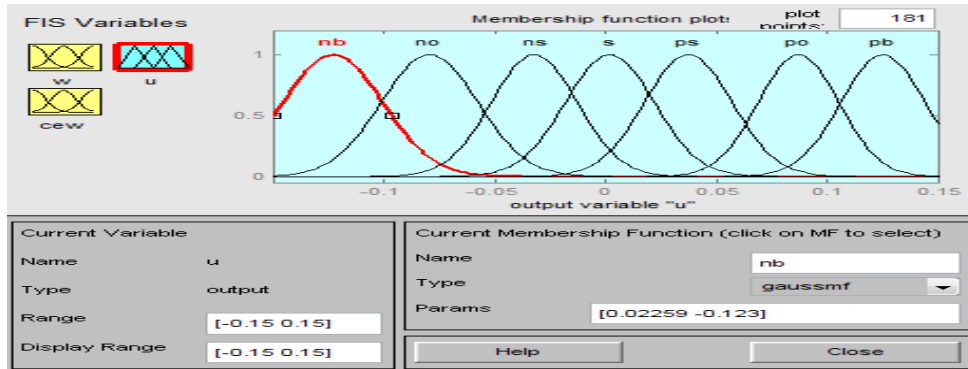
**Şekil 4.11.** İGSGB sistemi için BGSK



Şekil 4.12. İGSGB sisteminde “ w ” giriş işareti için kullanılan üyelik fonksiyonları



Şekil 4.13. İGSGB sisteminde “ cew ” giriş İşareti için kullanılan üyelik fonksiyonları



Şekil 4.14. İGSGB sisteminde “ u ” çıkış işareti için kullanılan üyelik fonksiyonları

Tablo 4.2. İki generatör sonsuz güçlü bara sistemi için BGSK kural tablosu

$cew \backslash w$	NB	NO	NS	S	PS	PO	PB
NB	PO	PS	PS	NS	NS	NO	NB
NO	PO	PS	PS	NS	NS	NO	NB
NS	PO	PS	S	NS	NS	NS	NB
S	PO	PS	S	S	NS	NO	NB
PS	PO	PS	S	S	NS	NO	NB
PO	PO	PS	PS	PS	NS	NO	NB
PB	PO	PS	PS	PO	NS	NO	NB

5. TEK GENERATÖR VE SONSUZ GÜÇLÜ BARADAN OLUŞAN GÜÇ SİSTEMİNE AİT ANALİZLER VE MATEMATİKSEL SONUÇLAR

5.1. Genel Bilgiler

Bu bölümde sonsuz güçlü baraya bağlı tek senkron generatör sisteminde sistem parametreleri ve bozucu etki değişimine bağlı olarak dört ayrı analiz gerçekleştirilmiştir. Sistemin oluşturulan modelinde aşağıda maddelenen analiz gerçekleştirilmiştir:

1. Analiz 1’de eylemsizlik sabiti, sönüm katsayısı değişimine karşı sistemin çıkış değişkenlerinin analizi gerçekleştirilmiştir.
2. Analiz 2’de farklı yük durumlarında (hafif, orta, indüktif yük) sistemin çıkış değişkenlerinin analizi gerçekleştirilmiştir.
3. Analiz 3’de x_e bara empedansının değişimine karşı sistemin çıkış değişkenlerinin analizi gerçekleştirilmiştir.
4. Analiz 4’de farklı bozucu etki değerlerine karşı sistemin çıkış değişkenlerinin analizi gerçekleştirilmiştir.

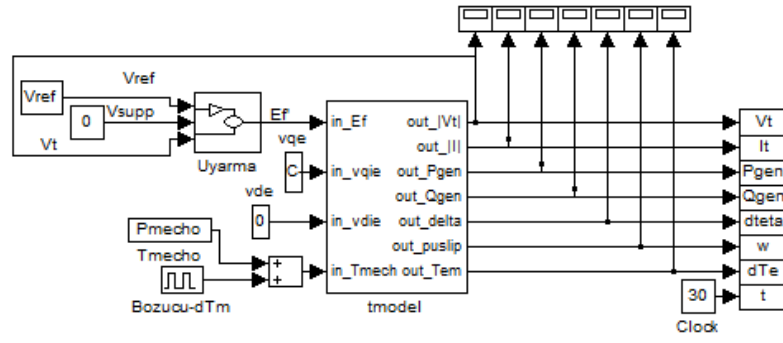
Analizlerden elde edilen sonuçların yorumlanması için ise IAE performans kriterlerine göre çıkış büyüklüklerinin mutlak integral $J = \int_0^{tsimülasyon} |x| dt$ [4] değerlerine yer verilmiştir.

5.2. Sistemin Eylemsizlik Sabiti Ve Sönüm Katsayısının Değişimi Durumundaki Performansının Analizi

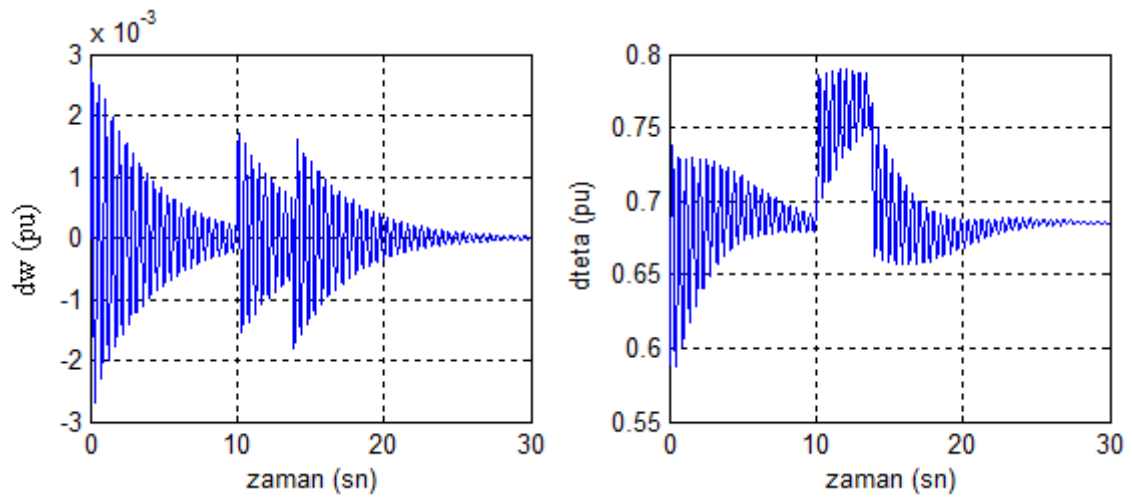
Güç sisteminde; destekleyici kontrolün bulunmadığı durumda H eylemsizlik sabitinin ve D sönüm katsayısının sistem performansı üzerindeki etkisini analiz etmek amacı ile bu analiz gerçekleştirilmiştir. Sisteme küçük işaret bozucu sinyal olarak 0.1 p.u genlikli periyodu 30 sn, darbe genişliği %12.5, $t_{delay}=10sn'$ lik gecikme zamanlı bir pals uygulanmış ve eylemsizlik ve sönümlenme katsayılarının sistem çıkış büyüklüklerine etkisi grafiksel olarak gözlemlenmiştir. Tablo 5.1’de incelenen durumlar yer almaktadır.

Tablo 5.1. H ve D katsayılarının değişim durum tablosu

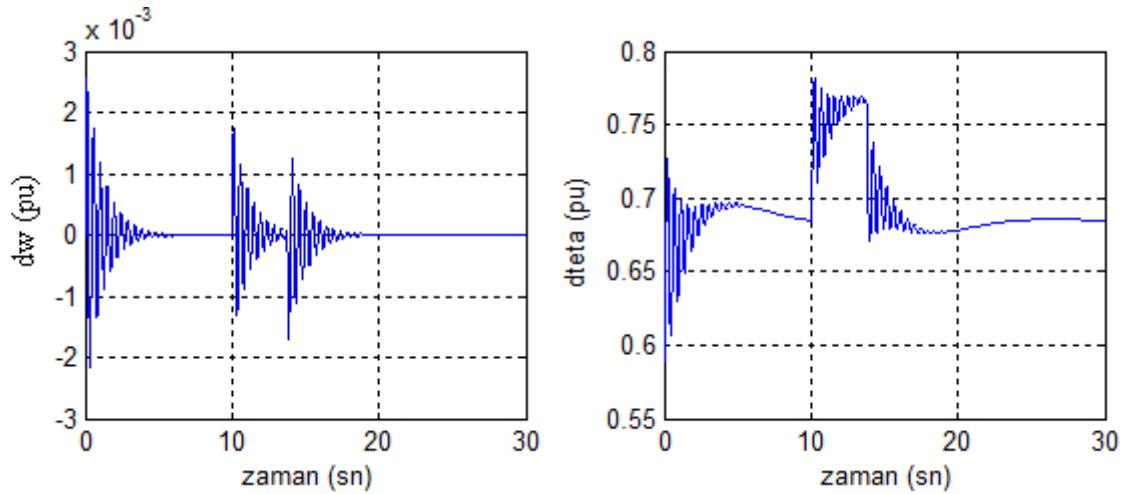
Durum 1	H=2	D=0	Durum 4	H=12	D=5
Durum 2	H=2	D=5	Durum 5	H=12	D=10
Durum 3	H=12	D=0	Durum 6	H=3.77	D=2



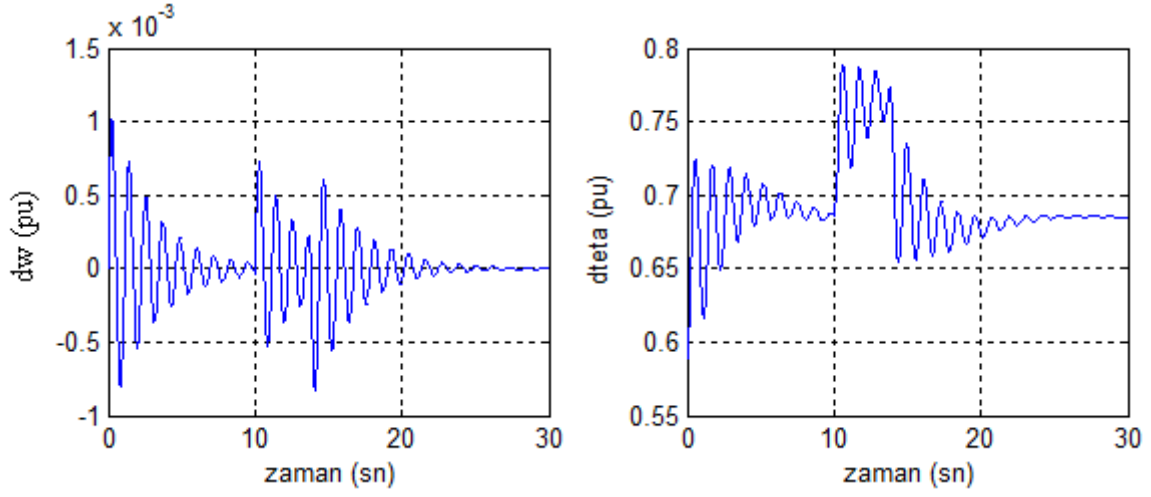
Şekil 5.1. Analiz 1 için sonsuz güçlü baraya bağlı tek senkron jeneratör sisteminin simülasyon bloğu



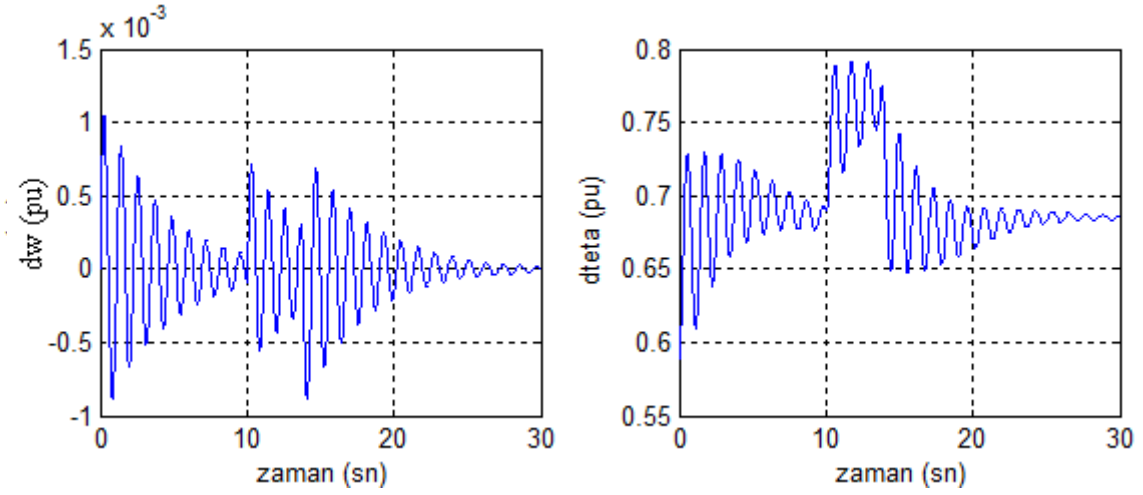
Şekil 5.2. TGSGB sisteminde analiz 1, durum 1 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi



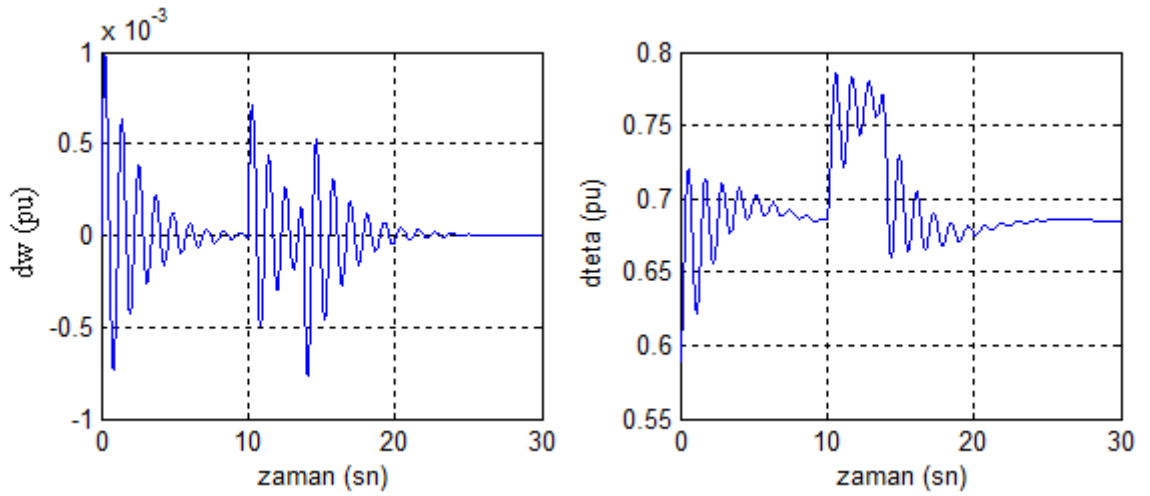
Şekil 5.3. TGSGB sisteminde analiz 1, durum 2 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi



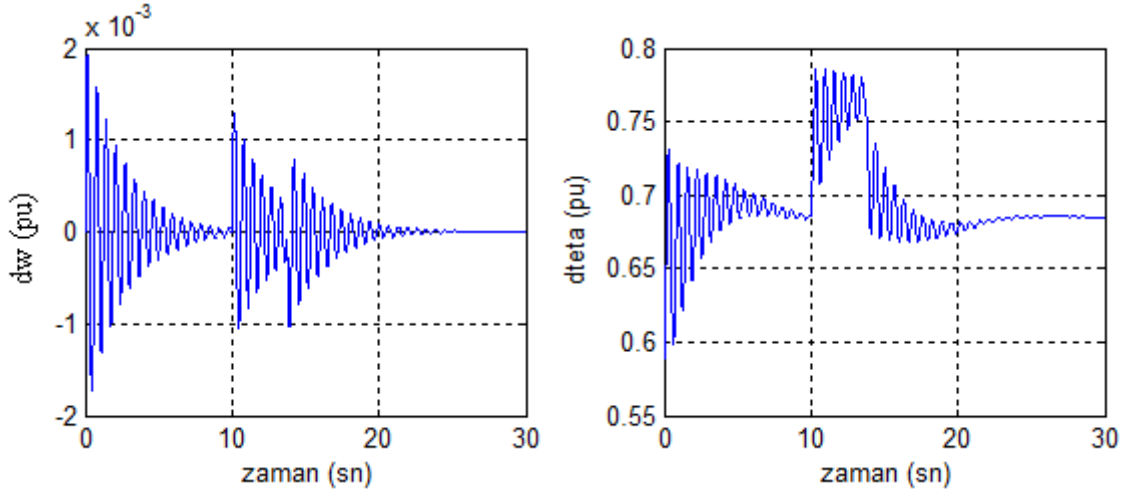
Şekil 5.4. TGSGB sisteminde analiz 1, durum 3 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi



Şekil 5.5. TGSGB sisteminde analiz 1, durum 4 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi



Şekil 5.6. TGSGB sisteminde analiz 1, durum 5 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi



Şekil 5.7. Sonsuz güçlü baraya bağlı senkron generatör sisteminde analiz 1, durum 6 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi

Yorum: Grafiksel analiz sonuçlarından ve Tablo 5.2’de yer alan matematiksel analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi D sönümlleme katsayısı arttıkça OGR; bozucu etkinin olumsuz etkisini rotor açısal hız sapmasındaki maksimum aşma miktarını düşürerek daha kısa sürede sönümlendirebilmektedir. H eylemsizlik sabitinin sisteme etkisi ise salınım frekansını azaltma yönünde olup aynı zamanda maksimum aşma miktarını da azaltmaktadır. Yaptığımız bu analiz [4,7] referansında yer alan çalışmaların sonuçlarını desteklemiş ve uyum göstermiştir. Tüm bu analizlerin ışığında sistem performansının farklı bozucular ve sistem parametreleri durumundaki davranışını analiz etmek için $H=3.77$ $D=2$ alınması ve bundan sonraki tüm analizlerin bu katsayılar ile yapılması uygun görülmüştür.

Tablo 5.2. Analiz 1 için matematiksel sonuçlar

Durumlar	Max aşma($d\omega$)	Max aşma($dteta$)	İntegral mutlak ($d\omega$)	İntegral mutlak ($dteta$)	Yerleşme zamanı
H=2 D=0	0.0028	0.7893	0.0135	20.8167	36.2
H=2 D=5	0.0026	0.7817	0.0047	20.8230	22.6
H=12 D=0	0.0010	0.7915	0.0063	20.8160	39.25
H=12 D=5	0.0010	0.7880	0.0047	20.8185	34.4
H=12 D=10	9.8101e-004	0.7856	0.0037	20.8195	28.15
H=3.77 D=2	0.0019	0.7860	0.0067	20.8206	28.8

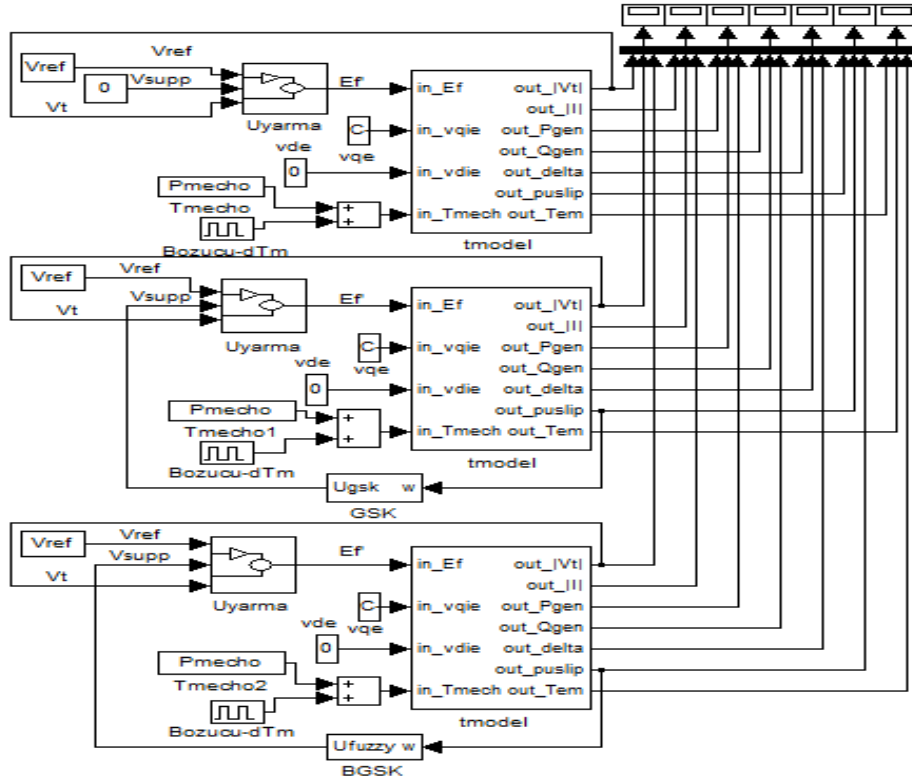
5.3. Sistemin Farklı Yük İşletme Durumundaki Performansının Analizi

Güç sistemindeki generatörün farklı sürekli durum yük karakteristiğinde çalışması esnasında meydana gelebilecek aynı küçük işaret bozucu sinyale karşı farklı performanslar göstereceği ve çıkış değişkenlerinin değişiminin farklı olacağı bilinmektedir. Bu analizde

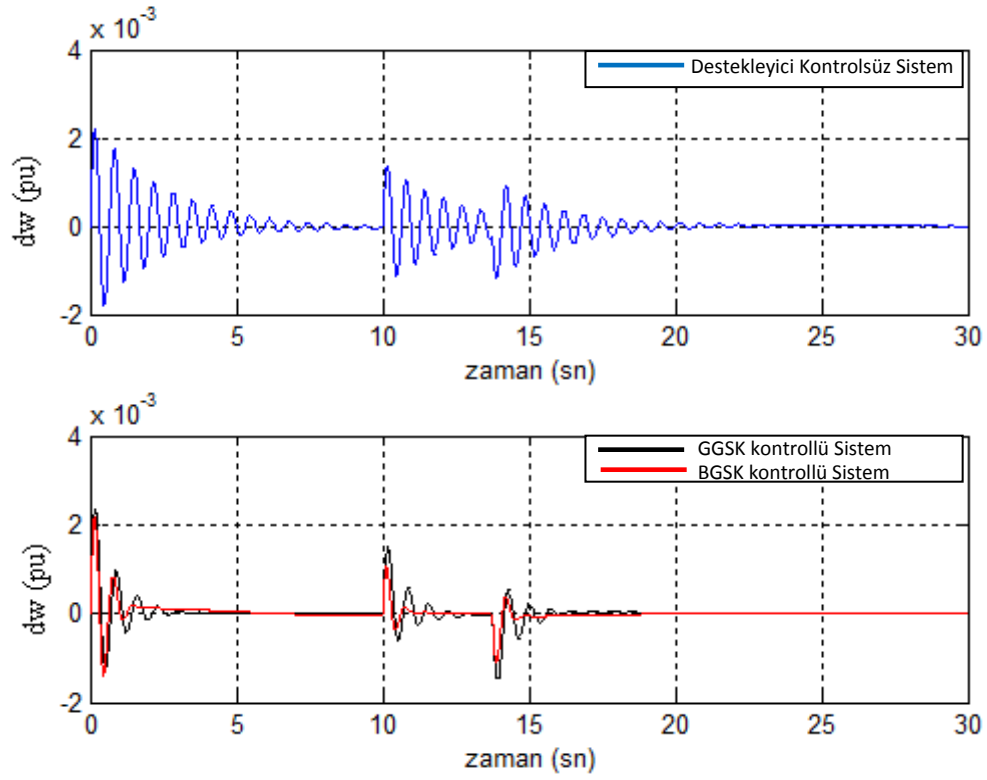
işte bu farklı sürekli durum yük şartlarına sahip olan sistemlere aynı bozucunun etki etmesi durumunda sistemlerin gösterecekleri performansların analiz edilmesi amaçlanmıştır. Sisteme küçük işaret bozucu sinyal olarak 0.1 p.u genlikli periyodu 30 s, darbe genişliği %12.5, $t_{\text{delay}}=10\text{s}$ lik gecikme zamanlı bir pals uygulanmış ve Tablo 5.3’de yer alan dört farklı çalışma yükü durumunda sistemin kararlılık analizi yapılmıştır.

Tablo 5.3. P ve Q yüklerinin ve xe bağlantı bara empedansının değişim durum tablosu

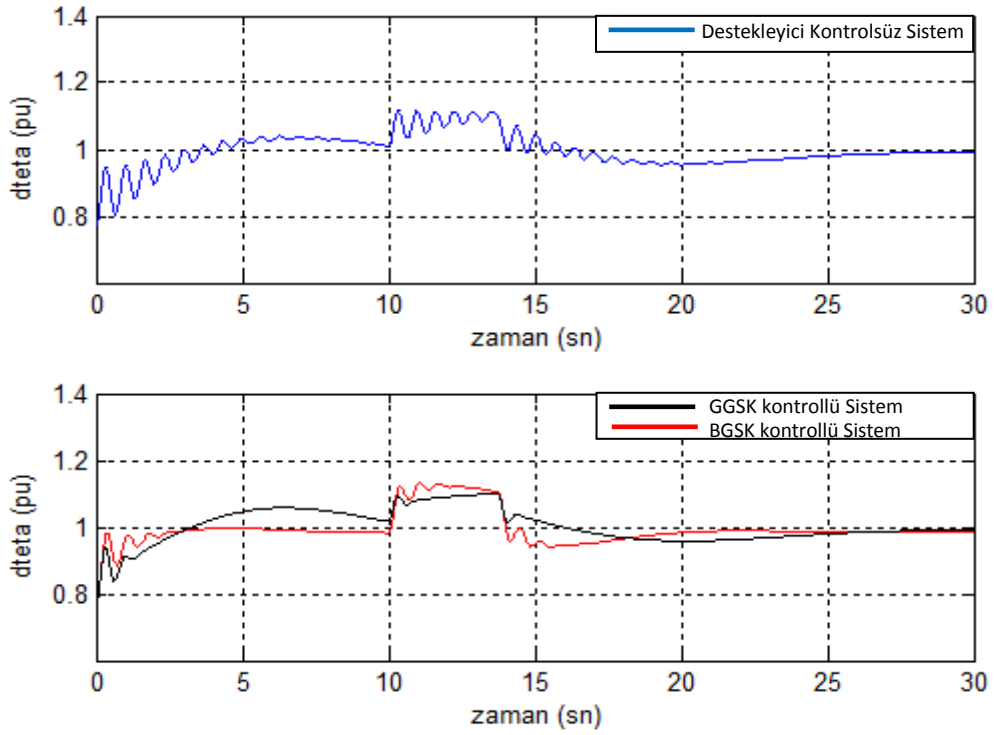
Durum 1	P=0.6 Q=0.0361 xe=0.1 (<i>hafif yük durumu</i>)
Durum 2	P=1.5 Q=0.2303 xe=0.1 (<i>orta yük durumu</i>)
Durum 3	P=1.8 Q=0.1 xe=0.1 (<i>ağır yük durumu</i>)
Durum 4	P=1 Q=0.333 xe=0.3 (<i>reaktif yük durumu</i>)



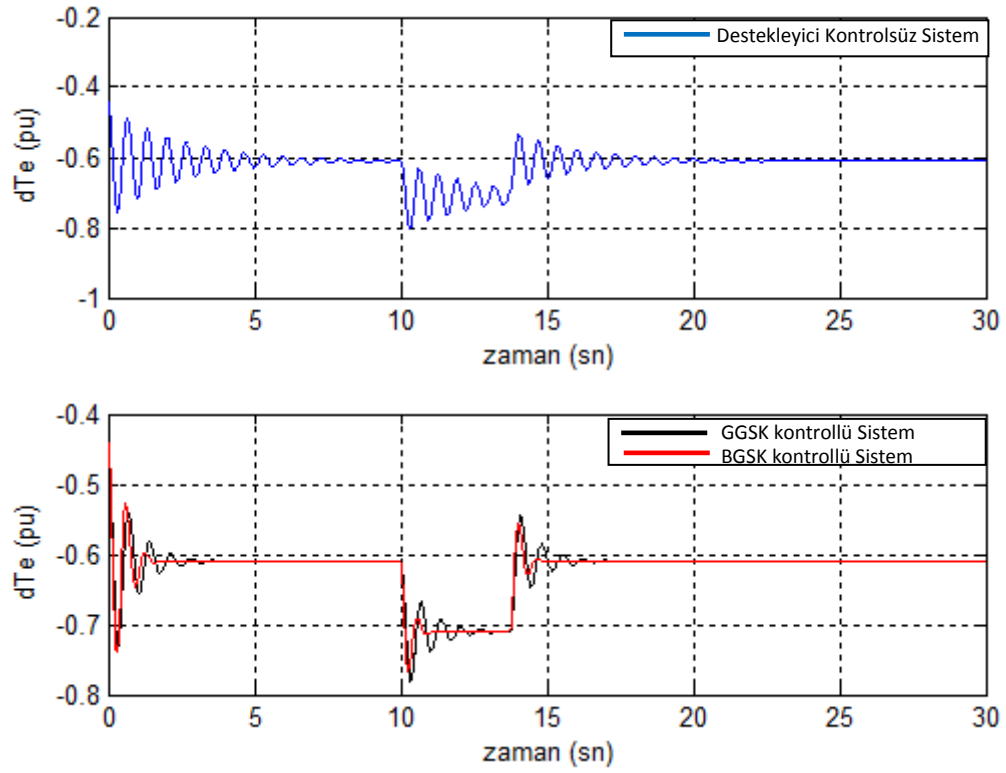
Şekil 5.8. Analiz 2 için sonsuz güçlü baraya bağlı tek senkron jeneratör sisteminin simulasyon bloğu



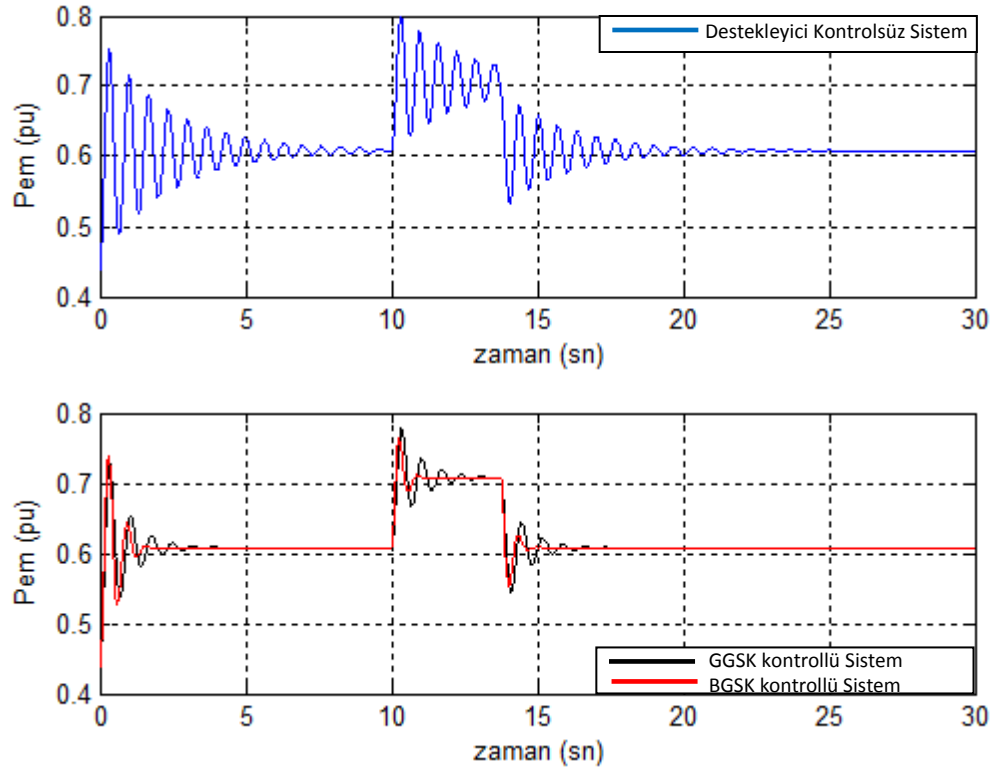
Şekil 5.9. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 1 parametreleri için rotor hız sapmasının değişimi



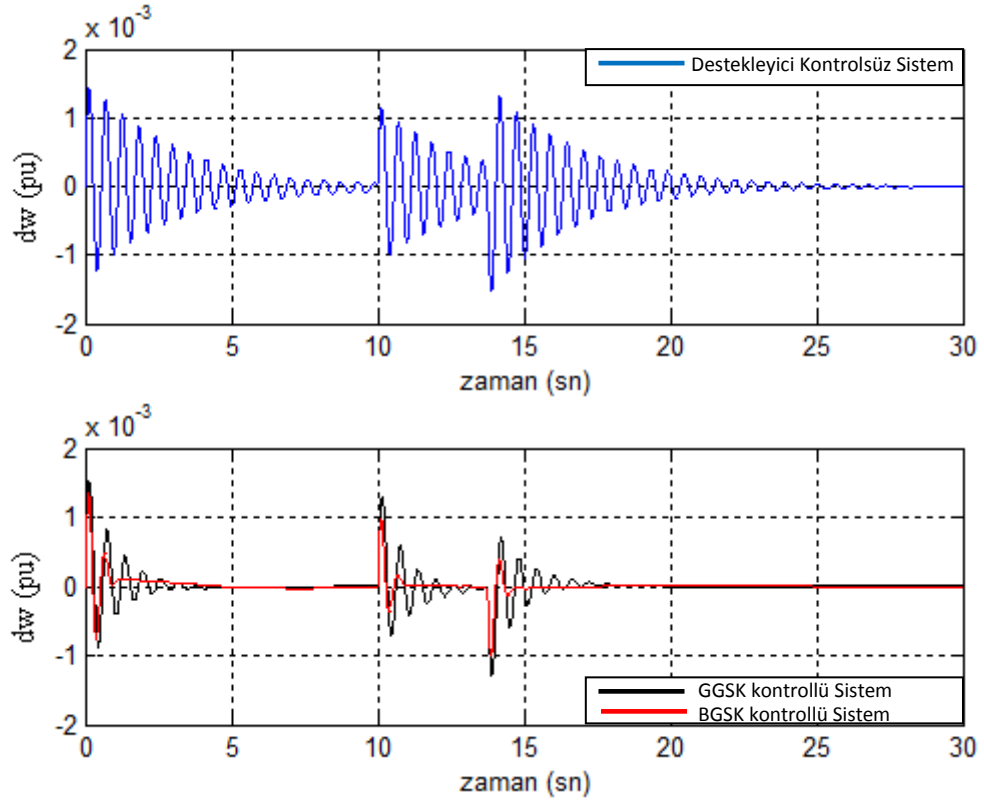
Şekil 5.1. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 1 parametreleri için açının değişimi



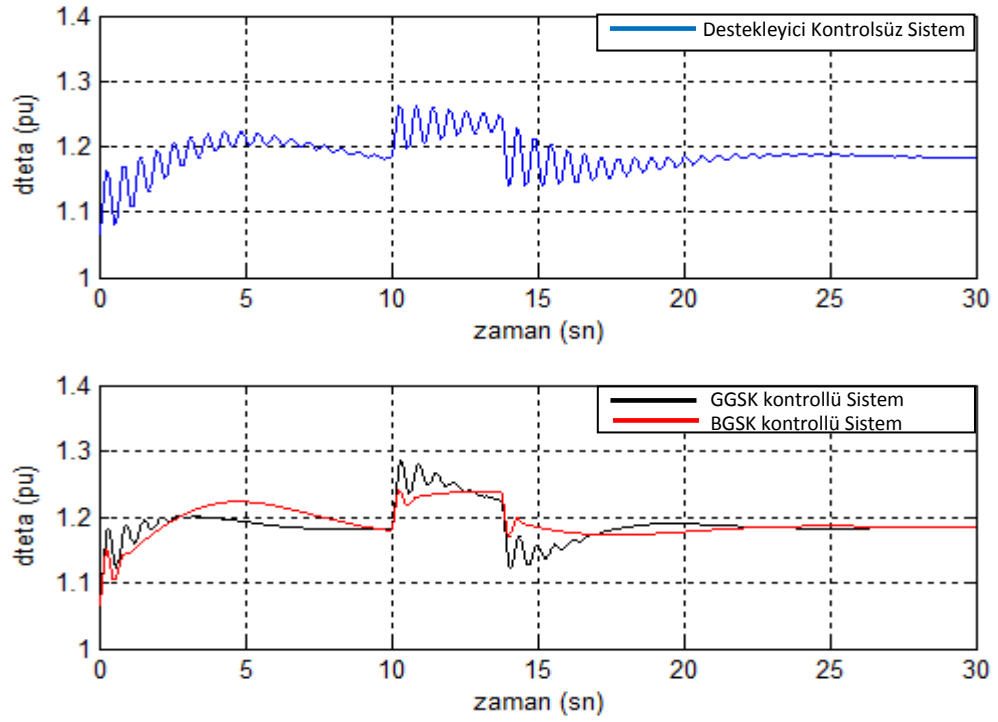
Şekil 5.11. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 1 parametreleri için momentin değişimi



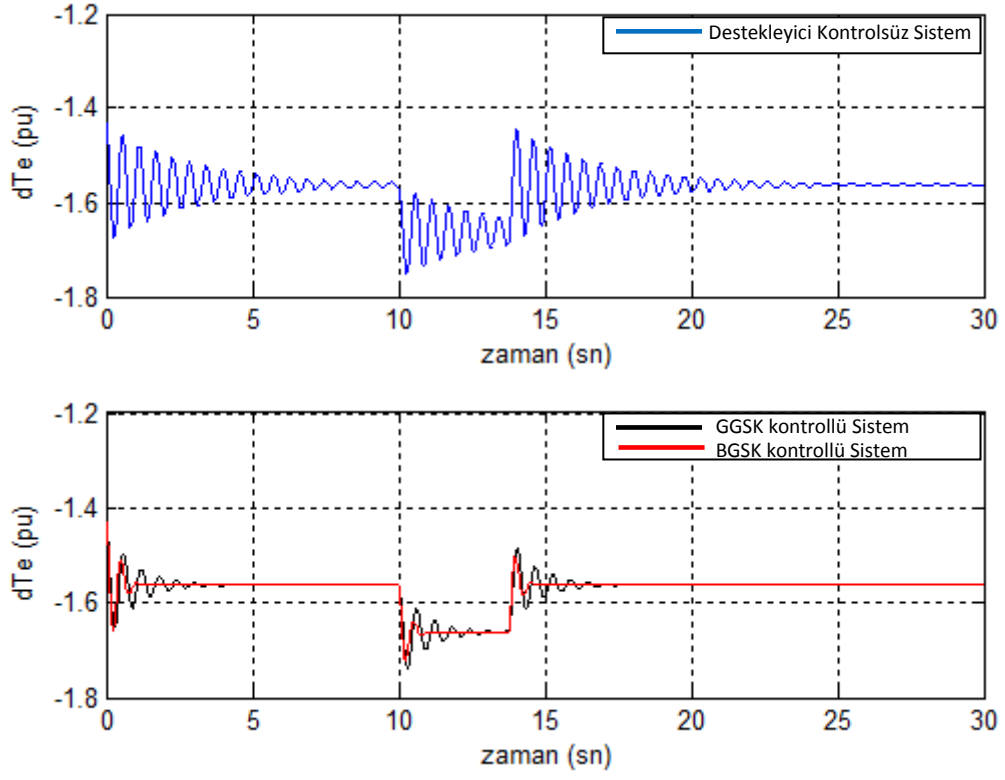
Şekil 5.12. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 1 parametreleri için elektriksel gücün değişimi



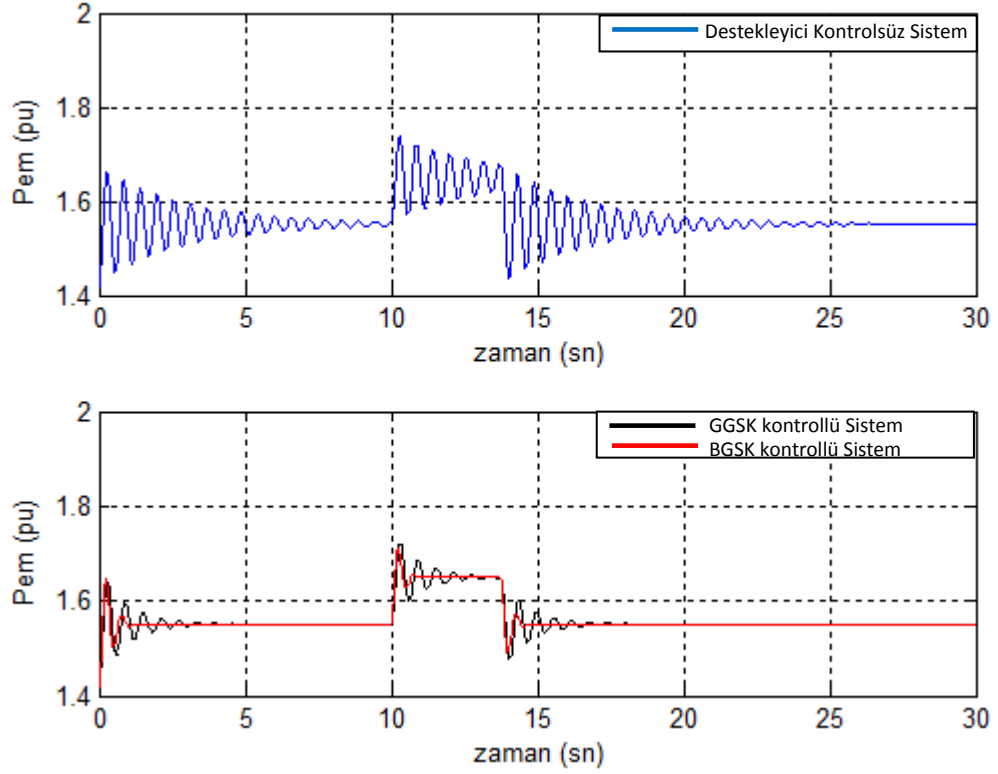
Şekil 5.13. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 2 parametreleri için rotor hız sapmasının değişimi



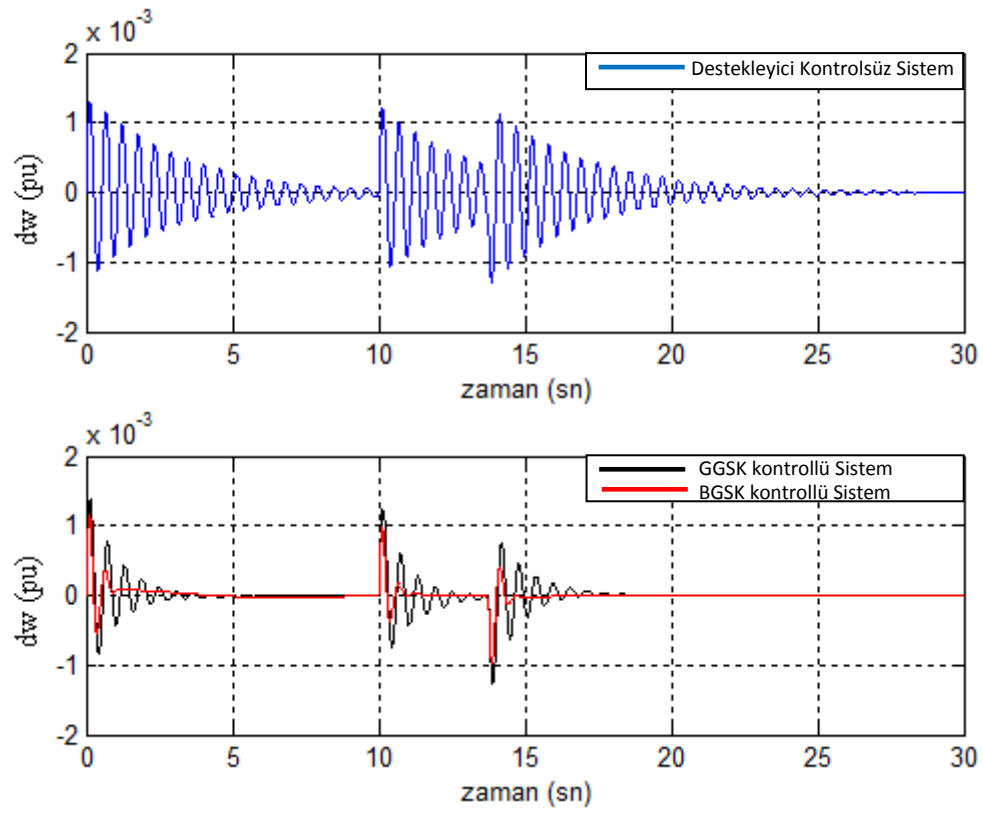
Şekil 5.14. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 2 parametreleri için açının değişimi



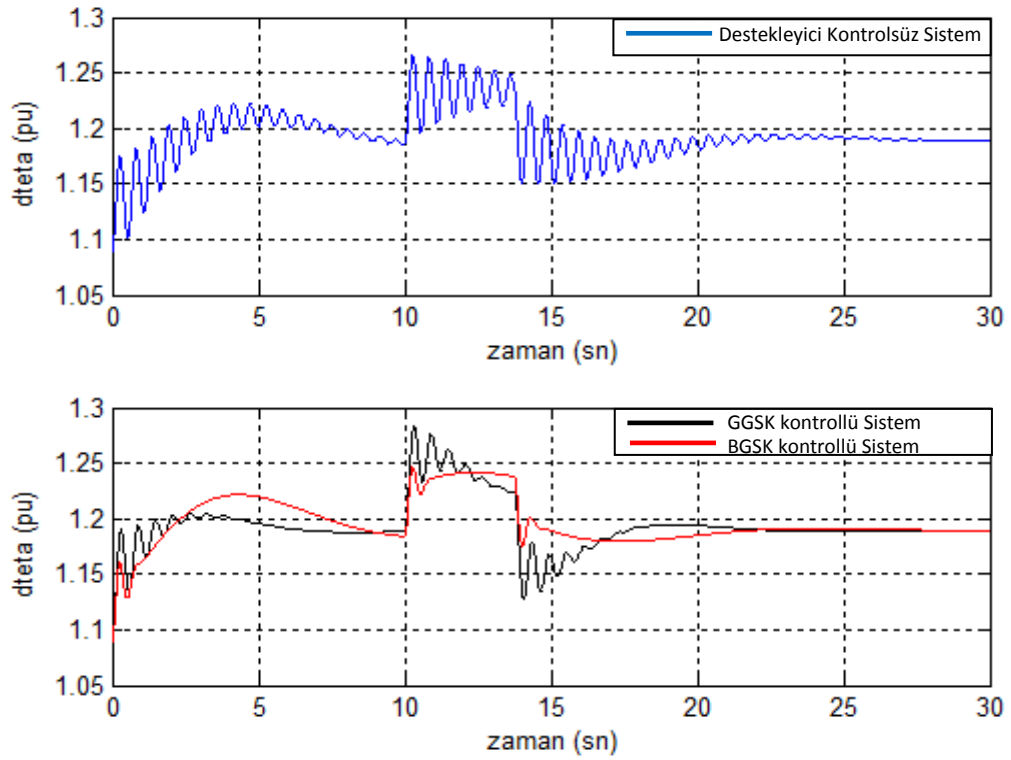
Şekil 5.15. TGSGGB sisteminde analiz 2, durum 2 parametreleri için momentin değişimi



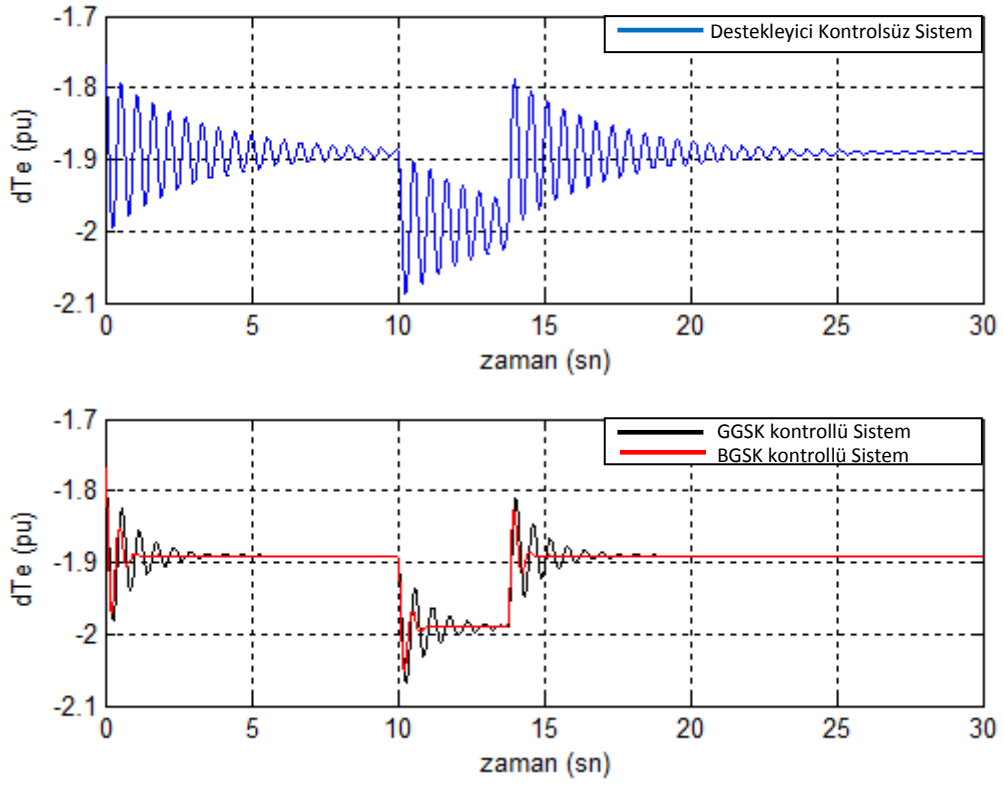
Şekil 5.16. TGSGGB sisteminde analiz 2, durum 2 parametreleri için elektriksel gücün değişimi



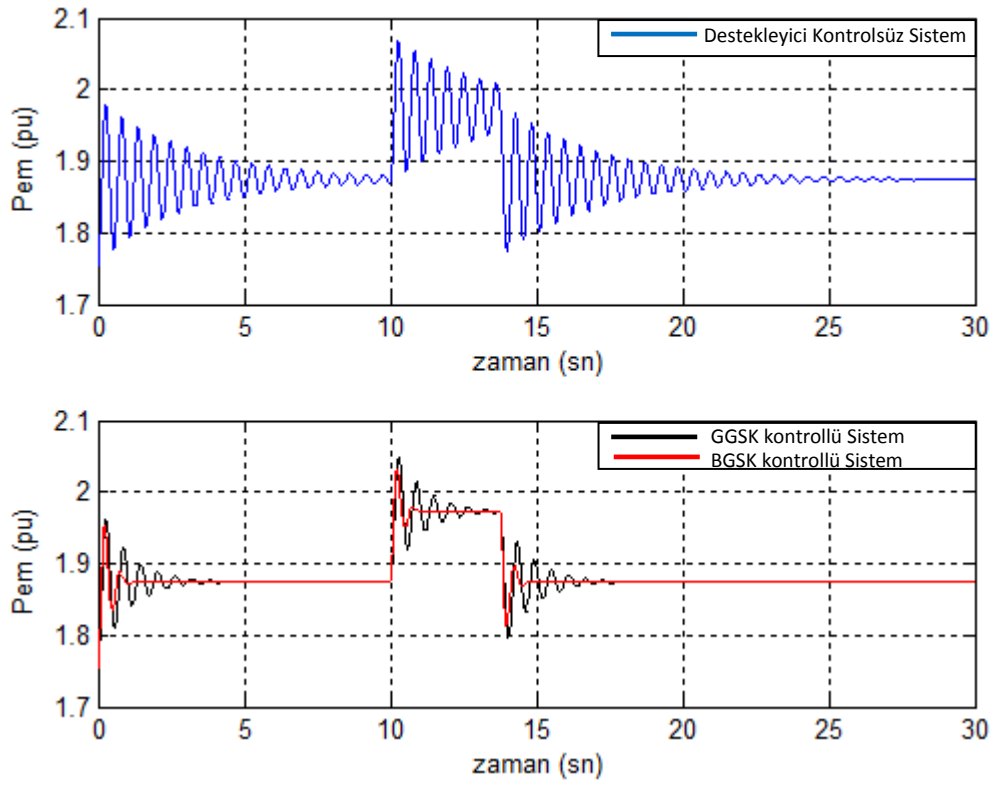
Şekil 5.17. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 3 parametreleri için rotor hız sapmasının değişimi



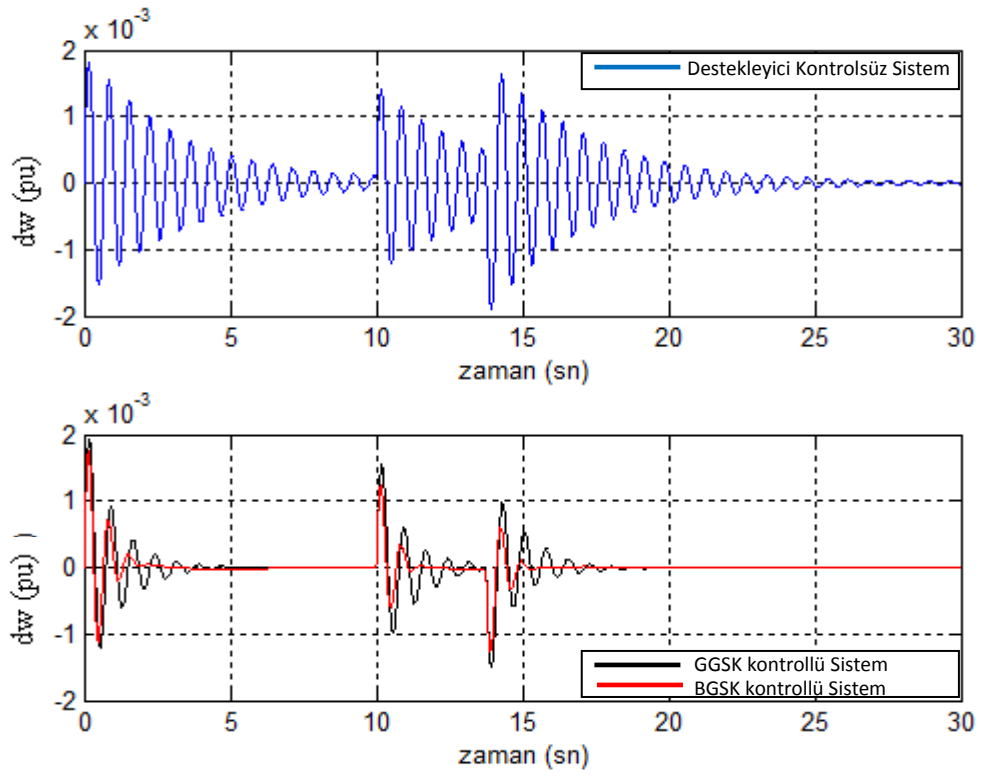
Şekil 5.18. TGSGB generatör sisteminde analiz 2, durum 3 parametreleri için açının değişimi



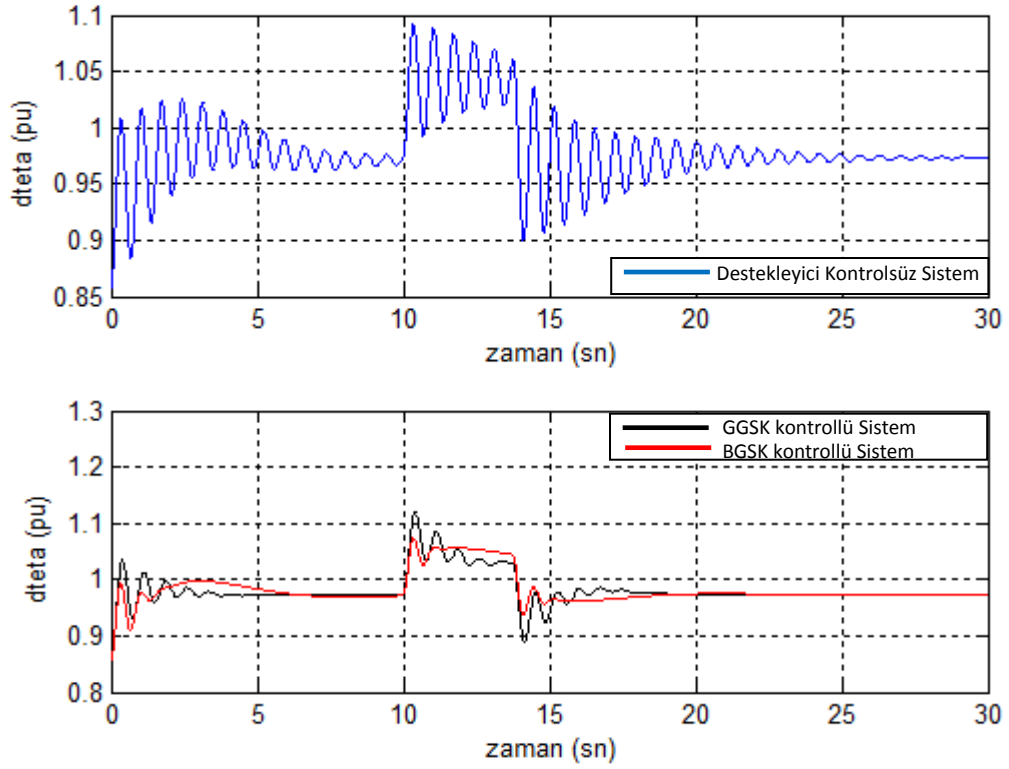
Şekil 5.19. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 3 parametreleri için momentin değişimi



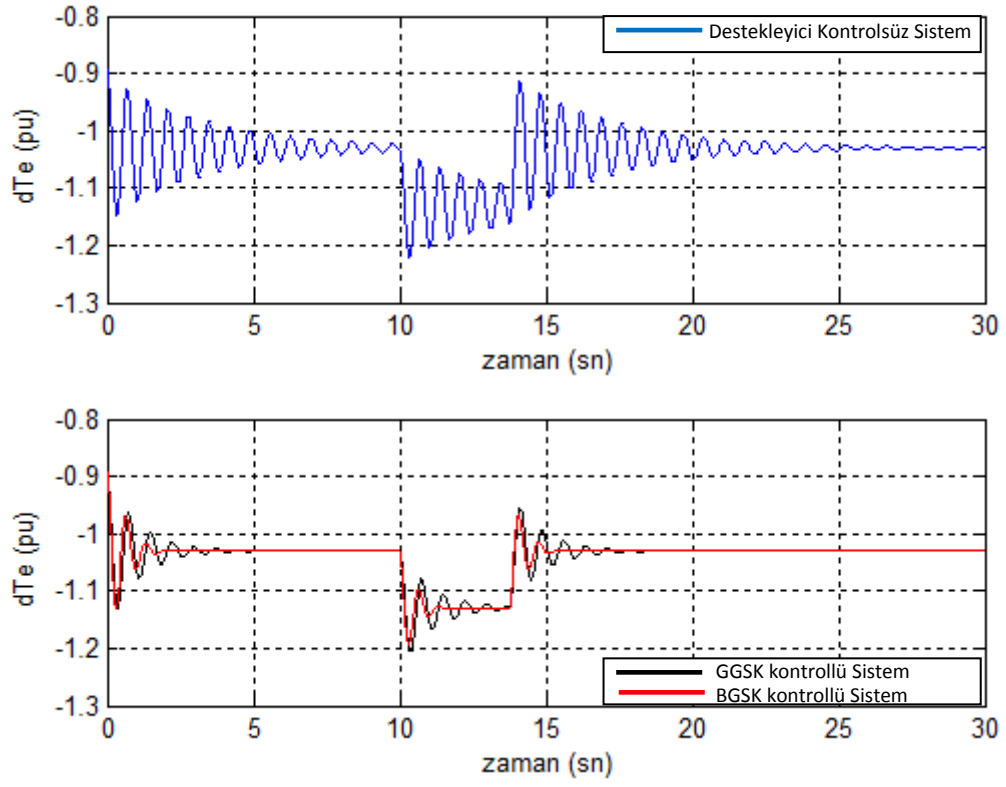
Şekil 5.20. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 3 parametreleri için elektriksel gücün değişimi



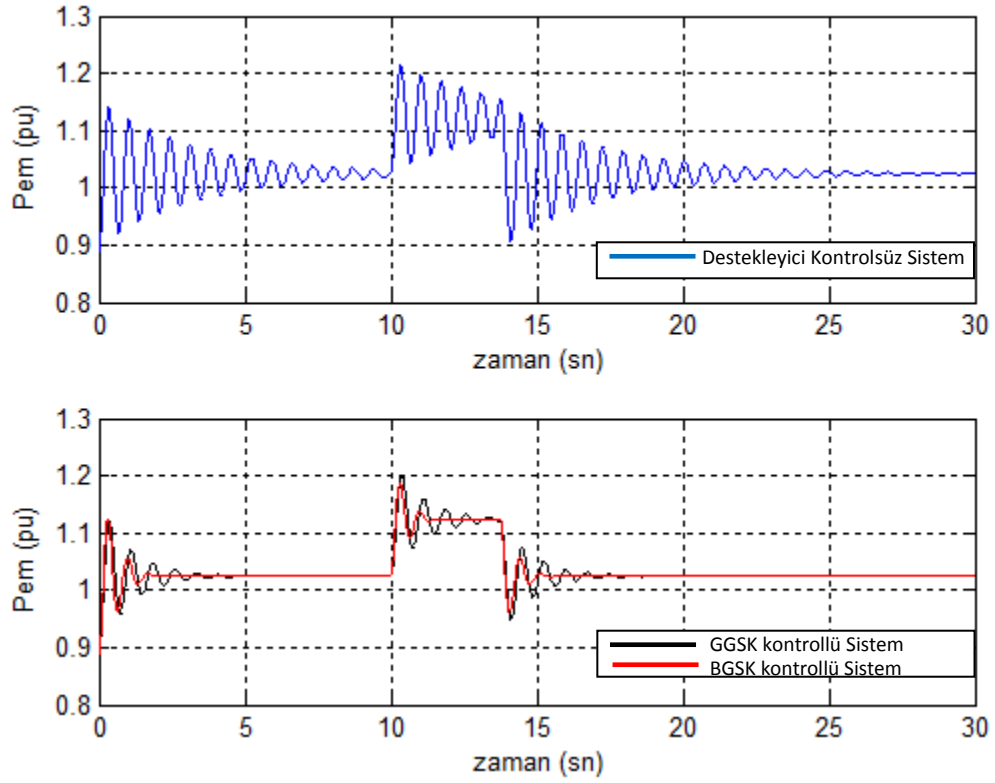
Şekil 5.21. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 4 parametreleri için rotor hız sapmasının değişimi



Şekil 5.22. TGSGB generator sisteminde analiz 2, durum 4 parametreleri için açının değişimi



Şekil 5.23. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 4 parametreleri için momentin değişimi



Şekil 5.24. TGSGB sisteminde analiz 2, durum 4 parametreleri için elektriksel gücün değişimi

Yorum: Grafiksel analiz sonuçlarından ve Tablo 5.4’de yer alan matematiksel analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi sistemin sürekli çalışmadaki yük durumu arttıkça bozucu etki karşısındaki kararlılığı zayıflamaktadır ve sistemin yerleşme zamanı uzamaktadır. Yani sürekli duruma erişim süresi daha uzun olmaktadır. Ayrıca dikkat edilmesi gereken ikinci önemli konuda matematiksel verilerden de görüleceği gibi dört farklı yük durumu için de destekleyici kontrol birimi olarak BGSK’nın bulunduğu sistem; destekleyici kontrol birimi olarak geleneksel GSK’nın bulunduğu sistemden çok daha iyi bir kararlılık performansı sergilemiş ve daha küçük max. aşma ve daha kısa yerleşme süresi ile güç sistemini sürekli duruma erdirmiştir.

Tablo 5.4. Analiz 2 için matematiksel sonuçlar

DURUM 1 P=0.6 Q=0.0361 xe=0.1	Destekleyici Kontrolsüz sistem	GSK		BGSK	
			% iyileşme		% iyileşme
Max aşma(d _ω)	0.0022	0.0024	-9,09091	0.0022	0,00000
Max aşma(dteta)	1.1169	1.1169	0,00000	1.0998	1,53102
İntegral mutlak d _ω	0.0070	0.0031	55,71429	0.0024	65,71429
İntegral mutlak dteta	29.9056	29.8449	0,20297	30.0703	-0,55073
Yerleşme zamanı(t)	26.2	18.2	30,53435	15.5	40,83969
Max aşma(dTe)	-0.4405	-0.4405	0,00000	-0.4405	0,00000
Max aşma(Pgen)	0.7990	0.7775	2,69086	0.7632	4,48060
İntegral mutlak dTe	18.6665	18.6665	0,00000	18.6665	0,00000
İntegral mutlak Pgen	18.6122	18.6124	-0,00107	18.6123	-0,00054
DURUM 2 P=1.5 Q=0.2303 xe=0.1	Destekleyici Kontrolsüz sistem	GSK		BGSK	
			% iyileşme		% iyileşme
Max aşma(d _ω)	0.0013	0.0013	0,00000	0.0010	23,07692
Max aşma(dteta)	1.3927	1.4165	-1,70891	1.3668	1,85970
İntegral mutlak d _ω	0.0071	0.0025	64,78873	0.0014	80,28169
İntegral mutlak dteta	39.4131	39.4112	0,00482	39.4933	-0,20349
Yerleşme zamanı(t)	34.5	19.1	44,63768	15.36	55,47826
Max aşma(dTe)	-1.4445	-1.4577	-0,91381	-1.4577	-0,91381
Max aşma(Pgen)	1.7412	1.7207	1,17735	1.7071	1,95842
İntegral mutlak dTe	49.1972	49.1972	0,00000	49.1973	-0,00020
İntegral mutlak Pgen	46.8719	46.8721	-0,00043	46.8722	-0,00064
DURUM 3 P=1.8 Q=0.1 xe=0.1	Destekleyici Kontrolsüz sistem	GSK		BGSK	
			% iyileşme		% iyileşme
Max aşma(d _ω)	0.0013	0.0013	0,00000	0.0010	23,07692
Max aşma(dteta)	1.3836	1.4100	-1,90807	1.3647	1,36600
İntegral mutlak d _ω	0.0071	0.0024	66,19718	0.0012	83,09859
İntegral mutlak dteta	52.4395	52.4428	-0,00629	52.5137	-0,14150
Yerleşme zamanı(t)	33.5	20.1	38,50746	15.65	53,28358
Max aşma (dTe)	-1.7671	-1.7942	-1,53359	-1.7942	-1,53359
Max aşma(Pgen)	2.0573	2.0441	0,64162	2.0271	1,46794
İntegral mutlak dTe	75.8844	75.8844	0,00000	75.8844	0,00000
İntegral mutlak Pgen	75.2636	75.2636	0,00000	75.2638	-0,00027

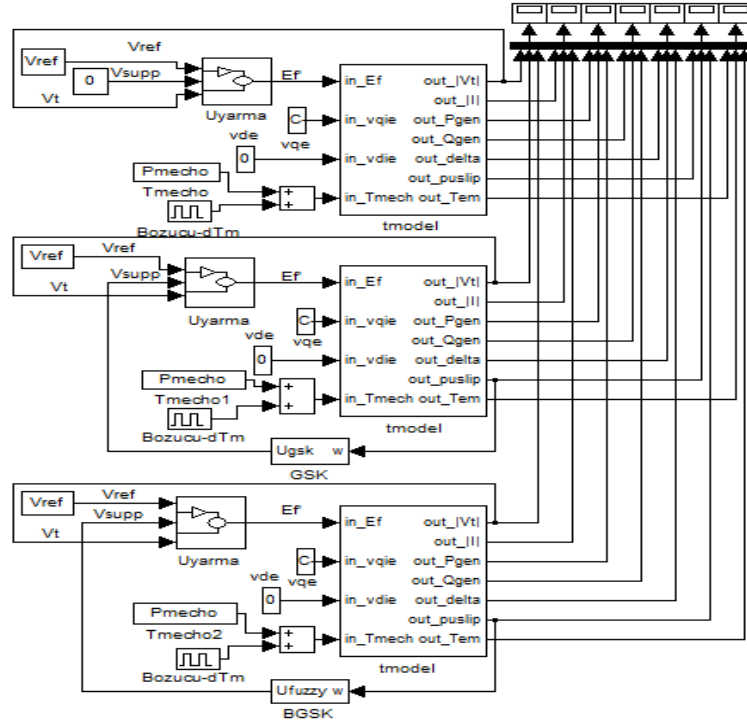
DURUM 4 P=1 Q=0.333 xe=0.3	Destekleyici Kontrolsüz sistem	GSK		BGSK	
			% iyileşme		% iyileşme
Max aşma(ω)	0.0018	0.0019	-5,55556	0.0017	5,55556
Max aşma(dteta)	1.0921	1.1210	-2,64628	1.0739	1,66651
İntegral mutlak d ω	0.0102	0.0037	63,72549	0.0021	79,41176
İntegral mutlak dteta	29.4390	29.4421	-0,01053	29.4722	-0,11278
Yerleşme zamanı(t)	35.8	20.22	43,51955	15.74	56,03352
Max aşma(dTe)	-0.8941	-0.8941	0,00000	-0.8941	0,00000
Max aşma(Pgen)	1.2128	1.2008	0,98945	1.1867	2,15204
İntegral mutlak dTe	31.2745	31.2744	0,00032	31.2744	0,00032
İntegral mutlak Pgen	31.1123	31.1122	0,00032	31.1124	-0,00032

5.4. Sistemin Bara Bağlantı Empedansının Sistem Performansına Etkisinin Analizi

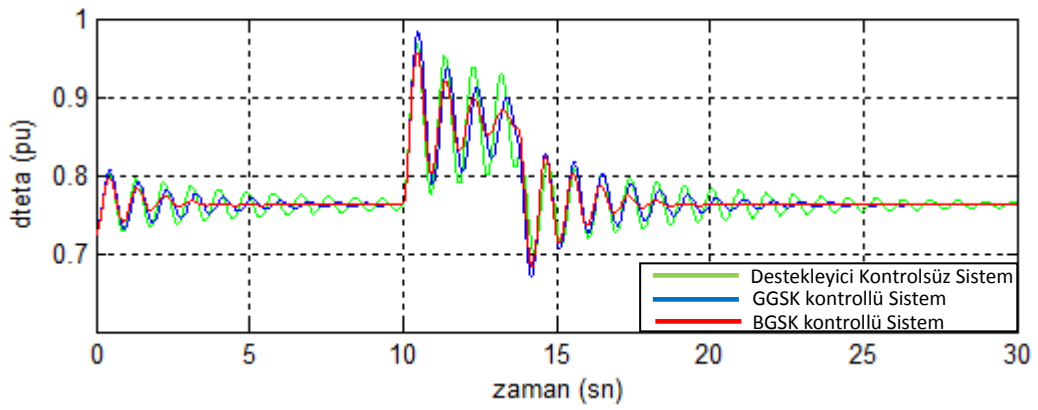
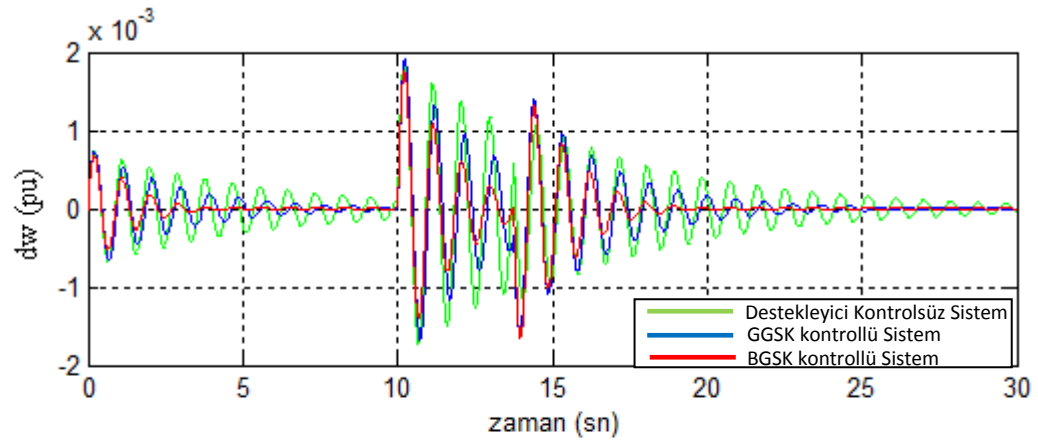
Güç sistemlerinde bağlantı hattı empedansı x_e 'nin sistemin kararlılık performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi amacı ile bu analiz gerçekleştirilmiştir. Sisteme küçük işaret bozucu sinyal olarak 0.1 p.u genlikli periyodu 30sn, darbe genişliği %12.5, $t_{\text{delay}}=10$ sn'lik gecikme zamanlı bir pals uygulanmış ve Tablo 5.5'de yer alan üç farklı bağlantı hattı empedansı için çıkış değişkenlerinin analizi yapılmıştır.

Tablo 5.5. x_e bara bağlantı empedansının değişim durum tablosu

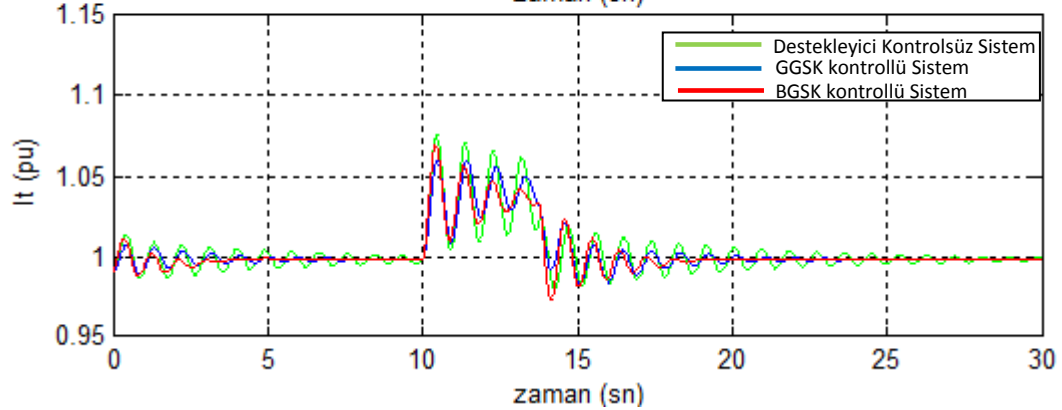
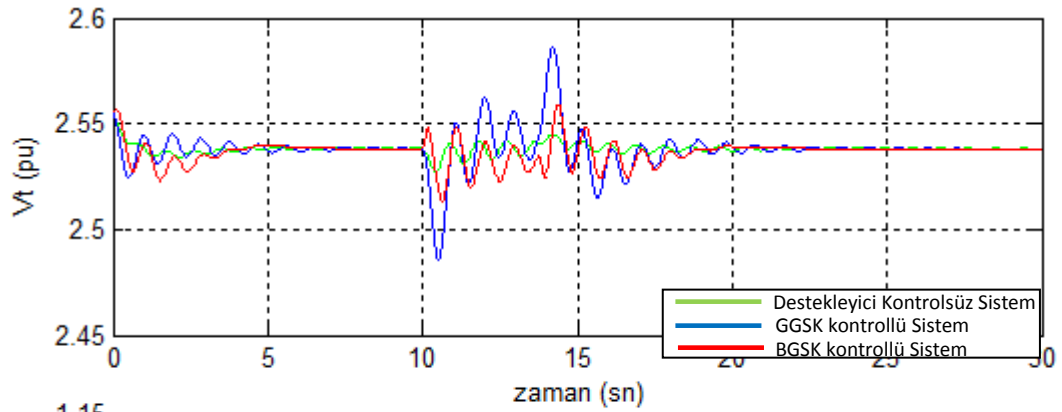
Durum 1	$x_e=0.1$
Durum 2	$x_e=0.6$
Durum 3	$x_e=1.8$



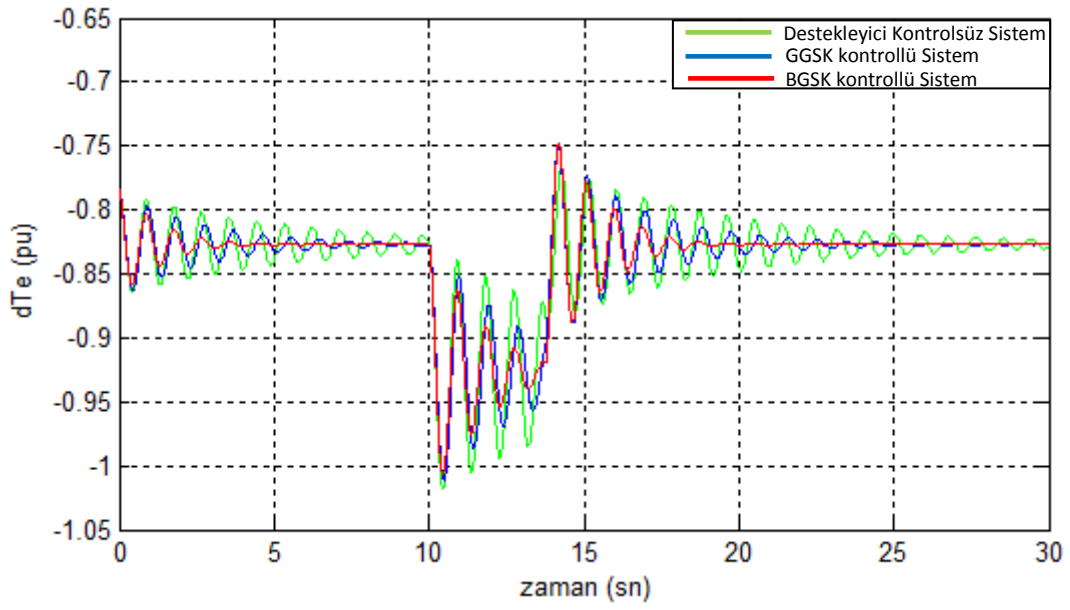
Şekil 5.25. Analiz 3 için sonsuz güçlü baraya bağlı tek senkron generatör sisteminin simulasyon bloğu



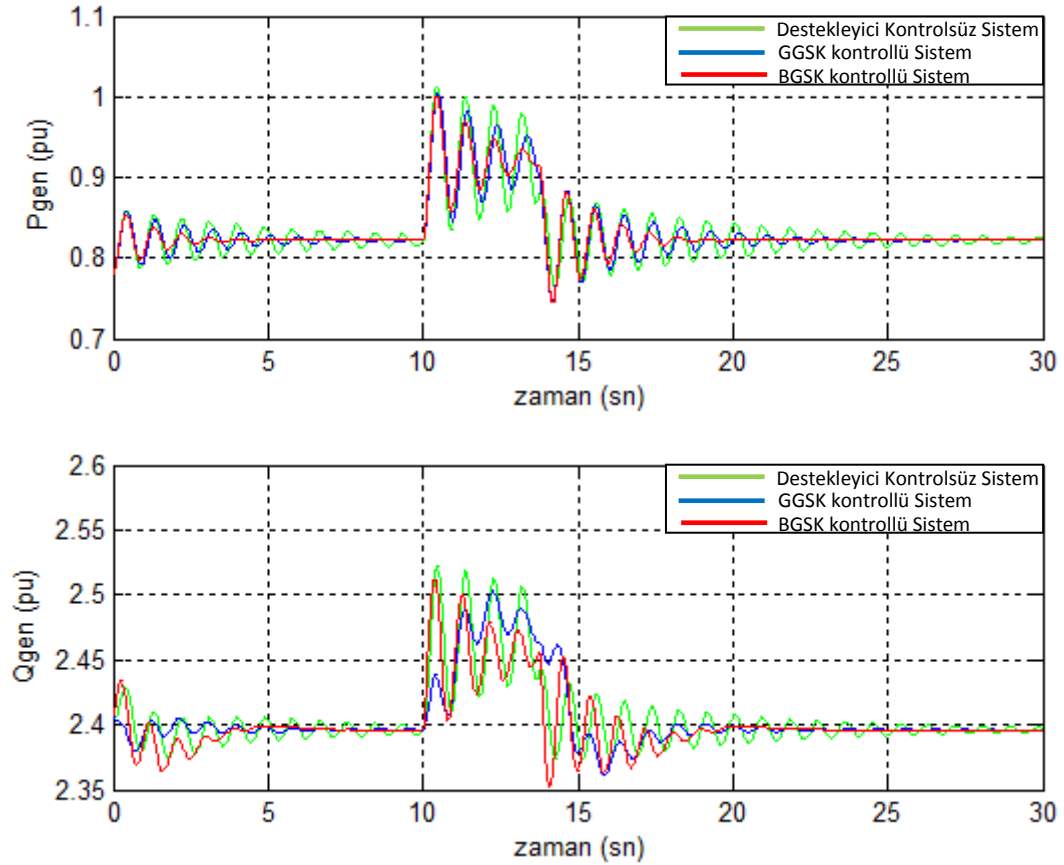
Şekil 5.26. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 3 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi



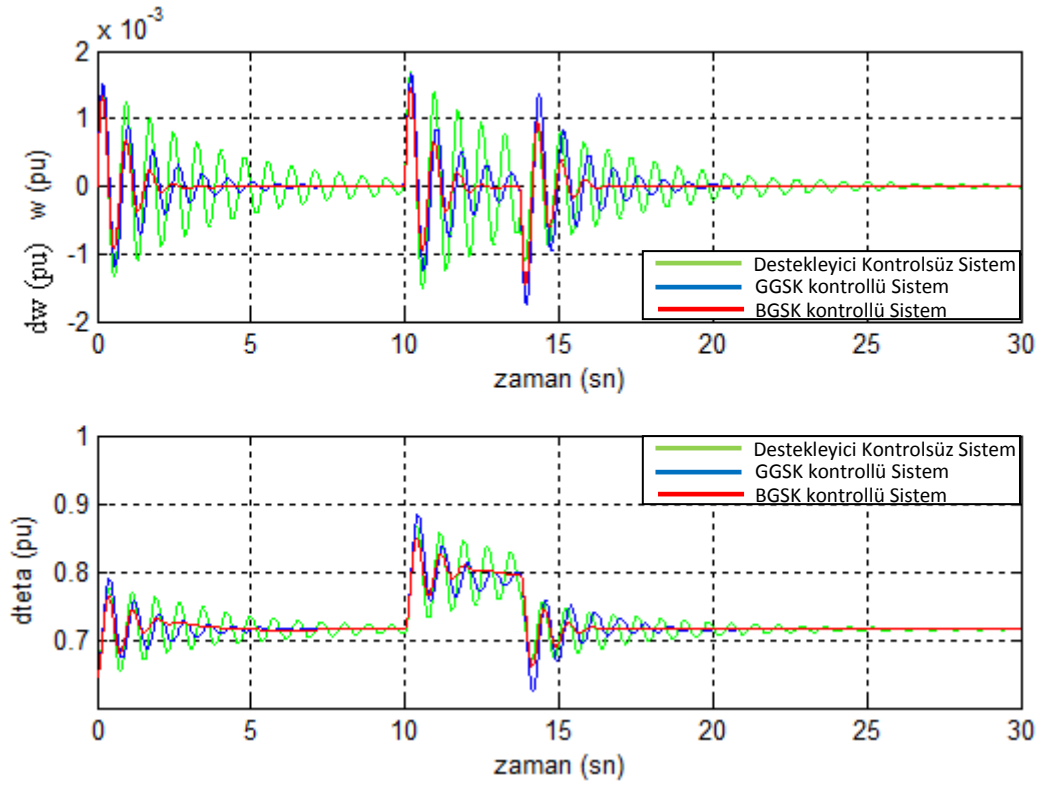
Şekil 5.27. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 3 parametreleri için uç gerilimi ve akımının değişimi



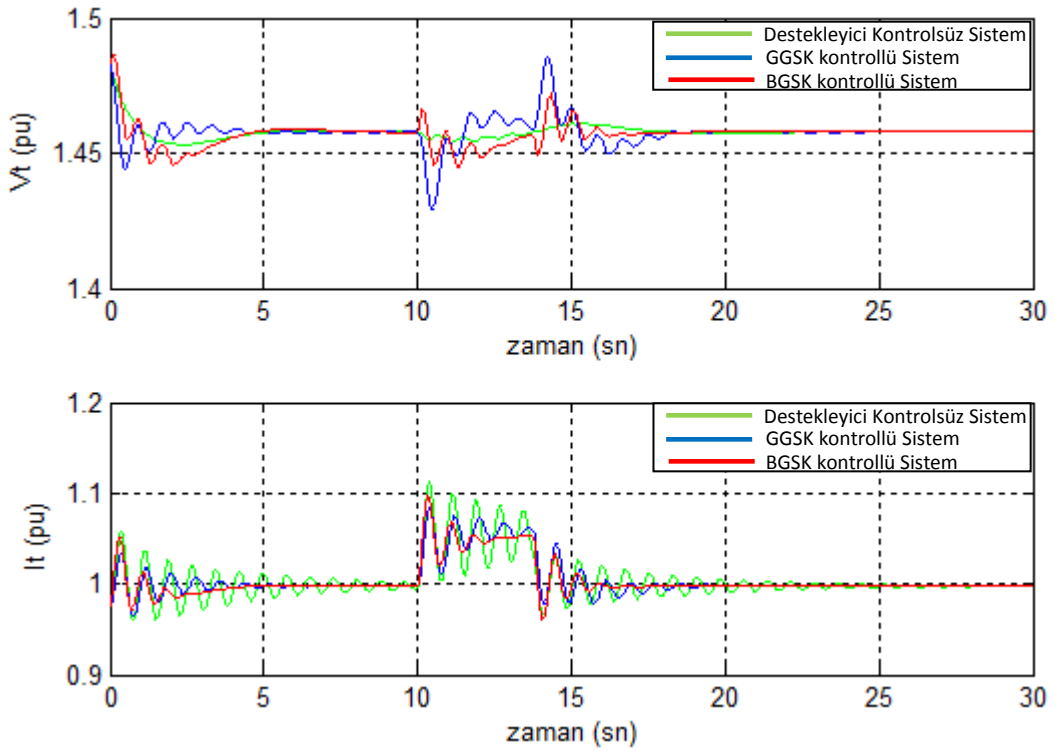
Şekil 5.28. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 3 parametreleri için momentin değişimi



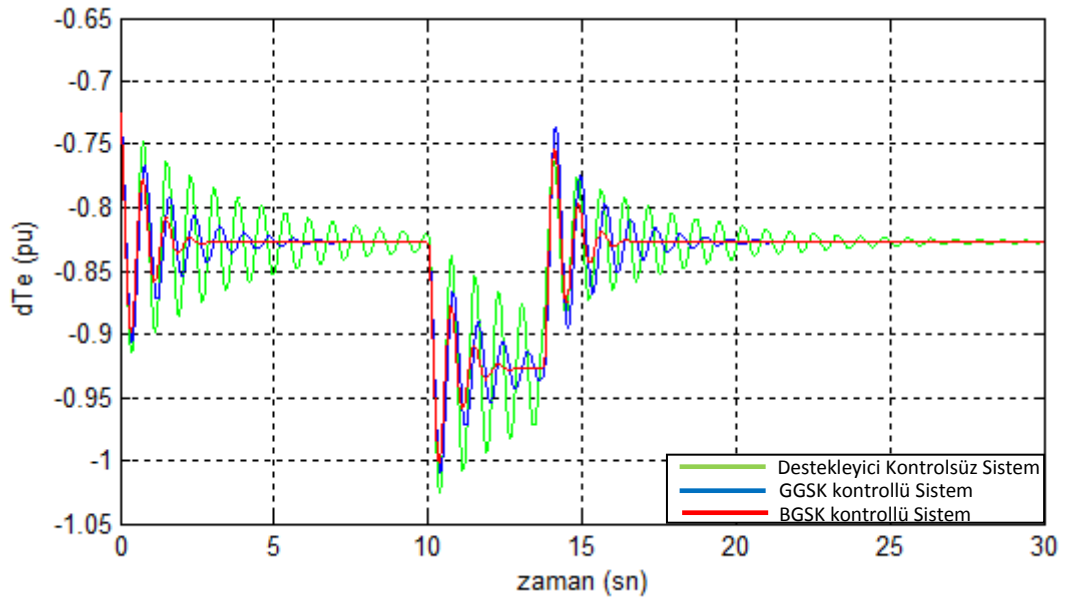
Şekil 5.29. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 3 parametreleri için aktif ve reaktif gücün değişimi



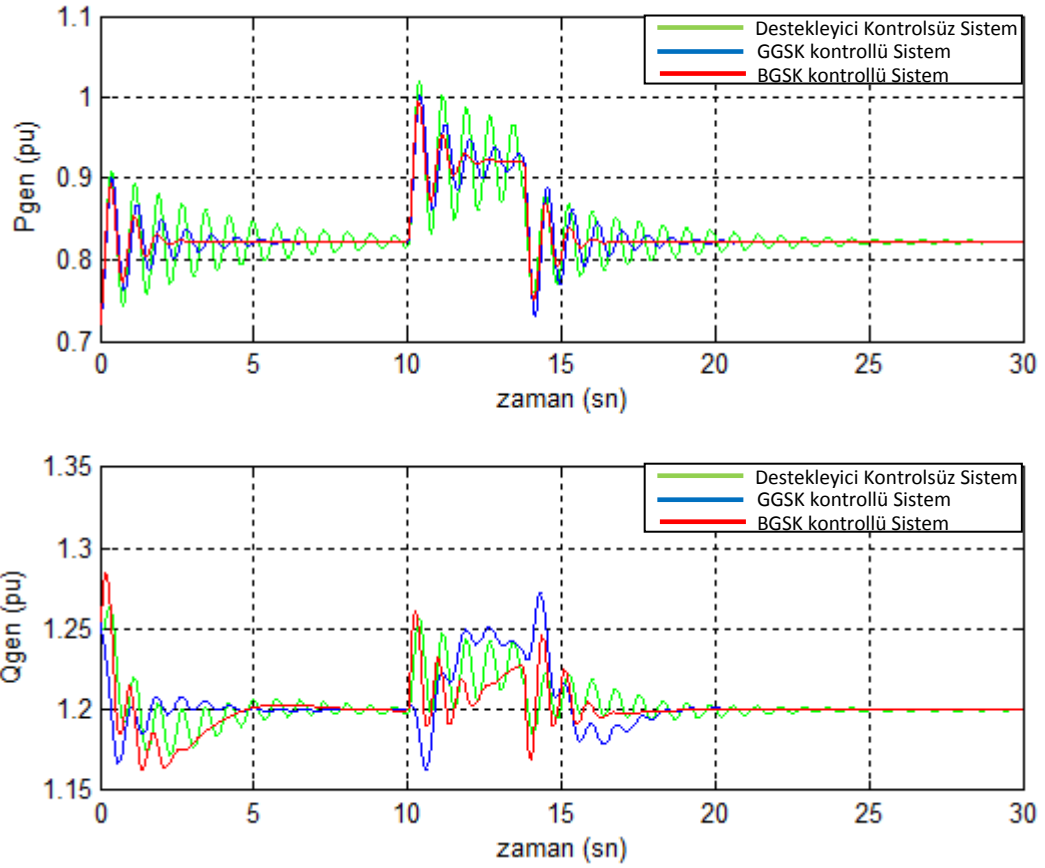
Şekil 5.30. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 2 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi



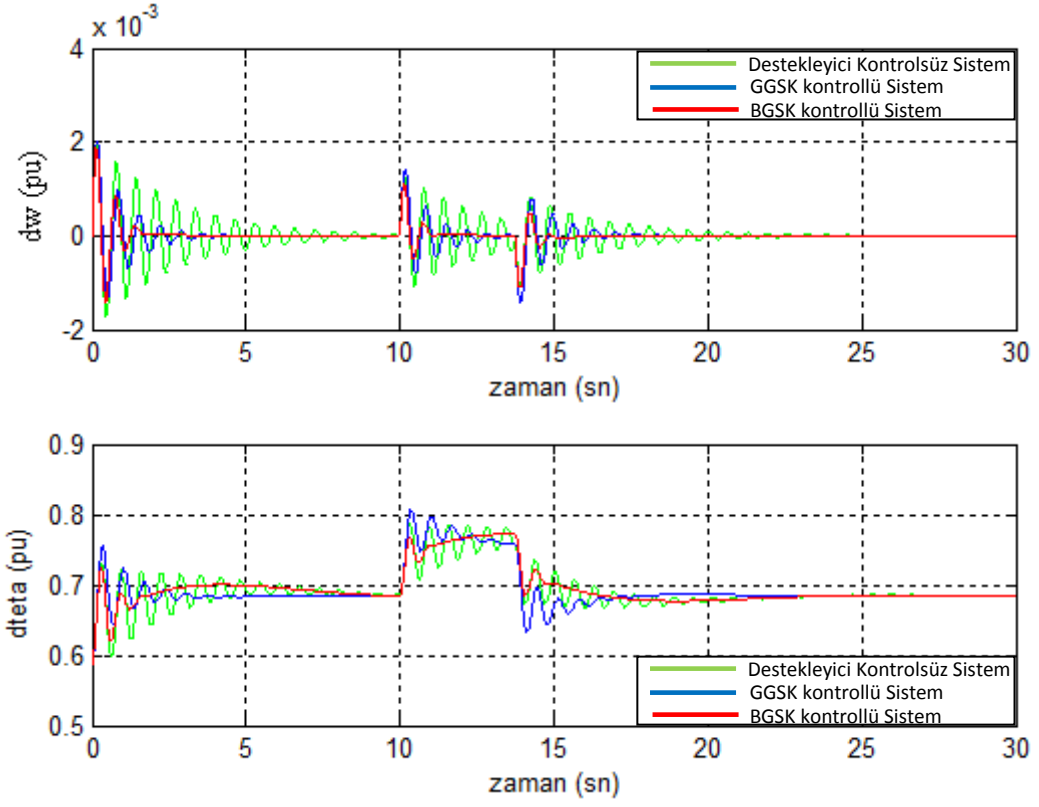
Şekil 5.31. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 2 parametreleri için uç gerilimi ve akımının değişimi



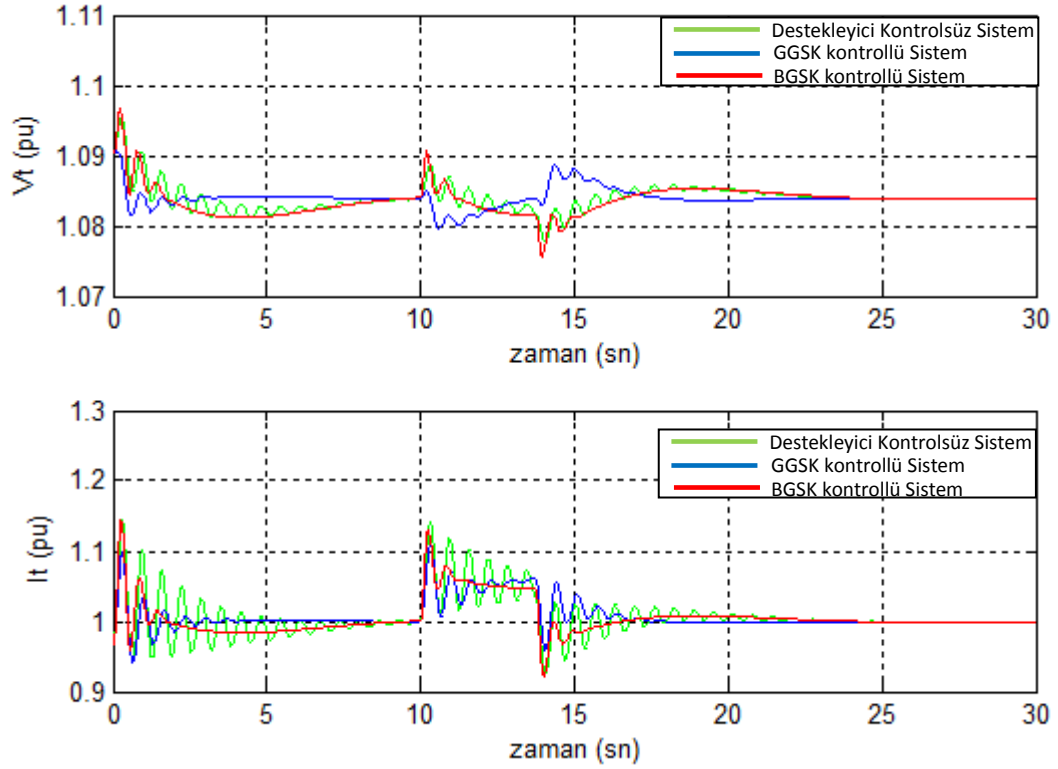
Şekil 5.32. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 2 parametreleri için momentin değişimi



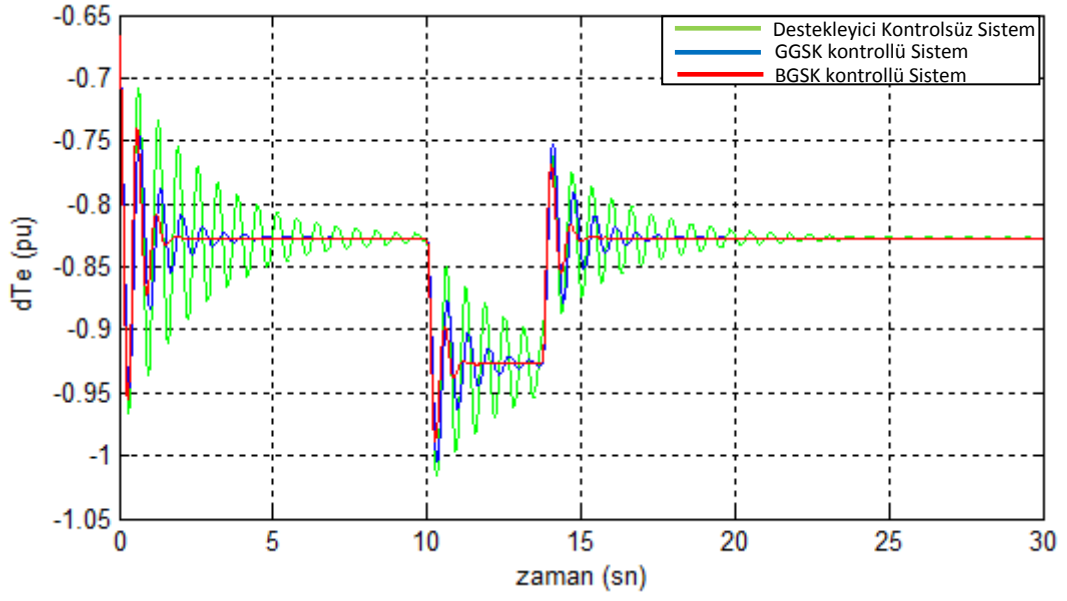
Şekil 5.33. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 2 parametreleri için aktif ve reaktif gücün değişimi



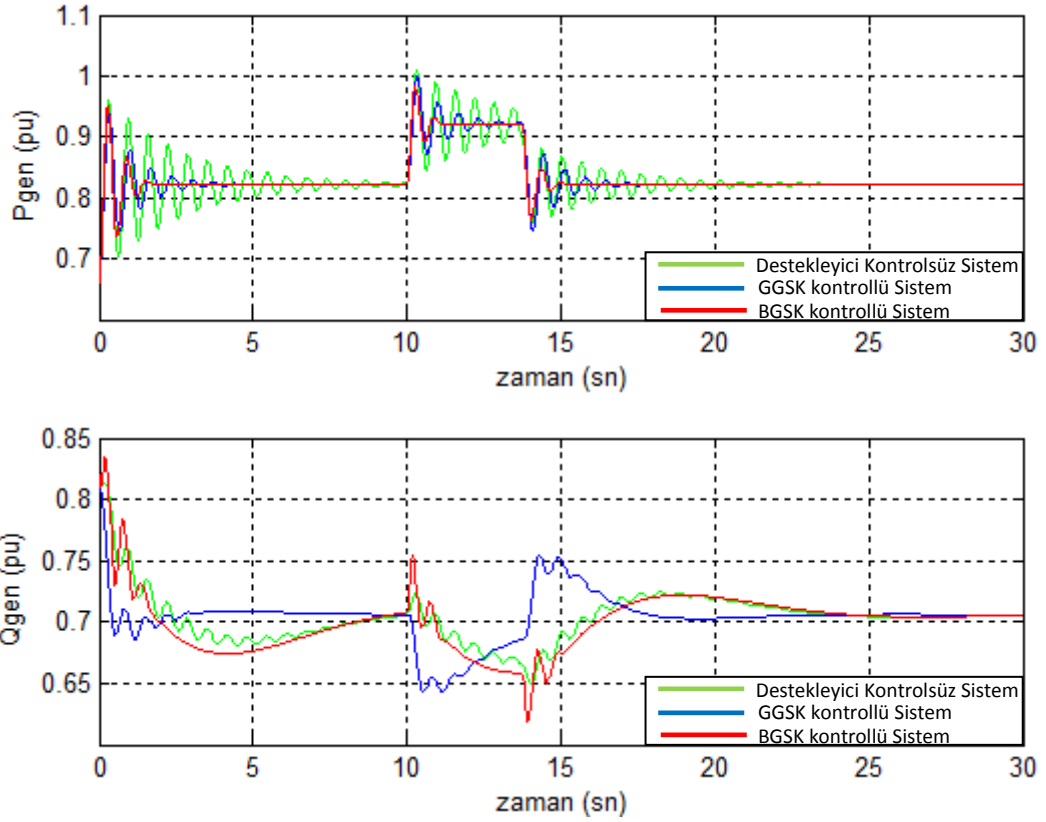
Şekil 5.34. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 1 parametreleri için rotor hız sapmasının ve açının değişimi



Şekil 5.35. TGSGB sisteminde analiz 3, durum 1 parametreleri için uç gerilimi ve akımının değişimi



Şekil 5.36. TGSGGB sisteminde analiz 3, durum 1 parametreleri için momentin değişimi



Şekil 5.37. TGSGGB sisteminde analiz 3, durum 1 parametreleri için aktif ve reaktif gücün değişimi

Yorum: Grafiksel sonuçlarından ve Tablo 5.6’da yer alan matematiksel analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi sonsuz güçlü baraya bağlantı hattı empedansı büyüdükçe sistem kararlılığı zayıflamaktadır ve sistemin yerleşme zamanı uzamaktadır. Yani sürekli duruma erişim süresi daha uzun olmaktadır. Ayrıca dikkat edilmesi gereken ikinci önemli konuda matematiksel verilerden de görüleceği gibi üç farklı x_e empedans değeri için de destekleyici kontrol birimi olarak BGSK’nın bulunduğu sistem; destekleyici kontrol birimi olarak geleneksel GSK’nın bulunduğu sistemden çok daha iyi bir kararlılık performansı sergilemiş ve daha küçük maksimum aşma ve daha kısa yerleşme süresi ile güç sistemini sürekli duruma erdirmiştir.

Tablo 5.6. Analiz 3 için matematiksel sonuçlar

DURUM 1 $x_e=0.1$	Destekleyici Kontrolsüz sistem	GSK		BGSK	
			% iyileşme		% iyileşme
Max aşma($d\omega$)	0.0019	0.0020	-5,26316	0.0019	0,00000
Max aşma($dteta$)	0.7860	0.8084	-2,84987	0.7722	1,75573
İntegral mutlak $d\omega$	0.0067	0.0033	50,74627	0.0019	71,64179
İntegral mutlak $dteta$	20.8205	20.8184	0,01009	20.8752	-0,26272
Yerleşme zamanı(t)	29.6	20.2	31,75676	15.9	46,28378
Max aşma(Vt)	1.0952	1.0907	0,41088	1.0966	-0,12783
İntegral mutlak Vt	32.5181	32.5193	-0,00369	32.5092	0,02737
Max aşma(dTe)	-0.6666	-0.6666	0,00000	-0.6666	0,00000
Max aşma($Pgen$)	1.0100	0.9984	1,14851	0.8341	17,41584
Max aşma($Qgen$)	0.8194	0.8194	0,00000	0.8341	-1,79400
İntegral mutlak dTe	25.1845	25.1845	0,00000	25.1845	0,00000
İntegral mutlak $Pgen$	25.0381	25.0381	0,00000	25.0387	-0,00240
İntegral mutlak $Qgen$	21.1135	21.1261	-0,05968	21.0115	0,48310
DURUM 2 $x_e=0.6$	Destekleyici Kontrolsüz sistem	GSK		BGSK	
			% iyileşme		% iyileşme
Max aşma($d\omega$)	0.0017	0.0017	0,00000	0.0014	17,64706
Max aşma($dteta$)	0.8668	0.8829	-1,85741	0.8494	2,00738
İntegral mutlak $d\omega$	0.0089	0.0053	40,44944	0.0028	68,53933
İntegral mutlak $dteta$	21.7657	21.7695	-0,01746	21.7942	-0,13094
Yerleşme zamanı(t)	35.66	24.85	30,31408	17.25	51,62647
Max aşma(Vt)	1.4840	1.4857	-0,11456	1.4864	-0,16173
İntegral mutlak Vt	43.7343	43.7343	0,00000	43.7097	0,05625
Max aşma(dTe)	-0.7253	-0.7253	0,00000	-0.7253	0,00000
Max aşma($Pgen$)	1.0195	1.0036	1,55959	0.9951	2,39333
Max aşma($Qgen$)	1.2641	1.2718	-0,60913	1.2849	-1,64544
İntegral mutlak dTe	25.1847	25.1846	0,00040	25.1846	0,00040
İntegral mutlak $Pgen$	25.0392	25.0391	0,00040	25.0393	-0,00040
İntegral mutlak $Qgen$	36.1202	36.1161	0,01135	36.0422	0,21595
DURUM 3 $x_e=1.8$	Destekleyici Kontrolsüz sistem	GSK		BGSK	
			% iyileşme		% iyileşme
Max aşma($d\omega$)	0.0019	0.0019	0,00000	0.0018	5,26316
Max aşma($dteta$)	0.9681	0.9840	-1,64239	0.9575	1,09493
İntegral mutlak $d\omega$	0.0097	0.0071	26,80412	0.0046	52,57732
İntegral mutlak $dteta$	23.2719	23.2764	-0,01934	23.2905	-0,07992
Yerleşme zamanı(t)	36.8	27.2	26,08696	19.1	48,09783
Max aşma(Vt)	2.5557	2.5866	-1,20906	2.5592	-0,13695

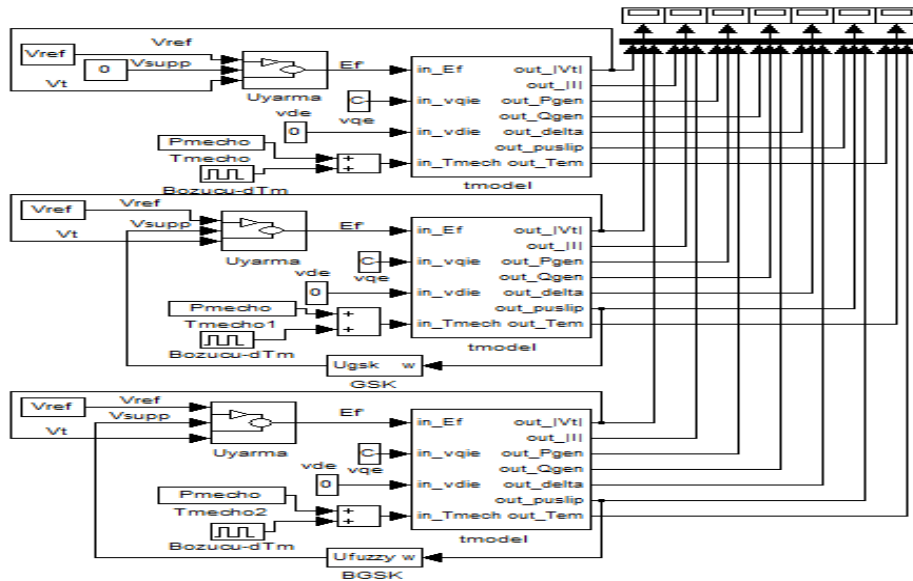
İntegral mutlak Vt	76.1451	76.1377	0,00972	76.0995	0,05989
Max aşma(dTe)	-0.7675	-0.7495	2,34528	-0.7480	2,54072
Max aşma(Pgen)	1.0123	1.0054	0,68162	1.0010	1,11627
Max aşma(Qgen)	2.5227	2.5030	0,78091	2.5128	0,39244
İntegral mutlak dTe	25.1851	25.1848	0,00119	25.1848	0,00119
İntegral mutlak Pgen	25.0402	25.0399	0,00120	25.0400	0,00080
İntegral mutlak Qgen	72.1656	72.1499	0,02176	72.0638	0,14106

5.5. Sisteme Etkiyen Bozucunun Değişimi Durumundaki Performansının Analizi

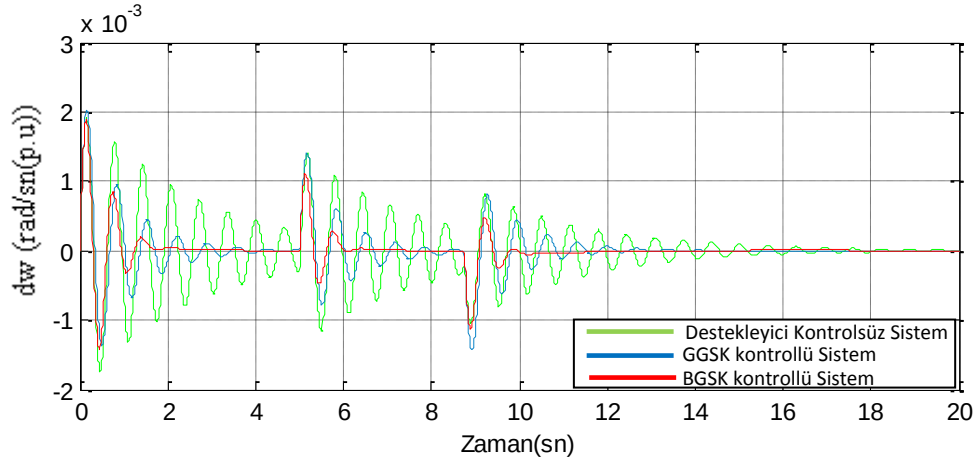
Güç sistemleri her zaman aynı karakteristiğe sahip bozucu sinyaller etki etmez. Sisteme tahmin edilemeyen zaman aralıklarında tahmin edilemeyen büyüklük ve karakteristikteki bozucu sinyaller etki edebilir. Bu nedenle bu çalışmada sisteme farklı özelliğe sahip küçük işaret bozucu sinyaller etkimesi durumunda tek generatör sonsuz güçlü bara sistemimizin sahip olacağı performans analizinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Tablo 5.7’de yer alan dört farklı bozucu sinyal güç sistem modeline uygulanmış, grafiksel ve matematiksel sonuçlar yorumlanmaya çalışılmıştır.

Tablo 5.7. Küçük işaret bozucu sinyal değişim durum tablosu

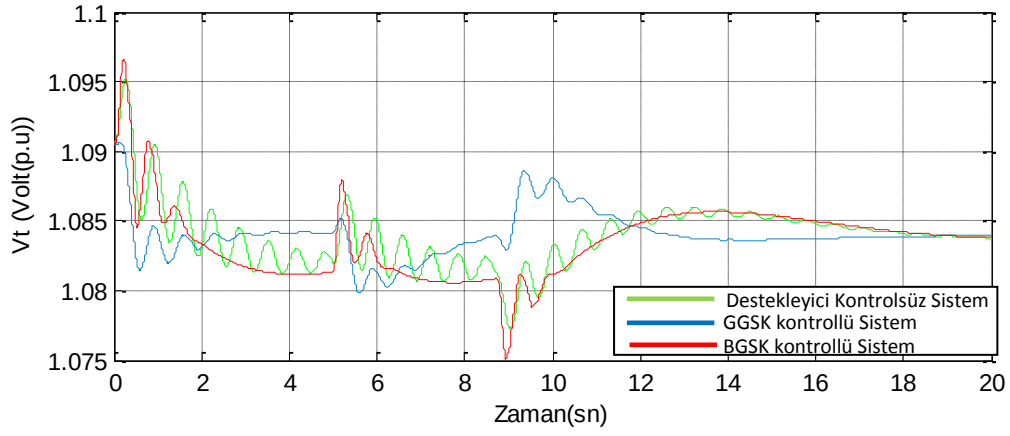
Bozucu 1	Bozucu sinyal olarak 0.1 p.u genlikli periyodu 20sn, darbe genişliği %12.5, $t_{delay}=5sn$ lik gecikme zamanlı bir pals
Bozucu 2	Bozucu sinyal olarak +0.2 p.u genlikli periyodu 30sn, darbe genişliği %12.5, $t_{delay}=10sn$ lik gecikme zamanlı bir pals
Bozucu 3	Bozucu sinyal olarak -0.2 p.u genlikli periyodu 30sn, darbe genişliği %12.5, $t_{delay}=10sn$ lik gecikme zamanlı bir pals
Bozucu 4	Bozucu sinyal olarak -0.1 p.u genlikli periyodu 30sn olan bir step



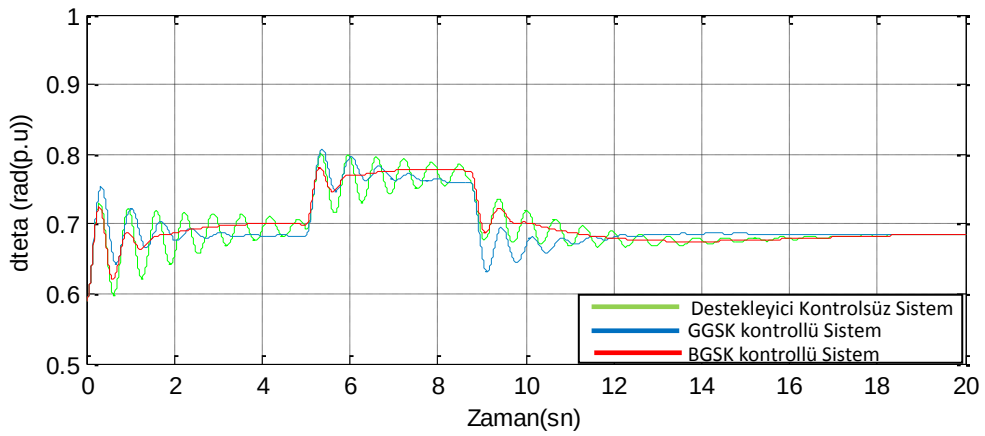
Şekil 5.38. Analiz 4 için sonsuz güçlü bara bağlı tek senkron generatör sisteminde küçük işaret kararlılık analizi için oluşturulan simülasyon modeli



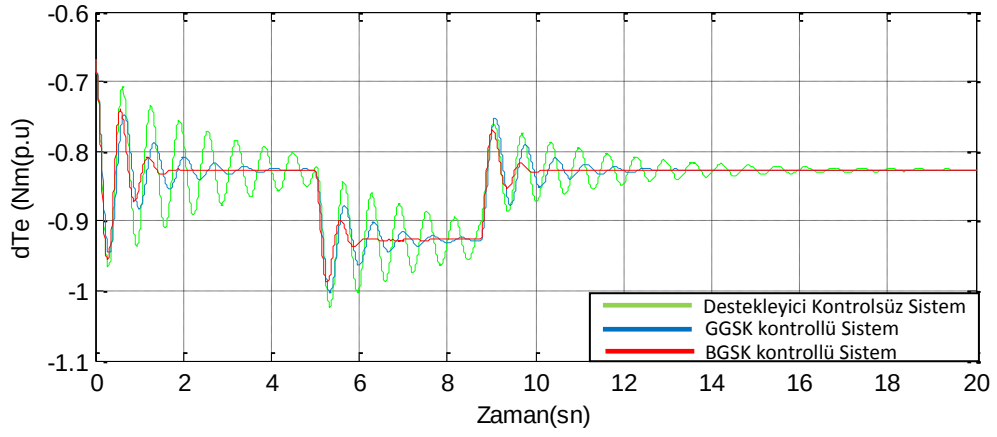
Şekil 5.39. Bozucu 1'in etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre rotor hız sapmasının değişimi



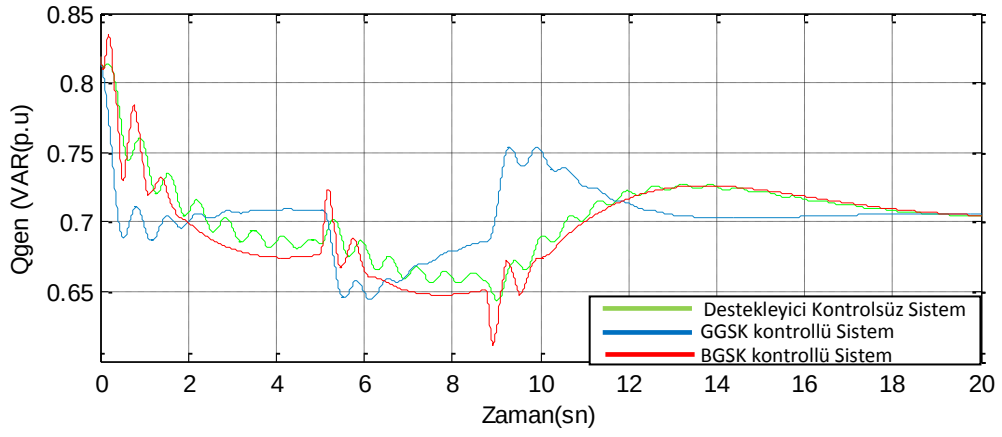
Şekil 5.40. Bozucu 1'in etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre generatör uç geriliminin değişimi



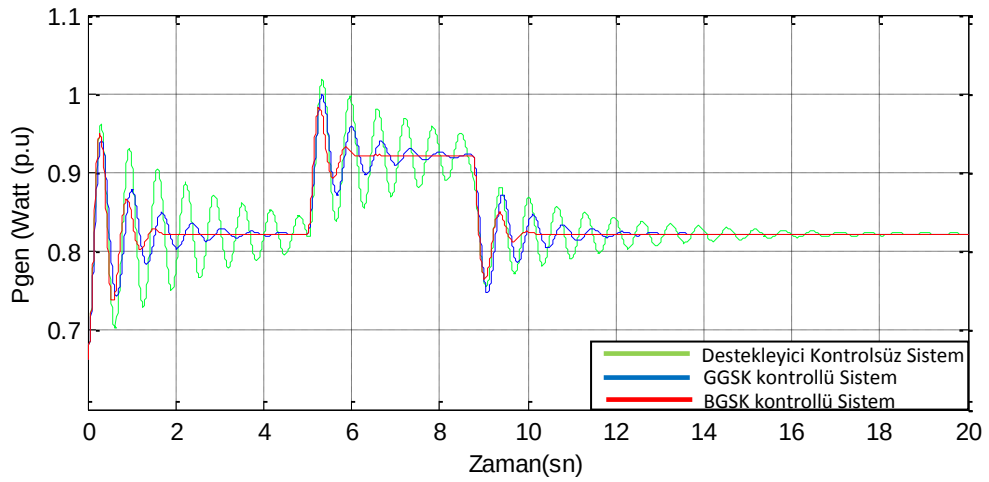
Şekil 5.41. Bozucu 1'in etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre rotor aç değişimi



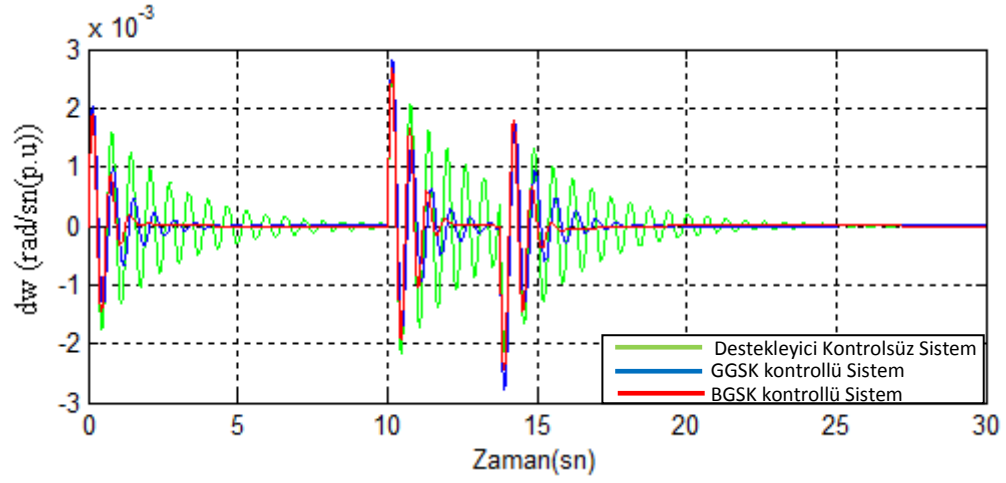
Şekil 5.42. Bozucu 1'in etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre elektriksel momentin değişimi



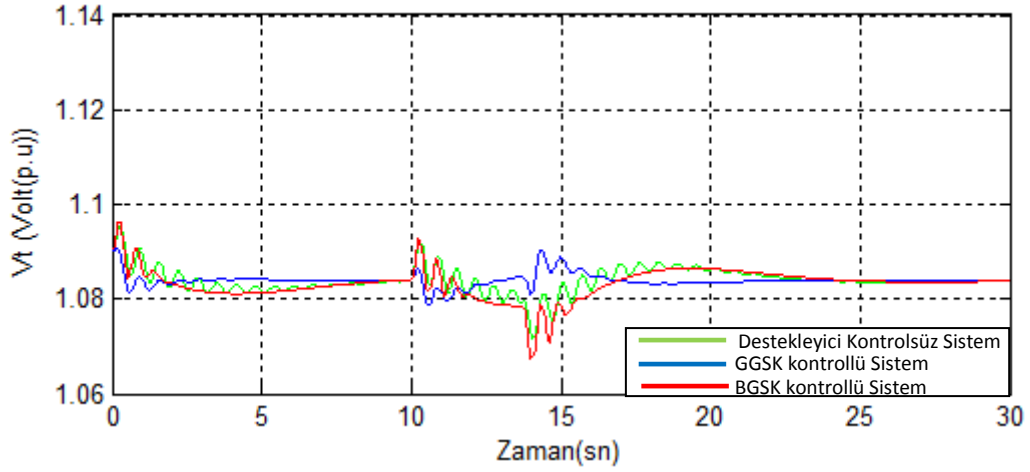
Şekil 5.43. Bozucu 1'in etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre reaktif gücün değişimi



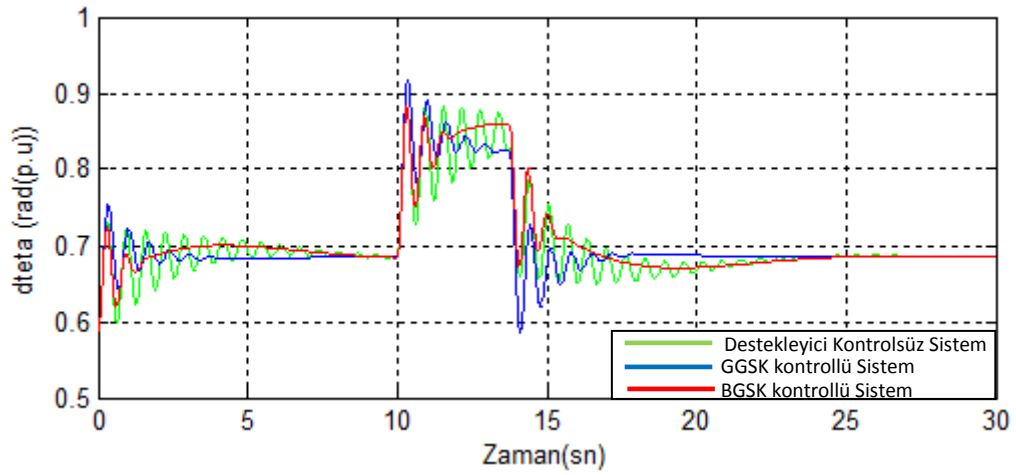
Şekil 5.44. Bozucu 1'in etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre aktif gücün değişimi



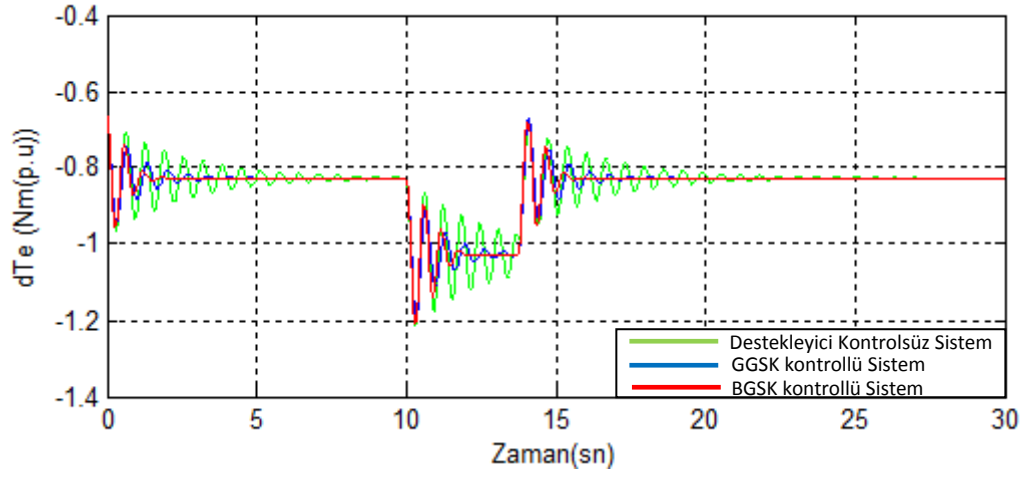
Şekil 5.45. Bozucu 2'nin etkidği TGSGB sisteminde zamana göre rotor hız sapmasının değişimi



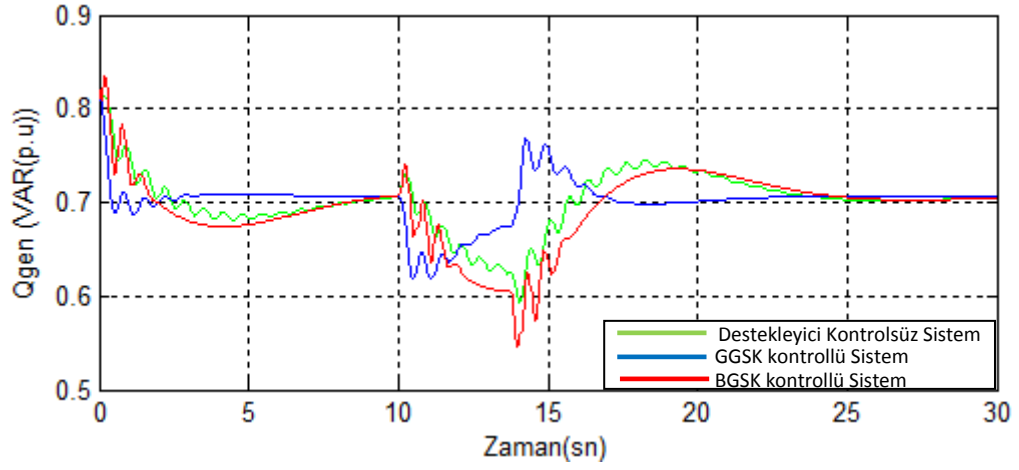
Şekil 5.46. Bozucu 2'nin etkidği TGSGB sisteminde zamana göre uç geriliminin değişimi



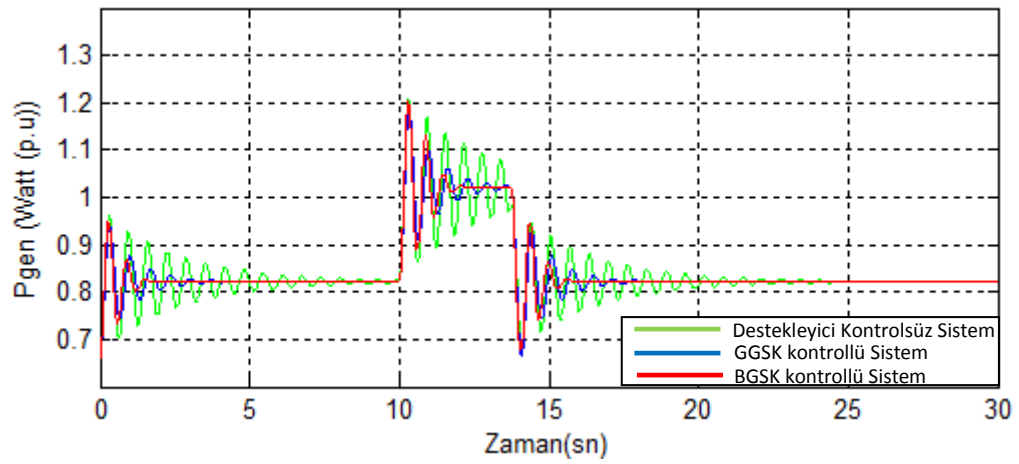
Şekil 5.47. Bozucu 2'nin etkidği TGSGB sisteminde zamana göre rotor açısı değişimi



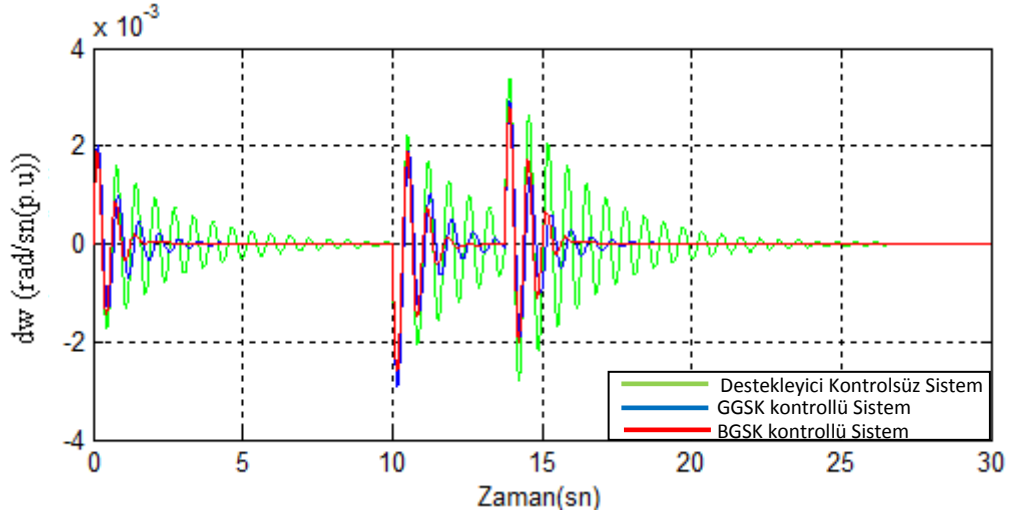
Şekil 5.48. Bozucu 2'nin etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre momentin değişimi



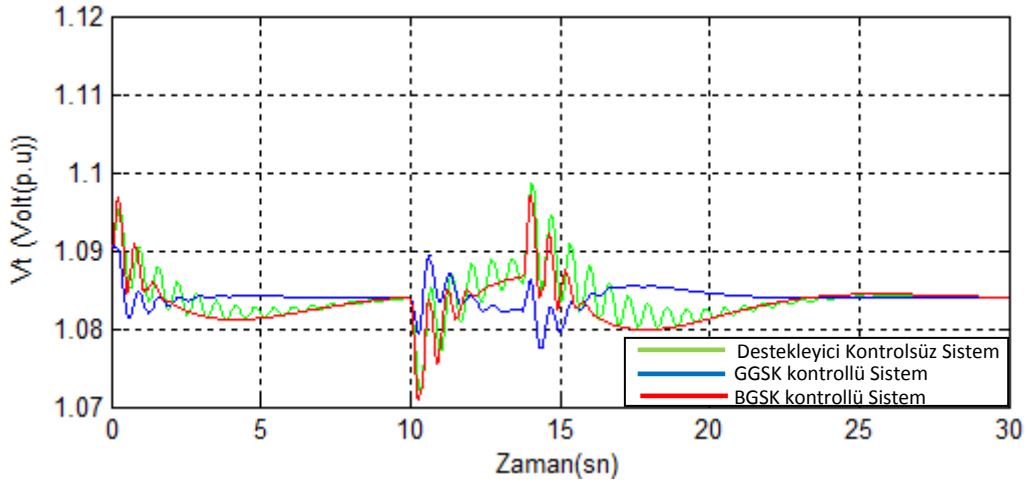
Şekil 5.49. Bozucu 2'nin etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre reaktif gücün değişimi



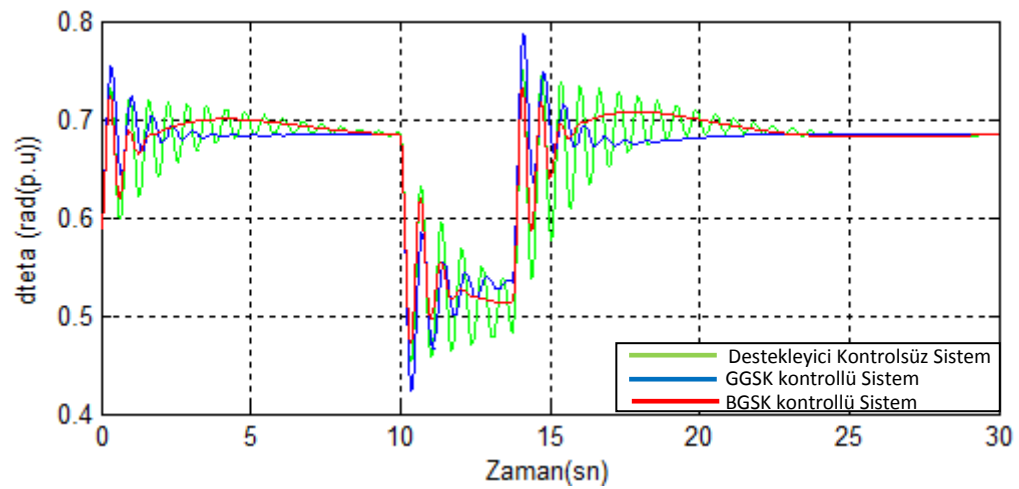
Şekil 5.50. Bozucu 2'nin etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre aktif gücün değişimi



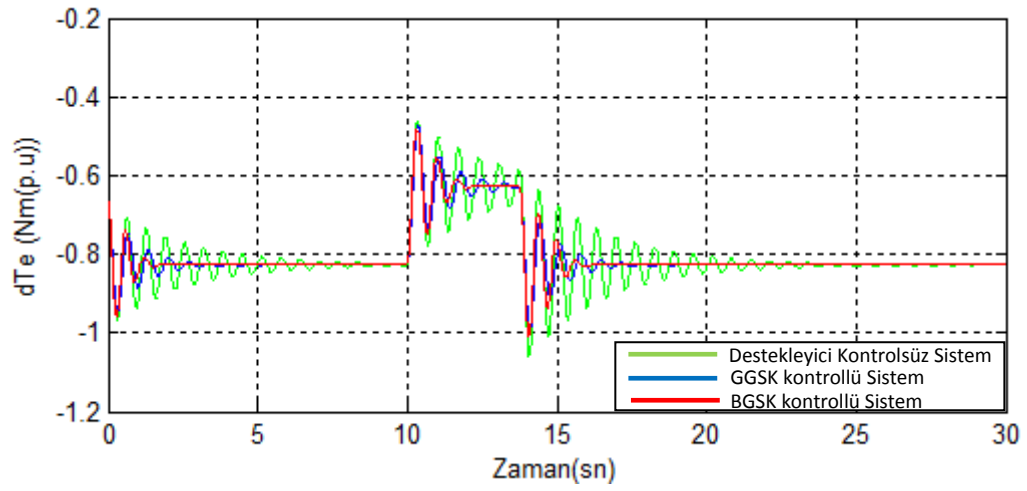
Şekil 5.51. Bozucu 3'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre rotor hız sapmasının değişimi



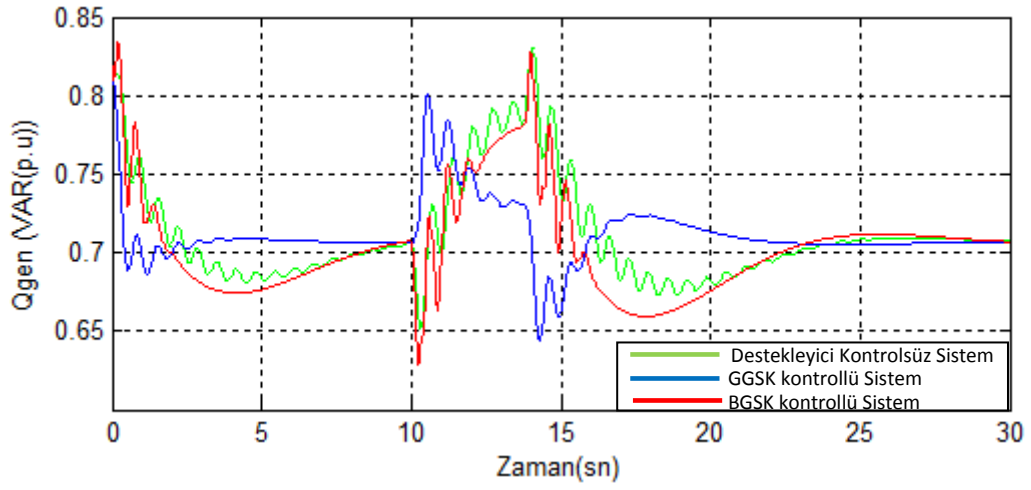
Şekil 5.52. Bozucu 3'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre uç geriliminin değişimi



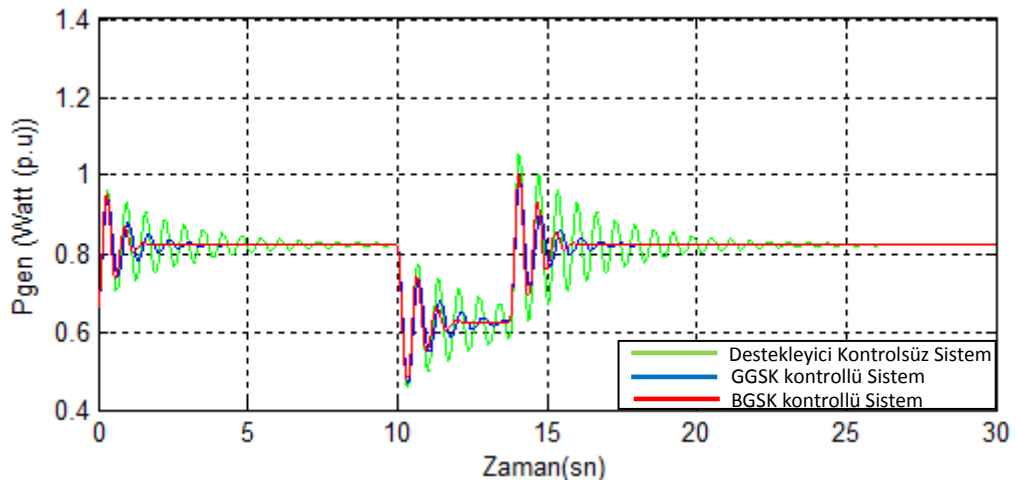
Şekil 5.53. Bozucu 3'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre rotor açısı değişimi



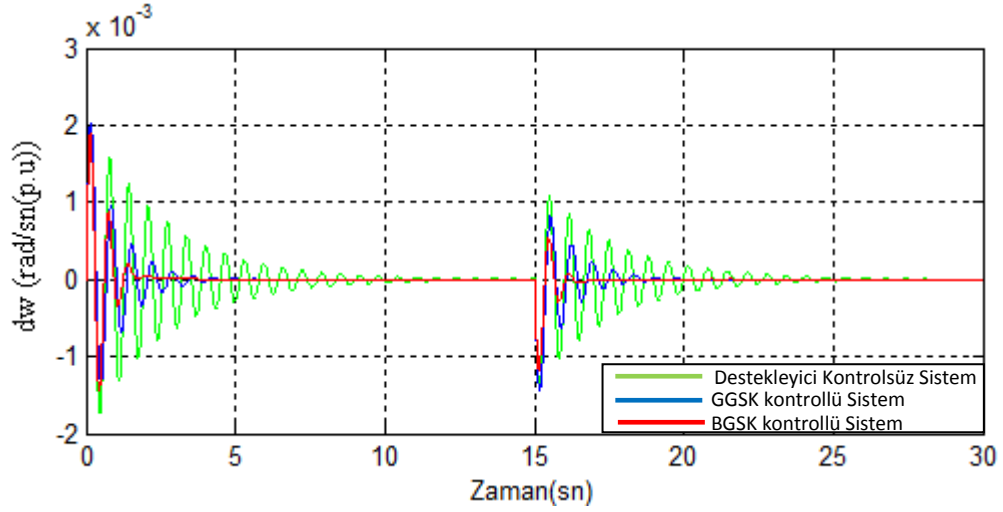
Şekil 5.54. Bozucu 3'ün etkidiği TGSGGB sisteminde zamana göre momentin değişimi



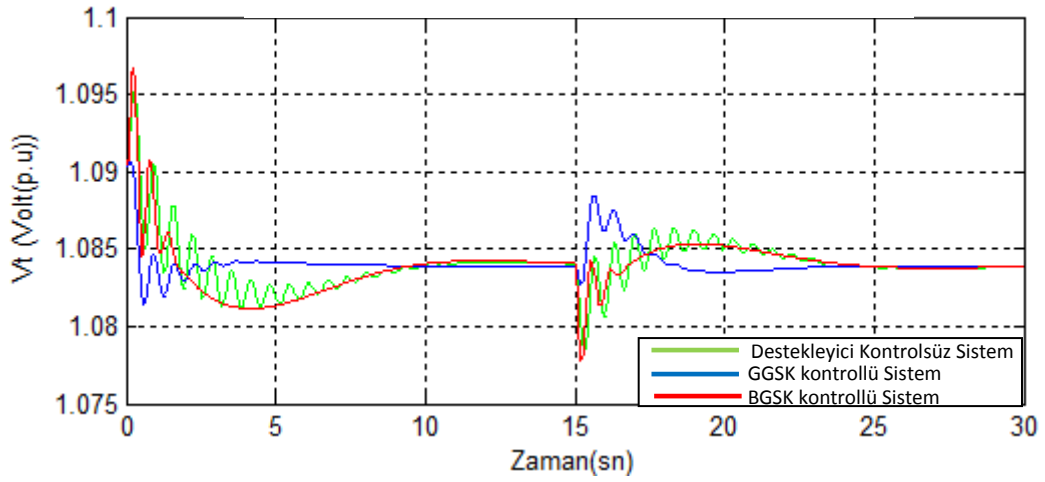
Şekil 5.55. Bozucu 3'ün etkidiği TGSGGB sisteminde zamana göre reaktif gücün değişimi



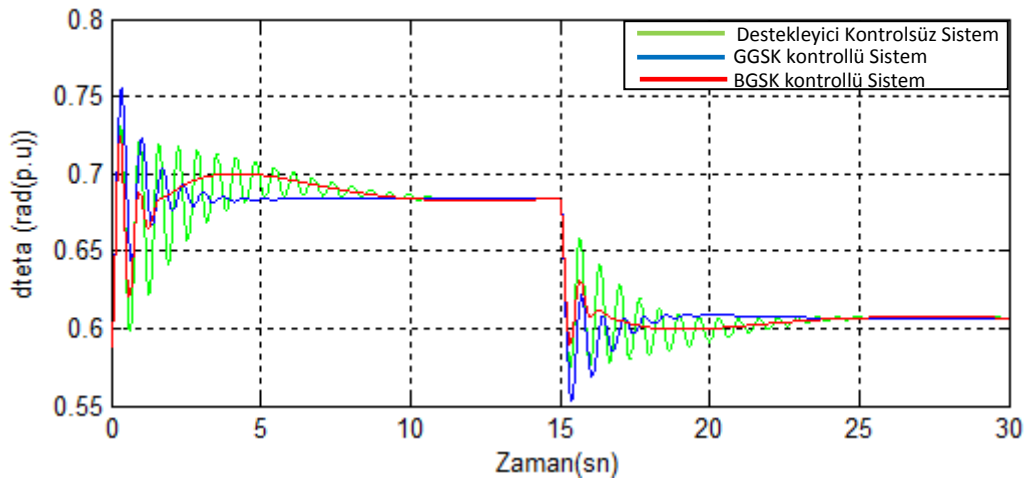
Şekil 5.56. Bozucu 3'ün etkidiği TGSGGB sisteminde zamana göre aktif gücün değişimi



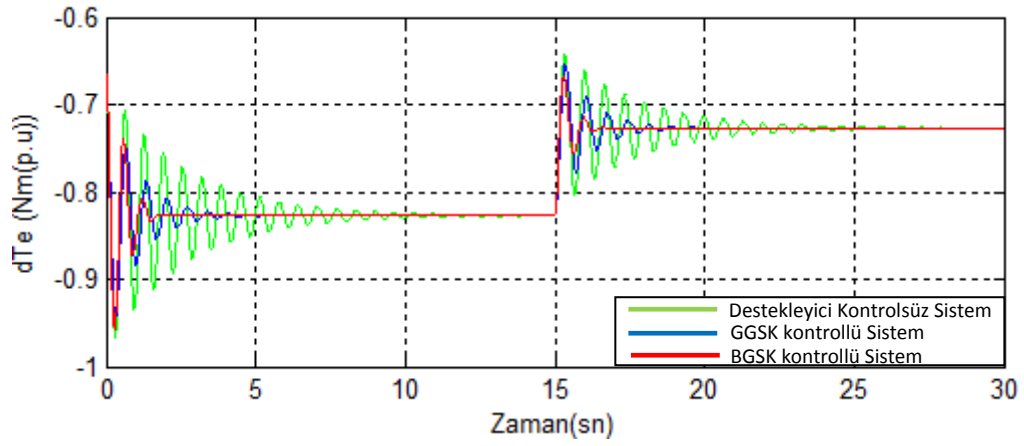
Şekil 5.57. Bozucu 4'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre rotor hız sapmasının değişimi



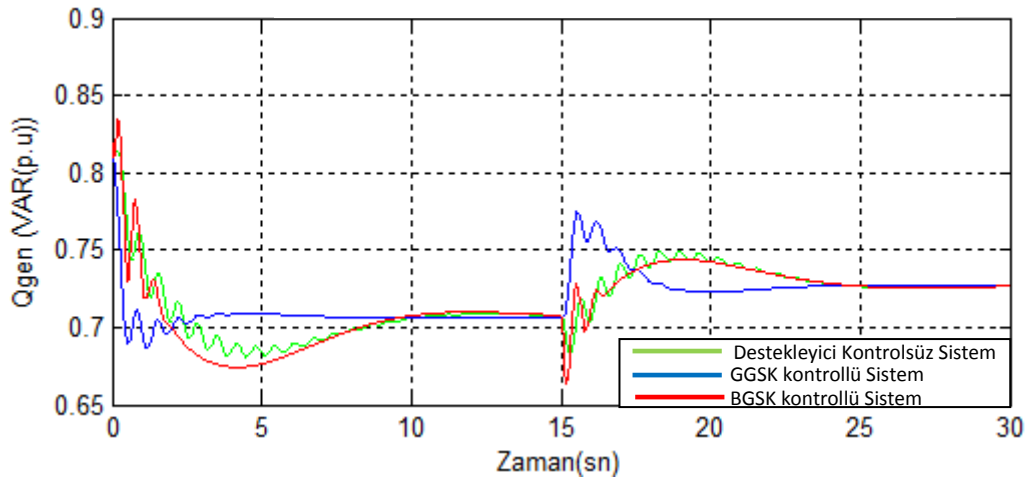
Şekil 5.58. Bozucu 4'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre uç geriliminin değişimi



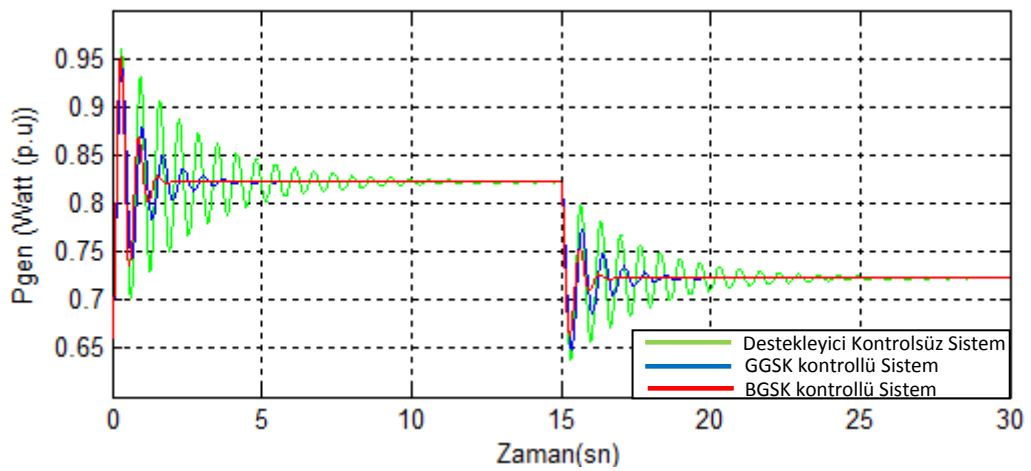
Şekil 5.59. Bozucu 4'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre rotor açısı değişimi



Şekil 5.60. Bozucu 4'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre momentin değişimi



Şekil 5.61. Bozucu 4'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre reaktif gücün değişimi



Şekil 5.62. Bozucu 4'ün etkidiği TGSGB sisteminde zamana göre aktif gücün değişimi

Yorum: Grafiksel sonuçlarından ve Tablo 5.8’de yer alan matematiksel analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi sonsuz güçlü baraya bağlı güç sistemine etkileyen bozucunun genliği büyüdükçe ve etki süresi uzadıkça sistemin kararlı duruma erişim süresi de uzamaktadır. Bununla birlikte tüm bozucular karşısında destekleyici kontrol birimi olarak BGSK bulunduğu sistem; destekleyici kontrol birimi olarak geleneksel GSK’nın bulunduğu sistemden çok daha iyi bir kararlılık performansı sergilemiş ve daha küçük maximum aşma ve daha kısa yerleşme süresi ile güç sistemini sürekli durumuna erdirmiştir.

Tablo 5.8. Analiz 4 için matematiksel sonuçlar

BOZUCU 1	Destekleyici Kontrolsüz sistem	GSK		BGSK	
			% iyileşme		% iyileşme
Max aşma($d\omega$)	0.0019	0.0020	-5,26316	0.0019	0,00000
Max aşma($dteta$)	0.8009	0.8071	-0,77413	0.7813	2,44725
İntegral mutlak $d\omega$	0.0058	0.0033	43,10345	0.0019	67,24138
İntegral mutlak $dteta$	13.8807	13.8801	0,00432	13.9361	-0,39912
Yerleşme zamanı(t)	22.2	13.48	39,27928	9.65	56,08108
Max aşma(V_t)	1.0952	1.0907	0,41088	1.0966	-0,12783
İntegral mutlak V_t	21.6793	21.6800	-0,00323	21.6703	0,04151
Max aşma(dTe)	-0.6666	-0.6666	0,00000	-0.6666	0,00000
Max aşma(P_{gen})	1.0185	0.9982	1,99313	0.9820	3,58370
Max aşma(Q_{gen})	0.8194	0.8194	0,00000	0.8341	-1,79400
İntegral mutlak dTe	16.7895	16.7895	0,00000	16.7895	0,00000
İntegral mutlak P_{gen}	16.6919	16.6919	0,00000	16.6924	-0,00300
İntegral mutlak Q_{gen}	14.0832	14.0900	-0,04828	13.9798	0,73421
BOZUCU 2	Destekleyici Kontrolsüz sistem	GSK		BGSK	
			% iyileşme		% iyileşme
Max aşma($d\omega$)	0.0026	0.0028	-7,69231	0.0027	-3,84615
Max aşma($dteta$)	0.8832	0.9163	-3,74774	0.8819	0,14719
İntegral mutlak $d\omega$	0.0103	0.0053	48,54369	0.0041	60,19417
İntegral mutlak $dteta$	21.0760	21.0769	-0,00427	21.2003	-0,58977
Yerleşme zamanı(t)	33.6	20.8	38,09524	16.15	51,93452
Max aşma(V_t)	1.0952	1.0907	0,41088	1.0966	-0,12783
İntegral mutlak V_t	32.5180	32.5186	-0,00185	32.4979	0,06181
Max aşma(dTe)	-0.6666	-0.6666	0,00000	-0.6666	0,00000
Max aşma(P_{gen})	1.2056	1.1919	1,13636	1.2001	0,45620
Max aşma(Q_{gen})	0.8194	0.8194	0,00000	0.8341	-1,79400
İntegral mutlak dTe	25.5595	25.5595	0,00000	25.5595	0,00000
İntegral mutlak P_{gen}	25.4104	25.4105	-0,00039	25.4116	-0,00472
İntegral mutlak Q_{gen}	21.0435	21.0482	-0,02233	20.8131	1,09487
BOZUCU 3	Destekleyici Kontrolsüz sistem	GSK		BGSK	
			% iyileşme		% iyileşme
Max aşma($d\omega$)	0.0034	0.0029	14,70588	0.0028	17,64706
Max aşma($dteta$)	0.7503	0.7859	-4,74477	0.7317	2,47901
İntegral mutlak $d\omega$	0.0125	0.0056	55,20000	0.0044	64,80000
İntegral mutlak $dteta$	19.9334	19.9363	-0,01455	20.0486	-0,57792

Yerleşme zamanı(t)	33.58	20.815	38,01370	16.25	51,60810
Max aşma(Vt)	1.0986	1.0907	0,71910	1.0970	0,14564
İntegral mutlak Vt	32.5182	32.5192	-0,00308	32.4990	0,05904
Max aşma(dTe)	-0.4624	-0.4721	-2,09775	-0.4828	-4,41176
Max aşma(Pgen)	1.0540	0.9932	5,76850	1.0024	4,89564
Max aşma(Qgen)	0.8308	0.8194	1,37217	0.8341	-0,39721
İntegral mutlak dTe	24.0594	24.0595	-0,00042	24.0595	-0,00042
İntegral mutlak Pgen	23.9185	23.9187	-0,00084	23.9198	-0,00544
İntegral mutlak Qgen	21.3571	21.3647	-0,03559	21.1347	1,04134
BOZUCU 4	Destekleyici Kontrolsüz sistem	GSK		BGSK	
			% iyileşme		% iyileşme
Max aşma(d ω)	0.0019	0.0020	-5,26316	0.0019	0,00000
Max aşma(dteta)	0.7313	0.7548	-3,21346	0.7237	1,03925
İntegral mutlak d ω	0.0056	0.0024	57,14286	0.0015	73,21429
İntegral mutlak dteta	19.3566	19.3524	0,02170	19.3876	-0,16015
Yerleşme zamanı(t)	29.75	21.55	27,56303	16.95	43,02521
Max aşma(Vt)	1.0952	1.0907	0,41088	1.0966	-0,12783
İntegral mutlak Vt	32.5222	32.5233	-0,00338	32.5172	0,01537
Max aşma(dTe)	-0.6417	-0.6532	-1,79211	-0.6666	-3,88032
Max aşma(Pgen)	0.9603	0.9414	1,96813	0.9488	1,19754
Max aşma(Qgen)	0.8194	0.8194	0,00000	0.8341	-1,79400
İntegral mutlak dTe	23.3099	23.3099	0,00000	23.3099	0,00000
İntegral mutlak Pgen	23.1731	23.1731	0,00000	23.1734	-0,00129
İntegral mutlak Qgen	21.5544	21.5667	-0,05706	21.4971	0,26584

6. İKİ GENERATÖR VE SONSUZ GÜÇLÜ BARADAN OLUŞAN GÜÇ SİSTEMİNE AİT ANALİZLER VE MATEMATİKSEL SONUÇLAR

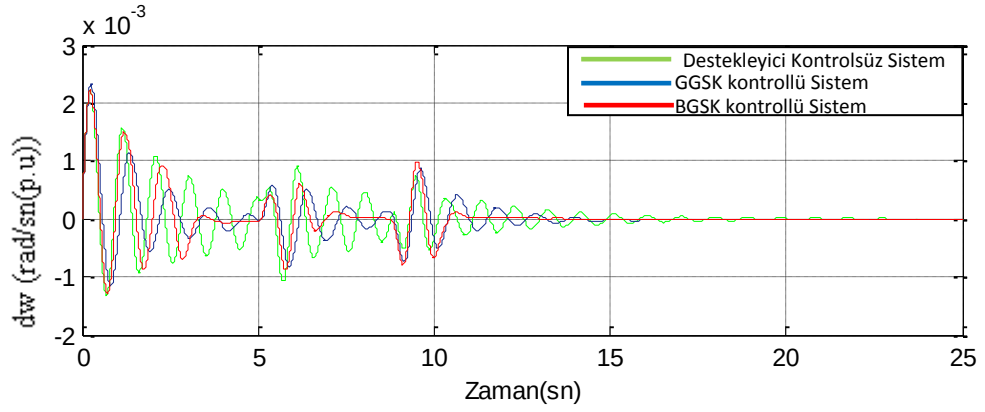
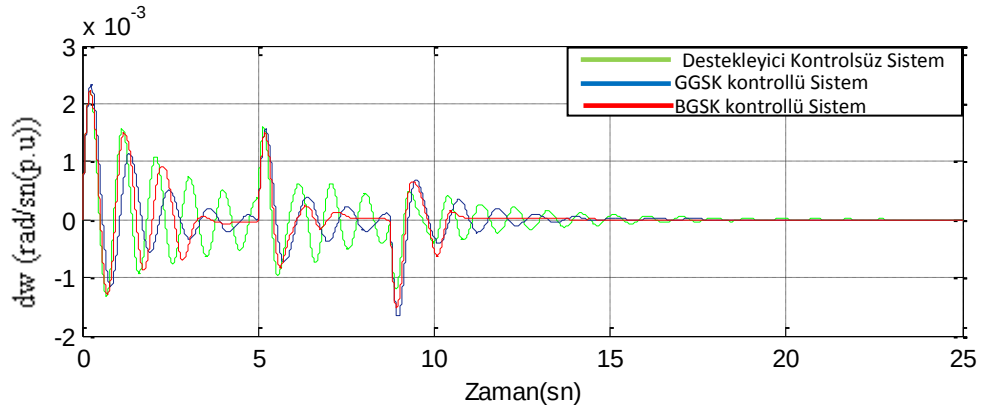
6.1. Genel Bilgiler

Bu bölümde sonsuz güçlü baraya bağlı iki senkron generatörlü güç sisteminde paralel bağlı generatörlerin karakteristik özelliklere bağlı olarak iki ayrı analiz gerçekleştirilmiştir. Sistemin oluşturulan t-modelinde aşağıda maddelenen analizler gerçekleştirilmiştir:

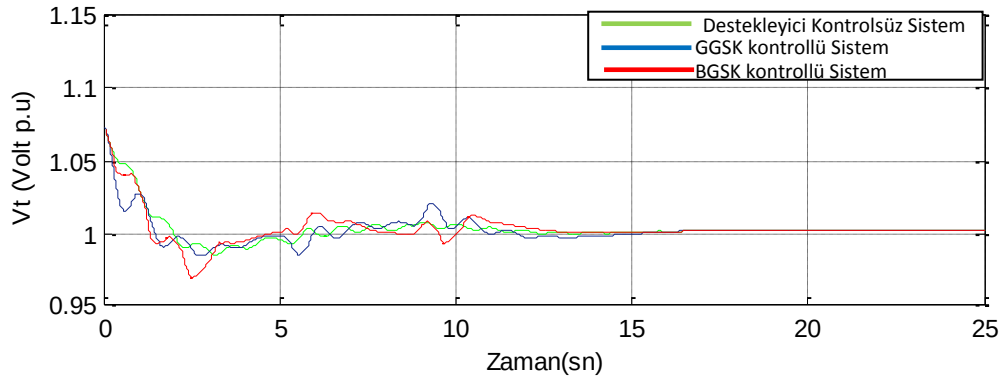
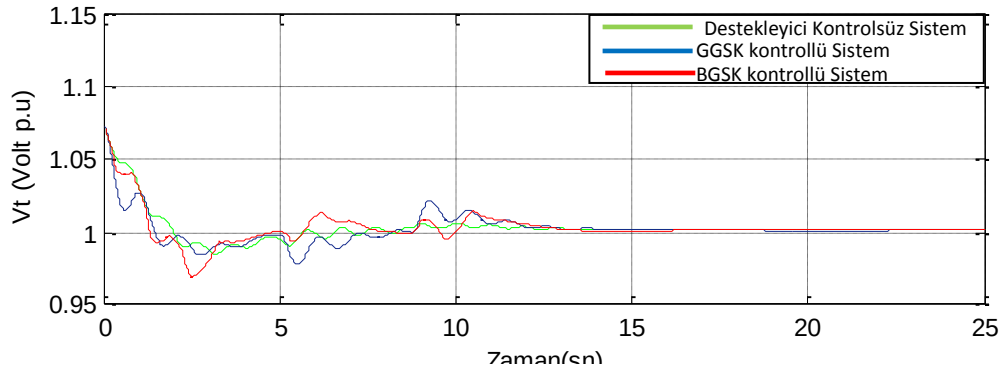
1. Analiz 1’de aynı karakteristik özelliğe sahip iki senkron generatörün bağlı olduğu sonsuz güçlü bara sistemine farklı küçük işaret bozucu sinyallerin etkimesi durumunda sistemin çıkış değişkenlerinin analizi gerçekleştirilmiştir.
2. Analiz 2’de farklı karakteristik özelliğe sahip iki senkron generatörün bağlı olduğu sonsuz güçlü bara sistemine farklı küçük işaret bozucu sinyallerin etkimesi durumunda sistemin çıkış değişkenlerinin analizi gerçekleştirilmiştir.

6.2. Sonsuz Güçlü Baraya Bağlı Aynı Karakteristik Özelliğe Sahip İki Senkron Generatörlü Sisteme Etkiyen Bozucunun Değişimi Durumunda Performansının Analizi

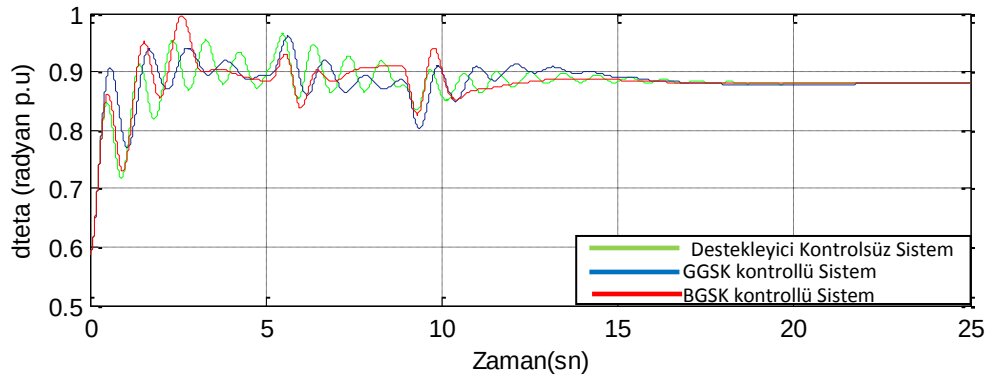
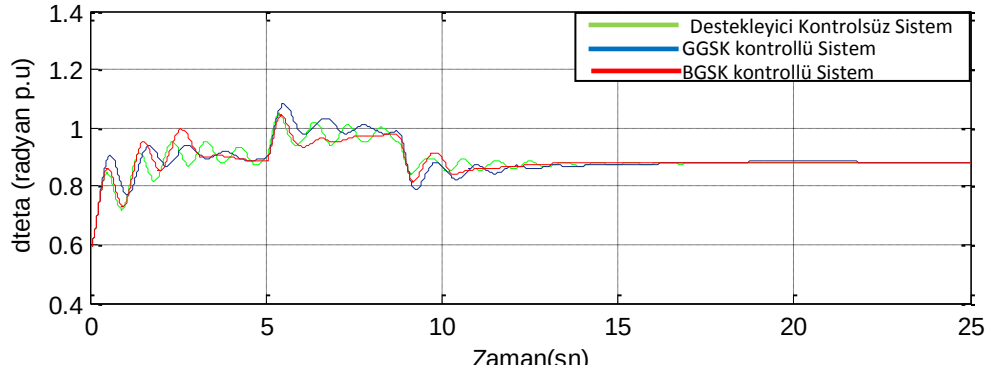
Birden fazla generatörden oluşan bir güç sisteminde, bir generatör sürekli olarak bağlı olduğu diğer generatörden daha hızlı dönüyorsa, yavaş dönen makinaya göre rotorunun açısal durumu ileri olacaktır. Sonuçta, ortaya çıkan açısal fark yükün bir kısmını yavaş makinadan hızlı makinaya, güç açısı bağıntısına bağlı olarak aktaracaktır. Bu yönelim hız farkını azaltacaktır ve sonuç olarak açısal fark azalacaktır. Güç açısı bağıntısı nonlineer olduğundan belli sınırlar ötesinde açısal sapmadaki bir artış güç iletiminde bir azalmaya neden olur ki bu durum da bu açısal sapmayı ileri yönde daha fazla arttırarak sistemin kararsızlığa girmesine neden olur. Herhangi belli bir durum için, sistemin kararlılığı rotorların açısal durumlarındaki sapmaların yeterli düzeltme momentlerini oluşturup oluşturmadıklarına bağlıdır.



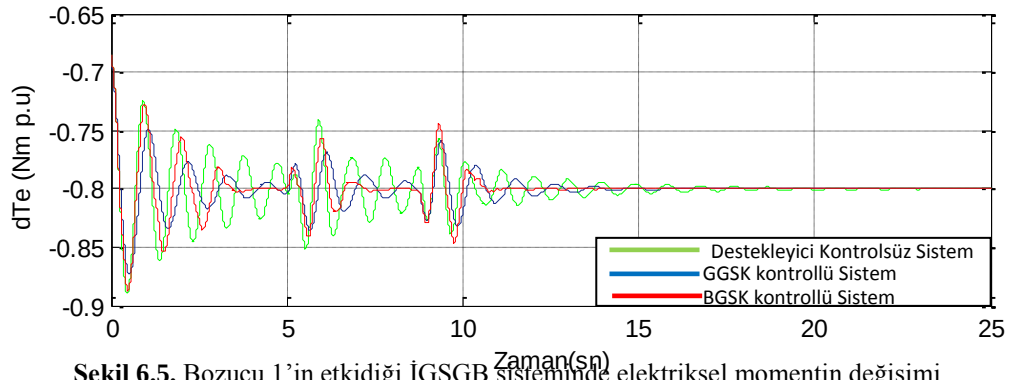
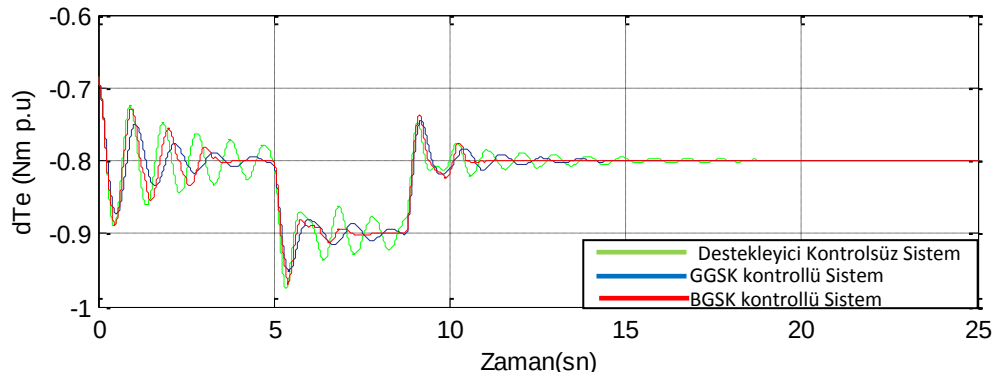
Şekil 6.2. Bozucu 1'in etkidiği İGSGB sisteminde rotor hız sapmasının değişimi



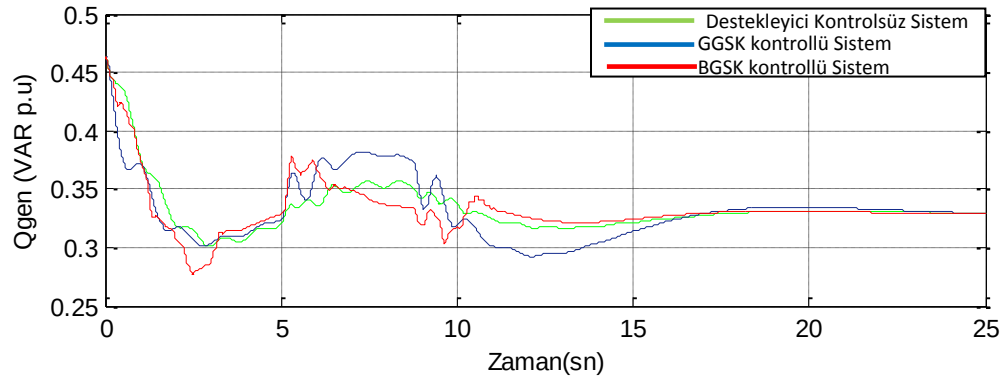
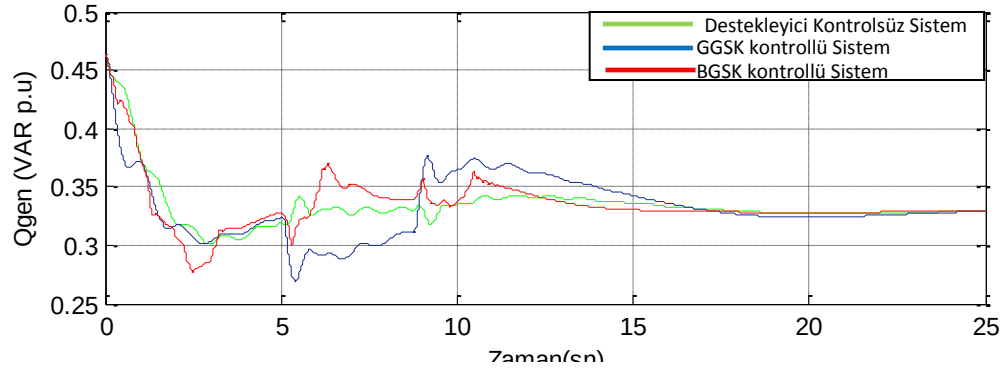
Şekil 6.3. Bozucu 1'in etkidiği İGSGB sisteminde generatör uç geriliminin değişimi



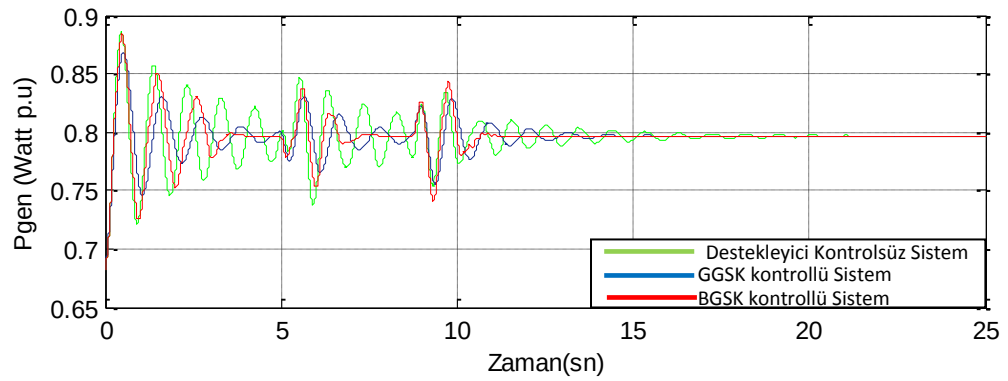
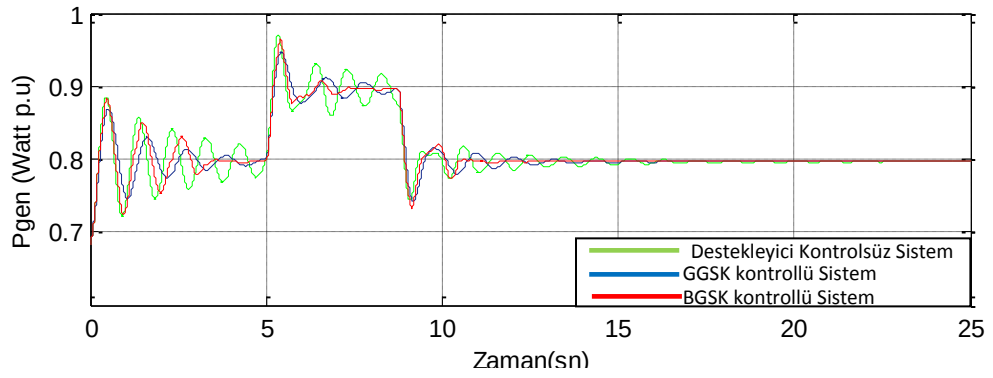
Şekil 6.4. Bozucu 1'in etkidiği İGSGB sisteminde rotor açısının değişimi



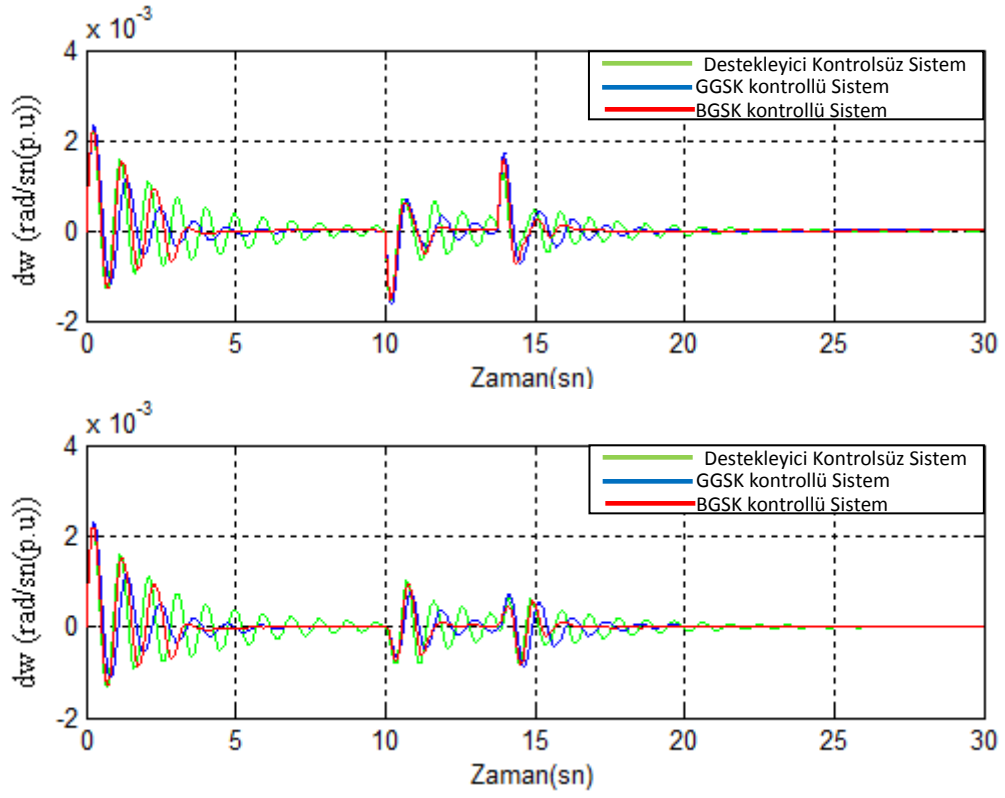
Şekil 6.5. Bozucu 1'in etkidiği İGSGB sisteminde elektriksel momentin değişimi



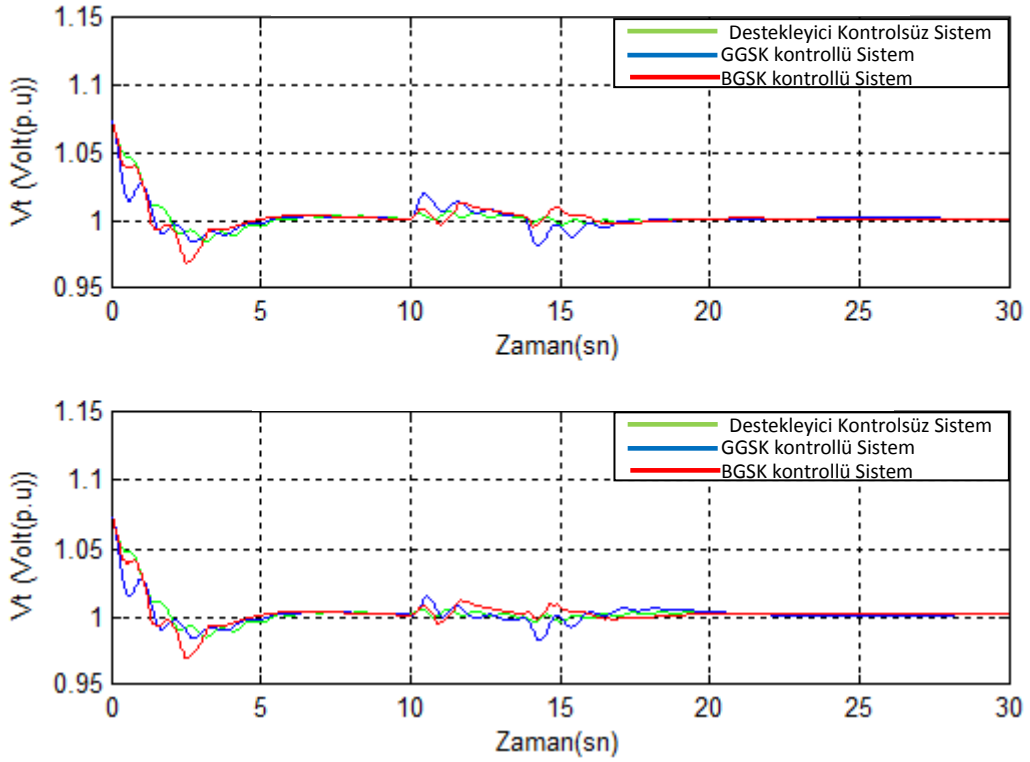
Şekil 6.6. Bozucu 1'in etkidiği İGSGB sisteminde reaktif gücün değişimi



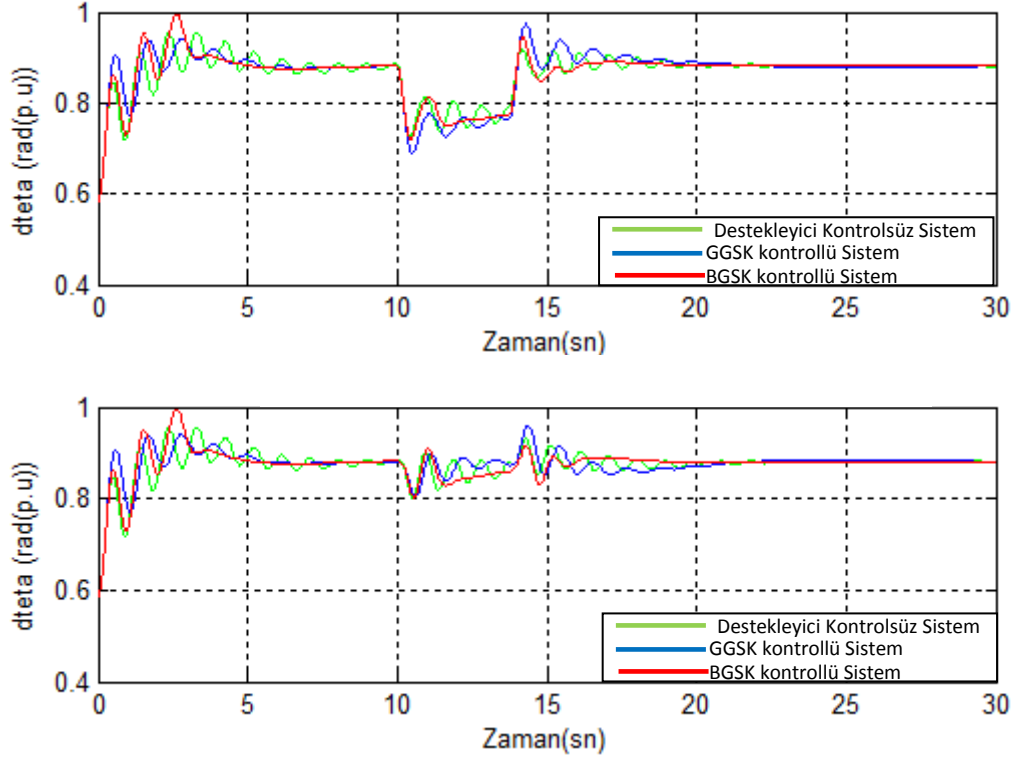
Şekil 6.7. Bozucu 1'in etkidiği İGSGB sisteminde aktif gücün değişimi



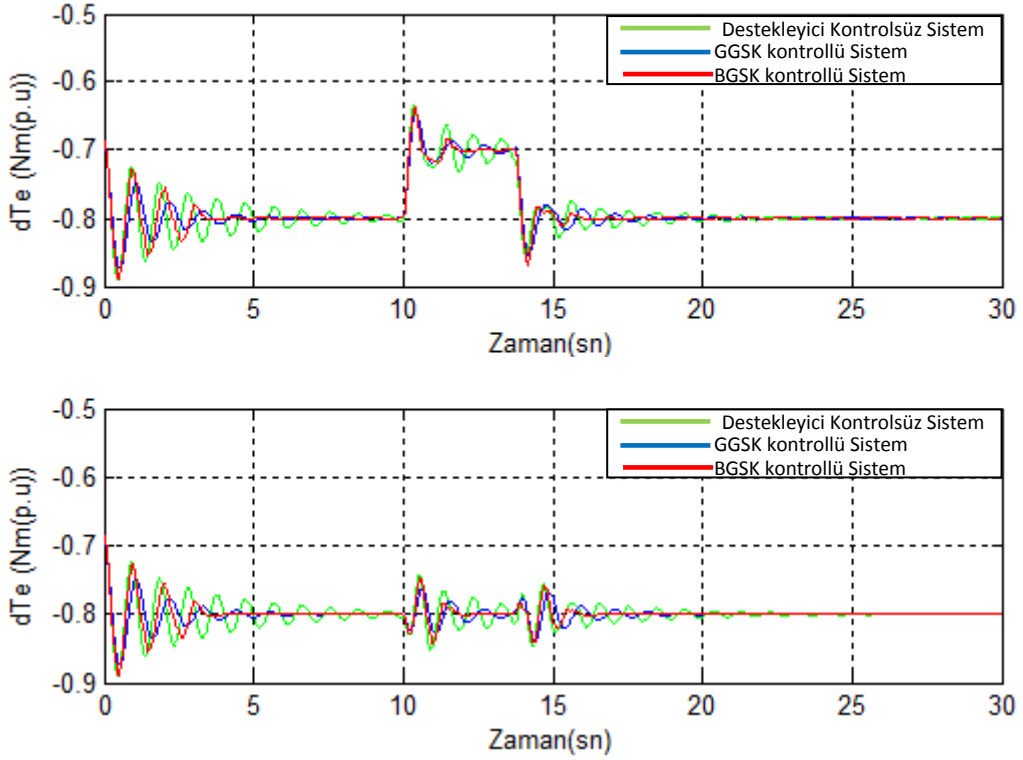
Şekil 6.8. Bozucu 2'nin etkidiği İGSGB sisteminde rotor hız sapmasının değişimi



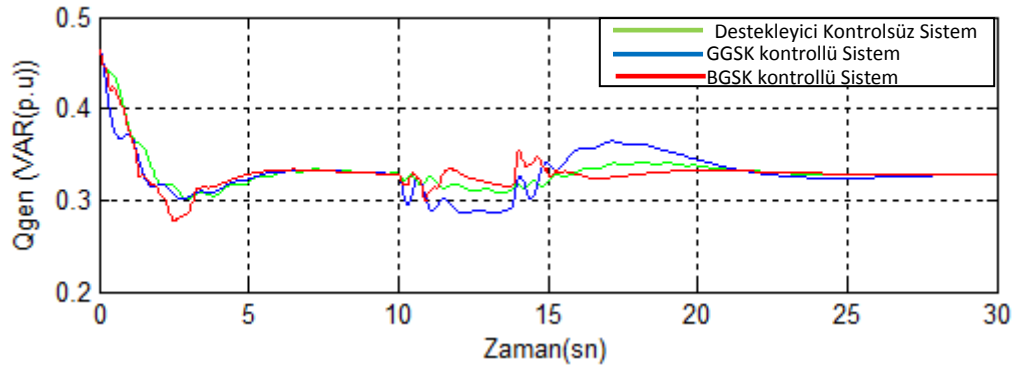
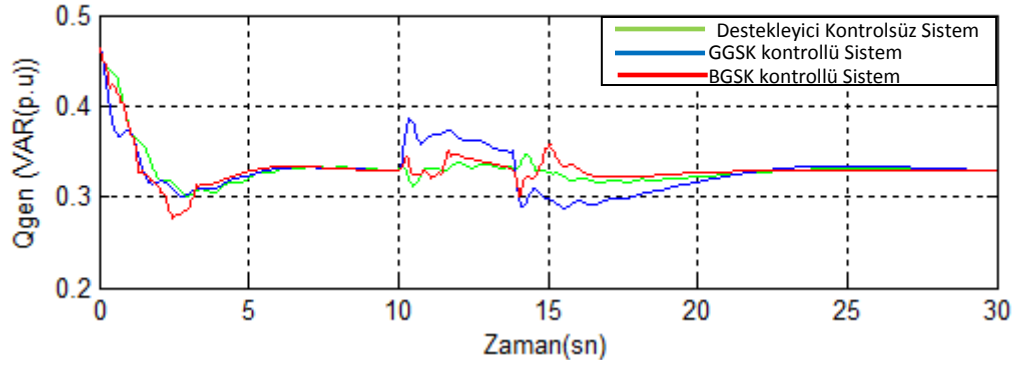
Şekil 6.9. Bozucu 2'nin etkidiği İGSGB sisteminde generatör uç geriliminin değişimi



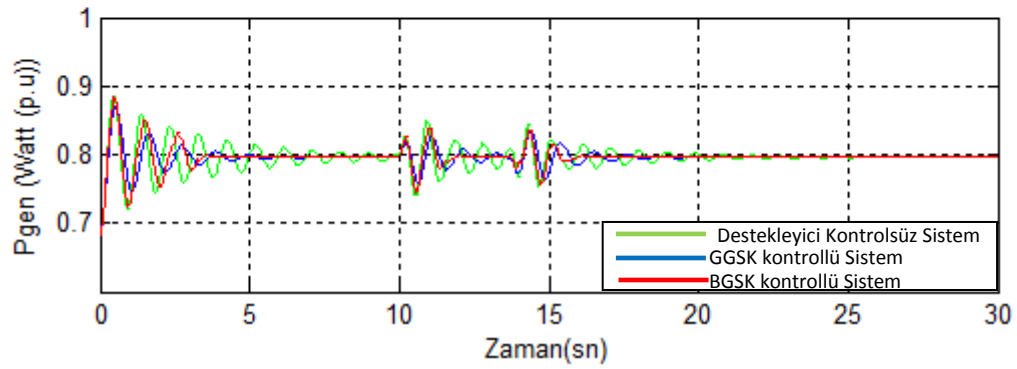
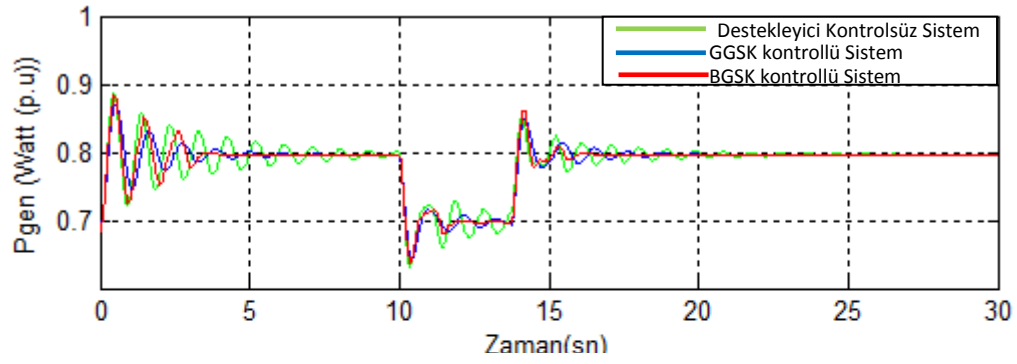
Şekil 6.10. Bozucu 2'nin etkidiği İGSGB sisteminde rotor açısının değişimi



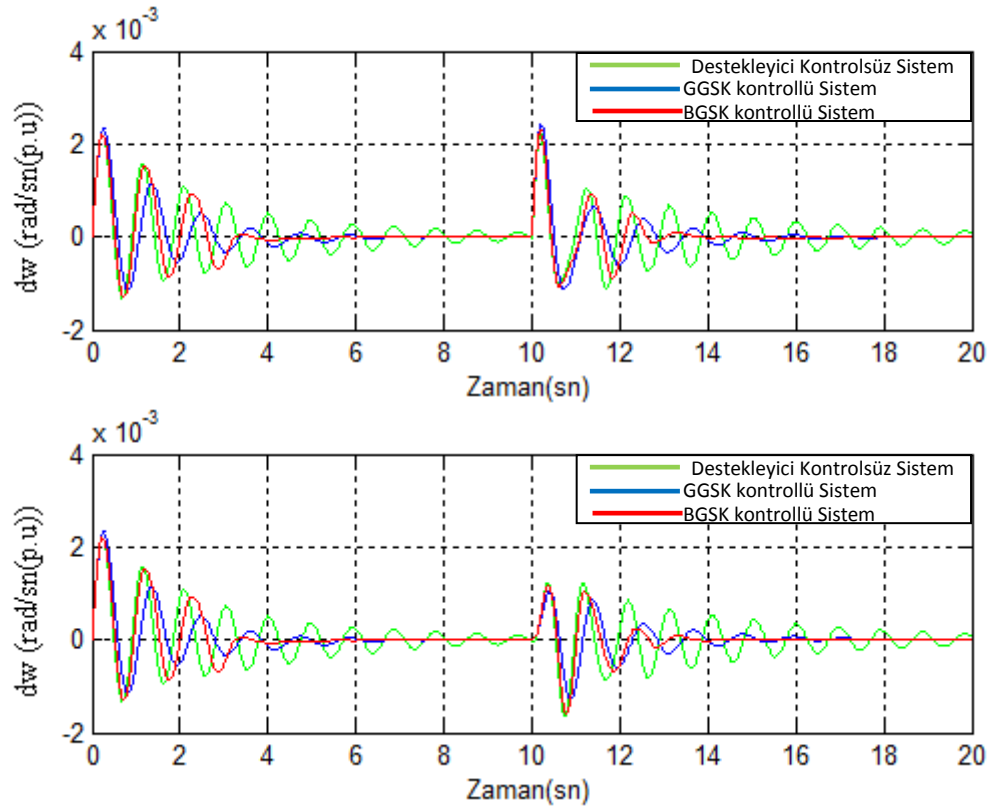
Şekil 6.11. Bozucu 2'nin etkidiği İGSGB sisteminde elektriksel momentin değişimi



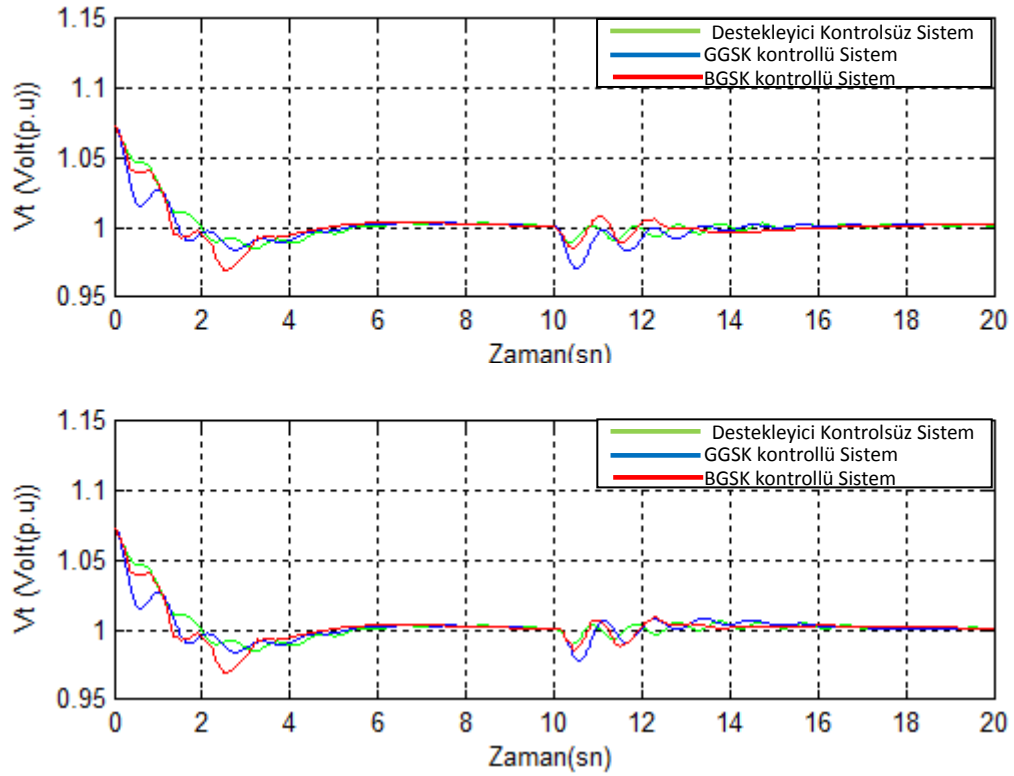
Şekil 6.12. Bozucu 2'nin etkidiği İGSGB sisteminde reaktif gücün değişimi



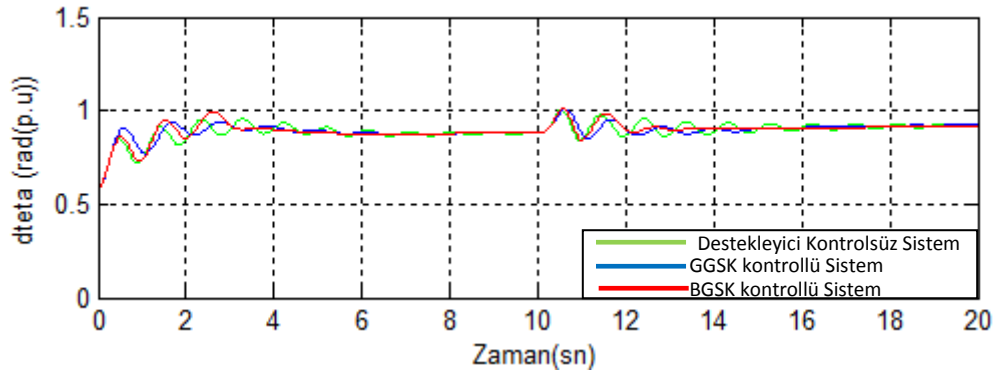
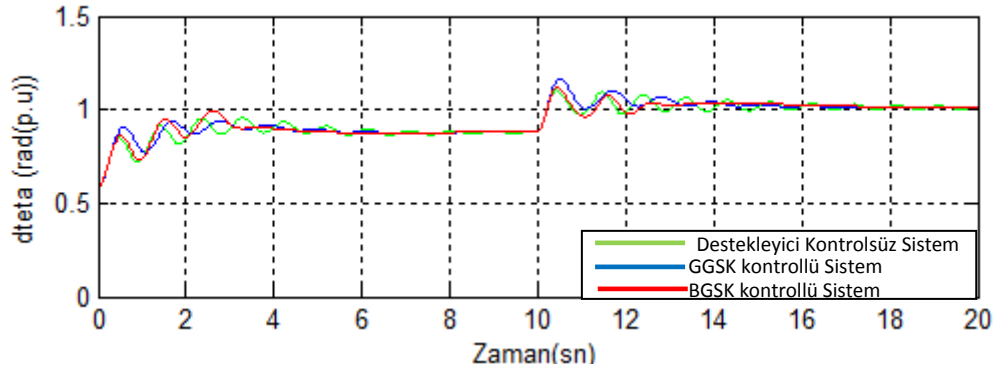
Şekil 6.13. Bozucu 2'nin etkidiği İGSGB sisteminde aktif gücün değişimi



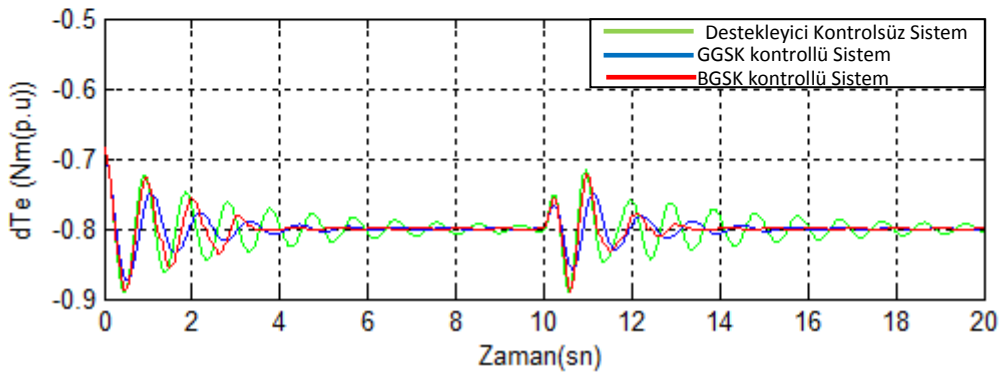
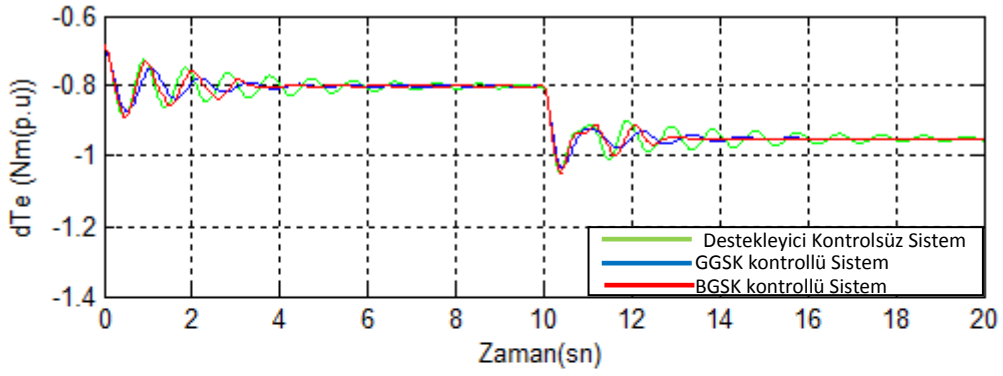
Şekil 6.14. Bozucu 3'ün etkidiği İGSGB sisteminde rotor hız sapmasının değişimi



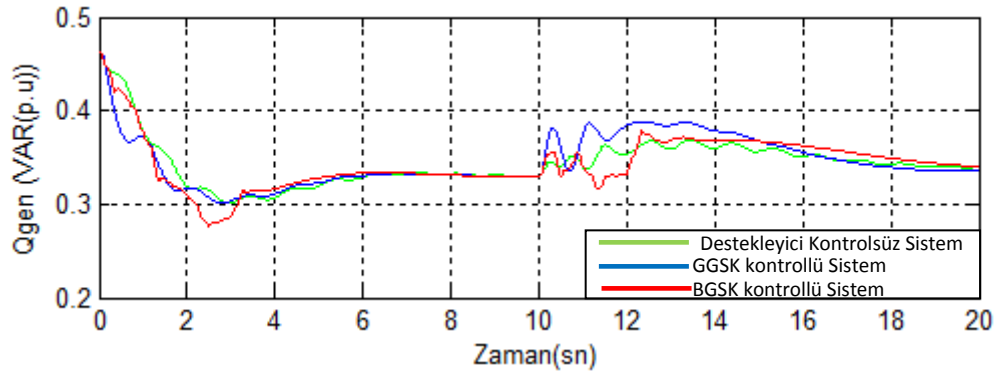
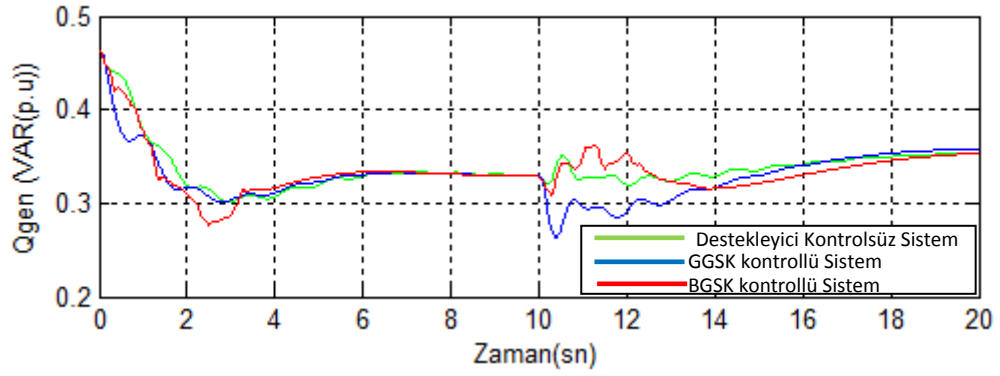
Şekil 6.15. Bozucu 3'ün etkidiği İGSGB sisteminde generatör uç geriliminin değişimi



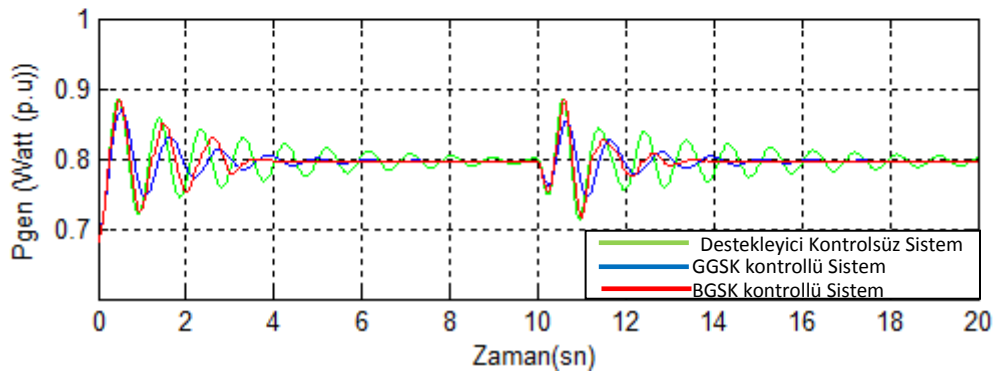
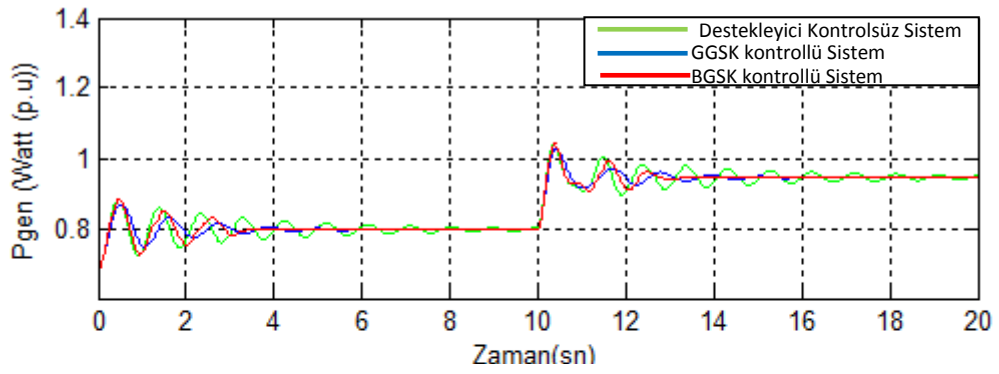
Şekil 6.16. Bozucu 3'ün etkidiği İGSGB sisteminde rotor açısının değişimi



Şekil 6.17. Bozucu 3'ün etkidiği İGSGB sisteminde elektriksel momentin değişimi



Şekil 6.18. Bozucu 3'ün etkidiği İGSGB sisteminde reaktif gücün değişimi



Şekil 6.19. Bozucu 3'ün etkidiği İGSGB sisteminde aktif gücün değişimi

Yorum: Grafiksel sonuçlarından ve Tablo 6.3’de yer alan matematiksel analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi sonsuz güçlü baraya bağlı iki senkron generatörlü güç sisteminde sadece birinci alana bozucunun etki etmesine rağmen görüldüğü gibi iki generatörlerde bu bozucudan etkilenmiş açısal hızlarında max. aşma değeri aynı olan salınımlar görülmüştür. Generatörler; mekanik yük olarak etki eden bu bozucular karşısında elektriksel güç üretimlerini artırmış ve sistemi yeni bir dengeli çalışma noktasına kontrolörler yardımı ile ulaştırmışlardır. Çıkış büyüklüklerinin değişiminden de analiz edilebildiği gibi generatörler aynı karakteristik özelliğe sahip oldukları için bozucu etkinin olumsuz etkisini (farklılıklar ihmal edilebilir küçüklükte olduğundan) birebir oranında paylaşmışlardır. Ayrıca bozucu 2 sonucunu TGSGB sisteminin analiz 4, bozucu 2 sonuçları ile karşılaştıracak olursak aynı bozucunun etki ettiği tek generatörlü sistemdeki max açısal hız aşmasının ve yerleşme zamanı süresinin daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi iki generatörlü sistemin senkronizmayı korumak amacı ile her generatörün OGR ve destekleyici kontrol biriminin birlikte çalışarak tüm sisteme katkı sağlaması ve yerleşme zamanını kısaltmasıdır. Tablo 6.3’den de görüldüğü gibi destekleyici kontrol birimi olarak BGSK bulunduğu sistem; destekleyici kontrol birimi olarak geleneksel GSK’nın bulunduğu sistemden çok daha iyi bir kararlılık performansı sergilemiş ve daha küçük max. aşma ve daha kısa yerleşme süresi ile güç sistemini sürekli duruma erdirmiştir.

Tablo 6.3. Analiz 1 için matematiksel sonuçlar

BOZUCU 1	Destekleyici Kontrolsüz sistem		GSK		BGSK	
	SG1	SG2	SG1	SG2	SG1	SG2
Max aşma(d_0)	0.0022	0.0022	0.0023	0.0023	0.0022	0.0022
Max aşma($dteta$)	1.0298	0.9621	1.0854	0.9668	1.0482	0.9956
İntegral mutlak d_0	0.0070	0.0067	0.0051	0.0046	0.0046	0.0043
İntegral mutlak d_0 % iyileşme	-	-	27,14286	31,34328	34,28571	35,82090
İntegral mutlak $dteta$	26.6810	26.4355	26.7445	26.4926	26.6707	26.4557
Yerleşme zamanı(t)	26.5	26.5	22.6	22.6	16.22	16.22
Yerleşme zamanı % iyileşme	-	-	-14,71698	14,71698	38,79245	38,79245
Max aşma(V_t)	1.0728	1.0728	1.0730	1.0730	1.0728	1.0728
İntegral mutlak V_t	30.0811	30.0811	30.0580	30.0587	30.0819	30.0773
Max aşma(T_e)	-0.6855	-0.6855	-0.6855	-0.6855	-0.6855	-0.6855
Max aşma(P_{gen})	0.9552	0.8856	0.9490	0.8688	0.9640	0.8842
Max aşma(Q_{gen})	0.4628	0.4628	0.4635	0.4635	0.4628	0.4628
İntegral mutlak T_e	24.3735	23.9985	24.3734	23.9984	24.3734	23.9984
İntegral mutlak P_{gen}	24.2636	23.8916	24.2635	23.8916	24.2635	23.8917
İntegral mutlak Q_{gen}	9.9984	9.9832	9.9518	9.9423	10.0202	9.9540
BOZUCU 2	Destekleyici Kontrolsüz sistem		GSK		BGSK	
	SG1	SG2	SG1	SG2	SG1	SG2
Max aşma(d_0)	0.0022	0.0022	0.0023	0.0023	0.0022	0.0022
Max aşma($dteta$)	0.9545	0.9545	0.9736	0.9605	0.9956	0.9956
İntegral mutlak d_0	0.0070	0.0067	0.0050	0.0045	0.0045	0.0042
İntegral mutlak d_0 % iyileşme	-	-	28,57143	32,83582	35,71429	37,31343
İntegral mutlak $dteta$	25.9806	26.2524	26.0427	26.3116	25.9800	26.2697
Yerleşme zamanı(t)	26.8	26.8	22.4	22.4	16.6	16.6
Yerleşme zamanı(t) % iyileşme	-	-	16,41791	16,41791	38,05970	38,05970
Max aşma(V_t)	1.0728	1.0728	1.0730	1.0730	1.0728	1.0728
İntegral mutlak V_t	30.0808	30.0809	30.0581	30.0581	30.0795	30.0767
Max aşma(T_e)	-0.6346	-0.6855	-0.6446	-0.6855	-0.6381	-0.6855
Max aşma(P_{gen})	0.8856	0.8856	0.8688	0.8688	0.8842	0.8842
Max aşma(Q_{gen})	0.4628	0.4628	0.4635	0.4635	0.4628	0.4628
İntegral mutlak T_e	23.6234	23.9984	23.6234	23.9984	23.6234	23.9984
İntegral mutlak P_{gen}	23.5195	23.8918	23.5194	23.8918	23.5194	23.8919
İntegral mutlak Q_{gen}	9.9099	9.9214	9.8671	9.8760	9.9205	9.9005
BOZUCU 3	Destekleyici Kontrolsüz sistem		GSK		BGSK	
	SG1	SG2	SG1	SG2	SG1	SG2
Max aşma(d_0)	0.0022	0.0022	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022
Max aşma($dteta$)	1.1071	1.0066	1.1665	1.0080	1.1210	1.0113
İntegral mutlak d_0	0.0078	0.0076	0.0046	0.0042	0.0046	0.0043
İntegral mutlak d_0 % iyileşme	-	-	41,02564	44,73684	41,02564	43,42105
İntegral mutlak $dteta$	29.0427	27.0367	29.1841	27.0582	29.1012	27.0733
Yerleşme zamanı(t)	31.86	31.86	19.8	19.8	13.95	13.95
Yerleşme zamanı(t) % iyileşme	-	-	37,85311	37,85311	56,21469	56,21469
Max aşma(V_t)	1.0728	1.0728	1.0730	1.0730	1.0728	1.0728
İntegral mutlak V_t	30.0649	30.0796	30.0243	30.0571	30.0450	30.0631
Max aşma(T_e)	-0.6855	-0.6855	-0.6855	-0.6855	-0.6855	-0.6855
Max aşma(P_{gen})	1.0361	0.8856	1.0251	0.8688	1.0409	0.8847
Max aşma(Q_{gen})	0.4628	0.4628	0.4635	0.4635	0.4628	0.4628
İntegral mutlak T_e	26.9978	23.9983	26.9977	23.9982	26.9977	23.9982
İntegral mutlak P_{gen}	26.8651	23.8904	26.8652	23.8901	26.8651	23.8903
İntegral mutlak Q_{gen}	10.2604	10.3011	10.0991	10.3393	10.2064	10.2850

6.3. Sonsuz Güçlü Baraya Bağlı Aynı Karakteristik Özelliğe Sahip İki Senkron Generatörlü Sisteme Etkiyen Bozucunun Değişimi Durumunda Performansının Analizi

Bu analizde birbirleri ile paralel bağlı farklı karakteristiğe sahip olan sonsuz güçlü baraya bağlı iki senkron generatörden oluşan sistemin küçük bozucu sinyal karşısındaki kararlılığının incelenmesi amaçlanmıştır. Tasarlanan sonsuz güçlü baraya iki generatörden oluşan güç sisteminin simülasyon modeli Şekil 6.1’de ve birbiri ile paralel bağlı senkron generatörlerin karakteristik özellikleri farklı olup Tablo 6.4 de yer almaktadır.

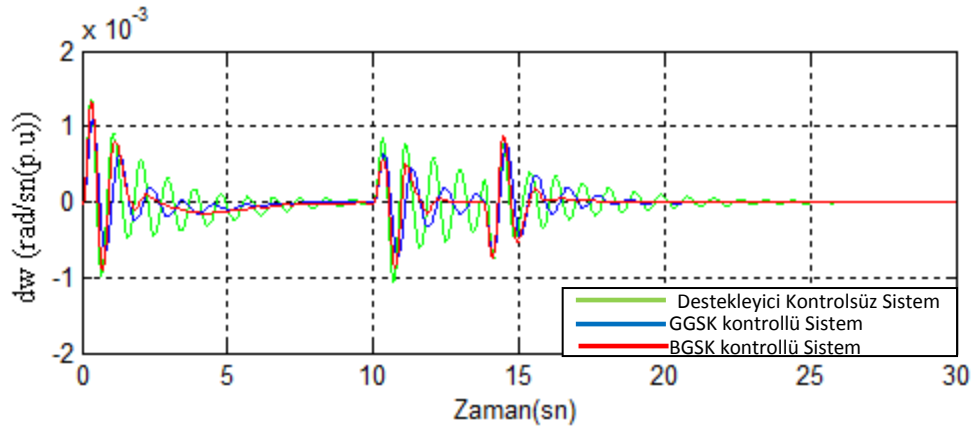
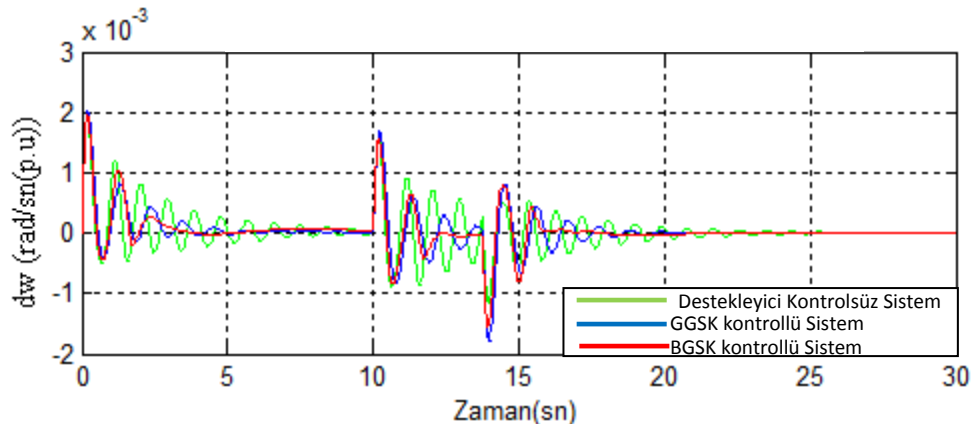
Tablo 6.4. Senkron generatörlerin parametreleri

Senkron generatör 1:
Sbratio= 1000/920.35 VA; rs=0.0048; xd=1.790; xq=1.660; xls=0.215; xpd=0.355; xpq= 0.570; Tpdo= 7.9; Tpgo = 0.410; H= 3.77; D= 2; KA= 50; TA=0 .06; VRmax= 1; VRmin=-1; TE=0.052; KE=-0.0465; TF=1.0; KF=0.0832; AEx= 0.0012; BEx= 1.264;
Senkron generatör 2:
Sbratio= 1000/911 VA; rs= 0.001; xd= 2.040; xq= 1.960; xls= 0.154; xpd= 0.266; xpq= 0.262; Tpdo= 6.0; Tpgo= 0.900; H=2.5; D=2; KA= 50; TA= 0.060; VRmax= 1.0; VRmin= -1.0; TE= 0.440; KE= -0.0393; TF= 1.0; KF= 0.07; AEx= 0.0013; BEx= 1.156;

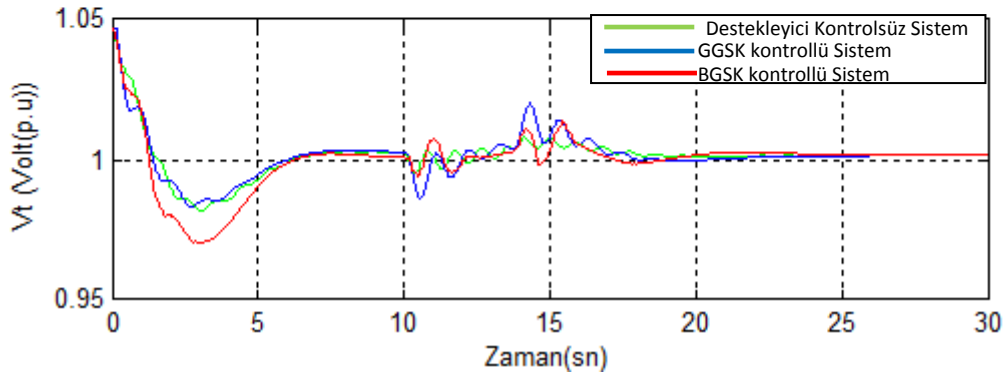
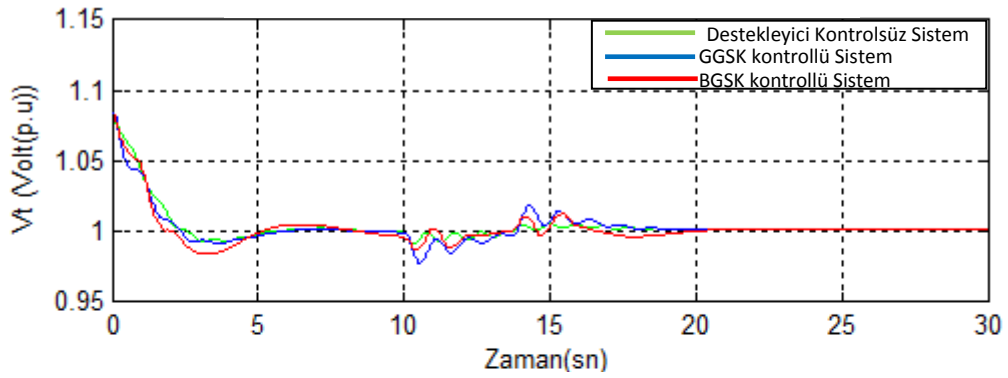
İki alanlı güç sisteminde analiz için sadece birinci alana Tablo 6.5’ de özellikleri yer alan bozucu sinyaller etkimiş ve paralel bağlı iki generatör sisteminin de çıkış büyüklüklerinin bu bozucudan nasıl etkilendiği analiz edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 6.5. Farklı karakteristiklere sahip iki senkron generatörün bağlı olduğu sonsuz güçlü bara (FK-İGSGB) sisteme etkileyen bozucu etki durumları

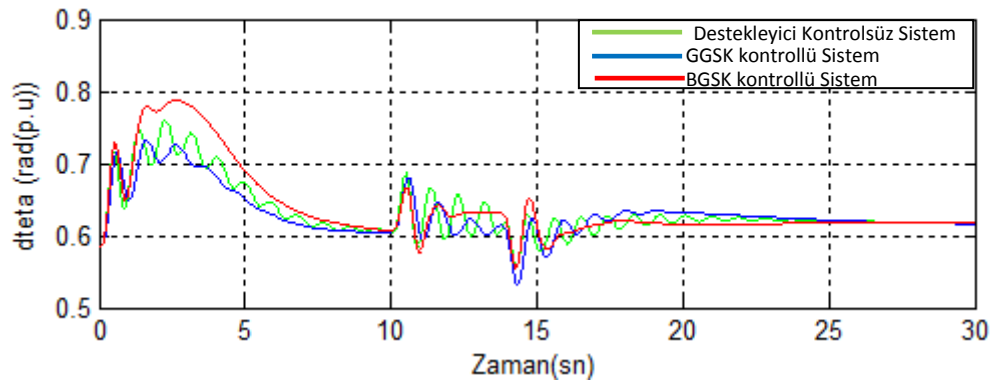
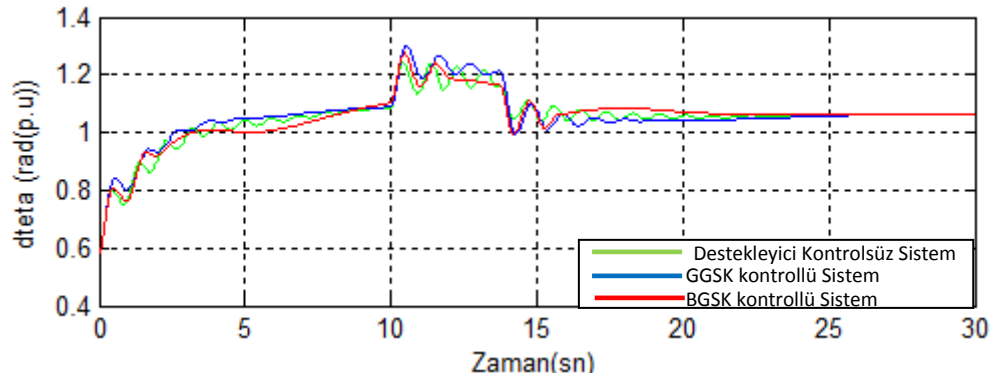
Bozucu 1	Bozucu sinyal olarak 0.1 p.u genlikli periyodu 30sn, darbe genişliği %12.5, $t_{\text{delay}}=10\text{sn}$ lik gecikme zamanlı bir pals
Bozucu 2	Bozucu sinyal olarak 0.1 p.u genlikli periyodu 30sn, darbe genişliği %12.5, $t_{\text{delay}}=10\text{sn}$ lik gecikme zamanlı bir pals
Bozucu 3	Bozucu sinyal olarak 0.15 p.u genlikli periyodu 20sn olan bir step



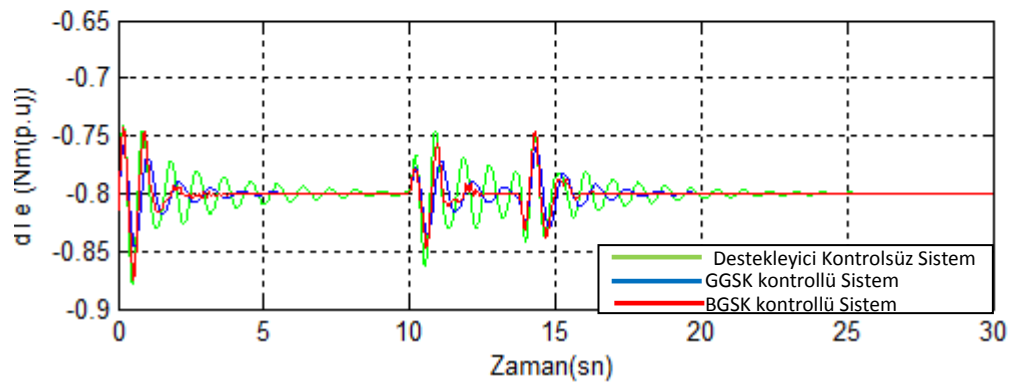
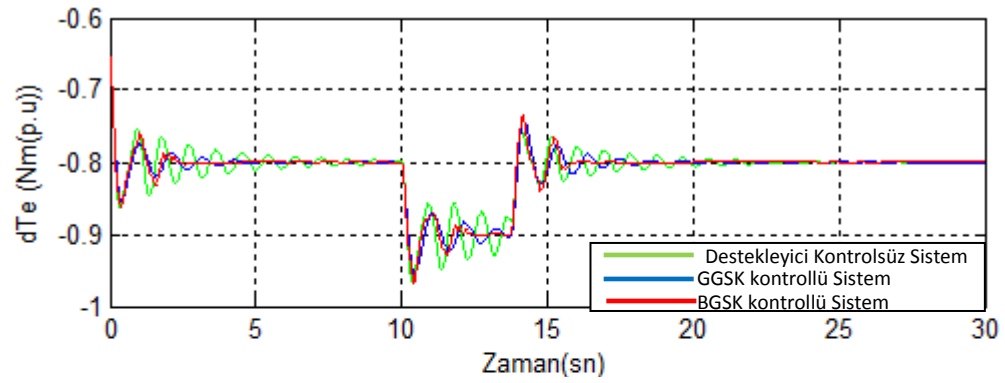
Şekil 6.20. Bozucu 1'in etkidiği FK-İGSGB sisteminde rotor hız sapmasının değişimi



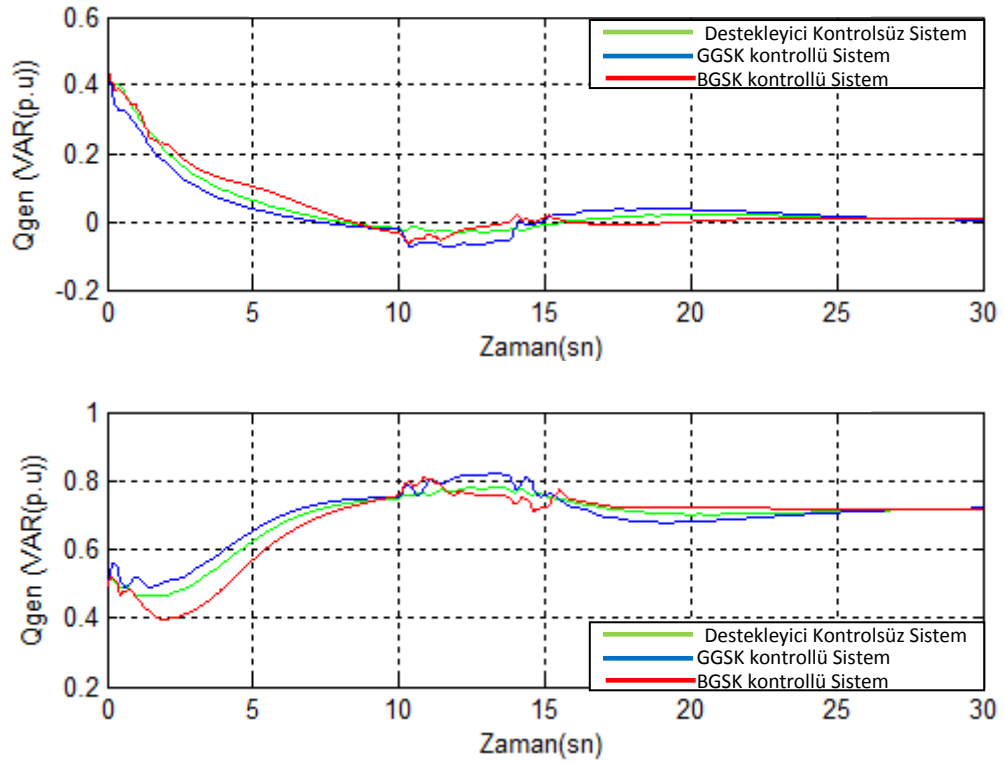
Şekil 6.21. Bozucu 1'in etkidiği FK-İGSGB sisteminde generatör uç geriliminin değişimi



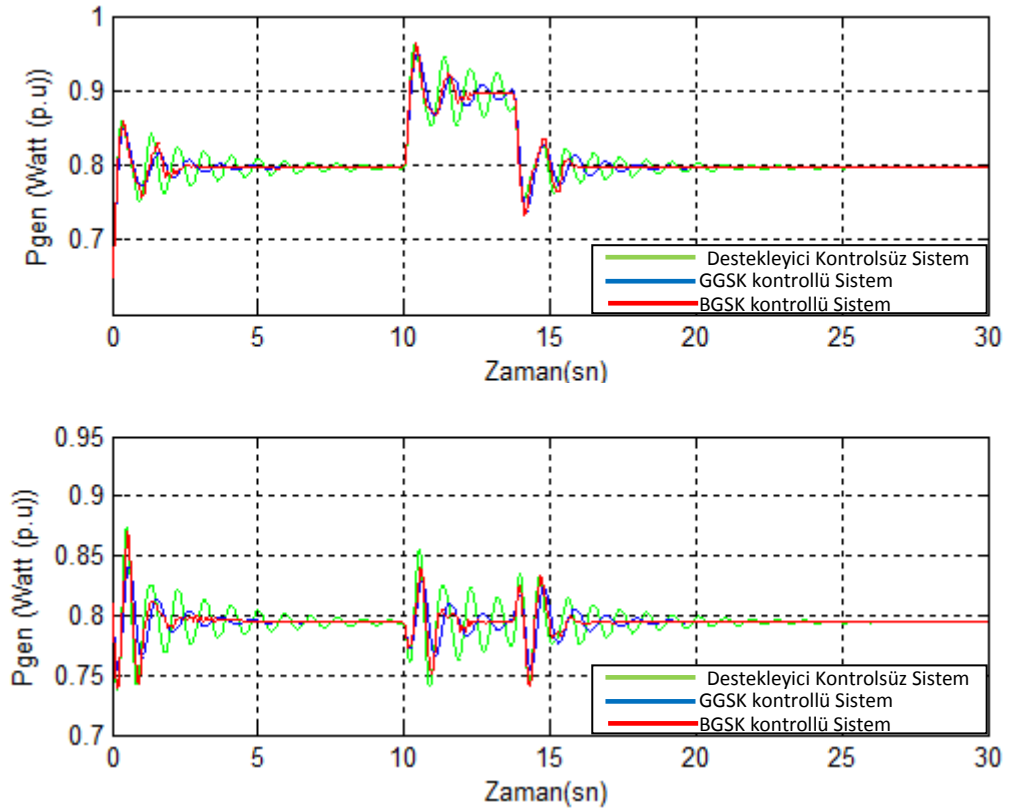
Şekil 6.22. Bozucu 1'in etkidiği FK-İGSGB sisteminde rotor açısının değişimi



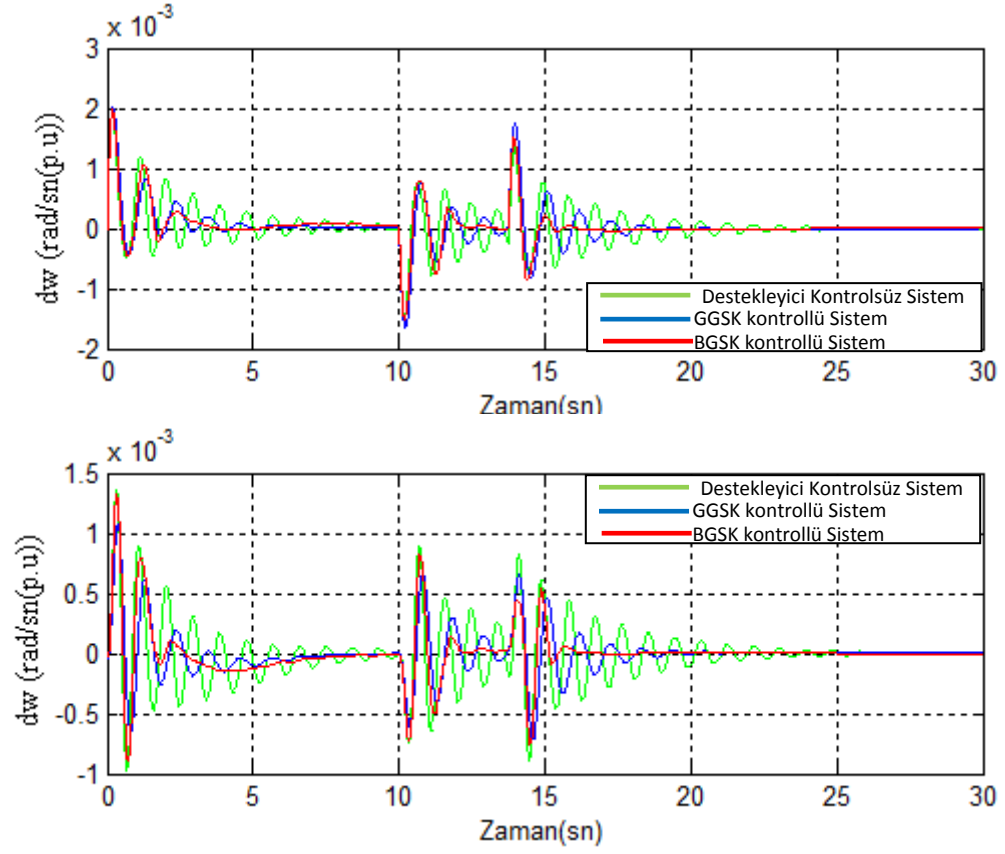
Şekil 6.23. Bozucu 1'in etkidiği FK-İGSGB sisteminde elektriksel momentin değişimi



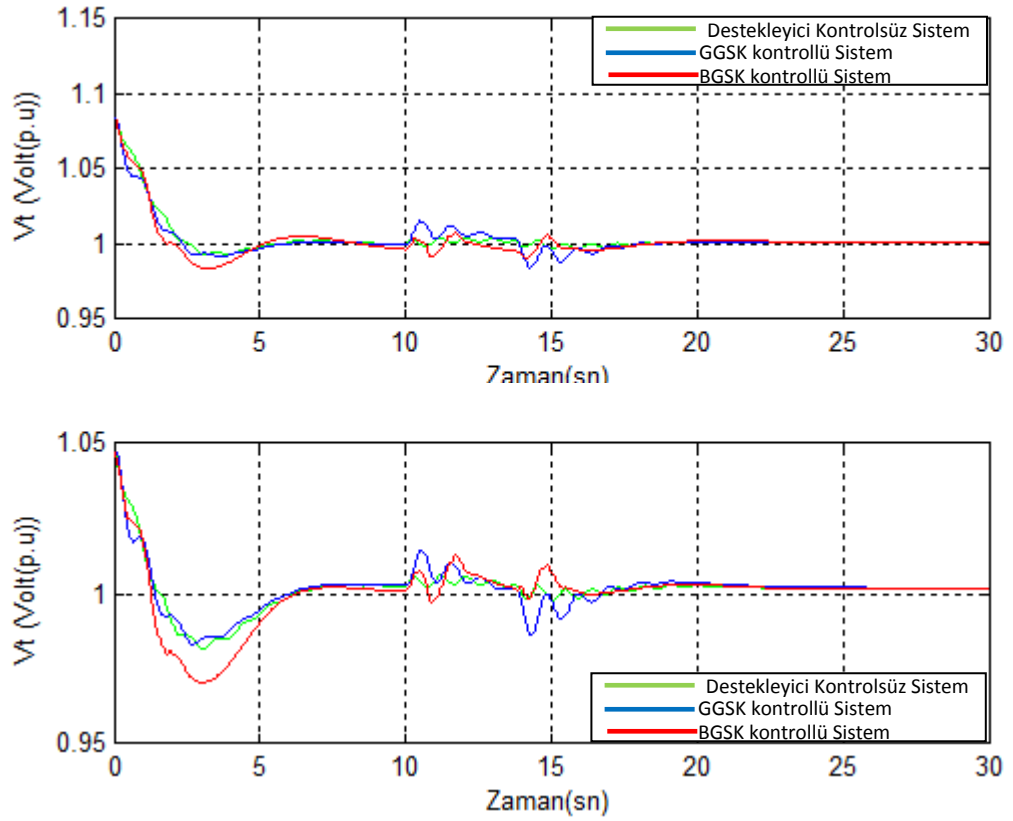
Şekil 6.24. Bozucu 1'in etkidığı FK-İGSGB sisteminde reaktif gücün değişimi



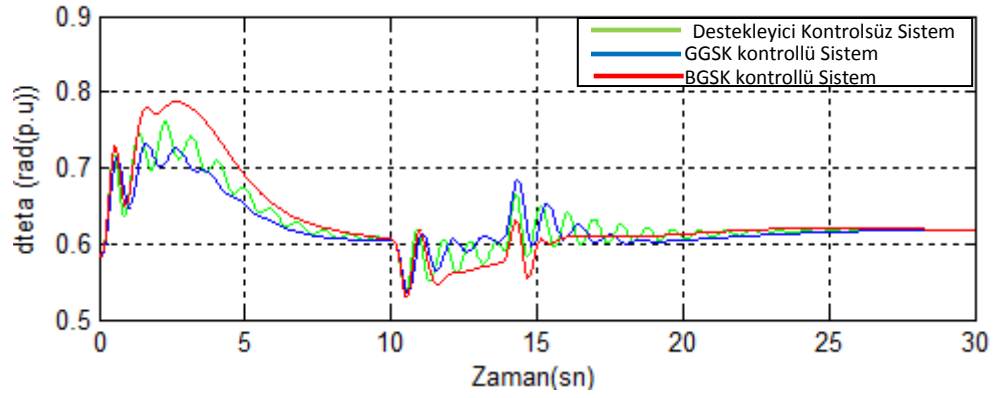
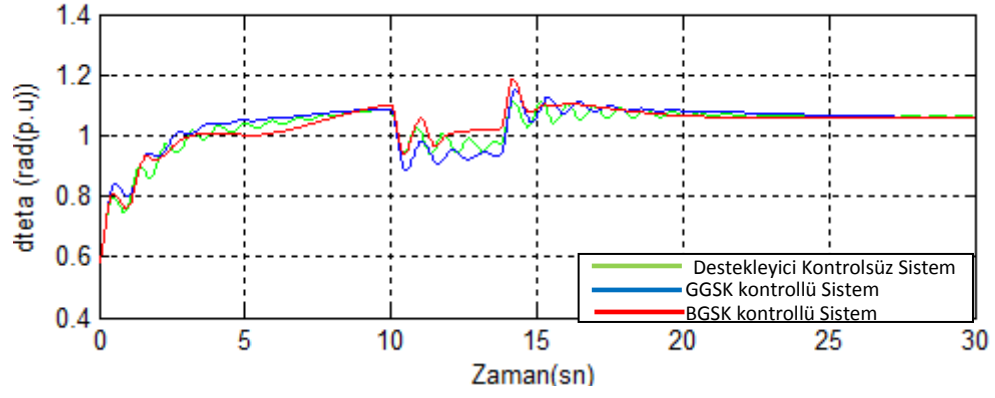
Şekil 6.25. Bozucu 1'in etkidığı FK-İGSGB sisteminde aktif gücün değişimi



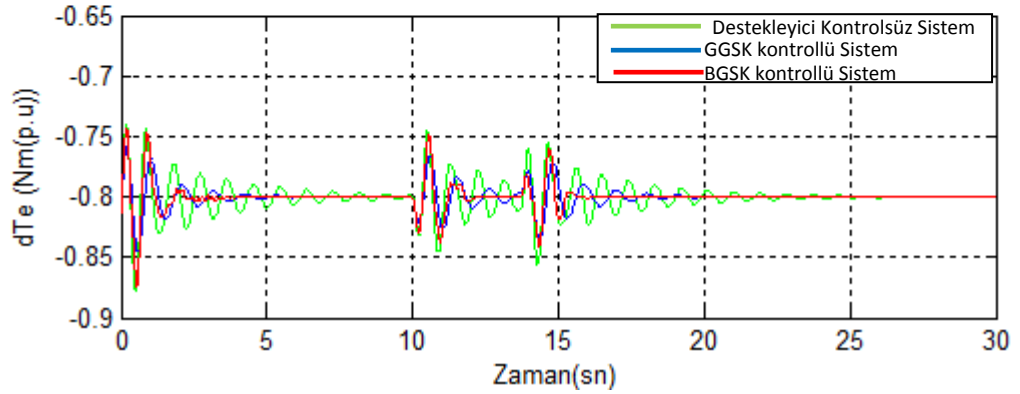
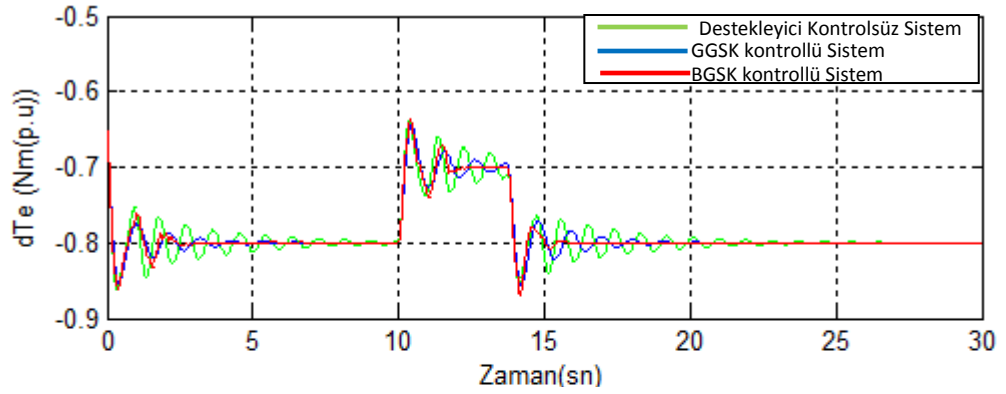
Şekil 6.26. Bozucu 2'nin etkidiği FK-İGSGB sisteminde rotor hız sapmasının değişimi



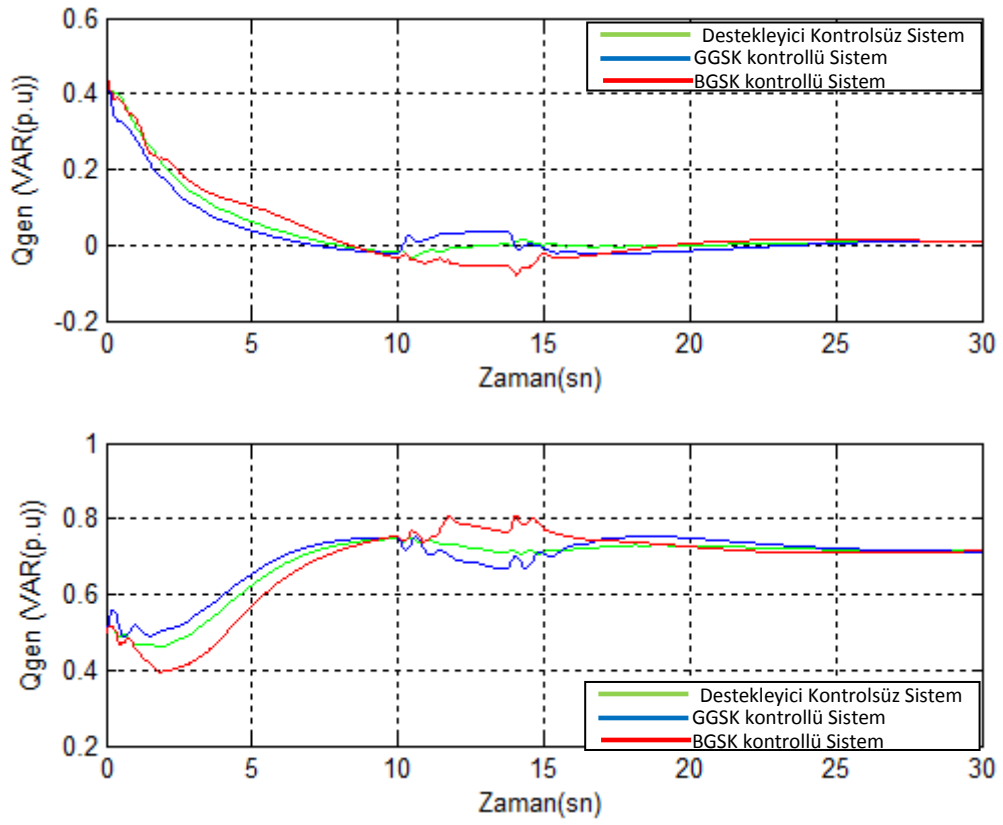
Şekil 6.27. Bozucu 2'nin etkidiği FK-İGSGB sisteminde generatör uç geriliminin değişimi



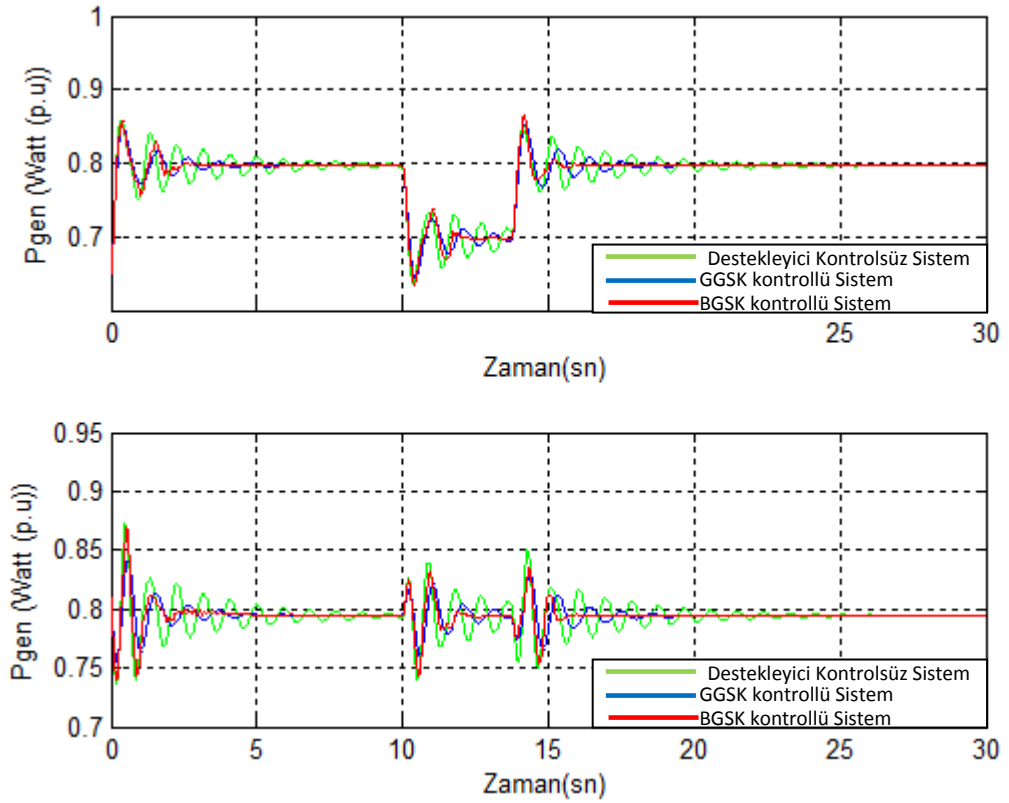
Şekil 6.28. Bozucu 2'nin etkidiği FK-İGSGB sisteminde rotor açısının değişimi



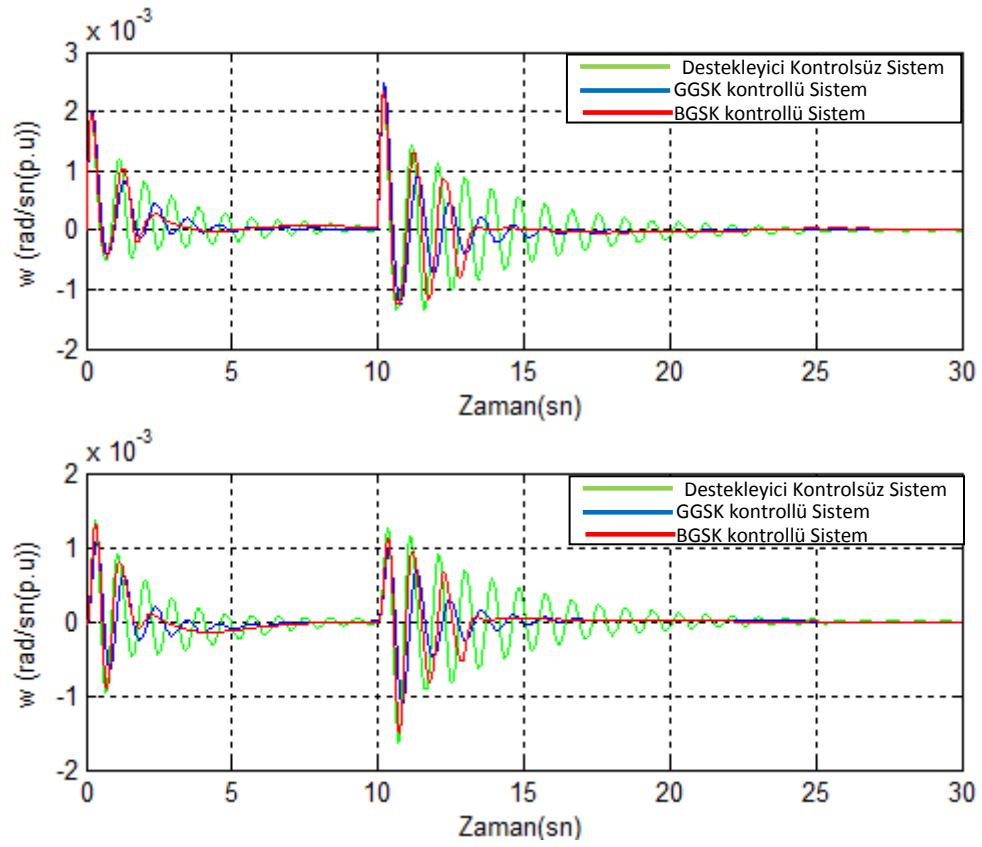
Şekil 6.29. Bozucu 2'nin etkidiği FK-İGSGB sisteminde elektriksel momentin değişimi



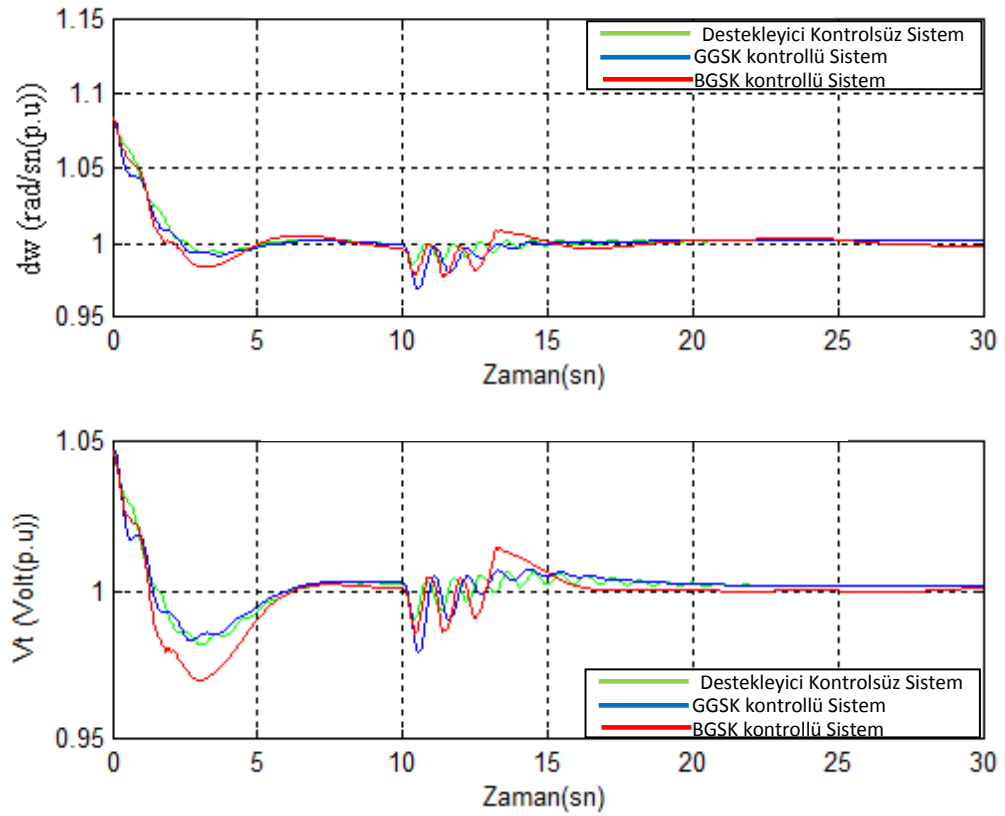
Şekil 6.30. Bozucu 2'nin etkidiği FK-İGSGB sisteminde reaktif gücün değişimi



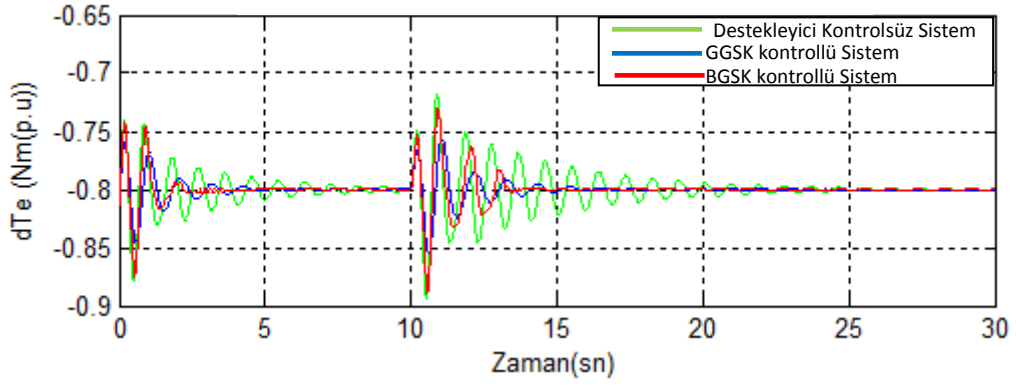
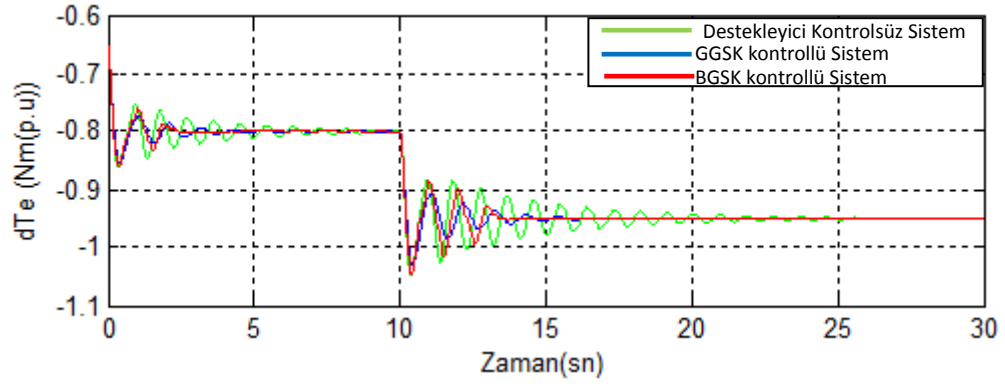
Şekil 6.31. Bozucu 2'nin etkidiği FK-İGSGB sisteminde aktif gücün değişimi



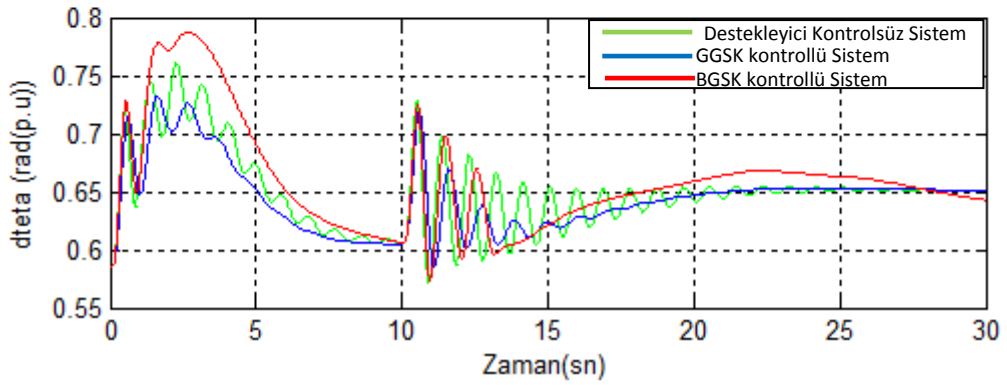
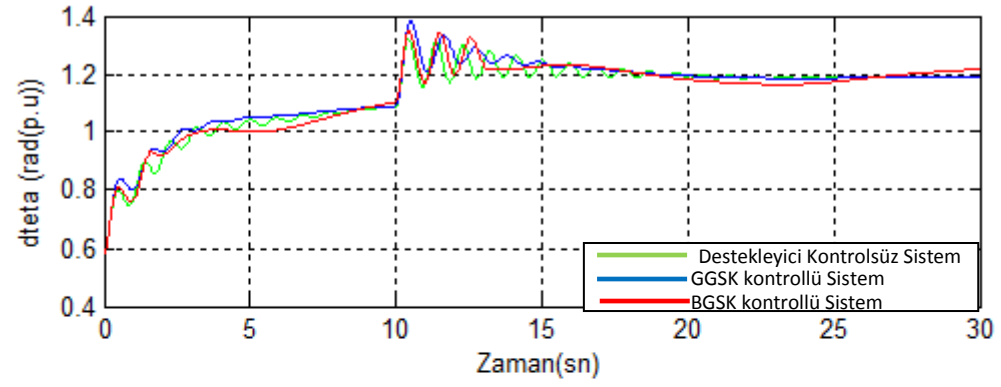
Şekil 6.32. Bozucu 3'ün etkidiği FK-İGSGB sisteminde rotor hız sapmasının değişimi



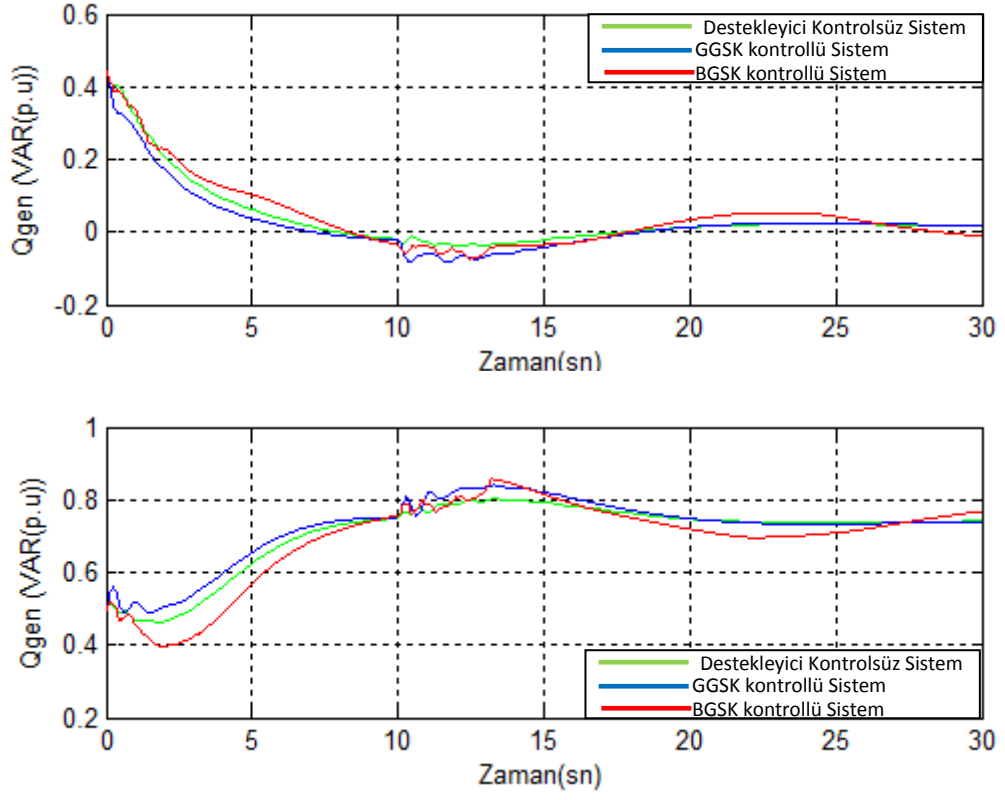
Şekil 6.33. Bozucu 3'ün etkidiği FK- İGSGB sisteminde generatör uç geriliminin değişimi



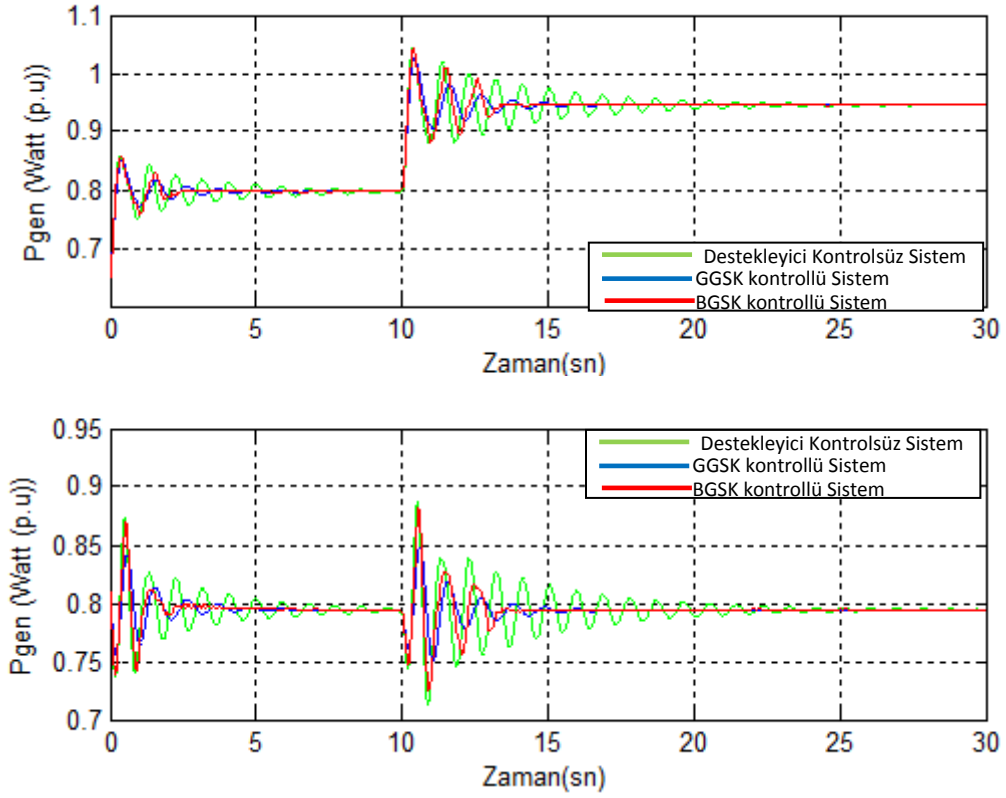
Şekil 6.34. Bozucu 3'ün etkidiği FK-İGSGB sisteminde rotor açısının değişimi



Şekil 6.35. Bozucu 3'ün etkidiği FK-İGSGB sisteminde elektriksel momentin değişimi



Şekil 6.36. Bozucu 3'ün etkidiği FK-İGSGB sisteminde reaktif gücün değişimi



Şekil 6.37. Bozucu 3'ün etkidiği FK-İGSGB sisteminde aktif gücün değişimi

Yorum: Grafiksel sonuçlarından ve Tablo 6.6’da yer alan matematiksel analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi sonsuz güçlü baraya bağlı farklı karakteristiğe sahip iki senkron generatörlü güç sisteminde sadece birinci alana bozucunun etki etmesine rağmen görüldüğü gibi iki generatörlerde bu bozucudan etkilenmiş açısal hızlarında salınımlar görülmüştür. Generatörler; mekanik yük olarak etki eden bu bozucular karşısında elektriksel güç üretimlerini artırmış ve sistemi yeni bir dengeli çalışma noktasına kontrolörler yardımı ile ulaştırmışlardır. Çıkış büyüklüklerinin değişiminden de analiz edilebildiği gibi generatörlerde güç paylaşımı Analiz 1’deki gibi birebir oranında gerçekleşmemiş ancak güç açısı bağıntısına bağlı olarak 1. senkron generatörden 2. senkron generatöre güç aktarımı gerçekleşmiştir. Fakat generatörler aynı süre içerisinde kararlı duruma erişmiş ve senkronizmayı kaybetmemişlerdir. Tablo 6.6’dan da görüldüğü gibi destekleyici kontrol birimi olarak BGSK’nın bulunduğu sistem; destekleyici kontrol birimi olarak geleneksel GSK’nın bulunduğu sistemden çok daha iyi bir kararlılık performansı sergilemiş ve daha küçük max. aşma ve daha kısa yerleşme süresi ile güç sistemini sürekli durumuna ulaştırmıştır.

Tablo 6.6. Analiz 2 için matematiksel sonuçlar

BOZUCU 1	Destekleyici Kontrolsüz sistem		GSK		BGSK	
	SG1	SG2	SG1	SG2	SG1	SG2
Max aşma(d ₀)	0.0020	0.0014	0.0020	0.0011	0.0020	0.0013
Max aşma(dteta)	1.2433	0.7604	1.2995	0.7321	1.2548	0.7760
İntegral mutlak d ₀	0.0061	0.0048	0.0048	0.0031	0.0042	0.0029
İntegral mutlak d ₀ % iyileşme	-	-	21,31148	35,41667	31,14754	39,58333
İntegral mutlak dteta	31.5813	18.9886	31.7508	18.9008	31.6613	19.0465
Yerleşme zamanı(t)	26.4	26.4	22.2	22.2	17.1	17.1
Yerleşme zamanı(t) % iyileşme	-	-	15,90909	15,90909	35,22727	35,22727
Max aşma(Vt)	1.0840	1.0468	1.0841	1.0472	1.0840	1.0468
İntegral mutlak Vt	30.1072	30.0385	30.0874	30.0398	30.0862	30.0213
Max aşma(Te)	-0.6535	-0.7406	-0.6535	-0.7592	-0.6535	-0.7429
Max aşma(Pgen)	0.9616	0.8733	0.9490	0.8417	0.9617	0.8702
Max aşma(Qgen)	0.4408	0.7811	0.4408	0.8212	0.4408	0.7955
İntegral mutlak Te	24.3724	23.9998	24.3724	23.9998	24.3725	23.9998
İntegral mutlak Pgen	24.2773	23.8400	24.2774	23.8386	24.2771	23.8396
İntegral mutlak Qgen	1.4385	20.6550	1.4924	20.8866	1.5635	20.6248
BOZUCU 2	Destekleyici Kontrolsüz sistem		GSK		BGSK	
	SG1	SG2	SG1	SG2	SG1	SG2
Max aşma(d ₀)	0.0020	0.0014	0.0020	0.0011	0.0020	0.0013
Max aşma(dteta)	1.1106	0.7604	1.1513	0.7321	1.1677	0.7760
İntegral mutlak d ₀	0.0061	0.0048	0.0046	0.0029	0.0041	0.0028
İntegral mutlak d ₀ % iyileşme	-	-	24,59016	39,58333	32,78689	41,66667
İntegral mutlak dteta	30.8984	18.8136	31.0669	18.7187	30.9631	18.8810
Yerleşme zamanı(t)	26.7	26.7	22.12	22.12	17.1	17.1
Yerleşme zamanı(t) % iyileşme	-	-	17,15356	17,15356	35,95506	35,95506
Max aşma(Vt)	1.0840	1.0468	1.0841	1.0472	1.0840	1.0468
İntegral mutlak Vt	30.1059	30.0391	30.0866	30.0412	30.0870	30.0218
Max aşma(Te)	-0.6389	-0.7406	-0.6456	-0.7592	-0.6372	-0.7429
Max aşma(Pgen)	0.8581	0.8733	0.8522	0.8417	0.8644	0.8702
Max aşma(Qgen)	0.4408	0.7493	0.4408	0.7541	0.4408	0.7884
İntegral mutlak Te	23.6225	23.9998	23.6225	23.9998	23.6225	23.9998
İntegral mutlak Pgen	23.5331	23.8407	23.5332	23.8394	23.5328	23.8405
İntegral mutlak Qgen	1.2412	20.5580	1.1963	20.7978	1.6210	20.5039
BOZUCU 3	Destekleyici Kontrolsüz sistem		GSK		BGSK	
	SG1	SG2	SG1	SG2	SG1	SG2
Max aşma(d ₀)	0.0023	0.0014	0.0025	0.0011	0.0023	0.0013
Max aşma(dteta)	1.3216	0.7604	1.3827	0.7321	1.3278	0.7760
İntegral mutlak d ₀	0.0073	0.0057	0.0041	0.0027	0.0046	0.0033
İntegral mutlak d ₀ % iyileşme		-	43,83562	52,63158	36,98630	42,10526
İntegral mutlak dteta	33.9693	19.5017	34.3114	19.3469	34.0847	19.5772
Yerleşme zamanı(t)	27.6	27.6	19.68	19.68	15.02	15.02
Yerleşme zamanı(t) % iyileşme		-	28,69565	28,69565	45,57971	45,57971
Max aşma(Vt)	1.0840	1.0468	1.0841	1.0472	1.0840	1.0468
İntegral mutlak Vt	30.0900	30.0355	30.0517	30.0371	30.0586	30.0107
Max aşma(Te)	-0.6535	-0.7177	-0.6535	-0.7557	-0.6535	-0.7285
Max aşma(Pgen)	1.0426	0.8871	1.0249	0.8482	1.0417	0.8817
Max aşma(Qgen)	0.4408	0.8027	0.4408	0.8402	0.4408	0.8575
İntegral mutlak Te	26.9969	23.9997	26.9968	23.9997	26.9968	23.9997
İntegral mutlak Pgen	26.8797	23.8354	26.8796	23.8326	26.8792	23.8348
İntegral mutlak Qgen	1.5067	21.2820	1.5207	21.7139	1.8571	21.2468

7. DEĞERLENDİRME ve SONUÇLAR

Senkron generatörlerin uyartım kontrolünün; güç sistemlerinin dinamik performansı ve güç kalitesi üzerinde etkili bir rolü vardır. Günümüzde, enerji üretiminde kullanılan senkron generatörlerde etkili bir uyartım kontrolü ile sistemin kararlılığını ve dinamik performansını artırmak için çalışmalar yapılmaktadır. İyi bir uyartım kontrolü ancak generatörün çıkış parametrelerini geri besleme olarak kullanan ve uyartım regülatörüne yardımcı bir kontrol sinyali sağlayan bir güç sistem kararlı kılıcıları vasıtasıyla mümkündür.

Güç sistemleri genellikle büyük nonlinear sistemlerdir ve sık sık elektriksel bozucu etkilerden kaynaklanan düşük frekanslı elektromekanik osilasyonlara maruz kalmaktadırlar. Genellikle ekonomik çözüm olan GSK bu tip osilasyonların sönümlenmesinde etkili olarak kullanılır. Sabit yapıya ve parametrelere sahip geleneksel güç sistem kararlı kılıcıları belirli bir çalışma durumu için ayarlanır ve bu çalışma durumu için optimum performansı sağlarlar. Ancak sistem parametrelerinin ve çalışma noktasının değişmesi durumunda istenilen performansı gösteremezler. Son yıllarda özellikle mikro denetleyici temelli sayısal kontrolörlerin ortaya çıkması sayesinde alternatif kontrol yöntemleri geliştirilmektedir. Güç sistem kararlı kılıcılarının tasarımında kullanılan bu yöntemlerden biri de akıllı kontrol stratejisi içeren bu çalışmanın da temelini oluşturan bulanık mantık tabanlı güç sistem kararlı kılıcılarıdır. BGSK'lar daha az hesaplama yükü, dayanıklılık ve nonlinearlik özelliğinden dolayı literatürde oldukça sık kullanılmaktadır.

7.1 Sonuçlar

Bu çalışmada; güç sistemlerinin oldukça sık olarak maruz kaldığı düşük frekanslı rotor hız sapması ve rotor açısı salınımlarının güç sistem kararlı kılıcıları ile sönümlendirilmesi incelenmiştir. Sonsuz güçlü baraya bağlı tek ve iki senkron generatörden oluşan iki ayrı dinamik sistemin küçük işaret bozucu etkiye maruz kalması durumunda otomatik gerilim regülatörü (OGR), ve destekleyici kontrol birimi olarak geleneksel güç sistem kararlı kılıcısı (GSK) ve bulanık mantık tabanlı kontrolörün (BGSK) bulunduğu sistemlerin çalışma performansları ve dinamik davranışları karşılaştırılmalı olarak analiz edilmiştir.

Sistemlerin dinamik modeli d-q ekseninde ve zaman domeninde elde edilmiş ve Matlab/ Simulink programında simüle edilmiştir.

Farklı çalışma noktaları, hat empedansları, sönümlenme ve atalet değerleri için yapılan benzetim çalışmalarında önerilen BGSK yapısının, geleneksel GSK yapısına oranla güç sistemlerinde görülen salınımları daha az aşım ve daha kısa süreli yerleşme zamanı ile sönümlendiği grafiksel ve matematiksel tablo değerleri ve % iyileşme değerleri ile gösterilmiştir. Ayrıca, farklı çalışma noktaları için yapılan benzetim çalışmalarında BGSK'nın yapılan sistem parametrelerindeki değişimlere daha az duyarlı olması nedeni ile dayanıklı bir yapıya sahip olduğu analiz edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada, tasarladığımız BGSK'nın, güç sisteminin geçici hal kararlılığını sağlamada, geleneksel GSK'ya göre daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. BGSK'nın bu başarısı modellendiği şebeke ağır yük çalışma koşullarında sınırlı kalmayıp, farklı şebeke çalışma koşullarında da aynı etkiyi sağlayabilmesinden bir sonucudur. Oysa şebeke parametrelerinin değişmesiyle ve/veya bozucu etkinin büyümesi ile GGSK'nın geçici hal kararlılığını korumadaki başarısının azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni GSK parametrelerinin sabit olması ve bağlı olduğu geleneksel mantık teorisinin bulanık mantığa göre zayıf kalmasıdır. BGSK'nın farklı şebeke koşullarında da iyi performans göstermesi, bulanık kontrol elemanın kullandığı dilsel değişkenler sayesinde daha geniş kontrol aralıklarına sahip olmasına bağlanabilir. Sabit parametrelili olmadığından ve nonlineerlik özelliğinden dolayı literatürde de en çok tercih edilen kontrol yöntemleri arasındadır.

Çalışma aralığı geleneksel GSK denetleyiciden daha geniştir. Gelecekte, bilgisayar benzetiminde yapılan çalışma gerekli fiziksel elemanlar oluşturularak gerçek sisteme uygulanabilir. BGSK'nın uç gerilimi salınımlarının genliğinde meydana getirdiği bir miktar artış, daha iyi performans gösterebilecek bir bulanık gerilim regülatörü kullanılmasıyla kompanze edilebilir.

7.2. Öneriler

Bulanık mantık kontrolörde tasarlanan kural tablolarının ve ölçekleme katsayılarının genetik algoritma yöntemi ile optimize edilerek belirlenmesi ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir. Buna ilave olarak önerilen bulanık mantık kontrol yöntemde ikiden çok giriş değişkeni kullanarak sistem geri besleme parametre sayısı artırılıp daha iyi bir giriş-çıkış kontrol performansının yakalanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kundur, P.**, 1993. Power System Stability and Control, Neal J. Balu & Mark G. Lauby
Mc Graw-Hill, New York, A.B.D.,1176p.
- [2]**Demirören, A., Zeynelgil, L.**, 2004. Elektrik Enerjisi Sistemlerinin Kararlılığı,
Kontrolü ve Çalışması, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 303s.
- [3] **Mun Ong, C.**, 1998. *Synchronous Machines in Power Systems and Devices*, Dynamic
Simulation of Electric Machinery, Russ Hall, Prentice Hall PTR, New
Jersey, A.B.D., pp. 463-568.
- [4] **Yılmaz, A. S.**, 1997. Güç Sistem Kararlayıcıları ve Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*,
Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [5] **Yazıcı, İ.**, 2008. Modern Referans Kayan Kipli Kontrolör Tabanlı Güç Sistem
Kararlayıcı Tasarımı, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri
Enstitüsü, Sakarya.
- [6] **Erdem, A.**, 2007. Bulanık Mantık Kontrolör Yardımı İle Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı
Tasarımı, *Yüksek lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri
Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Caner, M.**, 2006. Hiyerarşik Fuzzy Yöntemiyle Senkron Generatörlerde Uyarım
Kontrol, *Doktora Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Varbak N.**, 2008. Enerji Sistemlerinde Bulanık Mantık Temelli Güç Sistem Kararlı
Kılıcısı Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen
Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [9] **Kaytez, F.**, 2005. Klasik PID ve Bulanık Mantık Kontrol ile Senkron Generatör
Kontrolü, *Yüksek lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
Ankara.
- [10] **Öztürk, A.**, Ocak 2007. Güç Sistemlerindeki Gerilim Kararlılığının Genetik
Algoritma İle İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen
Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [11] **Sağlam, G.**, Şubat 2007. Hiyerarşik Bulanık Mantık PID Kontrolör, *Yüksek lisans
Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [12] **Demircioğlu, S.,B.**, Ekim 2006. Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığı Sınırlarının Yerel Bara Parametreleri Kullanarak Gerçek Zamanlı Değerlendirilmesi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [13] **Erdem, A.**, Mayıs 2007. Bulanık Mantık Tabanlı Kontrolör Yardımı ile Güç Sistemi Kararlı kılıcısı Tasarımı , *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [14] **Nalbantoğlu, M., Orhan, A. ve Bayındır, M. İ.**, 2009. Sonsuz Baraya Bağlı Bir Senkron Generatörün Uyarma Kontrolü İçin Kayma Kipli Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı Tasarımı, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Paper ID : 1216, Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs.
- [15] **Nalbantoğlu, M., Orhan ve A., Bayındır, M.İ.**, 2008. Erişim Kurallı Kayma Kipli Güç Sistemi Stabilizatörünün Tasarımı, *Elektrik - Elektronik Ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO*, Bursa, Türkiye, 26–30 Kasım.
- [16] **Özkop,E., Altaş .H. ve Akpınar, A.S.**, 2004. Bulanık Mantık Denetleyici Güç Sistem Uygulaması, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ELECO*,Bursa, Türkiye.
- [17] **Kartez, F., Gözde ve H., Taplamacioğlu, M. C.**, 2005. Klasik PID ve Bulanık Mantık Kontrolör ile Senkron Makine Kontrolü, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi*, s.429-432, İstanbul,Türkiye, 22-25 Eylül.
- [18] **Oğuz, G., Demirören, A.**, 2004. Bulanık Mantıklı Kontrolör İle Güç Sistemlerinde Geçici Kararlılığın İyileştirilmesi, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO*, Bursa, Türkiye.
- [19] **Caner, M., Umurkan, N., Çimen, H.**, 2004. Bulanık Mantık Tabanlı Uyarım Kontrolü, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt 1, s. 17-22.
- [20] **Yazıcı, İ., Özdemir, A.**, 2008. Optimal Kazanç Tabloları ile Güç Sistem Kararlı kılıcısı Tasarımı, *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 12, Sayı 1, s. 38-42.
- [21] **Erdem, A., Demirören, A.**, 2007. Bulanık Mantık Tabanlı Kontrolör Yardımı İle Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı Tasarımı, *EMO 40.dönem Sempozyum ve Kongreler*, İstanbul, Türkiye.
- [22] **Gelen, A., Ayasun, S.**, 2007. Zaman Gecikmeli Jeneratör Uyarma Kontrol Sisteminin Kararlılık Analizi, 12. *Elektrik Elektronik Bilgisayar Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi ve Fuarı*, Eskisehir, 14-18 Aralık.

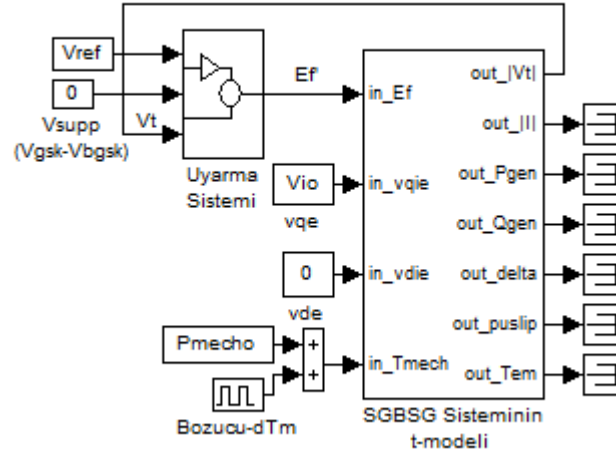
- [23] **Taşar, B., Özdemir, M.,** 2010. Çıkık Kutuplu Senkron Generatörde Küçük İşaret Kararlılık Analizi, *TOK 2010, “ Üniversite Sanayi İşbirliği”, Ulusal Otomatik Kontrol Toplantısı*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 21-23 Eylül.
- [24] **Taşar, B., Özdemir, M.,** 2011. Sonsuz Güçlü Baraya Bağlı Senkron Generatörün Uyarım Kontrolü, *IATS’ 2011*, Fırat Üniversitesi, Elazığ,Türkiye, 16-18 Mayıs.
- [25] **Motoki, H., A., Kawakami, H. and Kawasaki, K.,** 2002. Experimental study on power system damping enhancement by multiple digital adaptive PSS using analog-type real-time power system simulator,*Power System Technology, Proceedings Power International Conference on*, pp. 808 vol. 2.
- [26] **Zhou, E., Malik, O.P. and Hope, G.S.,** 2002. Design of stabilizer for a multimachine power system based on the sensitivity of PSS effect, *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, pp. 606, vol.7-3, 06 Ağustos.
- [27] **Murdoch, A., Venkatarman, S., Sanchez-Gasca, J.J. and Lawson, R.A.,** 1999. Practical application considerations for power system stabilizer (PSS) controls, *Power Engineering Society Summer Meeting, 1999. IEEE*, pp.83 vol.1, GE-Power Syst. Energy Consulting, Schenectady, NY,18-22 July.
- [28] **Vani, M.U., Raju, G.S. and Prasad, K.R.L.,** 2010. Robust Supplementary Controllers for AVR and PSS, *India Conference (INDICON), 2009 Annual IEEE*, pp.1, EEE Dept., LBRCE, Mylavaram, India, 08 Şubat.
- [29] **Dubey, M.,** 2008. Design of Genetic Algorithm Based Fuzzy Logic Power System Stabilizers in Multimachine Power System, *Power System Technology and IEEE Power India Conference, POWERCON 2008. Joint International Conference on*, Dept. of Electr. Eng., Maulana Azad Nat. Inst. of Technol., Bhopal, 12-15 Oct.
- [30] **Saffarian, A., Sanaye-Pasand, M.,** 2010. Enhancement of Power System Stability Using Adaptive Combinational Load Shedding Methods, *Power Systems, IEEE Transactions on*, pp.1, Issue.99, School of ECE, College of Engineering, University of Tehran, Iran, 07 Ekim.

- [31] **Hiyama, T.** ; (Sep 1994) , Robustness of fuzzy logic power system stabilizers applied to multimachine power system, *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, pp. 451, Vol.9 Issue:3 , Dept. of Electr. Eng. & Comput. Sci., Kumamoto Univ.
- [32] **Singh, A., Sen, I.**, 2003. A novel fuzzy logic based power system stabilizer for a multimachine system, *TENCON 2003. Conference on Convergent Technologies for Asia-Pacific Region*, pp. 1002, Vol.3 , Dept. of Electr. Eng., Indian Inst. of Sci., Bangalore, India, 15-17 Oct.
- [33] **Dobrescu, M., Kamwa, I.**, 2004. A new fuzzy logic power system stabilizer performances, *Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES*, pp.1056, Hydro-Quebec, IREQ, Varennes, Que., Canada, 10-13 Oct.
- [34] **Hoang, P., Tomsovic, K.**, Jun 1996. Design and analysis of an adaptive fuzzy power system stabilizer, *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, pp. 455 Vol.11 , Issue:2, Sch. of Electr. Eng. & Comput. Sci., Washington State Univ., Pullman, WA.
- [35] **Gurralla, G., Sen, I.**, May 2010. Power System Stabilizers Design for Interconnected Power Systems, *Power Systems, IEEE Transactions on*, pp. 1042, Vol.25 , Issue:2, Dept. of Electr. Eng., Indian Inst. of Sci., Bangalore, India.
- [36] **Basler, M.J., Schaefer, R.C.**, March-april 2008. Understanding Power-System Stability, *Industry Applications, IEEE Transactions on*, pp. 463 Vol.44 , Issue:2 , Basler Electr. Co., Highland.
- [37] **Basler, M.J., Schaefer, R.C.**, 2007. Understanding Power-System Stability, *Pulp and Paper Industry Technical Conference, Conference Record of Annual*, pp. 37 , Basler Electr. Co., Highland, IL, 24-28 June.
- [38] **Gurralla, G. ; Sen, I. ; Padhi, R.** ; September 2009. Single network adaptive critic design for power system stabilisers, *Generation, Transmission & Distribution, IET*, pp. 850, Vol.3 , Issue:9 , Dept. of Electr. Eng., Indian Inst. of Sci., Bangalore, India.
- [39] **Gurralla, G., Padhi, R. and Sen, I.**, 2009. Power System Stability enhancement by Single Network Adaptive Critic Stabilizers, *Neural Networks, IJCNN 2009. International Joint Conference on, Generation, Transmission & Distribution, IET*, pp. 1061, , Dept. of Electr. Eng., Indian Inst. of Sci., Bangalore, India, 14-19 June.

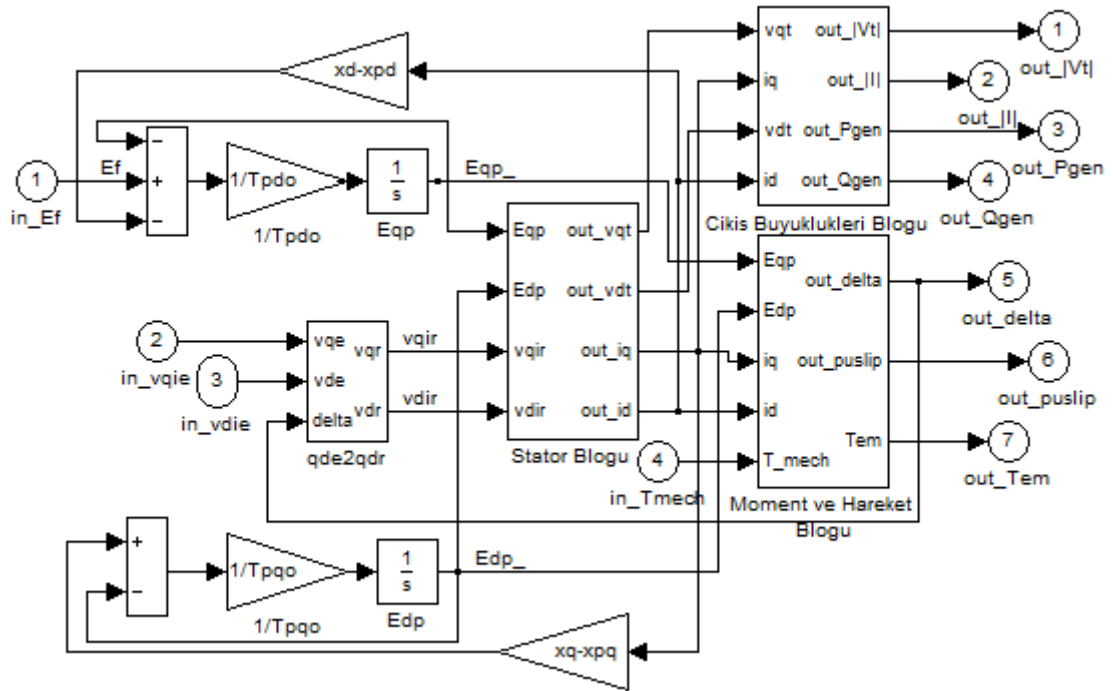
- [40] **Hoang, P., Tomsovic, K.,** Jun 1996. Design and analysis of an adaptive fuzzy power system stabilizer, *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, pp. 455, Vol.11 , Issue:2 , Sch. of Electr. Eng. & Comput. Sci., Washington State Univ., Pullman, WA.
- [41] **Murdoch, A. ; Venkataraman, S. ; Lawson, R.A. ; Pearson, W.R. ;** (Dec 1999), Integral of accelerating power type PSS. I. Theory, design, and tuning methodology, *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, pp. 1658, Vol.14 , Issue:4 , GE Power Syst. Energy Consulting, Schenectady, NY.
- [42] **Roosta, A.R. ; Khorsand, H. ; Nayeripour, M. ;** (11-13 Oct. 2010), Design and analysis of fuzzy power system stabilizer, *Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)*, 2010 IEEE PES, pp.1, Electr. Eng. Dept., Shiraz Univ. of Technol., Shiraz, Iran
- [43] **Elshafei, A.L., El-Metwally, K. and Shaltout, A.,** 2000. Design and analysis of a variable structure adaptive fuzzy-logic power system stabilizer, *American Control Conference*, pp. 3959, Vol.6 , Dept. of Electr. Eng., United Arab Emirates Univ., Al-Ain.
- [44] **Lu, J., Nehrir, M.H., Pierre, D.A.,** 1999. A fuzzy logic based adaptive power system stabilizer, *Power Engineering Society 1999 Winter Meeting, IEEE*, pp. 92, Vol.1, Electr. & Comput. Eng. Dept., Montana State Univ., Bozeman, MT ,31 Jan-4 Feb.

EKLER

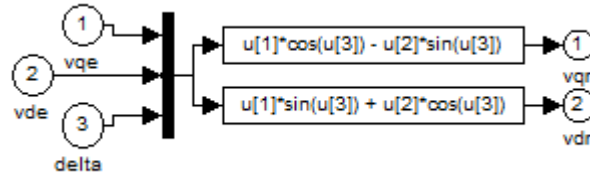
EK-1 Tek Generatör Sonsuz Güçlü Bara Sisteminin Simulink Detayları



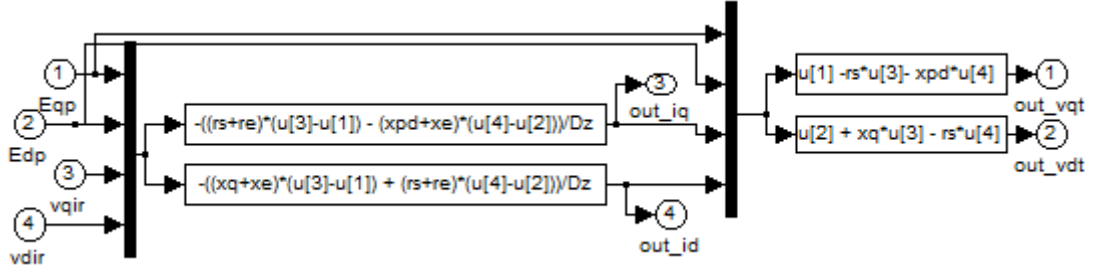
Şekil Ek-1.1. TGSGB sisteminin modeli



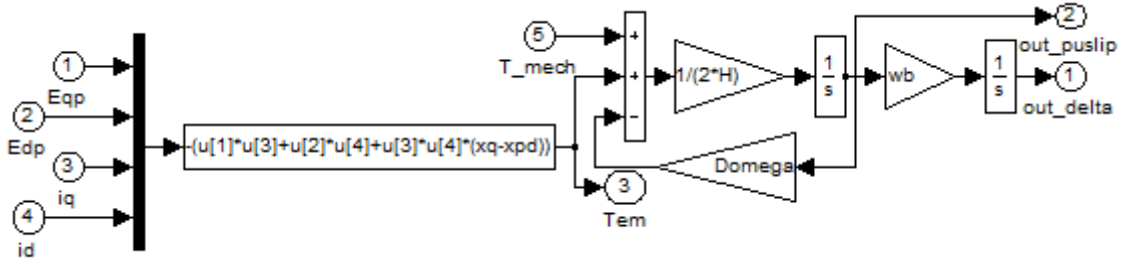
Şekil Ek-1.2. TGSGB sistem bloğunun iç yapısı



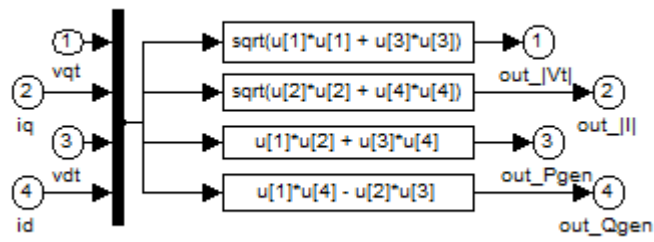
Şekil Ek-1.3. qde2qdr bloğunun iç yapısı



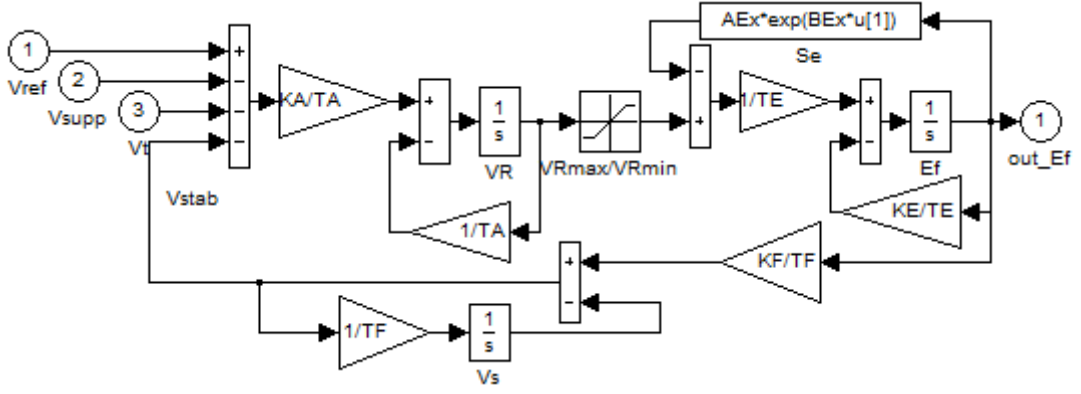
Şekil Ek-1.4. Stator bloğunun iç yapısı



Şekil Ek-1.5. Moment ve hareket bloğunun iç yapısı

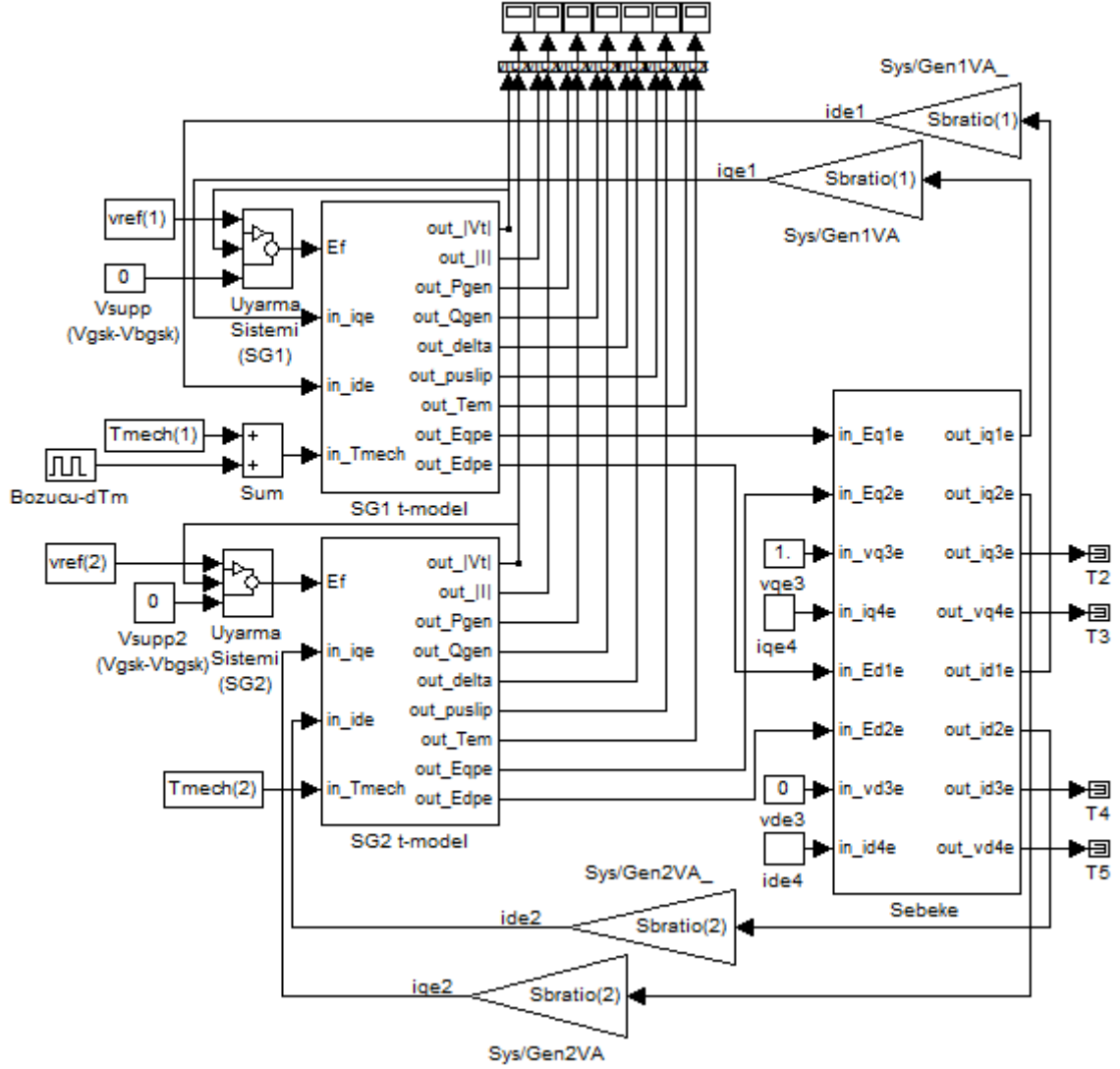


Şekil Ek-1.6. Çıkış büyüklükleri bloğunun iç yapısı

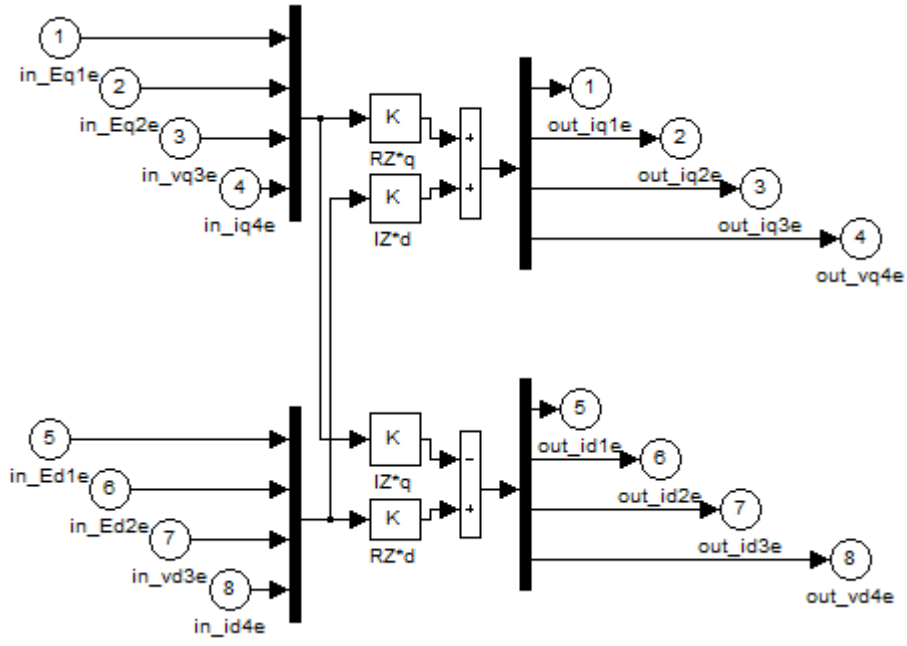


Şekil Ek-1.7. Uyarım bloğunun iç yapısı

EK-2 İki Generatör Sonsuz Güçlü Bara Sisteminin Simulink Detayları



Şekil Ek-2.1. ÇGSGB sistem bloğunun iç yapısı



Şekil Ek-2.2. Şebeke bloğunun iç yapısı

EK-3 Tek Generatör Sonsuz Güçlü Bara Sisteminin Sürekli Durum parametrelerinin Hesaplandığı Matlab M-File Programı

```
% *****TEK GENERATÖR SONSUZ GÜÇLÜ BARA SİSTEMİ *****
% Matlab worksapcedeki tüm değerleri ve ekranı temizle

clear variables;
clc

% *****BAŞLANGIÇ DEĞERLERİNİN ALIMININ BAŞLANMASI *****

% Generatör ve uyarma sistemi için p.u sistem parametrelerini yükle

Perunit = 1;
Frated = 60;
Poles = 4;
Pfrated= 0.9;
Vrated =18e3;
Prated=828315e3;
rs = 0.0048;
xd = 1.790;
xq = 1.660;
xls = 0.215;
xpd = 0.355;
xpq = 0.570;
xppd = 0.275;
xppq = 0.275;
```

```

Tpdo = 7.9;
Tpqo = 0.410;
Tppdo = 0.032;
Tppqo = 0.055;
%KA = 50;
KA = 200;% yüksek kazanç değeri
TA =.06;
VRmax = 1;
VRmin = -1;
TE = 0.052;
KE = -0.0465;
TF = 1.0;
KF = 0.0832;
AEx = 0.0012;
BEx = 1.264;
% GSK parametrelerini yükle
Ks = 120;
Tw = 1.;
T1 = 0.024;
T2 = 0.002;
T3 = 0.024;
T4 = 0.24;
pss_limit = 0.1;
M=5;

```

% Sisteme ait bazı p.u başlangıç değerlerini dışarıdan iste ve al

```

% re = 0.027; ac thevenin kaynak empedansının reel kısmı
% xe = 0.1; ac thevenin kaynak empedansının imajiner kısmı
% Vi = 1.0 + 0*j sonsuz güçlü baradaki gerilimin kompleks değeri
% Si = 0.8 + 0.6*j kompleks güç(Q>0 için)

```

```

disp('pu cinsinden re,xe,Vt,H,D and St değerlerini giriniz');
disp('Example: re = 0.027; xe = 0.1; Vi = 1 +j*0; Si = 0.8 +j*0.6; H =3.77; D = 2;')
disp('Devam etmek için değerleri girip enterladıktan sonra çıkan satıda K>> dan sonra
"return" yazınız...');
keyboard

```

```

% ***** BAŞLANGIÇ DEĞERLERİNİN ALIMININ SONU *****
%*****SÜREKLİ DURUM DEĞERLERİNİN HESABININ BAŞLAMASI*****

```

% Baz degerleri hesapla

```

we = 2*pi*Frated;
wb = we;
wbm=wb*(2/Poles);
Sbase = Prated/Pfrated;
Vbase = Vrated*sqrt(2/3);
Ibase = sqrt(2)*(Sbase/(sqrt(3)*Vrated));

```

Zbase = Vbase/Ibase;

%Sürekli durum değerlerinin hesaplanması

```
Ie = conj(Si/Vi);
Eqe = Vi + ((rs+re) + (xq+xe)*j)*Ie;
Vte = Vi + (re + xe*j)*Ie
deltat = angle(Vte);
delta = angle(Eqe);
Eqo = abs(Eqe);
I = (conj(Eqe)/Eqo)*Ie; % I = Ie*(cos(delta) - sin(delta)*j);
Iqo = real(I);
Ido = -imag(I);
Vio = abs(Vi);
Vto = (conj(Eqe)/Eqo)*Vte; % Vto = Vt*(cos(delta) - sin(delta)*j);
Vqo = real(Vto);
Vdo = -imag(Vto);
Sto = Vto*conj(I)
Eqpo = Vqo + xpd*Ido + rs*Iqo;
Edpo = Vdo - xpq*Iqo + rs*Ido
Efo = Eqo + (xd-xq)*Ido;
delio = delta
Pmecho = real(Sto);
% Uyarma bloğu için başlangıç değerlerinin hesaplanması
VR = KE*Efo;
Vs = Efo*KF/TF;
Vref =abs(Vto)
Dz = (re+rs)*(re+rs) + (xe + xq)*(xe + xpd);
```

EK-4 İki Generatör Sonsuz Güçlü Bara Sisteminin Sürekli Durum parametrelerinin Hesaplandığı Matlab M-File Programı

```
%*****SÜREKLİ DURUM DEĞERLERİNİN HESABININ SONU*****
%*****CİFT GENERATÖR SONSUZ GÜÇLÜ BARA SİSTEMİ *****
% Matlab worksapcedeki tüm değerleri ve ekranı temizle
```

```
clear variables;
clc
```

```
%*****BAŞLANGIÇ DEĞERLERİNİN ALIMININ BAŞLANMASI *****
```

```
% GSK parametrelerini yükle
Ks = 20;
Tw = 8.;
T1 = 0.8;
T2 = 0.001;
```



```
T3 = 0.8; %T1-T3 osilasyon süresini kısaltıyor 0.1- 1arası iyi  
T4 = 0.001;  
pss_limit = 0.1;
```

% Generatör ve uyarma sistemi için p.u sistem parametrelerini yükle

```
wb = 2*pi*60;  
Sys_Sbase = 1000; % Sistem için Sbaz MVA  
n_unit = 2; % generatör sayısı
```

% SG.1 için:

```
list_A = [1] % Generatör 1 için parametre alımı  
for bus = list_A  
Sbratio(bus) = 1000/920.35;%makinanın baz gücünün bulunması  
rs(bus) = 0.0048;  
xd(bus) = 1.790;  
xq(bus) = 1.660;  
xls(bus) = 0.215;  
xpd(bus) = 0.355;  
xpq(bus) = 0.570;  
Tpdo(bus) = 7.9;  
Tpqo(bus) = 0.410;  
H(bus) = 3.77;  
D(bus) = 2;  
KA(bus) = 50;  
%KA(bus) = 200;  
TA(bus) = 0.06;  
VRmax(bus) = 1;  
VRmin(bus) = -1;  
TE(bus) = 0.052;  
KE(bus) = -0.0465;  
TF(bus) = 1.0;  
KF(bus) = 0.0832;  
AEx(bus) = 0.0012;  
BEx(bus) = 1.264;  
end
```

% SG.2 için:

```
list_B = [2] % Generatör 2 için parametre alımı  
for bus = list_B  
Sbratio(bus) = 1000/911;%makinanın baz gücünün bulunması  
rs(bus) = 0.001;  
xd(bus) = 2.040;  
xq(bus) = 1.960;  
xls(bus) = 0.154;
```

```

xpd(bus) = 0.266;
xpq(bus) = 0.262;
Tpdo(bus) = 6.000;
Tpqo(bus) = 0.900;
H(bus) = 2.5;
D(bus) = 2;
% OGR ve Uyarma sistem parametrelerinin alınması
KA(bus) = 50;
TA(bus) = 0.060;
VRmax(bus) = 1.0;
VRmin(bus) = -1.0;
TE(bus) = 0.440;
KE(bus) = -0.0393;
TF(bus) = 1.0;
KF(bus) = 0.07;
AEx(bus) = 0.0013;
BEx(bus) = 1.156;
%Sbratio(bus) = 1000/920.35;%makinanın baz gücünün bulunması
%rs(bus) = 0.0048;
%xd(bus) = 1.790;
%xq(bus) = 1.660;
%xls(bus) = 0.215;
%xpd(bus) = 0.355;
%xpq(bus) = 0.570;
%Tpdo(bus) = 7.9;
%Tpqo(bus) = 0.410;
%H(bus) = 3.77;
%D(bus) = 2;
%KA(bus) = 50;
%KA(bus) = 200;
%TA(bus) = 0.06;
%VRmax(bus) = 1;
%VRmin(bus) = -1;
%TE(bus) = 0.052;
%KE(bus) = -0.0465;
%TF(bus) = 1.0;
%KF(bus) = 0.0832;
%AEx(bus) = 0.0012;
%BEx(bus) = 1.264;
end % for list_B

```

% Sisteme ait bazı p.u başlangıç değerlerinin girilmesi

```

Vt(1) = 1.0+0*j;
Vt(2) = 1.0+0*j;
St(1) = 0.8 + 0.6*j; % generatör çalışma için pozitif
St(2) = 0.8 + 0.6*j; % Motor çalışma için negatif

```

```
%*****BAŞLANGIÇ DEĞERLERİNİN ALIMININ SONU *****
%*****SÜREKLİ DURUM DEĞERLERİNİN HESABININ BAŞLAMASI*****
```

```
for nu = 1:n_unit
```

```
% It – generatörün akım fazörü
% St – generatörün kompleks çıkış gücü
% Vt – terminal gerilim fazörü
% Eq - q-ekseni reaktansinin arkasındaki gerilim
% Vi – sonsuz güçlü baranın fazör gerilimi
% I - with Eq ile q eksenine uyumlu dq akımı
```

```
It(nu) = conj(St(nu)/Vt(nu));
Eq(nu) = Vt(nu) + (rs(nu) + j*xq(nu))*It(nu);
delt(nu) = angle(Eq(nu)); % Vt ye göre Eq'nun açısı
```

```
% rotor referans çatıya göre generatörün dq değerleri
```

```
I(nu) = It(nu)*(cos(delt(nu)) - sin(delt(nu))*j);
Iqo(nu) = real(I(nu));
Ido(nu) = -imag(I(nu));
Efo(nu) = abs(Eq(nu)) + (xd(nu)-xq(nu))*Ido(nu);
Vto(nu) = Vt(nu)*(cos(delt(nu)) - sin(delt(nu))*j);
Vqo(nu) = real(Vto(nu));
Vdo(nu) = -imag(Vto(nu));
Sto(nu) = Vto(nu)*conj(I(nu));
Eqpo(nu) = Vqo(nu) + xpd(nu)*Ido(nu) + rs(nu)*Iqo(nu);
Edpo(nu) = Vdo(nu) - xpd(nu)*Iqo(nu) + rs(nu)*Ido(nu);
Pemo(nu) = real(Sto(nu));
Qemo(nu) = imag(Sto(nu));
Tmech(nu) = Pemo(nu);
delio(nu) = delt(nu);
vref(nu) = abs(Vto(nu));
```

```
end
```

```
%*****SÜREKLİ DURUM DEĞERLERİNİN HESABININ SONU*****
%*****ŞEBEKE DEĞERLERİNİN HESABININ BAŞLAMASI*****
```

```
% Generatörlerin transient empedanslarında dikkate alınması ile oluşturulan
% sonsuz güçlü şebekenin Y admitans matrisinin hesabı
```

```
Y= zeros(4);
Hmod= zeros(4);
```

```
y14=1/(0.004+j*0.1 + (rs(1)+j*xpd(1))*Sbratio(1)); % 1/z14
y24=1/(0.004+j*0.1 + ((rs(2)+j*xpd(2))*Sbratio(2))); % 1/z24
y34=1/(0.008+j*0.3); % 1/z14
```

```

%y34=1/(0.002+j*0.1); % increase network strength, cases 3,4,5
y40=1.2 -j*0.6; % conj(Pload + jQload)/|Vload|^2
Y(1,1) = y14 ;
Y(1,2) = 0;
Y(1,3) = 0;
Y(1,4) = -y14;
Y(2,1) = 0;
Y(2,2) = y24;
Y(2,3) = 0;
Y(2,4) = -y24;
Y(3,1) = 0;
Y(3,2) = 0;
Y(3,3) = y34;
Y(3,4) = -y34;
Y(4,1) = -y14;
Y(4,2) = -y24;
Y(4,3) = -y34;
Y(4,4) = y40+y14+y24+y34;

```

```

% Y bus' ı düzenlersek

```

```

gbus=4; % satır sütun sayısı
ix = [1 2 3 ]; % indeks vektör
Hmod(gbus,gbus)=1/Y(gbus,gbus);
Hmod(ix,gbus)=Y(ix,gbus)/Y(gbus,gbus);
Hmod(gbus,ix)=-Y(gbus,ix)/Y(gbus,gbus);
Hmod(ix,ix) = Y(ix,ix) - (Y(ix,gbus)*Y(gbus,ix))/Y(gbus,gbus);

```

```

RZ = real(Hmod);
IZ = imag(Hmod);

```

```

%*****ŞEBEKE DEĞERLERİNİN HESABININ BAŞLAMASI*****
%****UYARMA SİSTEM PARAMETRELERİNİN HESABININ BAŞLAMASI*****

```

```

vqe3=1;
vde3=0;
iqe4=0;
ide4=0;

```

```

for nu = 1:n_unit
slip(nu) = 0;
Eqp(nu) = Eqpo(nu);
Edp(nu) = Edpo(nu);
Ef(nu) = Efo(nu);
VR(nu) = KE(nu)*Efo(nu);
Vs(nu) = Efo(nu)*KF(nu)/TF(nu);
end;

```

```

%*****UYARMA SİSTEM PARAMETRELERİNİN HESABININ SONU*****

```

ÖZGEÇMİŞ

Beyda TAŞAR, 1986'da Elazığ'da doğdu. Lise eğitimini Elazığ Merkez Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2004 – 2008 yılları arasında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü bitirerek Elektrik Mühendisi unvanını aldı. Kasım 2009–2010 tarihleri arasında Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı. Kasım 2010 tarihinden beri ise Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.