MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ GÜÇ SİSTEMİ ENTEGRASYONUNDA ESNEK ALTERNATİF AKIM İLETİM SİSTEMİ (FACTS) KULLANIMININ ETKİLERİ

Güldane ÖREN BOGOÇLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Seçil VARBAK NEŞE

İSTANBUL, 2024

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamı sürdürmekte desteklerini esirgemeyen ve beni her doğrultuda yönlendiren kıymetli hocam Dr.Öğr.Üyesi Seçil VARBAK NEŞE ‘ye benim bugüne gelmemi sağlayan ve ellerini her zaman üzerinde hissettiğim canım annem Fatime ÖREN, canım babam Dursun ÖREN’E, benim her konuda yanımda olan kardeşlerim Gülcan ÖREN ve Yunus ÖREN ‘e , tez süresince sürekli yanımda olan ve neşeleri ile canıma can katan canım evlatlarım Yusuf Efe ve Buğleme, eşim Cengiz BOGOÇLU ve ablam Selvihan BOGOÇLU’ya teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca çalışmamın modellenmesi ve gerçekleştirilmesi için kullandığım yazılım programı için kullanım hakkı sağlayan DİgSİLENT firmasına teşekkürlerimi sunarım.

MAYIS 2024 **Güldane ÖREN BOGOÇLU**

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ..... **i**

İÇİNDEKİLER ..... **ii**

ÖZET ..... **vii**

ABSTRACT ..... **viii**

KISALTMALAR ..... **ix**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **xi**

TABLO LİSTESİ ..... **xv**

1.GİRİŞ **1**

1.1.Tezin Amacı 1

1.2.Litatür Özeti 1

2. GÜÇ SİSTEMİ ESNEKLİĞİ **7**

2.1. Güç Sistemi Esnekliği 7

2.2. Değişken YEK Entegrasyonunun Güç Sistemi Esnekliğine Etkisi 7

2.3. Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (FACTS) 8

2.3.1. Statik var kompansatör (SVC) 11

2.3.2. Statik seri kompansatör (STATCOM) 12

2.3.3. Statik senkron kompansatör (SSSC) 13

2.3.4. Tristör kontrollü seri kompansatör (TCSC) 13

3.MATERYAL VE YÖNTEM **14**

3.1. DİgSİLENT PowerFactory 16

3.2.IEEE 118 Bara Modeli 16

3.3.YEK Modelleri ve Senaryolar 18

4. BULGULAR VE TARTIŞMA..... 20

4.1 %20 Penetrasyon Oranı %100 Üretim Kapasitesi 20

4.1.1. %20 penetrasyon oranı %100 üretim kapasitesi N-1/N-2 hata durumları..... 21

4.1.1.1. B23 N-1 hata durumu..... 21

4.1.1.2. B84 N-1 hata durumu..... 35

4.1.1.3. B25 N-1 hata durumu 41

4.1.1.4. Hat (B23-B25) N-1 hata durumu..... 47

4.1.1.5. B25 ve B84 N-2 hata durumu..... 53

4.2. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi 58

4.2.1. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi N-1/N-2 hata durumları..... 59

4.2.1.1. B23 N-1 hata durumu..... 60

4.2.1.2. B84 N-1 hata durumu..... 68

4.2.1.3. B25 N-1 hata durumu 78

4.2.1.4. Hat (B23-B25) N-1 hata durumu..... 87

4.2.1.5. B25 ve B84 N-2 hata durumu..... 97

5.SONUÇ 103

6.KAYNAKLAR 106

EK 1: YE Penetrasyonu Generatör Bilgileri **..... 115**

EK 2: YE Penetrasyonu Generatör Bilgileri **..... 116**

EK 3: YE Penetrasyon Resimleri**..... 117**

EK 4: YE Penetrasyon Resimleri**..... 118**

EK 5: FACTS Cihazları %40 YE B23 N-1 Simülasyon Sonuçları**..... 119**

EK6: FACTS Cihazları %40 YE B23 N-1 Simülasyon Sonuçları**..... 120**

EK7: FACTS Cihazları %40 YE B84 N-1 Simülasyon Sonuçları**..... 121**

EK8: FACTS Cihazları %40 YE B84 N-1 Simülasyon Sonuçları..... **122**

EK9: FACTS Cihazları %40 YE B26 N-1 Simülasyon Sonuçları..... **123**

EK10: FACTS Cihazları %40 YE B26 N-1 Simülasyon Sonuçları..... **124**

EK11: FACTS Cihazları %40 YE Hat(B23-B25) N-1 Simülasyon Sonuçları.. **125**

EK12: FACTS Cihazları %40 YE Hat(B23-B25) N-1 Simülasyon Sonuçları.. **126**

EK13: FACTS Cihazları %40 YE N-2 Simülasyon Sonuçları **127**

EK14: FACTS Cihazları %40 YE N-2 Simülasyon Sonuçları **128**

EK15: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi B23 N-1 Simülasyon Sonuçları..... **129**

EK16: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi B23 N-1 Simülasyon Sonuçları..... **130**

EK17: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi B84 N-1 Simülasyon Sonuçları..... **131**

EK18: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi B84 N-1 Simülasyon Sonuçları..... **132**

EK19: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi B26 N-1 Simülasyon Sonuçları..... **133**

EK20: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi B26 N-1 Simülasyon Sonuçları..... **134**

EK21: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi Hat(B23-B25) N-1 Simülasyon Sonuçları..... **135**

EK22: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi Hat(B23-B25) N-1 Simülasyon Sonuçları..... **136**

EK23: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi N-2 Simülasyon

Sonuçları **137**

EK24: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi N-2 Simülasyon Sonuçları **138**

EK25: FACTS Cihazları %60 YE B23 N-1Simülasyon Sonuçları **139**

EK26: FACTS Cihazları %60 YE B23 N-1Simülasyon Sonuçları **140**

EK27: FACTS Cihazları %60 YE B84 N-1Simülasyon Sonuçları **141**

EK28: FACTS Cihazları %60 YE B84 N-1Simülasyon Sonuçları **142**

EK29: FACTS Cihazları %60 YE B26 N-1Simülasyon Sonuçları **143**

EK30: FACTS Cihazları %60 YE B26 N-1Simülasyon Sonuçları **144**

EK31: FACTS Cihazları %60 YE Hat(B23-B25) N-1Simülasyon Sonuçları ... **145**

EK32: FACTS Cihazları %60 YE Hat(B23-B25) N-1Simülasyon Sonuçları ... **146**

EK33: FACTS Cihazları %60 YE N-2 Simülasyon Sonuçları **147**

EK34: FACTS Cihazları %60 YE N-2 Simülasyon Sonuçları **148**

EK35: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi B23 N-1 Simülasyon Sonuçları **149**

EK36: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi B23 N-1 Simülasyon Sonuçları **150**

EK37: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi B84 N-1 Simülasyon Sonuçları **151**

EK38: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi B84 N-1 Simülasyon Sonuçları **152**

EK39: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi B26 N-1 Simülasyon Sonuçları **153**

EK40: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi B26 N-1 Simülasyon Sonuçları **154**

EK41: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi Hat(B23-B25) N-1 Simülasyon Sonuçları **155**

EK42: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi Hat(B23-B25) N-1 Simülasyon Sonuçları **156**

EK43: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi N-2 Simülasyon Sonuçları **157**

EK44: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi N-2 Simülasyon Sonuçları **158**

ÖZGEÇMİŞ……...…**143**

ÖZET

YENİLEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ GÜÇ SİSTEMİ ENTEGRASYONUNDA ESNEK ALTERNATİF AKIM İLETİM SİSTEMİ (FACTS) KULLANIMININ ETKİLERİ

Değişen çevre koşulları, artan çevre kirliliği, fosil yakıtlara bağımlılığın artması, arz-talep dengesinde yaşanan sorunların önüne geçmek ve temiz enerji üretimini arttırmak amaçlı son zamanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelim artmıştır. Artan bu yönelim sonucunda günümüzde değişken yenilenebilir kaynaklı enerji üretimlerinin güç sistemlerinde payları giderek baskın hale gelmektedir. Bu durumla birlikte beklenmedik durumlarla baş edebilme yeteneği olan güç sistemi esnekliği kavramı yeni bir boyut kazanmıştır. üretim tarafında da güç sistemi olağan çalışmasında belirsizlikler mevcuttur. Bu belirsizlikler altında güç sisteminin kararlılığını koruyabilmesi de esnek alternatif akım iletim sistemi cihazlarının etkinlikleri araştırılmaktadır. Bu tez çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu frekans ve gerilim değişimleri açısından DıgSILENT PowerFactory yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. IEEE 118 baralı test sisteminde değişken yenilenebilir enerji penetrasyonu farklı oranlarla değerlendirilmiş ve bu değerlendirme sonucunda her bir penetrasyon oranının üretim kapasiteleri değiştirilerek üretimde belirsizlik modellenmiştir. Bu artan sistem senkron olmayan penetrasyon oranı ve kesintili üretim şartlarında N-1/N-2 hata durumları oluşturulmuştur. Modellenen hata durumlarındaki gerilim ve frekans kararlılığını korumada Statik Var Sistem (SVS), Tristör Kontrollü Seri Kompansatör (TCSC), Statik Senkron Komapansatör (STATCOM) ve Statik Senkron Seri Kompansatör (SSSC) esnek alternatif iletim sistemi cihazlarının etkinlikleri analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Penetrasyonu, Güç Sistemi Esnekliği, N-1/ N-2 Hata Durumu, Frekans ve Gerilim Kararlılığı, Esnek Alternatif Akım İletim Sistemi

ABSTRACT

EFFECTS OF TE USE OF FLEXIBLE ALTERNATIVE CURRENT TRANSMISSION SYSTEM (FACTS) IN THE POWER SYSTEM INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES

Recently, the tendency to use renewable energy resources has increased in order to prevent changing environmental conditions, increasing environmental pollution, increasing dependence on fossil fuels, problems in the supply-demand balance and to increase clean energy generation. As a result of this increasing trend, today the share of variable renewable energy generation in power systems is becoming increasingly dominant. In this station, the concept of power system flexibility, which is the ability to cope with unexpected situations. No longer, there are uncertainties in the normal operation of the power system on the generation side as well. The effectiveness of flexible alternating current transmission system devices in maintaining the stability of the power system under these uncertainties is being investigated. In this thesis study, the integration of renewable energy sources was analyzed in terms of frequency and voltage fluctuations using DıgSILENT PowerFactory software. In the IEEE 118 busbar test system, variable renewable energy penetration was evaluated with increasing integration rates, and as a result of this evaluation generation uncertainties were modelled by changing the generationtion capacities of each integration ratio. Under these increased non-synchronous penetration and intermittent generation conditions, N-1/N-2 error situations were created. The effectiveness of flexible alternative transmission system devices such as Static Var System (SVS), Thyristor Controlled Series Compensator (TCSC), Static Synchronous Compensator (STATCOM) and Static Synchronous Series Compensator (SSSC) in maintaining voltage and frequency stability in modeled error situations has been analyzed and compared.

Keywords: Renewable Energy Penetration, Power System Flexibility, N-1/ N-2 Error Condition, Frequency and Voltage Stability, Flexible Alternating Current Transmission System

KISALTMALAR

AG : Alçak Gerilim

AVR **:** Automatic Voltage Regulator **/** Otomatik Gerilim Regülatörü

CCGT **:** Combined Cycle Gas Turbine / Kombine Çevrim Gaz Türbini

CHP : Combined Heat and Power / Birleşik Isı ve Güç

DER **:** Distributed Energy Resources **/** Dağıtılmış Enerji Kaynakları

DFIG **:** Double Fed Asynchronous Generator **/** Çift Beslemeli Asenkron Generatör

ENTSO-E **:** European Electricity Transmission System **/** Avrupa Elektrik İletim Sistemi

FACTS **:** Flexible Alternating Current Transmission Systems **/** Esnek Alternatif Akım İletim Sistemi

GE **:** Güneş Enerjisi

GES **:** Güneş Enerji Santrali

HVAC : High Voltage Alternating Current / Yüksek Voltaj Alternatif Akım

HVDC : High Voltage Direct Current / Yüksek Voltaj Doğru Akım

IEA **:** International Energy Agency **/** Uluslararası Enerji Ajansı

IEEE **:** Institute of Electrical and Electronics Engineers / Elektrik ve Eloktronik Mühendisleri Enstitüsü

IPFC : Interline Power Flow Controller / Hat Arası Güç Akış Kontrolörü

MG : Micro Grid /Mikro Şebeke

MW **:**Megawatt

NERC :North American Electric Reliability Association / Kuzey Amerika Elektrik Güvenirlik Kurumu

PSS **:** Power System Controller **/** Güç Sistemi Denetleyicisi

RE **:** Rüzgar Enerjisi

RES **:** Rüzgar Enerji Santrali

SG **:** Senkron Generatör

SVS, SVC : Static Var (System/Compensator) / **(**Statik Var Sistem/Kompansatör)

SSSC :Static Synchronous Series Compensator/ Statik Senkron Seri Kampansatör

STATCOM : Static Synchronous Compensator / Statik Senkron Kompansatör

TS :Transmission Switching / İletim Anahtarlama

TCR : Thyristor Controlled Reacto / Tristör Kontrollü Reaktör

TSR : Thyristor Switched Reactor / Tristör Anahtarlamalı Reaktör

TCSC :Thyristor-Controlled Series Capacitor Tristör Kontrollü Seri Kompansatör

UPFC **:** Unified Power Flow Control **/** Birleşik Güç Akış Kontrolü

VSC **:** Voltage Source Converter / Gerilim Kaynak Dönüştürücü

YE : Yenilenebilir Enerji

YEK : Yenilenebilir Enerji Kaynağı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1. FACTS cihazları[54] 11

Şekil 3. 1.1993 yılı 118 bara test modeli [119]…….. 17

Şekil 3.2. İş Akış Diyagramı 18

Şekil 4. 1. %20 penetrasyon oranı %100 üretim kapasitesi modeli…….21

Şekil 4. 2. %20 YE %100 çalışma kapasitesi B23 N-1.....22

Şekil 4. 3. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem frekansı 24

Şekil 4. 4. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu STATCOM (B83 barasında)'lu sistem bara gerilimleri.....26

Şekil 4. 5 %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu TCSC'li sistem bara gerilimleri 27

Şekil 4. 6. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu TCSC (B25-B27)'li sistem gerilimleri.....29

Şekil 4. 7. %20 penetrasyon oranı %100 üretim kapasitesi B23 N-1 hata durumu TCSC(B25-B83)'li sistem bara gerilimleri 30

Şekil 4. 8. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu SSSC (B23-B24)'li sistem bara gerilimleri.....33

Şekil 4. 9. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu SSSC (B25-B83)'li sistem B83 bara gerilimi.....33

Şekil 4. 10. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu SSSC (B83-B25)'li sistem B83 bara gerilimi.....34

Şekil 4. 11. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu B83 frekansı 35

Şekil 4. 12. %20 YE penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu STATCOM (B83)'lu sistem bara gerilimleri.....38

Şekil 4. 13. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu STATCOM (B84)

‘lu sistem bara gerilimleri.....38

Şekil 4. 14. %20 YE penetrasyonu oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu bara gerilimleri 39

Şekil 4. 15. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 N-1 hata durumu bara gerilimleri .44

Şekil 4. 16. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 N-1 hata durumu SSSC(B23-B25)’li sistem B24 bara gerilimi.....46

Şekil 4. 17. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 N-1 hata durumu SSSC(B23-B25)’li sistem B27 bara gerilimi.....46

Şekil 4. 18. %20 penetrasyon oranı %100 üretim Hat (B23-B25) N-1 hata durumu bara gerilimleri 51

Şekil 4. 19. %20 penetrasyon oranı %100 üretim Hat (B23-B25) N-1 hata durumu SSSC (B25-B23)’li sistem B24 bara gerilimi.....51

Şekil 4. 20. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu bara gerilimleri 53

Şekil 4. 21. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 ve B83 N-2 hata durumu STATCOM (B83)’lü sistem B83 bara gerilimi 55

Şekil 4. 22.%20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu SSSC (B25-B83)’li sistem B89 bara gerilimi.....58

Şekil 4. 23. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi frekans grafiği.....59

Şekil 4. 24. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi gerilim grafiği.....59

Şekil 4. 25. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B23 N-1 gerilim grafiği.....60

Şekil 4. 26. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B23 N-1 frekans grafiği 61

Şekil 4. 27. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B23 N-1 STATCOM(B83)’lü gerilim grafiği 63

Şekil 4. 28. %20 YE enerji penetrasyonu %75 üretim B23 N-1 gerilimleri.....64

Şekil 4. 29. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B23 N-1 TCSC(B27-B25)’li gerilim grafiği 66

Şekil 4. 30. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B23 N-1 TCSC(B84-B25)'li gerilim grafiği 66

Şekil 4. 31. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 gerilim grafiği.....69

Şekil 4. 32. . %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 frekans grafiği 69

Şekil 4. 33. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 SVS B25 gerilimleri71

Şekil 4. 34. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 SVS B25 gerilimleri71

Şekil 4. 35. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 TCSC (B25-B83) gerilimleri 74

Şekil 4. 36. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 TCSC (B25-B84) gerilimleri 74

Şekil 4. 37. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 SSSC (B27-B25) gerilimleri 77

Şekil 4. 38. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 SSSC (B25-B83) gerilimleri 77

Şekil 4. 39. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 SSSC (B25-B83) frekans grafiği 78

Şekil 4. 40. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 N-1 gerilim grafiği.....79

Şekil 4. 41. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 N-1 frekans grafiği 79

Şekil 4. 42. %20 YE enerji penetrasyonu %75 üretim B25 N-1 gerilimleri 80

Şekil 4. 43. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 N-1 SVS B25 gerilimleri81

Şekil 4. 44. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 N-1 TCSC(B23-B25) gerilimleri 84

Şekil 4. 45. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 N-1 SSSC(B25-B83) gerilimleri 85

Şekil 4. 46. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 N-1 SSSC(B27-B25) frekans grafiği 87

Şekil 4. 47. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 gerilimleri

.....87

Şekil 4. 48. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 SVS B23 frekans grafiği.....89

Şekil 4. 49. %20 YE enerji penetrasyonu %75 üretim Hat (B23-B25) gerilimleri.....91

Şekil 4. 50. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 TCSC(B25-B27) gerilimleri.....93

Şekil 4. 51. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 TCSC(B25-B27) gerilimleri.....93

Şekil 4. 52. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 TCSC(B84-B25) gerilimleri.....94

Şekil 4. 53. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 TCSC(B84-B25) frekans grafiği 94

Şekil 4. 54. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 SSSC(B23-B25) gerilimleri.....96

Şekil 4. 55. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 SSSC(B25-B83) gerilimleri.....97

Şekil 4. 56. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 ve B84 N-2 gerilimleri..98

Şekil 4. 57. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 ve B84 N-2 frekans grafiği 98

Şekil 4. 58. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 ve B84 N-2 STATCOM B83 gerilimleri 100

TABLO LİSTESİ

Tablo 4. 1. YE penetrasyon sonuçları.....20

Tablo 4. 2. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....23

Tablo 4. 3. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları.....25

Tablo 4. 4. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu TCSC'li sistem bara gerilim-frekans sonuçları.....28

Tablo 4. 5. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 SSSC'l,i sistem gerilim-frekans sonuçları.....32

Tablo 4. 6. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....36

Tablo 4. 7. %20 YE penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları.....37

Tablo 4. 8. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....40

Tablo 4. 9. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frakans sonuçları.....41

Tablo 4. 10. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 N-1 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....42

Tablo 4. 11. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları.....43

Tablo 4. 12. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 N-1 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....45

Tablo 4. 13. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 N-1 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....47

Tablo 4. 14. %20 penetrasyon oranı %100 üretim Hat (B23-B25) N-1 hata durumu SVS'li

sistem gerilim-frekans sonuçları 48

Tablo 4. 15. %20 penetrasyon oranı %100 üretim Hat (B23-B25) N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları 49

Tablo 4. 16. %20 penetrasyon oranı %100 üretim Hat (B23-B25) N-1 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları 50

Tablo 4. 17. %20 penetrasyon oranı %100 üretim Hat (B23-B25) N-1 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları 52

Tablo 4. 18. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları 54

Tablo 4. 19. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları 55

Tablo 4. 20. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları 56

Tablo 4. 21. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları 57

Tablo 4. 22. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B23 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları 62

Tablo 4. 23. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B23 N-1 hata durumu STATCOM'LU sistem gerilim-frekans sonuçları 63

Tablo 4. 24. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B23 N-1 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları 65

Tablo 4. 25. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B23 N-1 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları 66

Tablo 4. 26. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B84 N-1 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları 70

Tablo 4. 27. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B84 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları 72

Tablo 4. 28. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B84 N-1 hata durumu TCSC'li 73

Tablo 4. 29. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B84 N-1 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....76

Tablo 4. 30. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25 N-1 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....81

Tablo 4. 31. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları.....82

Tablo 4. 32. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25 N-1 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....83

Tablo 4. 33. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25 N-1 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....86

Tablo 4. 34. %20 penetrasyon oranı %75 üretim Hat(B23-B25) N-1 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....88

Tablo 4. 35. %20 penetrasyon oranı %75 üretim Hat(B23-B25) N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları.....89

Tablo 4. 36. %20 penetrasyon oranı %75 üretim Hat(B23-B25) N-1 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....92

Tablo 4. 37. %20 penetrasyon oranı %75 üretim Hat(B23-B25) N-1 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....95

Tablo 4. 38.%20 penetrasyon oranı %75 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....99

Tablo 4. 39. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları.....100

Tablo 4. 40. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25VE B84 N-2 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....101

Tablo 4. 41. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25VE B84 N-2 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları.....102

1.GİRİŞ

Son yıllarda artan çevre kirliliği hassasiyeti, fosil yakıtlarında gelecekte oluşabilecek kaynak sıkıntıları temiz ve sürdürülebilir enerji kullanımı tercihini arttırmaktadır. Bu yönelimle Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (YEK) enerji üretimindeki payları hızla artmaktadır. Enerji üretiminde artan bu oran mevcut güç sistemlerinde kararlılık sorunlarına da yol açabilmektedir. Güç sistemlerinde esneklik kavramı özetle planlı ya da beklenmedik bir durum karşısında arz-talep dengesini korumak için hızlı yanıt verme durumu olarak nitelendirilebilir. Bu konu hakkında birçok farklı tanım yapılmış ve esnekliği artırmak için çeşitli alanlarda çalışmalar bulunmaktadır. Bunlar; üretim, iletim, depolama ve talep-arz dengesinde esneklik olarak sınıflandırılabilir. Bu tezde değişken yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretimi ihtiva etmesi durumunda güç sistemlerinin esnekliğini iyileştirmek amaçlı Esnek Alternatif Akım İletim Sistemi (FACTS) cihazlarının etkinliği araştırılmıştır.

1.1.Tezin Amacı

Değişken enerji kaynaklarının güç sistemine entegrasyonu güç sisteminde frekans ve gerilim kararsızlıklarına neden olmaktadır. Birçok alanda güç sisteminde meydana gelen kararsızlıklarının giderilmesi için çalışmalar yürütülmüş ve yürütülmeye devam etmektedir. Yapılan çalışmalar hakkında elde edilen bilgiler doğrultusunda yüksek gerilim seviyesinde değişken YEK penetrasyonu sonrası sistemde ortaya çıkan gerilim ve frekans kararsızlıklarını analiz etmek için DıgSILENT PowerFactory yazılımı kullanılmıştır. IEEE 118 bara modeli gerilim ve frekans kararlılığını sağlamak için esnek alternatif akım iletim sistemi cihazları ile donatılmıştır. Elde edilen sonuçlarla farklı FACTS cihazlarının güç sistemi esnekliğini artırıcı etkilerini karşılaştırmak üzerine yeni bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

FACTS cihazlarının güç sisteminde senkron olmayan penetrasyonda etkinliğini belirlemek için senaryolar oluşturulmuştur. Senkron olmayan penetrasyon durumunu modellemek için kurulu gücün %20, %40 ve %60'ı oranlarında yüksek gerilim seviyesinden değişken YEK bağlantısı için IEEE 118 bara modeli güncellenmiştir. Değişken YEK kaynaklı üretimde belirsizliği modellemek için her bir penetrasyon oranında %100 ve %75 üretim kapasiteli çalışmalar simüle edilmiştir. Bu senaryolarda B23, B84 baralarında bulunan Rüzgar Enerji

Santraline (RES) B25 Güneş Enerji Sanatraline (GES) ve Hat(B23-B25) iletim hattına N-1 hata durumu uygulanmıştır. Daha sonrasında B25 GES'ne ve B84 RES'ne birlikte N-2 hatası uygulanarak senaryolarda oluşan gerilim ve frekans değişimleri gözlenmiştir. Frekans ve gerilim kararlılığının iyileştirilmesi için SVS, STATCOM, SSSC ve TCSC FACTS cihazları IEEE 118 bara modeline eklenerek değişken YEK penetrasyonunda N-1/N-2 hata durumlarındaki etkilerini gözlemlenmiştir.

1.2.Litatür Özeti

Güç sistemi enerji üretim noktasından son tüketici noktasına kadar işleyen süreci ve sürecin işleyişini sağlayıcı nitelikte tüm donanımı kapsayan bir terimdir. İşleyen sürecin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi esneklik teriminin de ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Esneklik ile ilgili çeşitli tanımlamalarda bulunulmuş ve çoğu tanımda da güç sisteminde esneklik gerekliliği konusunda ortaya paydaya varılmıştır. Ortak payda çerçevesinde güç sistemi esnekliği güç sisteminin güvenliğini ve ekonomik işleyişini düzenli bir şekilde yürütmeyi amaçlayan planlı ya da beklenmedik durum karşısında hızlı uyum sağlamak için kaynaklarını bu doğrultuda kullanma yeteneği ve sistem kararlılığı parametrelerinden olan gerilim ve frekans kararlılığını sürdürme açısından hızlı cevap verme hali olarak tanımlanmıştır [1] Ayrıca sistem esnekliği güç sistemlerinde oluşan arz ve talepteki değişken ve belirsiz durum karşısında yanıt verme yeteneği, YE'nin güç sistemi entegrasyonundan kaynaklanan değişkenlik ve belirsizlikleri barındıran ve bu doğrultuda işletme rezerv kapasitelerini dikkate almayı vurgulayan bir kavram olarak nitelenmiştir [2, 3]. Güç sisteminin, talebindeki ve güç kaynağındaki büyük dalgalanmalara hızla yanıt verme yeteneği de operasyonel esneklik olarak tanımlanmaktadır [4].

Yapılan çalışmalarda esnekliğini YE'lerin güç sistemine entegrasyonu sonucu oluşan belirsizlikler karşısında da önemini arttırdığı görülmüştür. Literatürde güç sistemi esnekliğini arttırmak üzerine elektronik tabanlı FACTS cihazların kullanımı üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Artan YE penetrasyonlu FACTS cihazlarının sisteme dahil edilmesi ilgi çekmektedir. Güç sisteminde iletim parametrelerinin esnekliğini arttıran FACTS cihazları; tıkanıklık kontrolü, yük paylaşımı, gerilim ayarı, güç faktörü iyileştirmesi, aktif ve reaktif güç akış kontrolü, güç sistemi stabilizasyonu, güç sistemindeki değişimlere hızlı yanıt verme ve döngüsel akış kontrolörü olarak kullanılan güç elektroniği

tabanlı kontrolör olarak tanımlanmaktadır. Yapılan tanımlar doğrultusunda sisteme bağlanma şekillerinin değişkenlik gösterdiği FACTS cihazları şönt bağlantılı, seri bağlantılı, kombine seri şönt bağlantılı ve birleştirilmiş seri serisi bağlantılı kontrolörler olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Şönt bağlantılı kontrolörler tristör tabanlı ve Gerilim Kaynak Dönüştürücü (VSC) tabanlı olarak sınıflandırılmaktadır. VSC'lerin ise performans açısından daha iyi oldukları bilinmektedir [5-9]. Şönt bağlantılı tristör tabanlı tontrolörlerden Statik Var Kompansatör (SVC) hatta paralel bağlanarak reaktif değişkenleri absorbe etmek için Tristör Kontrollü Reaktör (TCR), Tristör Anahtarlamalı Reaktör (TSR) ve ihtiyaç anında reaktif değişkenleri enjekte eden Tristör Anahtarlamalı Kapasitörden (TSC) oluşmaktadır. Ayrıca yapısında güç faktörü düzeltmelerinde önemli rol oynamasını sağlayan harmoniklerin filtrelenmesi için filtrelerde bulunmaktadır [6]. Şönt bağlantılı gerilim dönüştürücülerinden olan STATCOM ise sistem gerilim kararlılığını iyileştirici, reaktif güç kompanzasyonu sağlayıcı etkinliğe sahiptir. STATCOM enerji kaynağından kontrollü gerçek gücü DC terminalinden çekebilir ve sistemle değiştirebilir [7]. SSSC güç iletim kontrolü için kullanılan VSC tabanlı seri FACTS kontrolörüdür [8]. Aynı zaman seri bağlantılı fakat tristör tabanlı olan TCSC güç sisteminde küçük sinyal kararlılığı ve geçici kararlılığı sağlayıcı nitelikte olan FACTS kontrolörüdür [10]. Birleşik Güç Akış Kontrolörüdür (UPFC) bara gerilimi büyüklüğünü, açısını ve hat empedansını ayarlama özelliğine sahip hızlı şönt seri FACTS cihazlarının kombinasyonudur. İletim kapasitesini artırırken, hat akışlarını kontrol edebildikleri ve bazı hatlarda tıkanıklık olasılıklarını azaltabilecekleri de görülmüştür. UPFC güç akışını ve gerilim barasını ayrı ayrı veya aynı anda kontrol edebilme yeteneğine sahiptir [10]. Her hat için seri reaktif kompanzasyon sağlayan güç bağlantısı aracılığı ile gerçek gücü aktaran kombine seri serisi kontrolör olan Hatlar Arası Güç Akış Kontrol (IPFC) FACTS cihazları arasında bulunmaktadır [8].

Rüzgar enerjisi entegrasyonu güç sistemleri esnekliğinde yalnızca üretim tarafında değil, aynı zamanda şebeke tarafında da, özellikle Hibrit Yüksek Gerilim Alternatif Akım (HVAC) ve Yüksek Gerilim Doğru Akım (HVDC) iletim şebekelerinde daha fazla esneklik gerektirir. Sisteme esneklik kazandırmak açısından yapılan çalışmada HVAC İletim Anahtarlamasının (TS) yanı sıra esnek düzenleme yeteneğinin esasıyla HVDC üzerinden güç akışlarını kontrol ederek potansiyel esneklikten yararlanmayı önermektedir. Bunları generatör üniteleri ile sinerjik olarak programlamak amacıyla, üretim ve TS'nin birlikte

optimizasyonunu gerçekleştirmek için rüzgarla entegre hibrit AC/DC güç sistemi için bir Güvenlik Kısıtlı Ekonomik Dağıtım (SCED) modeli sunulmaktadır. Burada, çoklu belirsizlikler (rüzgar gücü dalgalanması ve generatör arızası) dikkate alınmakta ve DC şebekesinin doğrusal güç akışı modeli benimsenmektedir. Daha sonra model, Sütun ve Kısıtlama Oluşturma (C&CG) algoritması yardımıyla yinelemeli çözüm için iki aşamalı (normal durum optimizasyonu ve düzeltici sevk doğrulaması) Sağlam Optimizasyon (RO) modeline dönüştürülmektedir. Modifiye edilmiş IEEE 14-bara ve IEEE 118-bara sistemi üzerindeki vaka çalışmaları, TS'nin HVDC'nin güç akışı dağıtımını optimize etmesine ve daha fazla esneklik sağlamasına yardımcı olabileceğini, bu arada HVDC iletim gücünü optimize ettiğini ve TS'nin tüm sistemin işletme maliyetini büyük ölçüde azaltabileceğini göstermektedir [11].

Seri ve şönt bağlantılı FACTS cihazlar ile ilgili artan YE penetrasyonlarında çalışmalar yürütülmektedir. Yürütülen çalışmalardan biri olan Mikro Şebekelerin (MG) tedarik açısından Dağıtılmış Enerji Kaynaklarına (DER) eklenmesi sonucu farklı dinamik ve statik yüklerin bağlanmasına izin verilmiştir. Fakat dinamik yüklerin artması sonucu yüksek gerilim kararsızlığı reaktif kompanzasyona gereksinimi artırmıştır. Ayrıca MG'nin şebeke çalışma modundan ada çalışma moduna geçişi sonrası DER'lerin kontrol eylemleri etkilenmiş ve operasyonel esnekliği tehlikeye sokarak MG'de gerilim düşüşüne neden olmuştur. Yapılan çalışmada FACTS cihazlarını özelliklede Dağıtım Statik Senkron Kompansatörleri (DSTATCOM) sisteme ekleyerek gerilim kararlılığının sağlanması amaçlanmış ve gerilim kararlılığını iyileştirmede etkin olduğu gözlenmiştir [12].

Başka bir çalışmada sistemin genel kararlılığını iyileştirmekten ziyade belirli bir konumdaki üretim/yük dalgalanmalarının mevcut sistem kararlılığı üzerindeki etkisini analiz etmeyi amaçlanmıştır. Sistemin dinamik davranışı ile ilgili esnekliğe yönelik alternatif bir yaklaşım önerilmiştir. Sistem dinamiğinin şebekedeki farklı konumlarda değişen yüklenmelerden nasıl etkilendiğini yansıtan esneklik indeksi tanıtılmıştır. İndeks nicel model tabanlı küçük sistem kararlılığına odaklanmış genelleştirilmiş duyarlılığa dayalı olarak geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada RES'in entegre edilebileceği veya yük dalgalanmalarının şebekenin küçük sistem kararlılığını minumum düzeyde etkileyeceği en uygun konumu belirleyen bir yöntem geliştirilmiştir. [13]. Birleşik Isı ve Güç (CHP) MG'lerde RES'lerin belirsizliklerinin üstesinden gelme yeteneğini ölçmeyi amaçlayan rampa kapasitesini temel

alan operasyonel esneklik metriği önerilmiştir. Şebekenin operasyonel esnekliğini artırmak için termal yükün özelliği kullanılmıştır. Şebekeden bağımsız CHP MG'si için sevk kararı ve gerçek zamanlı aşamalarını içeren gün içi sevkiyat stratejisi geliştirilmiştir. Uygulanan vaka çalışmalarında önerilen stratejinin elektrik gücündeki belirsizlikleri karşılayabileceği ve CHP MG'sinin güvenli ve ekonomik çalışmasını sağlayacağı görülmüştür [14].

İletim kapasitesini geliştirmek amaçlı güç sistemlerinde çok terminalli HVDC şebekelerin kullanımı önerilmiştir. Çalışma özellikle alanlar arası modlarla ilişkili eksik sönümlü salınımlarda küçük sinyal kararlılığı değerlendirmesine odaklanmıştır. VSC'ye dayalı çok terminalli HVDC sistemler, yakın mesafede bulunan RES'leri birbirine bağlamak için alternatif bir yol olarak sunulmuştur. Özellikle düşük rüzgar kapasitelerinde iletim kapasitesini geliştirmek amaçlı kullanımı değerlendirilmiştir. İki alanlı sistem küçük sinyal kararlılığı dikkate alınarak incelenmiştir. DC yeterli güç ayarının, AC şebeke kısıtlılığını hafifleteceği ve garantili güvenlik marjı ile daha yüksek iletime olanak sağlayacağını göstermiştir [15].

Başka bir çalışmada elektrik şebekelerinde DERler kullanımının artmasıyla ortaya çıkan kararsızlıkların çözümünde FACTS' lerin etkinliği incelenmiştir. Şebeke performansını ve kararlılığını iyileştirmek amacıyla gerçekleştirilen çalışmada STATCOM ve TCSC gibi FACTS sistemleri kullanılmıştır. Çalışmada FACTS kontrolörlerin elektrik şebekelerinin kararlılığının arttırdığı ve şebeke parametrelerindeki (rotor açısı köşelenmesi ve düğüm gerilimleri) istenmeyen titreşimleri azalttığı görülmüştür. İncelenen ağın kritik temizleme süresini ve dengeli üç fazlı arıza meydana geldiğinde düğüm gerilimlerini iyileştirmede TCSC ile STATCOM' dan daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir [16]. Değişen ve kesintili rüzgar santrallerinin şebekeye entegrasyonu ile beklenen toplam sevk maliyetini azaltmak amaçlanan çalışmada da FACTS cihazları güç sistemine entegre edilerek oluşturulan stokastik bir optimasyon modeli sunulmuştur. İki aşamalı oluşturulan optimasyon modelinde; ilk aşamada, optimum bir temel sevkiyat tanımlanmış ve ikinci aşamada ise her rüzgar senaryosu için FACTS esnekliklerinin operasyonel rezervlerin optimum dağılımını içeren bir model tanımlanmıştır. Önerilen modelin işletme maliyetini ve rüzgar kısıtlamalarını uygulanan çalışmalara göre azalttığı görülmüştür [17].

Ayrıca FACTS cihazları güç sisteminin birçok alanında ve beklenmedik hal durumunda sisteme dahil edilmektedir. FACTS cihazlarının sisteme dahil edildiği beklenmedik hal

durumları N-1 ve N-2 hal durumları olarak nitelenmektedir. N-1 hata/hal durumu elektrik güç sisteminde bir elemanın kesintisinden kaynaklı hata durumu olarak anılırken, birbirinden bağımsız iki elemanın kesintisinden kaynaklı beklenmedik durumlara ise N-2 hata durumu denilmektedir [18]. Güç sistemi içerisinde N-1 ve N-2 hata durumlarının sistem üzerine etkileri üzerine çalışmalar düzeltici eylemler arasında da--- FACTS cihazlarının kullanımı yer almaktadır. 500 kV ağ modelinde gerçekleştirilen çalışmada ise yük akış analizi incelenerek sisteme uygulanan N-1 hata durumlarının sistem üzerine etkileri gözlenmiştir [19]. Kuzey Amerika Elektrik Güvenirlilik Kurumunun (NERC) uyumluluk konulu çalışmasında da N-1/N-2 beklenmedik hata durumlarında sistem performansı değerlendirilmiştir [20]. N-1 beklenmedik hata durumunun geleneksel enerji kaynaklarından olan doğal gaz sisteminde işletme güvenliği bakımından tehtid edici etkileri kanıtlanmıştır [21]. N-1 beklenmedik hata durumlarında sistem güvenliği açısından TCSC'nin sisteme dahil edilmesi temelli bir matematiksel yöntem sunulmuştur. Sunulan matemetiksel yöntem sonucunda TCSC'nin güç akışı kontrol yeteneğinin sistemin daha iyi çalışmasının sağlayıcı nitelikte olduğu görülmüştür [22]. Mevcut enerji sistemine YEK'lerin entegrasyonu ile oluşan hibrit sistemin N-1 hata durumlarında sistem güvenilirliği ve sağlamlığı açısından simüle edilmiştir [23].

2. GÜÇ SİSTEMİ ESNEKLİĞİ

Esneklik güç sisteminin güvenliğini ve ekonomik işleyişini düzenli bir şekilde yürütmek amacıyla planlı yâda beklenmedik durumlara hızlı uyum sağlamak için kaynaklarını bu doğrultuda kullanma yeteneğidir. Diğer bir ifadeyle, esneklik sistem üzerinde oluşan değişken durum karşısında hızlı cevap verme yeteneği sayesinde sistemin sağlayacağı hizmeti sürdürebilme yetisidir. Esneklik konusunda yapılan çalışmalarda farklı esneklik tanımları yapılırken esnekliğe etki eden faktörlerde incelenmektedir.

2.1. Güç Sistemi Esnekliği

Güç sisteminin birçok alanında karşımıza çıkan esneklik kavramı ilk olarak bilim adamı Biliton tarafından gündeme getirilmiş olup birçok farklı tanımı yapılmıştır [24]. 1990 yıllarda güç sistemi esnekliği ile ilgili yapılan ilk tanımlamalar değişen planlama koşullarında iletim şebekesinde hızlı cevap verebilme yeteneği şeklindedir [25]. İlerleyen süreç içerisinde birçok çalışma yapılmış, gelişen ve değişen güç sisteminin yol açtığı artan esneklik ihtiyacına göre de çalışmalar farklı boyutlar kazanmıştır. Esneklik kavramı hakkında yapılan çalışmalar kaynak, yük, şebeke ve depolama üzerine oluşturulmuş bir sistem içerisinde yürütülmüştür [26].

Bir güç sisteminde esneklik, anlık taleplerin karşılanması, arz -talep dengesinin sağlanarak sistem güvenliğinin ve kararlılığının tüm zaman ölçütlerinde beklenen ve beklenmedik durumlarda uygun maliyetli ve güvenilir bir şekilde yönetilmesidir [27]. Güç sistemi esnekliği sistem kararlığı parametrelerinden olan gerilim ve frekans kararlılığını sürdürme açısından hızlı cevap verme hali; güç sistemlerinde oluşan arz-talep dengesindeki değişken ve belirsiz durum karşısında yanıt verme yeteneğidir [1, 2]. Güç sisteminin esnek olarak tanımlanabilmesi beklenmedik durumlarda da planlanabilmesini gerektirir. Yani arz ve talepteki dalgalanmalara karşı güç sistemi sürekli hizmet sağlayabilmelidir [28]. Uluslararası Enerji Ajansına (IEA) göre esneklik, güç sisteminin iletim ve dağıtım şebekelerinde ekonomik kısıtlamalara tabi olarak öngörülen veya öngörülmeyen durumlarda hızlı bir şekilde cevap verebilme halidir [29]. ERC ise IEA'dan farklı olarak net

yük dalgalanmalarına yanıt verme hali olarak güç sistemi esnekliğini tanımlamıştır [29]. Başka bir ifadeyle esneklik, zamansal korelasyonda hem azalan hem de artan eğilimler içinde yükteki belirsizliklere uyum sağlamayı ifade eder [30]. Tüm bu tanımlamaların ortak noktası esnek bir güç sistemi değişken durumlarda oluşan şartlara adapte olarak olası olumsuz sonuçları önleyebilmeli ve çalışmasını sürdürebilmelidir.

2.2. Değişken YEK Entegrasyonunun Güç Sistemi Esnekliğine Etkisi

Esneklik kavramı YEK'lerin kullanımının yaygınlaşmasıyla artan belirsizliklerin güç sistemi işleyişinde yol açtığı zorluklara karşı etkin bir rol oynamaktadır [31]. Modern YE sistemlerinde esneklik güvenli ve istikrarlı bir çalışma için zorunluluk olmasının yanı sıra YE'nin pozitif etkilerinden olan temiz enerji ve karbon azaltımı konusunda destekleyici bir yapıdadır [32]. Geleneksel dağıtım ağından farklı olarak YEK'in sisteme dâhil edilmesiyle beklentinin karşılanabilmesi açısından kaynak, işletme ve planlama konusunda sistem ne kadar esnek olursa entegrasyonda yaşanabilecek sorunlar azaltılabilir [33].

YEK penetrasyon oranları sistem üzerinde esneklik ölçütlerini etkilemektedir. Düşük penetrasyon oranında beklenmedik arıza durumlarında YEK'in devre dışı kalması yüksek penetrasyon oranına göre sistem kararlılığı üzerine etkisi yok denebilecek kadar azdır. Yüksek oranda entegrasyonu sağlanan YEK'in devre dışı kalması durumunda ise sistemde yaşanabilecek güç kaybı; artarda arıza durumlarının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. YEK'in devre dışı kalması gibi olası durumların yaşanmaması açısından güncel şebeke yönetmeliklerinin çoğu YE santrallerinin gerilim çöküşü gibi arıza durumlarında belirli bir süre devrede kalmasını ve düzeltici önlemler almasını talep etmektedir [34]. Şebeke bağlantı noktasında oluşan gerilim dalgalanmalarında Danimarka, Almanya ve Türkiye ± %10 normal çalışma koşulları olarak belirlenmişken İspanya normal çalışma koşullarını %90 ile %111,5 olarak belirlemiştir. Şebeke yönetmeliğine göre Danimarka normal çalışma koşulları frekans değerini RES'ler için 47-52 Hz ve GES'ler için 49,5-50,2 Hz arasında belirlerken; Almanya, Türkiye ve İspanya ise frekans değerini 47,5-51,5 Hz arası belirlemiştir [35].

Bir güç sistemi içerisinde YE üretimi ile esneklik arasındaki etkileşim dağıtım sisteminde problem çözümleyiciler ve fiyat oluşumu açısından incelenmiştir [36]. YE üretiminin güç sistemine dahil edilmesiyle esneklik marjında artan belirsizlikle başa çıkabilmek için

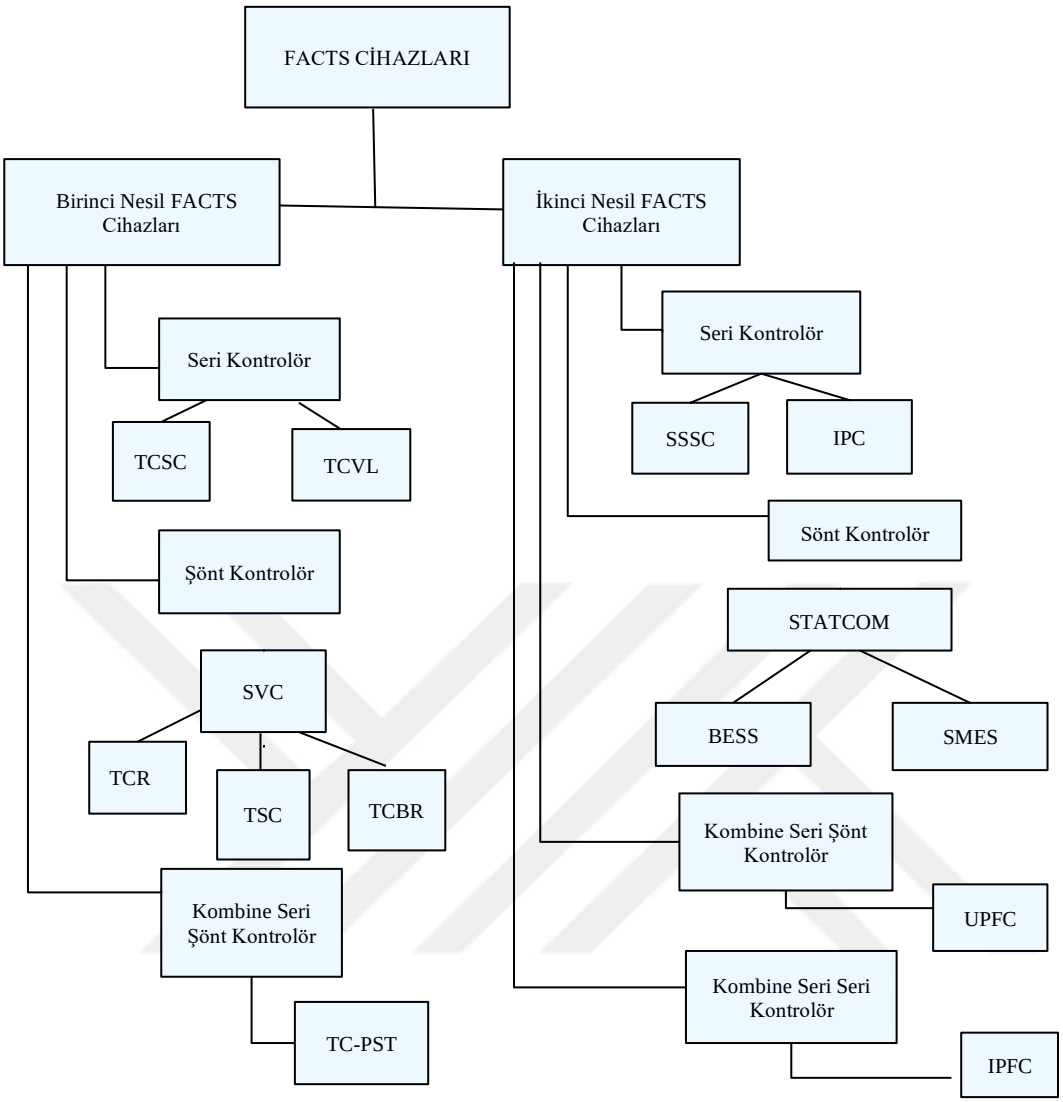
kaynak, ağ, yük ve güç bakımından esneklik ölçütleri değerlendirilmektedir [37]. Üç aşamada gerçekleştirilen çalışmada gün öncesi programlama, YE'nin sisteme dahil edilmesiyle gerçek zamanlı etkileşim süreci ve ileriye dönük programlanmış konsantre güneş enerjisi ile çalıştırılan skostastik bir model sunulmuştur [38]. YE üretiminin ve elektrik araçların güç sistemine entegrasyonunun artmasıyla ortaya çıkan belirsizliklerin önüne geçmek amacıyla hem yerel ağ hem de sistem çapında yerel kapasite pazarı tasarlanmıştır [39]. YEK penetrasyonu sonucu ortaya çıkan zorlukların üzerinden gelebilmek için önemini artıran sistem esnekliği düzeyini denetleyen hızlı rampalama değerlerini, saatlik talep tarafı yönetimini ve enerji depolamayı dikkate alan sistematik bir model amaçlanmıştır [40]. Geleneksel güç sisteminde kullanılan güç dengesi yerine YE entegrasyonu sonucu ortaya çıkan zorluklar planlama sürecinde artan esneklik ihtiyacına binaen esneklik dengesi dönüşümünü içeren yeni bir güç dengesi oluşturulmuştur [41]. Değişken YE entegrasyonu ile esneklik ihtiyacı planlama safhasında öngörülebilecek durumların ve sistem performansı bakımından gerekli değerlendirmelerin yapılması, işleyişin sağlanması ve planlama sürecindeki beklenti durumlarında esneklik kaynaklarının sağlanmasıdır [42]. Artan değişken YE durumunda esneklik; üretim, talep, depolama, şebeke ve piyasa tarafından esneklik faktörleri ve kaynakları sağlanarak sınıflandırılabilmektedir [43]. Değişken YE üretiminin sisteme getirdiği belirsizlik ve değişkenlik ile ilgili sorunları ortadan kaldırmak amacıyla güç sisteminde dağıtılabilir üretim karışımını planlamaya yönelik çalışma da yürütülmüştür [44].

2.3. Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (FACTS)

FACTS cihazları iletim hattı kayıplarının azaltılmasına, sistem güvenliğinin ve kararlılığının artmasına, hatlarda oluşan aşırı yüklenmenin azaltılmasını sağlayarak katkıda bulunmaktadır [45]. Ayrıca güç sistemlerinde; güç akışı işleyişinde, sistem dengesinde, güç iletim kapasitesinde ve parametrelerinde gösterdiği iyileştirmeler sonucu iletim kaybının azalması ile güç sistemi daha güvenilir hale getirmekte ve geçici kararlılığı iyileştirmektedir [46-50]. FACTS cihazları hat kompanzasyonu, güç faktörü ve güç profili iyileştirici, gerilim kararlılığı, dinamik ve geçici kararlılığı artırıcı, kayıpları azaltıcı, salınım sönümleyici ve gerilim regülasyonunu sağlayıcı nitelikte sistemsel olarak birçok kontrol elemanından oluşan güç elektroniği topluluğudur [51, 52]. Sistem içerisinde elektrik şebekelerinin etkin kullanımını sağlamak amacıyla seri ve şönt empedansları, akım, gerilim ve faz açısını kontrol

etmektedir [53].

FACTS kontrol cihazları (Şekil 2.1) seri, şönt, kombine seri-seri ve kombine seri-şönt kontrolör olarak 4 grupta incelenir. Seri kontrolör cihazlar; SSSC, TCSC, TSSC, TCSR, TSSR, şönt kontrolörler; SVC, STATCOM, TCR, TSC, TSR seri-seri kontrolörler ise IPFC ve son olarak seri-şönt kontrolör UPFC'dir [54]. Seri kontrolörler akım ve gerilimi sisteme seri bağlantıyla enjekte ederek aşırı hat yüklenmelerini azaltır ve güç akış kontrolünü sağlayarak güç akış aktarım kapasitesini artırır. Sisteme akım ve gerilimi paralel bağlantıyla ileten şönt kontrolörler reaktif güç enjekte ederek gerilim kompanzasyonu sağlarlar. Seri-seri kontrolörler sisteme gücü, akım ve gerilimi iletmek için ortak DC hat üzerinden seri bağlanırlar. Son olarak kombine seri-şönt kontrolörler ise ortak DC hat üzerinden birinin seri diğerinin paralel şekilde her ikisinin de iletim hattına gerilim, akım ve güç iletmek için koordineli bağlanmasıyla aşırı hat yüklenmelerini azaltır ve sistem gerilimini düzenlerler[55,56].



Şekil 2. 1. FACTS cihazları[54]

Güç akışı işleyişini sağlayan çoklu FACTS cihazlarının koordinasyonu ile ilgili bir yöntem önerilmektedir [57]. Güç akışı profilini iyileştirmek amacıyla FACTS cihazlarının sistem üzerindeki etkileri analiz edilmiştir [54]. Tek hat beklenmedik durumlarında hat üzerindeki yüklenebilirliği azaltmak için STATCOM ve UPFC için en iyi konumunu belirleyen bir modelleme sunulmuştur [58]. Sisteminin güç kayıplarını ve üretim maliyetini azaltmak amaçlı sisteme SVC ve TCSC eklenen optimazyon çalışması gerçekleştirilmiştir [50]. RES'lerde gerilim kararlılığı açısından FACTS cihazı performansları değerlendirilmiştir [59]. Üretim maliyeti ve güç kayıplarını azaltmak amaçlı IEEE 39 bara sisteminde FACTS cihazlarını dâhil edilen bir optimazyon simüle edilmiştir [60]. Güç akışını ve geçici kararlılığı artırmak için sisteme SSSC ve TCSC dahil edilen çalışma Matlab yazılımında

gerçekleştirilmiştir [61]. Gerilim kararlılığını artırmak ve güç kaybı için sisteme seri ve şönt bağlanan SVS, SSSC, STATCOM ve UPFC'in uygun konumlandırılması baralardaki gerilim profilini iyileştirici etkiye sahiptir [62].

2.3.1. Statik var kompansatör (SVC)

SVC'ler kapı kontrol sistemi ile gerekli hallerde açılmasını sağlayan hat değişim özellikli tristör tabanlı anahtarlama cihazları bulundurur. Sistem bozukluklarında ve takip eden süreçte sistem gerilimini regüle etmek için hızla gerilim–amper-reaktifi enjekte eder [63]. Esneklik ile ilgili çalışmalarda gerilim regülasyonunu ve sistem kararlılığını sağlayıcı yapıdadır. Arıza ve beklenmedik durumlarda gerilim profilini stabilize edici, gerilim kontrolünü ve etkin dinamik güç desteğini sağlayan normal çalışma koşullarında değişken şönt cihazı, alt ve üst çalışma sınırında sabit bir şönt cihazı gibi davranabilen FACTS cihazıdır [64].

Yük frekansı ve gerilim regülasyonu ile ilgili yapılan çalışmada SVC gerilim regülasyonunu sağlar [65]. SVC yapısal olarak TSR ya da TCR, TSC ve harmonik filtrelerinden oluşur [6]. Elektrik şebekesi ile arasına düşürücü bir transformatörün bağlanmasına gerek duyulmamaktadır [66].

SVS ve STATCOM gerilim kararlılığı marjındaki etkileri karşılaştırılmaktadır [67] SVC gerilim desteği açısından simüle edilmesi sonucu gerilim kararlılığında etkinliği gözlenmiştir [68]. SVC sistemdeki kaybın en aza indirilmesi ve kararlılığın arıtılması için sisteme şönt bağlantı ile dahil edilmiştir [6]. Gerilim değerini 1 pu'ya yakın bir değerde tutmak amacıyla SVC'li bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Gerilim kontrol sistemini anlatan çalışmada gerilim değerini noniminal değerlerde tutmak için modern kontrol teknikleri ile birlikte SVC cihazlarının kullanımı önerilmektedir.[69]. Gerilim profili ve güç kayıpları ile ilgili yürütülen çalışmada SVC, TSCS, SVC-TCSC senaryoları değerlendirilmiştir [70]. Gerilim kararlılığını kısa sürede sağlamak için bulanık mantık denetleyici geliştirilmiştir [71]. Güç sisteminde istenen düşük gerilime sahip baraya eklenerek gerilim iyileştirilmesinde SVS ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir [72]. SVC güç sistemi üzerindeki kararlılığı incelenmiştir [73]. N-1 beklenmedik durumlarda ikiz STATCOM tabanlı SVS'nin kararlı durum ve dinamik gerilim kararlılığı açısından etkinliği değerlendirilmiştir [74].

2.3.2. Statik seri kompansatör (STATCOM)

Kaynak geriliminden bağımsız anahtarlama cihazını açıp kapatmaya yarayan STATCOM yapısında kendi kendini değiştiren IGBT ve GCT bulundurmasıyla güç kaynağını daha kararlı ve güvenilir kılar [63, 75]. Kararlı durum iletim iyileştirmelerini, gerilimi sabit değer aralığında tutmayı ve regülasyonunu sağlayıcı nitelikte sisteme şönt bağlanan AC sistemlerde kullanılan bir kontrol ve düzenleme cihazıdır [76-78]. Sisteme reaktif güç sağlayarak gerilimi regüle etme, dağıtım sistemlerinde güç kalitesi problemlerinin çözümünde iyileştirici rol oynamakla birlikte salınımları azaltıcı, kararlılık marjını artırıcı özelliklere sahiptir [79-81].

STATCOM özellikleri düşük salınımlı frekans ve güç kompanzasyonu açısından değerlendirilmiştir [50]. Güç akışı ve gerilim kontrolü için sisteme şönt olarak gönderici, orta ve alıcı uçta konumlandırılmıştır [54]. Sistem kararlılığı açısından MG'ler için STATCOM çalışması gerçekleştirilmiştir [55]. Güç kalitesi ile ilgili problemlerin çözümü hakkında çalışmalar sunulmuştur [56, 57]. STATCOM kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada salınımı azaltıcı etkinlik değerlendirilmiştir [82]. STATCOM'un sisteme dahil edilmesiyle simüle edilen çalışmada gerilim kararlılığı üzerinde durulmuştur [82]. STATCOM, UPFC ve SSSC'nin sisteme dahil edilerek güç sistemi dengesi ve cihaz salınımlarına etkisi değerlendirilmiştir [83]. Rüzgar enerjisi entegrasyonu sonrası güç kalitesini iyileştirmek konusunda yapılan çalışmada bulanık tabanlı kontrolör STATCOM tasarlanarak Matlab/Simulinkte simüle edilmiş ve önemli ölçüde güç kalitesini iyileştirildiği görülmüştür [84]. Rüzgar enerjisi entegrasyonu sonrası sistem korumasını etkinleştirmek amaçlı sisteme STATCOM ve UPFC cihazları dahil edilmiştir Elektrik şebeke bağlantısı ile oluşan güç kalitesi sorunlarını çözümlemek için sisteme entegre edilen STATCOM cihazı Matlab/ Simulink ortamında simüle edilmiş ve etkin sonuçlar alınmıştır [85]. Elektrik güç sisteminde gerilim kararlılığını iyileştirme konusundaki çalışmada SVC'nin etkin sonuçlar verdiği gösterilmiştir [86]. STATCOM'un rüzgar çiftliğinin geçici kararlılığını iyileştirmek için dahil edildiği sistemde etkin sonuçlar alınmıştır [87].

2.3.3. Statik senkron kompansatör (SSSC)

1989 yılında Gyungi tarafından sunulan hem aktif hem de reaktif güç kontrolü sağlayan, güç salınımlarında etkin ve iletim hattına seri bağlanan gerilim dönüştürücü den oluşan bir

seri kompansatördür [88]. Sistemde gerilim dengesini sağlamak için titreşim durumlarda kapasitif ya da endüktif yük enjekte etmekte ve reaktif gücü hem dağıtmakta hem de absorbe etmektedir [89]. İletim hattında geniş bir güç aralığına bağlı bulunan SSSC güç hattına seri bağlanan bir transformatör ve bir gerilim dönüştürücüden oluşmaktadır [90]. Gerilim kaynağına dayalı seri kompansatörden oluşan SSSC sürekli kapasitif kompanzasyona ek olarak sürekli endüktif kompanzasyon gerçekleştirebilen, basit yapısı ile ekonomik açıdan avantaj sağlayan, hızlı güç akış kontrolüne sahip DC kapasitör, seri transformatör, filtre, esas dönüştürücü ve devre kesiciden oluşan bir FACT cihazıdır [91]. SSSC iletim hatlarında güç akışı ve kararlılığın sağlanmasında etkin bir seri kontrolördür [61]. Güç sistemi küçük sinyal kararlılığı açısından IEEE 39 baralı modelinde SSSC ve STATCOM etkinliği incelenmiş ve SSSCli sistemin daha etkin sonuçlar verdiği görülmüştür [92]. Matlab simülasyonu ile gerçekleştirilen çalışmada güç salınım kontrolü SSSC ile gerçekleştirilmiştir [93]. Güç sistemi kararlılığını artırmak için sisteme SSSC dahil edilen bir çalışma sunulmuştur [94]. SSSC ve UPFC cihazlarının sisteme dahil edildiği çalışmada cihazların güç ağının geçici kararlılığı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir [52]. Güç sistemi kararlılığı ve salınım sönümleme odaklı çalışmada SSSC tabanlı bir model oluşturulmuştur [95]. Güç sistemi kararlılığı, sistem performansını artırma ve güç sistemi dinamik etkileri konusunda SSSC temelli çalışmalar yürütülmüştür [96-98]. Güç sisteminde oluşan hata durumlarında sisteme dahil edilen SSSC etkinliği değerlendirilmiştir [99]. SSSC ve TCSC tabanlı oluşturulan çalışmada gerilim kararlılığını koruma hedeflenmiştir [100].

2.3.4. Tristör kontrollü seri kompansatör (TCSC)

Geçici kararlılığı ve küçük sinyal kararlılığını iyileştirmek, hat empedansını düzenlemek, güç salınımlarını azaltmak, güç akış kontrolünü kolaylaştırmak, eş zamanlı olmayan rezonansı azaltmak ve iletim hattı empedansı için hızlı, düzenli seri kompanzasyon sağlamak için iletim hattına seri olarak bağlanırlar [90, 101-103]. Seri kontrollü kapasitif reaktans olan TCSC AC hatta sürekli güç kontrolü sağlayabilen ve güç akışını yöneten seri bir kompansatördür [100, 104]. TCSC tristör anahtarlı reaktans ve seri kapasitör içeren paralel bir devreden oluşan yapıya sahiptir [105].

Güç sisteminde yük kapasitesini artırmak ve iletim hattı tıkanıklığını azaltmak amaçlı TCSC'nin sistemdeki konumları değerlendirilmiştir [106]. Hatlarda oluşan aşırı yüklenmeyi

azaltmak ve sistem güvenliği sağlamak amaçlı TCSC cihazlı bir modelleme gerçekleştirilmiştir [107]. UPFC ve TCSC hat aşırı yüklenmelerini azaltmak ya da yok etmek için kullanılan FACTS cihazlarından olup bu çalışmada kararlı durum analizi için hazırlanmış bir prosedüre göre simüle edilmişlerdir [108]. TCSC ve UPFC'nin gerilim kararlılığını iyileştirici etkilerini en iyi konumda değerlendiren bir optimizasyon modeli sunulmuştur [109]. TCSC'nin sönümleme kontrolü konusundaki çalışmada etkinliği analiz edilmiştir [110]. Geçici kararlılık ve küçük sinyal kararlılığı konusunda yapılan çalışmada TCSC, SVC ve STATCOM cihazları sisteme dâhil edilerek etkinlikleri değerlendirilmiştir [102] IEEE 3 bara modeli kullanarak gerçekleştirilen çalışmada güç akışını iyileştirmek için sisteme TCSC eklenerek etkin sonuçlar alınmıştır [111]. Küçük sinyal kararlılığını artırmak için SVS ve TCSC sisteme bağlanarak küçük sinyal kararlılığı üzerindeki etkileri gözlenmiştir [112].

3.MATERYAL VE YÖNTEM

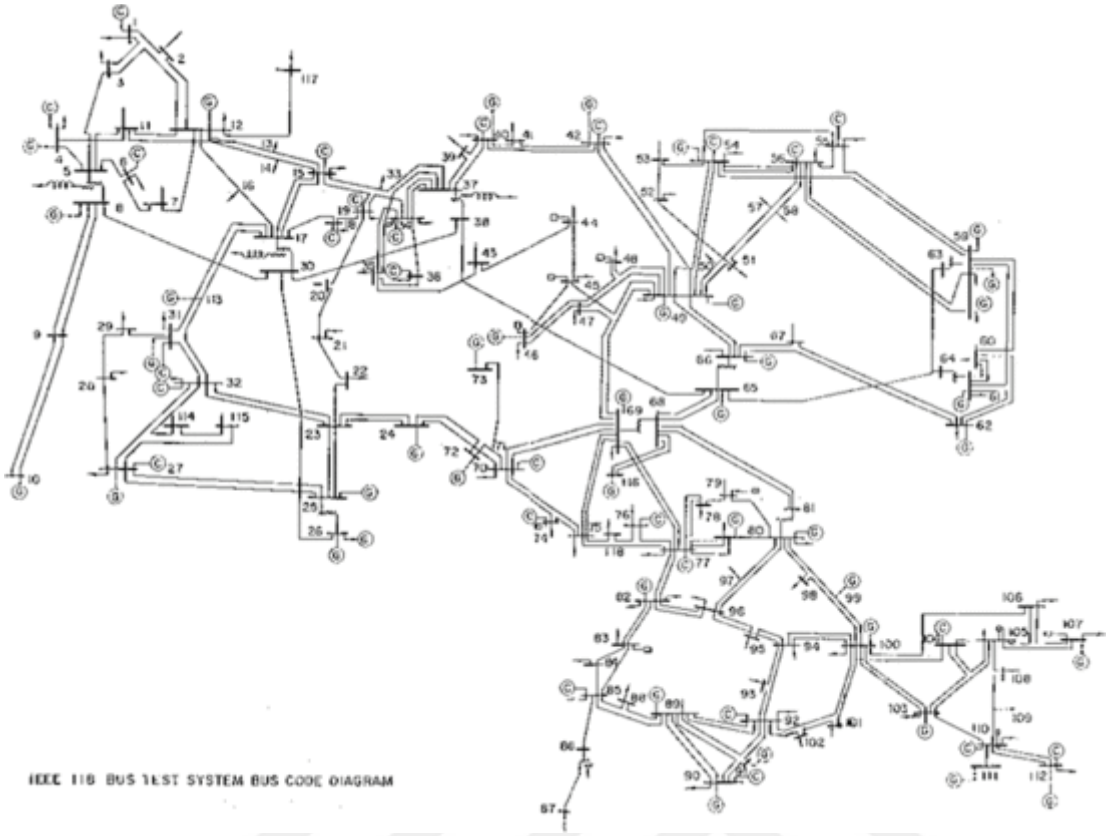
3.1. DİgSİLENT PowerFactory

Bu çalışmada IEEE 118 bara modeli ve sitem analizi için DiGSİLENT PowerFactory yazılımı kullanılmıştır. Güç sistemi tabanlı DİgSİLENT PowerFactory üretim, iletim, dağıtım, endüstriyel sistemin analizinde kullanılan yazılım aracıdır. Zengin veri tabanı ile en son teknolojik algoritmaların yer aldığı esnek sistem modellerinin birleştirildiği Windows uyumlu entegre bir mühendislik aracı olan yazılım uygulamasıdır. Optimal yük akış analizi, kısa devre analizi, sisteme uygulanan hata durumları, güç analizi, sistem kararlılık analizi, küçük sinyal analizi çalışmalarını gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca PowerFactory YE üretiminin, iletim, dağıtım ve entegrasyonu için gerekli işlevselliği sağlamaktadır.

DİgSİLENT PowerFactory yazılım programı birçok güç modellenmesinde yazılım aracı olarak kullanılmıştır. İletim sistemi yük akış analizi, ağ, yerel ve alanlar arası salınım modları, şebeke ataleti, geçici kararlılık analizi, gerilim profili, güç kayıp analizi, iletim hatları yüklenmesi, YE tabanlı sistemlerin dinamik modellenmesi, gerilim kararlılığı analizi çalışmaları yürütülmüştür [113-118].

3.2.IEEE 118 Bara Modeli

IEEE 118 bara modeli test sistemi 1962 yılında açık kaynak hale getirilmiş Amerika Elektrik Güç Sistemi orta batı bölümünü temsil etmektedir. Toplam kurulu gücü 4377 MW olan test sistemi 118 adet bara, 186 adet iletim hattı, 19 adet generatör ve 13 adet kompansatörden oluşmaktadır. Orijinal test sistemine dayanarak oluşturulan yeni versiyonların farkı generatör sayısının artması olmuştur. Şekil 3.1'de 1993 yılında Washinton Üniversitesi tarafından Peco Psap formatına dönüştürülmüş tek hat şemasını gösterilmektedir[119, 120].

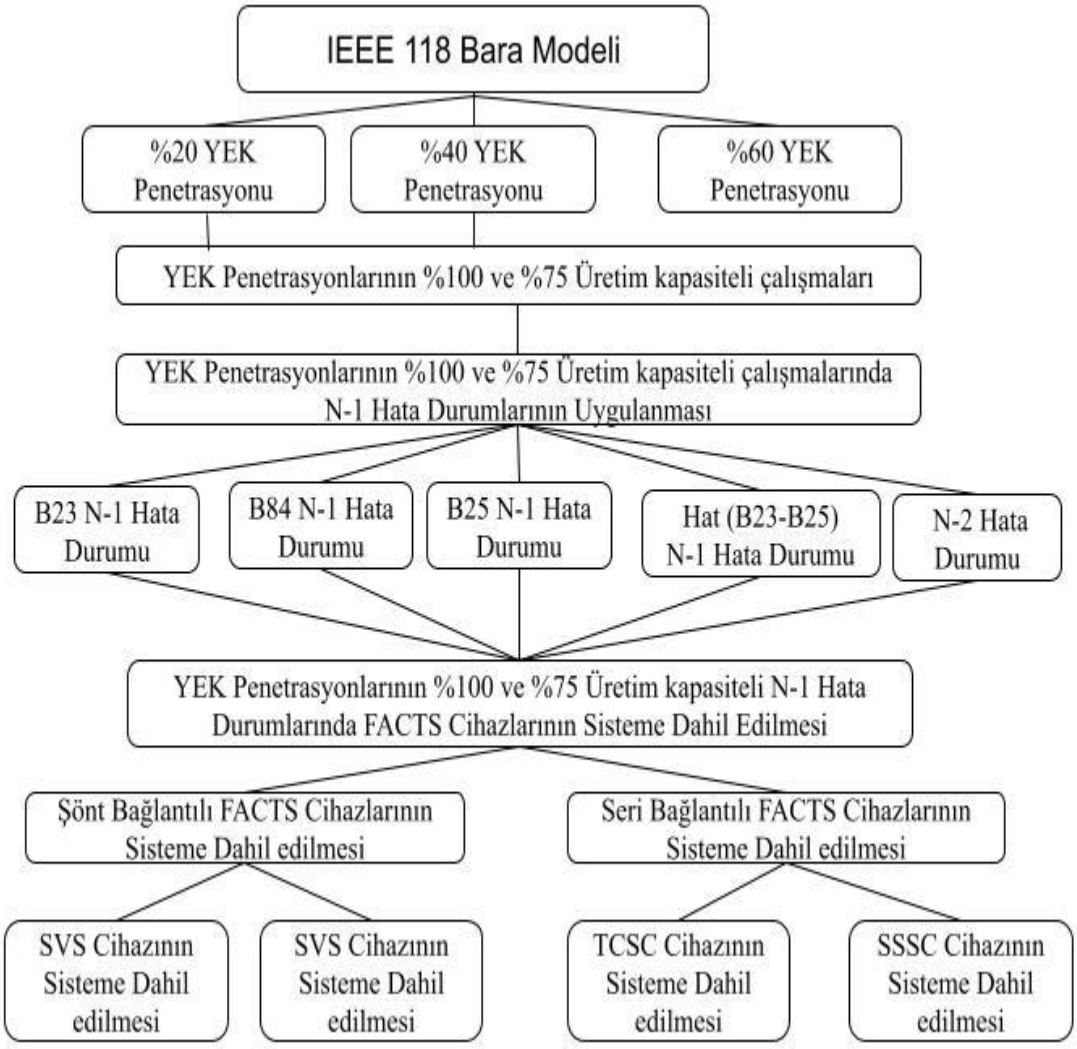


Şekil 3. 1.1993 yılı 118 bara test modeli [119]

IEEE 118 bara modeli test sistemi 15 motor ve 20 tane senkron kompansatör içeren 54 adet senkron makinadan oluşmaktadır. Toplam yükü 3668 MW, 1438 MVar olan test sisteminde 185 iletim hattı, 76 adet trafo, 91 adet empedans yükü ve 172 adet bara bulunmaktadır [121]. Modelde bara gerilim seviyeleri 230 kV ve 500 kV'tur. 11 adet bara gerilimi 500 kV iken kalan bara gerilimleri 230kV değerindedir [121].

Çalışmada kullanılan model ise IEEE 118 baralı sistemin erişime açık revize edilmiş halidir [28, 121]. Çalışmada kullanılan açık verilerden her bir generatörün AVR içeren modelleri kullanılmıştır.

3.3. YEK Modelleri ve Senaryolar



Şekil 3.2. İş Akış Diyagramı

IEEE 118 bara test sistemin (Şekil 3.2) %20, %40 ve %60 oranlarında değişken YE penetrasyonları modellenmiştir. Her bir değişken YEK penetrasyon oranı senaryosu için;

üretim belirsizliğini modellemek için değişken YEK üretim kapasiteleri %100 ve %75 olacak şekilde değiştirilerek sistem etkileri incelenmiştir.

İncelen tüm çalışma koşullarında aşağıda listelenen sistem bileşenlerine N-1/N-2 hata durumları uygulanmıştır.

- B23 N-1 hata durumu
- B26 ya da B25 N-1 hata durumu
- B84 N-1 hata durumu
- Hat (B23-B25) hata durumu
- N-2 hata durumu

3. Uygulanan hata durumlarında sisteme aşağıda listenen FACTS cihazları eklenerek gerilim ve frekans üzerindeki etkileri gözlemlenmiş ve karşılaştırılmıştır.

- SVS cihazının sisteme dahil edilmesi
- STATCOM cihazının sisteme dahil edilmesi
- TCSC cihazının sisteme dahil edilmesi
- SSCS cihazının sisteme dahil edilmesi

Tüm senaryolar için simülasyon süresi 100 s'dir. Gerilim ve frekans cevapları B24, B27, B45, B66, B83 ve B9 seçili baralarında incelenmiş ve simülasyon sonuçları sunulmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

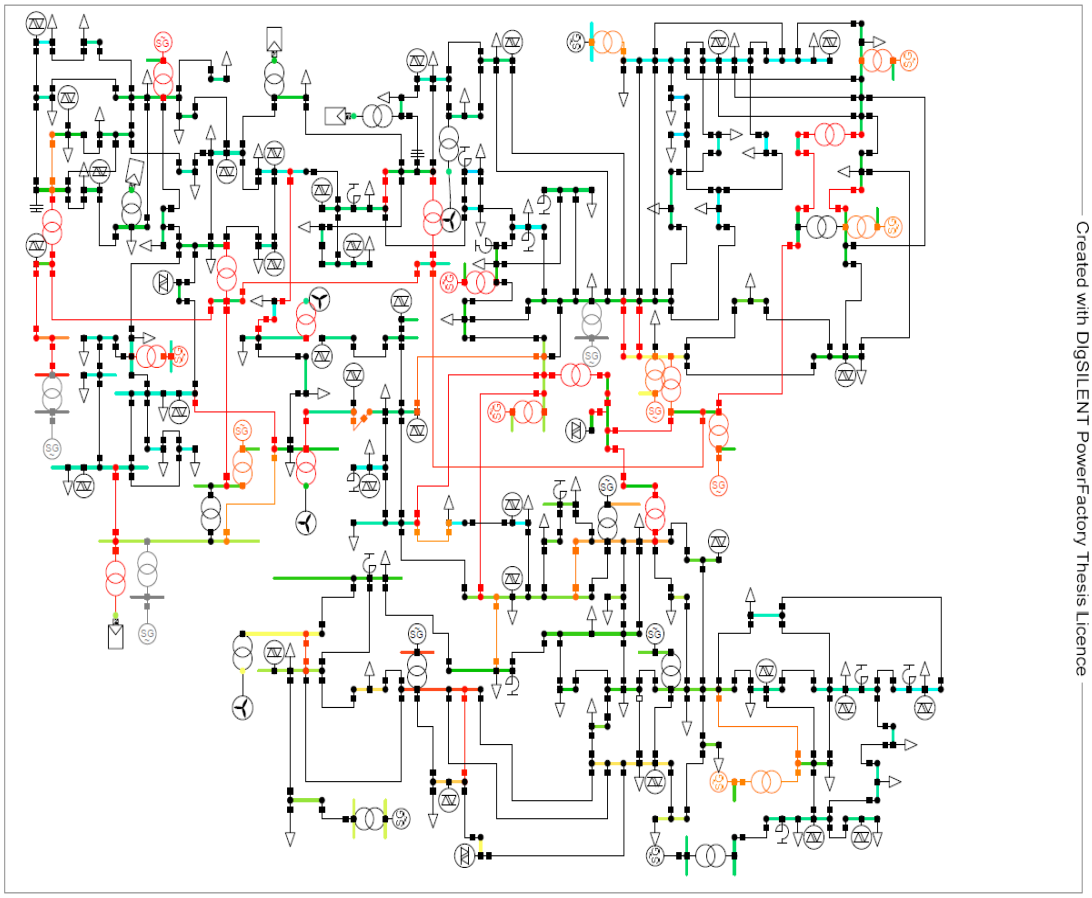
Bu tez çalışmasında IEEE 118 bara test sistemi 20, %40 ve %60 değişken YEK penetrasyonu içerecek şekilde modellenmiştir. Değişken YEK penetrasyonu içerecek şekilde modellenen güç sisteminin nominal çalışma koşulları sonucu elde edilen veriler Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4. 1. YE penetrasyon sonuçları

IEEE 118	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,971	0,9655	0,9628	1,049	0,9894	1,033	49,42
%20 YE	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
%40 YE	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
%60 YE	1,001	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,01

4.1 %20 Penetrasyon Oranı %100 Üretim Kapasitesi

%20 penetrasyon oranını modellemek için sisteme 1107,39 MW kurulu gücünde değişken YEK dâhil edilmesi gerekmektedir. Kurulu gücü 1150 MW olan RES 3X150MW ve 1X125MW olarak trafolar aracılığı ile sırasıyla B21, B23, B41 ve B84 baralarına bağlanmıştır. 3X 150MW ve 1X125 MW gücündeki GES trafolar aracılığı ile sırasıyla B25, B33, B7 ve B39 baralarına bağlanmıştır. %20 penetrasyon oranını sağlamak için ayrıca sistemden kurulu güç 1154,5MW olan 560,5MW, 297 MW, 297 MW gücünde 10, 49, 25 numaralı SG'ler devre dışı bırakılmıştır. %20 değişken YEK penetrasyonu durumunda sistem frekansı 49,45 Hz'de (Tablo 4.1) dengelenmiştir. Şekil 4.1'de yakın baralarda artan kurulu güç ile orantılı olarak izlenen baralarda gerilim artışı görülmüş ve B66 barası çevresi artan bir kurulu güç olmadığından gerilim sabit kalmıştır.



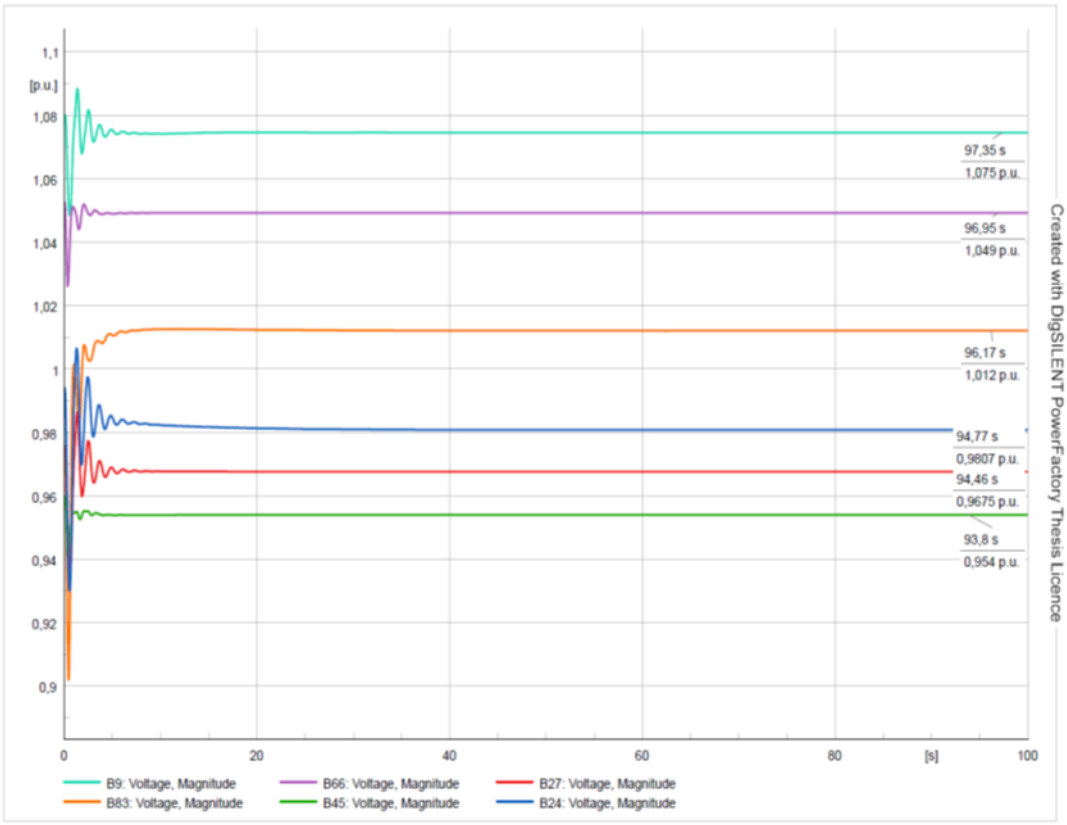
Şekil 4. 1. %20 penetrasyon oranı %100 üretim kapasitesi modeli

4.1.1. %20 penetrasyon oranı %100 üretim kapasitesi N-1/N-2 hata durumları

%20 oranında YEK penetrasyonu sonrası oluşan gerilim ve frekans değerleri normal çalışma şartları altında olup sistemde oluşabilecek hata durumları için çeşitli senaryolar geliştirilmiş ve simüle edilmiştir.

4.1.1.1. B23 N-1 hata durumu

Beklenmedik hata durumlarında sistem tepkisi için B23 barasına N-1 hata durumu uygulanarak elde edilen veriler Tablo 4.2'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre devre dışı kalan 150 MW kurulu gücündeki RES sonrası sistem frekansı 0,16 Hz düşerek 49,29 Hz'de dengelenmiştir.



Şekil 4. 2. %20 YE %100 çalışma kapasitesi B23 N-1

İzlenen bara gerilimlerinde ise Tablo 4.2 ve Şekil 4.2'de görüldüğü üzere gerilim değişimleri hata uygulanan baraya yakınlığına bağlı olarak artış göstermektedir. Hata sonrası izlenen bara gerilimlerindeki en fazla artış ise B23 RES kaynağına yakın olan 0,0072 pu ile B24 barasında olmuştur. İzlenen baralar arasından hata uygulanan baraya en uzak mesafede olan B66 bara gerilimi sabit kalmıştır.

B23 N-1 hata durumunda FACTS cihazlarının sisteme dahil edilmesi

Beklenmedik hata sonrası oluşan frekans ve gerilim değerlerindeki etkilerini incelemek amacıyla sisteme şönt ve seri FACTS cihazları dahil edilmiştir. Her bir FACTS cihazı çalışma içerisinde farklı konum ve doğrultularda simüle edilmiş ve simülasyon sonuçları sunulmuştur.

B23 N-1 hata durumu SVS'li sistem

B23 N-1 hata durumunda B23, B25, B82, B83 ve B84 baralarına şönt bağlanarak sisteme dahil edilen SVS sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,9807	0,9675	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B23	0,9796	0,9672	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B25	1,007	0,9863	0,9543	1,049	1,012	1,076	49,29
B82	0,9804	0,9675	0,9540	1,049	0,9976	1,075	49,32
B83	0,9805	0,9675	0,9540	1,049	0,9937	1,075	49,32
B84	0,9807	0,9675	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29

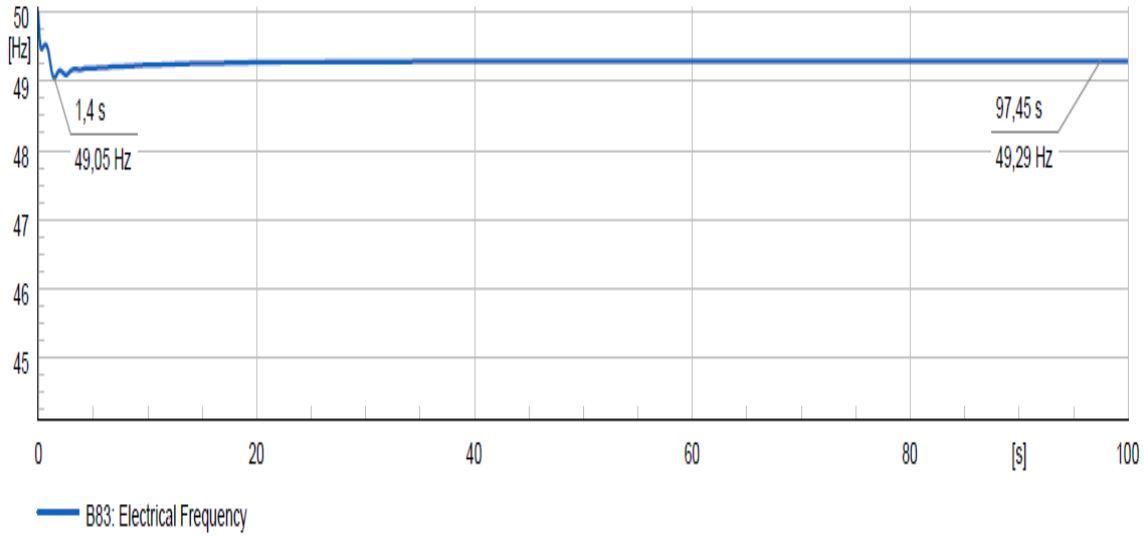
Tablo 4.2'deki sonuçlara istinaden N-1 hata durumu sonrası sisteme dahil edilen SVS hata uygulanan 150 MW güce sahip RES'in bağlı olduğu baraya dahil edildiğinde izlenen bara gerilimlerinden B24 ve B27 bara gerilimlerini düşürmektedir. B82 ve B83 baralarına bağlanan SVS simülasyon sonuçlarında da izlenen bara gerilimlerinden B24 ve B83 bara gerilimi düşerken diğer bara gerilimleri sabit kalmaktadır. SVS'nin sisteme dahil edildiği konuma yakın olan bara gerilimleri yakınlığa bağlı olarak gerilim değişimlerinden daha çok etkilenmektedir. Ayrıca SVS'nin bağlı olduğu B23, B82, B83 baraları simülasyonunda B24 bara gerilimi düşüş gösterirken B25 barasına bağlı simülasyonlarında B66 barası hariç izlenen bara gerilimleri artış göstermiştir. Hata uygulanan kurulu gücün bulunduğu baraya bağlandığında ise hatayı tolere etme bakımından etkinliğine göre gerilimlerde düşüş ve

artışın görülebileceği öngörülmektedir. B84 barasına bağlı SVS cihazının sonuçlarında ise izlenen hiçbir bara geriliminde bir gerilim artışı ya da düşüşü olmamıştır. Daha farklı konumlardan değerlendirilen SVS B26 barasına dahil edildiğinde ise simülasyonun yük akış hatası vererek gerçekleştirememiştir.

Yapılan çalışmalar frekans açısından değerlendirildiğinde B83 barasına bağlanan SVS cihazı sonuçlarında sistem frekansı artış gösterirken diğer SVS bağlantılarında sabit kalmıştır. Frekanstaki bu farklı cevabın sebebinin B83 barasında bağlı şönt filtre olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla yakın baralarda şönt filtre bağlı olan B82 barasına da SVS bağlanmıştır. B83 bağlantısında olduğu gibi frekans 49,32 Hz'de dengelenerek her iki bağlantıda 0,03 Hz artmıştır.

B23 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem

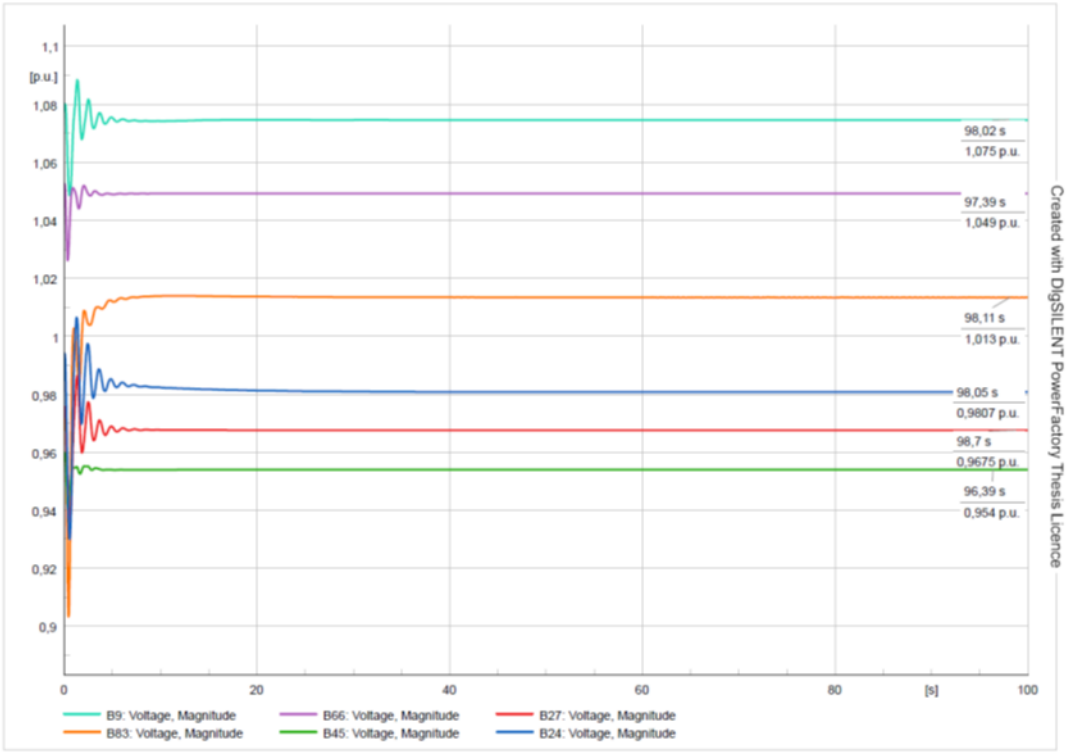
STATCOM'un sisteme B23, B27, B83 ve B84 baralarına şönt bağlanarak oluşturulan senaryolarında sistem frekansı Tablo 4.3 ve Şekil 4.3'de görüldüğü gibi tüm senaryolarda 49,29 Hz değerindedir. Yapılan simülasyon çalışmalarında STATCOM'un sistem frekansı üzerinde herhangi bir etkisi olmamıştır.



Şekil 4.3. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem frekansı

Tablo 4.3. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,0072	49,29
N-1	0,9807	0,9675	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B23	0,9807	0,9675	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B27	0,9807	0,9675	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B83	0,9807	0,9675	0,9540	1,049	1,013	1,075	49,29
B84	0,9807	0,9675	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29

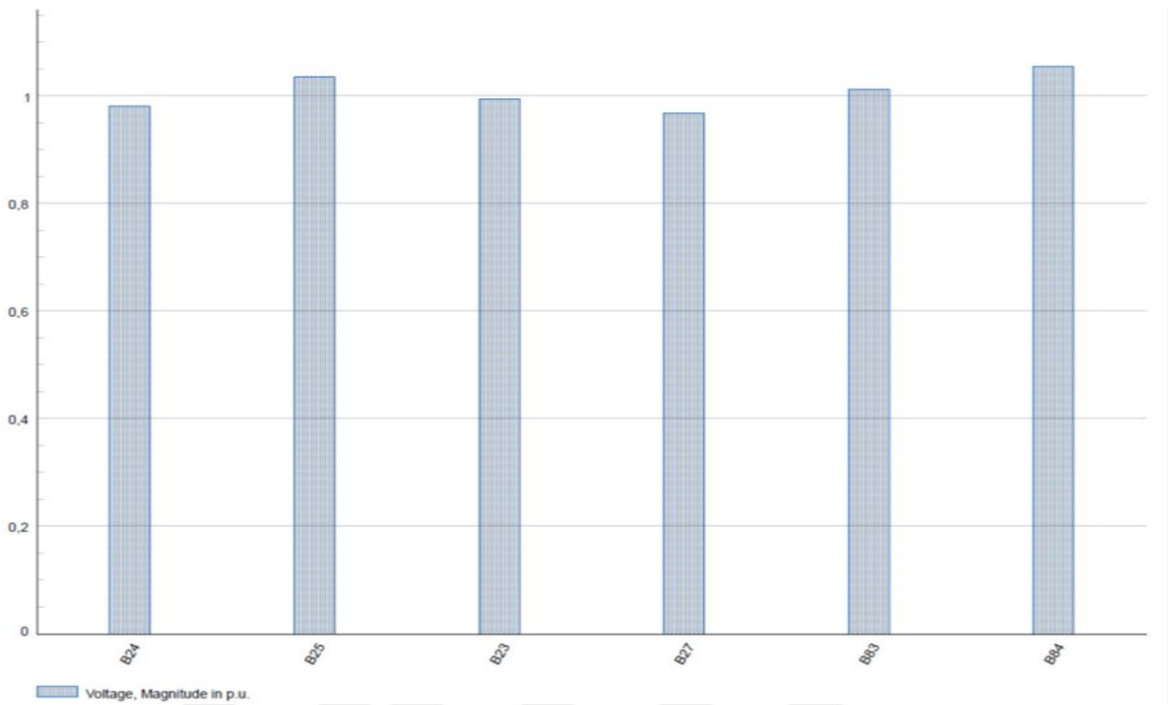


Şekil 4.4. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu STATCOM (B83 barasında)'lu sistem bara gerilimleri

Tablo 4.3'e göre B83 barasına bağlı STATCOM durumu dışında gerilimler sabit kalmıştır. B83 barasına bağlı olduğu senaryoda bile sadece bağlı bulunduğu bara gerilimini (Şekil 4.4) 0,001 pu arttırdığı görülmüştür. B83 barasının diğer baralardan farkının SVS bağlantısında olduğu gibi şönt filtrenin bağlı olmasıdır.

B23 N-1 hata durumu TCSC'li sistem

B23 N-1 hata durumunda sisteme dahil edilen TCSC B23-B24, B24-B23,B23-B25, B25-23, B25-B27, B27-B25, B25-B83, B83-B25, B25-B84 ve B84-B25 doğrultularında sisteme seri olarak bağlanmışlardır.



Şekil 4. 5 %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu TCSC'li sistem bara gerilimleri

TCSC bağlandığı bara gerilimlerin büyüklükleri (Şekil 4.5) B25, B83,B84 bara gerilimlerinin büyüklükleri 1 pu'nun üzerinde olup sırasıyla 1,04pu, 1,01pu ve 1,04 pu'dur. B23, B24, B27 baralarının gerilim büyüklükleri ise sırasıyla 0,99 pu, 0,98pu, 0,97 pu değerlerindedir. TCSC'li sistemde hem bara gerilim büyüklükleri hem de bağlı olduğu baraların bağlantı doğrultuları dikkate alınarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon sonuçlarına bakıldığında Tablo 4.4'te bara gerilimlerinde değişimlerin olduğu görülmektedir. TCSC B23-B24 doğrultusunda bağlandığında B24 barasının gerilimi 0,0045 pu artarken B27 gerilimi ise 0,0001 pu düşmüştür. İzlenen diğer bara gerilimleri sabit kalmıştır. TCSC B24-B23 doğrultusunda bağlandığında B24 barası 0,0051 pu artarken B27 barası ve seçili diğer bara gerilimleri sabit kalmıştır

Tablo 4. 4. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu TCSC'li sistem bara gerilim-frekans sonuçları

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,72	49,45
N-1	0,9807	0,9675	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B23-B24	0,9852	0,9674	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B24-B23	0,9858	0,9675	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B23-B25	0,9833	0,9682	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B25-B23	0,9831	0,9682	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B25-B27	0,9796	0,9657	0,9540	1,049	1,012	1,074	49,30
B27-B25	0,9796	0,9657	0,9540	1,049	1,012	1,074	49,30
B25-B83	1,011	0,9821	0,9534	1,049	1,034	1,078	49,31
B83-B25	HATA						
B25-B84	1,009	0,9807	0,9539	1,049	0,9924	1,078	49,31
B84-B25	1,01	0,9813	0,9539	1,049	0,9916	1,078	49,31

TCSC'nin bağlantı doğrultularının gerilim değeri küçük olan baradan büyük olan baraya doğru ise gerilim artış ve azalışlarının daha fazla olduğu görülmüştür. Sistem frekansının TCSC'nin her iki bağlantı doğrultusunda da 49,29 Hz'de sabit kalmıştır.

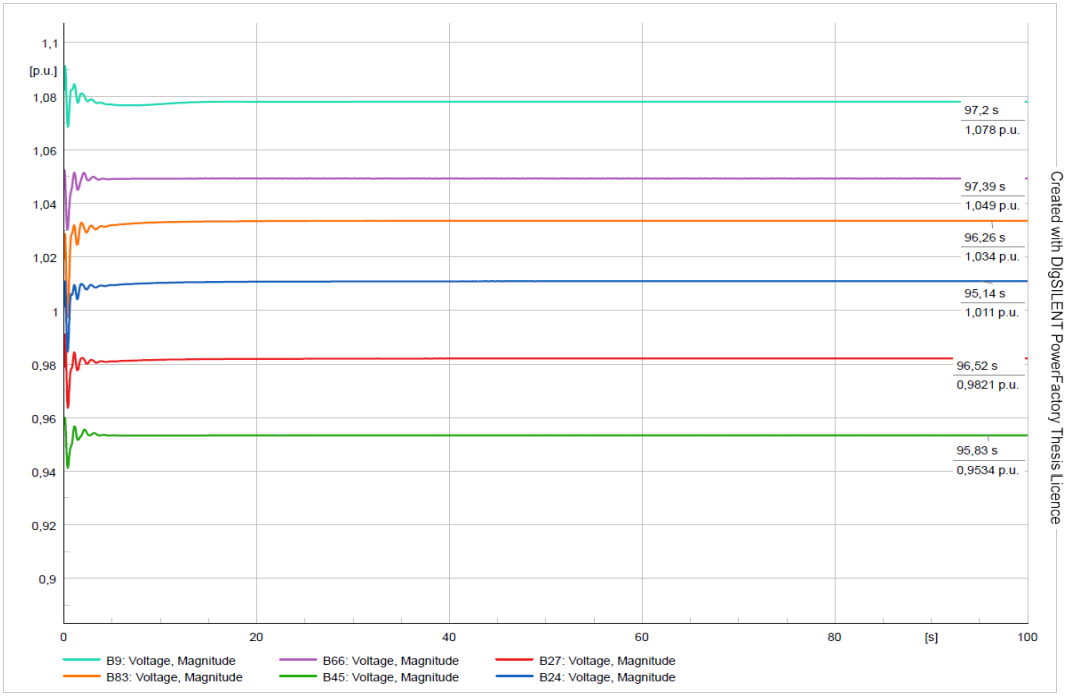
TCSC B23 ve B25 baralarına bağlandığında Tablo 4.4'te her iki doğrultuda da B24 ve B27

bara gerilimleri artarken diğer bara gerilimleri ve sistem frekansı sabit kalmıştır. B24 bara geriliminde TCSC'e bağlantısı gerilimi küçük olan baradan büyük olan baraya doğru yapıldığında bir önceki senaryodaki gibi gerilim değişimleri daha büyük olmuştur. B23-B25 doğrultusunda B24 barasında gerilim 0,0026 pu artarken B25-B23 doğrultusunda 0,0024 pu artmıştır. B27 gerilimi ise her iki doğrultuda da 0,0007 pu artış göstermiştir.

B27 ve B25 baralarına yerleştirilen TCSC Şekil.4.6'da görüldüğü üzere bir önceki senaryolardan farklı olarak her iki yerleşim doğrultusunda da B24, B27 ve B9 bara gerilimleri 0,0011pu, 0,0018 ve 0,001 pu düşmüştür. B45, B66 ve B83 bara gerilimleri sabit kalmıştır. Sistem frekansında da (Tablo 4.4) gerilim büyüklüklerinde olduğu gibi diğer senaryolardan farklı olarak 0,01 pu artış olmuştur.



Şekil 4. 6. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu TCSC (B25-B27)'li sistem gerilimleri



Şekil 4. 7. %20 penetrasyon oranı %100 üretim kapasitesi B23 N-1 hata durumu TCSC(B25-B83)'li sistem bara gerilimleri

B25 ve B83 bara gerilimleri B23, B24 ve B27 bara gerilimlerinden farklı olarak 1 pu'nun üzerindedir. B25-B83 doğrultusunda TCSC'li sistem B24, B27, B83 ve B9 baralarının değerleri (Şekil 4.7) 0,0303 pu, 0,0146 pu ,0,022 pu ve 0,003 pu artarak diğer senaryolara göre en fazla gerilim artışını göstermişlerdir. B45 bara gerilimi ise bu simülasyon senaryosunda 0,0006 pu değerinde düşmüştür. TCSC B25-B83 doğrularında sistem frekansı 0,02 Hz artış göstererek 49,31 Hz olduğu görülmüştür. TCSC'nin farklı doğrultularda değerlendirilen çalışmalar için yapılan B83-B25 doğrultusunda başlatılan simülasyon yük akış hatası verdiğinden gerçekleştirilememiştir.

TCSC bağlantılarında diğer seri bara bağlantılarında baralar arası gerilim farkı bulunurken bu çalışmada B25 ve B84 baraları aynı gerilim değerine sahiptir. TCSC'nin 1 pu üzerindeki gerilime sahip bara bağlantı çalışmalarında, bu senaryoda da görüldüğü üzere; B45 barasının geriliminin düştüğü, B66 ve B83 baralarının gerilimlerinin sabit kalırken diğer bara gerilimlerinin de arttığı görülmüştür. B83 bara geriliminin ilk defa TCSC senaryolarında B25-B84 ve B84-B25 doğrultularında Tablo 4.4'te görüldüğü üzere 0,0196 pu ve 0,0204 pu gerilim düşüşü olmuştur. Gerilim düşüşlerinin aynı gerilim büyüklüğüne sahip baraların seri

TCSC bağlantılarında gerilimlerinde (B25-B84 bara bağlantısı) B83 barasına yakın doğrultuda başlayan TCSC bağlantısının B83 barası gerilimi üzerinde daha çok etkili olduğu görülmüştür.

B25 ve B84 baralarına bağlı TCSC'nin bağlantı doğrultusundan bağımsız frekans diğer senaryolarda olduğu gibi sabittir. TCSC'nin bağlantı doğrultularının değiştirilmesinin bütün senaryolarda frekans üzerinde bir etkisi olmamaktadır. Yapılan çalışmaların sonuçlarına göre frekans değişiklikleri TCSC'nin bağlı olduğu gerilim büyüklüklerinden ve uygulan B23 N-1 hata durumuna yakınlığından etkilenmektedir.

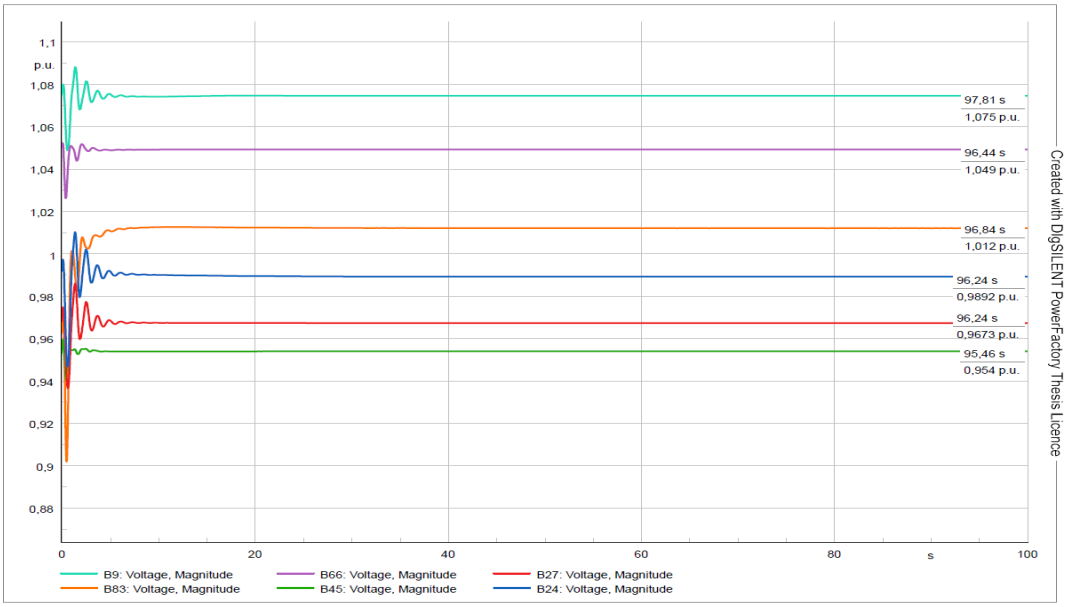
B23 N-1 hata durumu SSSC'li sistem

B23 N-1 hata durumunda SSSC'nin etkisini incelemek için sisteme seri olarak bağlanmıştır. TCSC için oluşturulan senaryolar SSSC içinde birebir uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.5'te sunulmuştur.

Tablo 4.5'te elde edilen sonuçlara göre B23-B24 baralarına farklı doğrultularda bağlanan SSSC'nin aynı TCSC'deki gibi gerilimi küçük olan baradan gerilimi yüksek olan baraya doğru bağlantısı sağlandığında gerilim artış ve düşüşleri artmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre B24 barasının her iki doğrultuda 0,0085 pu ve 0,0131 pu değerlerinde artış gösterek TCSC'ye göre daha çok gerilim artışı olmuştur. B27 bara gerilimleri ise Şekil 4.8.'de B23-B24 (Şekil 4.8) ve B24-B23 SSSC bağlantılarında 0,0002 pu ve 0,0003 pu düşmüştür. Oluşturulan SSSC B23 ve B24 senaryolarında B24 ve B27 baraları hariç diğer bara gerilimleri ve sistem frekansı sabit kalmıştır.

Tablo 4.5. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,9807	0,9675	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B23-B24	0,9892	0,9673	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B24-B23	0,9938	0,9672	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B23-B25	1,024	0,9759	0,9542	1,049	1,012	1,077	49,28
B25-B23	0,9558	0,9637	0,9537	1,049	1,012	1,075	49,30
B25-B27	HATA						
B27-B25	0,9804	0,9639	0,9540	1,049	1,012	1,074	49,29
B25-B83	KARARSIZ						
B83-B25	1,022	0,9897	0,9524	1,049	1,198	1,078	49,29
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

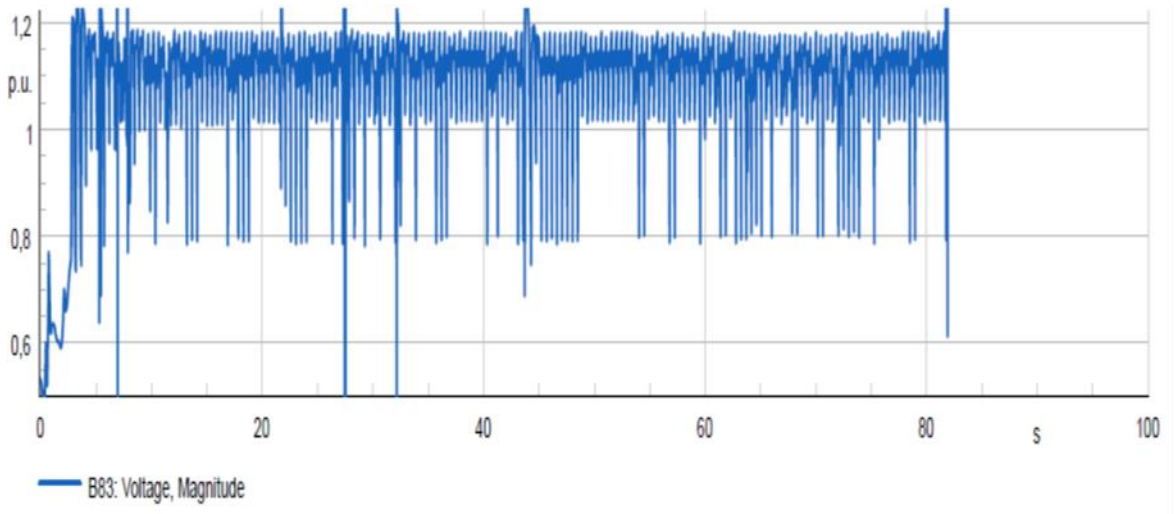


Şekil 4.8. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu SSSC (B23-B24)'li sistem bara gerilimleri

SSSC'nin B23-B25 doğrultusundaki bağlantısında B24, B27, B45 veB9 baralarının (Tablo 4.5) gerilimlerinin artış gösterdiği ve bu artış oranının TCSC'ye göre daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca bu simülasyonda farklı olarak sistem frekansı 0,01 Hz düşmüştür.

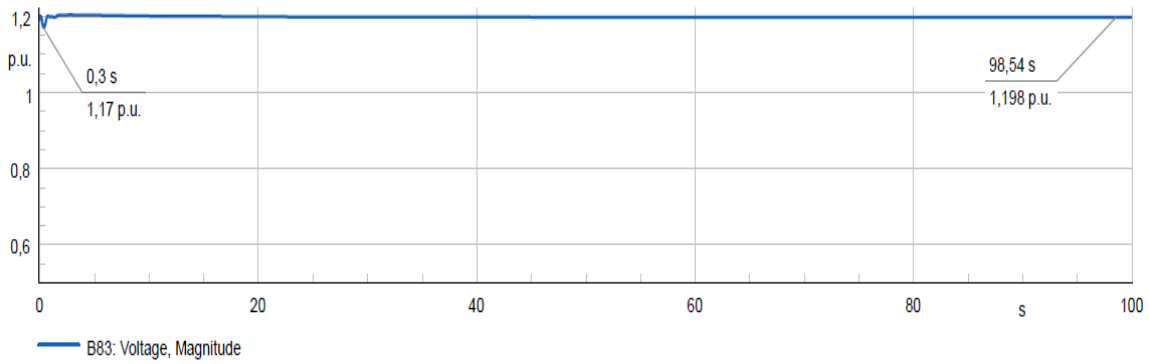
B25-B23 doğrultusundaki bağlantıda cihazının max iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları ile simülasyon gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarında TCSC simülasyonundan farklı olarak B24 barası 0,0249 pu değeri ile en yüksek düşüşünü göstermiştir. B27 ve B45 baraları ise 0,0038 pu ve 0,0003 pu değerlerinde B24 barası gibi düşüş gösterirken diğer bara gerilimleri sabit kalmıştır. Sistem frekansı ise Tablo 4.5'te gerilim düşümlerinin aksine simülasyon sonunda 0,01 Hz artış göstermiştir.

SSSC TCSC'deki gibi B27-B25 bağlantısında B24, B27 ve B9 baralarının gerilim değerlerinin Tablo 4.5'te düştüğü görülmektedir. Diğer simülasyonlarda iç döngüleme uyarısı ve yük akış hatası veren çalışmalar hariç gerçekleştirilen senaryolarda B24 gerilimi artarken; B27 barasına bağlı TCSC ve SSSC senaryolarında B24 bara gerilimi düşüş göstermiştir. B23 N-1 hata durumundaki SSSC ve TCSC simülasyonlarını değerlendirirken diğer baralardan farklı olarak B27 barasında yük konumunda statik genaratörün olduğu ve Şekil 4.5'te görüldüğü üzere iki bara arası gerilim farkının daha fazla olduğu görülmüştür. B25-B27 bağlantı simülasyonu ise yük akış hatası verdiğinden gerçekleştirilememiştir.



Şekil 4. 9. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu SSSC (B25-B83)'li sistem B83 bara gerilimi

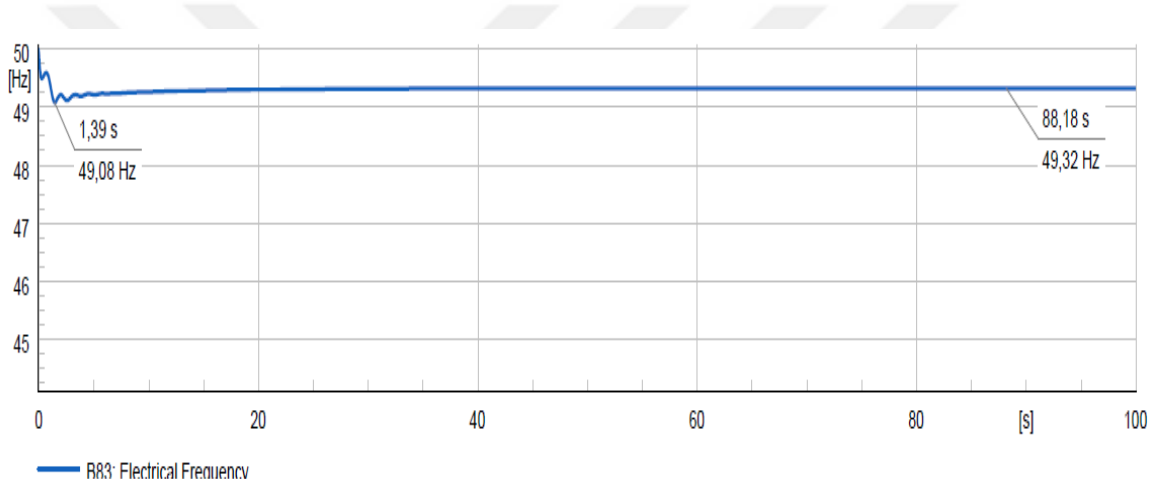
Bara gerilimleri 1 pu üzerinde olan SSSC senaryo simülasyonlarında; B25-B23 senaryosunun iç döngüleme uyarısı vererek simülasyonu gerçekleştirdiğini, B25-B83 doğrultusunda ise Şekil 4.9'da görüldüğü gibi gerilim ve frekans kararsızlıkları nedeniyle simülasyonun sistem tarafından durdurulduğunu, B83-B25 doğrultusunda B83 bara geriliminin Şekil 4.10'da normal çalışma koşullarının üstüne çıktığını, B27-B25, B25-B84 ve B84-B25 simülasyonlarında ise yük akış hatasından dolayı simülasyonlarını gerçekleştiremediği görülmüştür. SSSC'nin 1 pu üzerindeki bara gerilimleri bağlantılarının uygun olmadığı görülmüştür.



Şekil 4. 10. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B23 N-1 hata durumu SSSC (B83-B25)'li sistem B83 bara gerilimi

4.1.1.2. B84 N-1 hata durumu

%20 penetrasyon oranı %100 üretim kapasitesi çalışmasında 125MW kurulu güce sahip RES'e uygulanan N-1 hata durumunda sistem frekansı Şekil 4.11'de 0,13 Hz düşerek 49,32 Hz değerinde dengelenmiştir. Sistem frekansındaki bu düşüş B23 N-1 hata geriliminde daha az değerde olup YEK kurulu gücü ile doğru orantılıdır. İzlenen bara gerilimleri ise B23 N-1 senaryosundan farklı olarak düşüş göstermiştir. B84 N-1 hata durumunda kendisine yakın konumda bulunan B83 barası 0,018 pu düşüşle en yüksek gerilim düşüşüne maruz kalmıştır. Tablo 4.6'daki simülasyon sonuçlarında B24, B27 ve B84 bara gerilimlerinde 0,025pu, 0,002pu ve 0,018 pu düşüşler görülmüştür. İncelenen diğer bara gerilimleri ise sabit kalmıştır.



Şekil 4. 11. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu B83 frekansı

B84 N-1 hata durumunda FACTS cihazlarının sisteme dahil edilmesi

FACTS cihazlar sisteme seri ve şönt bağlantı ile dahil edilmiş ve dahil edilen cihazların etkinliği değerlendirilmiştir.

B84 N-1 hata durumu SVS'li sistem

B84 N-1 hata durumunda SVS'li sistem sonuçları Tablo 4.6'da sunulmuştur. SVS'li sistemin B23 ve B25 baralarına bağlı simülasyonlarda B66 bara gerilimi hariç tüm bara gerilimleri artmıştır. B83 ve B84 baralarına bağlantısında ise B83 barasının gerilimi 0,0158pu ve 0,0133pu değerlerinde düşürmüştür ve bu simülasyonlarda sistem frekansı 0,03Hz ve 0,02Hz artış göstermiştir.

Tablo 4. 6. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları

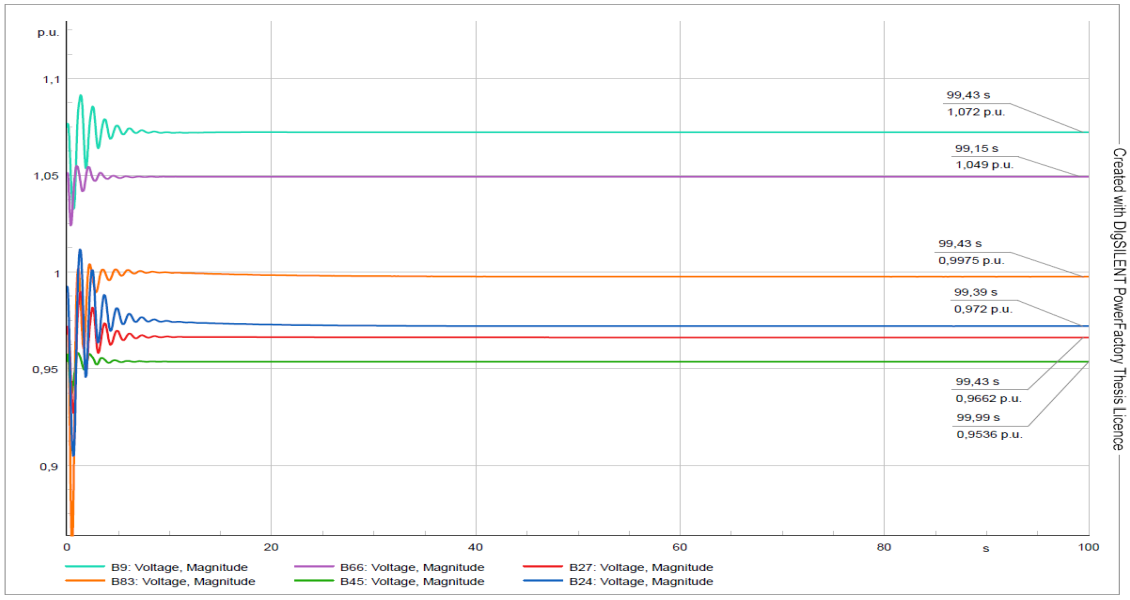
SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,972	0,9662	0,9536	1,049	0,9962	1,072	49,32
B23	0,9847	0,9702	0,9538	1,049	0,9963	1,073	49,32
B25	0,9986	0,9853	0,9540	1,049	0,9963	1,074	49,32
B83	0,9719	0,9661	0,9536	1,049	0,9804	1,072	49,35
B84	0,972	0,9662	0,9536	1,049	0,9829	1,072	49,33

B84 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem

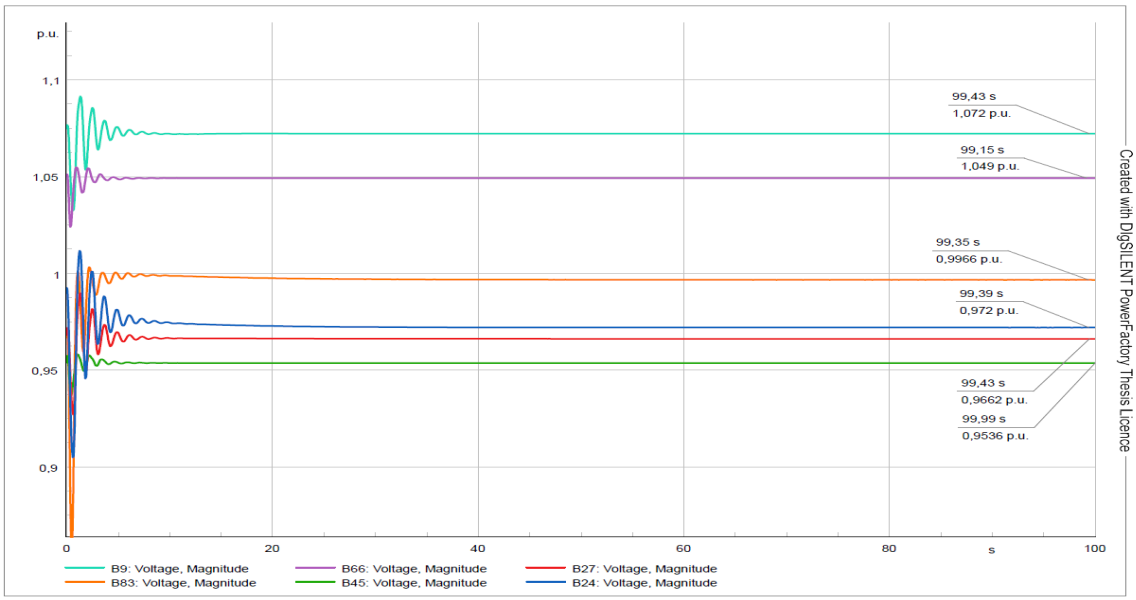
B84 N-1 hata durumunda sisteme dahil edilen STATCOM'un B23,B27,B83 ve B84 baralarına bağlantısı ile gerçekleştirilen senaryolarına ait bara gerilim ve frekans sonuçları Tablo 4.7'de sunulmuştur. B83 ve B84 baralarına bağlanan STATCOM'un Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te görüldüğü üzere B83 barasının gerilimini artırdığı ve B83 barasındaki gerilim artışı hariç izlenen bara gerilimlerinin ve sistem frekansının değişmediği görülmüştür.

Tablo 4. 7. %20 YE penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,972	0,9662	0,9536	1,049	0,9962	1,072	49,32
B23	0,972	0,9662	0,9536	1,049	0,9962	1,072	49,32
B27	0,972	0,9662	0,9536	1,049	0,9962	1,072	49,32
B83	0,972	0,9662	0,9536	1,049	0,9975	1,072	49,32
B84	0,972	0,9662	0,9536	1,049	0,9966	1,072	49,32



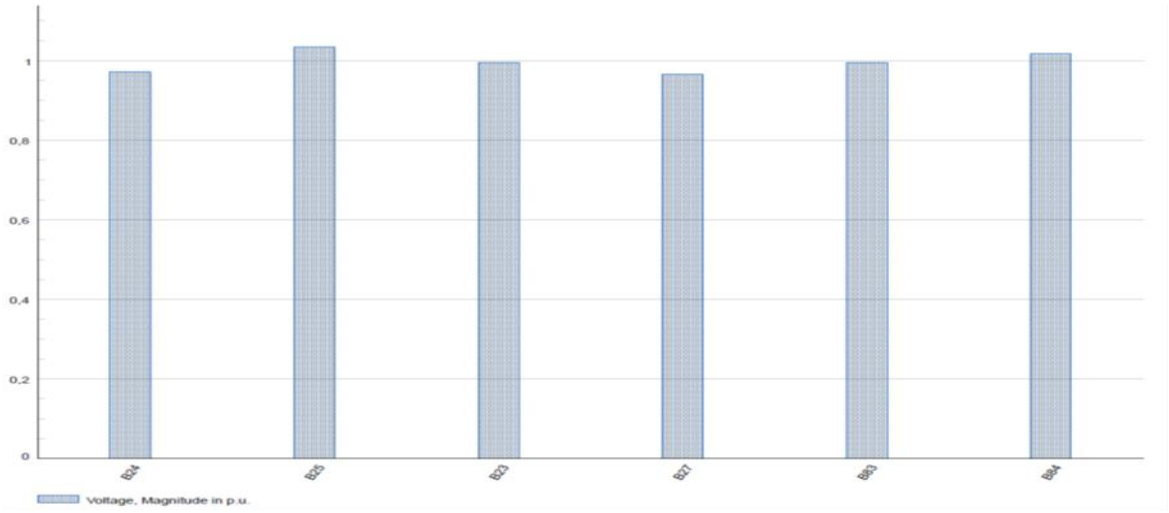
Şekil 4. 12. %20 YE penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu STATCOM (B83)'lu sistem bara gerilimleri



Şekil 4. 13. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu STATCOM (B84) 'lu sistem bara gerilimleri

B84 N-1 hata durumu TCSC'li sistem

TCSC %20 penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumunda dahil edilmesi ile B23 N-1'de uygulanan senaryolar gerçekleştirilmiştir. TCSC'nin bağlandığı bara gerilim grafiğine (Şekil.4.14) göre B25 ve B84 bara gerilimleri 1pu'nun üzerindeyken diğer bara gerilimleri 1pu'nun altındadır.



Şekil 4. 14. %20 YE penetrasyonu oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu bara gerilimleri

TCSC'nin bağlandığı baranın gerilim büyüklüklerine göre değişim gösterdiği daha önceki simülasyonlardan görülmüştür. TCSC'nin sisteme seri bağlanarak B23-B24 ve B24-B23 doğrultularında elde edilen verilerde (Tablo 4.8) B24 geriliminin arttığı ve artış oranının TCSC'nin düşük gerilimden büyük gerilime doğrultusundaki bağlantısına göre daha fazla olduğu görülmüştür. B25-B23 TCSC bağlantısında B23 ve B25 barasına yakın olan B24, B27 ve B45 bara gerilimleri artırmıştır. B25 barasının B27 barasıyla bağlantısında B66 ve B9 bara gerilimleri sabit kalırken B24 bara gerilimi B23 N-1 senaryosunda olduğu gibi düşmüştür. B25 barasının B83 ve B84 bağlantılarında B25-B83 bağlantısı B45 barası hariç en yüksek gerilim artışlarının görüldüğü simülasyon çalışmasıdır. B84 ile yapılan bağlantılarında ise TCSC B83 bara gerilimini düşürmüştür. Gerçekleşen gerilim düşüşü de TCSC'nin bağlantı doğrultusuna göre değişmektedir. B84 N-1 senaryosunda yük akış hatası

veren simülasyon çalışması B23 N-1 hata durumuna göre daha fazladır.

Sitem frekansları B25 barasının yani bara geriliminin 1 pu' nun üzerinde olan çalışmalarda 0,01Hz ve 0,02 Hz aralığında artmıştır

Tablo 4. 8. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,972	0,9662	0,9536	1,049	0,9962	1,072	49,32
B23-B24	0,9793	0,9661	0,9537	1,049	0,9962	1,072	49,32
B24-B23	0,9813	0,9661	0,9537	1,049	0,9962	1,072	49,32
B23-B25	Hata						
B25-B23	0,9763	0,9668	0,9537	1,049	0,9962	1,072	49,32
B25-B27	0,9710	0,9644	0,9535	1,049	0,9959	1,072	49,32
B27-B25	Hata						
B25-B83	1,010	0,9806	0,9535	1,049	1,035	1,078	49,34
B83-B25	HATA						
B25-B84	1,006	0,9786	0,9540	1,049	0,9930	1,078	49,33
B84-B25	1,008	0,9799	0,9540	1,049	0,9915	1,078	49,34

B84 N-1 hata durumu SSSC'lisistem

SSSC'li sistemde izlenen baralarda B66 bara gerilimi sabit kalmıştır. Uygulanan senaryolarda SSSC'nin B25-B23 baralarına seri bağlanmasıyla max iç döngüleme uyarısıyla gerçekleşen simülasyon sonuçlarında (Tablo 4.9) B9 ve B66 barası hariç bara

gerilimleri düşmüştür. TCSC'deki gibi bulunduğu alana yakınlık, bağlandığı baralar arası gerilim farkı gibi benzer özellikler göstermekle beraber gerilim değişimlerinde SSSC daha etkin olmuştur. SSSC gerilim değeri 1pu üzerinde yapılan çalışmalarında simülasyon yük akış hatası vererek gerçekleştirilememiştir.

Tablo 4. 9. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B84 N-1 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frakans sonuçları

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,972	0,9662	0,9536	1,049	0,9962	1,072	49,32
B23-B24	0,9822	0,9659	0,9537	1,049	0,9963	1,072	49,32
B24-B23	0,9966	0,9661	0,9538	1,049	0,9963	1,073	49,32
B23-B25	1,016	0,9725	0,9541	1,049	0,9966	1,075	49,32
B25-B23	0,9646	0,9658	0,9535	1,049	0,9959	1,073	49,32
B25-B27	HATA						
B27-B25	0,9909	1,044	0,954	1,049	0,9975	1,077	49,29
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

4.1.1.3. B25 N-1 hata durumu

Değişken YEK enerji entegrasyonuna uygulanan N-1 hata durumlarından biri olan 150MW güce sahip GES'e uygulanan hata durumudur. Elde edilen sonuçlar 150MW kurulu gücündeki B23 N-1 hata durumunda elde edilen sonuçlarla B27 barası gerilim artış miktarı hariç birebir uyum göstermektedir. B27 barasında gerçekleşen bu gerilim artış farklılığının B25 barasına yani hata uygulanan baraya yakınlığı ile ilişkilidir.

B25 N-1 hata durumu SVS'lisistem

Tablo 4. 10. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 N-1 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	fe(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,9807	0,9679	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B23	0,9922	0,9715	0,9541	1,049	1,012	1,075	49,29
B25	1,007	0,9861	0,9543	1,049	1,012	1,077	49,29
B83	0,9805	0,9679	0,9540	1,049	0,9936	1,075	49,32
B84	0,9807	0,9679	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29

B25 N-1 hata durumu uygulanması sonrası sistem üzerinde oluşan gerilim ve frekans dalgalanmalarını iyileştirmek amaçlı sisteme dahil edilen FACTS cihazılarından biri olan SVS'nin B23, B25, B83 ve B84 baralarına bağlı simülasyonlarında Tablo 4.10'daki sonuçlarında SVS'nin uygulandığı B23 ve B84 N-1 simülasyonlarıyla frekans davranışları açısından benzerlik göstermektedir. B83 SVS bağlantısında frekans grafiği 0,03Hz değerinde artmıştır.

B25 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem

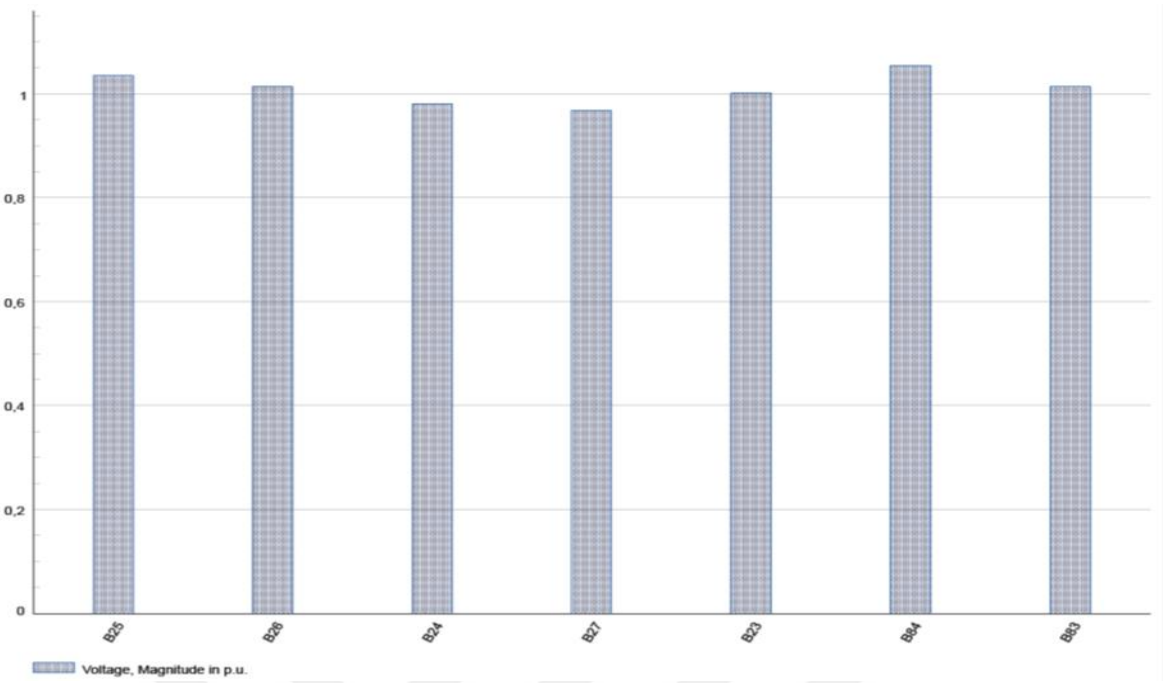
STATCOM'un sisteme dahil edilmesi ile gerçekleştirilen simülasyonlar B23 N-1 hata durumunda farklı olarak B27 barasının B25 N-1 hata durumundan konum itibariyle daha çok etilenmesidir. Tablo 4.11'de verilen sonuçlar STATCOM bağlantısı sonrası gerçekleşen davranışlar birebir aynıdır.

Tablo 4. 11. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,9807	0,9679	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B23	0,9807	0,9679	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B27	0,9807	0,9679	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B83	0,9807	0,9679	0,9540	1,049	1,013	1,075	49,29
B84	0,9807	0,9679	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29

B25 N-1 hata durumu TCSC'li sistem

Sisteme dahil TCSC'nin N-1 hata durumundaki davranışları Tablo 4.12'de verilmiştir. Aynı değerdeki kurulu güce sahip olduğu B23 N-1 hata durumunun uygulandığı senaryoda B83-B25 TCSC senaryosu yük akış hatası verirken bu simülasyonda B84-B25 bağlantısı yük atış hatası vermiştir. Bara gerilimleri büyüklüklerine göre Şekil 4.15'te değerlendirilen TCSC bağlantıları benzer sonuç içerikleri oluşturmuştur.



Şekil 4. 15. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 N-1 hata durumu bara gerilimleri

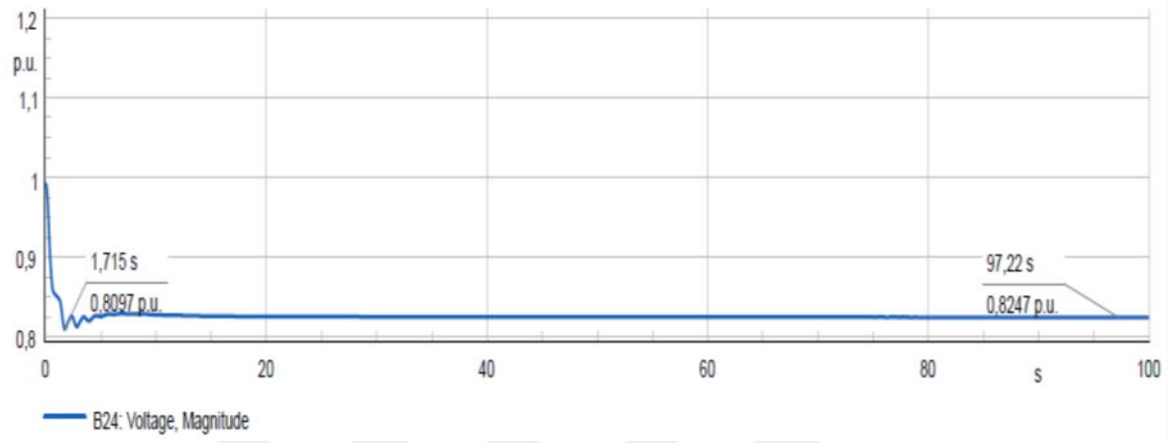
Tablo 4. 12. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 N-1 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,9807	0,9679	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B23-B24	0,9857	0,9678	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B24-B23	0,9868	0,9679	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B23-B25	0,9830	0,9682	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B25-B23	0,9829	0,9682	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B25-B27	0,9799	0,9664	0,9540	1,049	1,012	1,074	49,30
B27-B25	0,9799	0,9664	0,9540	1,049	1,012	1,074	49,30
B25-B83	1,010	0,9809	0,9534	1,049	1,031	1,078	49,31
B83-B25	1,011	0,9816	0,9534	1,049	1,032	1,078	49,31
B25-B84	1,008	0,9797	0,9539	1,049	0,9925	1,078	49,31
B84-B25							

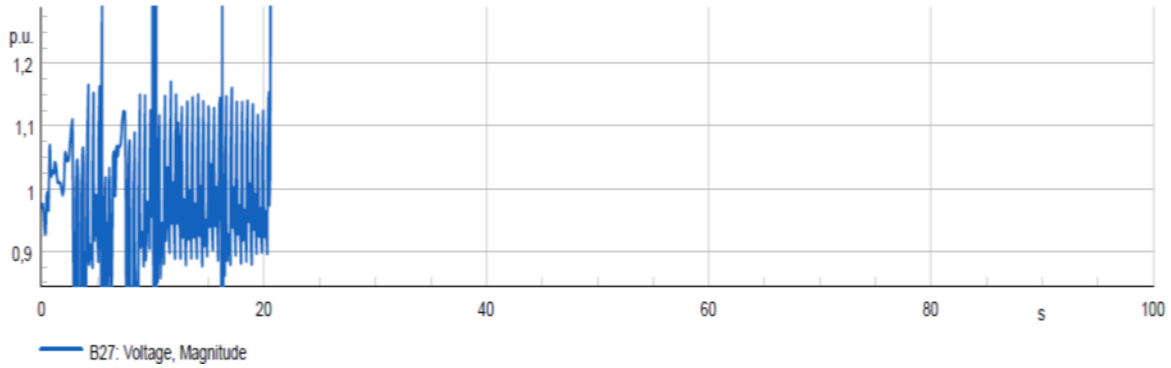
B25 N-1 hata durumu SSSC'li sistem

SSSC'nin sisteme dahil edilmesi durumunun sonuçları Tablo 4.13'te verilmiştir. SSSC'nin bağlantı doğrultularında N-1 hatalarında farklılık gösteren simülasyonların hatanın uygulama alanına bağlıdır. Örneğin; N-1 hata durumunun B23 barasının yerine B25 barasına uygulanmasından kaynaklı B23-B25 ve B25-B23 bağlantılarında gerilim değişimlerinde farklılık göstermesidir. B23 N-1 hata durumunda B25-B23 simülasyonunda gerilim artışları gözlenirken B25 N-1 durumunda B23-B25 senaryosunda bara gerilimleri

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi normal çalışma koşulları altına düşmüştür. Etkin bir konumdan bağlanmayan SSSC sistemde kararlılığı bozmakta ve gerilimin normal çalışma koşulların altına düşmesine neden olmaktadır. SSSC'nin B23 N-1 hata durumunda olduğu gibi B25-B83 bağlantısında simülasyonlarda oluşan kararsızlık durumu sonucu simülasyon Şekil 4.17'de görüldüğü üzere durdurulmuştur.



Şekil 4. 16. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 N-1 hata durumu SSSC(B23-B25)'li sistem B24 bara gerilimi



Şekil 4. 17. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 N-1 hata durumu SSSC(B25-B83)'li sistem B27 bara gerilimi

Tablo 4. 13. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 N-1 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,9807	0,9679	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B23-B24	0,9913	0,9676	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B24-B23	1,003	0,9674	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B23-B25	0,8247	0,8938	0,9472	1,049	1,012	1,03	49,06
B25-B23	1,026	0,9734	0,9544	1,049	1,012	1,076	49,29
B25-B27	HATA						
B27-B25	0,9805	0,9640	0,9540	1,049	1,012	1,075	49,29
B25-B83	HATA						
B83-B25	0,9859	0,9643	0,9488	1,049	1,4472	1,056	49,17
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

4.1.1.4. Hat (B23-B25) N-1 hata durumu

Enerji nakil hatlarındaki kısıtlılıkların sistem üzerindeki etkilerini izlemek için hat (B23-B25) N-1 hata durumu uygulanmıştır. Hata durumunun uygulanması ile B23-B25 hattına yakın B23, B27, B45 baralarında Tablo 4.14'te görüldüğü üzere gerilim düşüşü olmuş diğer baraların gerilimleri ve sistem frekansı sabit kalmıştır.

Hat (B23-B25) N-1 hata durumunda FACTS cihazlarının sisteme dahil edilmesi

FACTS cihazlarının beklenmedik hata durumlarında etkinliği değerlendirilmiştir.

Hat (B23-B25) N-1 hata durumu SVS'li sistem

SVS'nin sisteme dahil edilmesiyle elde edilen sonuçlara göre (Tablo 4.14) SVS'nin B25 barasına bağlanmasıyla sistem frekansı, B66 ve B83 bara gerilimleri sabit kalmıştır. B24, B27 ve B45 gerilimleri artış göstermiştir. SVS B23 bağlantısında izlenen bara gerilimleri düşmüştür, sadece B66 ve B83 bara gerilimleri ve sistem frekansı değişmemiştir. SVS'nin bağlandığı baraya göre simülasyondaki davranışları değişmektedir. B83 barasına bağlanmasıyla B24 ve B83 bara gerilimi 0,0003pu ve 0,0185pu değerlerinde düşerken, sistem frekansı ise 0,02Hz artmıştır. B83 barasında frekans artışına sebep olabilecek farklılıklara baktığımızda şönt filtrenin bulunmasıdır.

Tablo 4. 14. %20 penetrasyon oranı %100 üretim Hat (B23-B25) N-1 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,9697	0,9653	0,9535	1,049	1,008	1,072	49,45
B23	0,9478	0,9605	0,9533	1,049	1,008	1,071	49,45
B25	0,9750	0,9809	0,9537	1,049	1,008	1,073	49,45
B83	0,9694	0,9653	0,9535	1,049	0,9895	1,072	49,47
B84	0,9697	0,9653	0,9535	1,049	1,008	1,072	49,45

Hat (B23-B25) N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem

N-1 durumundaki B83 barasının gerilimi Tablo 5.15'te görüldüğü üzere B83 barasına STATCOM'un bağlanmasıyla artmakta ve sistem frekansında bütün simülasyonlarında herhangi bir artış ve düşüş görülmemektedir.

Tablo 4. 15. %20 penetrasyon oranı %100 üretim Hat (B23-B25) N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,9697	0,9653	0,9535	1,049	1,008	1,072	49,45
B23	0,9697	0,9653	0,9535	1,049	1,008	1,072	49,45
B27	0,9697	0,9653	0,9535	1,049	1,008	1,072	49,45
B83	0,9697	0,9653	0,9535	1,049	1,009	1,072	49,45
B84	0,9697	0,9653	0,9535	1,049	1,008	1,072	49,45

Hat (B23-B25) N-1 hata durumu TCSC'li sistem

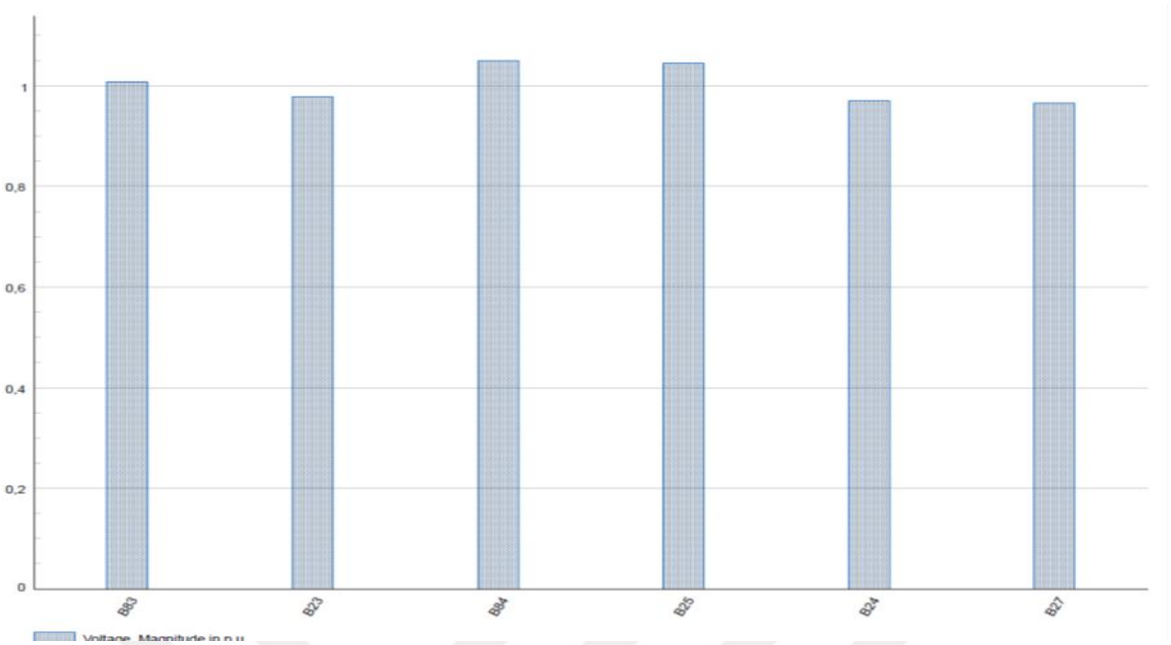
TCSC'nin iletim hattı N-1 hata durmunda gerçekleştirilen simülasyonlarında daha önceki senaryolarda görülen yük akış hatası görülmemiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4. 16. %20 penetrasyon oranı %100 üretim Hat (B23-B25) N-1 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

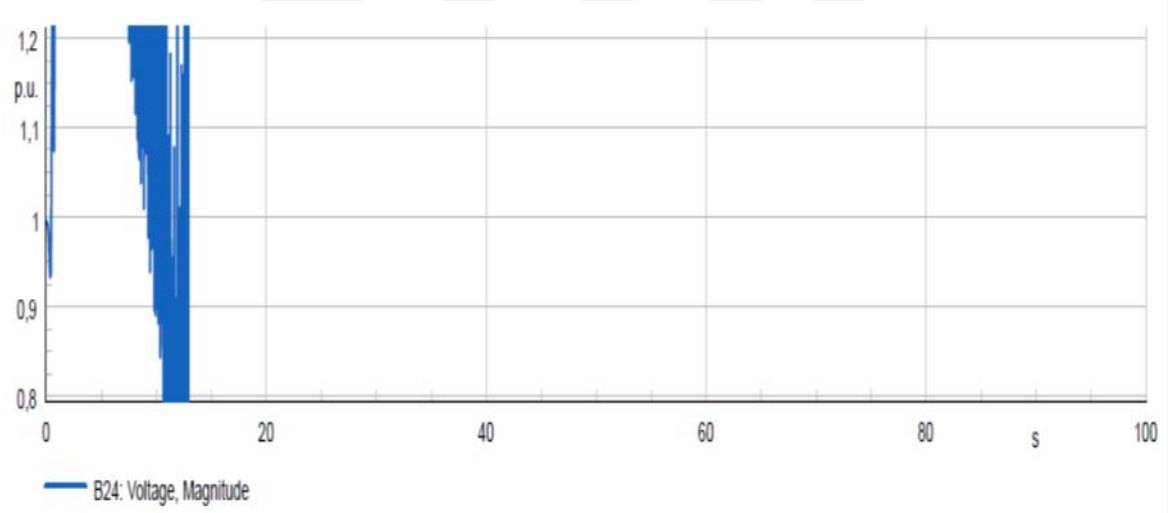
TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,9697	0,9653	0,9535	1,049	1,008	1,072	49,45
B23-B24	0,9747	0,9651	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
B24-B23	0,9763	0,9651	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
B23-B25	0,9776	0,9671	0,9537	1,049	1,008	1,073	49,45
B25-B23	0,9776	0,9671	0,9537	1,049	1,008	1,073	49,45
B25-B27	0,9666	0,9661	0,9535	1,049	1,008	1,072	49,45
B27-B25	0,9666	0,9661	0,9535	1,049	1,008	1,072	49,45
B25-B83	0,9976	0,9790	0,9538	1,049	1,037	1,078	49,46
B83-B25	0,9976	0,9791	0,9538	1,049	1,037	1,078	49,46
B25-B84	0,9989	0,9806	0,9543	1,049	0,9879	1,079	49,45
B84-B25	0,9979	0,9793	0,9544	1,049	0,9900	1,079	49,45

Hat (B23-B25) N-1 hata durumu SSSC'li sistem

Sistem Şekil 4.18 ve Tablo 4.17'de gösterilen bara gerilim büyüklüklerine göre kararsız durumlar gerçekleşmiştir. Hat (B23-B25) hattına her iki doğrultuda gerçekleşen SSSC bağlantılarında doğrultu fark etmeksizin Şekil 4.19'da görüldüğü üzere karasızlık hali oluşmuştur.



Şekil 4. 18. %20 penetrasyon oranı %100 üretim Hat (B23-B25) N-1 hata durumu bara gerilimleri



Şekil 4. 19. %20 penetrasyon oranı %100 üretim Hat (B23-B25) N-1 hata durumu SSSC (B25-B23)'li sistem B24 bara gerilimi

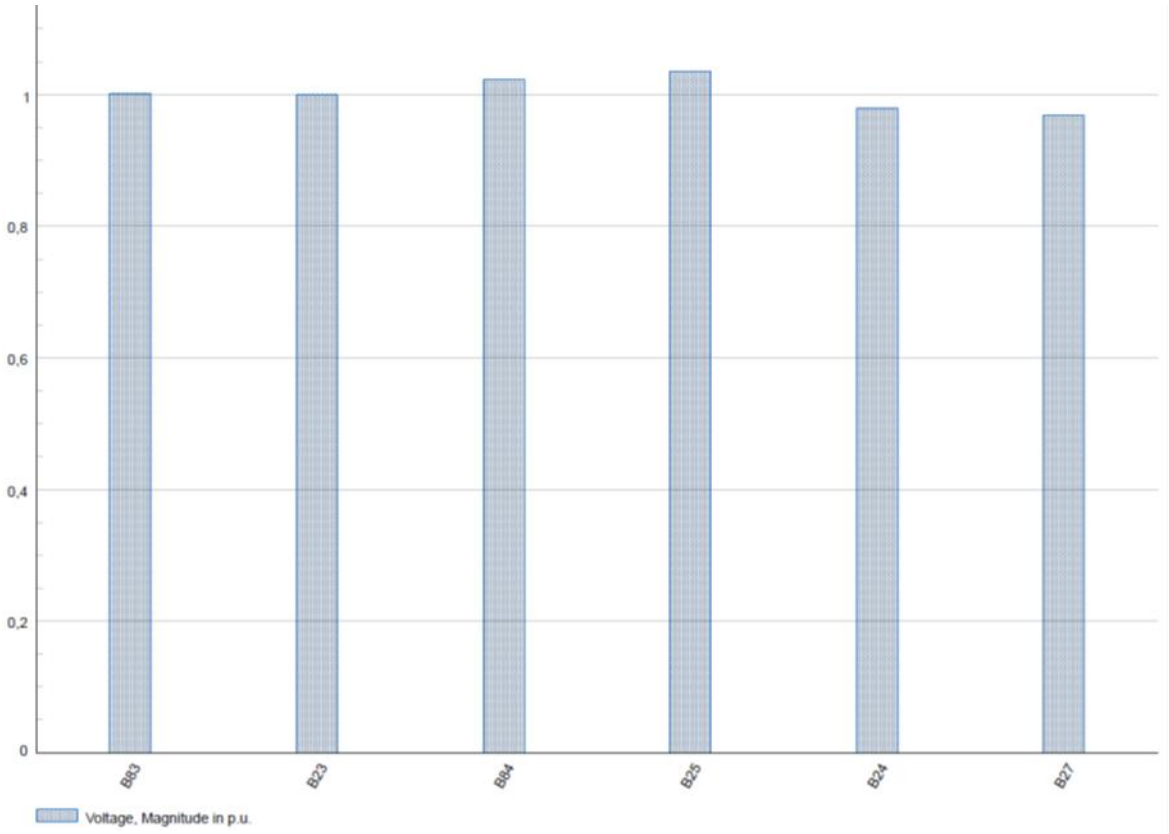
Tablo 4. 17. %20 penetrasyon oranı %100 üretim Hat (B23-B25) N-1 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,9697	0,9653	0,9535	1,049	1,008	1,072	49,45
B23-B24	0,9743	0,9652	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
B24-B23	0,9727	0,9657	0,9537	1,049	1,008	1,072	49,45
B23-B25	KARARSIZ						
B25-B23	KARARSIZ						
B25-B27	HATA						
B27-B25	0,9990	1,083	0,9542	1,049	1,009	1,079	49,40
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

SSSC gerçekleştirilen senaryolarında sistemin başlangıç yük hatası verdiği ve kararsızlık hali sayısı diğer FACTS cihazlarından fazladır. Gerçekleşen simülasyonlarda SSSC'nin bulunduğu bara ve hata durumu ile ilişkili gerilim artış ve azalışları görülmüştür. B27-B25 doğrultusunda seri bağlanan SSSC bara gerilimlerini artırmış fakat sistem frekansı 0,05Hz düşmüştür.

4.1.1.5. B25 ve B84 N-2 hata durumu

Sistem üzerinde oluşabilecek N-2 hata durumunu 150 MW gücündeki GES ve 125MW gücündeki RES santrali üzerinde uygulayarak yapılan simülasyon sonucu izlenen baralarda B66 bara gerilimi sabit kalırken B83 bara geriliminin düştüğü ve diğer bara gerilimlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca sistem frekansı 0,18Hz düşerek 49,17Hz'de dengelenmiştir. Uygulan N-1 hata durumlarında en fazla frekans düşüşü yaşanan N-2 hata durumu toplam 275MW kurulu güce uygulanan hata neticesindendir.



Şekil 4. 20. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu bara gerilimleri

B25 ve B84 N-2 hata durumunda FACTS cihazlarının sisteme dâhil edilmesi

Sistem frekansı ve gerilim dalgalanmalarını iyileştirmek için sisteme her hata durumunda olduğu gibi FACTS cihazları dahil edilmiştir.

B25 ve B84 N-2 hata durumu SVS'li sistem

SVS'nin sisteme dâhil edilmesi hem B25 hem de B84 baralarının N-1 hata durumlarında gerçekleşen SVS simülasyonlarıyla uyumludur. Modellenen simülasyonlarda (Tablo 4.18) B25 SVS simülasyonunda B83 bara gerilimi değişmezken B84 barasında gerçekleşen SVS simülasyonunda B83 bara gerilimi aynı B83 SVS simülasyonunda olduğu gibi düşmüştür. Sistem frekansı B25 SVS simülasyonunda 0,01 Hz düşüş B83 ve B84 baralarına bağlı simülasyonlarda Tablo 4.18'de görüldüğü üzere 0,02Hz ve 0,01Hz artışlar göstermiştir.

Tablo 4. 18. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları

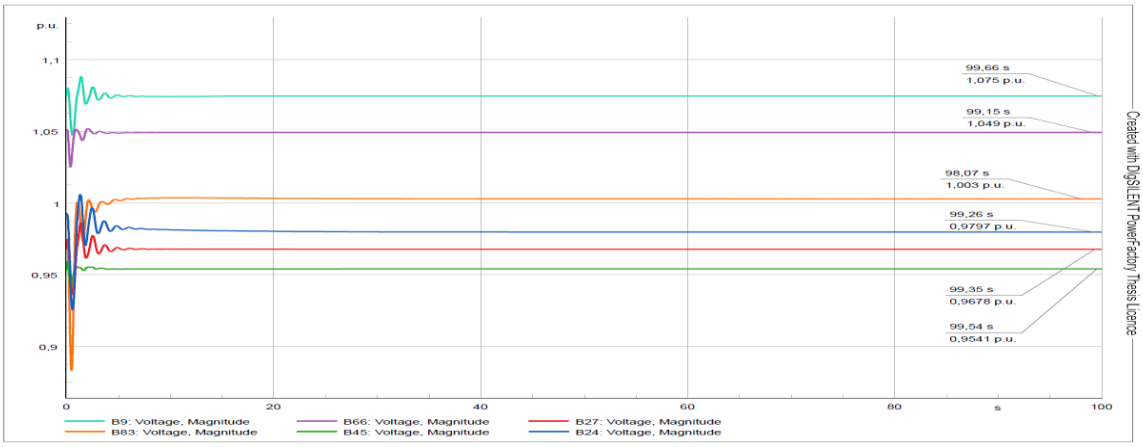
SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-2	0,9797	0,9795	0,9541	1,049	1,002	1,075	49,17
B23	0,9912	0,9713	0,9542	1,049	1,002	1,075	49,17
B25	1,006	0,9860	0,9544	1,049	1,002	1,076	49,16
B83	0,9795	0,9677	0,9541	1,049	0,9858	1,075	49,19
B84	0,9797	0,9678	0,9541	1,049	0,9882	1,075	49,18

B25 ve B84 N-2 hata durumu STATCOM'lu sistem

TATCOM'un sisteme dahil edilmesi ile Tablo 4.19'da görüldüğü üzere B23, B27 ve B84 baralarındaki simülasyonunda sistem frekans ve gerilimleri sabit kalmıştır. B83 barasına bağlantısında ise B83 bara geriliminde 0,001pu artış olduğu Şekil 4.21'de görülmektedir.

Tablo 4. 19. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,17
N-1	0,9797	0,9678	0,9541	1,049	1,002	1,075	49,17
B23	0,9797	0,9678	0,9541	1,049	1,002	1,075	49,17
B27	0,9797	0,9678	0,9541	1,049	1,002	1,075	49,17
B83	0,9797	0,9678	0,9541	1,049	1,003	1,075	49,17
B84	0,9797	0,9678	0,9541	1,049	1,002	1,075	49,17



Şekil 4. 21. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 ve B83 N-2 hata durumu STATCOM (B83)'lü sistem B83 bara gerilimi

B25 ve B84 N-2 hata durumu TCSC'li sistem

Hata durumlarında TCSC'nin davranışları Tablo 4.20'ye göre N-2 hata durumunda minimal farklılıklar oluştursa da B84 ve B25 hata durumlarındaki ortak özellikleri oluşturmuştur. B84 N-1 hata durumunda B27-B25 doğrultusunda bağlanan simülasyon hata veriyorken N-2 durumunda vermemiştir. Simülasyon sonucu olarak minimal değer farklılıkları bulunmakta ama genel itibariyle simülasyondaki TCSC davranışları aynıdır.

Tablo 4. 20. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

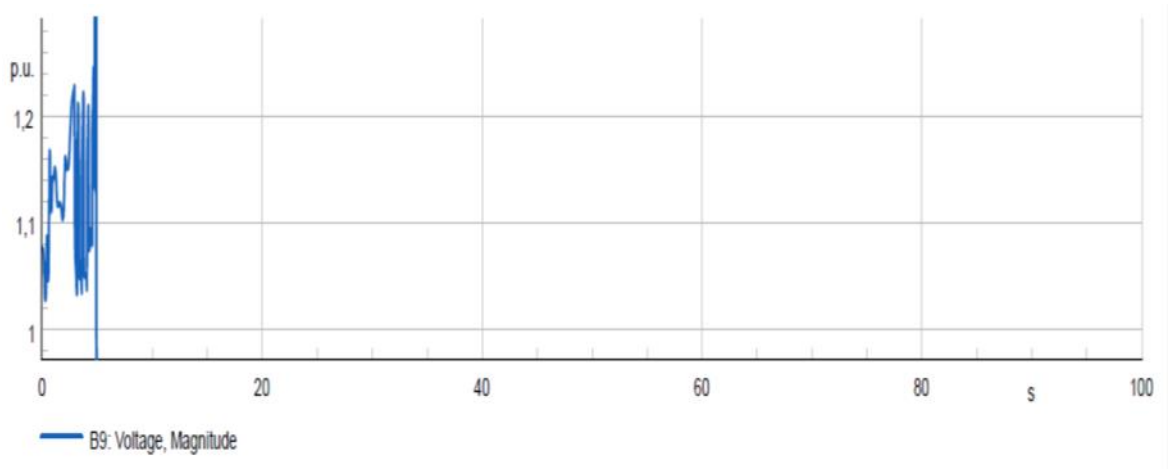
TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,9797	0,9678	0,9541	1,049	1,002	1,075	49,17
B23-B24	0,9851	0,9677	0,9541	1,049	1,002	1,075	49,17
B24-B23	0,9863	0,9677	0,9541	1,049	1,002	1,075	49,17
B23-B25	0,9822	0,9681	0,9541	1,049	1,002	1,075	49,17
B25-B23	0,9821	0,9681	0,9541	1,049	1,002	1,075	49,17
B25-B27	0,9789	0,9663	0,9540	1,049	1,001	1,074	49,17
B27-B25	0,9789	0,9663	0,9540	1,049	1,001	1,074	49,17
B25-B83	1,006	0,9791	0,9531	1,049	1,0305	1,077	49,18
B83-B25	1,007	0,9796	0,9531	1,049	1,0314	1,077	49,18
B25-B84	1,006	0,9791	0,9534	1,049	0,9956	1,077	49,18
B84-B25	HATA						

B25 ve B84 N-2 hata durumu SSSC'li sistem

SSSC'nin sisteme dahil edilmesiyle simülasyonda Tablo 4.21'de elde edilen sonuçlara göre etkin 5 sonuç alınmış.

Tablo 4. 21. %20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9735	0,9664	0,9536	1,049	1,008	1,072	49,45
N-1	0,9797	0,9678	0,9541	1,049	1,002	1,075	49,17
B23-B24	0,9909	0,9674	0,9541	1,049	1,002	1,075	49,17
B24-B23	1,0021	0,9672	0,9540	1,049	1,002	1,075	49,17
B23-B25	HATA						
B25-B23	1,025	0,9733	0,9544	1,049	1,002	1,076	49,17
B25-B27	HATA						
B27-B25	0,9795	0,9640	0,9541	1,049	1,002	1,074	49,17
B25-B83	KARARSIZ						
B83-B25	0,9890	0,9681	0,9534	1,049	1,027	1,076	49,16
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						



Şekil 4. 22.%20 penetrasyon oranı %100 üretim B25 ve B83 N-2 hata durumu SSSC (B25-B83)'li sistem B89 bara gerilimi

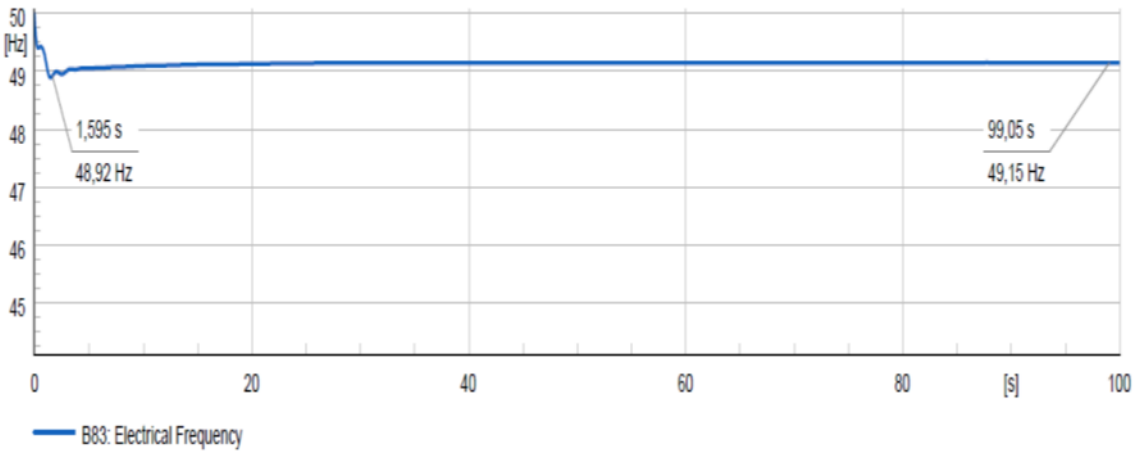
Başlangıç yük akış hatası verdiği için diğer bağlanma alanlarının simülasyonu gerçekleştirilememiş ve B25-B83 baralarının simülasyonunda karasız durum oluşmuş ve simülasyon Şekil 4.21'de sistem tarafından durdurulmuştur. SSSC'nin sisteme dâhil edilmesiyle B23-B24 ve B24-B23 bağlantılarında B24 bara gerilimleri artmış fakat B27 bara gerilimleri düşmüştür. B25-B23 bağlantısında ise B24, B27, B45 ve B9 bara gerilimleri artış göstermiştir. B27-B25 bağlantısında B24, B27 ve B9 gerilimleri düşmüş, diğer bara gerilimleri ve sitem frekansı sabit kalmıştır. B27 barasına bağlanan SSSC'nin bağlı olduğu baranın gerilimini düşürdüğü görülmüştür. B83-B25 SSSC bağlantısında B45 ve B66 baraları hariç diğer bara gerilimlerinin değeri artmıştır.

4.2. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi

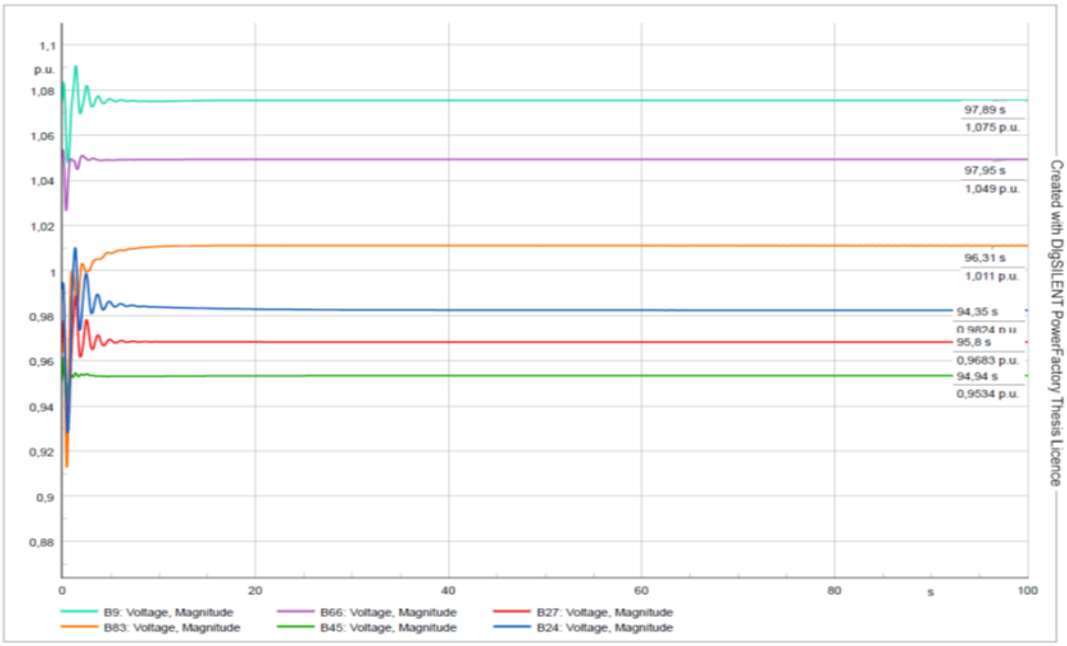
Üretim belirsizliğini modellemek için değişken YEK'lerin üretim kapasiteleri %75 oranına düşürülmüştür. Bu amaçla YEK'lerin 150 MW olan kurulu 112,5 MW'a ve 125MW olan kurulu gücü 93,75MW'a düşürülerek sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sisteme uygulanan N-1 hata durumları uygulanan simülasyonları gerçekleştirirken üretim kapasitelerini oranlı bir şekilde düşürülmeye çalışılmış fakat simülasyon yük akış hatası verdiğinden üretim düşüşleri için ayrı simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Değişken YEK'lerin üretimi %75 kapasite oranına düşürüldüğünde sistem frekansının Şekil 4.23'te görüldüğü üzere 0.3 Hz düştüğü ve Şekil 4.24'te gerilim değişimlerinin yaşandığı görülmüştür. B45 barasının gerilimi düşerken; B66 bara gerilimi sabit kalmış ve diğer bara

gerilimlerinde artış olmuştur.



Şekil 4. 23. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi frekans grafiği



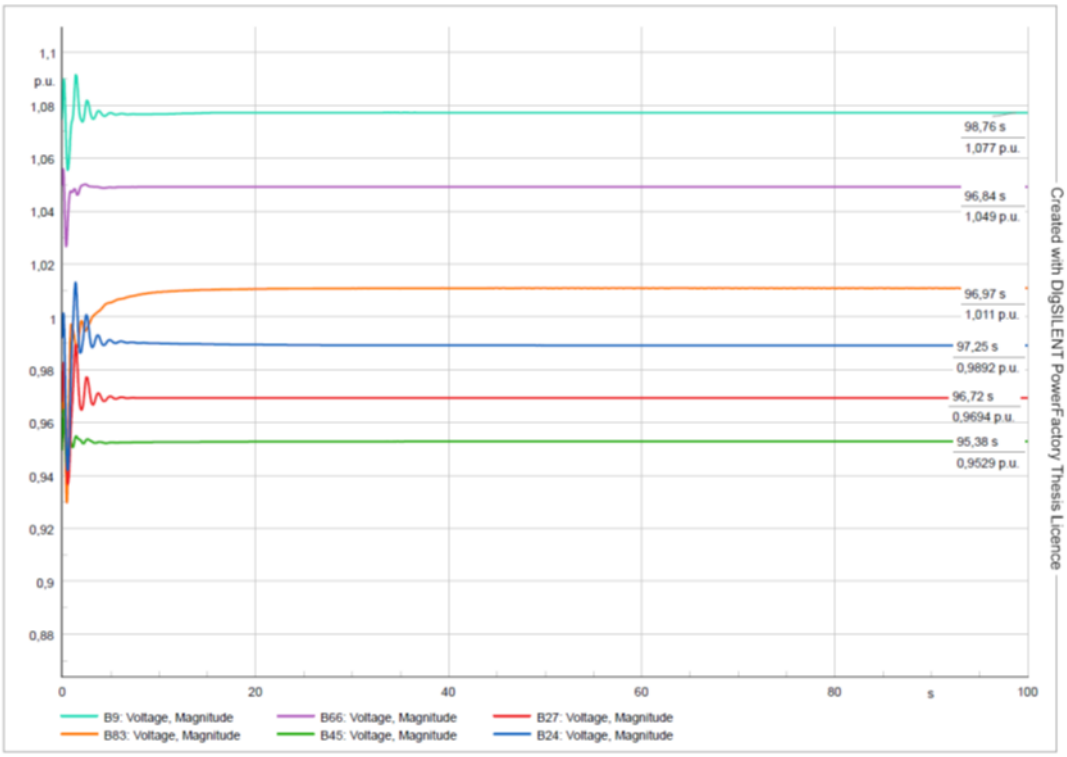
Şekil 4. 24. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi gerilim grafiği

4.2.1. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi N-1/N-2 hata durumları

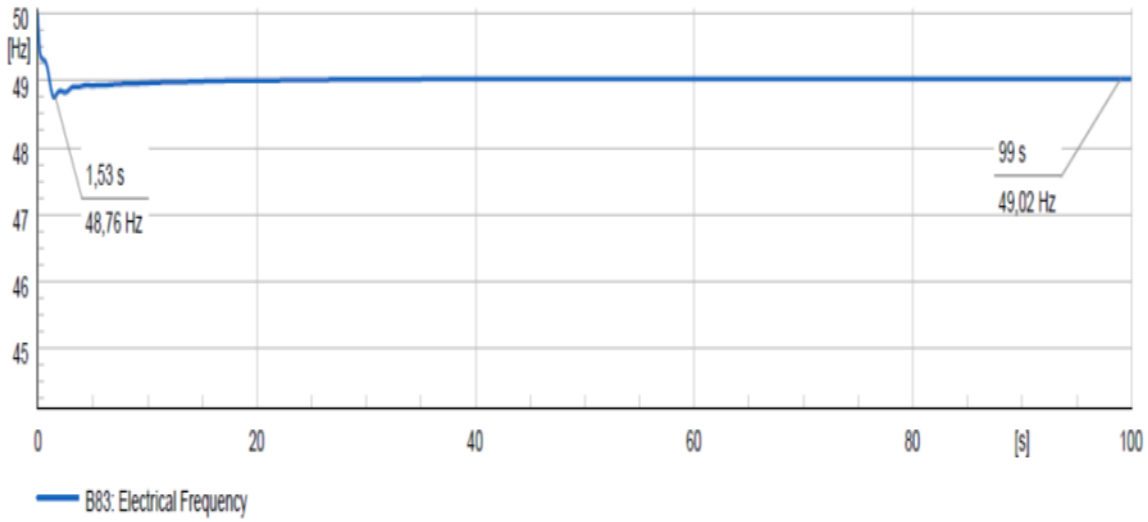
%75 YEK üretim kapasitesinin iletim hattına uygulanan N-1/N-2 hata durumları ve hata durumlarında sisteme FACTS cihazları dahil ederek sistem üzerinde etkileri incelenmiştir.

4.2.1.1. B23 N-1 hata durumu

YE entegrasyonu sonrası düşürülen üretim kapasitesinde sisteme uygulanan B23 N-1 hata durumunda izlenen bara gerilimlerinde hata uygulanan B23 RES'e uzak olan B66 ve B83 baralarının gerilimi sabit kalırken B45 bara gerilim değeri düşmüştür. Şekil 4.25'te görüldüğü üzere B24, B27, B9 bara gerilimleri artış göstermiştir. Bara gerilimlerinde seyredilen gerilim değişimlerinin yanı sıra üretimin düşmesiyle birlikte sistem frekansında da (Şekil 4.26) 0.13Hz'lik bir düşüş gerçekleşmiştir.



Şekil 4. 25. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B23 N-1 gerilim grafiği



Şekil 4. 26. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B23 N-1 frekans grafiği

B23 N-1 hata durumunda FACTS cihazlarının sisteme dahil edilmesi

N-1 hata durumları sonrası sistem üzerinde oluşan gerilim ve frekans dalgalanmalarını iyileştirmek adına sisteme FACTS cihazlarının dahil edilmesiyle sistem üzerindeki etkiler gözlenmiştir. SVS, TCSC, STATCOM, SSSC cihazlarının simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

B23 N-1 hata durumu SVS'li sistem

SVS'nin sisteme dahil edilmesiyle birlikte Tablo 4.22'de görüldüğü üzere B66 bara gerilimi sabit kalmıştır. Diğer bara gerilimleri SVS'nin bağladığı baraya konumlarına göre etkilenmiştir. B23 N-1 hata sonrası B24 ve B27 baralarında meydana gelen gerilim artışlarına karşın SVS B23 simülasyonu B24 ve B27 baralarının gerilimini 0,002 ve 0,0007 pu değerlerinde düşürmüştür. SVS B25 konumunda iken B24 ve B27 barasında 0,0258 ve 0,0185 pu en yüksek gerilim artışları olurken B45 ve B9 bara gerilimlerinde 0,0002 pu artış olmuştur. B83'e bağlı SVS simülasyonunda hem bağlı bulunduğu bara gerilimi 0,0176 pu hem de B24 ve B27 bara gerilimleri düşmüştür. SVS'nin B84 barası bağlantısında ise B83 bara gerilimi 0,003 pu düşerken diğer bara gerilimleri sabit kalmıştır. Sistem frekansı sadece B25 bağlantısında sabit kalırken B23, B83 ve B84 bağlantılarında 0,1Hz, 0,3Hz, 0,2 Hz artış göstermiştir.

Tablo 4. 22. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B23 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları

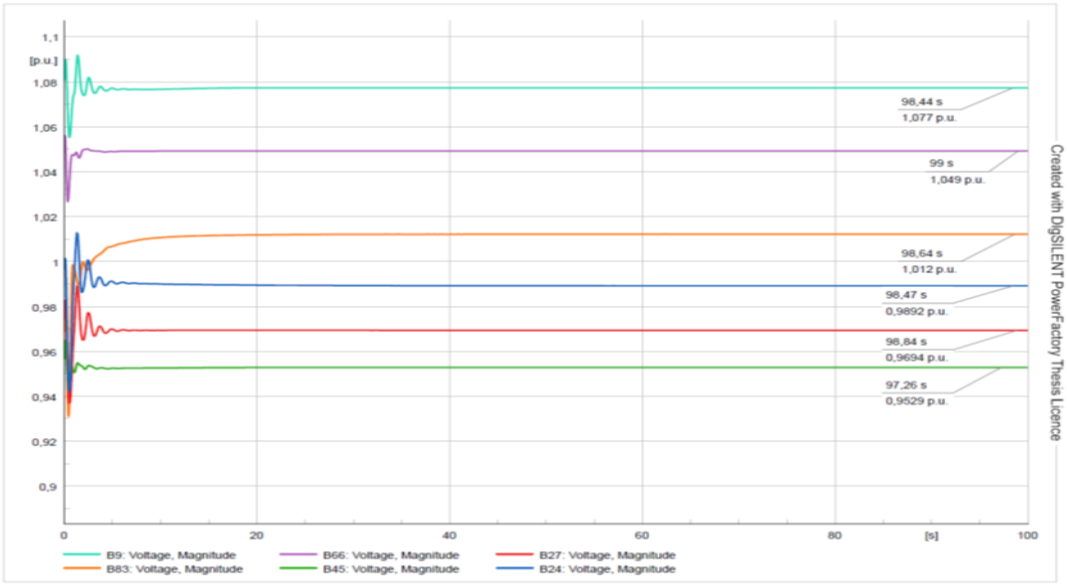
SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9892	0,9694	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,02
B23	0,9872	0,9687	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,03
B25	1,015	0,9879	0,9531	1,049	1,011	1,079	49,02
B83	0,9889	0,9693	0,9529	1,049	0,9934	1,077	49,05
B84	0,9892	0,9694	0,9529	1,049	1,008	1,077	49,03

B23 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem

SVS gibi sisteme şönt bağlanan STATCOM ile gerçekleştirilen simülasyonlarda (Tablo 4.23) frekans değeri 49.02 Hz olarak sabit kalmıştır. STATCOM B83 bağlantısında bara gerilimleri ise (Şekil 4.27) B84 bara geriliminde meydana gelen 0,001 pu artış hariç diğer bara gerilimleri sabit kalmıştır.

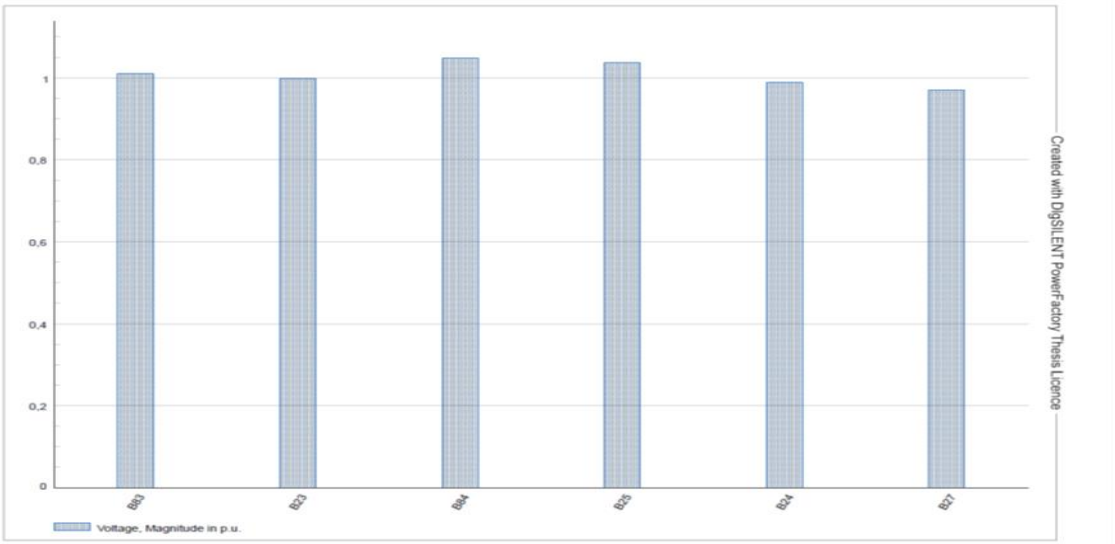
Tablo 4. 23. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B23 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1.049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9892	0,9694	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,02
B23	0,9892	0,9694	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,02
B27	0,9892	0,9694	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,02
B83	0,9892	0,9694	0,9529	1,049	1,012	1,077	49,02
B84	0,9892	0,9694	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,02



Şekil 4. 27. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B23 N-1 STATCOM(B83)'lu gerilim grafiği

B23 N-1 hata durumu TCSC'lisistem

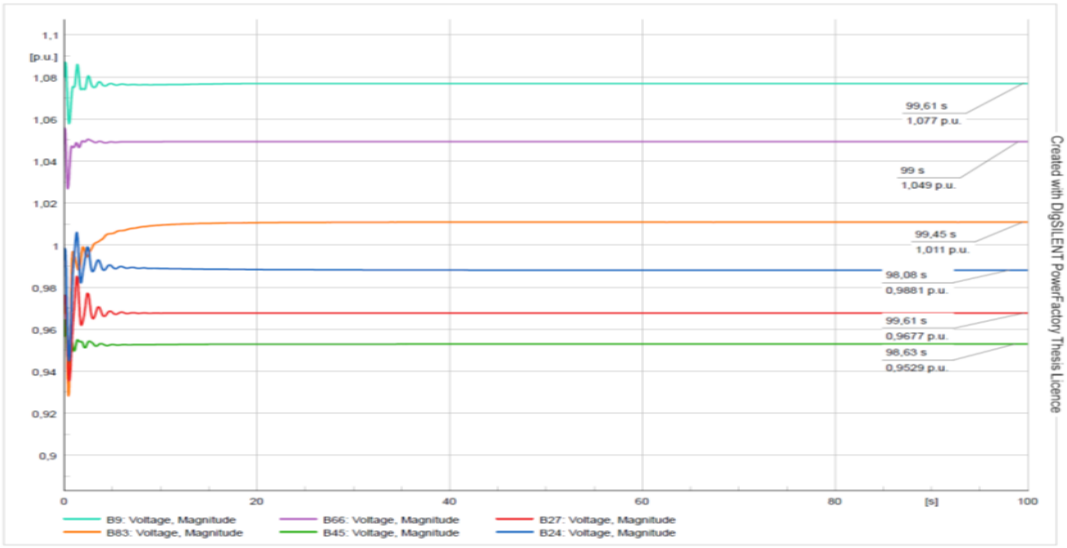


Şekil 4. 28. %20 YE enerji penetrasyonu %75 üretim B23 N-1 gerilimleri

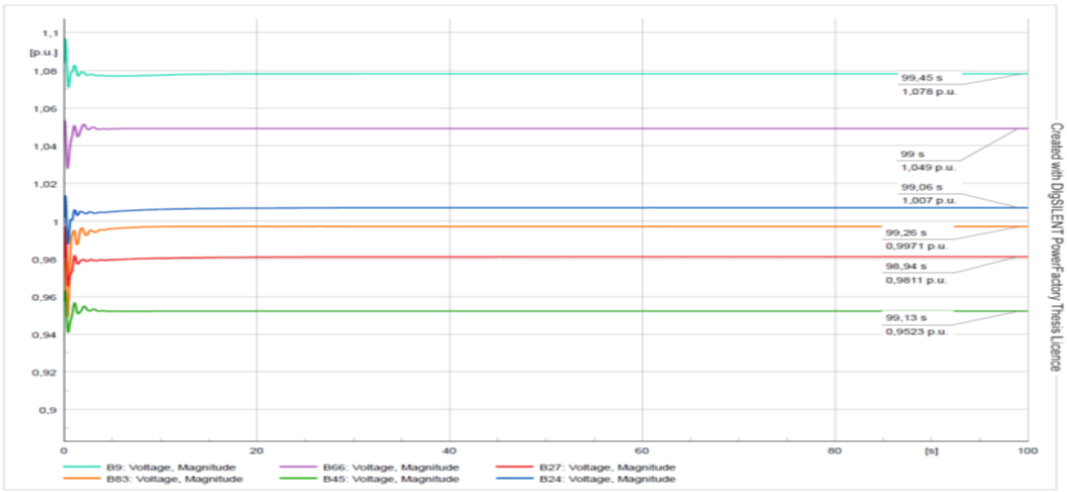
TCSC'nin sisteme dahil edilmesiyle bara gerilimlerinin olası değişimleri izlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.24'te verilmiştir. Daha küçük gerilimli baradan yüksek gerilimli baraya doğru yapılan bağlantılarda gerilim artışı daha fazla olmuştur (Şekil 4.28). Gerilim büyüklükleri 1 pu ve 1pu'nun üzerinde olan bara bağlantılarında ise sistem frekansında da artış görülmüştür. B27 ve B25 TCSC bağlantılarında Şekil 4.29'da görüldüğü üzere her iki doğrultuda da B24 ve B27 gerilim aynı değerde düşmüştür. TCSC B25 ve B84 bağlantılarında (Şekil 4.30) B83 barasının gerilimleri azalmıştır. B66 bara gerilimi tüm simülasyonlarda aynı değerde iken B45 barasının gerilimi B25 ve B27 bağlantıları hariç azalmış ve B9 barasının gerilimi ise 1 pu ve 1 pu'nun üzerinde gerilim değerlerine sahip bara bağlantılarında artmıştır.

Tablo 4. 24. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B23 N-1 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9892	0,9694	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,02
B23-B24	0,9910	0,9693	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,02
B24-B23	0,9917	0,9693	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,02
B23-B25	0,9894	0,9698	0,9528	1,049	1,011	1,078	49,03
B25-B23	0,9896	0,9698	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,03
B25-B27	0,9881	0,9697	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,03
B27-B25	0,9881	0,9697	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,03
B25-B83	1,008	0,9816	0,9518	1,049	1,03	1,078	49,04
B83-B25	1,009	0,9821	0,9518	1,049	1,03	1,078	49,05
B25-B84	1,007	0,9808	0,9523	1,049	0,9975	1,078	49,05
B84-B25	1,007	0,9811	0,9523	1,049	0,9971	1,078	49,05



Şekil 4. 29. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B23 N-1 TCSC(B27-B25)'li gerilim grafiği



Şekil 4. 30. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B23 N-1 TCSC(B84-B25)'li gerilim grafiği

B23 N-1 hata durumu SSSC'li sistem

SSSC'nin Tablo 4.25'teki sonuçlarından görüldüğü üzere en yüksek döngü sayısına ulaşıldı uyarısı veren ve gerilimi 1 pu'nun üzerindeki baralar arası yapılan bağlantılarda yük akış hatası veren simülasyonların gerçekleştirilememesi TCSC'ye göre daha fazla olmuştur. Bara gerilim değişimleri TCSC'ye göre B23 N-1 hata durumunda daha fazla gözlenmiştir. SSSC'nin sisteme dahil edilmesi 1 pu'nun üzerinde gerilim değerine sahip B83 ve B84

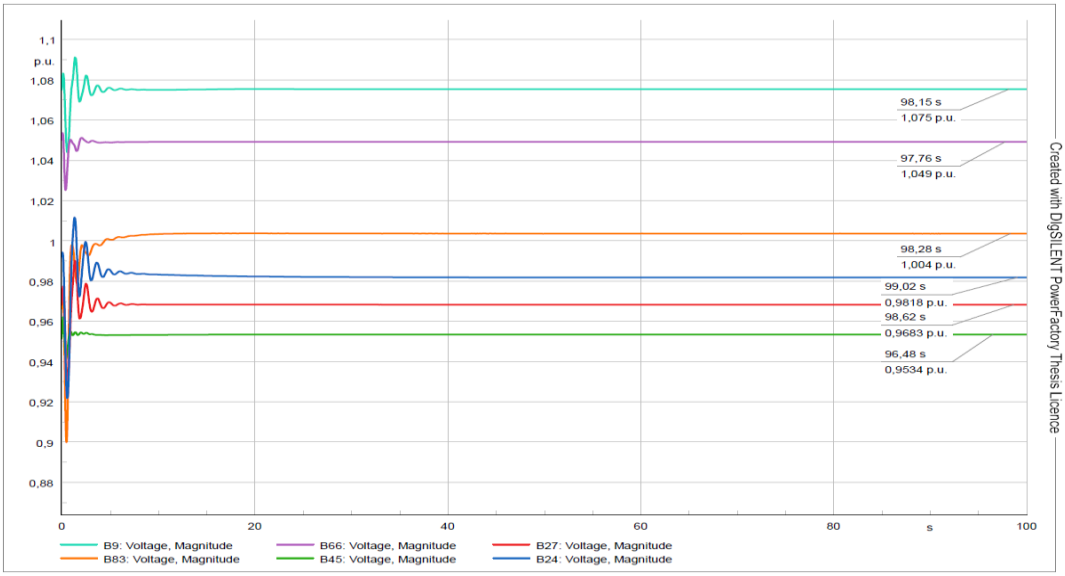
baralarının B25 barasıyla seri bağlanması ile sağlanıyorsa ya simülasyon yük akış hatası vererek gerçekleşmemiş ya da B25-B83 simülasyonunda B83 bara geriliminde görüldüğü gibi gerilim değerinin normal çalışma koşullarının üzerindeki değerlere çıkmasına neden olmuştur. B25-B83 bağlantısında B24, B27, B45 ve B9 baralarının gerilimlerinin düşüşüne ve sistem frekansının düşüşüne neden olmuştur. Gerilimi 1pu'nun üzerindeki baralar ve baralar arası gerilim farkının çok olduğu seri bağlantılarda bara bağlantı doğrultularına göre gerilim ya da sistem frekansı düşmektedir.

Tablo 4. 25. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B23 N-1 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

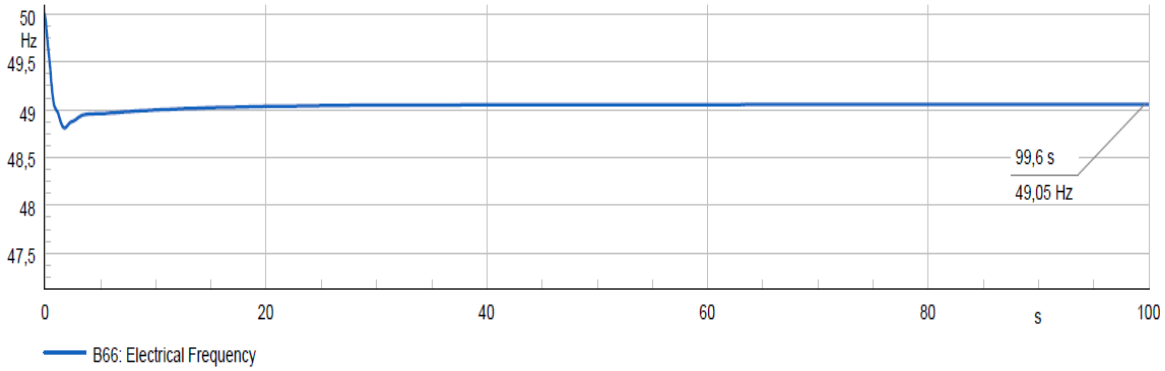
SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9694	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,15
N-1	0,9892	0,9694	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,02
B23-B24	1,001	0,9689	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,02
B24-B23	1,001	0,9686	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,02
B23-B25	1,03	0,9766	0,9527	1,049	1,011	1,08	49,01
B25-B23	1,03	0,976	0,9532	1,049	1,011	1,078	49,02
B25-B27	0,9988	0,9704	0,9516	1,049	1,008	1,08	48,87
B27-B25	0,9889	0,9659	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,02
B25-B83	0,9814	0,9609	0,9472	1,049	1,431	1,056	48,91
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

4.2.1.2. B84 N-1 hata durumu

%20 penetrasyon oranı %75 üretim B84 93,75MW kurulu güce uygulanan N-1 hata durumu sonrası Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de B27 ve B83 bara gerilimleri ve sistem frekansı 0,006 pu, 0,007 pu ve 0,1Hz değerinde düşmüştür.



Şekil 4. 31. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 gerilim grafiği



Şekil 4. 32.%20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 frekans grafiği

B84 N-1 hata durumunda FACTS cihazlarının dahil edilmesi

B84 N-1 hata durumunda sisteme dahil edilen FACTS cihazlarının sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sisteme SVS, TCSC, STATCOM ve SSSC cihazının dahil edilmesiyle senaryolar tek tek gerçekleştirilmiştir.

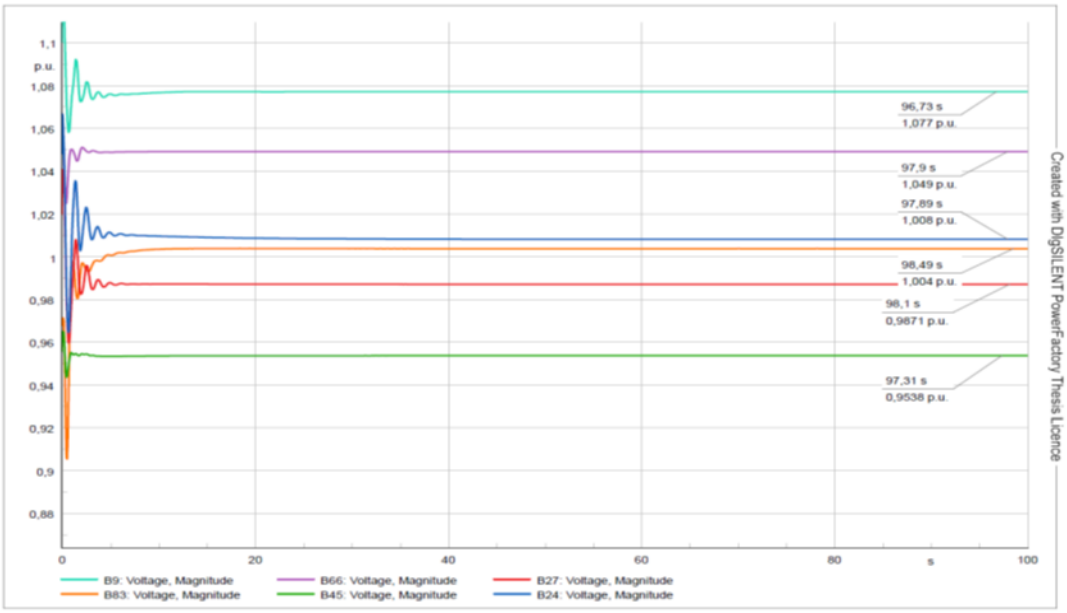
B84 N-1 hata durumu SVS'li sistem

SVS B23 bağlantısında Tablo 4.26'da görüldüğü üzere B23 barasına yakın olan B24 ve B9 bara gerilimlerinin 0,0086pu ve 0,001pu artmıştır. SVS B25 bağlantısında ise B66 ve B83 baraları hariç tüm bara gerilimleri artmıştır. B83 ve B84 SVS bağlantılarında ise B83 bara geriliminin düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca SVS bağlantılarında en yüksek gerilim artışı Şekil

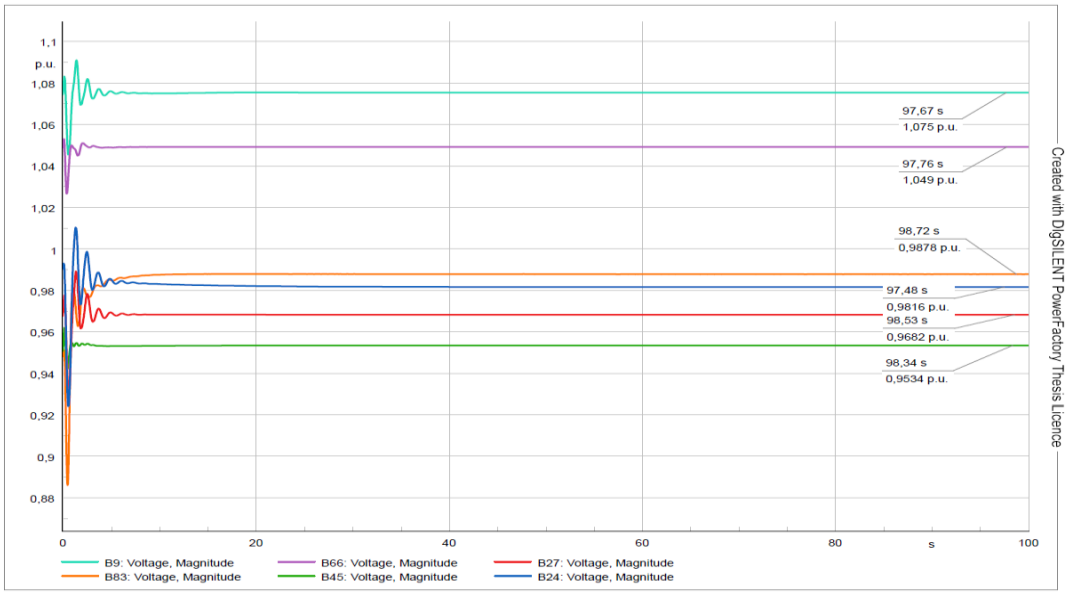
4.33’te görüldüğü üzere B25 SVS simülasyonunda, B83 SVS simülasyonunda ise Şekil 4.34’te en fazla gerilim düşüşünün gerçekleştiği görülmüştür. Gerçekleşen senaryolarda sistem frekansının B23 ve B25 simülasyonunda sabit kaldığı B83 ve B84 simülasyonlarında arttığı görülmüştür.

Tablo 4. 26. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B84 N-1 hata durumu SVS’li sistem gerilim-frekans sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9818	0,9683	0,9534	1,049	1,004	1,075	49,05
B23	0,9904	0,971	0,9535	1,049	1,004	1,076	49,05
B25	1,008	0,9871	0,9538	1,049	1,004	1,077	49,05
B83	0,9816	0,9682	0,9534	1,049	0,9878	1,075	49,08
B84	0,9818	0,9682	0,9534	1,049	0,9901	1,075	49,07



Şekil 4. 33. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 SVS B25 gerilimleri



Şekil 4. 34. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 SVS B25 gerilimleri

B84 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem

B84 N-1 hata senaryolarında; STATCOM'un bağlantısı B23, B27, B83 ve B84 baralarından gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.27'de verilmiştir. B83 STATCOM bağlantısında B83 bara geriliminde meydana gelen 0,001pu'luk artış hariç tüm

senaryolardaki bara gerilimleri ve sistem frekansı sabit kalmıştır. Diğer baralardan farklı olarak B83'te şönt filtrenin bulunması sisteme şönt bağlantısı sağlanan FACTS cihazları üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4. 27. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B84 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9818	0,9683	0,9534	1,049	1,004	1,075	49,05
B23	0,9818	0,9683	0,9534	1,049	1,004	1,075	49,05
B27	0,9818	0,9683	0,9534	1,049	1,004	1,075	49,05
B83	0,9818	0,9683	0,9534	1,049	1,005	1,075	49,05
B84	0,9818	0,9683	0,9534	1,049	1,004	1,075	49,05

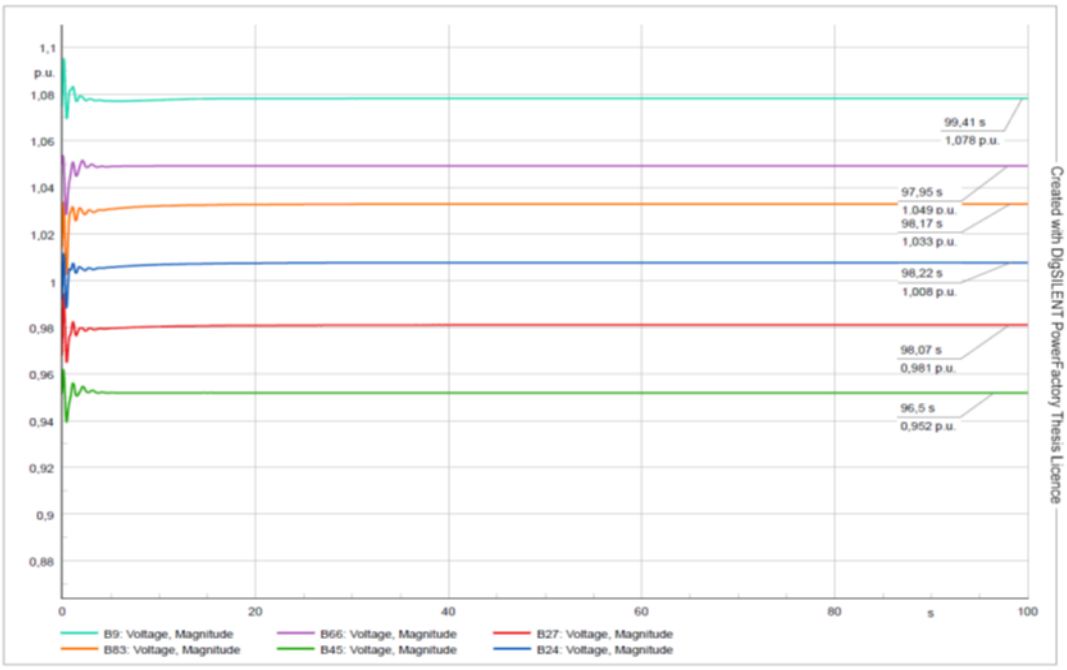
B84 N-1 hata durumu TCSC'li sistem

%20 penetrasyon oranı %75 üretim B84 N-1 hata durumunda TCSC'nin B23 ve B24 bağlantılarında B27 bara geriliminin bağlantı doğrultularından bağımsız 0,0001 pu değerinde düşmüştür. Düşük gerilimli baradan yüksek gerilimli baraya doğru yapılan bağlantılarında B24 bara geriliminin artışının daha fazla olduğu Tablo 4.28'de görülmektedir. Bara gerilimi 1pu'nun üzerinde olan B25 ve B23 bağlantılarında ise B23-B25 doğrultusunda max güç akış hatası verdiğinden simülasyon gerçekleştirilememiştir. Fakat B25-B23 doğrultularında B24, B27 ve B9 bara gerilimleri sırasıyla 0,0021pu, 0,0004pu ve 0,001 pu artmıştır. TCSC B25-B27 bağlantılarında her iki doğrultuda B24 ve B27 bara gerilimleri 0,001pu ve 0,0017pu değerinde düşmüştür. B45 barasının gerilimi ise 0,0001 pu artmıştır. B25 ve B83 TCSC bağlantılarında B83-B25 doğrultusunda yük akış hatasından dolayı simülasyon gerçekleştirilememiştir. Diğer taraftan B25-B83 doğrultusunda ise Şekil 4.35'te B45 barasından gerçekleşen 0,0014 pu değerindeki gerilim düşüşü hariç en yüksek gerilim artışları görülmüştür. B25 ve B84 bağlantılarında tek bir doğrultuda simülasyon gerçekleştirebilmiş B45, B66 ve B83 baraları hariç diğer bara gerilimleri artmıştır. B25-B84 doğrultusunda gerçekleşen gerilim düşüşü Şekil 4.36'da görüldüğü üzere TCSC simülasyon senaryoları arasında en büyük değere sahiptir. Sistem

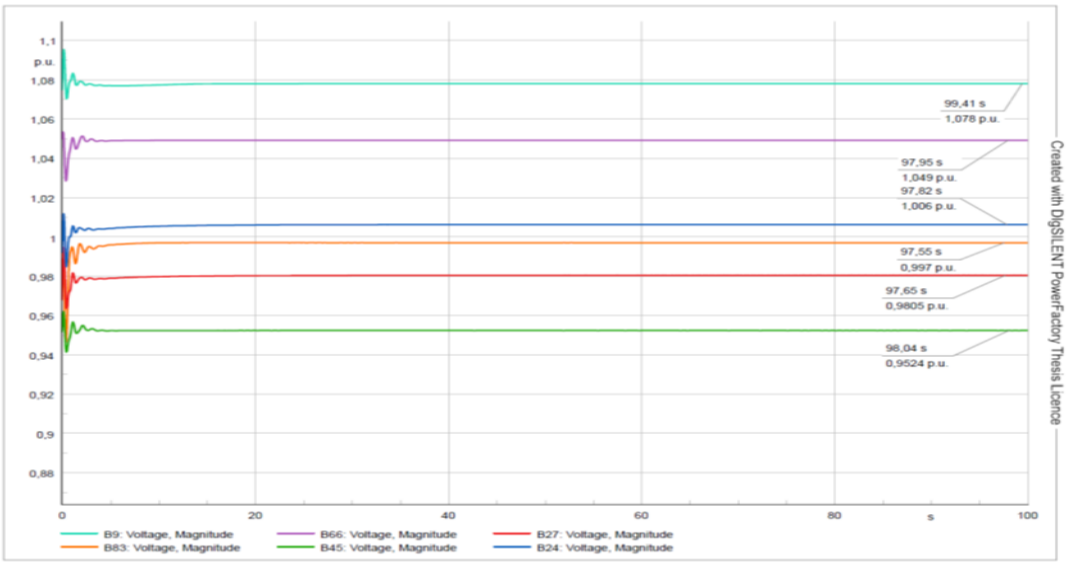
frekansı B25 barası ile B27, B83 ve B84 TCSC bağlantılarında sırasıyla 0,01Hz, 0,2Hz ve 0,2Hz artış gösterirken; yapılan diğer simülasyonlarda sabit kalmıştır.

Tablo 4. 28. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B84 N-1 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9818	0,9683	0,9534	1,049	1,004	1,075	49,05
B23-B24	0,9866	0,9682	0,9534	1,049	1,004	1,075	49,05
B24-B23	0,9872	0,9682	0,9534	1,049	1,004	1,075	49,05
B23-B25	HATA						
B25-B23	0,9839	0,9687	0,9534	1,049	1,004	1,076	49,05
B25-B27	0,9808	0,9666	0,9535	1,049	1,004	1,075	49,06
B27-B25	0,9808	0,9666	0,9535	1,049	1,004	1,075	49,06
B25-B83	1,008	0,9810	0,952	1,049	1,033	1,078	49,07
B83-B25	HATA						
B25-B84	1,006	0,9805	0,9524	1,049	0,9970	1,078	49,07
B84-B25	HATA						



Şekil 4. 35. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 TCSC (B25-B83) gerilimleri



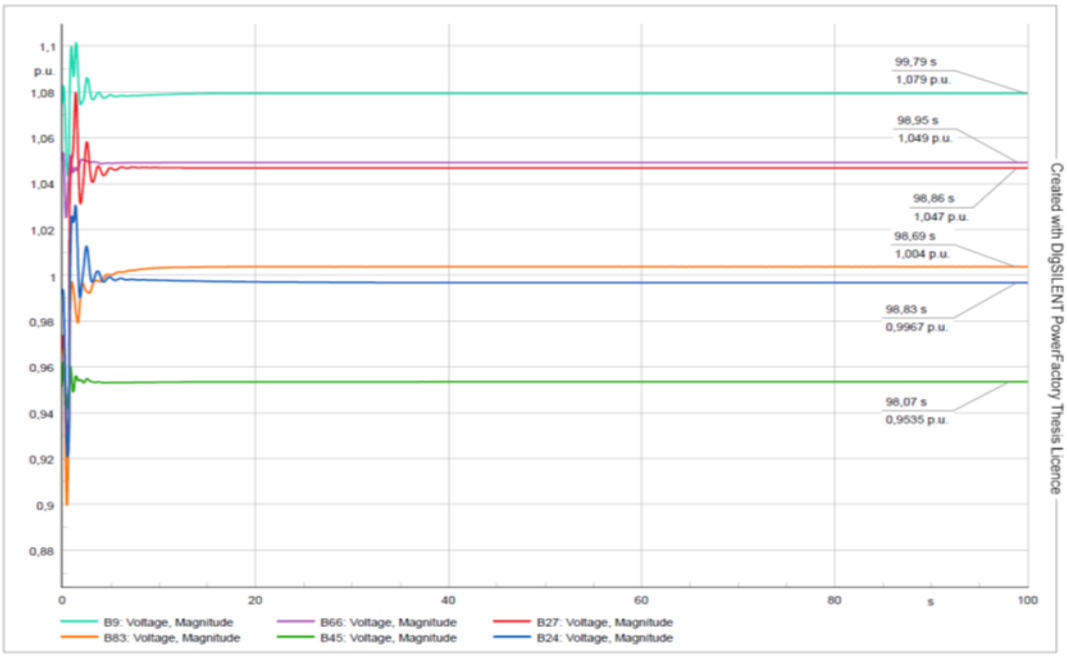
Şekil 4. 36. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 TCSC (B25-B84) gerilimleri

B84 N-1 hata durumu SSSC'li sistem

Tablo 4.29'dan da görüleceği üzere B84 N-1 hata durumunda %100 üretim kapasitesinde yük akışı hatası nedeniyle gerçekleştirilemeyen simülasyonlar %75 üretim için de gerçekleştirilememiştir. Gerçekleştirilen senaryolarda B24 bara gerilimi Tablo 4.29'da sunulan sonuçlara göre tüm simülasyonlarda gerilim artışı göstermiş ve en yüksek artış değeri 0,0402 pu olmuştur. B27 bara gerilimi ise kendine uzak olan B23 ve B24 SSSC bağlantılarında gerilim düşüşü gösterirken diğer senaryolarda özellikle B27-B25 bağlantısında Şekil 4.37'de görüldüğü gibi 0,0787 pu ile en fazla gerilim artışı gerçekleşmiştir.

Tablo 4. 29. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B84 N-1 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9818	0,9683	0,9534	1,049	1,004	1,075	49,05
B23-B24	0,992	0,968	0,9534	1,049	1,004	1,075	49,05
B24-B23	1,002	0,9677	0,9534	1,049	1,004	1,075	49,05
B23-B25	1,022	0,9741	0,9536	1,049	1,004	1,078	49,05
B25-B23	0,9888	0,9692	0,9535	1,049	1,004	1,076	49,05
B25-B27	HATA						
B27-B25	0,9967	1,047	0,9535	1,049	1,004	1,079	49,02
B25-B83	1,018	0,9876	0,9511	1,049	1,133	1,079	49,07
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						



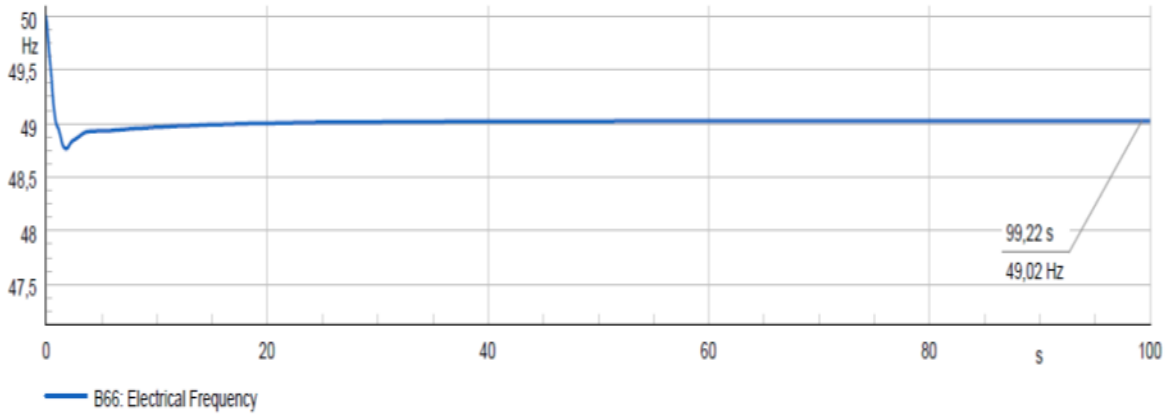
Şekil 4. 37. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 SSSC (B27-B25) gerilimleri

B45 bara gerilimi ise B25-B83 doğrultusunda 0,0023 pu değerinde düşmüştür. B66 bara gerilimi tüm senaryolarda bara gerilimini dengeli bir şekilde korumuştur. B83 bara gerilimi ise sadece B25-B83 doğrultusunda Şekil 4.38'de görüldüğü gibi gerilim değişimi yaşarken en yüksek gerilim artışını gerçekleştirmiş ve normal çalışma koşullarını aşmıştır.



Şekil 4. 38. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 SSSC (B25-B83) gerilimleri

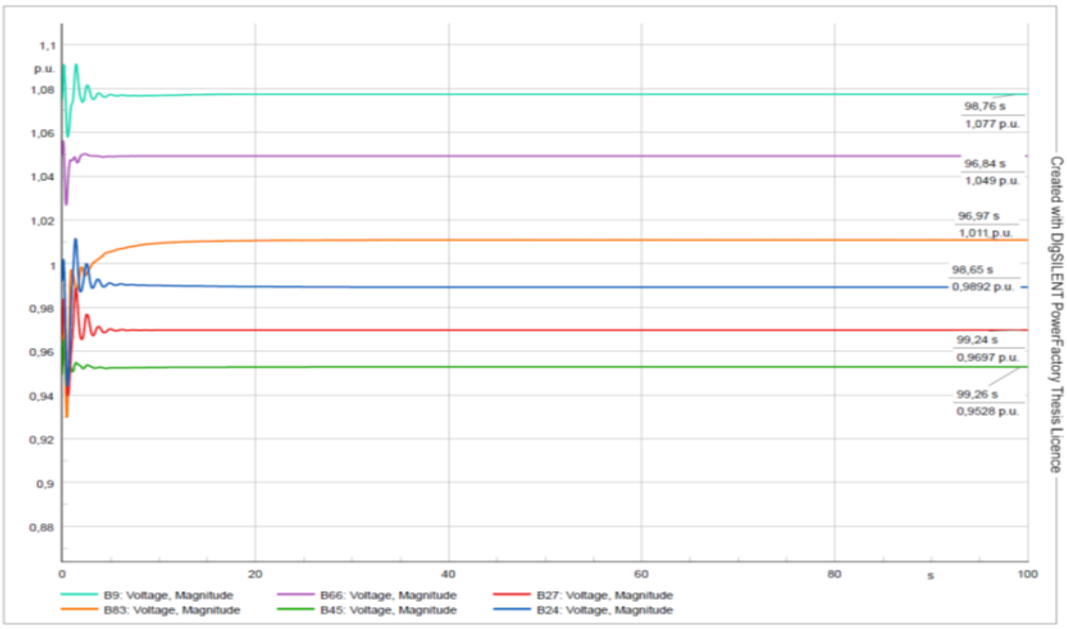
B9 bara gerilimi B25-B23, B27-B25 ve B25-B83 SSSC bağlantı doğrultularında 0,001pu, 0,001pu ve 0,004pu artış göstermiştir. B25-B23 SSSC bağlantısında sistem frekansı değerini korumuştur. B25-B83 SSSC bağlantısında frekans 0,02 Hz artmıştır. Gerilim bakımından en fazla artışın gözlendiği B27-B25 SSSC bağlantısında frekans (Şekil 4.39) 0,03Hz düşerek 49,02Hz'de sabitlenmiştir.



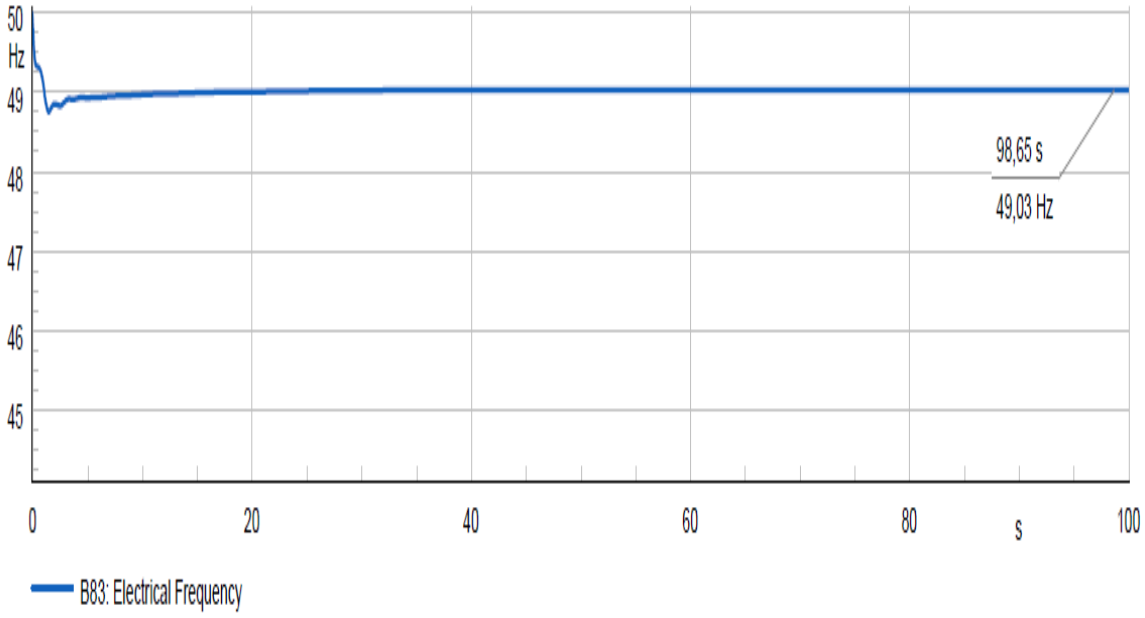
Şekil 4. 39. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B84 N-1 SSSC (B25-B83) frekans grafiği

4.2.1.3. B25 N-1 hata durumu

B25 N-1 hata halinde sistem frekansında ve izlenen bara gerilimlerinde hata uygulanan baraya yakınlığı göre gerilim değişimleri görülmüştür. Şekil 4.40'da görüldüğü üzere B66 ve B83 bara gerilimleri sabit kalırken B25 barasına yakın olan B24, B27 ve B9 bara gerilimleri artmış B45 bara gerilimi 0,006pu düşmüştür. YEK kaynağının kurulu gücüne göre de sistem frekansında 0,12 Hz (Şekil 4.41) düşüş gerçekleşmiştir.



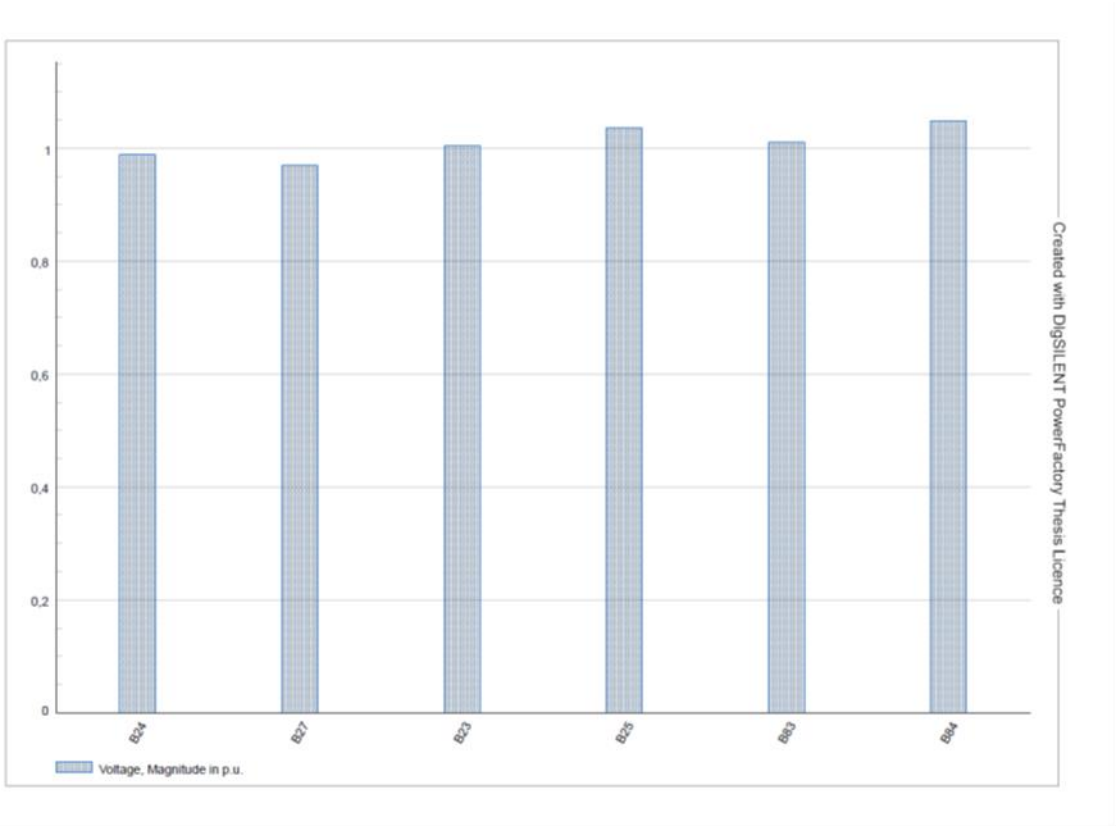
Şekil 4. 40. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 N-1 gerilim grafiği



Şekil 4. 41. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 N-1 frekans grafiği

B25 N-1 hata durumunda FACTS cihazlarının dahil edilmesi

B25 N-1 hata durumunda sistemde gerçekleşen gerilim ve frekans dalgalanmaları sonrası sisteme dahil edilen FACTS cihazlarının etkileri üzerinde gözlemler yapılmıştır. Sisteme dahil edilen bir FACTS cihazının konum ve doğrultuları açısından gerekli değerlendirmeler ve senaryolar çalışılmıştır. Sistemde FACTS cihazı eklenen bara gerilimleri Şekil 4.42'deki değerlere sahiptir.



Şekil 4. 42. %20 YE enerji penetrasyonu %75 üretim B25 N-1 gerilimleri

B25 N-1 SVS'li sistem

SVS'nin sisteme dahil edilmesiyle genel olarak bara gerilimleri artarken, B83 ve B84 bağlantılarında Tablo 4.30'da görüldüğü üzere B83 barasının gerilimi düşmüştür. B25 N-1 SVS simülasyonunda sisteme B25 barasında dahil edilmesiyle izlenen B66 ve B83 bara gerilimleri sabit kalırken diğer bara gerilimleri artış göstermiştir (Şekil 4.43). Ayrıca B25

SVS senaryosunda farklı olarak simülasyonun sonunda sistem frekansının 0,01Hz düşüş gösterdiği görülmüştür

Tablo 4. 30. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25 N-1 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,98245	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9892	0,9697	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,03
B23	0,9966	0,9720	0,9529	1,049	1,011	1,078	49,03
B25	1,015	0,9877	0,9531	1,049	1,011	1,079	49,02
B83	0,9889	0,9696	0,9528	1,049	0,9934	1,077	49,05
B84	0,9892	0,9697	0,9528	1,049	1,008	1,077	49,03



Şekil 4. 43. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 N-1 SVS B25 gerilimleri

B25 N-1 STATCOM'lu sistem

STATCOM cihazı N-1/N-2 hata durumlarında gerçekleşen simülasyonlarında birebir aynı özellikler göstermiştir. Tablo 4.31'de görüldüğü üzere B83 STATCOM bağlantısında

gerçekleşen B83 barasındaki 0,01 pu'luk gerilim artışı hariç izlenen bara gerilimleri ve sistem frekansı sabit kalmıştır. STATCOM cihazının bağlı bulunduğu diğer baralardan farklı olarak B83 barasında şönt filtrenin yer aldığı görülmüştür

Tablo 4. 31. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25 N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları

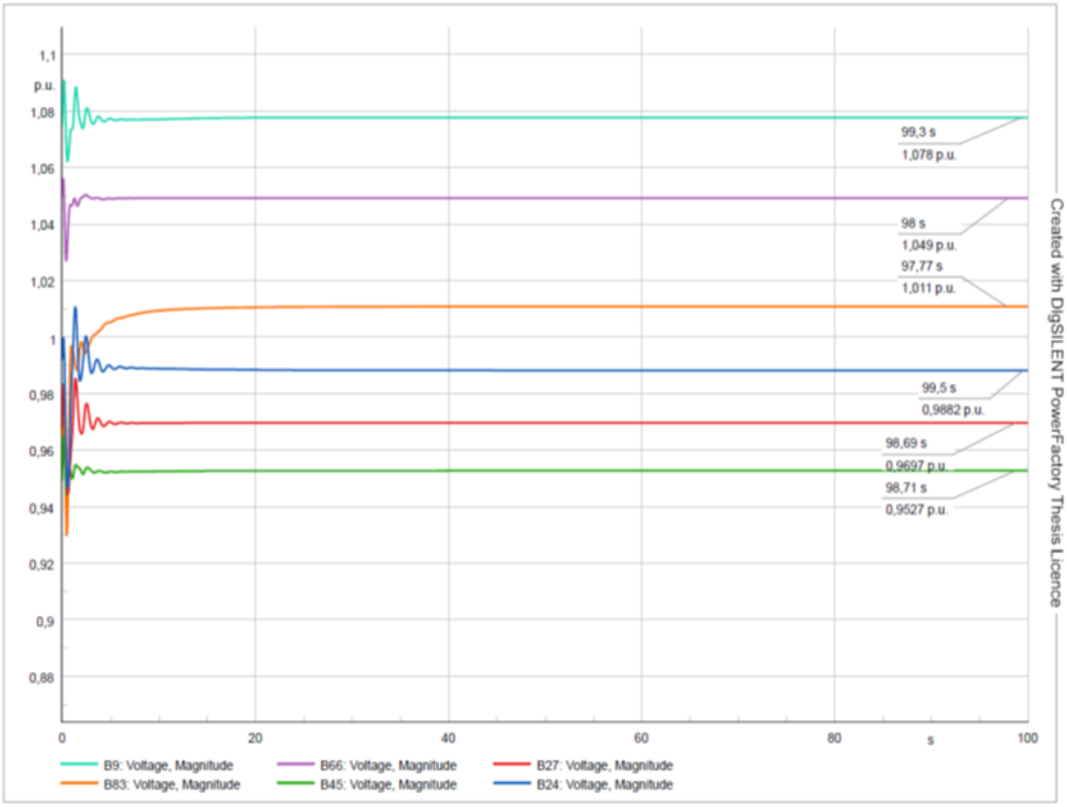
STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9892	0,9697	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,03
B23	0,9892	0,9697	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,03
B27	0,9892	0,9697	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,03
B83	0,9892	0,9697	0,9528	1,049	1,012	1,077	49,03
B84	0,9897	0,9697	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,03

B25 N-1 TCSC'li sistem

B25 N-1 hata durumu için de sisteme TCSC eklenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.32'de verilmiştir. Ancak daha önceki TCSC senaryolarındaki yük akış hatası %20 penetrasyon oranı %75 üretim durumunda oluşmamıştır. TCSC simülasyonlarında gerilim artışları %100 kapasitede çalışan YEK simülasyonuna göre daha az olmuştur. Ayrıca sistem üzerinde B23-B25 bara doğrultusundaki TCSC bağlantısında B24 bara gerilimi Şekil 4.44'te 0,001 pu düşmüştür.

Tablo 4. 32. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25 N-1 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9892	0,9697	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,03
B23-B24	0,9913	0,9698	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,03
B24-B23	0,9923	0,9697	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,03
B23-B25	0,9882	0,9697	0,9527	1,049	1,011	1,078	49,02
B25-B23	0,9897	0,9698	0,9528	1,049	1,011	1,078	49,03
B25-B27	0,9883	0,9683	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,03
B27-B25	0,9883	0,9683	0,9529	1,049	1,011	1,077	49,03
B25-B83	1,008	0,9810	0,9519	1,049	1,028	1,078	49,05
B83-B25	1,0083	0,9814	0,9519	1,049	1,03	1,078	49,05
B25-B84	1,0059	0,9802	0,9523	1,049	0,9975	1,078	49,05
B84-B25	1,0063	0,9805	0,9523	1,049	0,9972	1,078	49,05

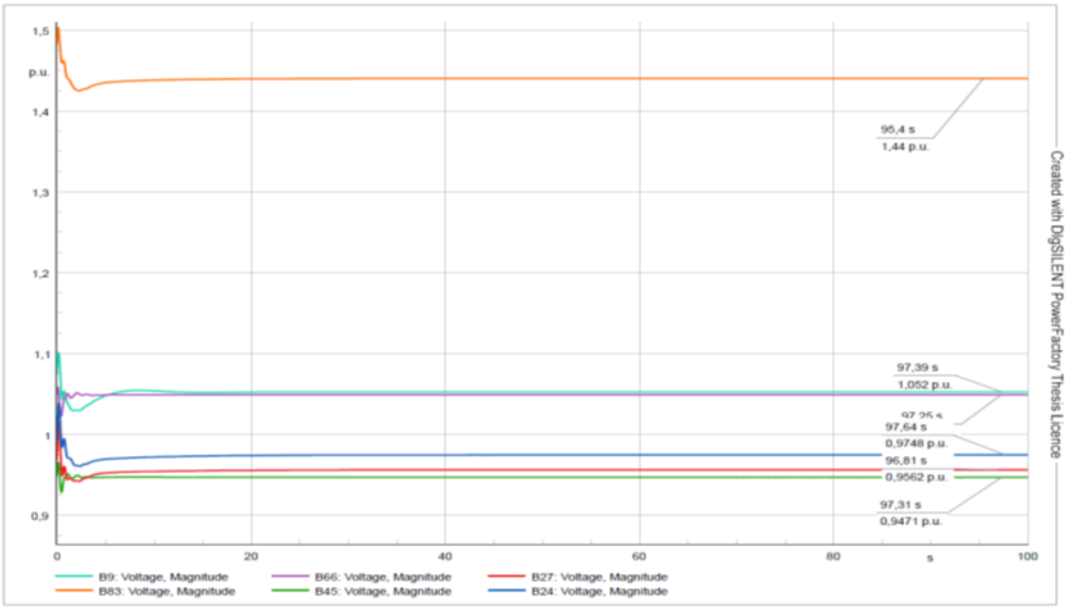


Şekil 4. 44. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 N-1 TCSC(B23-B25) gerilimleri

B25 ve B27 TCSC bağlantılarında B24 barasında gerilim 0,0009 pu değerinde düşmüştür. Sistem frekansları ise 1 pu ve üzeri gerilim değerine sahip baralar arası yapılan bağlantılarda 0,02 Hz artmıştır.

B25 N-1 SSSC'li sistem

Sistemde var olan değişken YEK üretim miktarının azalması ile Tablo 4.33'te farklılık ortaya çıkmış ve sistemde gerçekleşen gerilim değişimlerinin SSSC'nin bağlı bulunduğu baranın gerilimine göre farklı tepkiler oluşturduğu görülmüştür. %20 penetrasyon oranı %100 üretim simülasyonundaki SSSC bağlantıları gibi gerilim düşüşleri ciddi bir boyutta olmamış ve normal çalışma koşullarında kalmıştır. Fakat gerilim artışları bazında B25-B83 bağlantısında B83 bara gerilimi Şekil 4.45'te görüleceği üzere 1,1 pu'luk normal çalışma koşullarının üzerine çıkmıştır.

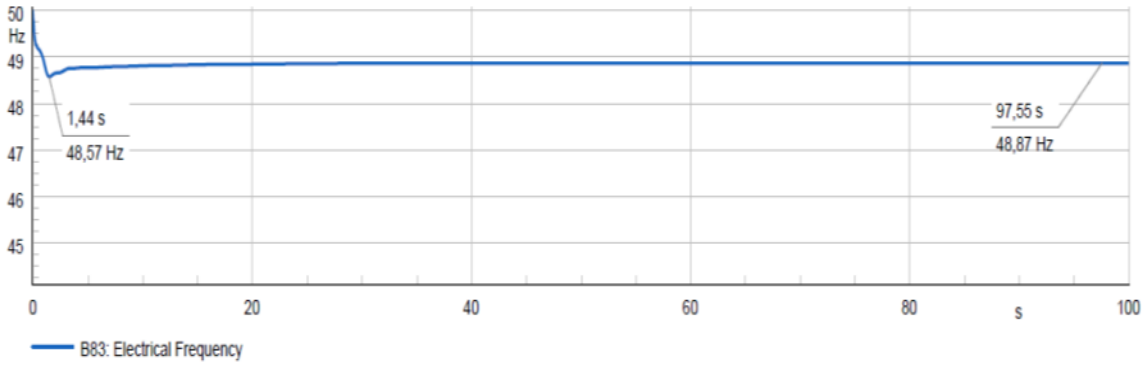


Şekil 4. 45. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 N-1 SSSC(B25-B83) gerilimleri

B27-B25 doğrultusunda bağlanan SSSC simülasyonunda B24 ve B27 bara gerilimlerini düşerken B25-B27 doğrultusunda B24, B27, B9 baralarında gerilim artarken B45 ve B83 baralarında gerilim düşmüştür. Aynı zamanda bu bağlantı doğrultusunda sistem frekansı (Şekil 4.46) en düşük değerini almıştır. Sistem frekansı gerçekleşen senaryolarda genel itibariyle Tablo 4.32'de 49,03Hz değeriyle sabit kalmış fakat gerilim değeri 1pu ve 1pu üzeri baralar arası yapılan bağlantılarda frekans değeri düşmüştür.

Tablo 4. 33. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25 N-1 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

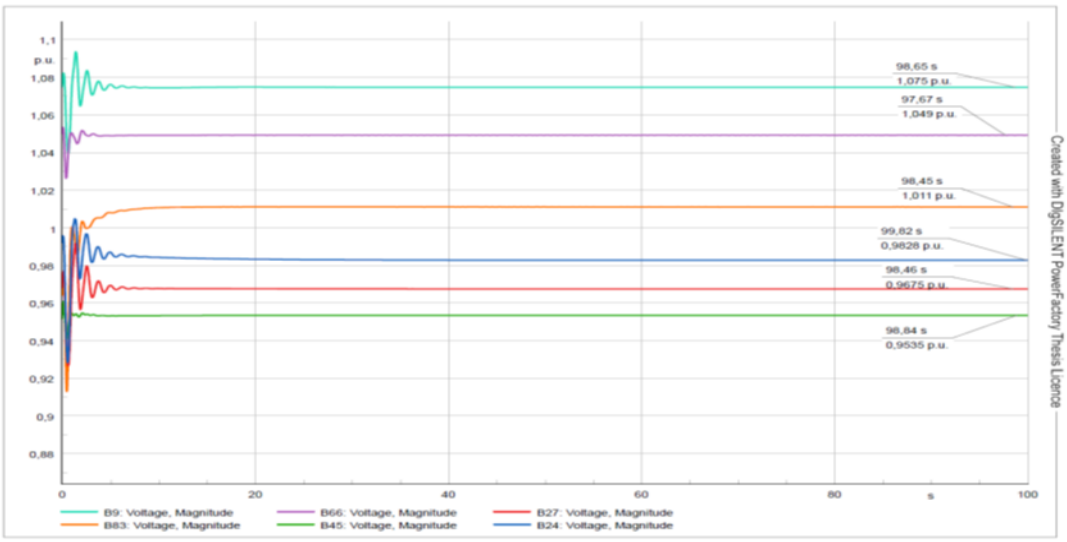
SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9892	0,9697	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,03
B23-B24	1,009	0,9691	0,9527	1,049	1,011	1,077	49,02
B24-B23	0,9991	0,9692	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,03
B23-B25	1,031	0,9749	0,9530	1,049	1,011	1,079	49,02
B25-B23	0,9934	0,9702	0,9529	1,049	1,011	1,078	49,03
B25-B27	0,9995	0,9705	0,9515	1,049	1,008	1,081	48,87
B27-B25	0,989	0,9660	0,9528	1,049	1,011	1,077	49,03
B25-B83	0,9748	0,9562	0,9471	1,049	1,44	1,05	48,9
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						



Şekil 4. 46. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 N-1 SSSC(B27-B25) frekans grafiği

4.2.1.4. Hat (B23-B25) N-1 hata durumu

Hat B23-B25 iletim hattında meydana gelen N-1 hata durumunda sistem frekansı 49,15Hz'de sabit kalmıştır. Sistem frekansı değişken YEK'e uygulanan hatalarda üretimde gerçekleşen kısıtlamalar doğrultusunda değişim göstermektedir. Şekil 4.47'de B66, B83 ve B9 bara gerilimleri sabit kalırken hata konumuna yakın olan ve bağlantıları olan baralar etkilendiği görülmüştür. B24 ve B45 bara gerilimleri 0,0014pu ve 0,0001pu atarken B27 bara gerilimi ise B25-B27 doğrultusunda iletim hattına sahip olduğundan iletim hattında meydana gelen hatadan dolayı 0,0008 pu düşmüştür.



Şekil 4. 47. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 gerilimler

Hat (B23-B25) N-1 hata durumunda FACTS cihazlarının dahil edilmesi

Bütün senaryolarda olduğu gibi sistemde meydan gelen gerilim ve frekans dalgalanmalarının sistem üzerindeki etkilerini iyileştirmek amaçlı FACTS cihazları sisteme dahil edilmiş ve farklı senaryolarda etkileri incelenmiştir.

Hat (B23-B25) N-1 SVS'li sistem

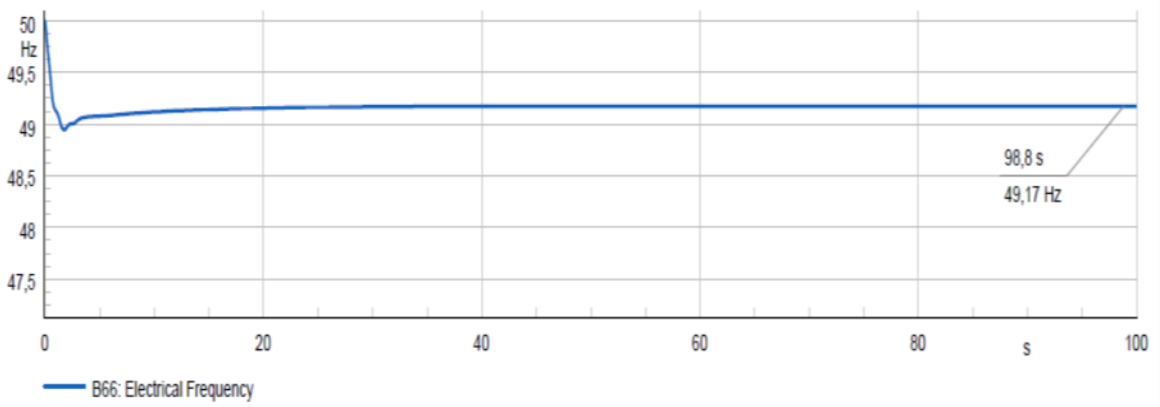
SVS'nin sisteme dahil edilmesi ile gerçekleştirilen senaryolarda birbirinden bağımsız sonuçlar elde edilmiştir. B23 simülasyonunda (Tablo 4.34) B66 ve B83 barası hariç kendine yakın konumda olan baralarda gerilim düşüşlerine sebep olmuştur. En fazla gerilim düşüşü bu senaryoda B24 barasında gerçekleşmiştir.

Tablo 4. 34. %20 penetrasyon oranı %75 üretim Hat(B23-B25) N-1 hata durumu SVS'li sistem gerilim-frekans sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9828	0,9675	0,9535	1,049	1,011	1,075	49,15
B23	0,9536	0,9610	0,9532	1,049	1,011	1,074	49,15
B25	0,9885	0,9834	0,9536	1,049	1,011	1,076	49,15
B83	0,9824	0,9674	0,9534	1,049	0,9937	1,075	49,17
B84	0,9828	0,9675	0,9535	1,049	1,008	1,075	49,15

SVS B25 simülasyonlarında ise B66, B83 baraları hariç diğer bara gerilimleri artış göstermiştir. En fazla gerilim artışı ise 0,0159 pu ile kendine yakın konumda olan B27 bara geriliminde gözlenmiştir. B83 SVS bağlantılarında ise B66 ve B9 bara gerilimleri sabit kalırken diğer bara gerilimleri düşmüştür. SVS bu senaryosunda kendisinin bağlı bulunduğu baranın gerilimini 0,0173 pu düşürmüştür. SVS'nin son senaryosu olan B84 bara

bağlantısında yine kendine yakın olan B83 bara gerilimini 0,003pu düşürürken diğer bara gerilimleri sabit kalmıştır. Tüm senaryolar sistem frekansı açısından değerlendirilirse sadece B83 SVS simülasyonundaki artış dışında sabit kalmıştır. SVS'nin bu bağlantısında gerilim düşüşleri gerçekleşirken sistem frekansı Şekil 4.48'de 0,02 Hz artmaktadır.



Şekil 4. 48. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 SVS B23 frekans grafiği

Hat (B23-B25) N-1 STATCOM'lu sistem

Sisteme şönt bağlantı ile dahil edilen STATCOM simülasyonlarında Tablo 4.35'te B83 bağlantısında B83 bara gerilimini 0,0001 pu artmıştır. Ancak diğer senaryolarda tüm izlenen bara gerilimleri ve sistem frekansı sabit kalmıştır.

Tablo 4. 35. %20 penetrasyon oranı %75 üretim Hat(B23-B25) N-1 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları

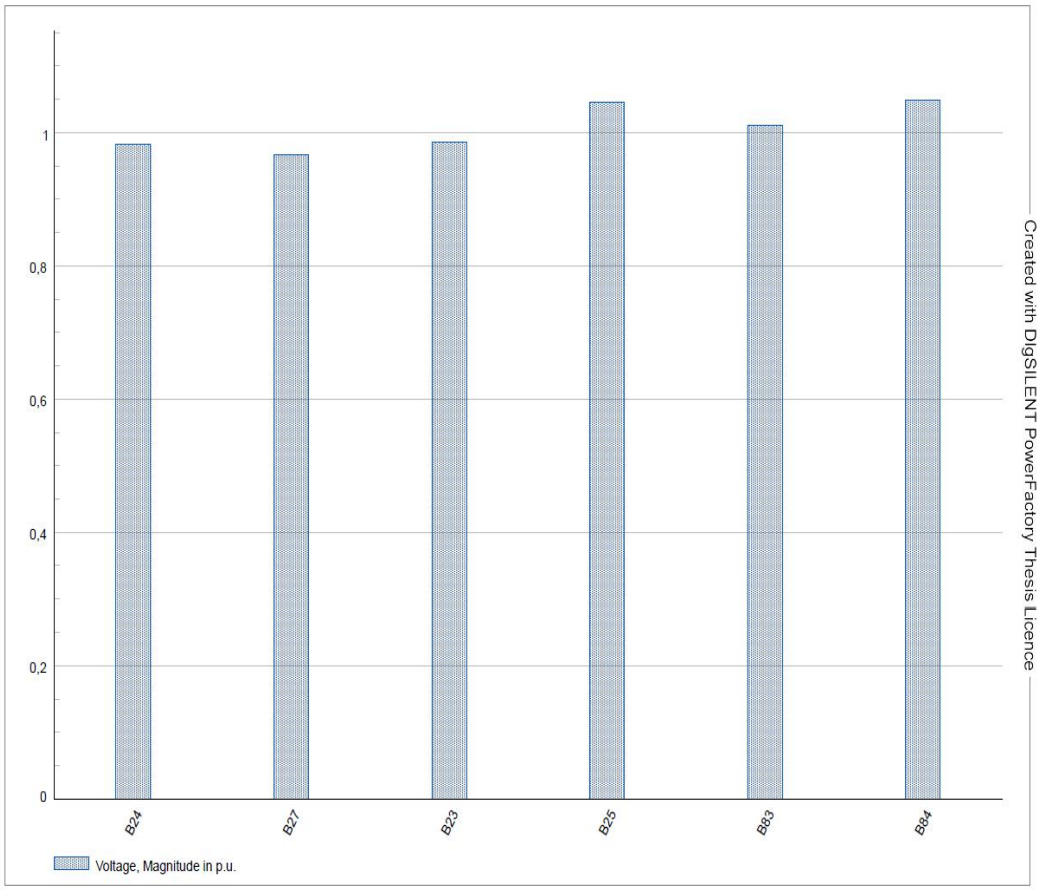
STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9828	0,9675	0,9535	1,049	1,011	1,075	49,15
B23	0,9828	0,9675	0,9535	1,049	1,011	1,075	49,15
B27	0,9828	0,9675	0,9535	1,049	1,011	1,075	49,15
B83	0,9828	0,9675	0,9535	1,049	1,012	1,075	49,15
B84	0,9828	0,9675	0,9535	1,049	1,011	1,075	49,15

Hat (B23-B25) N-1 TCSC'li sistem

TCSC bağlantısının sağlandığı bara gerilimleri Şekil 4.49'da verilmiştir. TCSC'nin konumlandırıldığı alana bağlı olarak sistem frekansı ve bara gerilim büyüklükleri ve TCSC cihazı bağlı olduğu baranın gerilim büyüklükleri açısından farklı sonuçlar elde edilmektedir. B23 ve B25 simülasyonlarında sadece B24 ve B27 bara gerilimi değişim gösterirken düşük gerilimli baradan yüksek gerilimli baraya doğru yapılan bağlantılarda B24 bara gerilimi daha çok artmıştır. B27 bara gerilimi ise B23-B24 TCSC doğrultusunda 0,0001pu değerinde düşerken TCSC'nin tam tersi doğrultusunda sabit kalmıştır. B23 ve B25 TCSC bağlantılarında ise B24 ve B27 bara gerilimleri artmıştır. B24 bara gerilimi iki doğrultuda Tablo 4.36'da görüldüğü üzere 0,0017pu ve 0,0016pu artarken, B27 bara gerilimi ise her iki doğrultuda 0,0013 pu artmıştır. B25 ve B27 bağlantılarında elde edilen sonuçlarda iki bara gerilimi arasındaki fark en çok olan bağlantı senaryosudur. Ayrıca diğer TCSC bağlantılarında olduğu gibi B24 Şekil 4.50'de görüldüğü üzere bara gerilimi artış yerine her iki doğrultuda aynı değerde düşüş göstermiştir.

B25-B84 simülasyonlarında B24, B27, B9 baralarında gerilim artarken B45 ve B83 bara gerilimleri düşmüştür. Şekil 4.52'de görüldüğü üzere %100 üretimde olduğu gibi kendine yakın

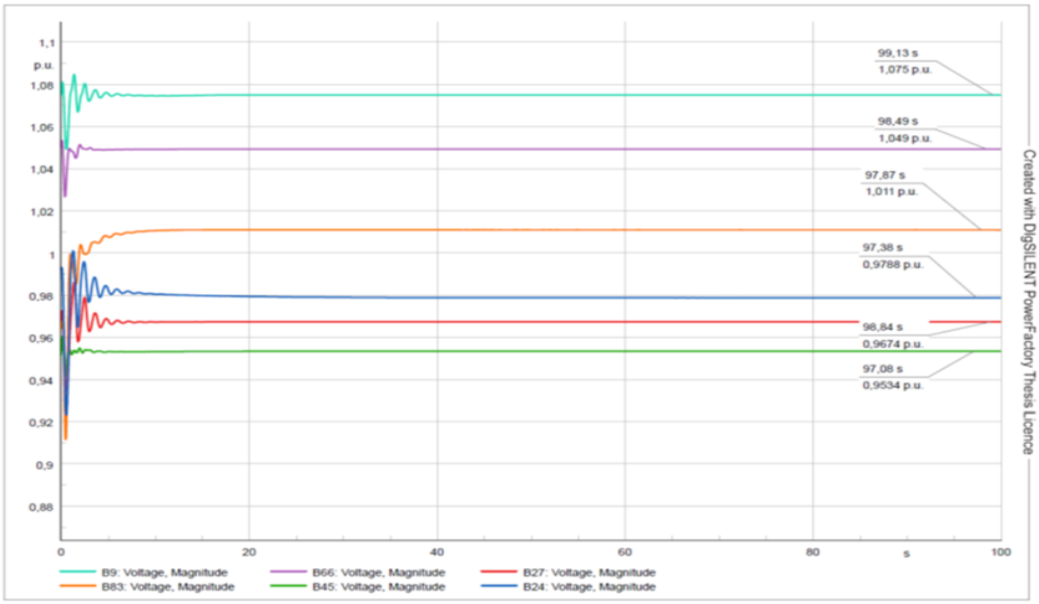
doğrultuda bağlantısı sağlanan TCSC durumunda B83 barasında meydana gelen gerilim düşüşü daha fazla olmuştur.



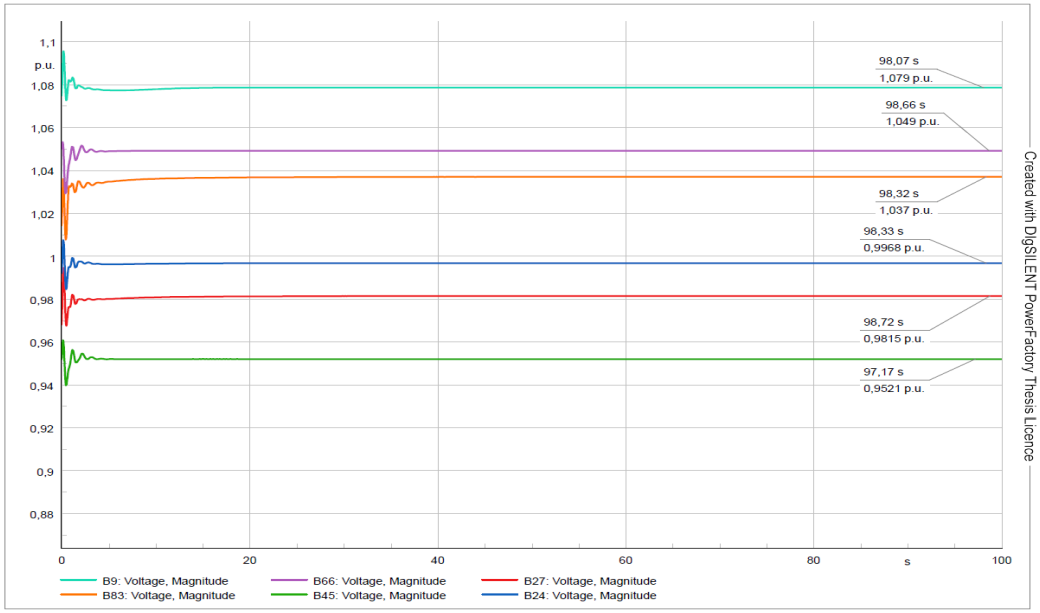
Şekil 4. 49. %20 YE enerji penetrasyonu %75 üretim Hat (B23-B25) gerilimleri

Tablo 4. 36. %20 penetrasyon oranı %75 üretim Hat(B23-B25) N-1 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

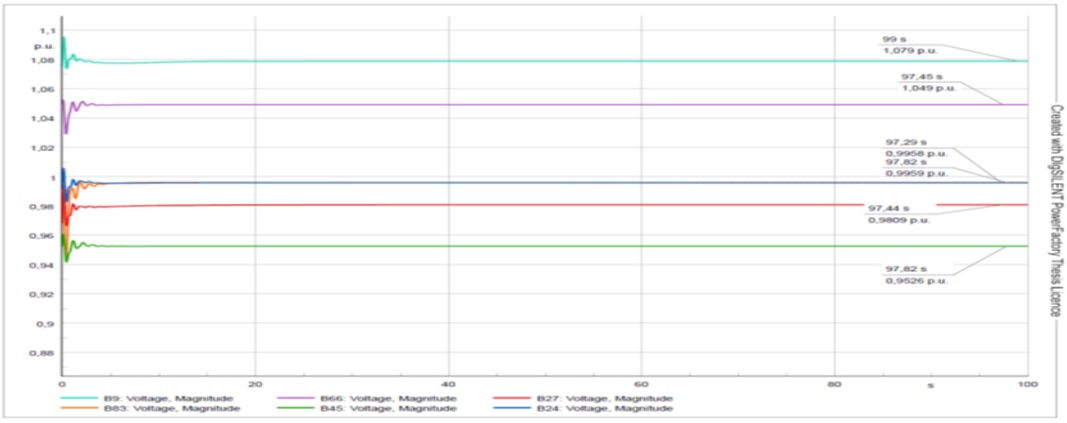
TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9828	0,9675	0,9535	1,049	1,011	1,075	49,15
B23-B24	0,9861	0,9673	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
B24-B23	0,9846	0,9675	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
B23-B25	0,9845	0,9688	0,9534	1,049	1,011	1,076	49,15
B25-B23	0,9844	0,9688	0,9534	1,049	1,011	1,076	49,15
B25-B27	0,9788	0,9674	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
B27-B25	0,9788	0,9673	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
B25-B83	0,9965	0,9810	0,9521	1,049	1,036	1,079	49,17
B83-B25	0,9968	0,9815	0,9520	1,049	1,037	1,079	49,17
B25-B84	0,9957	0,9805	0,9526	1,049	0,9964	1,079	49,17
B84-B25	0,9959	0,9809	0,9526	1,049	0,9958	1,079	49,17



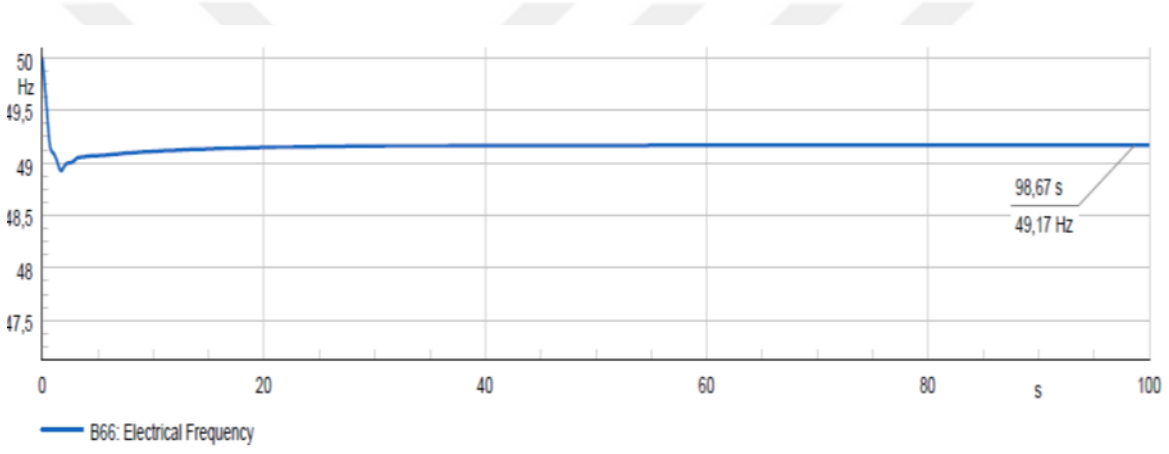
Şekil 4. 50. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 TCSC(B25-B27) gerilimleri



Şekil 4. 51. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 TCSC(B25-B27) gerilimleri



Şekil 4. 52. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 TCSC(B84-B25) gerilimleri



Şekil 4. 53. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 TCSC(B84-B25) frekans grafiği

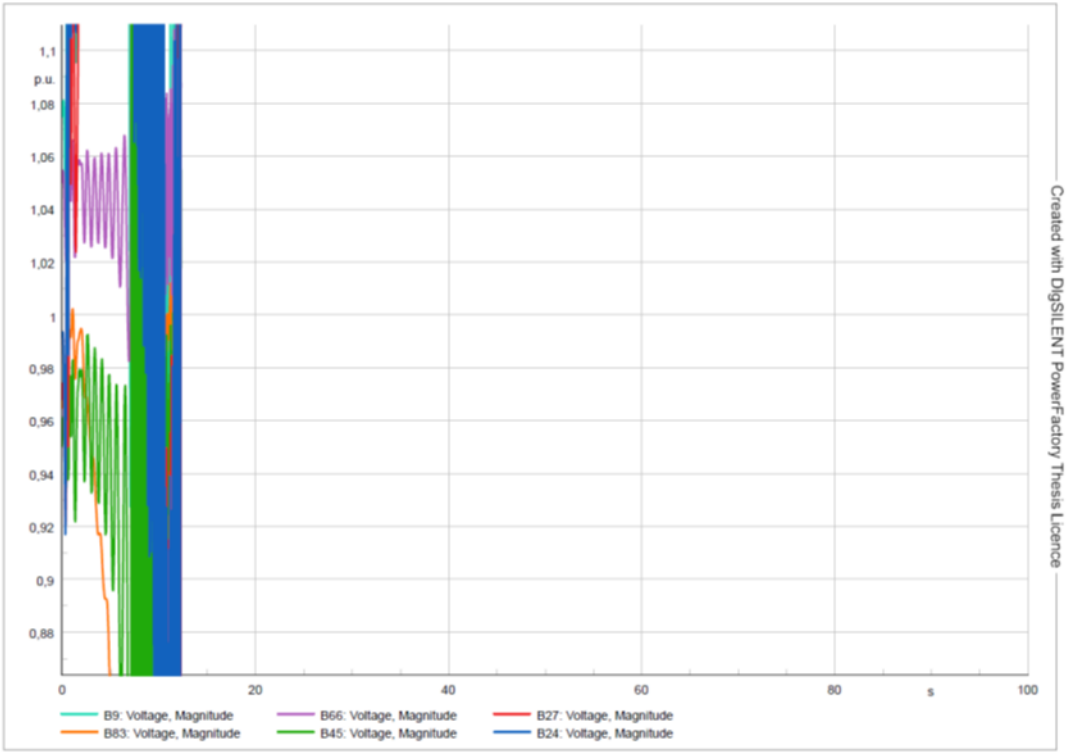
TCSC'nin sistem frekansı üzerindeki etkilerini bara gerilimleri 1pu'nun üzerinde olan bara bağlantılarında her iki doğrultuda (B25-B83, B83-B25, B25-B84 ve B84-B25) Şekil 4.53'te görüldüğü gibi 0,02Hz artış gösterdiği görülmüştür.

Hat (B23-B25) N-1 SSSC'li sistem

SSSC ile elde edilen sonuçlar Tablo 4.37'de verilmiştir. B23-B24 doğrultusunda B24 bara gerilimi 0,024pu artarken B27 ve B45 bara gerilimleri 0,0001 pu düşmüştür. B24-B23 doğrultusunda B24 barası bu simülasyonda 0,0015pu artmış, B27 bara gerilimi sabit kalmış ve B45 bara gerilimi her iki doğrultuda 0,0001 pu düşmüştür.

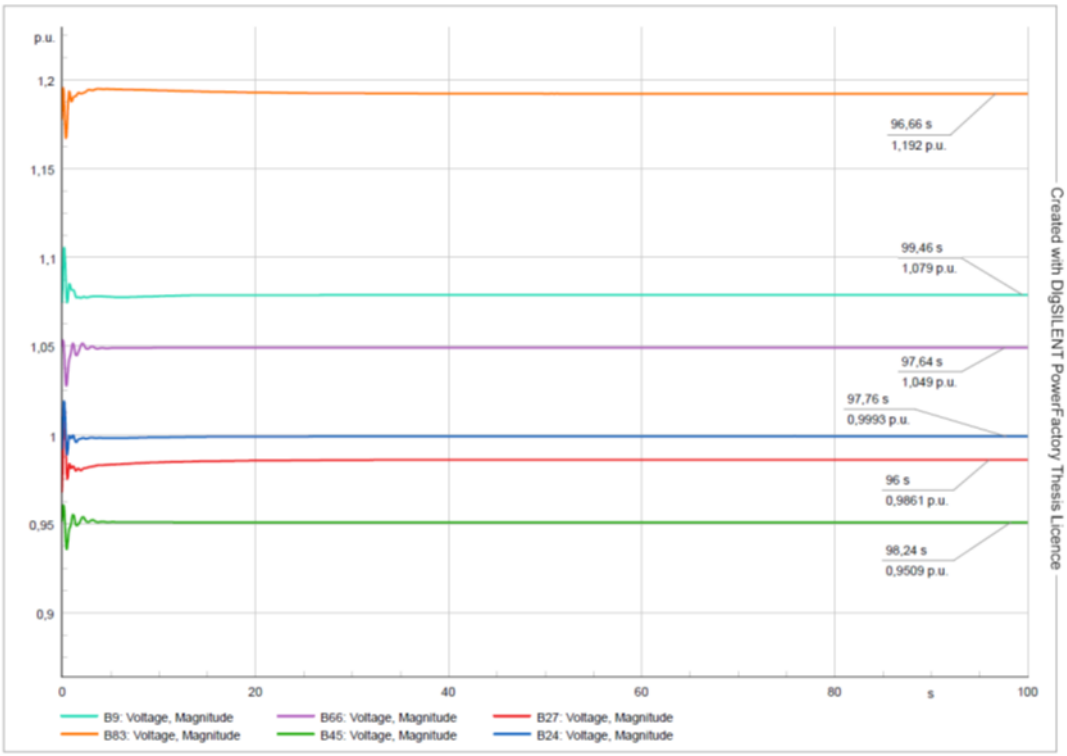
Tablo 4. 37. %20 penetrasyon oranı %75 üretim Hat(B23-B25) N-1 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9828	0,9675	0,9535	1,049	1,011	1,075	49,15
B23-B24	0,9852	0,9674	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
B24-B23	0,9843	0,9675	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
B23-B25	KARARSIZ						
B25-B23	0,9929	0,9696	0,9535	1,049	1,011	1,076	49,15
B25-B27	HATA						
B27-B25	1,013	1,081	0,9532	1,049	1,011	1,081	49,10
B25-B83	0,9993	0,9861	0,9509	1,049	1,192	1,079	49,15
B83-B25	HATA						
B25-B84	0,9985	0,9846	0,9513	1,049	1,06	1,079	49,11
B84-B25	HATA						



Şekil 4. 54. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 SSSC(B23-B25) gerilimleri

B23-B25 doğrultusunda gerçekleşen SSSC bağlantı senaryosu Şekil 4.54'te görüldüğü üzere kararsız durum sonrası kesilmiştir. Fakat hata uygulanan iletim hattına ters doğrultuda yapılan bağlantıda 0,0101 pu B24 bara gerilimi ve 0,0021 pu B27 bara gerilimi artmıştır. B25-B27 doğrultusunda SSSC bağlantısı en yüksek yük akış hatası nedeniyle gerçekleştirilememiştir. Diğer taraftan B27-B25 doğrultusunda B45 ve B66 bara gerilimleri hariç izlenen diğer bara gerilimleri artmıştır. Özellikle 0,1135 pu ile en yüksek artış B27 barasında olmuştur. B25-B83 doğrultusunda gerçekleştirilen simülasyonda B83 barası Şekil 4.55'te bu yüksek artış sonucunda normal çalışma koşullarını aşmıştır. B45 barasında da B45 barasının gerilimi bakımından en fazla gerilim düşüşü olmuştur.. B83-B25 doğrultusu ise en yüksek güç akış hatası nedeniyle gerçekleştirilememiştir. B84-B25 senaryosu gerçekleştirilememiş olmasına rağmen B25-B84 senaryosu B45 barasında gerçekleşen 0,0022pu gerilim düşüşü ve B66 bara gerilimi hariç diğer bara gerilimlerinde artış göstermiştir.

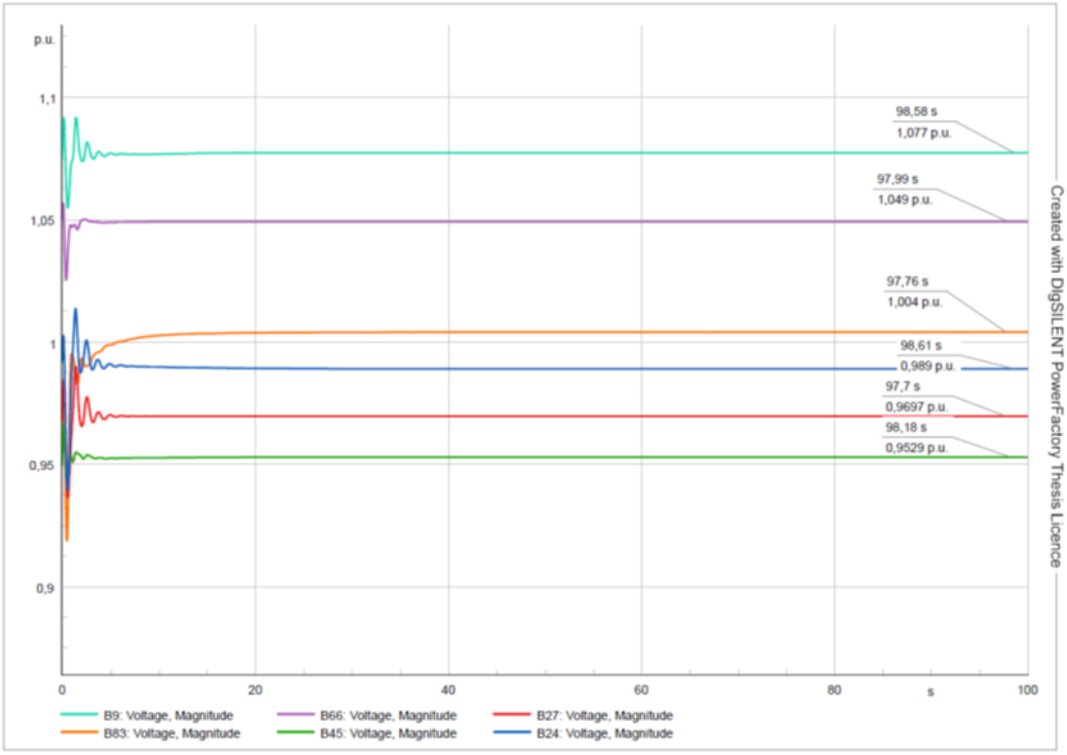


Şekil 4. 55. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi Hat (B23-B25) N-1 SSSC(B25-B83) gerilimleri

SSSC ile yapılan çalışmalarda sistem frekansı genel itibariyle sabit kalmıştır. Ancak Tablo 4.36'da görüldüğü üzere B27-B25 ve B25-B83 simülasyonlarında 0,05Hz ve 0,04Hz değerinde düşmüştür.

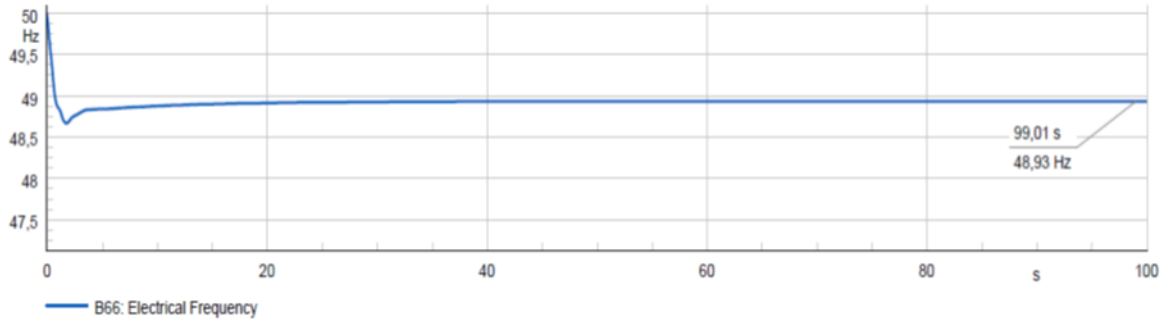
4.2.1.5. B25 ve B84 N-2 hata durumu

%20 penetrasyon oranı %75 üretim durumunda 112,5 MW kurulu güce sahip B25 GES ve 93,75 MW kurulu güce sahip B84 RES'e N-2 hata durumu uygulanmıştır. Şekil 4.56'da izlenen bara gerilimlerinde B24, B27 ve B9 baralarında 0,0066 pu, 0,0014 pu ve 0,002pu gerilim artışı görülmüştür. B66 bara gerilimi sabit kalırken B45 ve B83 bara gerilimleri 0,0005 pu ve 0,002pu değerlerinde düşmüştür.



Şekil 4. 56. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 ve B84 N-2 gerilimleri

Şekil 4.57'de N-2 hata durumu 206,25 MW değerindeki kurulu güce uygulandığından sistem frekansında N-1 hata durumlarından daha fazla düşüş meydana gelmiştir. Sistem frekansı 0,22Hz değerinde düşmüştür.



Şekil 4. 57. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 ve B84 N-2 frekans grafiği

Hat (B23-B25) N-1 hata durumunda FACTS cihazlarının dahil edilmesi

B25-VE B84 N-2 hata durumu SVS'li sistem

Tablo 4.38'de SVS ile elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4. 38. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu SVS'li sistem

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9890	0,9697	0,9529	1,049	1,004	1,077	48,93
B23	0,9963	0,972	0,9530	1,049	1,004	1,078	48,93
B25	1,014	0,9877	0,9531	1,049	1,004	1,079	48,93
B83	0,9887	0,9696	0,9529	1,049	0,9882	1,077	48,96
B84	0,9889	0,9697	0,9529	1,049	0,9904	1,077	48,95

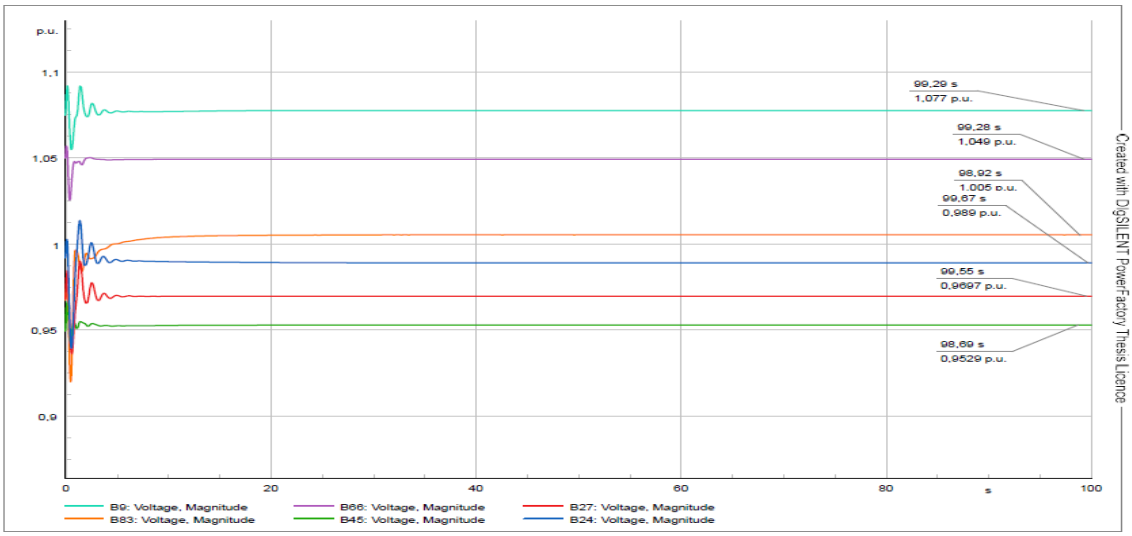
gerilim-frekans sonuçları

B25-VE B84 N-2 hata durumu STATCOM'lu sistem

STATCOM cihazının sisteme şönt bağlantı ile dahil edilmesinden sonra elde edilen sonuçlar Tablo 4.39'da verilmiştir. Sistem frekansı simülasyonlar boyunca sabit kalırken sadece B84 STATCOM bağlantısında B83 bara geriliminin 0,001 pu artış gösterdiği (Şekil 4.58) görülmüştür.

Tablo 4. 39. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25 ve B84 N-2 hata durumu STATCOM'lu sistem gerilim-frekans sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-1	0,9890	0,9697	0,9529	1,049	1,004	1,077	48,93
B23	0,9890	0,9697	0,9529	1,049	1,004	1,077	48,93
B27	0,9890	0,9697	0,9529	1,049	1,004	1,077	48,93
B83	0,9890	0,9697	0,9529	1,049	1.005	1,077	48,93
B84	0,9890	0,9697	0,9529	1,049	1,004	1,077	48,93



Şekil 4. 58. %20 penetrasyon oranı %75 üretim kapasitesi B25 ve B84 N-2 STATCOM B83 gerilimleri

B25-VE B84 N-2 hata durumu TCSC'li sistem

TCSC cihazının N-2 beklenmedik arıza durumunda sisteme dahil edilmesiyle Tablo 4.40'da elde edilen sonuçlara göre; %100 çalışma kapasiteli N-2 beklenmedik hata durumları kıyasla simülasyon hatası daha fazla olmuştur.

Tablo 4. 40. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25VE B84 N-2 hata durumu TCSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-2	0,9890	0,9697	0,9529	1,049	1,004	1,077	48,93
B23-B24	0,9912	0,9697	0,9529	1,049	1,004	1,077	48,93
B24-B23	0,9922	0,9696	0,9529	1,049	1,004	1,077	48,93
B23-B25	0,9878	0,9697	0,9528	1,049	1,004	1,078	48,93
B25-B23	0,9895	0,9698	0,9529	1,049	1,004	1,078	48,93
B25-B27	0,9881	0,9683	0,9530	1,049	1,004	1,077	48,94
B27-B25	0,9881	0,9683	0,9530	1,049	1,004	1,077	48,94
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	1,005	0,9797	0,9519	1,049	0,9986	1,078	48,95
B84-B25	HATA						

B25-VE B84 N-2 hata durumu SSSC'li sistem

SSSC ile elde edilen sonuçlar Tablo 4.41'de verilmiştir. B25 simülasyonlarında %100 üretim senaryosunda hata verirken %75 çalışma kapasitesinde simülasyon gerçekleşmiştir.

B27-B25 bağlantısında ise simülasyonlar N-2 temelli bir önceki elde edilen sonuçlarla uyumludur. B25-B83 simülasyonları bir önceki senaryoda kararsız durum oluştururken %75 çalışma kapasitesinde gerçekleştirilmiş fakat elde edilen sonuçlar normal çalışma koşullarının üzerinde olduğu görülmüştür. B83-B25 senaryosu bu çalışmada hata vererek simülasyon gerçekleştirilememiştir. B25-B84 bağlantısı ise bu senaryoda çalışmıştır.

Tablo 4. 41. %20 penetrasyon oranı %75 üretim B25VE B84 N-2 hata durumu SSSC'li sistem gerilim-frekans sonuçları

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
Normal	0,9824	0,9683	0,9534	1,049	1,011	1,075	49,15
N-2	0,9890	0,9697	0,9529	1,049	1,004	1,077	48,93
B23-B24	1,009	0,9661	0,9528	1,049	1,004	1,077	48,93
B24-B23	0,9862	0,9699	0,9529	1,049	1,004	1,077	48,93
B23-B25	1,031	0,9749	0,9531	1,049	1,004	1,079	48,93
B25-B23	0,9933	0,9702	0,9529	1,049	1,004	1,078	48,93
B25-B27	HATA						
B27-B25	0,9888	0,9661	0,9529	1,049	1,004	1,077	48,93
B25-B83	0,9875	0,9653	0,9482	1,049	1,398	1,062	48,83
B83-B25	HATA						
B25-B84	1,01	0,9821	0,9505	1,049	1,086	1,078	48,84
B84-B25	HATA						

5.SONUÇ

YEK entegrasyonları güç sistemleri üzerinde gerilim ve frekans kararsızlıklarına sebep olmaktadır. Oluşan bu kararsızlıkların iyileştirilmesi amaçlı yapılan çalışmalar içerisinden birçok çalışma değerlendirilerek FACTS cihazlarının kullanımının sistem üzerindeki etkileri üzerinde durulmuştur. Bu tez çalışmasında değişken YEK kaynaklı üretim farklı oranlarda IEEE 118 bara modeli üzerinde modellenmiştir. Her modellenen çalışmanın üretim kapasiteleri düşürülerek üretim belirsizliği modellenmiştir. Tüm senaryolar için N-1/ N-2 hata durumlarında FACTS cihazlarının kullanımı değerlendirilmiştir. Hata durumlarında sistemde iyileştirme sağlamak amaçlı FACTS cihazları seri ve şönt bağlantılar ile dahil edilmiştir. Çalışmada şönt bağlı SVS ve STATCOM cihazı, seri bağlantıda ise TCSC ve SSSC cihazları tercih edilmiştir.

%20 YEK penetrasyonunda sisteme uygulanan B23, B84, B25, Hat (B23-B25) ve (B25 ve B84) N-2 hata durumunda SVS cihazı B23, B25, B83, B84 baralarından sisteme dahil edilmiştir. Hata uygulanan YEK bağlı baralara şönt bağlantısı sağlanan B25 N-1 hata durumunda SVS B25 bağlantısı hariç izlenen çevre bara gerilimlerini ya da bağlı bulunduğu bara gerilimini düşürmüştür. Ancak hata dışı uygulanan bara bağlantılarında ise simülasyonların genelinde gerilim artışı görülmüştür. B25 barasına uygulanan N-1 hata durumunda ise sağlanan B25 SVS bağlantısında izlenen çevre bara gerilimi artış göstermiştir. Oluşan bu farklı durumun B25 barasına bağlı bulunan GES kurulu gücünün bulunması ve normal şartlarda simülasyon davranışları olarak birbirini destekleyici nitelikte bulunması beklenen B84 N-1 hata durumu SVS bağlantısından farklı olarak sahip olduğu kurulu gücün B25 barasında daha fazla olmasıdır. Sistem frekansı üzerindeki değişimler konusunda ise sadece şönt cihaz bağlı bulunan B83 SVS bağlantısı etkin olmuştur. Fakat SVS B83 bağlantısında ise tüm bağlantılarda B24 ve B83 bara gerilimleri dümüştür. B23, B27, B83 ve B84 baralarında şönt bağlantı ile sisteme dahil edilen STATCOM cihazı ise sadece B83 barasının 1 pu üzeri gerilim değerine sahip SVS B83 bağlantısında gerilim artışı olurken, B83 bara gerilimi 1pu'nun altı durumlarında ise SVS B83 bağlantısına ek olarak B84 SVS bağlantısından B83 bara gerilimi artışı gözlenmiştir. STATCOM ile sağlanan simülasyonlarda sistem frekansında herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Sisteme seri olarak bağlanan TCSC simülasyonlarından yük konumunda bulunan statik generatörün bağlı bulunduğu B27 barası ve B25 barası ile her iki doğrultuda gerçekleştirilen simülasyonlarında B24 bara gerilimi düşüş göstermiştir. SSSC bağlantılarında ise yük akış hatası, gerilim artışı ve gerilim düşüşü gibi farklı durumlar gözlenmiştir. TCSC ve SSSC bağlantılarında yine B84 bara gerilimi B83 ve B84 baralarının B25 barası ile seri bağlantısında farklı davranışlar sergilemiştir. TCSC B25 ve B84 bağlantılarında her iki doğrultuda gerilim artışı göstermiş ya da yük akış hatası vermiştir. B84 ve B25 bağlantılarında ise tüm hata durumlarında her iki bağlantı doğrultuda B84 bara gerilimi düşmüştür. SSSC B83 ve B25 bağlantılarında ise TCSC simülasyonlarında farklı olarak bazı hata durumlarında sistem kararsızlığı oluşarak simülasyon durdurulmuştur. B24 ve B84

SSSC bağlantılarında ise tüm hata durumlarında simülasyonlar max yük akış hatası vermiştir.TCSC ve SSSC'nin diğer bağlantı türlerinde ise B24 barasına yakın bağlantılarında bazı en yüksek döngüleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşen simülasyonlar hariç B24 bara gerilimleri artış göstermiştir. B24 barasında görülen bu gerilim artışı SSSC bağlantılarında daha fazladır. TCSC'nin 1 pu üzeri baralar ile oluşturduğu seri bağlantılarda ise genel olarak sistem frekansı artış göstermiştir. SSSC'nin ise 1 pu üzeri gerilim değerine sahip baralarla yaptığı seri bağlantı simülasyonları farklı durumlar sergilemiştir. Simülasyonlar hata durumuna bağlı olarak max yük akış hatası, sistem frekansının sabit kalması, sistem frekans düşüşü ya da sistem frekans artışı göstermiştir.

%20 YEK penetrasyonu üretim kapasitesinin %75 düşürülmesi ile gerçekleştirilen simülasyonlarında uygulanan hata durumlarında sisteme dahil edilen SVS, STATCOM ve TCSC FACTS cihazları max yük akış hatası gösterdiği durumlar hariç izlenen bara gerilimleri ve sistem frekansı üzerinde %100 üretim kapasitesi ile gerçekleştirilen çalışmalarda gösterdiği davranışlar ile benzer davranışlar sergilemiştir. Sisteme seri bağlanan SSSC cihazı ise sistemde oluşan kararsızlık durumları, en yüksek döngüleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşen simülasyon ve en yüksek yük akış hatası veren çalışmalarda dahil olmak üzere %100 üretim ile gerçekleşen simülasyonlardan farklı davranışlar sergilediği simülasyonlar bulunmaktadır.

Şönt bağlantıda kullanılan FACTS cihazlarının sistem frekansı üzerinde oluşan değişimlerinin yanı sıra daha çok gerilim değişimleri üzerinde etkisi olduğu görülmüştür. Ayrıca bulunduğu konuma bağlı olarak da bu gerilim değişimleri üzerindeki etkilerinin değiştiği gözlenmiştir. SVS cihazının şönt filtrelerle birlikte kullanımının sistem frekansı üzerinde artırıcı etkisi olduğu ve SVS'nin STATCOM'a kıyasla şönt filtre ile bağlantısı bulunan baralardaki frekans etkilerinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlarda simüle edilen SVS cihazının simüle edilen STATCOM cihazına göre gerilim ve frekans değişimlerinde daha etkin olduğu saptanmıştır. Sisteme seri bağlanarak dahil edilen TCSC ve SSSC'nin ise sistem frekansı üzerinde frekans artışı yönünden TCSC'nin 1pu üzeri bara gerilimine sahip baralarla yaptığı seri bağlantılarda daha etkin olduğu görülmüştür. Ayrıca izlenen bara gerilimlerindeki etkinliklerinin bağlı bulunduğu baraların konumu ve bağlantısı sağlanan baraların gerilim büyüklükleri ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Bara gerilim değerleri 1 pu'nun altı ve 1 pu'nun üstü olarak değerlendirilen bağlantılarda; 1 pu'nun üzerindeki gerilim değerine sahip baralara seri bağlanan SSSC cihazının yük akışı hatasına neden olduğu görülmüş ve bu hata durumlarının TCSC bağlantılarına nazaran daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Simüle edilen seri bağlantılı çalışmalarda FACTS cihazlarının gerilim değişimlerindeki etkileri açısından SSSC'nin gerilim üzerinde TCSC ile aynı etkiyi gösterdiği durumlarda SSSC cihazının daha etkin olduğu görülmüştür. Gerçekleştirilen tüm simülasyonlarda sisteme seri bağlanan FACTS cihazlarının gerilim ve frekans değişimleri üzerindeki etkilerinin şönt bağlantılı FACTS cihazlara göre daha iyi olduğu görülmektedir. Gelecek çalışmalarda ise sistem üzerinde daha

kapsamlı şekilde seri bağlantılı FACTS cihazlarının değerlendirilmesinin yapılan çalışmaları yönlendirmede etkin rol alacağı düşünülmektedir.

6.KAYNAKLAR

1. Xing, T., et al. A comprehensive flexibility optimization strategy on power system with high-percentage renewable energy. in 2017 2nd International Confrence on Power and Renewable Energy (ICPRE). 2017. IEEE.
2. Anderson, C. and J. Matevosyan. Flexibility studies in system planning at ERCOT. in 2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting. 2017. IEEE.
3. Nosair, H. and F. Bouffard, Energy-centric flexibility management in power systems. IEEE Transactions on Power Systems, 2016. **31**(6): p. 5071-5081.
4. Lannoye, E., D. Flynn, and M. O'Malley, Evaluation of power system flexibility. IEEE Transactions on Power Systems, 2012. **27**(2): p. 922-931.
5. Fan, Z., et al., General steady-state modeling and linearization of power electronic devices in AC-DC hybrid grid. IEEE Transactions on Power Systems, 2021. **36**(6): p. 5746-5755.
6. Jena, R., et al. Load flow analysis and optimal allocation of SVC in nine bus power system. in 2018 Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP). 2018. IEEE.
7. Khan, S. and S. Bhowmick. STATCOM modeling for power flow analysis. in 2014 6th IEEE Power India International Conference (PIICON). 2014. IEEE.
8. Khan, S. and S. Bhowmick. A novel power flow model of a static synchronous series compensator (SSSC). in 2014 6th IEEE Power India International Conference (PIICON). 2014. IEEE.
9. Chitsazan, M.A., M.S. Fadali, and A.M. Trzynadlowski, State estimation for large-scale power systems and facts devices based on spanning tree maximum exponential absolute value. IEEE Transactions on Power Systems, 2019. **35**(1): p. 238-248.
10. Zhang, N., et al. A review of different UPFC steady models in power flow algorithm. in 2015 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT). 2015. IEEE.
11. Huang, H., et al., Exploiting the operational flexibility of wind integrated hybrid AC/DC power systems. IEEE Transactions on Power Systems, 2020. **36**(1): p. 818-826.
12. Paredes, L.A., M.G. Molina, and B.R. Serrano. Improvements in the Voltage Stability of a Microgrid due to Smart FACTS–an Approach from Resilience. in 2020 IEEE ANDESCON. 2020. IEEE.
13. Brahma, D. and N. Senroy, Sensitivity-based approach for assessment of dynamic locational grid flexibility. IEEE Transactions on Power Systems, 2020. **35**(5): p. 3470-3480.
14. Tang, J., et al., Operational flexibility constrained intraday rolling dispatch strategy for CHP microgrid. IEEE Access, 2019. **7**: p. 96639-96649.
15. Assis, T.M.L., S. Kuenzel, and B.C. Pal, Impact of multi-terminal HVDC grids on enhancing dynamic power transfer capability. IEEE Transactions on Power Systems, 2016. **32**(4): p. 2652-2662.
16. ALNASSEIR, J., R. ALCHAREA, and F. ALMAGHOUT. Improving the Stability of Smart Grids by Using Flexible AlternatingCurrent Transmission Systems (FACTS). in 2021 12th

International Renewable Engineering Conference (IREC). 2021. IEEE.

17. Sang, Y., M. Sahraei-Ardakani, and M. Parvania, Stochastic transmission impedance control for enhanced wind energy integration. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2017. **9**(3): p. 1108-1117.
18. Putri, M.D.M. and A.N. Afandi. Performance index analysis (PIA) for N-1 contingency transmission in 150 kV electricity system. in 2019 international conference on electrical, electronics and information engineering (ICEEIE). 2019. IEEE.
19. Irfan, W., et al. N-1 Contingency Analysis for Offsite Power System of an HPR-1000 Power Plant Using ETAP Software. in 2022 International Conference on Recent Advances in Electrical Engineering & Computer Sciences (RAEE & CS). 2022. IEEE.
20. Chatterjee, D., et al. N-1-1 AC contingency analysis as a part of NERC compliance studies at midwest ISO. in IEEE PES T&D 2010. 2010. IEEE.
21. Qiao, Z., et al. Influence of N-1 contingency in natural gas system on power system. in 2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2). 2017. IEEE.
22. Ziaee, O. and F. Choobineh. Location-allocation of TCSC devices on a power system considering n-1 contingency. in 2016 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT). 2016. IEEE.
23. bin Othman, A.F., et al. Optimal Renewables-To-Grid Connection With N-1 Contingency Analysis. in 2023 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT). 2023. IEEE.
24. Peng, Y., et al. Power System Flexibility Indicators Considering Reliability in Electric Power System with High-Penetration New Energy. in 2022 5th International Conference on Power and Energy Applications (ICPEA). 2022. IEEE.
25. Luo, S., et al. Power System Flexibility Assessment Method for Matching Supply and Demand with Flexibility. in 2023 8th International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE). 2023. IEEE.
26. Zou, S., et al. Stochastic Joint Planning of Energy Storage and Transmission for Power System Flexibility. in 2022 IEEE/IAS Industrial and Commercial Power System Asia (I&CPS Asia). 2022. IEEE.
27. https://www.iea.org/reports/status-of-power-system-transformation-2019. (Son Erişim: 24 Nisan 2024)
28. https://www.kios.ucy.ac.cy/testsystems/index.php/ieee-118-bus-modified-test-system. (Son Erişim: 4 Nisan 2024)
29. Chandler, H., Empowering variable renewables-options for flexible electricity systems. 2008.
30. Xiang, Z., et al. Evaluating and Dispatching Flexibility in Power System with High-Penetration New Energy. in 2023 International Conference on Power System Technology (PowerCon). 2023. IEEE.
31. Yao, Y., et al., Optimal design of water tank size for power system flexibility and water quality. IEEE Transactions on Power Systems, 2021. **36**(6): p. 5874-5888.

32. Xu, J., et al. Flexibility Balance Mechanism and Flexibility Requirement Quantification of Power System with High Share of Uncertainty Power. in 2022 IEEE 6th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2). 2022. IEEE.

33. Nosair, H. and F. Bouffard, Flexibility envelopes for power system operational planning. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2015. **6**(3): p. 800-809.

34. Ackermann, T., et al., Scaling up variable renewable power: The role of grid codes. World Future Energy, 2016.

35. IMPRAM, S., Değişken Yenilenebilir Enerji Penetrasyonu Artışının Türkiye Güç Sistemine Etkisi, İn Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı. 2019.

36. Bhattacharya, S., et al., Impacts of energy flexibility in transactive energy systems with large-scale renewable generation. IEEE Access, 2022. **10**: p. 14870-14879.

37. Xiao, B., et al., Power Source Flexibility Margin Quantification Method for Multi-Energy Power Systems Based on Blind Number Theory. CSEE Journal of Power and Energy Systems, 2020. **9**(6): p. 2321-2331.

38. Du, E., et al., Operation of a high renewable penetrated power system with CSP plants: A look-ahead stochastic unit commitment model. IEEE Transactions on Power Systems, 2018. **34**(1): p. 140-151.

39. Khajeh, H., et al., A local capacity market providing local and system-wide flexibility services. IEEE Access, 2021. **9**: p. 52336-52351.

40. Nikoobakht, A., et al., Assessing increased flexibility of energy storage and demand response to accommodate a high penetration of renewable energy sources. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2018. **10**(2): p. 659-669.

41. Li, H., et al., Long duration flexibility planning challenges and solutions for power system with ultra high share of renewable energy. IEEE Open Access Journal of Power and Energy, 2022. **9**: p. 412-424.

42. Taibi, E., et al., Power system flexibility for the energy transition: Part 1, overview for policy makers. 2018.

43. Li, H., et al., The flexibility test system for studies of variable renewable energy resources. IEEE Transactions on Power Systems, 2020. **36**(2): p. 1526-1536.

44. Dhaliwal, N.K., F. Bouffard, and M.J. O'Malley, A fast flexibility-driven generation portfolio planning method for sustainable power systems. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2020. **12**(1): p. 368-377.

45. Ghahremani, E. and I. Kamwa, Optimal placement of multiple-type FACTS devices to maximize power system loadability using a generic graphical user interface. IEEE transactions on power systems, 2012. **28**(2): p. 764-778.

46. Hingorani, N.G., Flexible AC transmission. IEEE spectrum, 1993. **30**(4): p. 40-45.

47. Billinton, R. and Y. Cui. Reliability evaluation of composite electric power systems incorporating FACTS. in IEEE CCECE2002. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Conference Proceedings (Cat. No. 02CH37373). 2002. IEEE.

48. Saravanan, M., et al. Application of PSO technique for optimal location of FACTS devices considering system loadability and cost of installation. in 2005 International Power Engineering Conference. 2005. IEEE.

49. Nazaripouya, H. and S. Mehraeen, Modeling and nonlinear optimal control of weak/islanded grids using FACTS device in a game theoretic approach. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2015. **24**(1): p. 158-171.

50. Awad, A., et al. Optimal allocation and size of FACTS devices using several optimizers: a comprehensive study. in 2022 23rd International Middle East Power Systems Conference (MEPCON). 2022. IEEE.

51. Hingorani, N.G. and L. Gyugyi, Understanding FACTS: concepts and technology of flexible AC transmission systems. 2000: Wiley-IEEE Press.

52. Siddique, A., et al. Analysis of Transient Stability with SSSC and UPFC with Multi-Band PSS in Two Area Multi-Machine System. in 2018 IEEE 3rd International Conference on Integrated Circuits and Microsystems (ICICM). 2018. IEEE.

53. Afzal, M.J., et al. Voltage improvement of loop configured distribution networks with DGs & FACTS devices. in 2018 1st International Conference on Power, Energy and Smart Grid (ICPESG). 2018. IEEE.

54. Chirantan, S., et al. Enhancement of power profiles by various FACTS devices in power system. in 2017 2nd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES). 2017. IEEE.

55. Taleb, M., et al. Advanced Method for Optimal Allocation of FACTS Devices Using Line Stability Index Combined with Meta-Heuristic Optimization Techniques. in 2019 21st International Middle East Power Systems Conference (MEPCON). 2019. IEEE.

56. Rawat, N., A. Bhatt, and P. Aswal. A review on optimal location of FACTS devices in AC transmission system. in 2013 International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC). 2013. IEEE.

57. Li, C., et al., Optimal allocation of multi-type FACTS devices in power systems based on power flow entropy. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2014. **2**(2): p. 173-180.

58. Archana, N. and R. Vidhyapriya. Location of multi-type facts devices under contingency: An intelligent appproach using modified ABC. in 2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEES). 2016. IEEE.

59. Li, Z. Research on appling of facts devices in large-scale new energy send-side grid. in 2012 China International Conference on Electricity Distribution. 2012. IEEE.

60. Awad, A., et al. Optimal Allocation of FACTS Devices in Power Systems: A Multi-Objective Optimization Approach with Consideration of Wind Generation Integration. in 2024 International Conference on Artificial Intelligence, Computer, Data Sciences and Applications (ACDSA). 2024. IEEE.

61. Aslam, W., et al. Implementation of series facts devices SSSC and TCSC to improve power system stability. in 2018 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications

(ICIEA). 2018. IEEE.

62. Dwivedi, A.K. and S. Vadhera. Reactive power sustainability and voltage stability with different FACTS devices using PSAT. in 2019 6th international conference on signal processing and integrated networks (SPIN). 2019. IEEE.

63. Paramalingam, J., et al. Application of FACTS Devices for a Dynamic Power System within the USA. in 2018 International Power Electronics Conference (IPEC-Niigata 2018-ECCE Asia). 2018. IEEE.

64. Al-Mubarak, A.H., M.H. Khan, and M.Z. Al-Kadhem. Dynamic reactive power compensation for voltage support using static var compensator (SVC) in Saudi Arabia. in 2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC). 2015. IEEE.

65. Yu, S., et al., Novel quasi-decentralized SMC-based frequency and voltage stability enhancement strategies using valve position control and FACTS device. IEEE access, 2016. **5**: p. 946-955.

66. Grunbaum, R., M. Halonen, and G. Stromberg. SVC for 69 kV direct grid connection. in 2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition. 2008. IEEE.

67. Kihwele, S. Enhancement of Voltage stability margin using FACTS devices for 132 kV Tanzania grid network. in 2019 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC). 2019. IEEE.

68. Zhongchang, H., Z. Wei, and F. Tingxia, The effect of SVC on the transient stability simulation and analysis of Henan power grid. 2012.

69. Eltamaly, A.M., et al. A modified techniques of transmission system by static var compensation (SVC) for voltage control. in 2019 8th International Conference on Modeling Simulation and Applied Optimization (ICMSAO). 2019. IEEE.

70. Siregar, Y., P.N. Agustina, and Z. Pane. Optimization Placement of SVC and TCSC in Power Transmission Network 150 kV SUMBAGUT using Artificial Bee Colony Algorithm. in 2021 4th International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI). 2021. IEEE.

71. Suraj, P. and S. Chauhan. Fuzzy logic controller with SVC to improve transient stability for a grid connected distributed generation system. in 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom). 2016. IEEE.

72. Velamuri, S., S. Sreejith, and S. kumar Sudabattula. Static economic dispatch incorporating renewable energy resources and FACTS devices. in 2018 International Conference on Intelligent Circuits and Systems (ICICS). 2018. IEEE.

73. Sami, M., S. Gheorghe, and L. Toma. Transient stability improvement and voltage regulation in power system hosting Renewables by SVC. in 2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET). 2022. IEEE.

74. Xu, X., et al. Validation of a static VAr system model for a renewable project for grid code compliance. in 2015 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC). 2015. IEEE.

75. Kumar, R.J. and T. Rammohan. Enhancement of transient stability in power system with multi-machine using facts device. in 2020 IEEE international conference on advances and developments in electrical and electronics engineering (ICADEE). 2020. IEEE.

76. Medhi, B.K. and S. Bhuyan. Performance analysis of some FACTS devices using Newton Raphson Load Flow algorithm. in 2014 First International Conference on Automation, Control, Energy and Systems (ACES). 2014. IEEE.

77. Ankushe, R.S., et al. Multiple SVS system for voltage regulation by using direct self tuning regulator. in 2016 2nd International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB). 2016. IEEE.

78. Hemasundar, D., M. Thakre, and V. Kale. Impact of STATCOM on distance relay-Modeling and simulation using PSCAD/EMTDC. in 2014 IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science. 2014. IEEE.

79. Ziaeinejad, S. and A. Mehrizi-Sani, Design Tradeoffs in Selection of the DC-Side Voltage for a D-STATCOM. IEEE Transactions on Power Delivery, 2017. **33**(6): p. 3230-3232.

80. Ismail, N. and W.N.W. Abdullah. Enhancement of power quality in distribution system using D-STATCOM. in 2010 4th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO). 2010. IEEE.

81. Murdan, A.P., I. Jahmeerbacus, and S.S. Hassen. Modeling and Simulation of a STATCOM for reactive power control. in 2022 4th International Conference on Emerging Trends in Electrical, Electronic and Communications Engineering (ELECOM). 2022. IEEE.

82. Saif, A.M., C. Cecati, and C. Buccella. Ripple Voltage Mitigation for Multilevel SSBC STATCOM. in 2020 IEEE 9th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC2020-ECCE Asia). 2020. IEEE.

83. Amara, S. and H.A. Hsan. Power system stability improvement by FACTS devices: A comparison between STATCOM, SSSC and UPFC. in 2012 First International Conference on Renewable Energies and Vehicular Technology. 2012. IEEE.

84. Das, G.T.R. Fuzzy set theory applications for facts devices in grid connected renewable power systems. in 2016 3rd International Conference on Devices, Circuits and Systems (ICDCS). 2016. IEEE.

85. Yuvaraj, V., et al. Improving grid power quality with FACTS device on integration of wind energy system. in 2011 Fifth Asia Modelling Symposium. 2011. IEEE.

86. Katira, M. and K. Porate. Load flow analysis of 132/11 kV distribution sub station using static var compensator for voltage enhancement—A case study. in TENCON 2009-2009 IEEE Region 10 Conference. 2009. IEEE.

87. Emam, A.S., A.M.R. Azmy, and E.E.M. Rashad. Model Predictive Control-based Optimal STATCOM Operation for Mitigating Voltage Sag in Electric Networks Comprising Large Wind Farms. in 2019 21st International Middle East Power Systems Conference (MEPCON). 2019. IEEE.

88. Jadhav, A.K. and V. Kulkarni. A review on improvement in rotor angle and power system stability using SSSC based controller. in 2018 International Conference on Computation of

Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC). 2018. IEEE.

89. Mishra, A. and K. Chatterjee, Flicker attenuation using FACTS device for DFIG-based WECS connected to distribution network. IEEE Systems Journal, 2022. **17**(1): p. 282-293.

90. Siddique, A., et al. Application of series FACT devices SSSC and TCSC with POD controller in electrical power system network. in 2018 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA). 2018. IEEE.

91. Yue, G., et al. Power flow adjustment capability research of SSSC accessed to power grid. in 2018 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2). 2018. IEEE.

92. Hu, W., et al. Comparison study of power system small signal stability improvement using SSSC and STATCOM. in IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. 2013. IEEE.

93. Misal, S. and M. Wandalkar. Evaluation of SSSC dynamic response in a two machine multibus power system with and without damping control. in 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT). 2016. IEEE.

94. Jadhav, A.K. and V. Kulkarni. Improvement in power system stability using sssc based damping controller. in 2018 International Conference on Smart Electric Drives and Power System (ICSEDPS). 2018. IEEE.

95. Rohal, M. Application of SSSC based power oscillation damping controller for transient stability enhancement of multimachine system for unsymmetrical faults. in 2014 6th IEEE Power India International Conference (PIICON). 2014. IEEE.

96. Bhande, S.A. and V.K. Chandrakar. Static synchronous series compensator (sssc) to improve power system security. in 2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS). 2022. IEEE.

97. Khani, S., M. Sadeghi, and S. Hosseini. Optimal design of SSSC damping controller to improve power system dynamic stability using modified intelligent algorithms. in 2010 1st Power Electronic & Drive Systems & Technologies Conference (PEDSTC). 2010. IEEE.

98. Padma, K. and K. Vaisakh. Application of AHP method for optimal location of SSSC device under different operating conditions. in 2016 International Conference on Intelligent Control Power and Instrumentation (ICICPI). 2016. IEEE.

99. Gita, K. and A. Kumar. SSSC Incorporation in Power System Network for Security Analysis. in 2020 IEEE 7th Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON). 2020. IEEE.

100. Preetha, P. and A.A. Kumar. Comparsion of voltage stability using SSSC and TCSC controller. in 2015 2nd International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS). 2015. IEEE.

101. Sahraei-Ardakani, M. and S.A. Blumsack. Marginal value of FACTS devices in transmission-constrained electricity markets. in 2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting. 2013. IEEE.

102. Barua, P., et al. Small Signal Stability and Transient Stability improvement of Bangladesh Power System using TCSC, SVC and TCSC, STATCOM based series shunt compensator. in 2021 International Conference on Science & Contemporary Technologies (ICSCT). 2021. IEEE.

103. Jalilzadeh, S., et al. Comparison of TCSC and PSS state feedback controller performances on damping of power system oscillations using PSO. in 2011 19th Iranian Conference on Electrical Engineering. 2011. IEEE.

104. Meikandasivam, S., R.K. Nema, and S.K. Jain. Selection of TCSC parameters: Capacitor and inductor. in India International Conference on Power Electronics 2010 (IICPE2010). 2011. IEEE.

105. Ahmed, N., et al. Comprehensive Comparative Analysis of TCSC on Power Flow Regulation in HVAC System. in 2022 International Conference on Power Energy Systems and Applications (ICoPESA). 2022. IEEE.

106. Moslemi, R. and H.A. Shayanfar. Optimal location for series FACTS devices to transient stability constrained congestion management. in 2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering. 2011. IEEE.

107. Prajapati, U.P. and P.R. Bhavsar. Improvement of power system security by optimal location of FACTs devices using sensitivity approach. in 2017 8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT). 2017. IEEE.

108. Sutha, S. and N. Kamaraj, Optimal location of multi type facts devices for multiple contingencies using particle swarm optimization. electrical engineering, 2008. **17**: p. 18.

109. Marlin, S. and S.S. Jebaseelan. Combined facts devices for reactive power control by using optimization technique. in 2021 International Conference on Innovative Computing, Intelligent Communication and Smart Electrical Systems (ICSES). 2021. IEEE.

110. Deng, J. and X.-P. Zhang. Robust damping control of power system with TCSC using a multi-model system approach. in 10th IET International Conference on AC and DC Power Transmission (ACDC 2012). 2012. IET.

111. Dhawale, P.G. and D. Gowda. Design and implementation of TCSC for power flow enhancement. in 2017 International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (CTCEEC). 2017. IEEE.

112. Srivastava, A., R. Meena, and S. Parida. Effect of PV and FACTS on Small Signal Stability. in 2018 20th National Power Systems Conference (NPSC). 2018. IEEE.

113. Olasunkanmi, O.G., Z. Deng, and G. Todeschini. Load flow analysis of the Nigerian transmission grid using DIgSILENT PowerFactory. in 2021 56th International Universities Power Engineering Conference (UPEC). 2021. IEEE.

114. Øyvang, T. and G.J. Hegglid. Development of a New 21-Bus Test Power System for Teaching Purposes and Stability Studies using Digsilent Powerfactory. in 2021 IEEE Madrid

PowerTech. 2021. IEEE.

115. Alnawafah, H., et al. Modeling and validation of jordanian power grid in DIgSILENT PowerFactory toward implementing a smart grid scenario. in 2022 13th International Renewable Energy Congress (IREC). 2022. IEEE.

116. Al-akayshee, A.S., O.N. Kuznetsov, and H.M. Sultan. Modelling and performance evaluation of the 400kV national grid in Iraq in DigSILENT PowerFactory. in 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). 2020. IEEE.

117. Zheng, F., M. Ding, and J. Zhang. Modelling and simulation of grid-connected PV system in DIgSILENT/powerfactory. in 2nd IET Renewable Power Generation Conference (RPG 2013). 2013. IET.

118. Ospina, L.D.P., A.F. Correa, and G. Lammert. Implementation and validation of the Nordic test system in DIgSILENT PowerFactory. in 2017 IEEE Manchester PowerTech. 2017. IEEE.

119. Pena, I., C.B. Martinez-Anido, and B.-M. Hodge, An extended IEEE 118-bus test system with high renewable penetration. IEEE Transactions on Power Systems, 2017. **33**(1): p. 281-289.

120. Christie, R., Power systems test case archive: 118 bus power flow test case. University of Washington, Department of Electrical Engineering,[Online], Available: www. ee. washington. edu/research/pstca/pf118/pg tca118bus. htm, 1993.

121. Demetriou, P., et al., Dynamic IEEE test systems for transient analysis. IEEE Systems Journal, 2015. **11**(4): p. 2108-2117.

EK 1: YE Penetrasyonu Generatör Bilgileri

%20 YE Penetrasyonu					
Devre Dışı Kalan Generatörler ve Kurulu Güçleri(MW)		Sisteme Dahil Edilen RES'ler ve Kurulu Güçleri(MW)		Sisteme Dahil Edilen GES'ler ve Kurulu Güçleri(MW)	
SG10	560,5	B23	150	B25	150
SG49	297	B84	125	B39	125
SG25	297	B21	150	B33	150
		B7	150	B41	150

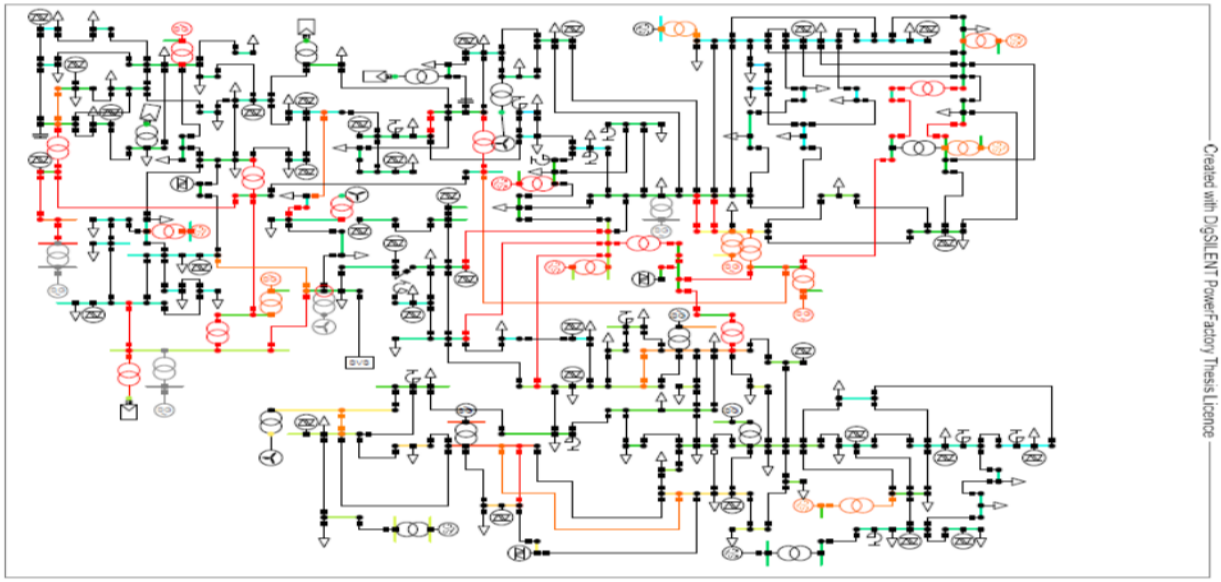
%40 YE Penetrasyonu					
Devre Dışı Kalan Generatörler ve Kurulu Güçleri(MW)		Sisteme Dahil Edilen RES'ler ve Kurulu Güçleri(MW)		Sisteme Dahil Edilen GES'ler ve Kurulu Güçleri(MW)	
SG10	560,5	B23	200	B7	200
SG26	369	B84	100	B26	200
SG54	80	B21	200	B33	200
SG65	460,8	B89	200	B39	100
SG89	751,5	B41	200	B48	200
		B28	200	B51	200

EK 2: YE Penetrasyonu Generatör Bilgileri

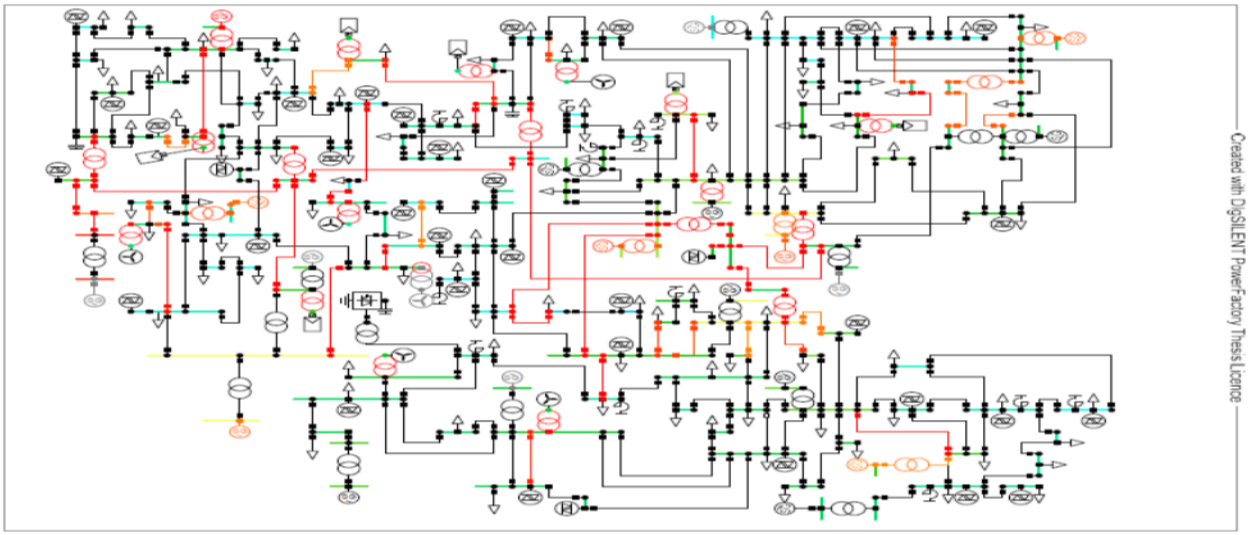
%60 YE Penetrasyonu					
Devre Dışı Kalan Generatörler ve Kurulu Güçleri(MW)		Sisteme Dahil Edilen RES'ler ve Kurulu Güçleri(MW)		Sisteme Dahil Edilen GES'ler ve Kurulu Güçleri(MW)	
SG10	560,5	B21	250	B7	250
SG26	369	B23	250	B26	250
SG59	198,05	B25	250	B33	100
SG25	297	B41	250	B39	250
SG89	751,5	B60	250	B48	250
SG80	560,5	B84	250	B59	250
SG66	460,8	B89	100	B67	250
SG31	60				
SG46	60				

EK 3: YE Penetrasyon Resimleri

%20 YE Penetrasyonu B23 N-1 SVS B23 Simülasyonu

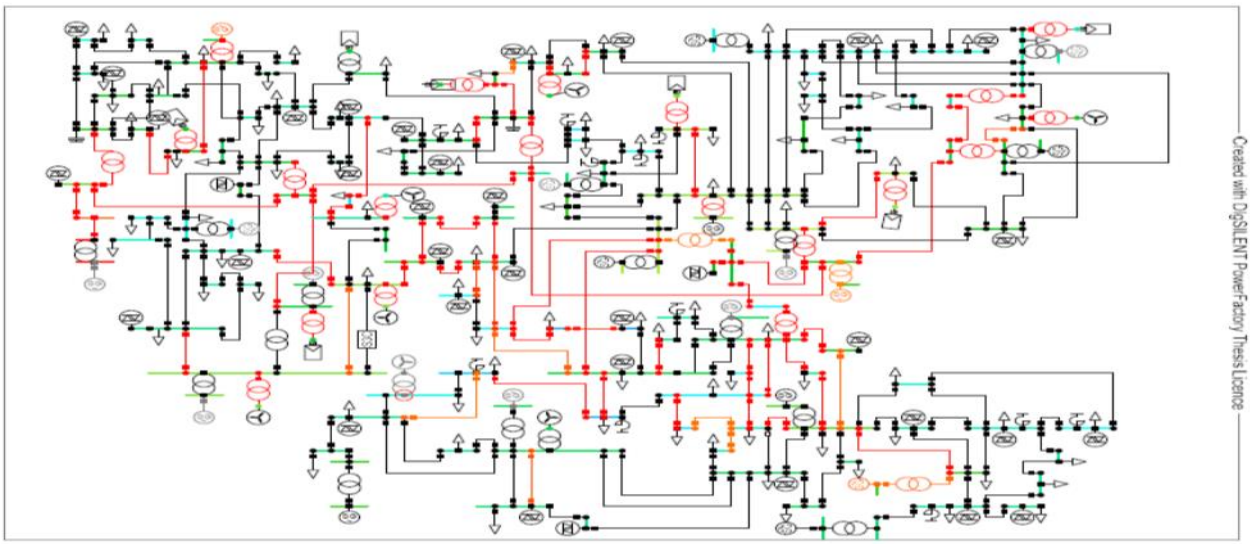


%40 YE penetrasyonu B23 N-1 STATCOM B83 Simülasyonu

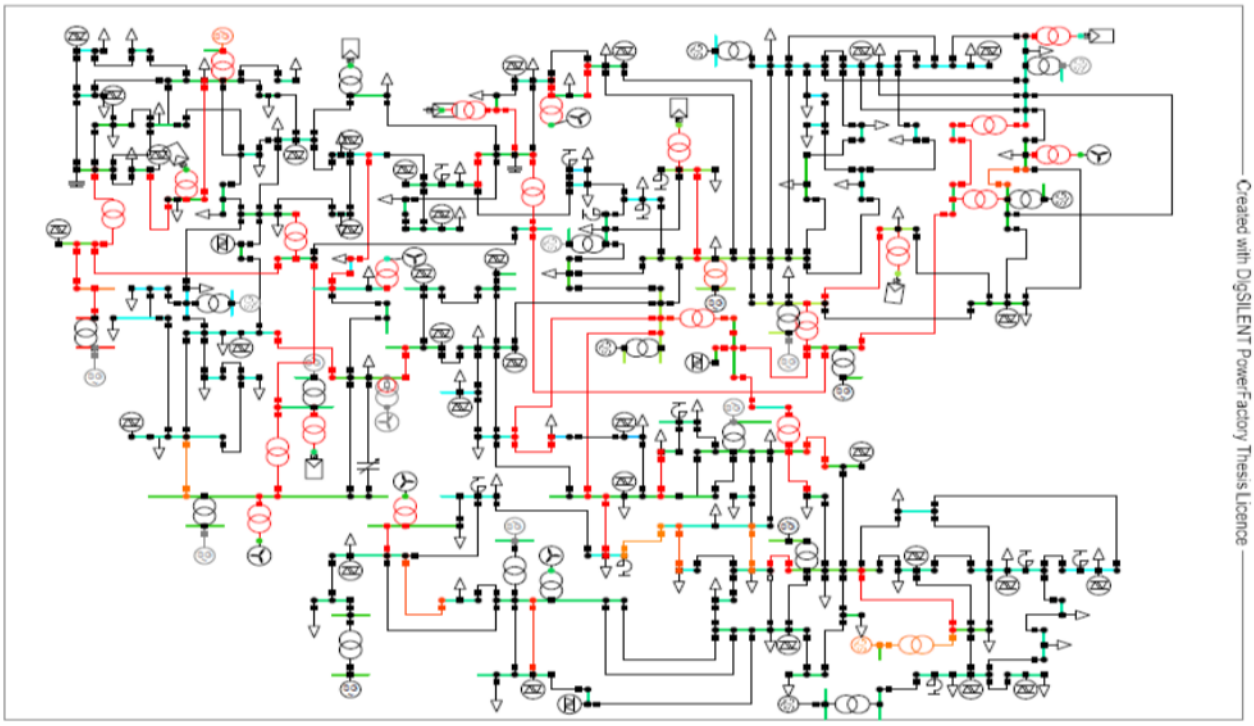


EK 4: YE Penetrasyon Resimleri

%60 YE Penetrasyonu B84 N-1 SSSC (B23-B25) Simülasyonu



%60 YE Penetrasyonu B23 N-1 TCSC (B23-B25) Simülasyonu



EK 5: FACTS Cihazları %40 YE B23 N-1 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9710	0,9644	0,9644	1,049	0,9703	1,07	49,9
B23	0,9764	0,9656	0,9644	1,049	0,9704	1,07	49,9
B25	HATA						
B83	0,9720	0,9646	0,9645	1,049	0,9534	1,07	49,91
B84	0,9712	0,9644	0,9644	1,049	0,9658	1,07	49,9

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	fe(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9710	0,9644	0,9644	1,049	0,9703	1,07	49,9
B23-B24	HATA						
B24-B23	0,9800	0,9644	0,9644	1,049	0,9702	1,07	49,9
B23-B25	0,9796	0,9665	0,9645	1,049	0,9703	1,07	49,9
B25-B23	0,9789	0,9664	0,9545	1,049	0,9703	1,071	49,9
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	0,9905	0,9665	0,9627	1,049	1,053	1,074	49,91
B83-B25	HATA						
B25-B84	0,9885	0,9664	0,9635	1,049	0,9728	1,074	49,9
B84-B25	0,9885	0,9665	0,9635	1.049	0,9729	1,074	49,9

EK6: FACTS Cihazları %40 YE B23 N-1 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9710	0,9644	0,9644	1,049	0,9703	1,07	49,9
B23	0,9711	0,9644	0,9644	1,049	0,9703	1,07	49,9
B27	0,9890	0,9697	0,9529	1,049	0,9703	1,077	49,9
B83	0,9710	0,9644	0,9644	1,049	0,9716	1,07	49,9
B84	0,9890	0,9697	0,9529	1,049	0,9707	1,077	48,93

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9710	0,9644	0,9644	1,049	0,9703	1,07	49,9
B23-B24	0,9786	0,9643	0,9645	1,049	0,9703	1,07	49,9
B24-B23	0,9810	0,9655	0,9547	1,049	0,9702	1,072	49,9
B23-B25	1,037	0,9786	0,965	1,049	0,9713	1,075	49,89
B25-B23	0,9303	0,9533	0,9648	1,049	0,9680	1,064	49,91
B25-B27	HATA						
B27-B25	0,9709	0,9637	0,9644	1,049	0,9703	1,07	49,9
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

N0T: SSSC B24-B23 simülasyonu max. iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşmiştir.

EK7: FACTS Cihazları %40 YE B84 N-1 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9667	0,9641	0,9644	1,049	0,9578	1,68	49,94
B23	0,9872	0,9688	0,9644	1,049	0,9581	1,069	49,94
B25	HATA						
B83	0,9690	0,9645	0,9645	1,049	0,9381	1,069	49,96
B84	0,9685	0,9644	0,9645	1,049	0,9280	1,069	49,95

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9667	0,9641	0,9644	1,049	0,9578	1,068	49,94
B23-B24	HATA						
B24-B23	0,9781	0,9642	0,9645	1,049	0,9576	1,069	49,94
B23-B25	0,9775	0,9666	0,9645	1,049	0,9579	1,069	49,94
B25-B23	HATA						
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	0,9916	0,9664	0,9633	1,049	1,051	1,074	49,97
B83-B25	0,9916	0,9665	0,9634	1,049	1,048	1,074	49,97
B25-B84	0,9901	0,9666	0,9639	1,049	0,9713	1,074	49,96
B84-B25	0,9901	0,9666	0,9639	1.049	0,9713	1,074	

EK8: FACTS Cihazları %40 YE B84 N-1 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9667	0,9641	0,9644	1,049	0,9578	1,068	49,94
B23	0,9667	0,9641	0,9644	1,049	0,9578	1,068	49,94
B27	0,9667	0,9641	0,9644	1,049	0,9578	1,068	49,94
B83	0,9667	0,9641	0,9644	1,049	0,9591	1,068	49,94
B84	0,9667	0,9641	0,9644	1,049	0,9582	1,068	49,94

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9667	0,9641	0,9644	1,049	0,9578	1,068	49,94
B23-B24	0,9733	0,9641	0,9644	1,049	0,9578	1,068	49,94
B24-B23	0,9866	0,9673	0,9653	1,049	0,9574	1,073	49,94
B23-B25	1,037	0,9796	0,965	1,049	0,9586	1,074	49,94
B25-B23	1,013	0,9762	0,9644	1,049	0,9598	1,074	49,93
B25-B27	HATA						
B27-B25	0,9663	0,9623	0,9643	1,049	0,9578	1,068	49,94
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

N0T: SSSC B25-B23 simülasyonu max. iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşmiştir.

EK9: FACTS Cihazları %40 YE B26 N-1 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9703	0,9647	0,9644	1,049	0,9702	1,07	49,9
B23	0,9913	0,9695	0,9646	1,049	0,9704	1,071	49,9
B25	HATA						
B83	0,9712	0,9648	0,9644	1,049	0,9553	1,07	49,91
B84	0,9705	0,9647	0,9644	1,049	0,9657	1,069	49,9

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9703	0,9647	0,9644	1,049	0,9702	1,07	49,9
B23-B24	HATA						
B24-B23	0,9804	0,9647	0,9644	1,049	0,9701	1,071	49,9
B23-B25	0,8857	0,8845	0,9498	1,038	0,9739	1,018	49,86
B25-B23	0,9779	0,9663	0,9644	1,049	0,9702	1,071	49,89
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	0,9903	0,9663	0,9625	1,049	1,053	1,074	49,91
B83-B25	0,9902	0,9663	0,9625	1,049	1,05	1,074	49,91
B25-B84	0,9880	0,9664	0,9633	1,049	0,9738	1,074	49,9
B84-B25	0,9882	0,9664	0,9632	1.049	0,9742	1,074	49,9

N0T: TCSC B23-B25 simülasyonu max. iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşmiştir.

EK10: FACTS Cihazları %40 YE B26 N-1 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9703	0,9647	0,9644	1,049	0,9702	1,07	49,9
B23	0,9703	0,9647	0,9644	1,049	0,9702	1,07	49,9
B27	0,9703	0,9647	0,9644	1,049	0,9702	1,07	49,9
B83	0,9703	0,9647	0,9644	1,049	0,9715	1,07	49,9
B84	0,9703	0,9647	0,9644	1,049	0,9706	1,07	49,9

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9703	0,9647	0,9644	1,049	0,9702	1,07	49,9
B23-B24	0,9796	0,9646	0,9644	1,049	0,9702	1,07	49,9
B24-B23	0,9962	0,966	0,9646	1,049	0,9702	1,07	49,9
B23-B25	HATA						
B25-B23	0,9806	0,9669	0,9645	1,049	0,9703	1,071	49,9
B25-B27	HATA						
B27-B25	0,9701	0,9638	0,9644	1,049	0,9701	1,07	49,9
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	0,9865	0,9666	0,9647	1,049	0,9735	1,074	49,9
B84-B25	HATA						

EK11: FACTS Cihazları %40 YE Hat(B23-B25) N-1 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9667	0,9632	0,9646	1,049	0,9667	1,069	49,9
B23	0,9540	0,9604	0,9644	1,049	0,9665	1,068	49,99
B25	HATA						
B83	0,9673	0,9633	0,9646	1,049	0,9501	1,069	49,99
B84	0,9669	0,9632	0,9646	1,049	0,9623	1,069	49,99

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9667	0,9632	0,9646	1,049	0,9667	1,069	49,99
B23-B24	HATA						
B24-B23	0,9726	0,9632	0,9647	1,049	0,9666	1,069	49,99
B23-B25	HATA						
B25-B23	0,9809	0,9667	0,9548	1,049	0,9667	1,07	49,99
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	0,9908	0,9651	0,9638	1,05	1,052	1,074	50
B83-B25	0,9908	0,9652	0,9638	1,049	1,05	1,074	50
B25-B84	0,9887	0,9659	0,9644	1,049	0,9690	1,074	49,99
B84-B25	HATA						

EK12: FACTS Cihazları %40 YE Hat(B23-B25) N-1 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9667	0,9632	0,9646	1,049	0,9667	1,069	49,99
B23	0,9667	0,9632	0,9646	1,049	0,9667	1,069	49,99
B27	0,9667	0,9632	0,9646	1,049	0,9667	1,069	49,99
B83	0,9667	0,9632	0,9646	1,049	0,9680	1,069	49,99
B84	0,9667	0,9632	0,9646	1,049	0,9671	1,069	49,99

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-1	0,9667	0,9632	0,9646	1,049	0,9667	1,069	49,99
B23-B24	0,9695	0,9632	0,9646	1,049	0,9667	1,069	49,99
B24-B23	0,9672	0,9693	0,9655	1,049	0,9663	1,073	49,99
B23-B25	1,122	0,9984	0,9667	1,049	0,9685	1,082	49,99
B25-B23	HATA						
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

EK13: FACTS Cihazları %40 YE B26 ve B84 N-2 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-2	0,9654	0,9640	0,9642	1,049	0,9642	1,069	49,80
B23	0,9865	0,9689	0,9644	1,049	0,9644	1,071	49,80
B25	HATA						
B83	0,9658	0,9641	0,9642	1,049	0,9442	1,069	49,83
B84	0,9659	0,9641	0,9642	1,049	0,9442	1,069	49,82

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-2	0,9654	0,9640	0,9642	1,049	0,9642	1,069	49,80
B23-B24	HATA						
B24-B23	0,9777	0,9641	0,9642	1,049	0,9640	1,07	49,81
B23-B25	KARARSIZ						
B25-B23	0,9747	0,9660	0,9643	1,049	0,9643	1,07	49,80
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	0,9893	0,9660	0,9619	1,049	1,052	1,074	49,83
B83-B25	0,9892	0,9660	0,9619	1,049	1,05	1,074	49,83
B25-B84	0,9874	0,9661	0,9625	1,049	0,9787	1,074	49,82
B84-B25	0,9873	0,9661	0,9626	1.049	0,9786	1,074	49,82

EK14: FACTS Cihazları %40 YE B26 ve B84 N-2 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-2	0,9654	0,9640	0,9642	1,049	0,9642	1,069	49,80
B23	0,9654	0,9640	0,9642	1,049	0,9642	1,069	49,80
B27	0,9654	0,9640	0,9642	1,049	0,9642	1,069	49,80
B83	0,9654	0,9640	0,9642	1,049	0,9655	1,069	49,80
B84	0,9654	0,9640	0,9642	1,049	0,9646	1,069	49,80

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9742	0,9653	0,9647	1,049	0,9667	1,07	49,99
N-2	0,9654	0,9640	0,9642	1,049	0,9642	1,069	49,80
B23-B24	0,9770	0,9639	0,9642	1,049	0,9642	1,07	49,80
B24-B23	0,9950	0,9654	0,9644	1,049	0,9642	1,072	49,80
B23-B25	HATA						
B25-B23	0,9781	0,9668	0,9643	1,049	0,9643	1,07	49,80
B25-B27	HATA						
B27-B25	0,9654	0,9637	0,9642	1,049	0,9641	1,069	49,80
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

EK15: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi B23 N-1 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9779	0,9658	0,9631	1,049	0,9846	1,073	49,29
B23	0,9847	0,9674	0,9632	1,049	0,9847	1,074	49,29
B25	HATA						
B83	0,9776	0,9658	0,9631	1,049	0,9662	1,073	49,33
B84	0,9778	0,9658	0,9631	1,049	0,9758	1,073	49,30

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9779	0,9658	0,9631	1,049	0,9846	1,073	49,29
B23-B24	0,9836	0,9658	0,9630	1,049	0,9846	1,073	49,29
B24-B23	0,9839	0,9659	0,9630	1,049	0,9846	1,074	49,29
B23-B25	0,9826	0,9672	0,9630	1,049	0,9846	1,074	49,29
B25-B23	0,9824	0,9672	0,9630	1,049	0,9846	1,074	49,29
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	0,9926	0,9680	0,9606	1,049	1,046	1,076	49,32
B83-B25	HATA						
B25-B84	0,9907	0,9677	0,9612	1,049	0,9871	1,076	49,31
B84-B25	0,9928	0,9680	0,9608	1,049	0,9914	1,077	

EK16: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi B23 N-1 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9779	0,9658	0,9631	1,049	0,9846	1,073	49,29
B23	0,9779	0,9658	0,9631	1,049	0,9846	1,073	49,29
B27	0,9779	0,9658	0,9631	1,049	0,9846	1,073	49,29
B83	0,9779	0,9658	0,9631	1,049	0,9858	1,073	49,29
B84	0,9779	0,9658	0,9631	1,049	0,9850	1,073	49,29

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9779	0,9658	0,9631	1,049	0,9846	1,073	49,29
B23-B24	0,9902	0,9656	0,9630	1,049	0,9847	1,073	49,29
B24-B23	0,9949	0,9657	0,9629	1,049	0,9847	1,074	49,29
B23-B25	1,04	0,9791	0,9631	1,049	0,9856	1,077	49,26
B25-B23	0,9909	0,9689	0,9632	1,049	0,9847	1,074	49,29
B25-B27	HATA						
B27-B25	0,9777	0,9649	0,9631	1,049	0,9845	1,073	49,29
B25-B83	HATA						
B83-B25	0,9243	0,9020	0,9585	1,045	0,6932	1,033	49,58
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

N0T: SSSC B83-B25 simülasyonu max. iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşmiştir.

EK17: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi B84 N-1 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9676	0,9648	0,9638	1,049	0,9766	1,071	49,38
B23	0,9860	0,9690	0,9639	1,049	0,9769	1,072	49,38
B25	HATA						
B83	0,9675	0,9648	0,9637	1,049	0,9549	1,071	49,43
B84	0,9677	0,9648	0,9638	1,049	0,9556	1,071	49,42

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9676	0,9648	0,9638	1,049	0,9766	1,071	49,38
B23-B24	0,9778	0,9649	0,9637	1,049	0,9766	1,071	49,38
B24-B23	0,9791	0,9650	0,9637	1,049	0,9766	1,071	49,38
B23-B25	0,9768	0,9670	0,9638	1,049	0,9768	1,072	49,37
B25-B23	0,9772	0,9671	0,9638	1,049	0,9768	1,072	49,37
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	0,9911	0,9679	0,9608	1,049	1,053	1,076	49,44
B83-B25	0,9911	0,9679	0,9608	1,049	1,053	1,076	49,44
B25-B84	0,9888	0,9677	0,9615	1,049	0,9851	1,076	49,43
B84-B25	0,9887	0,9677	0,9616	1,049	0,9850	1,076	49,43

EK18: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi B84 N-1 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9676	0,9648	0,9638	1,049	0,9766	1,071	49,38
B23	0,9676	0,9648	0,9638	1,049	0,9766	1,071	49,38
B27	0,9776	0,9648	0,9638	1,049	0,9766	1,071	49,38
B83	0,9676	0,9662	0,9638	1,049	0,9779	1,071	49,38
B84	0,9676	0,9662	0,9638	1,049	0,9770	1,071	49,38

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9676	0,9648	0,9638	1,049	0,9766	1,071	49,38
B23-B24	0,9825	0,9646	0,9638	1,049	0,9767	1,071	49,38
B24-B23	0,9971	0,9655	0,9637	1,049	0,9768	1,073	49,38
B23-B25	1,033	0,9791	0,9641	1,049	0,9776	1,075	49,37
B25-B23	0,9832	0,9683	0,9639	1,049	0,9768	1,072	49,38
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

EK19: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi B26 N-1 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9770	0,9662	0,9630	1,049	0,9845	1,074	49,29
B23	0,9948	0,9703	0,9631	1,049	0,9848	1,075	49,29
B25	HATA						
B83	0,9768	0,9662	0,9630	1,049	0,9661	1,074	49,33
B84	0,9770	0,9662	0,9630	1,049	0,9758	1,074	49,30

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9770	0,9662	0,9630	1,049	0,9845	1,074	49,29
B23-B24	0,9847	0,9664	0,9628	1,049	0,9845	1,074	49,29
B24-B23	0,9848	0,9664	0,9628	1,049	0,9845	1,074	49,29
B23-B25	0,9813	0,9672	0,9629	1,049	0,9846	1,074	49,29
B25-B23	0,9816	0,9672	0,9629	1,049	0,9846	1,074	49,29
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	0,9922	0,9682	0,9603	1,049	1,055	1,076	49,32
B83-B25	0,9920	0,9682	0,9603	1,049	1,051	1,076	49,32
B25-B84	0,9897	0,9679	0,9611	1,049	0,9877	1,076	49,31
B84-B25	0,9900	0,9680	0,9610	1,049	0,9884	1,076	49,31

EK20: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi B26 N-1 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9770	0,9662	0,9630	1,049	0,9845	1,074	49,29
B23	0,9771	0,9662	0,9630	1,049	0,9845	1,074	49,29
B27	0,9770	0,9662	0,9630	1,049	0,9845	1,074	49,29
B83	0,9770	0,9662	0,9630	1,049	0,9858	1,074	49,29
B84	0,9770	0,9662	0,9630	1,049	0,9849	1,074	49,29

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9779	0,9658	0,9631	1,049	0,9846	1,073	49,29
B23-B24	0,9921	0,9660	0,9629	1,049	0,9847	1,073	49,29
B24-B23	1,004	0,9662	0,9627	1,049	0,9848	1,074	49,29
B23-B25	0,9864	0,9683	0,9630	1,049	0,9846	1,074	49,29
B25-B23	0,9838	0,9677	0,9630	1,049	0,9846	1,074	49,29
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

EK21: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi Hat(B23-B25) N-1 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9634	0,9619	0,9637	1,049	0,9787	1,069	49,52
B23	0,9484	0,9586	0,9636	1,049	0,9784	1,068	49,52
B25	HATA						
B83	0,9633	0,9619	0,9637	1,049	0,9603	1,069	49,56
B84	0,9634	0,9619	0,9637	1,049	0,9700	1,069	49,53

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9634	0,9619	0,9637	1,049	0,9787	1,069	49,52
B23-B24	0,9700	0,9618	0,9637	1,049	0,9786	1,069	49,52
B24-B23	0,9709	0,9618	0,9637	1,049	0,9786	1,069	49,52
B23-B25	HATA						
B25-B23	0,9769	0,9670	0,9638	1,049	0,9788	1,072	49,52
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	0,9892	0,9674	0,9611	1,049	1,053	1,076	49,56
B83-B25	0,9891	0,9674	0,9611	1,049	1,051	1,076	49,56
B25-B84	0,9864	0,9674	0,9619	1,049	0,9811	1,075	49,54
B84-B25	0,9865	0,9674	0,9619	1,049	0,9812	1,075	49,54

EK22: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi Hat Hat(B23-B25) N-1 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9634	0,9619	0,9637	1,049	0,9787	1,069	49,52
B23	0,9634	0,9619	0,9637	1,049	0,9787	1,069	49,52
B27	0,9634	0,9619	0,9637	1,049	0,9787	1,069	49,52
B83	0,9634	0,9619	0,9637	1,049	0,9800	1,069	49,52
B84	0,9634	0,9619	0,9637	1,049	0,9791	1,069	49,52

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-1	0,9634	0,9619	0,9637	1,049	0,9787	1,069	49,52
B23-B24	0,9703	0,9617	0,9637	1,049	0,9787	1,069	49,52
B24-B23	0,9688	0,9637	0,9638	1,049	0,9786	1,07	49,52
B23-B25	1,085	0,9905	0,9645	1,049	0,9805	1,079	49,50
B25-B23	HATA						
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

EK23: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi B26 ve B84 N-2 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-2	0,9768	0,9662	0,9630	1,049	0,9829	1,074	49,15
B23	0,9946	0,9703	0,9631	1,049	0,9831	1,075	49,15
B25	HATA						
B83	0,9766	0,9662	0,9630	1,049	0,9612	1,074	49,2
B84	0,9768	0,9662	0,9630	1,049	0,9618	1,074	49,19

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-2	0,9768	0,9662	0,9630	1,049	0,9829	1,074	49,15
B23-B24	0,9846	0,9664	0,9628	1,049	0,9829	1,074	49,15
B24-B23	0,9847	0,9664	0,9629	1,049	0,9829	1,074	49,15
B23-B25	0,9812	0,9671	0,9630	1,049	0,9829	1,074	49,15
B25-B23	0,9815	0,9672	0,9629	1,049	0,9830	1,074	49,15
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	0,9934	0,9684	0,9600	1,049	1,054	1,077	49,19
B83-B25	0,9933	0,9684	0,9600	1,049	1,053	1,077	49,19
B25-B84	0,9916	0,9682	0,9607	1,049	0,9912	1,077	49,19
B84-B25	0,9925	0,9683	0,9604	1,049	0,9949	1,077	49,19

EK24: FACTS Cihazları %40 YE %75 Üretim Kapasitesi B26 ve B84 N-2 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-2	0,9768	0,9662	0,9630	1,049	0,9829	1,074	49,15
B23	0,9768	0,9662	0,9630	1,049	0,9829	1,074	49,15
B27	0,9768	0,9662	0,9630	1,049	0,9829	1,074	49,15
B83	0,9768	0,9662	0,9630	1,049	0,9842	1,074	49,15
B84	0,9768	0,9662	0,9630	1,049	0,9833	1,074	49,15

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9684	0,9649	0,9638	1,049	0,9787	1,071	49,52
N-2	0,9768	0,9662	0,9630	1,049	0,9829	1,074	49,15
B23-B24	0,9924	0,9659	0,9629	1,049	0,9830	1,074	49,15
B24-B23	1,0039	0,9661	0,9628	1,049	0,9832	1,074	49,15
B23-B25	0,9867	0,9683	0,9630	1,049	0,9830	1,074	49,15
B25-B23	1,0424	0,9802	0,9633	1,049	0,9838	1,077	49,14
B25-B27	HATA						
B27-B25	KARARSIZ						
B25-B83	HATA						
B83-B25	0,9175	0,8948	0,9566	1,044	0,5747	1,03	49,51
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

N0T: SSSC B83-B25 simülasyonu max. iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşmiştir.

EK25: FACTS Cihazları %60 YE B23 N-1Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,10
N-1	0,9927	0,9680	0,9524	1,037	0,9604	1,075	50,04
B23	0,9614	0,9441	0,9612	1,036	0,9598	1,067	50,04
B25	1,018	0,9955	0,9539	1,037	0,9608	1,084	50,04
B83	0,9923	0,9678	0,9524	1,037	0,9404	1,075	50,05
B84	0,9929	0,9681	0,9524	1,037	0,9757	1,075	50,04

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,10
N-1	0,9927	0,9680	0,9524	1,037	0,9604	1,075	50,04
B23-B24	0,9923	0,9679	0,9524	1,037	0,9603	1,075	50,04
B24-B23	0,9923	0,9679	0,9524	1,037	0,9603	1,075	50,04
B23-B25	0,9922	0,9675	0,9523	1,037	0,9603	1,075	50,04
B25-B23	0,9924	0,9677	0,9524	1,037	0,9603	1,075	50,04
B25-B27	0,9930	0,9682	0,9525	1,037	0,9603	1,075	50,04
B27-B25	0,9930	0,9682	0,9525	1,037	0,9603	1,075	50,04
B25-B83	0,9894	0,9647	0,9502	1,037	1,001	1,074	50,05
B83-B25	0,9894	0,9647	0,9502	1,037	1,001	1,074	50,05
B25-B84	HATA						
B84-B25	0,9894	0,9644	0,9509	1,037	0,9535	1,074	50,04

EK26: FACTS Cihazları %60 YE B23 N-1Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,10
N-1	0,9927	0,9680	0,9524	1,037	0,9604	1,075	50,04
B23	0,9927	0,9680	0,9524	1,037	0,9604	1,075	50,04
B27	0,9927	0,9680	0,9524	1,037	0,9604	1,075	50,04
B83	0,9927	0,9680	0,9524	1,037	0,9617	1,075	50,04
B84	0,9927	0,9680	0,9524	1,037	0,9608	1,075	50,04

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,10
N-1	0,9927	0,9680	0,9524	1,037	0,9604	1,075	50,04
B23-B24	1,04	0,9525	0,9520	1,037	0,9621	1,065	50,04
B24-B23	0,9920	0,9680	0,9624	1,037	0,9604	1,075	50,04
B23-B25	0,9921	0,9677	0,9624	1,037	0,9604	1,075	50,04
B25-B23	0,9615	0,9786	0,9533	1,037	0,9589	1,09	50,04
B25-B27	1,0202	0,9038	0,9558	1,039	0,9618	1,091	50,04
B27-B25	1,072	1,098	0,9566	1,037	0,9619	1,103	50,03
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

N0T: SSSC B23-B24 ve B25-B23 simülasyonu max. iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşmiştir.

EK27: FACTS Cihazları %60 YE B84 N-1Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,10
N-1	0,9911	0,9669	0,9523	1,036	0,9385	1,074	50,02
B23	0,9933	0,9686	0,9524	1,036	0,9385	1,075	50,02
B25	1,017	0,9938	0,9537	1,036	0,9388	1,083	50,02
B83	0,9919	0,9671	0,9523	1,036	0,9133	1,074	50,03
B84	0,9921	0,9673	0,9523	1,036	0,9170	1,074	50,03

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,10
N-1	0,9911	0,9669	0,9523	1,036	0,9385	1,074	50,02
B23-B24	0,9909	0,9668	0,9524	1,036	0,9383	1,073	50,02
B24-B23	0,9909	0,9668	0,9524	1,036	0,9383	1,074	50,02
B23-B25	0,9910	0,9668	0,9523	1,036	0,9385	1,074	50,02
B25-B23	0,9910	0,9668	0,9523	1,036	0,9385	1,074	50,02
B25-B27	0,9913	0,9670	0,9522	1,036	0,9384	1,074	50,02
B27-B25	0,9913	0,9670	0,9522	1,036	0,9384	1,074	50,02
B25-B83	0,9888	0,9636	0,9504	1,037	0,9995	1,073	50,04
B83-B25	0,9888	0,9636	0,9503	1,037	1,001	1,073	50,04
B25-B84	0,9891	0,9638	0,9510	1,037	0,9541	1,073	50,04
B84-B25	0,9891	0,9637	0,9510	1,037	0,9542	1,073	50,04

EK28: FACTS Cihazları %60 YE B84 N-1Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,10
N-1	0,9911	0,9969	0,9523	1,036	0,9385	1,074	50,02
B23	0,9911	0,9669	0,9523	1,036	0,9385	1,074	50,02
B27	0,9911	0,9669	0,9523	1,036	0,9385	1,074	50,02
B83	0,9911	0,9669	0,9523	1,036	0,9398	1,074	50,02
B84	0,9911	0,9669	0,9523	1,036	0,9389	1,074	50,02

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,10
N-1	0,9911	0,9669	0,9523	1,036	0,9385	1,074	50,02
B23-B24	1,086	0,9437	0,9516	1,036	0,9401	1,06	50,02
B24-B23	1,002	1,008	0,9552	1,036	0,9376	1,089	50,02
B23-B25	1,0068	0,9767	0,9530	1,036	0,9384	1,078	50,02
B25-B23	1,016	0,9607	0,9515	1,035	0,9330	1,066	50,02
B25-B27	HATA						
B27-B25	1,089	1,111	0,9577	1,036	0,9404	1,108	50,02
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

N0T: SSSC B23-B24 ve B25-B23 simülasyonu max. iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşmiştir.

EK29: FACTS Cihazları %60 YE B26 N-1Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,001	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,10
N-1	0,9924	0,9674	0,9523	1,037	0,9603	1,074	50,04
B23	1	0,9734	0,9526	1,037	0,9604	1,074	50,04
B25	1,02	0,9968	0,9538	1,037	0,9608	1,084	50,04
B83	0,9919	0,9671	0,9523	1,037	0,9403	1,074	50,05
B84	0,9926	0,9675	0,9523	1,037	0,9756	1,074	50,04

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,10
N-1	0,9924	0,9674	0,9523	1,037	0,9603	1,074	50,04
B23-B24	0,9917	0,9673	0,9522	1,037	0,9602	1,074	50,04
B24-B23	0,9916	0,9672	0,9522	1,037	0,9602	1,074	50,04
B23-B25	0,9922	0,9674	0,9523	1,037	0,9603	1,074	50,04
B25-B23	0,9922	0,9674	0,9523	1,037	0,9603	1,074	50,04
B25-B27	0,9925	0,9674	0,9524	1,037	0,9603	1,074	50,04
B27-B25	0,9925	0,9674	0,9524	1,037	0,9603	1,074	50,04
B25-B83	0,9893	0,9641	0,95	1,037	0,9967	1,073	50,05
B83-B25	0,9893	0,9641	0,9499	1,037	0,9980	1,073	50,05
B25-B84	0,9893	0,9639	0,9507	1,037	0,9538	1,073	50,04
B84-B25	0,9893	0,9639	0,9507	1,037	0,9540	1,073	50,04

EK30: FACTS Cihazları %60 YE B26 N-1Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,10
N-1	0,9924	0,9674	0,9523	1,037	0,9603	1,074	50,04
B23	0,9924	0,9674	0,9523	1,037	0,9603	1,074	50,04
B27	0,9924	0,9674	0,9523	1,037	0,9603	1,074	50,04
B83	0,9924	0,9674	0,9523	1,037	0,9616	1,074	50,04
B84	0,9924	0,9674	0,9523	1,037	0,9607	1,074	50,04

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,10
N-1	0,9924	0,9674	0,9523	1,037	0,9603	1,074	50,04
B23-B24	1,06	0,9509	0,9520	1,037	0,9625	1,065	50,04
B24-B23	0,9914	0,9674	0,9623	1,037	0,9603	1,074	50,04
B23-B25	HATA						
B25-B23	0,9921	0,9674	0,9523	1,037	0,9603	1,074	50,04
B25-B27	1,016	0,9183	0,9551	1,039	0,9615	1,088	50,04
B27-B25	0,9924	0,9675	0,9523	1,037	0,9603	1,074	50,04
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

N0T: SSSC B23-B24 ve B25-B27 simülasyonu max. iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşmiştir.

EK31: FACTS Cihazları %60 YE Hat(B23-B25)N-1Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,1
N-1	1,002	0,9711	0,9525	1,037	0,9588	1,075	50,1
B23	0,9785	0,9574	0,9518	1,037	0,9584	1,071	50,1
B25	1,006	0,9781	0,9529	1,037	0,9589	1,078	50,1
B83	1,002	0,9709	0,9525	1,037	0,9388	1,075	50,11
B84	1,002	0,9712	0,9525	1,037	0,9742	1,075	50,1

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,1
N-1	1,002	0,9711	0,9525	1,037	0,9588	1,075	50,1
B23-B24	0,9999	0,9711	0,9526	1,037	0,9587	1,075	50,1
B24-B23	0,9997	0,9711	0,9526	1,037	0,9587	1,075	50,1
B23-B25	KARARSIZ						
B25-B23	HATA						
B25-B27	1,003	0,9695	0,9526	1,037	0,9587	1,075	50,1
B27-B25	HATA						
B25-B83	0,9950	0,9648	0,9518	1,038	1,004	1,074	50,11
B83-B25	0,9949	0,9647	0,9518	1,038	1,006	1,074	50,11
B25-B84	0,9956	0,9647	0,9522	1,038	0,9495	1,074	50,1
B84-B25	0,9957	0,9648	0,9523	1,038	0,9542	1,074	50,1

EK32: FACTS Cihazları %60 YE Hat(B23-B25) N-1Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,1
N-1	1,002	0,9711	0,9525	1,037	0,9588	1,075	50,1
B23	1,002	0,9711	0,9525	1,037	0,9588	1,075	50,1
B27	1,002	0,9711	0,9525	1,037	0,9588	1,075	50,1
B83	1,002	0,9711	0,9525	1,037	0,9601	1,075	50,1
B84	1,002	0,9711	0,9525	1,037	0,9592	1,075	50,1

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,1
N-1	1,002	0,9711	0,9525	1,037	0,9588	1,075	50,1
B23-B24	0,9521	0,9886	0,9532	1,037	0,9569	1,086	50,11
B24-B23	1,003	0,9708	0,9525	1,037	0,9588	1,075	50,1
B23-B25	1,002	0,97	0,9524	1,037	0,9588	1,075	50,1
B25-B23	HATA						
B25-B27	0,9935	0,9158	0,9583	1,04	0,9588	1,112	50,1
B27-B25	1,002	0,9697	0,9522	1,037	0,9588	1,075	50,1
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

N0T: SSSC B23-B24 ve B25-B27 simülasyonu max. iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşmiştir.

EK33: FACTS Cihazları %60 YE B26 ve B84 N-2 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,001	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,1
N-2	0,9868	0,9660	0,9519	1,035	0,9429	1,074	49,95
B23	0,9948	0,9720	0,9522	1,035	0,9430	1,076	49,95
B25	1,015	0,9954	0,9534	1,035	0,9434	1,084	49,95
B83	0,9872	0,9659	0,9520	1,035	0,9173	1,074	49,97
B84	0,9876	0,9662	0,9520	1,035	0,9210	1,074	49,97

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,1
N-2	0,9868	0,9660	0,9519	1,035	0,9429	1,074	49,95
B23-B24	0,9882	0,9659	0,9518	1,035	0,9427	1,074	49,96
B24-B23	0,9884	0,9659	0,9518	1,035	0,9427	1,074	49,96
B23-B25	0,9875	0,9659	0,9519	1,035	0,9429	1,074	49,95
B25-B23	0,9872	0,9659	0,9519	1,035	0,9429	1,074	49,95
B25-B27	0,9868	0,9657	0,9520	1,035	0,9427	1,074	49,96
B27-B25	0,9868	0,9657	0,9520	1,035	0,9427	1,074	49,96
B25-B83	0,9879	0,9638	0,9479	1,036	0,9962	1,073	49,98
B83-B25	0,9880	0,9639	0,9478	1,036	0,9975	1,073	49,98
B25-B84	0,9880	0,9641	0,9485	1,036	0,9607	1,073	49,97
B84-B25	HATA						

EK34: FACTS Cihazları %60 YE B26 ve B84 N-2 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,1
N-2	0,9868	0,9696	0,9519	1,035	0,9429	1,074	49,95
B23	0,9868	0,9696	0,9519	1,035	0,9429	1,074	49,95
B27	0,9868	0,9696	0,9519	1,035	0,9429	1,074	49,95
B83	0,9868	0,9696	0,9519	1,035	0,9442	1,074	49,95
B84	0,9868	0,9696	0,9519	1,035	0,9433	1,074	49,95

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	1,0011	0,9705	0,9526	1,037	0,9588	1,075	50,1
N-2	0,9868	0,9696	0,9519	1,035	0,9429	1,074	49,95
B23-B24	0,9878	0,9660	0,9519	1,035	0,9429	1,074	49,95
B24-B23	0,9961	0,9866	0,9528	1,035	0,9427	1,081	49,95
B23-B25	HATA						
B25-B23	0,9875	0,9659	0,9519	1,035	0,9429	1,074	49,95
B25-B27	0,9699	1,068	0,9497	1,033	0,9421	1,062	49,96
B27-B25	0,9868	0,9657	0,9519	1,035	0,9429	1,074	49,95
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

N0T: SSSC B25-B27 simülasyonu max. iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşmiştir.

EK35: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi B23 N-1 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9945	0,9712	0,9492	1,038	0,9833	1,076	49,16
B23	0,9806	0,9608	0,9488	1,038	0,9830	1,073	49,17
B25	1,024	1,003	0,9505	1,038	0,9841	1,087	49,13
B83	0,9936	0,9708	0,9492	1,038	0,9622	1,076	49,23
B84	0,9947	0,9713	0,9492	1,038	0,9901	1,076	49,15

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9945	0,9712	0,9492	1,038	0,9833	1,076	49,16
B23-B24	HATA						
B24-B23	0,9945	0,9719	0,9490	1,038	0,9833	1,076	49,16
B23-B25	0,9956	0,9724	0,9490	1,038	0,9833	1,077	49,16
B25-B23	0,9956	0,9724	0,9490	1,038	0,9833	1,077	49,16
B25-B27	0,9938	0,9708	0,9494	1,038	0,9830	1,076	49,18
B27-B25	0,9938	0,9708	0,9494	1,038	0,9830	1,076	49,18
B25-B83	0,9999	0,9743	0,9468	1,039	1,009	1,077	49,2
B83-B25	1	0,9743	0,9468	1,039	1,01	1,077	40,2
B25-B84	0,9986	0,9738	0,9477	1,039	0,9796	1,077	49,17
B84-B25	0,9986	0,9738	0,9477	1,039	0,9535	1,077	49,17

EK36: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi B23 N-1 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9945	0,9712	0,9492	1,038	0,9833	1,076	49,16
B23	0,9945	0,9712	0,9492	1,038	0,9833	1,076	49,16
B27	0,9945	0,9712	0,9492	1,038	0,9833	1,076	49,16
B83	0,9945	0,9712	0,9492	1,038	0,9846	1,076	49,16
B84	0,994	0,9712	0,9492	1,038	0,9838	1,076	49,16

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9945	0,9712	0,9492	1,038	0,9833	1,076	49,16
B23-B24	0,9972	0,9708	0,9491	1,038	0,9834	1,076	49,16
B24-B23	0,9954	0,9725	0,9490	1,038	0,9834	1,077	49,16
B23-B25	1,024	0,984	0,9488	1,038	0,9841	1,079	49,13
B25-B23	0,9970	0,9717	0,9491	1,038	0,9834	1,076	49,16
B25-B27	1,017	0,9142	0,9507	1,04	0,985	1,09	49,12
B27-B25	1,048	1,077	0,9513	1,038	0,9853	1,096	49,04
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

N0T: SSSC B25-B27 simülasyonu max. iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşmiştir.

EK37: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi B84 N-1 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9907	0,9709	0,9512	1,038	0,9814	1,076	49
B23	1,003	0,9803	0,9516	1,038	0,9817	1,079	49
B25	1,022	1,004	0,9528	1,038	0,9822	1,087	48,99
B83	0,9896	0,9702	0,9512	1,038	0,9507	1,076	49,15
B84	0,9904	0,9707	0,9512	1,038	0,9561	1,076	49,09

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9945	0,9709	0,9512	1,038	0,9814	1,076	49
B23-B24	HATA						
B24-B23	0,9939	0,9716	0,951	1,038	0,9813	1,076	49
B23-B25	0,9919	0,9714	0,9511	1,038	0,9814	1,076	49
B25-B23	0,9916	0,9712	0,9511	1,038	0,9814	1,076	49
B25-B27	0,9900	0,9704	0,9513	1,038	0,9809	1,076	49,02
B27-B25	0,9900	0,9704	0,9513	1,038	0,9809	1,076	49,02
B25-B83	1,002	0,9773	0,9471	1,039	1,016	1,078	49,18
B83-B25	1,002	0,9773	0,9471	1,039	1,016	1,078	40,18
B25-B84	0,9991	0,9753	0,9478	1,039	0,9802	1,078	49,17
B84-B25	0,9991	0,9752	0,9478	1,039	0,9801	1,078	49,17

EK38: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi B84 N-1 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9907	0,9709	0,9512	1,038	0,9814	1,076	49
B23	0,9907	0,9709	0,9512	1,038	0,9814	1,076	49
B27	0,9907	0,9709	0,9512	1,038	0,9814	1,076	49
B83	0,9907	0,9709	0,9512	1,038	0,9827	1,076	49
B84	0,9907	0,9709	0,9512	1,038	0,9818	1,076	49

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9907	0,9709	0,9512	1,038	0,9814	1,076	49
B23-B24	0,9954	0,9706	0,9512	1,038	0,9814	1,076	49
B24-B23	1,003	0,9805	0,9513	1,038	0,9815	1,079	49
B23-B25	1,006	0,9727	0,9510	1,038	0,9818	1,076	48,99
B25-B23	0,9932	0,9709	0,9512	1,038	0,9814	1,076	49
B25-B27	0,9718	1,086	0,9495	1,036	0,9801	1,063	49,01
B27-B25	1,055	1,085	0,9541	1,038	0,9847	1,099	48,09
B25-B83	1,072	1,083	0,9437	1,027	0,7805	1,159	49,48
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

N0T: SSSC B25-B27 ve B25-B83 simülasyonu max. iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşmiştir.

EK39: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi B26 N-1 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9957	0,9733	0,9489	1,038	0,9834	1,077	49,16
B23	1,003	0,9786	0,9491	1,038	0,9836	1,078	49,15
B25	1,021	1,001	0,9500	1,038	0,9841	1,086	49,13
B83	0,9948	0,9728	0,9489	1,038	0,9623	1,077	49,23
B84	0,9959	0,9734	0,9489	1,038	0,9901	1,077	49,14

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9957	0,9733	0,9489	1,038	0,9834	1,077	49,16
B23-B24	HATA						
B24-B23	0,9975	0,9739	0,9487	1,038	0,9834	1,077	49,16
B23-B25	0,9961	0,9732	0,9489	1,038	0,9834	1,077	49,16
B25-B23	0,9961	0,9732	0,9489	1,038	0,9834	1,077	49,16
B25-B27	0,9952	0,9734	0,9490	1,038	0,9832	1,077	49,17
B27-B25	0,9952	0,9734	0,9490	1,038	0,9832	1,077	49,17
B25-B83	1	0,9757	0,9466	1,039	1,008	1,078	49,19
B83-B25	1	0,9757	0,9465	1,039	1,009	1,078	49,19
B25-B84	0,9991	0,9754	0,9475	1,039	0,9802	1,078	49,17
B84-B25	0,9990	0,9753	0,9474	1,039	0,9799	1,078	49,17

EK40: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi B26 N-1 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9957	0,9733	0,9489	1,038	0,9834	1,077	49,16
B23	0,9957	0,9733	0,9489	1,038	0,9814	1,077	49,16
B27	0,9957	0,9733	0,9489	1,038	0,9814	1,077	49,16
B83	0,9957	0,9733	0,9489	1,038	0,9847	1,077	49,16
B84	0,9957	0,9733	0,9489	1,038	0,9838	1,077	49,16

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9957	0,9733	0,9489	1,038	0,9834	1,077	49,16
B23-B24	1	0,9726	0,9488	1,038	0,9835	1,077	49,16
B24-B23	1,006	0,9747	0,9485	1,038	0,9836	1,077	49,15
B23-B25	0,9931	0,9747	0,9492	1,039	0,9833	1,079	49,16
B25-B23	0,9940	0,9735	0,9489	1,038	0,9834	1,077	49,16
B25-B27	1,015	0.9271	0,9500	1,04	0,9848	1,089	49,13
B27-B25	1,035	1,058	0,9503	1,039	0,9850	1,09	49,06
B25-B83	1,057	1,052	0,9455	1,034	0,8901	1,14	49,26
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	HATA						

N0T: SSSC B23-B25, B25-B27 ve B25-B83 simülasyonu max. iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşmiştir.

EK41: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi Hat(B23-B25) N-1 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9872	0,9677	0,9511	1,038	0,9723	1,075	49,64
B23	0,9708	0,9584	0,9507	1,038	0,9719	1,072	49,65
B25	1,001	0,9940	0,9525	1,038	0,9727	1,085	49,64
B83	0,9865	0,9673	0,951	1,038	0,9509	1,075	49,70
B84	0,9873	0,9678	0,9511	1,038	0,9791	1,075	49,63

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9872	0,9677	0,9511	1,038	0,9723	1,075	49,64
B23-B24	HATA						
B24-B23	0,9893	0,9678	0,9509	1,038	0,9722	1,075	49,65
B23-B25	HATA						
B25-B23	0,9890	0,9688	0,9509	1,038	0,9725	1,075	49,64
B25-B27	0,9867	0,9690	0,9510	1,038	0,9720	1,075	49,65
B27-B25	0,9867	0,9691	0,9510	1,038	0,9720	1,075	49,65
B25-B83	0,9931	0,9698	0,9475	1,039	1,009	1,075	49,69
B83-B25	0,9932	0,9699	0,9474	1,039	1,011	1,075	49,69
B25-B84	0,9922	0,9696	0,9485	1,039	0,9707	1,075	49,66
B84-B25	0,9923	0,9697	0,9485	1,039	0,9708	1,075	49,65

EK42: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi Hat(B23-B25) N-1 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9872	0,9677	0,9511	1,038	0,9723	1,075	49,64
B23	0,9872	0,9677	0,9511	1,038	0,9723	1,075	49,64
B27	0,9872	0,9677	0,9511	1,038	0,9723	1,075	49,64
B83	0,9872	0,9677	0,9511	1,038	0,9736	1,075	49,64
B84	0,9872	0,9677	0,9511	1,038	0,9728	1,075	49,64

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-1	0,9872	0,9677	0,9511	1,038	0,9723	1,075	49,64
B23-B24	0,9894	0,9676	0,9511	1,038	0,9723	1,075	49,64
B24-B23	0,9894	0,9774	0,9513	1,038	0,9723	1,078	49,64
B23-B25	1,025	0,9735	0,9506	1,038	0,9732	1,075	49,62
B25-B23	0,9904	0,9681	0,9510	1,038	0,9724	1,075	49,64
B25-B27	0,9890	0.9696	0,9511	1,038	0,9724	1,075	49,64
B27-B25	1,045	1,112	0,9533	1,038	0,9760	1,099	49,52
B25-B83	HATA						
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	1,037	1,032	0,9464	1,039	0,9861	1,096	49,55

EK43: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi B26 ve B84 N-2 Simülasyon Sonuçları

SVS	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-2	1	0,9762	0,9489	1,038	0,9903	1,078	48,34
B23	1,007	0,9815	0,9491	1,038	0,9904	1,079	48,33
B25	1,026	1,003	0,9501	1,038	0,9906	1,,087	48,29
B83	0,9994	0,9756	0,9490	1,038	0,9617	1,078	48,61
B84	1	0,9760	0,9490	1,038	0,9660	1,078	48,51

TCSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-2	1	0,9762	0,9489	1,038	0,9903	1,078	48,34
B23-B24	HATA						
B24-B23	1,002	0,9773	0,9487	1,038	0,9903	1,078	48,34
B23-B25	1,001	0,9762	0,9489	1,038	0,9903	1,078	48,34
B25-B23	1	0,9762	0,9489	1,038	0,9903	1,078	48,34
B25-B27	0,9998	0,9766	0,9491	1,038	0,9903	1,078	48,37
B27-B25	0,9998	0,9766	0,9491	1,038	0,9903	1,078	48,37
B25-B83	1,011	0,9841	0,9461	1,039	1,016	1,081	48,56
B83-B25	1,011	0,9841	0,9461	1,039	1,016	1,081	48,56
B25-B84	1,008	0,9808	0,9463	1,039	0,9886	1,080	48,57
B84-B25	1,008	0,9808	0,9463	1,039	0,9886	1,080	48,57

EK44: FACTS Cihazları %60 YE %75 Üretim Kapasitesi B26 ve B84 N-2 Simülasyon Sonuçları

STATCOM	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-2	1	0,9762	0,9489	1,038	0,9903	1,078	48,34
B23	0,9872	0,9677	0,9511	1,038	0,9723	1,075	49,64
B27	0,9872	0,9677	0,9511	1,038	0,9723	1,075	49,64
B83	0,9872	0,9677	0,9511	1,038	0,9736	1,075	49,64
B84	0,9872	0,9677	0,9511	1,038	0,9728	1,075	49,64

SSSC	B24(pu)	B27(pu)	B45(pu)	B66(pu)	B83(pu)	B9(pu)	f(Hz)
NORMAL	0,9878	0,9684	0,951	1,038	0,9724	1,075	49,64
N-2	1	0,9762	0,9489	1,038	0,9903	1,078	48,34
B23-B24	1,005	0,9756	0,9488	1,038	0,9904	1,078	48,34
B24-B23	1,009	0,9781	0,9486	1,038	0,9904	1,078	48,34
B23-B25	1,003	0,9749	0,9486	1,038	0,9904	1,076	48,35
B25-B23	0,9978	0,9766	0,9489	1,038	0,9903	1,078	48,34
B25-B27	0,9830	1,07	0,9478	1,037	0,9894	1,066	48,33
B27-B25	1,04	1,061	0,9503	1,038	0,9903	1,091	48,15
B25-B83	1,101	1,104	0,9439	1,032	0,8690	1,176	48,65
B83-B25	HATA						
B25-B84	HATA						
B84-B25	1,037	1,032	0,9464	1,039	0,9861	1,096	49,55

N0T: SSSC B23-B25, B25-B27 ve B25-B83 simülasyonu max. iç döngü yineleme sayısına ulaşıldı uyarıları vererek gerçekleşmiştir

ÖZGEÇMİŞ

EĞİTİM BİLGİLERİ

Ülke	Üniversite	Fakülte/Enstitü	Öğretim Alanı	Derece	Mezuniyet Yılı
Türkiye	Marmara Üniversitesi	Fen Bilimleri Enstitüsü	Elektrik Elektronik Mühendisliği	Yüksek Lisans	2024
Türkiye	Karabük Üniversitesi	Mühendislik Fakültesi	Elektrik Elektronik Mühendisliği	Lisans	2019

AKEDEMİK MESLEKTE DENEYİM

Kurum/Kurulış	Ülke	Şehir	Bölüm/Birim	Görev Türü	Görev Dönemi
T.C. Sağlık Bakanlığı	Türkiye	İstanbul	Teknik	Mühendis	2021/….

UZMANLIK ALANLARI

Uzmanlık Alanları
Elektrik Üretim, İletim, Dağıtım ve Yenilenebilir Enerji

YAYINLARI

Hakemli konferans/sempozyumların bildiri kitaplarında yer alan yayınlar

1. ÖREN BOGOÇLU, Güldane; VARBAK NEŞE, Seçil. COVİD 19'un Yenilenebilir Enerji Üzerine Etkileri: Sistematik Bir Analiz. International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering, 2022, 3.1: 10-17.