

**DAĞITILMIŞ SERİ REAKTÖRLERİN GÜÇ SİSTEMİNİN
KARARLILIĞI ÜZERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Yusuf ALAŞAHAN

**YÜKSEK LİSANSTEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Salih TOSUN**

DÜZCE, 2023

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DAĞITILMIŞ SERİ REAKTÖRLERİN GÜÇ SİSTEMİNİN
KARARLILIĞI ÜZERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Yusuf ALAŞAHAN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Salih TOSUN

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Salih Tosun

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Nihat PAMUK

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 24/08/2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

24 Ağustos 2023

Yusuf ALAŞAHAN

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Salih TOSUN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

24Ağustos2023

Yusuf ALAŞAHAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL VE GÖRSEL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	14
1.1. FACTS CİHAZLARI	14
1.2. FACTS CİHAZLARININ SINIFLANDIRILMASI	15
1.2.1. Tristör Kontrollü FACTS Cihazları.....	15
1.2.2. Dönüştürücü Tabanlı FACTS Cihazları.....	15
1.2.3. Seri Bağlı FACTS Cihazları.....	16
1.2.4. Paralel Bağlı FACTS Cihazları.....	16
1.2.5. Birleşik Yapılı Seri - Seri Bağlı FACTS Cihazları.....	17
1.2.6. Birleşik Yapılı Seri – Paralel FACTS Cihazları.....	17
1.3. FACTS ÇEŞİTLERİNİN YAPISI.....	18
1.3.1. Statik VAR Kompanzatör (SVC)	18
1.3.2. Tristör Kontrollü Seri Kompanzatör (TCSC).....	20
1.3.3. Statik Senkron Kompanzatör (STATCOM)	21
1.3.4. Statik Senkron Seri Kompanzatör (SSSC)	22
1.3.5. Tristör Kontrollü Seri Reaktör (TCSR)	23
1.3.6. Tristör Anahtarlı Seri Kompanzatör (TSSC).....	23
1.3.7. Birleştirilmiş Güç Akış Kontrolörü (UPFC).....	24
1.3.8. Hatlararası Güç Akış Kontrolörü (IPFC).....	25
1.3.9. Manyetik Kontrollü Reaktör (MCR)	26
1.4. DAĞITILMIŞ FACTS CİHAZLARI.....	26
1.4.1. Dağıtılmış Seri Reaktör (DSR).....	26
1.4.2. DSR Modüllerinin Oluşturduğu Toplam Endüktansın Hat Empedansına Eklenmesine İlişkin Hesaplama Şekli.....	29
1.5. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK	31
1.5.1. Güç Sisteminde Kararlılığın Sınıflandırılması.....	31
1.5.2. Rotor Açık Kararlılığı.....	32
1.5.2.1. Küçük Bozucu Etki (Küçük İşaret) Rotor Açık Kararlılığı.....	33
1.5.2.2. Büyük Bozucu Etki Rotor Açık Kararlılığı (Geçici Hal Kararlılığı)	33
1.5.3. Frekans Kararlılığı.....	33
1.5.4. Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığı.....	34
1.5.5. Gerilim Kararlılığının Tanımlanması	34
1.5.5.1. CIGRE (Conseil International Des Grands Reseaux Electriques) Tanımlaması	34
1.5.5.2. IEEE (The Institute Of Electrical And Electronics Engineers) Tanımlaması	34
1.5.5.3. IEEE ve CIGRE Birlikte Tanımlaması	35
1.5.6. Gerilim Kararlılığının Sınıflandırılması.....	35
1.5.6.1. Büyük Bozucu Etki Gerilim Kararlılığı (Large Disturbance)	35
1.5.6.2. Küçük Bozucu Etki Gerilim Kararlılığı (Small Disturbance)	35

1.5.6.3. Uzun Süreli Gerilim Kararlılığı (Long Term)	35
1.5.7. Gerilim Çökmesi.....	36
1.5.7.1. Dünyada Meydana Gelmiş Olan Gerilim Çökmeleri	37
2. MATERYAL VE YÖNTEM	39
2.1. POWERWORLD SİMÜLATÖR	42
2.2. MATLAB.....	42
2.3. P-V EĞRİLERİNİN ELDE EDİLMESİ.....	43
2.4. BARA İNDİRGEME YÖNTEMİ.....	45
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	47
3.1. IEEE 6 BARALI SİSTEMİ DSR’SİZ DURUM İÇİN KRİTİK DEĞERLERİN ELDE EDİLMESİ.....	47
3.1.1. 4 Numaralı Yük Barası.....	48
3.2. IEEE 6 BARALI SİSTEM DSR’Lİ DURUM KRİTİK DEĞERLERİN ELDE EDİLMESİ	51
3.3. IEEE 9 BARALI SİSTEMİ DSR’SİZ DURUM İÇİN KRİTİK DEĞERLERİN ELDE EDİLMESİ.....	56
3.3.1. 2 Numaralı Yük Barası.....	59
3.4. IEEE 9 BARALI SİSTEM DSR’Lİ DURUM KRİTİK DEĞERLERİN ELDE EDİLMESİ	64
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
4.1. IEEE 6 BARALI SİSTEMİ	73
4.2. IEEE 9 BARALI SİSTEMİ	74
4.3. SONUÇ	76
5. KAYNAKLAR.....	78
6. EKLER	82
6.1. EK 1: IEEE 6 BARALI SİSTEM İÇİN BARA İNDİRGEME İŞLEMİNİ YAPAN MATLAB KODLARI (DSR’SİZ DURUM).....	82
6.2. EK 2: IEEE 6 BARALI SİSTEM BARA İNDİRGEME İŞLEMİNİ YAPAN MATLAB KODLARI (DSR’Lİ DURUM).....	84
6.3. EK 3: IEEE 9 BARALI SİSTEM BARA İNDİRGEME İŞLEMİNİ YAPAN MATLAB KODLARI (DSR’SİZ DURUM)	85
6.4. EK 4: IEEE 9 BARALI SİSTEM BARA İNDİRGEME İŞLEMİNİ YAPAN MATLAB KODLARI (DSR’Lİ DURUM).....	87
6.5. EK 5: P-V EĞRİSİNİN ÇİZİMİ İŞLEMİNİ YAPAN MATLAB KODLARI.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	91

ŞEKİL VE GÖRSEL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. FACTS Cihazlarının Genel Sembolü. [2].....	14
Şekil 1.2. Seri Bağlı FACTS Cihazı. [2].....	16
Şekil 1.3. Paralel Bağlı FACTS Cihazı. [2].....	16
Şekil 1.4. Birleşik Yapılı Seri - Seri Bağlı FACTS Cihazı. [2] ..	17
Şekil 1.5. Hatta Seri-Paralel Bağlı ve Birbirleriyle Koordineli FACTS Cihazları. [2] ..	17
Şekil 1.6. Hatta Seri-Paralel ve Birbirleriyle DC Hat Üzerinden Bağlı	18
Şekil 1.7. SVC Genel Bağlantı Yapısı. [2]	19
Şekil 1.8. SVC Tasarımına ait yerleşim planı. [2]	19
Şekil 1.9. TCSC'nin Genel Yapısı. [28]	20
Şekil 1.10. STATCOM Bağlantı Yapısı.[3,10,30,34]	21
Şekil 1.11. SSSC'nin Genel Bağlantı Yapısı.[1,3]	22
Şekil 1.12. TCSR'nin Genel Bağlantı Yapısı. [4].....	23
Şekil 1.13. TSSC'nin Genel Bağlantı Yapısı. [4]	24
Şekil 1.14. UPFC'nin genel bağlantı yapısı. [1,2,3,4]	24
Şekil 1.15. IPFC'nin Genel Bağlantı Yapısı. [4]	25
Şekil 1.16. MCR'nin Genel Bağlantı Yapısı. [4].....	26
Şekil 1.17. Kompanzasyon Geriliminin Değişimi. [13]	27
Şekil 1.18. FACTS Cihazının Devre Şeması. [12,15,36,39,40]	28
Şekil 1.19. İletim Hattı Üzerinde DSR Modüllerinin Şematik Gösterimi. [11,15]	29
Şekil 1.20. DSR Modülüne ait D-FACTS Information Dialog penceresi.	31
Şekil 1.21. Kararlılığın IEEE/CIGRE'ye Göre Sınıflandırılması.[2,4,16]	32
Şekil 2.1. 6 Baralı Sistemi Tek Hat Şeması. [16]	39
Şekil 2.2. IEEE 9 Baralı Sistemi Tek Hat Şeması. [41].....	41
Şekil 2.3. İletim Hattı iki Kapılı Devre Modeli.[16]	44
Şekil 3.1. IEEE 6 Baralı Güç Sistemi PowerWorld Simülatör Görünümü.....	47
Şekil 3.2. 4 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	50
Şekil 3.3. 5 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler	50
Şekil 3.4. 6 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	51
Şekil 3.5. IEEE 6 Baralı Güç Sistemi simülatör görünümü.....	52
Şekil 3.6. 4 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	53
Şekil 3.7. 5 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	53
Şekil 3.8. 6 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	54
Şekil 3.9. IEEE 6 Baralı Güç Sistemi Simülatör Görünümü. (DSR=94 μ H)	54
Şekil 3.10. IEEE 9 Baralı Güç Sistemi Simülatör Görünümü.	58
Şekil 3.11. 2 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	61
Şekil 3.12. 3 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	61
Şekil 3.13. 4 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	62
Şekil 3.14. 6 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	62
Şekil 3.15. 7 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	63
Şekil 3.16. 9 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	63
Şekil 3.17. IEEE 9 Baralı Güç Sistemi simülatör görünümü (DSR 47 μ H).	64
Şekil 3.18. IEEE 9 Baralı Güç Sistemi Simülatör Görünümü (DSR 94 μ H).	65
Şekil 3.19. IEEE 9 Baralı Güç Sistemi Simülatör Görünümü (DSR 141 μ H).	66
Şekil 3.20. IEEE 9 Baralı Güç Sistemi Simülatör Görünümü.(1-4 hattı için DSR 450	

μH diğer DSR ler 141 μH)	66
Şekil 3.21. 2 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	68
Şekil 3.22. 3 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	68
Şekil 3.23. 4 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	69
Şekil 3.24. 6 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	69
Şekil 3.25. 7 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	70
Şekil 3.26. 9 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.	70
Görsel 1. İletim Hattına Monte Edilmiş DSR Modülü. [11,15,40].....	29



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Güç Sistemi Kararlılığının Genel Olarak Sınıflandırılması. [2,16].....	32
Çizelge 2.1. IEEE 6 Baralı Sistemi Hat Verileri. [16].....	40
Çizelge 2.2. IEEE 6 Baralı Sistemi Generatör Verileri. [17].....	40
Çizelge 2.3. IEEE 6 Baralı Sistemi Bara Verileri. [17]	40
Çizelge 2.4. IEEE 9 Baralı Sistemi Hat verileri. [41].....	41
Çizelge 2.5. IEEE 9 Baralı Sistemi Generatör ve Yük verileri. [41].....	42
Çizelge 3.1. DSR'siz Durum İçin Güç Akışı Sonuçları	48
Çizelge 3.2. 2, 3, 5 ve 6 nolu baralara ilişkin aktif güç ve reaktif güç değerleri için hesaplanan empedans ve admitanslar.....	48
Çizelge 3.3. DSR Eklenmiş Durum İçin Güç Akışı Sonuçları.	52
Çizelge 3.4. DSR Ekli Durum Güç Akışı Sonuçları. (DSR=94 μH).....	55
Çizelge 3.5. Hatlardan Akan Güç Değerleri.	55
Çizelge 3.6. Yük Baraları kritik Değerleri.....	55
Çizelge 3.7. Hatlardaki Yüklenme Durumu.	56
Çizelge 3.8. Hatlardaki Kayıplar	56
Çizelge 3.9. IEEE 9 Baralı Sistem DSR'siz Durum Güç Akışı Sonuçları.	58
Çizelge 3.10. 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 nolu baralara ait aktif güç ve reaktif güç değerleri için hesaplanan empedans ve admitans değerleri.....	59
Çizelge 3.11. IEEE 9 Baralı Sistem DSR'li Durum (DSR 47 μH) Güç Akışı Sonuçları.....	65
Çizelge 3.12. IEEE 9 Baralı Sistem DSR'li Durum (DSR 94 μH) Güç Akışı Sonuçları.....	65
Çizelge 3.13. IEEE 9 Baralı Sistem DSR'li Durum (DSR 141 μH) Güç Akışı Sonuçları.....	66
Çizelge 3.14. IEEE 9 Baralı Sistem DSR'li Durum (1-4 hattı için DSR 450 μH diğer DSR'ler 141 μH) Güç Akışı Sonuçları.	67
Çizelge 3.15. Hatlardan Akan Aktif Güç Değerleri.....	71
Çizelge 3.16. Hatlardan Akan Reaktif Güç Değerleri.	71
Çizelge 3.17. Yük Baraları kritik Değerleri.....	72
Çizelge 3.18. Hatlardaki Yüklenme Durumu.	72
Çizelge 3.19. Hatlardaki Kayıplar	72

KISALTMALAR

CIGRE	Uluslararası Büyük Elektrik Şebekeleri Konseyi (Conseil International des Grands Reseaux Electriques)
D-FACTS	Dağıtılmış Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (Flexiable Alternative Current Transmission Systems)
DSR	Dağıtılmış Seri Reaktör (Distributed Series Reactor)
EPRI	Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü (Electric Power Research Institute)
FACTS	Dağıtılmış Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (Flexiable Alternative Current Transmission Systems)
IPFC	Hatlararası Güç Akış Kontrolörü (Interline Power Flow Controller)
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (The Institute Of Electrical And Electronics Engineers)
MCR	Manyetik Kontrollü Reaktör (Magnetic Controlled Reactor)
Matlab	Matris Laboratuvarı (Matrix Laboratory)
SVC	Statik VAR Kompanzatör(Static VAr Compensator)
STATCOM	Statik Senkron Kompanzatör (Static Synchronous Compensator)
SSSC	Statik Senkron Seri Kompanzatör (Static Synchronous Series Compensator)
SVS	Senkron Gerilim Kaynağı (Synchronous Voltage Source)
TCSC	Tristör Kontrollü Seri Kompanzatör (Thyristor-Controlled Series Compensator)
TCSR	Tristör Kontrollü Seri Reaktör (Thyristor-Controlled Series Reactor)
TSSC	Tristör Anahtarlı Seri Kompanzatör (Thyristor-Switched Series Compensator)
UPFC	Birleştirilmiş Güç Akış Kontrolörü (United Power Flow Controller)

SİMGELER

a_1	Uzun İletim Hattı A Sabitinin Reel Bileşeni
a_2	Uzun İletim Hattı A Sabitinin İmajiner Bileşeni
b_1	Uzun İletim Hattı B Sabitinin Reel Bileşeni
b_2	Uzun İletim Hattı B Sabitinin İmajiner Bileşeni
A,B,C,D	Uzun İletim Hattı Sabitleri
C	Kondansatör Kapasitesi
I	Akım
I_{LINE}	Hat Akımı
I_s	Generatör Barası Akımı
I_r	Yük Barası Akımı
I_i	i Numaralı Baranın Akımı
L	Bobin Endüktansı
L^T	L Matrisinin Transpozesi
K,L,M	Bara İndirgeme İşlemi İçin Hesaplanan Yeni Bara Admitans Matrisinin Alt Matrisleri
M^{-1}	M Matrisinin Tersi
P_i	i Numaralı Baranın Aktif Gücü
P_r	Yükün Aktif Gücü
Q_r	Yükün Reaktif Gücü
Q_i	i Numaralı Baranın Reaktif Gücü
S_r	Yükün Görünür Gücü
S_i	i Numaralı Baranın Görünür Gücü
V_{COMP}	Kompanzasyon Gerilimi
V_C	Kondansatör Gerilimi
V_s	Generatör Barası Gerilimi
V_r	Yük Barası Gerilimi
V_i	i Numaralı Baranın Gerilimi
X_C	Kondansatör Kapasitif Reaktansı
Y_i	i Numaralı Bara İçin Hesaplanan Admitans
Y_h	Hat Admitansı
Y2x2	Bara indirgeme İşlemi Sonucunda Elde Edilen 2X2 Boyutundaki Matris
Z_i	i Numaralı Bara İçin Hesaplanan Empedans
Z_h	Hat Empedansı
φ	Güç Açısı
ω	Açısal Frekans

ÖZET

DAĞITILMIŞ SERİ REAKTÖRLERİN GÜÇ SİSTEMLERİNİN KARARLILIĞI ÜZERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Yusuf ALAŞAHAN

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Müh. Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Salih TOSUN

Ağustos 2023, 90 sayfa

Dağıtılmış FACTS (D-FACTS) aygıtlarından Dağıtılmış Seri Reaktörler (DSR), nakil iletenine seri bağlanıp hatta seri endüktif empedans ekleyen aygıtlardır. Bu aygıtlar, güç sisteminde nakil hatlarının parametrelerini değiştirerek, empedans dengesizliğini düzeltebilirler. Buna ek olarak sistemde gerilim dengelemesi, daha yüksek miktarda güç taşınımı ya da diğer bir ifade ile güç sisteminin iletim kabiliyetinin daha verimli bir şekilde kullanılabilmesini de sağlamaktadır. DSR, nakil hattı üzerine montajlanır. Her modül önceden belirlenmiş bir akım değerinde tetiklenebileceği gibi uzaktan da kumanda edilebilir. İlk pilot uygulaması, 2002-2003 yılları arasında Yüksek Gerilim (HV) nakil iletenleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. DSR uygulaması güç sistemlerinde iletim limitinin yükseltilmesini sağlamaktadır. DSR elemanlarının iletim hatlarının optimum olarak işletilmesinde önemli getirileri bulunmaktadır. Güç sisteminin mevcut ölçüleri genişletilmeden sistemin yüklenebilirliğinin kontrol edilmesini sağlamaktadır. Bundan dolayı nakil hatlarında DSR aygıtlarının kullanımı son yıllarda gittikçe çoğalmakta ve ehemmiyeti artmaktadır. Bu çalışmada DSR uygulamasının sistem yüklenmesi üzerindeki etkileri, gerilim kararlılığı üzerinde olan etkisi ve uygulanabilirliği yönünden analizleri gerçekleştirilmiştir. DSR uygulaması PowerWorld Simülasyon yazılımı ile Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 6 baralı ve 9 baralı test sistemleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, DSR cihazlarının kullanılması ile güç sisteminde fazla yüklenen hatların yüklenme oranlarının düştüğü görülmüştür. IEEE 6 baralı sisteminde fazla yüklenen (1-4) ve (3-6) hatlarının yüklenme oranları enbaşıta sırasıyla %65 ve %69 iken bu hatlara DSR cihazları eklendiğinde yüklenme oranlarının son durumda sırasıyla %61 ve %64 seviyesine gerilediği görülmüştür. IEEE 9 baralı sisteminde fazla yüklenen (1-4), (4-5), (5-6) ve (5-7) hatlarının yüklenme oranları enbaşıta sırasıyla %116, %109, %92, %100 iken bu hatlara DSR cihazları eklendiğinde yüklenme oranlarının son durumda sırasıyla %99, %89, %91, %93 seviyesine gerilediği görülmüştür. Ayrıca sistem kararlılığı açısından kritik güç ve kritik gerilim değerlerinin her ikisinin de genel olarak düştüğü görülmüştür. Yine bu çalışmada DSR kullanımının, fazla yüklenen hatlarda aktif güç kayıplarını azalttığı ama reaktif güç kayıplarını ise genel olarak arttırdığı görülmüştür.

Anahtar sözcükler: DSR, Güç sistemi, Gerilim kararlılığı, Yüklenebilirlik.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DISTRIBUTED SERIES REACTORS ON STABILITY OF POWER SYSTEMS

Yusuf ALAŞAHAN

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical Electronical
And Computer Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Salih TOSUN

Agust 2023, 90 pages

Distributed FACTS (D-FACTS) devices Distributed Series Reactors (DSR) are devices that are connected in series to the transport conductor and add a series inductive impedance to the line. These devices can correct the impedance imbalance in the power system by changing the parameters of the transmission lines. In addition to this, voltage balancing in the system also provides a higher amount of power transport, or in other words, a more efficient use of the transmission capability of the power system. The DSR is mounted on the transmission line. Each module can be triggered at a predetermined current value as well as remotely controlled. The first pilot application was carried out on High Voltage (HV) transmission conductors between 2002-2003. DSR application provides to increase the transmission limit in power systems. DSR elements have important benefits in the optimum operation of transmission lines. It allows controlling the loadability of the system without expanding the existing dimensions of the power system. Therefore, the use of DSR devices in transmission lines has been increasing in recent years and its importance has increased. In this study, the effects of DSR application on system loading, its effect on voltage stability and applicability were analyzed. DSR application was performed on Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 6 busbar and 9 busbar test systems with PowerWorld Simulation software. In this study, it has been observed that the load rates of the lines that are overloaded in the power system decrease with the use of DSR devices. In the IEEE 6 busbar system, the overloaded (1-4) and (3-6) lines were initially 65% and 69% respectively, while when DSR devices were added to these lines, the loading rates decreased to 61% and 64%, respectively, in the final state. In the IEEE 9 busbar system, the loading rates of the overloaded (1-4), (4-5), (5-6) and (5-7) lines are 116%, 109%, 92%, and 100%, respectively, while DSR devices are added to these lines. When added, the loading rates decreased to 99%, 89%, 91% and 93%, respectively, in the last case. In addition, it has been observed that both critical power and critical voltage values generally decrease in terms of system stability. Again in this study, it was observed that the use of DSR reduces the active power losses on the overloaded lines, but increases the reactive power losses in general.

Keywords: DSR, Power system, Voltage stability, Loadability.

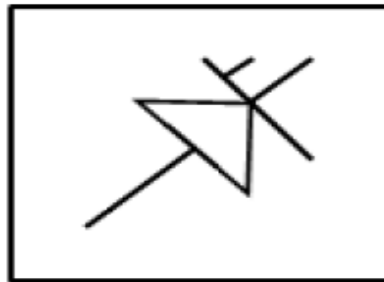
1. GİRİŞ

1.1. FACTS CİHAZLARI

Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (Flexiable Alternative Current Transmission Systems – FACTS), ilk kez 1988’de Amerika Birleşik Devletleri’ndeki “Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü (Electric Power Research Institute – EPRI) Elektriksel Sistemler Bölümü’nden Dr. Narain Hingorani’nin çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır[1,2]. Gücün iletiminde esneklik; güç tesisinin çalışma şartlarındaki değişimlere adaptasyon sağlama kabiliyeti ya da sürekli ve geçici hallerle ilişkin limitleri belirlenen düzeyde tutabilecek şekilde güç nakli şeklinde tarif edilmiştir. [2]. FACTS ise, Sistemin kontrol edilebilirliği ile enerji nakil limitini yükseltmek amacıyla alternatif akım nakil tesisine ait bir ya da daha çok değişkenin kontrolüne imkan tanıyan güç elektroniği bazlı sistem ve buna bağlı diğer ekipmanlardır. [1,2,3,10,23,25,26,28,32]. FACTS cihazları güç elektroniği bazlı olduklarından, faz kaydırıcı, şönt ya da seri kapasitör gibi klasik kontrolör cihazlara nazaran daha da hızlıdır [1,2,10,32]. FACTS cihazları nakil hattına ait seri empedans, akım, gerilim, aktif güç ve reaktif güç gibi şebeke değişkenlerinin elverişli şekilde değiştirilmesi ile enerji sisteminde kontrolü sağlamaktadır. FACTS cihazlarının iki hedefi vardır.

- Sistemin nakil limitini arttırmak
- Belirlenen nakil yollarında güç akışı denetimini temin etmek[1].

FACTS cihazlarının genel sembolü Şekil 1.1’deki gibidir.



Şekil 1.1. FACTS Cihazlarının Genel Sembolü. [2]

1.2. FACTS CİHAZLARININ SINIFLANDIRILMASI

FACTS Cihazları, içerdikleri güç elektroniği teknolojisine göre,

- Tristör denetimli FACTS Elemanları
- Dönüştürücü Tabanlı (Gerilim Kaynaklı Anahtarlama Çevirici) FACTS Elemanları

şeklinde gruplandırılmaktadır [1,2,4,5].

Güç tesisine bağlantı durumları açısından ise,

- Seri FACTS Elemanları
- Paralel FACTS Elemanları
- Birleşik Yapılı Seri-Seri Bağlı FACTS Elemanları
- Birleşik Yapılı Seri-Paralel Bağlı FACTS Elemanları
- Manyetik Kontrollü Reaktör (MCR)
- Dağıtılmış FACTS Elemanları

Olmak üzere altı gruba ayrılmaktadır [1,2,4,5].

1.2.1. Tristör Kontrollü FACTS Cihazları

Anahtarlama ve kontrol işlemleri tristörler ile yapılır. Tristör tabanlı FACTS cihazları yapı olarak, transformatör kademe değiştiricisi, faz kaydırıcı , kesici anahtarlama kapasitör ve reaktör gibi mekanik olarak çalışan geleneksel cihazlara benzer ama bu cihazlara nazaran çok daha hızlı çalışırlar. Tristör Denetimli Faz Kaydırıcı (Thyristor-Controlled Phase Shifter – TCPS), Tristör Denetimli Seri Kapasitör (Thyristor-Controlled Series Capacitor – TCSC) Tristör tabanlı FACTS cihazlarına örnek olarak sayılabilir [1,2].

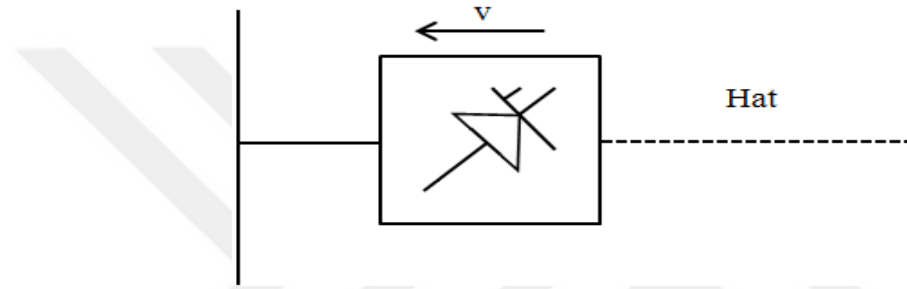
1.2.2. Dönüştürücü Tabanlı FACTS Cihazları

Kapasitör ve reaktör grupları içermez. Kapı Sönümlü Tristör (Gate Turn-Off Thyristor - GTO) ve DC-AC dönüştürücülerden oluşur. Tasarımdaki kolaylık ve maliyetinin düşük olmasından dolayı uygulamada Akım Kaynaklı Dönüştürücü (Current Source Converter - CSC) yerine Gerilim Kaynaklı Dönüştürücü (Voltage Source Converter-VSC) tercih edilmektedir. Hatlararası Güç Akış Denetleyici(Interline Power Flow Controller-IPFC),

Birleşik Güç Akış Denetleyici (Unified Power Flow Controller – UPFC), Statik Senkron Seri Kompanzatör (Static Synchronous Series Compensator – SSSC) Dönüştürücü tabanlı FACTS cihazlarına örnektir [2,6].

1.2.3. Seri Bağlı FACTS Cihazları

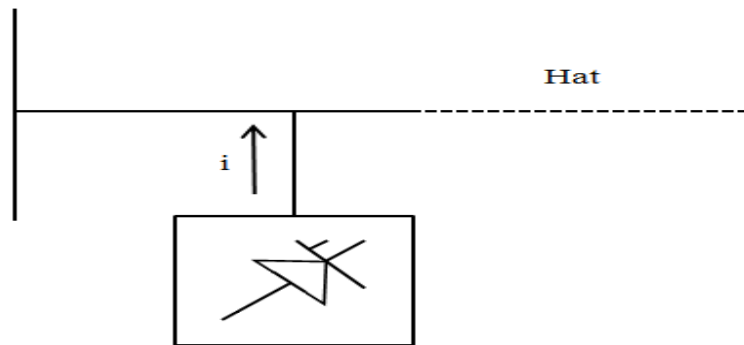
İletim hattına seri bağlanırlar ve hatta seri gerilim enjekte ederler [2,4]. Hat akımı ve hat gerilimi arasında 90° faz farkı olması durumunda Seri FACTS cihazı hattan reaktif güç çeker ya da hatta reaktif güç enjekte eder. 90° 'nin haricindeki faz açısı değerlerinde ise cihaz hattan reaktif ve aktif güç çeker veya hatta reaktif ve aktif güç enjekte eder [2]. Aşağıda Şekil 1.2'de güç sistemine seri bağlanmış FACTS elemanı görülmektedir.



Şekil 1.2. Seri Bağlı FACTS Cihazı. [2]

1.2.4. Paralel Bağlı FACTS Cihazları

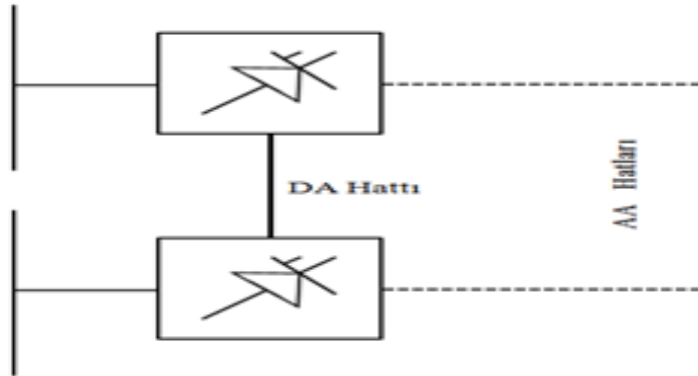
Değişken kaynaklı, değişken empedanslı ya da bunların tümleşimi şeklinde yapılandırılmış cihazlardır. Sisteme, bağlandıkları noktadan akım enjekte ederler. Hatta enjekte edilen hat gerilimi ile akım arasında 90° faz açısı olması durumunda Paralel FACTS cihazı hattan reaktif güç çeker ya da hatta reaktif güç enjekte eder. 90° 'nin haricindeki faz açısı değerlerinde ise cihaz hatta aktif güç enjekte eder ya da hattan aktif güç çeker [2,4,5]. Şekil 1.3'de güç sistemine paralel bağlanmış FACTS elemanı görülmektedir [2].



Şekil 1.3. Paralel Bağlı FACTS Cihazı. [2]

1.2.5. Birleşik Yapılı Seri - Seri Bağlı FACTS Cihazları

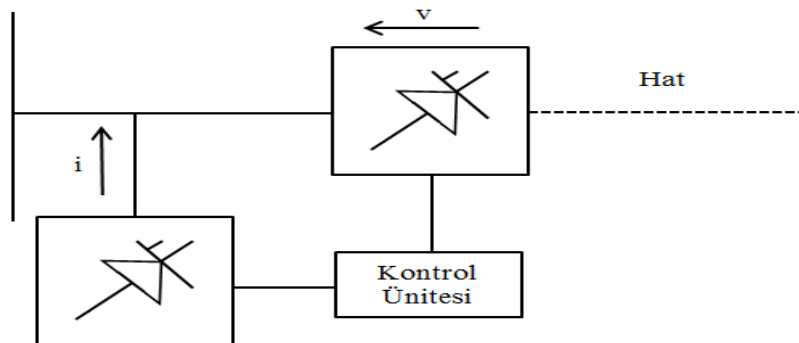
Bu cihazlarda iki farklı mimari bulunmaktadır. Birincisi, çok hatlı iletim sisteminde birbirleriyle koordineli şekilde çalışan ayrı seri cihazlar şeklindedir. İkincisi de, her bir hat için müstakil reaktif güç denetimi sağlayan birleşik yapıdır. Birleşik Yapılı Seri - Seri Bağlı FACTS Elemanları için IPFC (Interline Power Flow Controller-Hatlararası Güç Akış Kontrolörü) örnek verilebilir [2,7]. Şekil 1.4’de Birleşik Yapılı Seri - Seri Bağlı FACTS Cihazı görülmektedir.



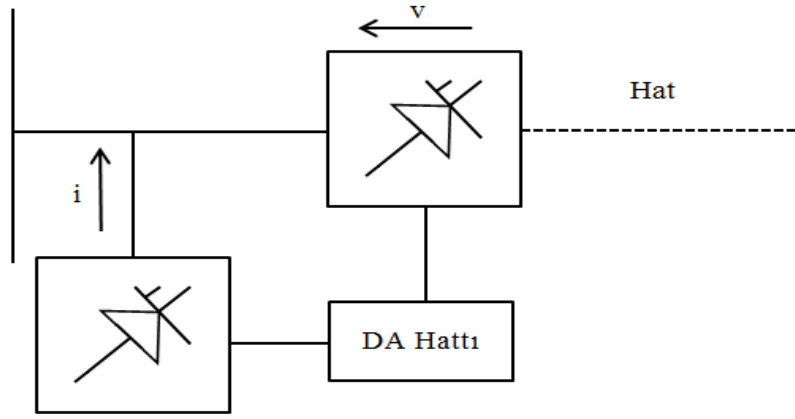
Şekil 1.4. Birleşik Yapılı Seri - Seri Bağlı FACTS Cihazı. [2]

1.2.6. Birleşik Yapılı Seri – Paralel FACTS Cihazları

Bu cihaz grubunda da iki farklı mimari bulunmaktadır. Birincisi, birbirleriyle koordineli şekilde çalıştırılan ayrı seri ve paralel cihazlar şeklindedir. İkincisi de, birbirine bağlanmış paralel ve seri cihazlar, yani birleşik yapı şeklindedir. Her iki yapıda da seri kısım hatta gerilim enjekte ederken paralel kısım da hatta akım enjekte eder. Seri ve Paralel elemanlar, ortak DC hat ile aktif güç alış verişinde bulunabilir. Birleşik Yapılı Seri – Paralel FACTS Elemanlarına, UPFC (United Power Flow Controller-Birleşik Güç Akış Kontrolörü) örnek verilebilir. Şekil 1.5’de ve Şekil 1.6’da Birleşik Yapılı Seri – Paralel FACTS elemanları görülmektedir [2,7].



Şekil 1.5. Hatta Seri-Paralel Bağlı ve Birbirleriyle Koordineli FACTS Cihazları. [2]

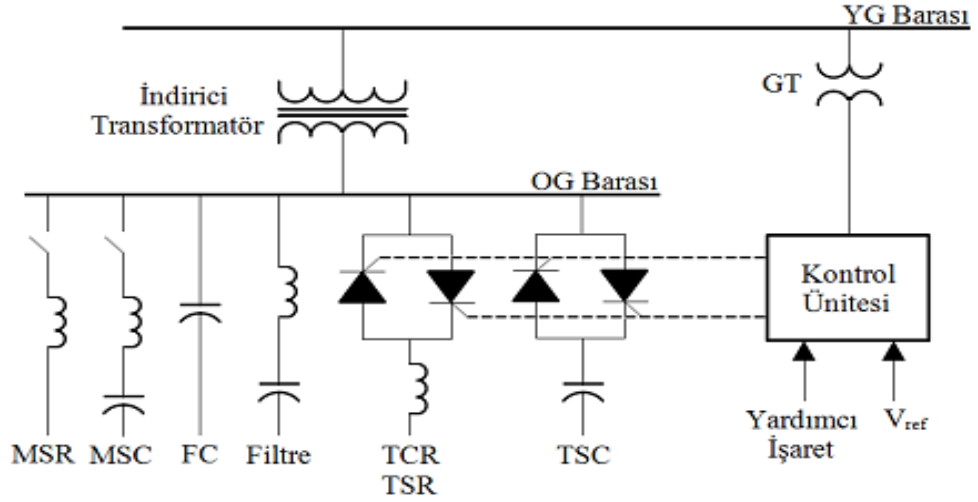


Şekil 1.6. Hattı Seri-Paralel ve Birbirleriyle DC Hat Üzerinden Bağlı FACTS Cihazları. [2]

1.3. FACTS ÇEŞİTLERİNİN YAPISI

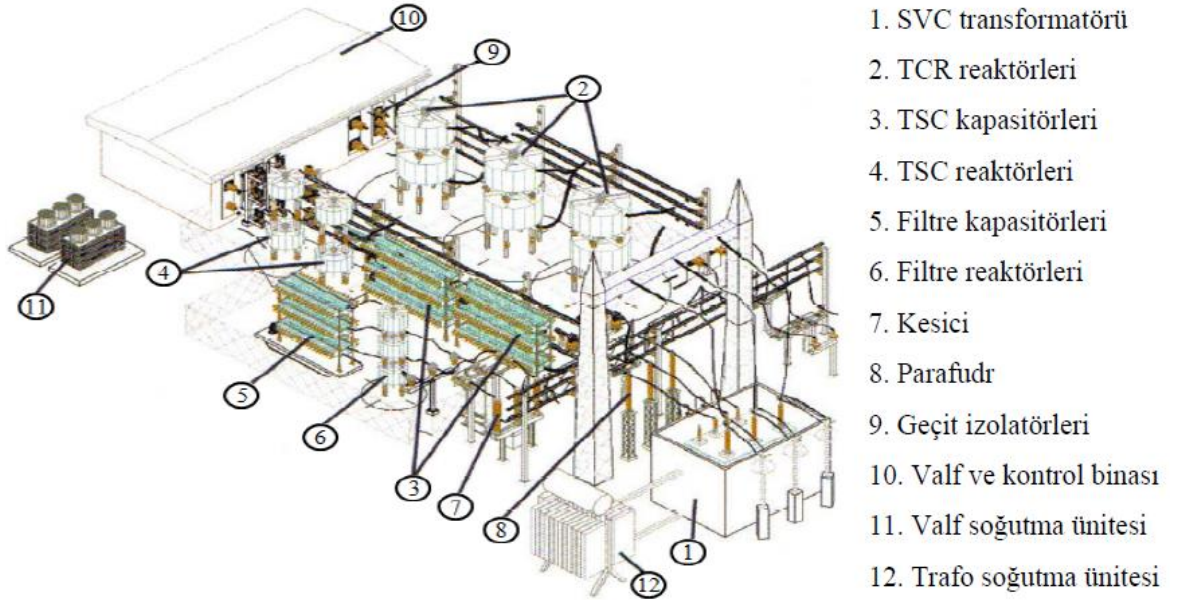
1.3.1. Statik VAR Kompanzatör (SVC)

SVC'ler Güç tesisine paralel bağlı güç elektroniği bazlı sistemlerdir. Temelde reaktif güç kompanse işlemi, güç faktörü düzeltme ve gerilim regülesi için kullanılır. SVC, bağlandığı bara geriliminin istenen seviyede tutulması için baradan reaktif güç çeker veya baraya reaktif güç enjekte eder [2,3,4,8,10,25,26]. SVC'nin hareketli parçası olmadığından açılımında statik ifadesi bulunmaktadır [2,3,4,8,31]. SVC'ler çoğunlukla Tristör Anahtarlamalı Kapasitör (Thyristor Switched Capacitor – TSC), Tristör Anahtarlamalı Reaktör (Thyristor Switched Reactor – TSR) ve Tristör Denetimli Reaktör (Thyristor Controlled Reactor – TCR) gibi reaktif güç denetim cihazlarından oluşur [2,33]. Ayrıca SVC sistemleri harmonik filtreler, Sabit Reaktör (Fixed Reactor – FR), Sabit Kapasitör (FixedCapacitor – FC), Mekanik Anahtarlı Kapasitör (Mechanically Switched Capacitor – MSC) gibi elemanları da bulundurabilir [2]. SVC'nin bağlantısına ilişkin genel yapı, Şekil 1.7'deki gibidir.



Şekil 1.7. SVC Genel Bağlantı Yapısı. [2]

SVC Tasarımı için yerleşme planı aşağıda Şekil 1.8'de görülmektedir. Sistem, kontrol binası, TSC Kapasitörleri, TSC Reaktörleri, TCR Reaktörleri, SVC Transformatörü, soğutma üniteleri, filtre grupları ve iletim hattı elemanlarından oluşmaktadır [2].



Şekil 1.8. SVC Tasarımına ait yerleşim planı. [2]

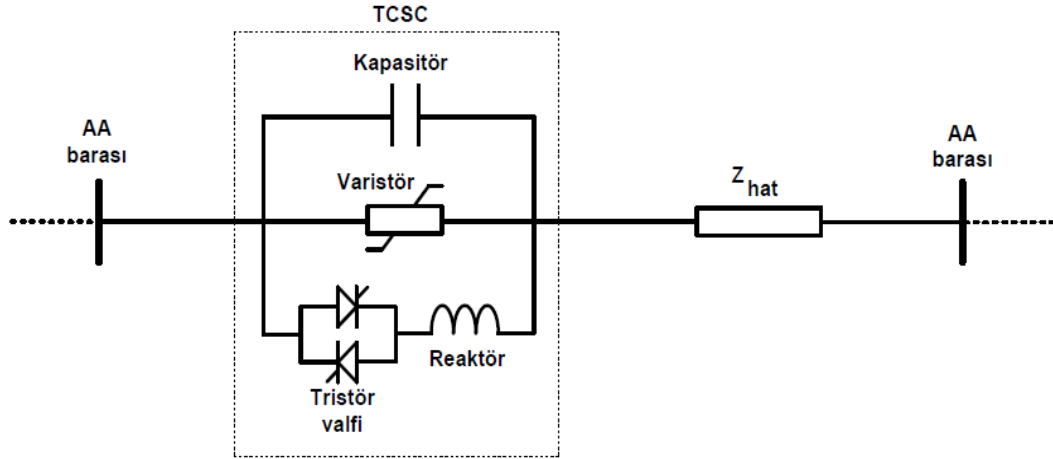
SVC kullanımının sağladığı avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [4].

- Hızlı Cevap (Tepki süresi kısadır)
- Faz Dengelemesi
- Ekstra gerilimi ortadan kaldırma

- Bakım maliyetinin düşüklüğü
- Denetim kolaylığı
- Transient kararlılığın artırılması
- Gerilim çökmesinin engellenmesi
- Güç faktörü düzeltmesi
- Güç kalitesini artırma
- Harmoniklerin ortadan kaldırılması

1.3.2. Tristör Kontrollü Seri Kompanzatör (TCSC)

Nakil iletkenine seri bağlı tristör denetimli reaktör ve bu yapıya paralel bağlanmış kapasitörden meydana gelen güç elektroniği tabanlı cihazlardır [2,3,4,8,9,25,26]. Hattın aşırı gerilimden korunması için C kapasitörüne metal-oksit bir varistör paralel bağlanır [2,3,4,8,9]. TCSC'nin temel işlevi, hattın empedansını seri kapasitöre bağlı olarak değiştirip bu sayede hattan akan gücü kontrol etmektir [2,3,4,8,9,28]. TCSC'nin hem endüktif hem de kapasitif çalışma karakteristiği ile hattan akan aktif güç kontrol edilebilmektedir. Güç akışının kontrol edilmesiyle hattın taşıma kapasitesi kontrol edilmiş olur. TCSC, sistemin dinamik kararlılığını artırır [2,3,4,8,9]. Aşağıda Şekil 1.9'da TCSC'nin genel yapısına ait şema verilmiştir.



Şekil 1.9. TCSC'nin Genel Yapısı. [28]

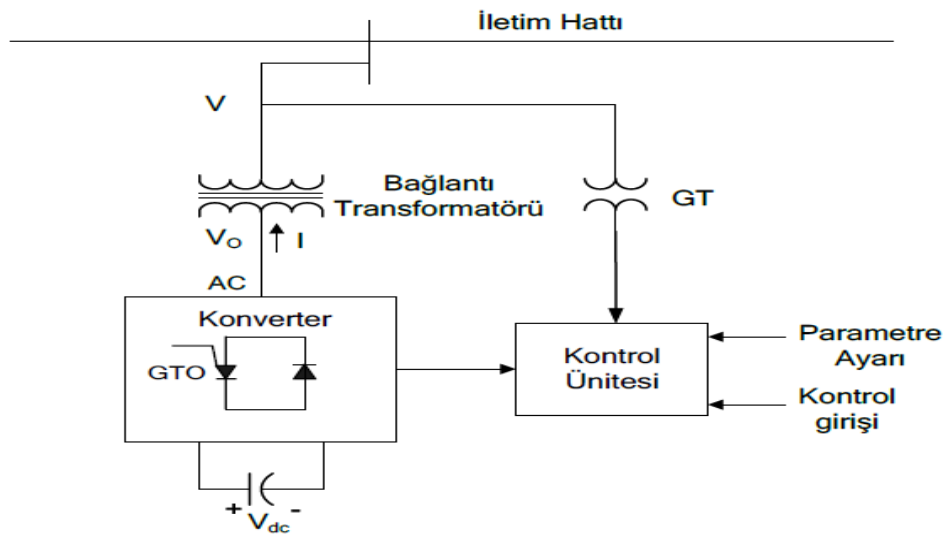
TCSC'nin temel sakıncası hat empedansı ile TCSC arasında rezonans oluşumudur. Rezonans oluşumu mekanik arızalara ve generatör senkronizmasının bozulmasına sebep olur. Bunu önlemek için alt senkronizasyon rezonans söndürücüleri kullanılır. Bir başka sakınca da TCSC'nin harmonik oluşturmalarıdır [2,3]. TCSC'nin nakil hattı üzerine

eklenmesi, seri kompanzasyonla beraber şu avantajları sağlar: [4]

- Senkron rezonans riskinin bertaraf edilmesi
- Aktif güç dalgalanmalarının engellenmesi
- Acil durum sonrası kararlılığı sağlama
- Dinamik yük akışı denetimi
- İletim limitinde yükseliş.

1.3.3. Statik Senkron Kompanzatör (STATCOM)

STATCOM, güç sisteminin ihtiyaç duyduğu reaktif ve aktif gücü karşılamak için girişine uygulana DC gerilimi AC çıkış gerilimine çeviren ve devreye paralel bağlanan Güç Elektroniği tabanlı bir FACTS cihazıdır. STATCOM yapısı, bağlantı (Kuplaj) transformatörü, gerilim kaynaklı invertör ve enerji depolama için DC kapasitör ya da pilden oluşur [2,3,4,9,10,28,31,33]. STATCOM, sistemin faz açısını, gerilimini ve reaktif gücünü denetleyebilen bir cihazdır. Endüktif ve kapasitif olarak reaktif güç üretebilir, Sisteme reaktif ve aktif güç verebilir ya da sistemden reaktif veya aktif güç çekebilir [2,3,23,30,31]. STATCOM, güç sisteminde reaktif ve aktif güç denetimi, güç dalgalanmalarının giderilmesi, gerilim regülasyonu, güç faktörü düzeltmesi ve kararlılık için kullanılmaktadır [2,3]. STATCOM'un en önemli özelliklerinden biri güç kalitesini arttırmasıdır [4]. Şekil 1.10'da STATCOM bağlantı yapısı verilmiştir.



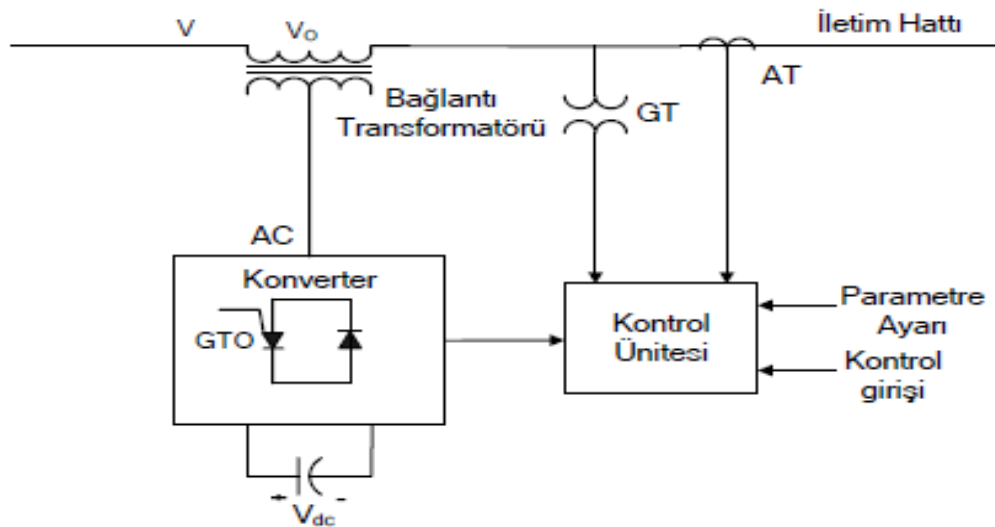
Şekil 1.10. STATCOM Bağlantı Yapısı.[3,10,30,34]

Güç sistemlerinde STATCOM kullanılması aşağıdaki avantajları sağlar: [4]

- Dinamik gerilimin denetimi
- Transient kararlılığın artırılması
- Güç tesislerinde güçteki dalgalanmaların bertaraf edilmesi
- Reaktif ve aktif güç denetimi

1.3.4. Statik Senkron Seri Kompanzatör (SSSC)

SSSC, yapı olarak STATCOM'a benzemektedir ancak devreye seri bağlanmaktadır. STATCOM'daki şekilde bağlantı (Kuplaj) transformatörü, voltaj kaynaklı invertör, enerji depolama için de DC kapasitörden oluşur. SSSC, genliği ve faz açısı yarı iletken elemanlarca ayarlanan ve hat akımı ile arasında 90° faz farkı olan 3 fazlı dengeli bir voltaj üreterek bu voltajı hatta verir. SSSC, hattın taşınan reaktif ve aktif gücü kontrol etmek için kullanılır. SSSC kullanılarak hat akımı direkt denetlenebilmektedir. SSSC, kapasitif ve endüktif şekilde çalışabilir. Endüktif çalışmada hattın taşınan aktif güç azalır, kapasitif çalışmada ise hattın taşınan aktif güç artar [1,2,3,4]. Kararlılık açısından SSSC ile rotor açısı sınımları düzeltilebilir. SSSC'ye bir DC güç kaynağı eklenirse hattın rezistansı ve reaktansı kompanse edilebilir, böylelikle X/R oranı yüksek seviyede tutulabilir [1,2]. Aşağıda Şekil 1.11'de SSSC'nin bağlantısına ilişkin genel yapı görülmektedir.



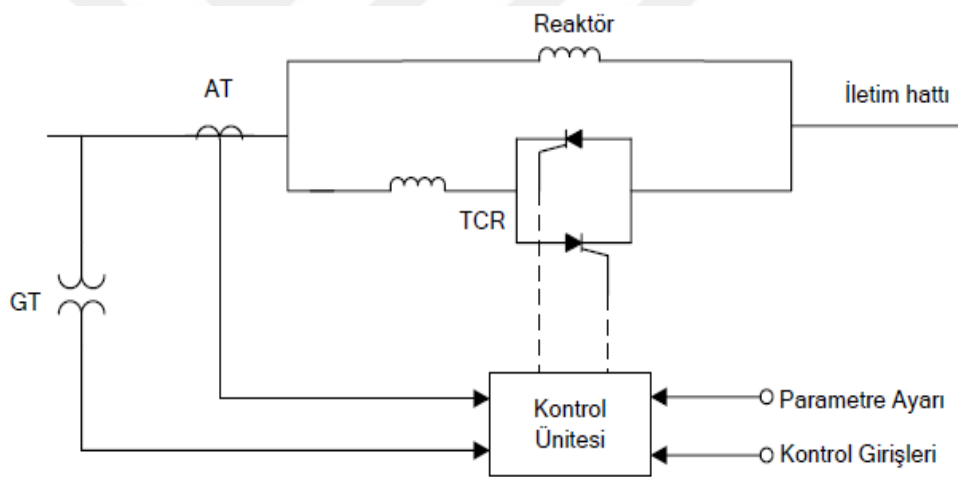
Şekil 1.11. SSSC'nin Genel Bağlantı Yapısı.[1,3]

Güç sistemlerinde SSSC kullanılması aşağıdaki avantajları sağlar:[4]

- voltaj sarkmalarının bertaraf edilmesi
- Hem kapasitif hem de endüktif olarak çalışabilme kabiliyeti
- Osilasyonların bertaraf edilmesi
- Dinamik yük akışı denetimi ve güç iletim limitinin artması
- Sürekli voltaj enjekte edilmesi ile güç faktörünün düzeltilmesi
- Aktif filtrasyon sayesinde harmonik distorsiyonun azaltılması.

1.3.5. Tristör Kontrollü Seri Reaktör (TCSR)

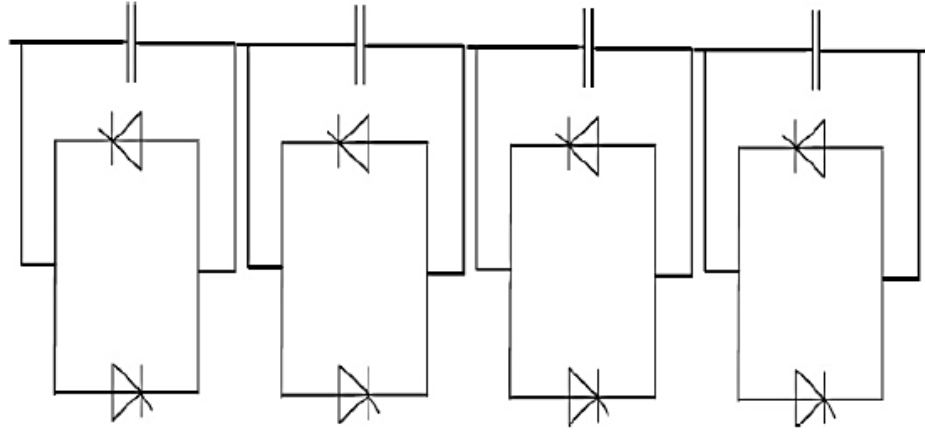
TCSR, Hatta seri bağlanarak hattın endüktif reaktansını kompanze eden bir aygıttır. Hattın endüktif empedansını kontrol etmek için kullanılmaktadır. TCSR, Tristör kontrollü reaktör (TCR) ile ona paralel bağlanmış bir reaktörden oluşmaktadır [4]. Şekil 1.12’de TCSR’nin genel bağlantı yapısı görülmektedir.



Şekil 1.12. TCSR’nin Genel Bağlantı Yapısı. [4]

1.3.6. Tristör Anahtarlı Seri Kompanzatör (TSSC)

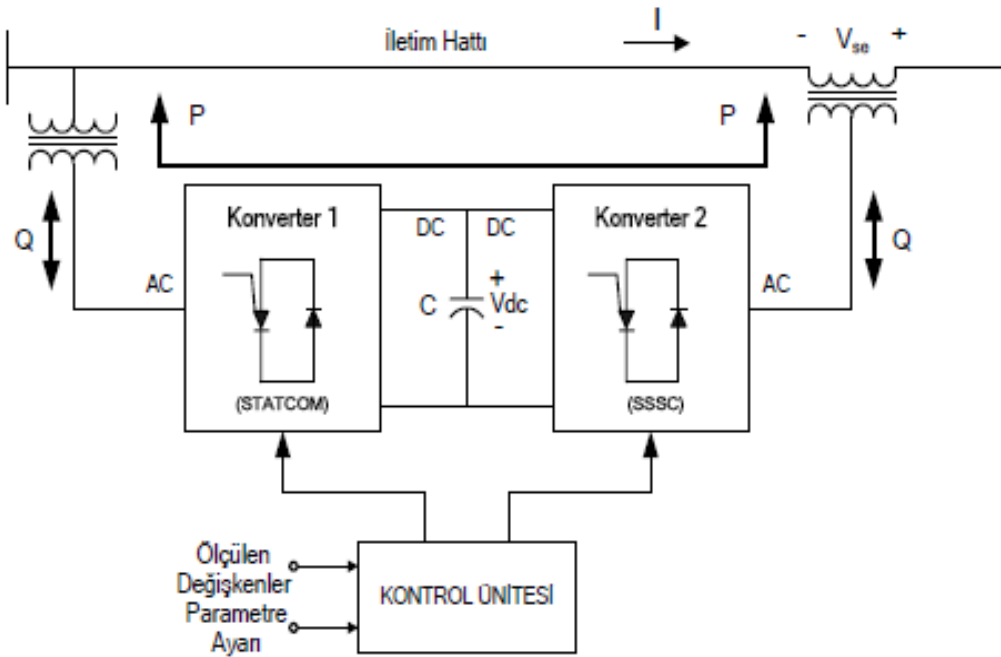
TCSR, Hatta seri bağlanan bir aygıttır. By-Pass anahtarlamalı Kapasitörlerden oluşur. Her bir kapasitör By-Pass Anahtarlayıcıya paralel bağlıdır [4]. Kapasitif reaktansı kompanze eder. Şekil 1.13’de TSSC’nin genel bağlantı yapısı görülmektedir.



Şekil 1.13. TSSC'nin Genel Bağlantı Yapısı. [4]

1.3.7. Birleştirilmiş Güç Akış Kontrolörü (UPFC)

UPFC, güç akışını kontrol etmek için kullanılır. Hattın empedansını, faz açısını ve gerilim genliğini aynı anda kontrol edebilir. Önemli bir diğer özelliği de hattan akan reaktif ve aktif gücün aynı anda denetlenebilmesidir. UPFC, hattı paralel ve seri şekilde denetleyen bir FACTS elemanıdır. Aynı DC kapasitöre bağlı bir STATCOM ile bir SSSC'den meydana gelir. Hat üzerine Seri bağlantıda SSSC, paralel bağlantıda da STATCOM olarak kullanılmaktadır [2,3,4]. Şekil 1.14'de UPFC'nin genel bağlantı yapısı görülmektedir.



Şekil 1.14. UPFC'nin genel bağlantı yapısı. [1,2,3,4]

Güç sistemlerinde UPFC kullanımı ile sistemin termal limitler içerisinde yüklenebilirliğinin artırılması hedeflenir. Sistemde UPFC kullanımı sırasında aşağıda belirtilen kısıtlamaların dikkate alınması gerekir [4].

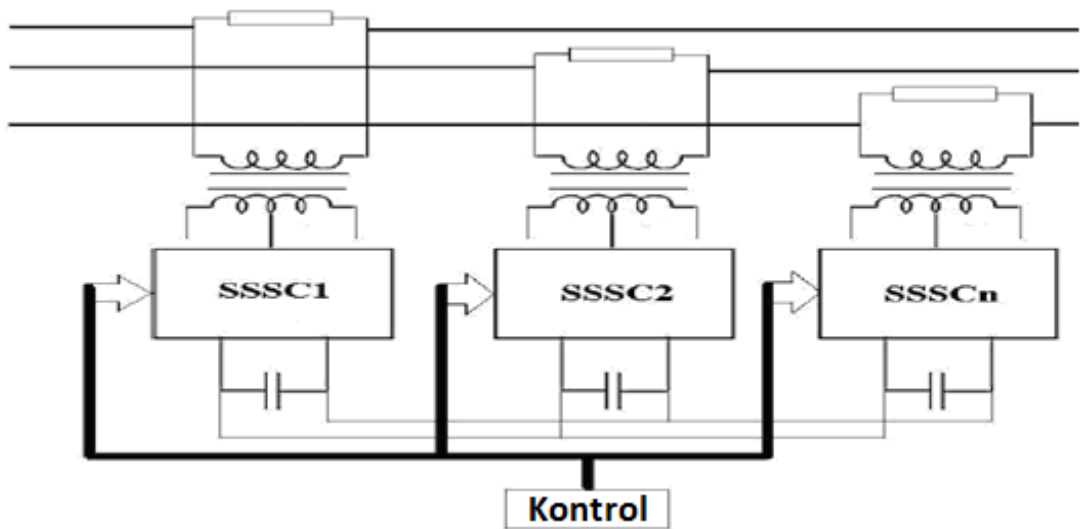
- Enjekte edilmiş olan seri gerilimin genlik değeri
- Seri konvertör akımı
- Paralel konvertör akımı
- Paralel ve seri konvertörler arasındaki aktif güç işlemleri
- Bağlandığı bölgede maksimum ve minimum UPFC gerilim genlik değeri

Bunların yanında UPFC kullanımının sağladığı avantajlar ise aşağıdaki gibidir [4].

- Reaktif ve aktif gücün hassas denetimi
- Nakil limitinin artırılması
- Faz kayma düzeltmesi
- Sistem dalgalanmasının giderilmesi.

1.3.8. Hatlararası Güç Akış Kontrolörü (IPFC)

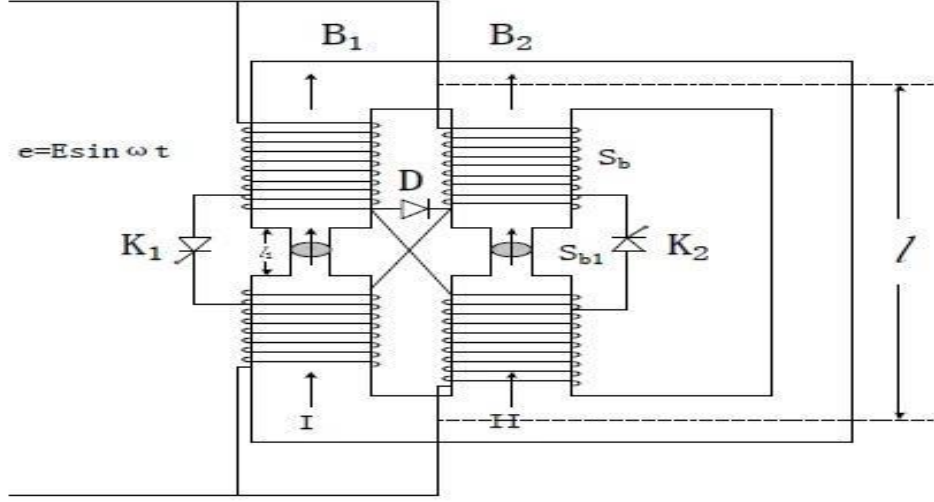
IPFC, DC uçları birbirlerine bağlı iki ya da daha çok SSSC'den oluşur. Birden fazla kontrolörden meydana geldiğinden UPFC gibi birleştirilmiş kompanzatör şeklinde isimlendirilebilir [2,4]. Her SSSC, bağlı olduğu hat üzerinde reaktif seri kompanzasyon yapar. IPFC, sistemde bozucu etkilere karşı kararlılığın artırılması, reaktif güç iletiminin artırılması ve gerilim genliği ile açı kontrolünü sağlar [2,4]. Hatlardaki aşırı yüklenmeyi azaltır. Şekil 1.15'de IPFC'nin genel bağlantı yapısı görülmektedir.



Şekil 1.15. IPFC'nin Genel Bağlantı Yapısı. [4]

1.3.9. Manyetik Kontrollü Reaktör (MCR)

Geleneksel kompanzasyon cihazları aşırı gerilim ve gerilim dalgalanmalarını yeterli düzeyde gideremez. Manyetik Kontrollü Reaktör (MCR), yüksek güvenilirliği ve esnek ayar sınırları sebebiyle giderek daha fazla ilgi görmektedir. MCR, aşırı gerilimlerin sınırlandırılması ve reaktif güç kompanzasyonu için kullanılır [4]. Şekil 1.16'da MCR'nin genel bağlantı yapısı görülmektedir.



Şekil 1.16. MCR'nin Genel Bağlantı Yapısı. [4]

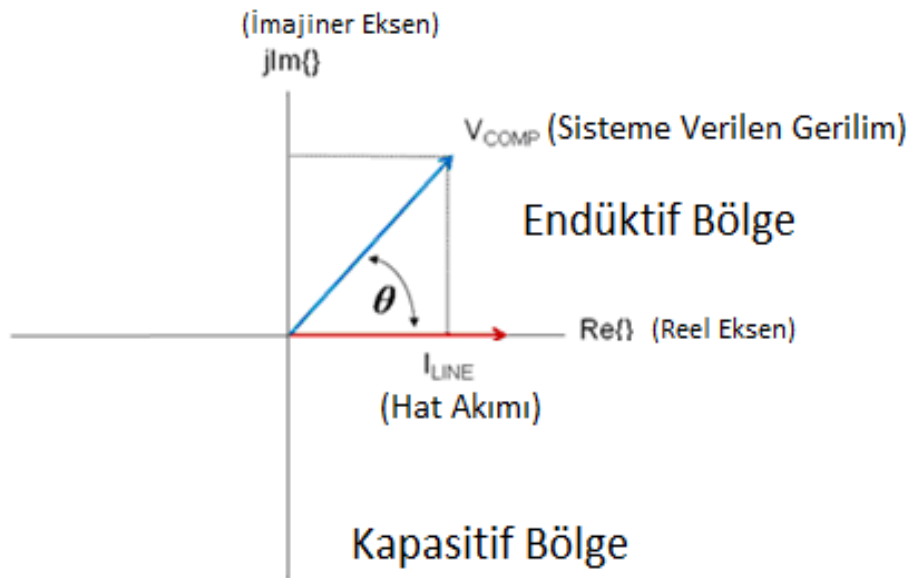
Reaktör sisteme bağlandığında K_1 ve K_2 tristörleri tam dalga doğrultmaç şeklinde çalışması için negatif ve pozitif alternanslarda ard arda açılıp kapatılır. K_1 ve K_2 'nin tetikleme açıları ayarlanarak DC uyarım akımı kontrol edilir. DC uyarım akımının kontrol edilmesi ile de MCR'nin endüktansı kontrol edilir. MCR sisteminin avantajları: ultra yüksek gerilimli sistemlere uygulanabilmesi, ekonomik olması ve işletmesinin basit olmasıdır. Tepki hızının yavaş olması ise dezavantajdır. Özellikle voltaj salınımı ve sistemde görülecek arkın sönümlenmesi amaçlı kullanılıncaya tepki hızını arttırmak için önlem alınması gerekir [4].

1.4. DAĞITILMIŞ FACTS CİHAZLARI

1.4.1. Dağıtılmış Seri Reaktör (DSR)

Dağıtılmış FACTS (D-FACTS) aygıtlarından Dağıtılmış Seri Reaktörler (DSR), nakil iletkene seri bağlanıp, iletkene seri endüktif empedans ekleyerek hat empedansını arttıran ve iletim hattından indüksiyonla güç sağlayan aygıtlardır. DSR, nakil hattı

üzerine montajlanır. Her modül önceden belirlenmiş bir akım değerinde tetiklenebileceği gibi uzaktan da kumanda edilebilir. İlk pilot uygulaması, 2002-2003 yılları arasında Yüksek Gerilim (HV) nakil iletkenleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. DSR uygulaması güç sistemlerinde iletim limitinin yükseltilmesini temin etmektedir. Güç sisteminin mevcut ölçüleri genişletilmeden sistemin yüklenebilirliğinin denetlenebilmesini sağlamaktadır. Bundan dolayı nakil hatlarında DSR aygıtlarının kullanımı son yıllarda gittikçe çoğalmakta ve ehemmiyeti artmaktadır. DSR uygulaması ile sistemden nakledilebilecek güç miktarı yükseltilebilir. İletim hatlarının limit değerde çalışmadığı durumda gerilim dengesizlikleri düşürülebilir. Sistem yüklenebilirliğinin denetiminin sağlanması ile, sistem için toplam işletme maliyeti de azaltılabilmektedir[11,12,14,15,36,37,38,39]. Birçok FACTS kontrolör aktif empedans enjekte eder. Aktif empedans enjektisi, AC gerilim verilmek suretiyle sağlanan paralel ya da seri kompanzasyonun her ikisinin de ifade edilmesi için kullanılır. Gerilim enjektisi, nakil hattı üzerine konumlandırılabilen bir Senkron voltaj Kaynağı (Synchronous Voltage Source-SVS) ile yapılır. Senkron voltaj Kaynağı, genliği ve açısı denetlenebilen temel frekansa sahip sinüsoidal voltaj üretir. Şekil 1.17’de görüldüğü şekilde verilen voltaj değerini denetleyerek reaktif güç üretir ya da tüketir [13].



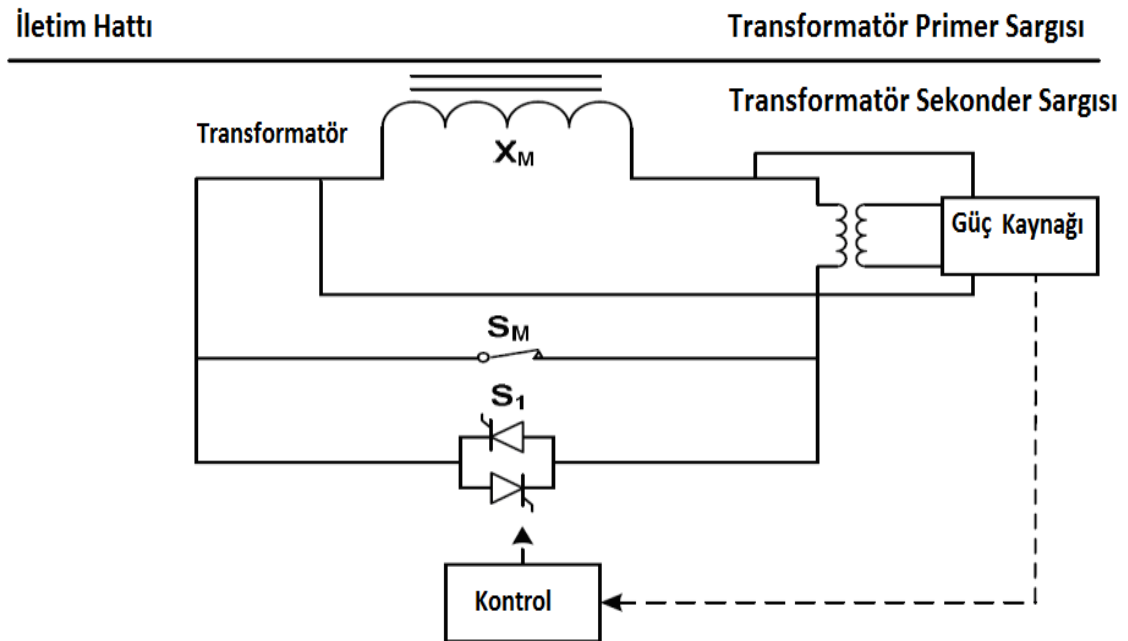
Şekil 1.17. Kompanzasyon Geriliminin Değişimi. [13]

Sisteme verilen gerilim (V_{COMP}) ile hat akımı (I_{LINE}) arasında 90° açı bulunduğunda SVS bobin ya da kondansatör gibi çalışır ve yalnız reaktif güç denetlenebilir. Sisteme

verilen gerilim (V_{COMP}) ile hat akımı (I_{LINE}) aynı fazda olduğunda yalnız aktif güç denetlenebilir. SVS aktif güç sağlayamaz bundan dolayı aktif güç harici bir kaynaktan temin edilmiyorsa Sisteme verilen gerilim (V_{COMP}) ile hat akımı (I_{LINE}) arasında 90° açı bulunmalıdır. Eğer harici bir kaynak veya yük bağlanmışsa hat akımına ispetle voltaj büyüklüğü denetlenerek aktif güç değiştirilebilir [13]. Reaktif gücün kompanzesi için voltaj kaynağının kullanımı, seri kapasitör etkisinin kavranması ile anlaşılır. Hat üzerinde bulunan seri kapasitör iletken üzerindeki endüktif gerilim düşümünün bir bölümünü ortadan kaldırmak için gereken temel frekanstaki voltajı iletkene verir. Denklem (1.1)'de verilmiş olan, kapasitör üzerindeki voltaj ifadesi göz önüne alınacak olursa, seri kapasitör ile aynı etki hat akımıyla arasında 90° açı bulunan bir AC voltaj kaynağı ile sağlanabilir [13]

$$V_C = -jI \left[\frac{1}{\omega C} \right] = -jIX_C \quad (1.1)$$

DSR cihazı bir AC voltaj kaynağı gibi vazife yapar. Şekil 1.18'de DSR'nin Nakil iletkenine bağlantısı ve Şekil 1.19'da DSR'nin iletim hattına uygulanması gösterilmiştir.

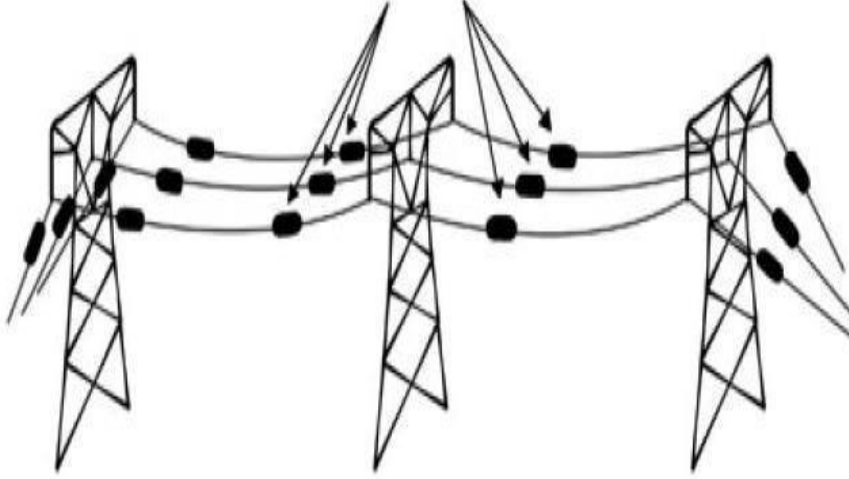


Şekil 1.18. FACTS Cihazının Devre Şeması. [12,15,36,39,40]



Görsel 1. İletim Hattına Monte Edilmiş DSR Modülü. [11,15,40]

DSR Modules



Şekil 1.19. İletim Hattı Üzerinde DSR Modüllerinin Şematik Gösterimi. [11,15]

1.4.2. DSR Modüllerinin Oluşturduğu Toplam Endüktansın Hat Empedansına Eklenmesine İlişkin Hesaplama Şekli

DSR Modüllerine ait toplam endüktansın Birim (Per Unit –p.u.–) değere dönüştürülerek ilgili hat empedansına eklenmesi gerekir. Bunun için Denklem(1.2), Denklem(1.3) ve Denklem(1.4) kullanılır.

$$P.U. = \frac{\text{Gerçek Değer}}{\text{Baz Değer}} \quad (1.2) [42]$$

$$RB = XB = ZB = \frac{VB}{IB} = \frac{VB * VB}{IB * VB} = \frac{VB^2}{SB} \quad (1.3) [42]$$

$$X_L = 2 * \pi * f * L \quad (1.4) [42]$$

Bu tez çalışmasında kullanılan ve Bölüm 2.1’de tanıtılan PowerWorld Simülatör programı çalıştırıldığında “D-FACTS Information Dialog” penceresinde Modül başına DSR endüktansı “Inductance Per Module” satırında, Aktif modül sayısı “Active Modules” satırında görülür. Aşağıdaki Denklem (1.5) kullanılarak toplam endüktans elde edilir.

$$\text{Top. Endüktans} = \text{Modül Başına DSR Endüktansı} * \text{Aktif Modül sayısı} \quad (1.5)$$

Ayrıca yine “D-FACTS Information Dialog” Penceresinde “enjekte edilen toplam endüktans, “Injected L” satırında da görülmektedir. Doğrudan bu değer de kullanılabilir. Zaten denklem ile hesaplama yapıldığında aynı değer olduğu görülecektir. Sonrasında Eşitlik 4 kullanılarak toplam endüktansa karşılık gelen toplam Endüktif Empedans (Endüktif Reaktans) elde edilir. Tabii ki elde edilen bu değer gerçek değerdir. Per Unit değere dönüştürmek için ise Denklem (1.6) kullanılır.

$$P.U. = \frac{\text{Endüktif Reaktans}}{ZB} \quad (1.6)$$

Elde edilen değer hat empedans matrisinde ilgili hattın empedansına eklenir. Bu işlemler DSR Modülü eklenen her hat için ayrı ayrı yapılır.

Şekil 1.20. DSR Modülüne ait D-FACTS Information Dialog penceresi.

1.5. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK

Güç sistemi, üretimde düşüş, hatlarda arızalar, çok fazla yük ya da paralel hatlarda devrenin açılması gibi yıkıcı etkilere uğradıktan sonra sistemin yıkıcı etkiden önceki işletme şartlarına ulaşabilmesi yeteneğine “Kararlılık” denilmektedir[2,4,16].

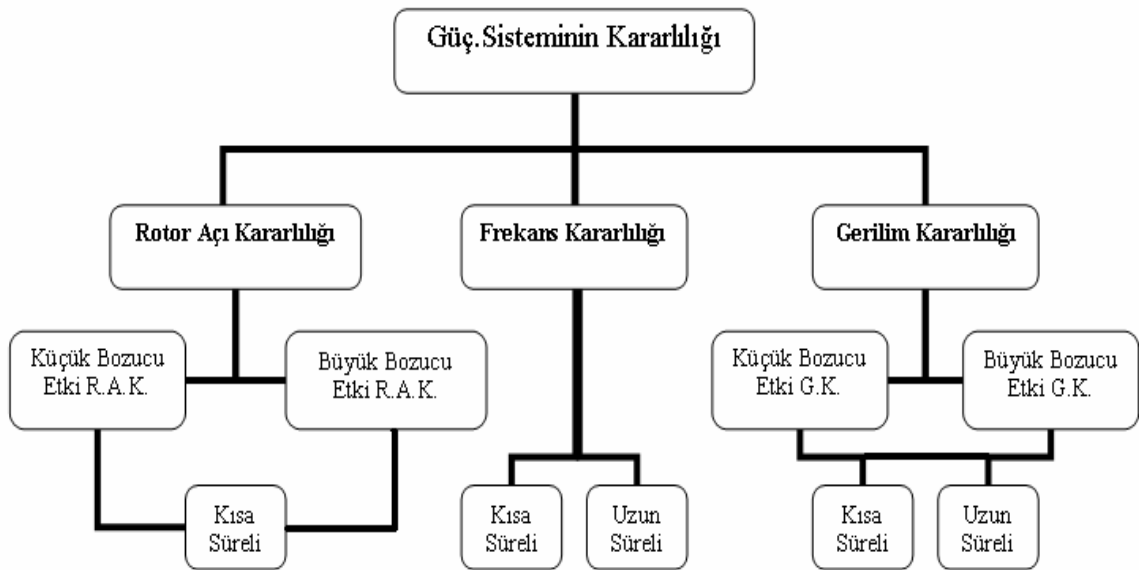
1.5.1. Güç Sisteminde Kararlılığın Sınıflandırılması

Kararlılık, temelde senkron çalışma durumunun devamlılığı şeklinde tanımlanmaktadır. Bu durum senkron generatörlerin senkronizma durumunda olmaları ile gerçekleştirilir. Senkronizma durumunun sürekliliğine “Rotor Açılı Kararlılığı” denilmektedir[2,4,16]. Sistemde senkronizmada bozulma olmadan da kararsızlık ortaya çıkabilir. Bu tür kararsızlıklarda senkronizma devamlılığı yerine gerilimdeki kararlılık öncelikli durumdadır[16]. Enerji tesislerinde kararlılık Nitelik açısından “Rotor Açılı Kararlılığı” “Frekans Kararlılığı” ve “Gerilim Kararlılığı” şeklinde gruplandırılabilir[2,4,16]. Kararsızlık, generatör ya da yük sebebi olabilmektedir. Zaman olarak ise, kısa zamanlı ve uzun zamanlı olabilmektedir. Bu bakımdan kararlılık “Generatör Sebepli” ve “Yük Sebepli” olarak zaman olarak da “Uzun Zamanlı” ve “Kısa Zamanlı” şeklinde

gruplandırılır. Kararlılığın Genel şekilde gruplandırılması aşağıda Çizelge 1.1’de verilmiştir. Kararlılığın IEEE/CIGRE’ye göre gruplandırılması ise Şekil 1.20’de verilmiştir. [2,4,16]

Çizelge 1.1. Güç Sistemi Kararlılığının Genel Olarak Sınıflandırılması. [2,16]

Zaman Ölçüsü	Generatör Sebepli	Yük Sebepli
Kısa Süreli	Rotor Aç Kararlılığı Küçük Bozucu Etki Transient (Geçici Hal)	Kısa Süreli Voltaj Kararlılığı
Uzun Süreli	Frekans Kararlılığı	Uzun Süreli Voltaj Kararlılığı



Şekil 1.21. Kararlılığın IEEE/CIGRE’ye Göre Sınıflandırılması.[2,4,16]

1.5.2. Rotor Aç Kararlılığı

Güç sisteminin herhangi bir bozucu etki sonrasında senkronizmayı tekrar sağlayabilme kabiliyetidir [2,4]. Rotor Aç Kararlılığı, süre olarak kısa Zamanlı bir kararlılık olayıdır. Senkron Generatörde uyarım sargıları ve endüvi sargıları şeklinde iki çeşit bobin grubu vardır. Uyarım sargıları rotorda, endüvi sargıları da statorda bulunmaktadır. Uyarım sargılarına Doğru akım (DC) uygulanır ve sabit bir manyetik alan elde edilir. Rotorun dışarıdan mekanik olarak döndürülmesiyle rotor manyetik alanı, statordaki 3 fazlı endüvi sargılarını keser ve statorda Alternatif Gerilim (AC) indüklenir [2,4]. Bu sebeple senkron generatörde mekanik moment ve elektro manyetik moment olmak üzere iki ayrı

moment mevcuttur. Kararlı durumda elektromanyetik moment ile mekanik moment dengededir ve hız sabittir. Kararlılık bozulduğunda bu denge de bozulur ve rotor açısı salınımlarında artma ya da azalma şeklinde kararsızlık oluşur. [2,4]. Rotor Açısı Kararlılığı, Küçük Bozucu Etki (Küçük İşaret) Rotor Açısı Kararlılığı ve Büyük Bozucu Etki Rotor Açısı Kararlılığı (Geçici Hal kararlılığı) olarak iki gruba ayrılmaktadır.[2,4].

1.5.2.1. Küçük Bozucu Etki (Küçük İşaret) Rotor Açısı Kararlılığı

Yükte veya üretimde oluşan değişimler gibi küçük boyutlu bozucu etkilere karşı sistemin senkronizmayı sürdürebilme kabiliyetidir [2,4]. Küçük Bozucu Etki Rotor Açısı Kararlılığı, sistemin başlangıçtaki çalışma koşullarına bağlı olup oluşacak kararsızlık iki şekilde görülebilir [2,4];

- Senkronizma Momenti eksikliğinden dolayı oluşan düzensiz salınımlar nedeniyle
- Rotor açısındaki artıştan dolayı ya da sönümleyici moment eksikliğinden dolayı rotor salınımlarının artması nedeniyle

Küçük Bozucu Etki Rotor Açısı Kararlılığı hakkındaki çalışmalarda bozulma sonrasındaki 10-20 saniyelik süre dikkate alınır. [2,4]

1.5.2.2. Büyük Bozucu Etki Rotor Açısı Kararlılığı (Geçici Hal Kararlılığı)

Güç sisteminde Hatlarda kısa devre oluşması gibi kritik bozucu etkilere karşı sistemin senkronizmayı sürdürebilme kabiliyetidir [2,4]. Büyük Bozucu Etki Rotor Açısı Kararlılığı, Sistemin başlangıçtaki çalışma koşulları ile bozucu etkinin boyutuna bağlıdır [2,4]. Büyük Bozucu Etki Rotor Açısı Kararlılığı üzerindeki çalışmalarda bozulma sonrasındaki 3-5 saniyelik süre dikkate alınır. Çok büyük ölçekli sistemlerde ise bu süre 10-20 saniyeye kadar çıkabilmektedir [2]. Rotor Açısı Kararlılığı olaylarının her iki türü de kısa süreli kararlılık olayıdır. [2,4].

1.5.3. Frekans Kararlılığı

Güç sisteminde üretim ile yük arasında dengesizlik oluşturacak bir bozucu etki karşısında sistemin frekansı sabit tutabilme kabiliyetidir [2,4]. Frekans kararsızlığı genel olarak koruma ve kontrol cihazlarının yetersizliği ve bozucu etki karşısında gerekli düzeyde cevap verememesi ya da üretimdeki yetersizlik ile oluşur. Burada ana sebep, üretimdeki yetersizliktir. Bu durum üretim ile yük arasında ani dengesizlik oluşturur [2,4].

1.5.4. Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığı

Güç sistemlerinde yük değişimlerine bağlı olarak yük baraları gerilim değerleri devamlı değişir. Yük artınca bara gerilim değerinde de azalma olur. Gerilim azalınca da enerji sisteminin çalışması güçleşir. Dolayısıyla bara gerilim değerlerinin belirli bir değerden daha aşağıya inmemesi gerekir. Bu limit değere “Gerilimin Kritik Değeri” denir. Gerilimin sınır değeri ve buna karşılık gelen faz açısı değeri ile aktif güç değeri toplu olarak sistemin kritik değerleridir (V_{krt} , δ_{krt} , P_{krt})[4,16]. Bara gerilim değeri ile yük arasında bulunan bu bağlantı “Gerilim Kararlılığı” terimini doğurmuştur. Enerji sisteminde yük baraları gerilim değerlerinin her durumda belirli sınırlar dahilinde tutulması yeteneğine “Gerilim Kararlılığı” denilmektedir[2,4,6,9,16,27]. Gerilim kararsızlığında ilk sebep: bazı yük baralarında gerilimin düşmesi karşısında sisteme gerilimdeki azalmayı karşılayabilecek kadar reaktif gücün enjekte edilememesidir[2,4,5,6,9,16]. Yük baraları gerilim değerleri limit değerlerin altına iner ve bu da düzeltilemezse belirli bir alanda ardışık şekilde gerilim düşmesi olur ama bu durum belirli bir alan ile de sınırlı olmaz. Sistemin bütününde gerilim çökmesi yaşanabilir[4,16]. Gerilim çökmelerini engelleyebilmek için kritik değerler bilinmelidir[16]. Güç sistemi yıkıcı bir etkiye maruz kaldıktan sonra yük baraları gerilim değerleri normal işletme sınırları dahilinde kalabiliyorsa sistem kararlı durumdadır [2,4,5,6,9,16]. Kabul edilebilecek gerilim sınır değerleri, nominal gerilim değerinin %6 fazlası ya da %6 eksigidir[16].

1.5.5. Gerilim Kararlılığının Tanımlanması

1.5.5.1. CIGRE (Conseil International Des Grands Reseaux Electriques) Tanımlaması

Güç Sisteminde belirtilen işletme koşullarında küçük boyutlu yıkıcı etkiye karşılık yükün gerilim değerinin yıkıcı etkiden önceki değere yakın ya da eşit olması, Küçük Bozucu Etki Gerilim Kararlılığı şeklinde tarif edilir. yıkıcı etkiden sonraki gerilim değerleri sınır değerlerden düşük ise güç sisteminin durumu Gerilim Çökmesi yönüne gider. [2,6,16]

1.5.5.2. IEEE (The Institute Of Electrical And Electronics Engineers) Tanımlaması

Yükün gücü yükseldiğinde gerilimin büyüklüğü düşer. Sistemin gerilim değerinin belirli sınır değerler dahilinde tutulabilmesi kabiliyetine gerilim kararlılığı denilmektedir. Böylesi durumlarda güç ve gerilim beraber denetlenmelidir. Sistemde gerilimdeki

düşmeler gerilim kararsızlığına ve dolayısıyla da gerilim çökmesine neden olur[2,6,16].

1.5.5.3. IEEE ve CIGRE Birlikte Tanımlaması

Gerilim kararlılığı, sistemde bir yıkıcı etkiye karşılık bütün baraların baştaki işletme durumlarına dönebilmeleridir. Sistemde belli bir alanda anormal olarak gerilim düşümü olması ve bunun devam etmesi Gerilim Çökmesi'ne neden olur. [2,16]

1.5.6. Gerilim Kararlılığının Sınıflandırılması

1.5.6.1. Büyük Bozucu Etki Gerilim Kararlılığı (Large Disturbance)

Sistemde hat arızaları, üretim kesilmesi vb. büyük çaplı bir yıkıcı etki karşısında gerilimi kabul edilebilecek değerler dahilinde tutulabilme kabiliyetidir. Büyük bozucu etki gerilim kararlılığının incelemesinde kontrol ve koruma aygıtlarının nonlineer özelliklerinin bilinmesi önemlidir. büyük bozucu etki gerilim kararlılığı problemlerinde süre 10-30 saniye bazen de 1 dakika olabilir[2,6,9,16].

1.5.6.2. Küçük Bozucu Etki Gerilim Kararlılığı (Small Disturbance)

Yüklerdeki değişim gibi küçük yıkıcı etkiler karşısında gerilimi kabul edilebilecek değerler dahilinde tutulabilme kabiliyetidir. Küçük bozucu Etki Gerilim Kararlılığı problemi dakikalarca hatta saatlerce sürebilir[2,6,9,16].

1.6.4.3 Kısa Süreli Gerilim Kararlılığı (Short Term)

Yüksek doğru gerilim dönüştürücüleri (HVDC), Elektronik denetimli yük, endüksiyon motoru, gibi değişme süreleri çok kısa olan yüklerden dolayı görülen kararlılık problemidir. Rotor açısı kararlılığına benzemektedir. Yükler dinamik şekilde modellenmelidir ve elde edilen diferansiyel denklemler çözülmelidir. Çalışma süresi birkaç saniyedir[2,6,16].

1.5.6.3. Uzun Süreli Gerilim Kararlılığı (Long Term)

Yük bağlı halde kademe değişen transformatörler, Generatörlerin akım sınır değerleri, termostatik denetimli yükler (ısıtıcı özelliği olan omik yük) gibi yavaş çalışan yani değişme süreleri uzun olan yüklerden dolayı görülen problemidir [2,6,16]. Çalışma periyodu birkaç dakikayı bulabilir (2-3 dakika) Uzun zamanlı gerilim kararlılığı problemi P-V eğrisi ile de incelenebilir[2,16]. P-V eğrisi ile inceleme yük arttırımı ile yapılır[2,6,16]. Yükün en büyük aktif güç limit değeri ve bu güce ulaşılan andaki gerilim değeri yani en küçük gerilim limit değeri belirlenmiş olur. Bu değerlerin dışına

çıkıldığında sistemde “Gerilim Çökmesi” olayı gerçekleşebilir[2,6,16].

1.5.7. Gerilim Çökmesi

Sistemin bir bölümünde gerilimin kararsızlığı neticesinde olağan dışı şekilde gerilim düşmesi durumuna gerilim çökmesi denilmektedir[2,16]. Gerilim çökmesi fazla yük, reaktif güçteki eksiklik ve arızalar ile ortaya çıkar [2,4,16]. Gerilim çökmesi zaman olarak birkaç saniye olabileceği gibi saatler boyunca da devam edebilir. [16]. Güç tesislerinde gerilim çökmesi konusunda riskli durumlar: iletim hattına çok fazla yük bağlanması, generatörlerin gerilimlerinde çok düşme olması, generatörlerin, yüklerin bulunduğu bölgelerden çok uzakta olması, transformatör kademe değiştiricilerin fonksiyonsuz kalması, kontrol ve koruma sisteminin yetersiz kalması, reaktif güç kompanzasyonundaki yetersizlik ve üretim ile yük arasındaki oranın büyük olması şeklinde sayılabilir [2,16]. Gerilim çökmesini engellemek amacıyla yapılan uygulamalar: Reaktif gücün kompanzasyonu, ihtiyaçtan fazla reaktif güç talebinin engellenmesi, reaktif güç ve gerilim denetimi, transformatör kademe değiştiricisinin denetimi, kontrol - koruma koordinasyonu, düşük gerilim koruyucuları kullanımı ve kararlılık sınır değerlerinin önceden belirlenmesi şeklinde ifade edilebilir. Aşağıda gerilim çökmesine sebep olabilecek bazı durumlar belirtilmiştir: [2,16]

1- Bakım v.s. sebebiyle nakil hatlarında reaktif güç üretiminde azalma ve bundan dolayı hattın fazla yüklenmesi neticesinde gerilim çökmesi oluşabilir.

2- Aşırı yüklenme neticesinde kayıplar oluşur. Fazla yüklenme ve kayıpların artışı ile reaktif güç ihtiyacı artar ihtiyaç karşılanamazsa gerilim çökmesi oluşabilir.

3- Gerilimdeki düşüş, kontrol sistemi tarafından uyartım arttırılıp generatör çıkış gerilimleri ayarlanarak giderilir. Bu durumda reaktif güç de artış olur, Reaktif gücün artışı ile hatlarda ve trafolarda oluşan gerilim düşmeleri nedeni ile gerilim çökmesi oluşabilir.

4- Şebeke gerilimlerinde yük değişimi sebebiyle oluşan bozulmalar, trafolarda kademe değiştirilerek düzeltilir. Gerilim artışıyla yük talebi de artar, buna bağlı olarak nakil kayıplarında da artış olur. Bu durum hatlarda daha fazla gerilim düşümüne neden olur.

5- Reaktif güç ihtiyacının artışı generatörlerin reaktif güç çıkışını yükseltir. Generatörler reaktif güç limit değerine ulaşınca gerilim düşer. Bu durumda kritik bölgeden daha uzaktaki başka bir generatörden reaktif güç alınır. Bunun neticesinde generatörlerde fazla yüklenme olur. Şönt kapasitörlerin sistemdeki etkisinin azalması sonucunda gerilim de düşer. Önce gerilim kararsızlığı sonra da gerilim çökmesi oluşur.

1.5.7.1. *Dünyada Meydana Gelmiş Olan Gerilim Çökmeleri*

Yıl 1978 Fransa, öğle öncesi saat 7-8 arasında önceki günden 1600 MW daha fazla güç talebi olması nedeniyle gerilim 20 dakika süreyle 400 KV'tan 342 KV'a düştü. Sistem 12:30'da normale döndürülebildi 29 MW güç ve 100 GWh enerji kesintisi oldu[2,4,6,16].

Yıl 1982 Belçika, test işlemi esnasında 700 MW güç bağlanamadı. Yaklaşık 4 dakika süreyle gerilim çökmesi yaşandı[2,16].

Yıl 1983 Güney İsveç, Nükleer santralin çıkışındaki arızadan dolayı 1 dakika süreyle Güney İsveç devre dışı oldu. [2,6,16]

Yıl 1985 Amerika Florida, yanan fırçalar sebebiyle 500 KV'luk hat üzerinde önce gerilim düşmesi sonra da birkaç saniye içerisinde gerilim çökmesi gerçekleşti. [16]

Yıl 1987 Batı Fransa, fazla uyartım koruma sisteminde oluşan problem sebebiyle gerilim 0,5-0,8 p.u. seviyelerine düştü 6 dakika süreyle gerilim çökmesi oldu[2,4,16].

Yıl 1992 Güney Finlandiya, kritik noktalar yakınında çalışan sistemde bakım esnasında 700 MW'lık yük sebebiyle hat gerilimi 400 KV'tan 344 KV seviyesine geriledi. Gaz türbinleri yük koruyucuları ile çalıştırılıp reaktif güç üretimi artırılarak gerilim normal seviyeye çıkarılabildi[2,4,16].

Yıl 1996 Amerika, 345 KV'luk iletkende oluşan kısa devre sebebiyle Kuzey Batı Amerika sisteminde enerji kesildi. Hızlı bir şekilde açılı ve gerilim kararsızlığı gerçekleşti[4,16].

14 Ağustos 2003 Amerika-Kanada, Amerika-Kanada arasında gerçekleşen gerilim çökmesi sebebiyle toplamda 50 000 000 insan etkilendi, 63000 MW kayıp oldu. 400 nakil hattı ile 531 üretim ünitesi hasar aldı. Maddi zarar 10 000 000 000 dolar olarak tahmin edildi[2,4,6,16].

Yıl 2003 İtalya, Fırtına sebebiyle iki iletkenin temas etmesinden kaynaklanan arıza sonucunda nakil hattı çöktü. Maliyetinin on milyonlarca dolar olduğu tahmin edilen enerji kesintisi 16,5 saat sürdü. Toplam 27 GW yük kaybı yaşandı [2].

Yunanistan-Atina 2004, Klima kullanımının artması sebebiyle aşırı yüklenen sistemde gerilim çökmesi meydana geldi. Toplam 9 GW yük kaybı yaşandı [2].

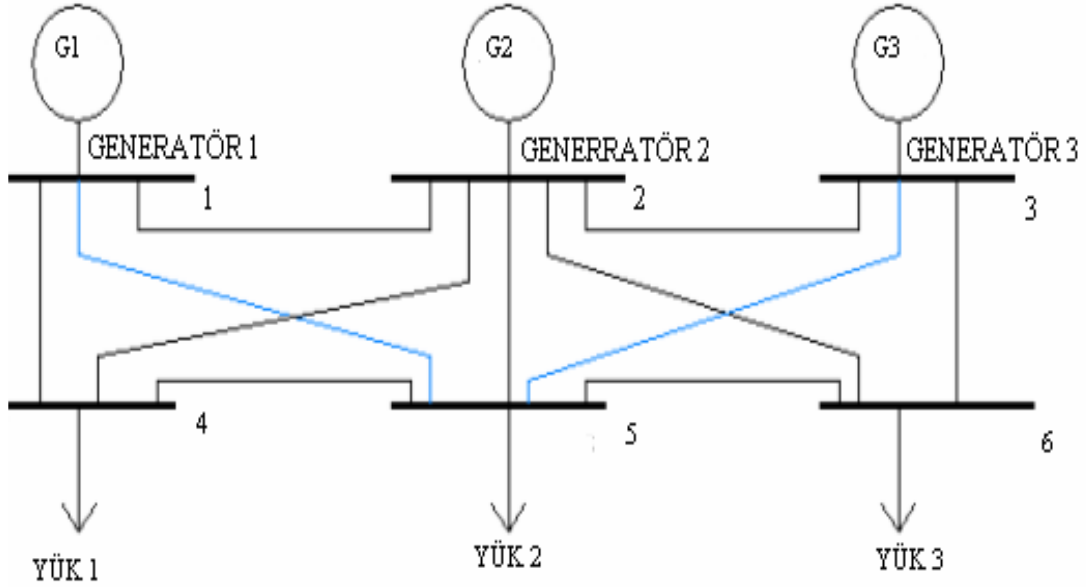
Bu gibi olaylar sebebiyle güç sistemlerinin kritik değerleri tespit edilerek gerilim kararlılığı'nın denetlenmesi ve kararlılığa ilişkin sorunların çözülmesi hakkında araştırmalar önem kazanmıştır. Kritik değerlerin hesabı için kullanılabilecek yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir: [16]

- 1- Formül
- 2- P-V Eğrileri
- 3- Genetik algoritma
- 4- Yük akışı

Bu tez çalışmasında “P-V Eğrileri Yöntemi” kullanılmıştır. Yönteme ilişkin açıklamalar bölüm 2.2’de verilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında IEEE'ye ait 6 baralı ve 9 baralı standart güç sistemleri kullanılmıştır. Sistemlere ait tek hat şemaları Şekil 2.1'de ve Şekil 2.2'de görülmektedir. Her iki sistem için, sistemde DSR cihazı mevcut değil iken ve DSR cihazı bağlanmış iken yük akışı yapılmış, yük akışından alınan değerlerin kullanımı ile yük baraları P-V eğrileri çizilip P-V eğrileri üzerinden kritik değerler incelenmiştir. Çalışmalar Power World Corporation'nun tescilli ürünü olan "PowerWorld" Simülasyon yazılımı ve Mathworks Inc'nin tescilli ürünü olan "Matlab" programı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 2.1. 6 Baralı Sistemi Tek Hat Şeması. [16]

IEEE 6 baralı sistemde bir numaralı bara salınım barası (SB), iki ve üç numaralı baralar generatör barası (PV), dört, beş, altı numaralı baralar ise yük (PQ) barasıdır. Altı baralı sisteme ilişkin veriler Çizelge 2.1, Çizelge 2.2, Çizelge 2.3'de görülmektedir.

Çizelge 2.1. IEEE 6 Baralı Sistemi Hat Verileri. [16]

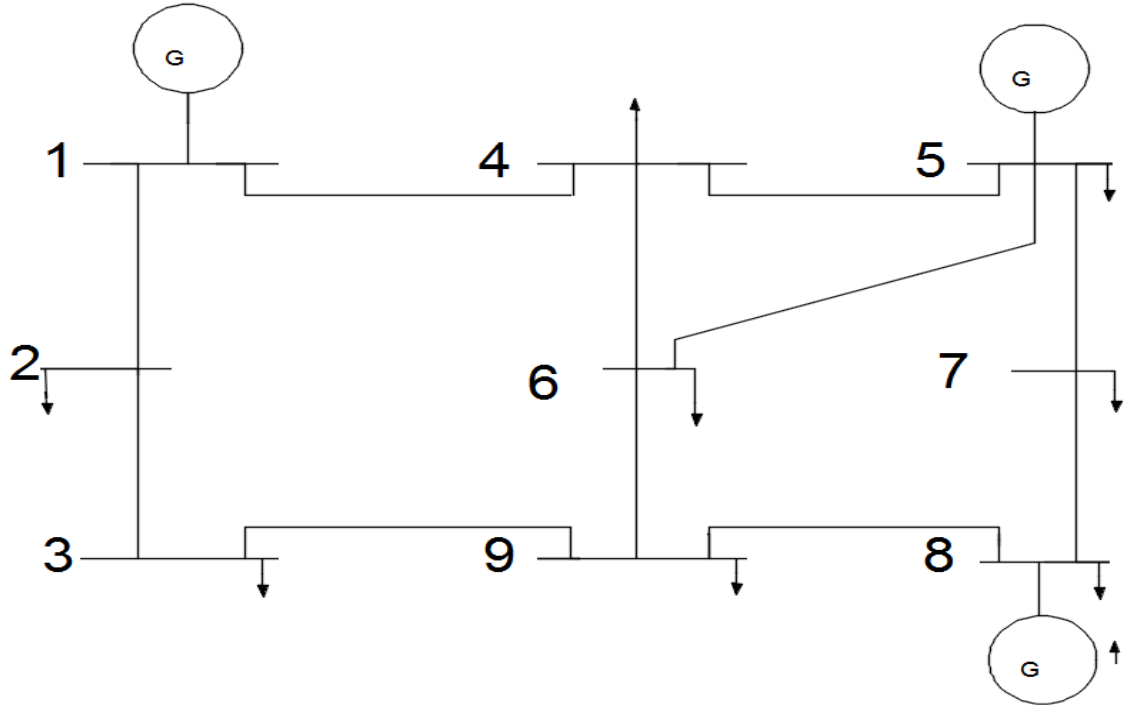
HAT NO	R(pu)	X(pu)	B(pu)
1-2	0,1	0,2	0,04
1-4	0,05	0,092	0,04
1-5	0,08	0,2	0,06
2-3	0,05	0,25	0,06
2-4	0,05	0,1	0,02
2-5	0,1	0,3	0,04
2-6	0,07	0,2	0,05
3-5	0,12	0,26	0,05
3-6	0,02	0,1	0,02
4-5	0,2	0,4	0,08
5-6	0,1	0,3	0,06

Çizelge 2.2. IEEE 6 Baralı Sistemi Generatör Verileri. [17]

Generatör Bara No	Aktif Güç Üretimi (MW)	Reaktif Güç Üretimi (MVAR)	Maksimum Aktif Güç Üretimi (MW)	Minimum Aktif Güç Üretimi (MW)	Maksimum Reaktif Güç Üretimi (MVAR)	Minimum Reaktif Güç Üretimi (MVAR)
1	0	0	200	50	100	-100
2	50	0	150	37,5	100	-100
3	60	0	180	45	100	-100

Çizelge 2.3. IEEE 6 Baralı Sistemi Bara Verileri. [17]

Bara No	Bara Tipi	Gerilimin Genliği (pu)	Gerilimin Açısı (Derece)	Yükün Aktif Gücü (MW)	Yükün Reaktif Gücü (MVAR)	Şönt Kapasitans (MVAR)	Maksimum Gerilim Genliği (pu)	Minimum Gerilim Genliği (pu)
1	SB	1,05	0	0	0	0	1,1	0,9
2	PV	1,05	0	0	0	0	1,1	0,9
3	PV	1,07	0	0	0	0	1,1	0,9
4	PQ	1	0	70	70	0	1,1	0,9
5	PQ	1	0	70	70	0	1,1	0,9
6	PQ	1	0	70	70	0	1,1	0,9



Şekil 2.2. IEEE 9 Baralı Sistemi Tek Hat Şeması. [41]

IEEE 9 baralı sistemde bir numaralı bara salınım barası(SB), beş ve sekiz numaralı baralar generatör barası (PV), iki, üç, dört, altı, yedi ve dokuz numaralı baralar ise yük (PQ) barasıdır. Dokuz baralı sisteme ilişkin veriler Çizelge 2.4 ile Çizelge 2.5’de görülmektedir.

Çizelge 2.4. IEEE 9 Baralı Sistemi Hat verileri. [41]

HAT NO	R(pu)	X(pu)	1/2 B(pu)	Transformer Tap
1-2	0,0180	0,0540	0,0045	1
1-4	0,0150	0,0450	0,0038	1
2-3	0,0180	0,0560	0	1
3-9	0,0200	0,0600	0	1
4-5	0,0130	0,0360	0,0030	1
4-6	0,0200	0,0660	0	1
5-6	0,0600	0,030	0,0028	1
5-7	0,0140	0,0360	0,0030	1
6-9	0,0100	0,0500	0	1
7-8	0,0320	0,0760	0	1
8-9	0,0220	0,0650	0	1

Çizelge 2.5. IEEE 9 Baralı Sistemi Generatör ve Yük verileri. [41]

Bara No	Bara Tipi	Gerilim		Yük		Üretim	
		$ V $ (PU)	δ (Degree)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	Slack	1,0300	0	0	0		
2	PQ	1,0000	0	10	5		
3	PQ	1,0000	0	25	15		
4	PQ	1,0000	0	60	40		
5	PV	1,0600	0	10	5	80	
6	PQ	1,0000	0	100	80		
7	PQ	1,0000	0	80	60		
8	PV	1,0100	0	40	20	120	
9	PQ	1,0000	0	20	10		

2.1. POWERWORLD SİMÜLATÖR

PowerWorld yazılımında değişik sistemler üzerinde yük akış analizi gerçekleştirilebilmektedir. Yazılımda güç sistemine ilişkin hat, generatör, bara ve yük gibi tüm elemanların sembolü (çizim ikonu) bulunmaktadır. Önce bu ikonlar kullanılıp sistemin çizimi yapılır ve sonra her elemana ait datalar girilir. Yazılım, girilen datalara göre yük akış hesaplamasını gerçekleştirir. Yazılımda yük akış işlemi sonunda; her bir hattan çekilen Aktif (MW) ile Reaktif (MVar) güç değerleri, Kapasitörler ile reaktörlere ait güç değerleri hesaplanır. İstenirse generatörlerin reaktif (MVar) güç değeri sınırlandırılabilir, istenen bara salınım barası(SB) olarak belirlenebilir. Bunlara ek olarak her bir hat için reaktif ve aktif güç kayıpları ve sisteme ait toplam kayıplar hesaplanabilir[18].

2.2. MATLAB

Matlab (Matrix Laboratory- Matris Laboratuvarı) kelimelerinden oluşturulmuştur. Matlab programı yüksek performanslı bir dildir. Matlab, Görüntü İşleme, Kontrol, Güç Sistemleri, Bulanık Mantık, Sayısal İşaret İşleme, Yapay sinir Ağları, İstatistik, Finans, Filtre Dizaynı, Genetik Algoritma gibi birçok alanda kullanılabilir çok sayıda araç kutusu (Tool Box) içermektedir [20,21]. Matlab'ın önemli üstünlüklerinden biri de; bir çok işleme ilişkin algoritmayı birkaç komutla gerçekleştirebilmesidir [20,21].

Matlab'ın Kullanım alanları aşağıdaki gibi ifade edilebilir; [22]

- Matematik ve Hesaplama İşlemleri

- Algoritma Oluşturma
- Data Toplaması
- Modelleme, Benzetişim (Simülasyon), Prototipleme
- Bilimsel ve mühendislik için grafik çizimleri
- Grafik kullanıcı ara yüz yapısı da dahil olmak üzere uygulama oluşturabilme

Matlab, sayısal hesaplamaları yapmak için geliştirilmiş olmakla birlikte 5.0 sürümünden itibaren *Symbolic Math Toolbox* program paketinin eklenmesiyle sembolik matematiksel işlemler de yapılabilir olmuştur [22].

2.3. P-V EĞRİLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Güç katsayısı ile kaynak gerilimi sabit olarak hattın sonunda yük barasına ait aktif güç sıfırdan başlatılıp aşamalı şekilde arttırılıp yük barasının gerilim genliğinin aktif güce bağlı değişim grafiği çizilerek P-V eğrisi oluşturulmuş olur. P-V eğrisi üzerinden sistem kritik değerleri tespit edilebilir [16,27]. Hat sonundaki gerilim ile hat sonundaki aktif güç büyüklüğünün ilişkisi, $ax^2 + bx + c = 0$ şeklinde ikinci derece denklem formatında ifade edilerek P-V eğrileri çizilebilir. İkinci derece denklemin oluşturulması için nakil hattının sabitleri hesaplanır. Baraların reaktif ve aktif güçleri ve gerilim genlikleri güç akışından elde edilir. Oluşturulan denklemin bilgisayar ortamında grafiğinin çizilmesi ile P-V eğrisi çizilmiş olunur [16]. Nakil hattına ilişkin Şekil 2.3’de görülen model dikkate alınır; sırayla V_s , I_s : generatör barasına ait gerilim ve akım; V_r , I_r : yük barasına ait gerilim ve akım; A,B,C,D : Uzun nakil hattı sabitleri olup aşağıdaki Denklem (2.1) elde edilmiş olur [16].

$$V_s = AV_r + BI_r \quad (2.1)$$

Bu ifadede Q_r , P_r , S_r sırayla yükün reaktif güç, aktif güç ve görünür güç değerleri olup,

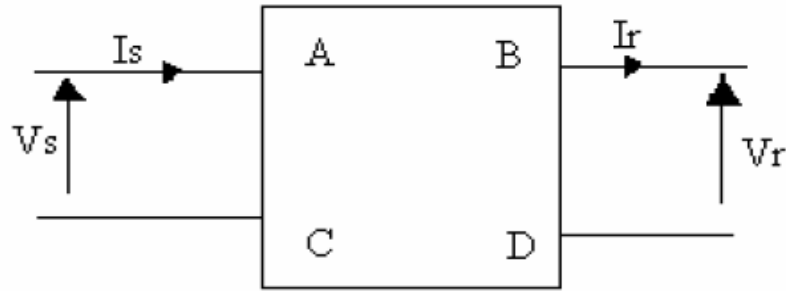
$$S_r = P_r + jQ_r = V_r I_r^* \quad (2.2)$$

$$I_r^* = \frac{P_r + JQ_r}{V_r} \Rightarrow I_r = \frac{P_r - JQ_r}{V_r^*} \quad (2.3)$$

Olarak yazılır [16]. Denklem(2.1)' de sağdaki parametreler açık olarak yazılıp gereken düzenleme işlemleri yapıldığında Denklem (2.4)'e ulaşılır [16,19].

$$|A|^2 |V_r|^4 + [2P_r(a_1b_1 + a_2b_2) + 2(p_r \tan \varphi)^2(a_1b_2 - a_2b_1)] |V_r|^2 + |B|^2 (P_r^2 + (p_r \tan \varphi)^2) = 0 \quad (2.4)$$

Bu ifadede $|V_r|^2 = X$ olarak göz önüne alınırsa Denklem(2.4), $ax^2 + bx + c = 0$ şeklinde 2. derece denklem formatına sokulmuş olur. Uzun nakil hattının sabitleri hesaplanarak a_1, a_2, b_1, b_2, A ve B değerleri'ne ulaşılır. Güç katsayısı sabit alındığından yüke ait güç açısı φ de bellidir. yük barasına ait aktif güç P_r , sıfırdan başlatılıp aşamalı şekilde artırılıp her seferde ikinci derece denklem çözülerek $|V_r|$ değeri hesaplanır. Elde edilen değerler kullanılarak eksenlerin birisi aktif güç diğeri gerilim genliği olacak şekilde grafik çizilirse yük barasına ait P-V eğrisi ortaya çıkarılmış olunur [16,19].



Şekil 2.3. İletim Hattı iki Kapılı Devre Modeli.[16]

Burada denklem(2.4)'deki nakil hattı değişkenlerinin (A,B,C,D) hesaplanması için iletken empedansı (Z_h) ve iletken admitansı (Y_h) değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu değerlerin elde edilmesi için güç sistemi, salınım barası(SB) ile kritik değerleri aranan yük barasından oluşmuş tek iletkenli ve 2 baralı sisteme indirgenmelidir. Bunun için Bara İndirgeme Yöntemi kullanılır [16].

2.4. BARA İNDİRGEME YÖNTEMİ

Sistemde n, bara sayısı olarak kritik değerleri aranan yük barası ve salınım barası(SB) haricindeki baraların reaktif ve aktif güç büyüklükleri admitansa dönüştürülüp bara admitans matrisinde ana köşegenin ilgili elemanına ilave edilir. oluşturulan yeni bara admitans matrisinde indirgeme işlemi yapılır ve matris 2x2 boyutlu hale getirilir. Sonrasında Denklem(2.4)'ün kullanımıyla sisteme ait P-V eğrisi çizilir. Bara İndirgeme Yöntemi İşlemler sırası şu şekilde belirtilebilir: yük akışı yapılır ve baralara ilişkin reaktif güç, aktif güç ve gerilim genlikleri hesaplanır. Salınım barası ile kritik değerleri incelenen yük barası haricindeki baraların reaktif ve aktif güç büyüklükleri (2.5), (2.6), (2.7) ve (2.8) nolu denklemler kullanılarak admitans değerlerine dönüştürülür [16].

$$S_i = P_i + jQ_i \quad (2.5) \quad Z_i = \frac{V_i}{I_i} e^{j\varphi} = \frac{V_i^2}{V_i I_i} e^{j\varphi} = \frac{V_i^2}{S_i} e^{j\varphi} \quad (2.7)$$

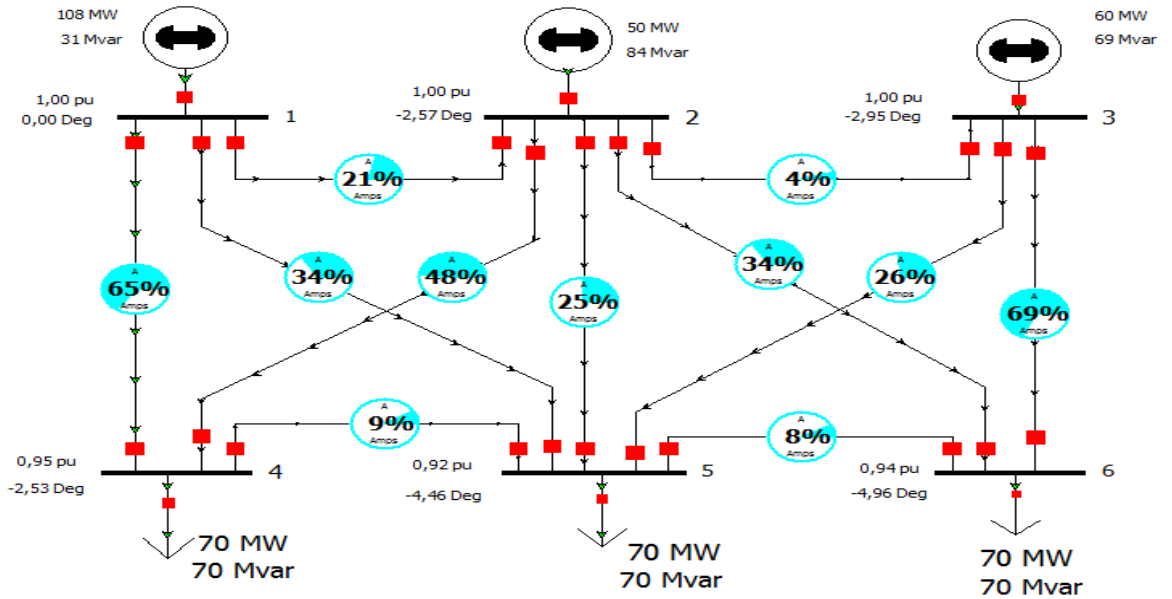
$$\varphi_i = \tan^{-1} \left(\frac{Q_i}{P_i} \right) \quad (2.6) \quad Y_i = \frac{1}{Z_i} \quad (2.8)$$

Hesaplanmış olan admitanslar, generatör barasında (-) işaretli olarak, yük barasında (+) işaretli şekilde bara admitans matrisinde ana köşegenin ilgili elemanına ilave edilir. Oluşturulan yeni matriste kritik değerleri aranan yük barası 1.satır–1.sütunda, salınım barası 2.satır–2.sütunda, Y_{11}, Y_{22}, Y_{33} gibi ana köşegene ait elemanlar ise önceki gibi ana köşegenin üzerinde kalacak şekilde satırlar ve sütunlar yer değişme işlemine tabi tutulur. Denklem(2.9) uygulanarak bara admitans matrisi 2x2 ebatına indirgenmiş olunur. Son olarak oluşturulan bu 2x2'lik matrise ait elemanlar ile Denklem (2.4) kullanılıp kritik değerleri hesaplanmak istenen baraya ilişkin P-V eğrisi çizilir[16,19].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. IEEE 6 BARALI SİSTEMİ DSR'SİZ DURUM İÇİN KRİTİK DEĞERLERİN ELDE EDİLMESİ

IEEE 6 Baralı Sistemde normal durumda (DSR ekli değil) PowerWorld yazılımı çalıştırılınca alınan sonuçlara ait simülasyon çıktısı Şekil 3.1'de ve güç akışına ilişkin değerler de Çizelge 3.1'de verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında sistemde en fazla yüklenmenin (1-4) ile (3-6) numaralı hatlarda gerçekleştiği görülmektedir. Bu hatlar üzerindeki yüklenme oranları düşürülebilirse bu durum; bir taraftan nakil hatlarının rahatlatılmasıyla kayıpların düşürülmesi öte yandan ise güç sisteminin daha güvenli işletilmesi bakımından çok ciddi bir avantaj oluşturacaktır. Bunun için ileriki aşamada (1-4) ve (3-6) numaralı hatlara DSR cihazları ilave edilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Kritik değerlere ilişkin hesaplamalarda Hat Uzunluğu $l=550$ km, Generatör Gerilimi $V_s=220$ kv ve Görünür Güç Baz Değeri $SB=100$ MVA alınmıştır. Ayrıca tüm yük baraları için $S = P + jQ = 70 + j70$ olup $\varphi = \tan^{-1}(70/70) = 45^\circ$ ve $\cos\varphi = \cos(45^\circ) = 0.707$ alınmıştır. Her bir yük barası için, sistemde DSR Modülü olmadan kritik değerlerin elde edilmesine ilişkin işlemler aşağıda verilmiştir. DSR Modülü eklendikten sonraki kritik değerlerin elde edilmesine ilişkin işlemler ise, Bölüm 3.2'de verilmektedir.



Şekil 3.1. IEEE 6 Baralı Güç Sistemi PowerWorld Simülasyon Görünümü.

Çizelge 3.1. DSR'siz Durum İçin Güç Akışı Sonuçları

Bara No	P(pu)	Q(pu)	V(pu)
1	1,08	0,31	1
2	0,50	0,84	1
3	0,60	0,69	1
4	0,70	0,70	0,95
5	0,70	0,70	0,92
6	0,70	0,70	0,94

Sistemin IEEE standart verilerine göre hesaplanan bara admitans matrisi Denklem (3.1)'de görülmektedir.

$$\begin{bmatrix}
 8,2845 - 16,6314i & -2,0000 + 4,0000i & 0 & -4,5604 + 8,3911i & -1,7241 + 4,3103i & 0 \\
 -2,0000 + 4,0000i & 9,3283 - 23,1955i & -0,7692 + 3,8462i & -4,0000 + 8,0000i & -1,0000 + 3,0000i & -1,5590 + 4,4543i \\
 0 & -0,7692 + 3,8462i & 4,1557 - 16,5673i & 0 & -1,4634 + 3,1707i & -1,9231 + 9,6154i \\
 -4,5604 + 8,3911i & -4,0000 + 8,0000i & 0 & 9,5604 - 18,3211i & -1,0000 + 2,0000i & 0 \\
 -1,7241 + 4,3103i & -1,0000 + 3,0000i & -1,4634 + 3,1707i & -1,0000 + 2,0000i & 6,1876 - 15,3361i & -1,0000 + 3,0000i \\
 0 & -1,5590 + 4,4543i & -1,9231 + 9,6154i & 0 & -1,0000 + 3,0000i & 4,4821 - 17,0047i
 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

3.1.1. 4 Numaralı Yük Barası

Kritik değerleri araştırılan bara, dört nolu bara ve salınım barası ise bir nolu bara olduğundan iki, üç, beş ve altı nolu baralara ait aktif güç ve reaktif güç değerleri admitansa dönüştürülerek bara admitans matrisinde ilgili ana köşegen elemanlarına eklenecek. iki, üç, beş ve altı nolu baralara ilişkin reaktif güç ve aktif güç değerleri için hesaplanan empedans ve admitanslar Çizelge 3.2.'deki gibidir.

Çizelge 3.2. 2, 3, 5 ve 6 nolu baralara ilişkin aktif güç ve reaktif güç değerleri için hesaplanan empedans ve admitanslar.

Empedans Değerleri (Z)	Admitans Değerleri (Y)
-0,0858 + 1,0194i	-0,0820 - 0,9741i
-0,5798 - 0,9273i	-0,4848 + 0,7753i
0,8320 + 0,1968i	1,1382 - 0,2693i
0,8686 + 0,2055i	1,0903 - 0,2579i

Çizelge 3.2'deki admitans değerleri ilgili ana köşegen elemanlarına eklendikten sonra aşağıda belirtilen satır ve sütun işlemlerinin yapılması sonucu elde edilen yeni bara admitans matrisi Denklem (3.2)'de görüldüğü şekilde elde edilir.

- 1.sütun ile 2.sütun yer değişir.
- 1.satır ve 2.satır yer değişir.
- 1.sütun ve 4.sütun yer değişir.
- 1.satır ve 4.satır yer değişir.

$$\begin{bmatrix} 9,2329 & -18,0995i & -4,2329 + 8,1695i & 0 & -4,0000 + 8,0000i & -1,0000 + 2,0000i & 0 \\ -4,2329 + 8,1695i & 7,9570 & -16,4098i & 0 & -2,0000 + 4,0000i & -1,7241 + 4,3103i & 0 \\ 0 & 0 & 4,4616 & -16,9013i & -0,7692 + 3,8462i & -1,4634 + 3,1707i & -1,7441 + 9,1741i \\ -4,0000 + 8,0000i & -2,0000 + 4,0000i & -0,7692 + 3,8462i & 9,4102 & -22,2214i & -1,0000 + 3,0000i & -1,5590 + 4,4543i \\ -1,0000 + 2,0000i & -1,7241 + 4,3103i & -1,4634 + 3,1707i & -1,0000 + 3,0000i & 7,3257 & -15,6053i & -1,0000 + 3,0000i \\ 0 & 0 & -1,7441 + 9,1741i & -1,5590 + 4,4543i & -1,0000 + 3,0000i & 5,3934 & -16,8214i \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Bu matrsten, Bara İndirgeme İşlemi için gerekli olan matrisler, sırasıyla Denklem (3.3), Denklem(3.4), Denklem(3.5), Denklem(3.6), Denklem(3.7)'deki gibi elde edilir.

$$K = \begin{bmatrix} 9,2329 & -18,0995i & -4,2329 + 8,1695i \\ -4,2329 + 8,1695i & 7,9570 & -16,4098i \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$L = \begin{bmatrix} 0 & -4,0000 + 8,0000i & -1,0000 + 2,0000i & 0 \\ 0 & -2,0000 + 4,0000i & -1,7241 + 4,3103i & 0 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$M = \begin{bmatrix} 4,4616 & -16,9013i & -0,7692 + 3,8462i & -1,4634 + 3,1707i & -1,7441 + 9,1741i \\ -0,7692 + 3,8462i & 9,4102 & -22,2214i & -1,0000 + 3,0000i & -1,5590 + 4,4543i \\ -1,4634 + 3,1707i & -1,0000 + 3,0000i & 7,3257 & -15,6053i & -1,0000 + 3,0000i \\ -1,7441 + 9,1741i & -1,5590 + 4,4543i & -1,0000 + 3,0000i & 5,3934 & -16,8214i \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$L^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -4,0000 + 8,0000i & -2,0000 + 4,0000i \\ -1,0000 + 2,0000i & -1,7241 + 4,3103i \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

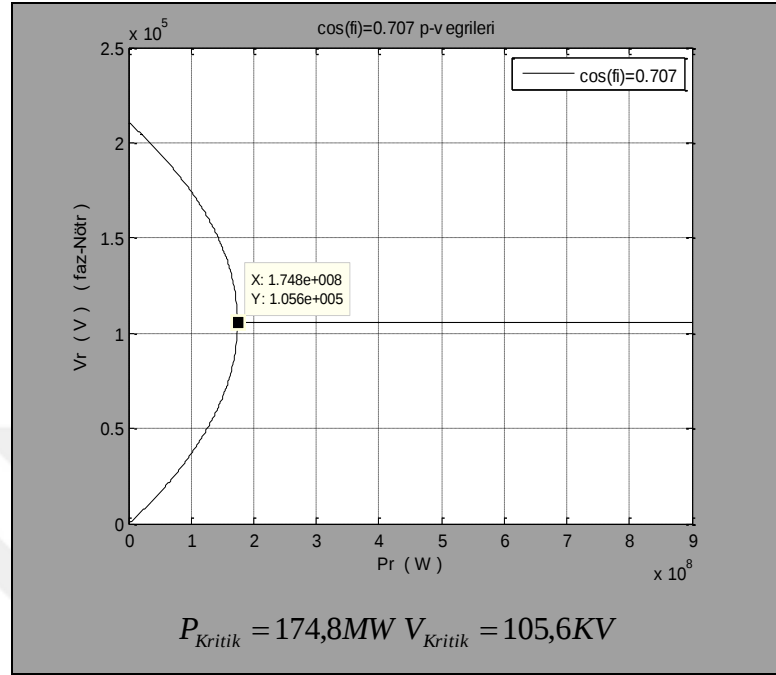
$$M^{-1} = \begin{bmatrix} 0,0497 + 0,1049i & 0,0243 + 0,0324i & 0,0247 + 0,0379i & 0,0435 + 0,0675i \\ 0,0243 + 0,0324i & 0,0288 + 0,0512i & 0,0166 + 0,0207i & 0,0251 + 0,0330i \\ 0,0247 + 0,0379i & 0,0166 + 0,0207i & 0,0388 + 0,0697i & 0,0265 + 0,0365i \\ 0,0435 + 0,0675i & 0,0251 + 0,0330i & 0,0265 + 0,0365i & 0,0556 + 0,1021i \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Yukarıdaki matrislerin Denklem (2.9)'da yerlerine yazılmasıyla, Denklem (3.8)'de verilen 2X2'lik matris ve bu matrisin elemanlarının kullanılmasıyla da Denklem (3.9)'da verilen hat empedansı (Z_h) ve hat admitansı (Y_h) elde edilir.

$$Y_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 7,2381 - 12,6299i & -6,0328 + 12,6652i \\ -6,0328 + 12,6652i & 7,1949 - 12,8068i \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

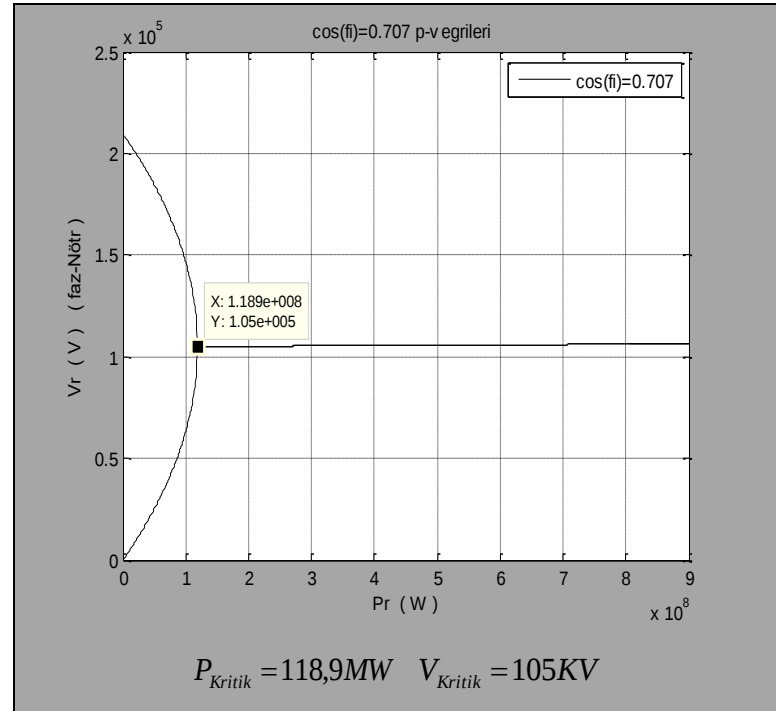
$$\begin{aligned} Z_h &= 0,0307 + 0,0644i \\ Y_h &= 2,3675 - 0,1063i \end{aligned} \quad (3.9)$$

Eşitlik 24'deki değerlerin kullanılmasıyla elde edilen P-V Eğrisi ve Kritik Değerler, Şekil 3.2'de verilmiştir.

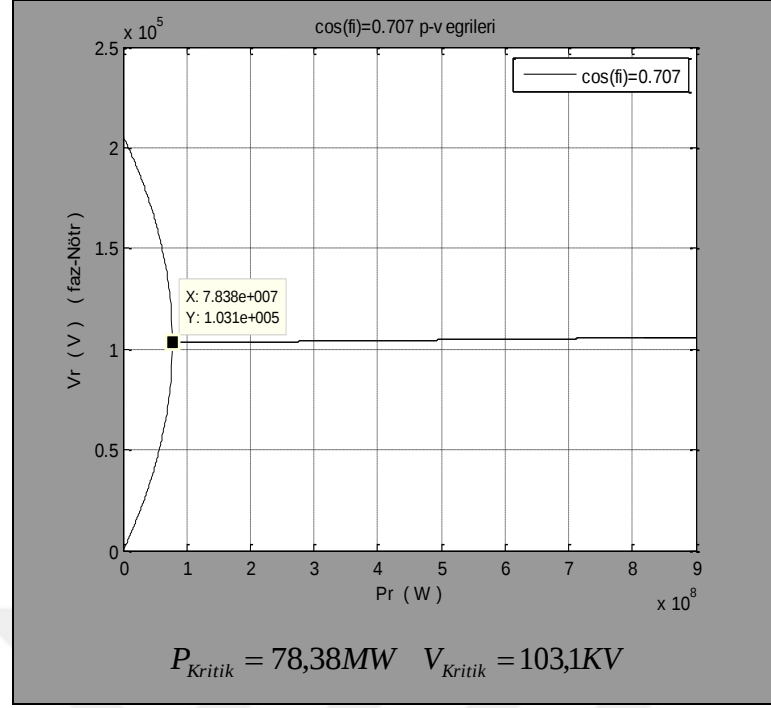


Şekil 3.2. 4 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.

Aynı işlem adımlarının beş ile altı nolu yük baralarına uygulanması sonucunda çizilen P-V eğrileri ile kritik değerler sırayla Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.3. 5 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler

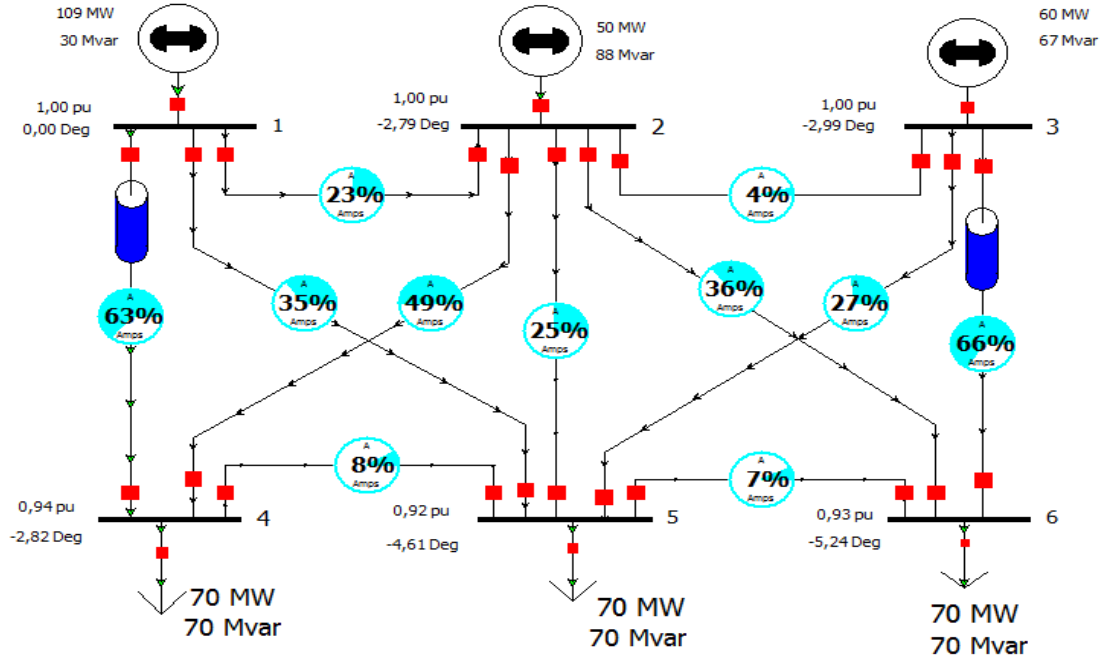


Şekil 3.4. 6 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.

Analiz işlemleri neticesinde sistemde DSR modülleri mevcut değil iken kritik değerler, dört numaralı yük barası: $P_{kritik} = 174,8MW$, $V_{kritik} = 105,6KV$, beş numaralı yük barası: $P_{kritik} = 118,9MW$, $V_{kritik} = 105KV$ ve altı numaralı yük barası: $P_{kritik} = 78,38MW$, $V_{kritik} = 103,1KV$ şeklinde hesaplanmıştır.

3.2. IEEE 6 BARALI SİSTEM DSR'Lİ DURUM KRİTİK DEĞERLERİN ELDE EDİLMESİ

Bu adımda sırası ile %65 ve %69 oranlarıyla en çok yüklenme görülen 1-4 ve 3-6 numaralı hatlara DSR cihazları ilave edilmiştir. DSR'lerin çalışmaya başlayacağı akım büyüklüğü (aktivasyon akımı) 100A, hat üzerinden çekilecek en yüksek akım (maksimum akım limiti) 500A alınmış, DSR endüktans değeri yazılımdaki mevcut değer olan cihaz başı $47\mu H$ şeklinde kullanılmıştır. Bu değerler ile yük akışı gerçekleştirilmiştir. PowerWorld yazılımından alınan simülasyon çıktısı Şekil 3.5'de, güç akışına ilişkin değerler de Çizelge 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.5. IEEE 6 Baralı Güç Sistemi simülör görünümü.

Çizelge 3.3. DSR Eklenmiş Durum İçin Güç Akışı Sonuçları.

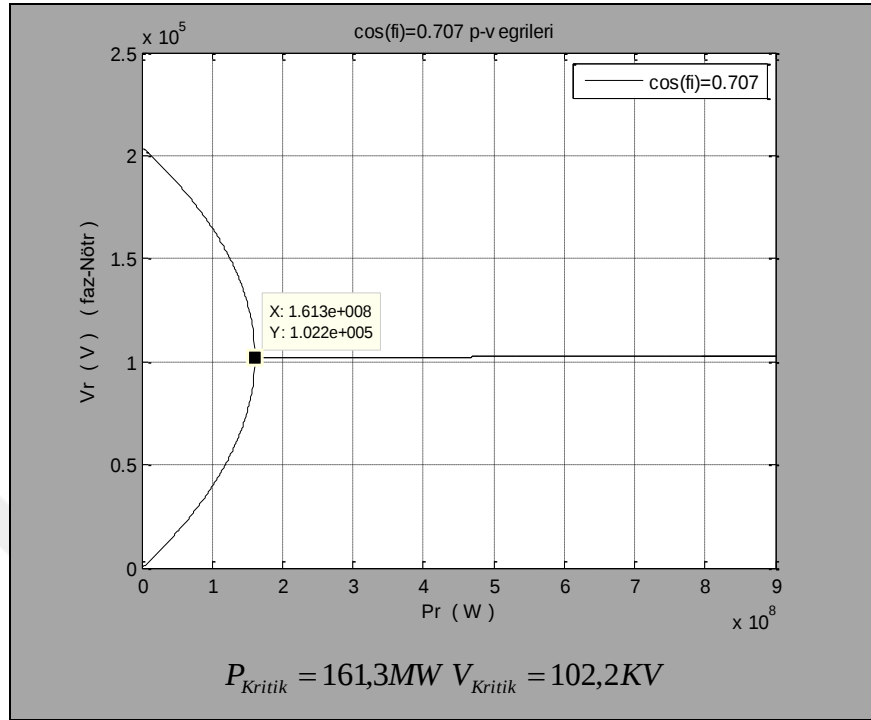
Bara No	P(pu)	Q(pu)	V(pu)
1	1,09	0,30	1
2	0,50	0,88	1
3	0,60	0,67	1
4	0,70	0,70	0,94
5	0,70	0,70	0,92
6	0,70	0,70	0,93

Sistemde sırasıyla en fazla yüklenme görülen 1-4 ve 3-6 numaralı hatlara DSR cihazları bağlandığından DSR cihazlarının oluşturduğu empedans değerlerinin ilgili hatların empedanslarına eklenmesi ile elde edilen bara admitans matrisi Denklem(3.10)'da görülmektedir.

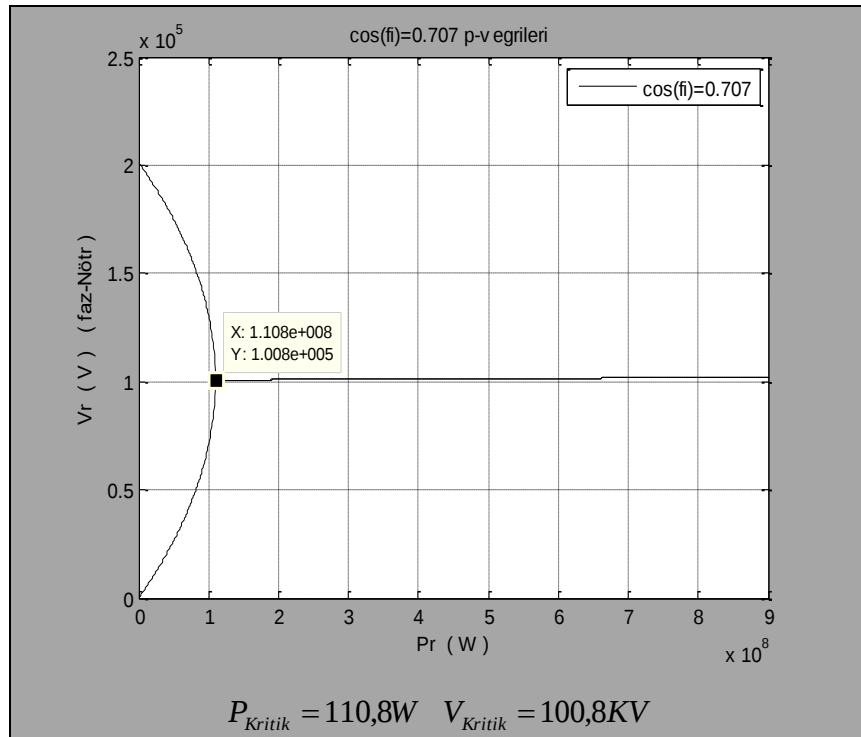
$$\begin{bmatrix}
 7,9570 & -16,4098i & -2,0000 + 4,0000i & 0 & -4,2329 + 8,1695i & -1,7241 + 4,3103i & 0 \\
 -2,0000 + 4,0000i & 9,3283 - 23,1955i & -0,7692 + 3,8462i & -4,0000 + 8,0000i & -1,0000 + 3,0000i & -1,5590 + 4,4543i \\
 0 & -0,7692 + 3,8462i & 3,9768 - 16,1260i & 0 & -1,4634 + 3,1707i & -1,7441 + 9,1741i \\
 -4,2329 + 8,1695i & -4,0000 + 8,0000i & 0 & 9,2329 - 18,0995i & -1,0000 + 2,0000i & 0 \\
 -1,7241 + 4,3103i & -1,0000 + 3,0000i & -1,4634 + 3,1707i & -1,0000 + 2,0000i & 6,1876 - 15,3361i & -1,0000 + 3,0000i \\
 0 & -1,5590 + 4,4543i & -1,7441 + 9,1741i & 0 & -1,0000 + 3,0000i & 4,3031 - 16,5635i
 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Denklem (3.10)'daki yeni bara admitans matrisi kullanılarak Bölüm 3.1.1'de belirtilen

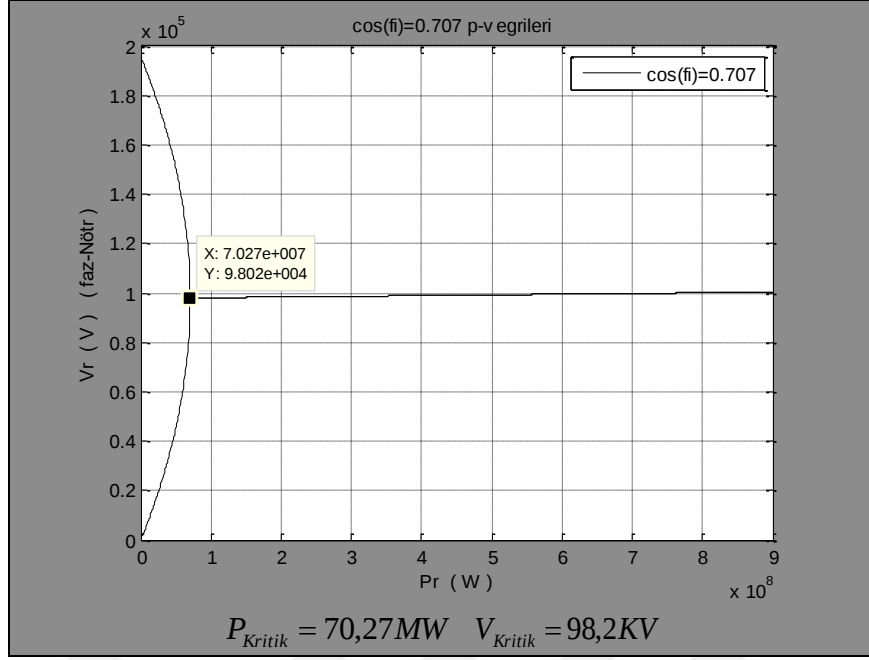
bara indirgeme işlem adımlarının uygulanması ile DSR'li durumda dört, beş ve altı nolu yük baralarına ilişkin P-V eğrileri ile kritik değerler, sırayla Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8'de görülmektedir.



Şekil 3.6. 4 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.

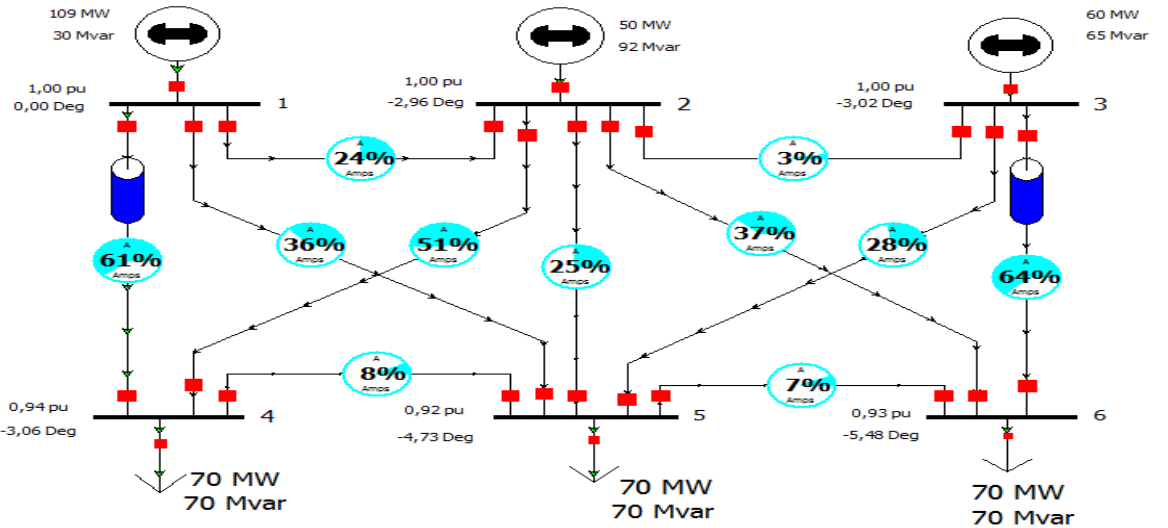


Şekil 3.7. 5 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.



Şekil 3.8. 6 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.

En fazla yüklenme görülen 1-4 ile 3-6 numaralı hatlara DSR cihazlarının ilavesi sonucunda kritik değerler, dört numaralı yük barası: $P_{kritik} = 161,3MW$, $V_{Kritik} = 102,2KV$, beş numaralı yük barası: $P_{kritik} = 110,8MW$, $V_{Kritik} = 100,8KV$ ve altı numaralı yük barası: $P_{kritik} = 70,27MW$, $V_{Kritik} = 98,2KV$ şeklinde hesaplanmıştır. Sonraki aşamada DSR endüktans değeri $94 \mu H$ 'ye çıkarılmış, diğer bütün değerler önceki durumla aynı şekilde alınmış ve sistemde yüklenmeler gözlemlenmiştir. Simülasyon çıktısı Şekil 3.9'da, güç akışına ilişkin değerler Çizelge 3.9'da görülmektedir.



Şekil 3.9. IEEE 6 Baralı Güç Sistemi Simülasyon Görünümü. (DSR=94 μH)

Çizelge 3.4. DSR Ekli Durum Güç Akışı Sonuçları. (DSR=94 μ H)

Bara No	P(pu)	Q(pu)	V(pu)
1	1,09	0,30	1
2	0,50	0,92	1
3	0,60	0,65	1
4	0,70	0,70	0,94
5	0,70	0,70	0,92
6	0,70	0,70	0,93

DSR endüktansı 94 μ H olduğunda iki numaralı generatör barasının reaktif gücünün arttığı, 3 numaralı generatör barasının reaktif gücünün azaldığı diğer değerlerde değişme olmadığı gözlenmiştir. IEEE 6 Baralı Sisteminde gerçekleştirilen çalışmaya ait sonuçlar toplu olarak aşağıda Çizelge 3.5, Çizelge 3.6, Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8’de görülmektedir.

Çizelge 3.5. Hatlardan Akan Güç Değerleri.

Hat No	DSR Öncesi Güç Akışı		DSR Sonrası Güç Akışı			
			Aktif Güç (MW)		Reaktif Güç (MVAR)	
	Aktif Güç	Reaktif Güç (MVAR)	DSR=47 μ H	DSR=94 μ H	DSR=47 μ H	DSR=94 μ H
1-4	58,04	25,27	55,99	24,82	54,11	24,41
3-6	42,68	50,25	40,80	48,09	39,14	46,23

Çizelge 3.6. Yük Baraları kritik Değerleri.

Bara No	DSR Öncesi		DSR Sonrası	
	P_{Kritik} (MW)	V_{Kritik} (KV)	P_{Kritik} (MW)	V_{Kritik} (KV)
4	174,8	105,6	161,3	102,2
5	118,9	105	110,8	100,8
6	78,38	103,1	70,27	98,2

Çizelge 3.7. Hatlardaki Yüklenme Durumu.

Hat No	DSR Öncesi Durum	DSR Sonrası Durum DSR=47 μ H	DSR Sonrası Durum DSR=94 μ H
1-2	%21	%23	%24
1-4	%65	%63	%61
1-5	%34	%35	%36
2-3	%4	%4	%3
2-4	%48	%49	%51
2-5	%25	%25	%25
2-6	%34	%36	%37
3-5	%26	%27	%28
3-6	%69	%66	%64
4-5	%9	%8	%8
5-6	%8	%7	%7

Çizelge 3.8. Hatlardaki Kayıplar

Hat No	DSR Öncesi Durum		DSR Sonrası Durum DSR=47 μ H		DSR Sonrası Durum DSR=94 μ H	
	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr
1-2	0,40	2,99	0,47	3,06	0,54	2,93
1-4	2,19	0,24	2,06	0,47	1,94	0,63
1-5	1,01	1,90	1,06	1,71	1,1	1,55
2-3	0,01	1,02	0	0,54	0	0,15
2-4	1,19	0,49	1,26	0,63	1,32	0,75
2-5	0,69	1,66	0,69	1,62	0,71	1,58
2-6	0,86	2,24	0,96	1,92	1,05	1,65
3-5	0,94	2,58	0,99	2,48	1,02	2,4
3-6	0,96	2,97	0,89	3,18	0,83	3,33
4-5	0,14	2,10	0,13	2,42	0,12	2,65
5-6	0,03	5,12	0,02	5,10	0,02	5,07

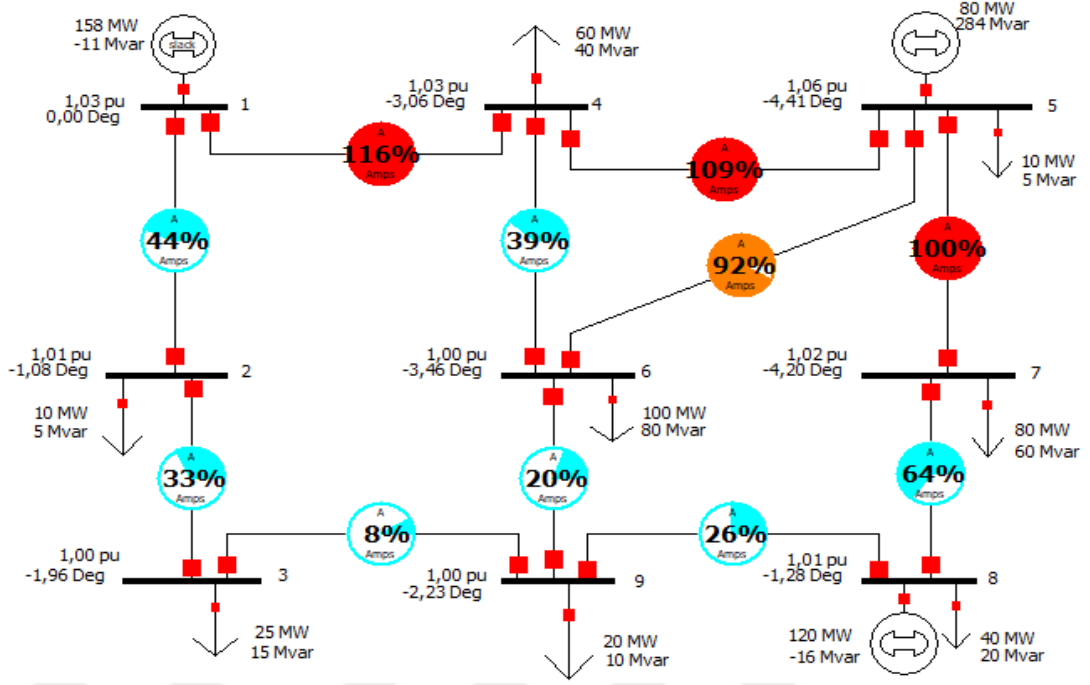
3.3. IEEE 9 BARALI SİSTEMİ DSR'SİZ DURUM İÇİN KRİTİK DEĞERLERİN ELDE EDİLMESİ

IEEE 9 Baralı Sistemde normal durumda (DSR ekli değil) PowerWorld yazılımı çalıştırılınca alınan sonuçlara ait simülasyon çıktısı Şekil 3.9'da ve güç akışına ilişkin değerler de Çizelge 3.13'de verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında sistemde en fazla yüklenmenin (1-4), (4-5), (5-6) ve (5-7) nolu hatlarda gerçekleştiği görülmektedir. Bu hatlar üzerindeki yüklenme oranları düşürülebilirse bu durum; bir taraftan nakil hatlarının rahatlatılmasıyla kayıpların düşürülmesi öte yandan ise güç sisteminin daha

güvenlikli İşletilmesi bakımından çok ciddi bir avantaj oluşturacaktır. Bunun için ileriki aşamada (1-4), (4-5), (5-6) ve (5-7) numaralı hatlara DSR cihazları ilave edilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Kritik değerlere ilişkin hesaplamalarda; Hat Uzunluğu $l=550$ km, Generatör Gerilimi $V_s=220$ kv ve Görünür Güç Baz Değeri $SB=100$ MVA alınmıştır.

- 2 nolu yük barası için $S = P + jQ = 10 + j5$, $\varphi = \tan^{-1}(10/5) = 63,4349^\circ$ ve $\cos\varphi = \cos(63,4349^\circ) = 0,4472 \cong 0,45$ alınmıştır.
- 3 nolu yük barası için $S = P + jQ = 25 + j15$, $\varphi = \tan^{-1}(25/15) = 59,0362^\circ$ ve $\cos\varphi = \cos(59,0362^\circ) = 0,5144 \cong 0,51$ alınmıştır.
- 4 nolu yük barası için $S = P + jQ = 60 + j40$, $\varphi = \tan^{-1}(60/40) = 56,3099^\circ$ ve $\cos\varphi = \cos(56,3099^\circ) = 0,5547 \cong 0,55$ alınmıştır.
- 6 nolu yük barası için $S = P + jQ = 100 + j80$, $\varphi = \tan^{-1}(100/80) = 51,3402^\circ$ ve $\cos\varphi = \cos(51,3402^\circ) = 0,6245 \cong 0,62$ alınmıştır.
- 7 nolu yük barası için $S = P + jQ = 80 + j60$, $\varphi = \tan^{-1}(80/60) = 53,1301^\circ$ ve $\cos\varphi = \cos(53,1301^\circ) = 0,6000 \cong 0,60$ alınmıştır.
- 9 nolu yük barası için $S = P + jQ = 20 + j10$, $\varphi = \tan^{-1}(20/10) = 63,4349^\circ$ ve $\cos\varphi = \cos(63,4349^\circ) = 0,4472 \cong 0,45$ alınmıştır.

Her bir yük barası için, sistemde DSR Modülü olmadan kritik değerlerin elde edilmesine ilişkin işlemler aşağıda verilmiştir. DSR Modülü eklendikten sonraki kritik değerlerin elde edilmesine ilişkin işlemler ise, Bölüm 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.10. IEEE 9 Baralı Güç Sistemi Simülör Görünümü.

Çizelge 3.9. IEEE 9 Baralı Sistem DSR'sız Durum Güç Akışı Sonuçları.

Bara No	P(pu)	Q(pu)	V(pu)
1	1,58	0,11	1,03
2	0,10	0,05	1,01
3	0,25	0,15	1,00
4	0,60	0,40	1,03
5	0,80	2,84	1,06
6	1,00	0,80	1,00
7	0,80	0,60	1,02
8	1,20	0,16	1,01
9	0,20	0,10	1,00

Sistemin IEEE standart verilerine göre hesaplanan bara admitans matrisi Denklem (3.11)'de görülmektedir.

$$\begin{bmatrix}
 12,2222 & -36,65841 & -5,5556 & +16,66671 & 0 & -6,6667 & +20,00001 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -5,5556 & +16,66671 & 10,7579 & -32,84711 & -5,2023 & +16,18501 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -5,2023 & +16,18501 & 10,2023 & -31,18501 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -5,0000 & +15,00001 \\
 -6,6667 & +20,00001 & 0 & 0 & 19,7456 & -58,44381 & -8,8737 & +24,57341 & -4,2052 & +13,87721 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -8,8737 & +24,57341 & 31,5904 & -55,35991 & -13,3333 & +6,66671 & -9,3834 & +24,12871 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -4,2052 & +13,87721 & -13,3333 & +6,66671 & 21,3847 & -39,77181 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9,3834 & +24,12871 & 0 & 14,0893 & -35,30221 & -4,7059 & +11,17651 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4,7059 & +11,17651 & 9,3778 & -24,97981 \\
 0 & 0 & -5,0000 & +15,00001 & 0 & 0 & -3,8462 & +19,23081 & 0 & -4,6719 & +13,80341 & 13,5181 & -48,03411
 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

3.3.1. 2 Numaralı Yük Barası

Kritik değerleri araştırılan bara, iki nolu bara ve salınım barası ise bir nolu bara olduğundan üç, dört, beş, altı, yedi, sekiz ve dokuz nolu baralara ait aktif güç ve reaktif güç değerleri admitansa dönüştürülüp bara admitans matrisinde ilgili ana köşegen elemanlarına eklenecektir. Üç, dört, beş, altı, yedi, sekiz ve dokuz nolu baralara ilişkin reaktif güç ve aktif güç değerleri için hesaplanan empedans ve admitanslar Çizelge 3.14.'de görülmektedir.

Çizelge 3.10. 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 nolu baralara ait aktif güç ve reaktif güç değerleri için hesaplanan empedans ve admitans değerleri.

Empedans Değerleri (Z)	Admitans Değerleri (Y)
1,8746 – 2,8724i	0,1593 + 0,2442i
-0,1693 + 1,4614i	-0,0782 – 0,6752i
-0,2875 – 0,2497i	-1,9826 + 1,7219i
0,7492 + 0,2203i	1,2286 – 0,3612i
0,1019 – 1,0354i	0,0941 + 0,9565i
0,3218 + 0,7787i	0,4533 – 1,0968i
2,5330 + 3,6856i	0,1267 – 0,1843i

Çizelge 3.14'deki admitans değerleri ilgili ana köşegen elemanlarına eklendikten sonra aşağıda belirtilen satır ve sütun işlemlerinin yapılması sonucu elde edilen yeni bara admitans matrisi Denklem(3.12)'de görüldüğü gibi elde edilmiş olur.

- 1.sütun ve 2.sütun yer değişir.
- 1.satır ve 2.satır yer değişir.

$$\begin{bmatrix}
 10,7579 & -32,8471i & -5,5556 & +16,6667i & -5,2023 & +16,1850i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -5,5556 & +16,6667i & 12,2222 & -36,6584i & 0 & -6,6667 & +20,0000i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -5,2023 & +16,1850i & 0 & 10,3616 & -30,9408i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -5,0000 & +15,0000i \\
 0 & -6,6667 & +20,0000i & 0 & 19,6674 & -59,1190i & -8,8737 & +24,5734i & -4,2052 & +13,8772i & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -8,8737 & +24,5734i & 33,5730 & -57,0818i & -13,3333 & + 6,6667i & -9,3834 & +24,1287i & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -4,2052 & +13,8772i & -13,3333 & + 6,6667i & 22,6133 & -40,1331i & 0 & 0 & -3,8462 & +19,2308i \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9,3834 & +24,1287i & 0 & 14,1834 & -34,3456i & -4,7059 & +11,1765i & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4,7059 & +11,1765i & 8,9245 & -23,8830i & -4,6719 & +13,8034i \\
 0 & 0 & -5,0000 & +15,0000i & 0 & 0 & 0 & -3,8462 & +19,2308i & 0 & -4,6719 & +13,8034i & 13,6447 & -48,2184i
 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Bu matristen, Bara İndirgeme İşlemi için gerekli olan matrisler, sırasıyla Denklem(3.13), Denklem(3.14), Denklem(3.15), Denklem(3.16), Denklem(3.17)'deki gibi elde edilir.

$$K = \begin{bmatrix} 10,7579 & -32,8471i & -5,5556 & +16,6667i \\ -5,5556 & +16,6667i & 12,2222 & -36,6584i \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

$$L = \begin{bmatrix} -5,2023 & +16,1850i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -6,6667 & +20,0000i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$M = \begin{bmatrix} 10,3616 & -30,9408i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -5,0000 & +15,0000i \\ 0 & 19,6674 & -59,1190i & -8,8737 & +24,5734i & -4,2052 & +13,8772i & 0 & 0 \\ 0 & -8,8737 & +24,5734i & 33,5730 & -57,0818i & -13,3333 & +6,6667i & -9,3834 & +24,1287i \\ 0 & -4,2052 & +13,8772i & -13,3333 & +6,6667i & 22,6133 & -40,1331i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -9,3834 & +24,1287i & 0 & 14,1834 & -34,3456i & -4,7059 & +11,1765i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -4,7059 & +11,1765i & 8,9245 & -23,8830i & -4,6719 & +13,8034i \\ -5,0000 & +15,0000i & 0 & 0 & -3,8462 & +19,2308i & 0 & -4,6719 & +13,8034i & 13,6447 & -48,2184i \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

$$L^T = \begin{bmatrix} -5,2023 & +16,1850i & 0 \\ 0 & -6,6667 & +20,0000i \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

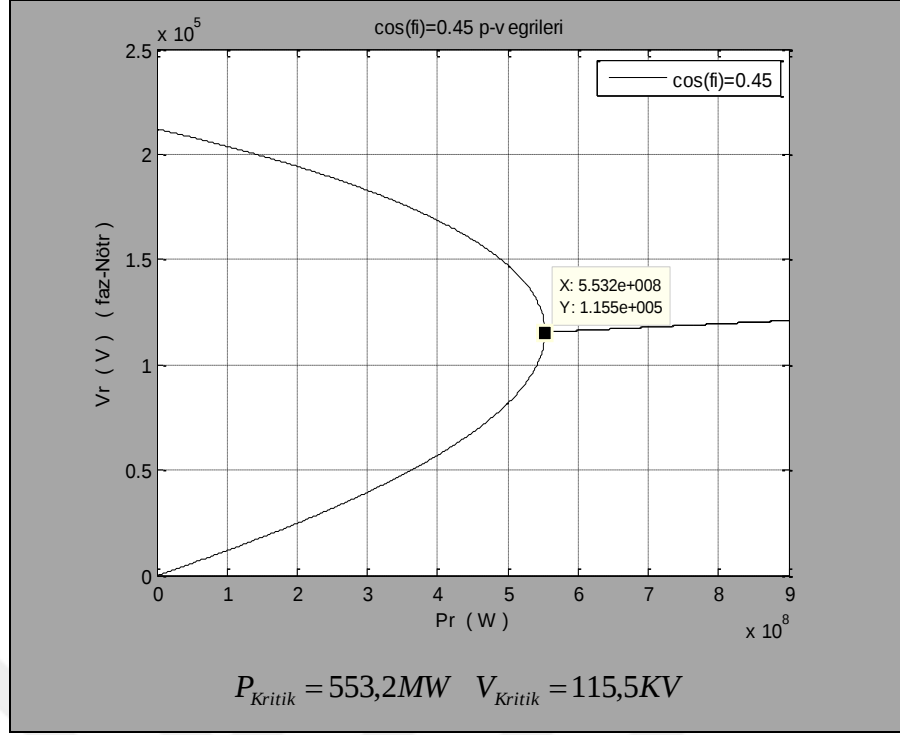
$$M^{-1} = \begin{bmatrix} 0,0150 + 0,0421i & 0,0047 + 0,0099i & 0,0063 + 0,0141i & 0,0092 + 0,0171i & 0,0078 + 0,0174i & 0,0100 + 0,0236i & 0,0108 + 0,0268i \\ 0,0047 + 0,0099i & 0,0133 + 0,0331i & 0,0135 + 0,0279i & 0,0115 + 0,0262i & 0,0136 + 0,0274i & 0,0119 + 0,0248i & 0,0097 + 0,0204i \\ 0,0063 + 0,0141i & 0,0135 + 0,0279i & 0,0254 + 0,0468i & 0,0134 + 0,0349i & 0,0243 + 0,0447i & 0,0186 + 0,0381i & 0,0129 + 0,0291i \\ 0,0092 + 0,0171i & 0,0115 + 0,0262i & 0,0134 + 0,0349i & 0,0256 + 0,0497i & 0,0157 + 0,0363i & 0,0182 + 0,0374i & 0,0189 + 0,0353i \\ 0,0078 + 0,0174i & 0,0136 + 0,0274i & 0,0243 + 0,0447i & 0,0157 + 0,0363i & 0,0361 + 0,0741i & 0,0255 + 0,0562i & 0,0160 + 0,0360i \\ 0,0100 + 0,0236i & 0,0119 + 0,0248i & 0,0186 + 0,0381i & 0,0182 + 0,0374i & 0,0255 + 0,0562i & 0,0374 + 0,0914i & 0,0206 + 0,0487i \\ 0,0108 + 0,0268i & 0,0097 + 0,0204i & 0,0129 + 0,0291i & 0,0189 + 0,0353i & 0,0160 + 0,0360i & 0,0206 + 0,0487i & 0,0221 + 0,0554i \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Yukarıdaki matrislerin Denklem (2.9)'da yerlerine yazılmasıyla Denklem(3.18)'de verilen 2X2'lik matris ve bu matrisin elemanlarının kullanılmasıyla da Denklem (3.19)'da verilen hat empedansı (Z_h) ve hat admitansı (Y_h) elde edilir.

$$Y_{2X2} = \begin{bmatrix} 8,1130 - 21,3514i & -6,2836 + 20,5239i \\ -6,2836 + 20,5239i & 7,1896 - 20,4467i \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

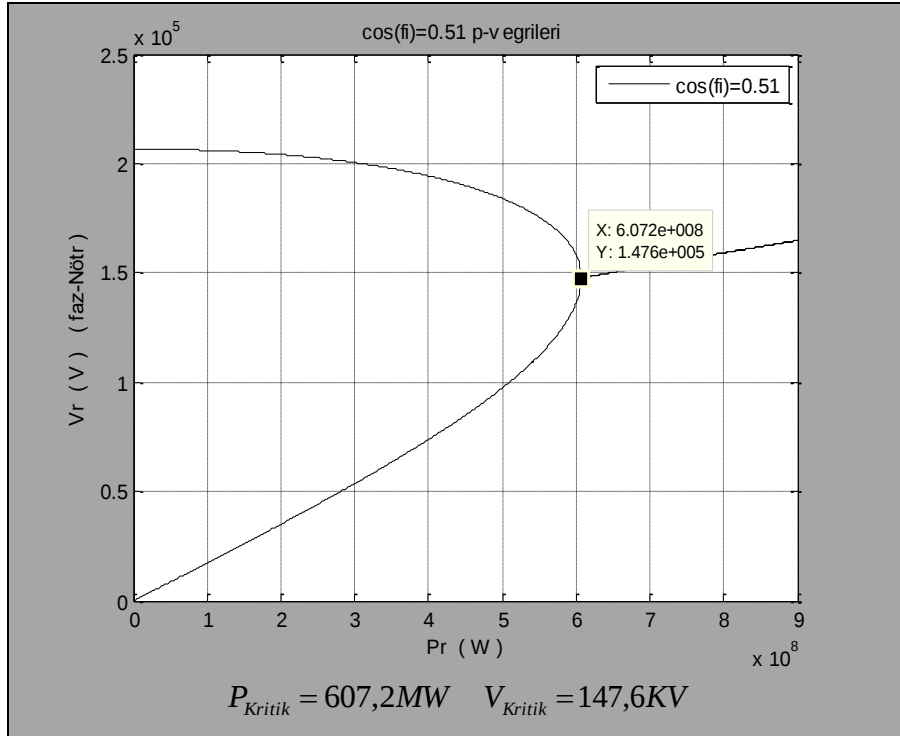
$$\begin{aligned} Z_h &= 0,0136 + 0,0445i \\ Y_h &= 2,7353 - 0,7502i \end{aligned} \quad (3.19)$$

Denklem(3.19)'daki değerlerin kullanılmasıyla elde edilen P-V Eğrisi ve Kritik Değerler, Şekil 3.11'de verilmiştir.

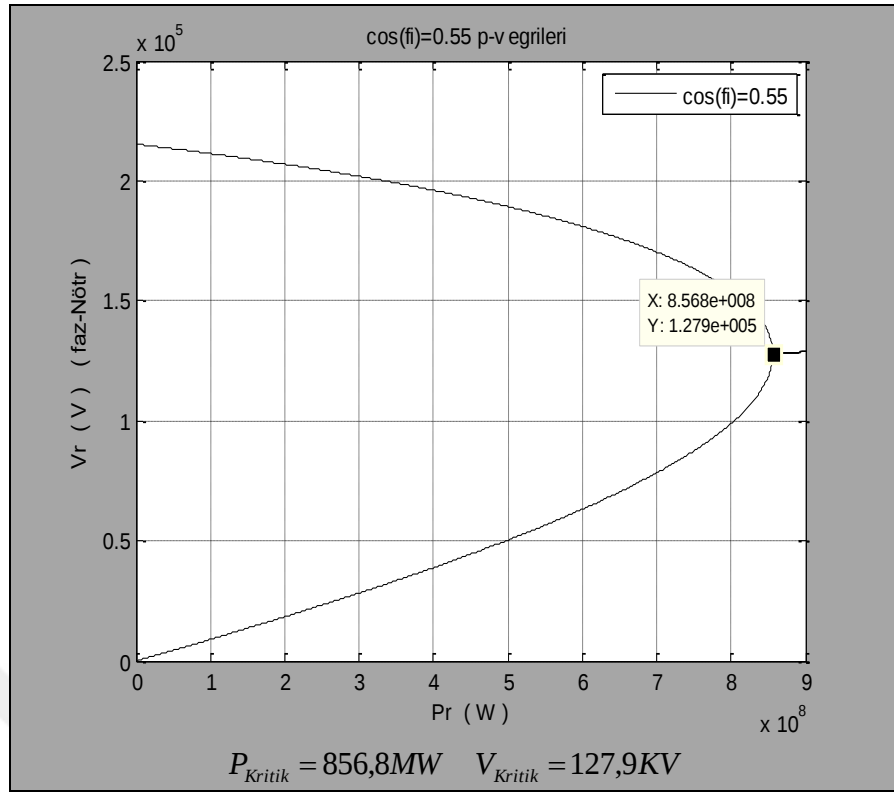


Şekil 3.11. 2 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.

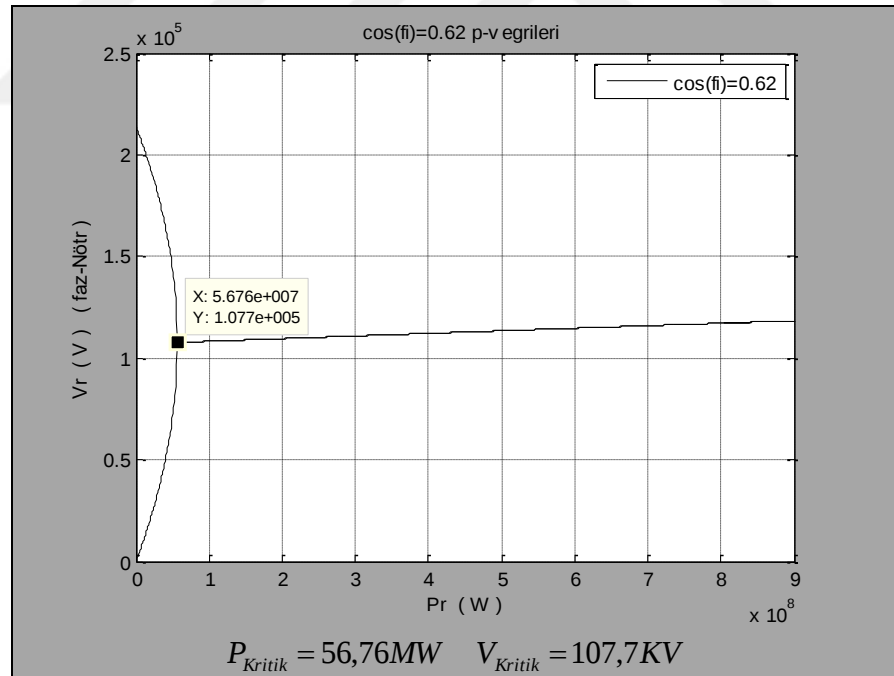
Aynı işlem adımlarının üç, dört, altı, yedi ve dokuz nolu yük baraları için uygulanması sonucunda P-V eğrileri ve kritik değerler sırayla Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15, Şekil 3.16’da görülmektedir.



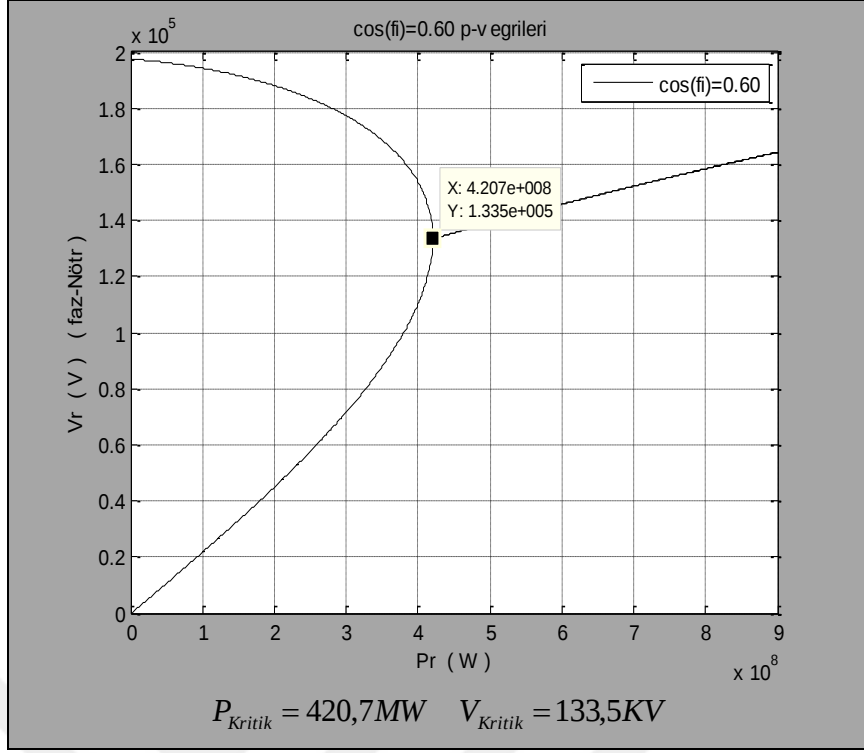
Şekil 3.12. 3 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.



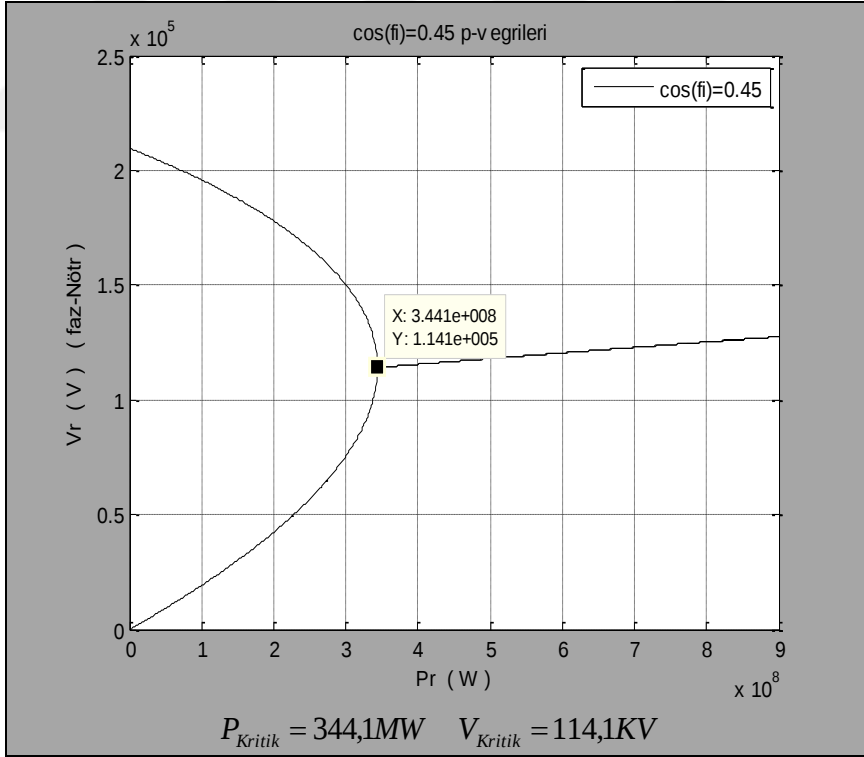
Şekil 3.13. 4 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.



Şekil 3.14. 6 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.



Şekil 3.15. 7 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.



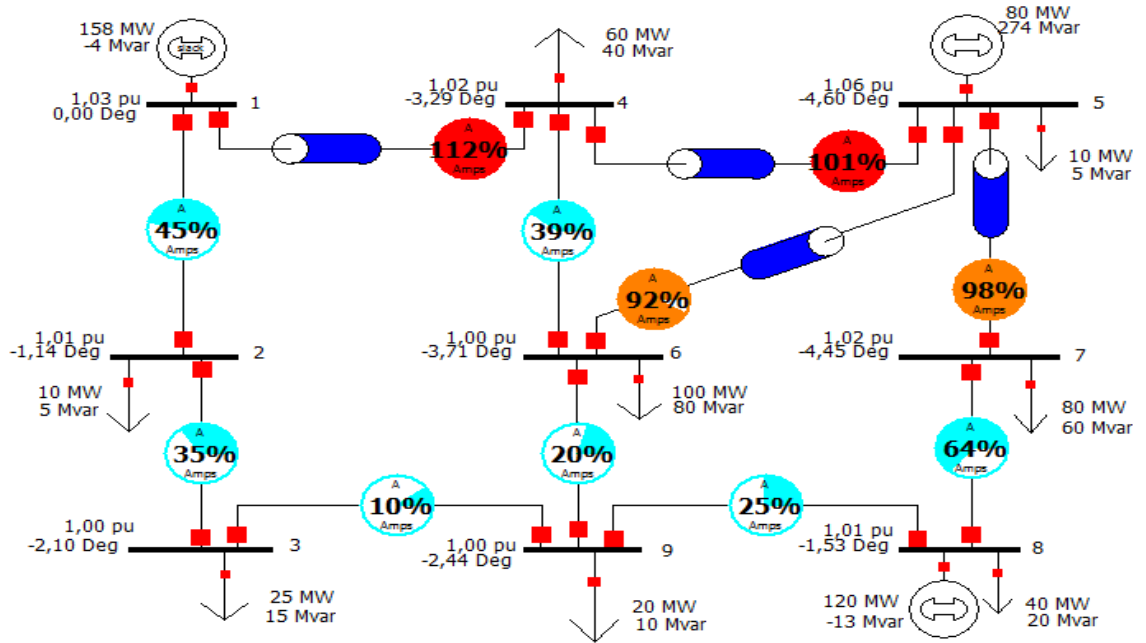
Şekil 3.16. 9 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.

Analiz işlemleri neticesinde normal durumda (DSR Ekli değil) kritik değerler, iki numaralı yük barası: $P_{kritik} = 553,2MW$, $V_{Kritik} = 115,5KV$, üç numaralı yük barası: $P_{kritik} = 607,2MW$, $V_{Kritik} = 147,6KV$, dört numaralı yük barası: $P_{kritik} = 856,8MW$,

$V_{Kritik} = 127,9KV$, altı numaralı yük barası: $P_{kritik} = 56,76MW$, $V_{Kritik} = 107,7KV$, yedi numaralı yük barası: $P_{kritik} = 420,7MW$, $V_{Kritik} = 133,5KV$, dokuz numaralı yük barası: $P_{kritik} = 344,1MW$ $V_{Kritik} = 114,1KV$ şeklinde hesaplanmıştır.

3.4. IEEE 9 BARALI SİSTEM DSR'Lİ DURUM KRİTİK DEĞERLERİN ELDE EDİLMESİ

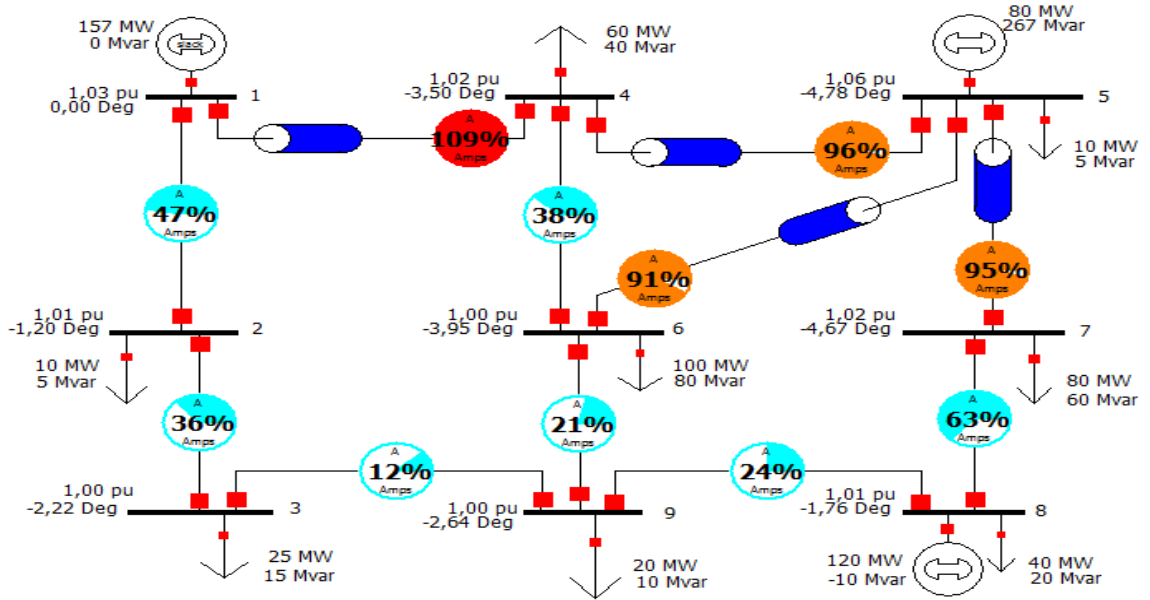
Sistemde sırasıyla %116 ve %109, %92 ve %100 oranlarıyla en çok yüklenmenin görüldüğü (1-4), (4-5), (5-6) ve (5-7) numaralı hatlara DSR cihazları ilave edilmiştir. DSR'lerin çalışmaya başlayacağı akım büyüklüğü (aktivasyon akımı) 100A, hat üzerinden çekilecek en yüksek akım (maksimum akım limiti), 1000 A seçilmiş ve DSR endüktansı öncelikle cihaz başına $47\mu H$ olarak kullanılmıştır. Daha sonra da sırasıyla $94\mu H$, $141\mu H$ ve son durumda da (1-4) hattı için $450\mu H$ diğer hatlar içinde $141\mu H$ alınarak güç akışı yapılmıştır. Son durumdaki güç akışı sonuçlarına göre yük baralarının kritik değerleri elde edilmiştir. PowerWorld yazılımından alınan simülasyon çıktısı sırasıyla Şekil 3.15, Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de, güç akışına ilişkin değerler de Çizelge 3.17, Çizelge 3.18, Çizelge 3.19, Çizelge 3.20'de verilmiştir.



Şekil 3.17. IEEE 9 Baralı Güç Sistemi simülatör görünümü (DSR $47\mu H$).

Çizelge 3.11. IEEE 9 Baralı Sistem DSR'li Durum (DSR $47 \mu H$) Güç Akışı Sonuçları.

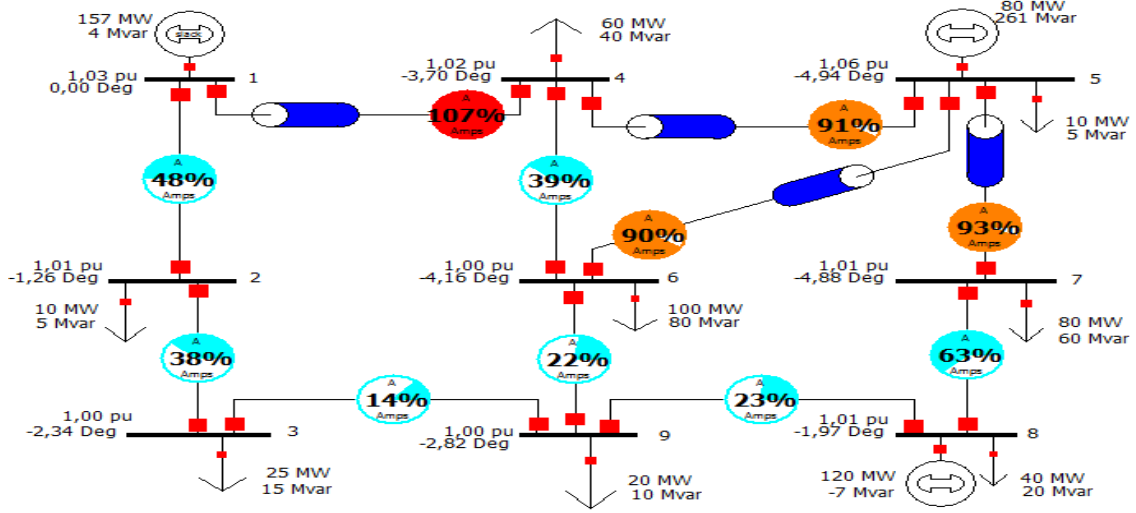
Bara No	P(pu)	Q(pu)	V(pu)
1	1,58	0,04	1,03
2	0,1	0,05	1,01
3	0,25	0,15	1,00
4	0,6	0,4	1,02
5	0,8	2,74	1,06
6	1,00	0,8	1,00
7	0,8	0,6	1,02
8	0,4	0,2	1,01
9	0,2	0,1	1,00



Şekil 3.18. IEEE 9 Baralı Güç Sistemi Simülasyon Görünümü (DSR $94 \mu H$).

Çizelge 3.12. IEEE 9 Baralı Sistem DSR'li Durum (DSR $94 \mu H$) Güç Akışı Sonuçları

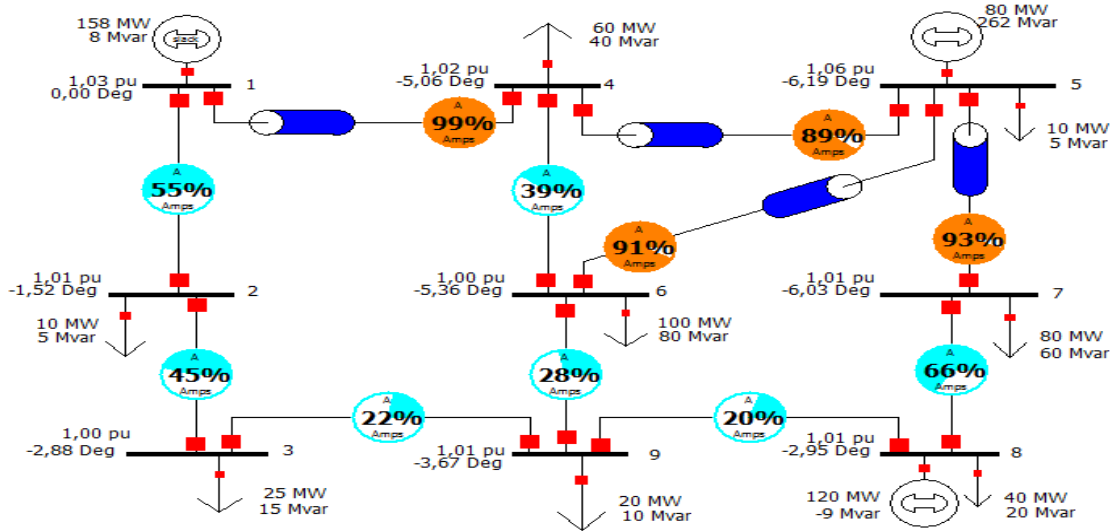
Bara No	P(pu)	Q(pu)	V(pu)
1	1,57	0,00	1,03
2	0,1	0,05	1,01
3	0,25	0,15	1,00
4	0,6	0,4	1,02
5	0,8	2,67	1,06
6	1,00	0,8	1,00
7	0,8	0,6	1,02
8	1,2	0,1	1,01
9	0,2	0,1	1,00



Şekil 3.19. IEEE 9 Baralı Güç Sistemi Simülör Görünümü (DSR 141 μH).

Çizelge 3.13. IEEE 9 Baralı Sistem DSR'li Durum (DSR 141 μH) Güç Akışı Sonuçları.

Bara No	P(pu)	Q(pu)	V(pu)
1	1,57	0,04	1,03
2	0,1	0,05	1,01
3	0,25	0,15	1,00
4	0,6	0,4	1,02
5	0,8	2,61	1,06
6	1,00	0,8	1,00
7	0,8	0,6	1,01
8	1,2	0,07	1,01
9	0,2	0,1	1,00



Şekil 3.20. IEEE 9 Baralı Güç Sistemi Simülör Görünümü.

(1-4 hattı için DSR 450 μH diğer DSR ler 141 μH)

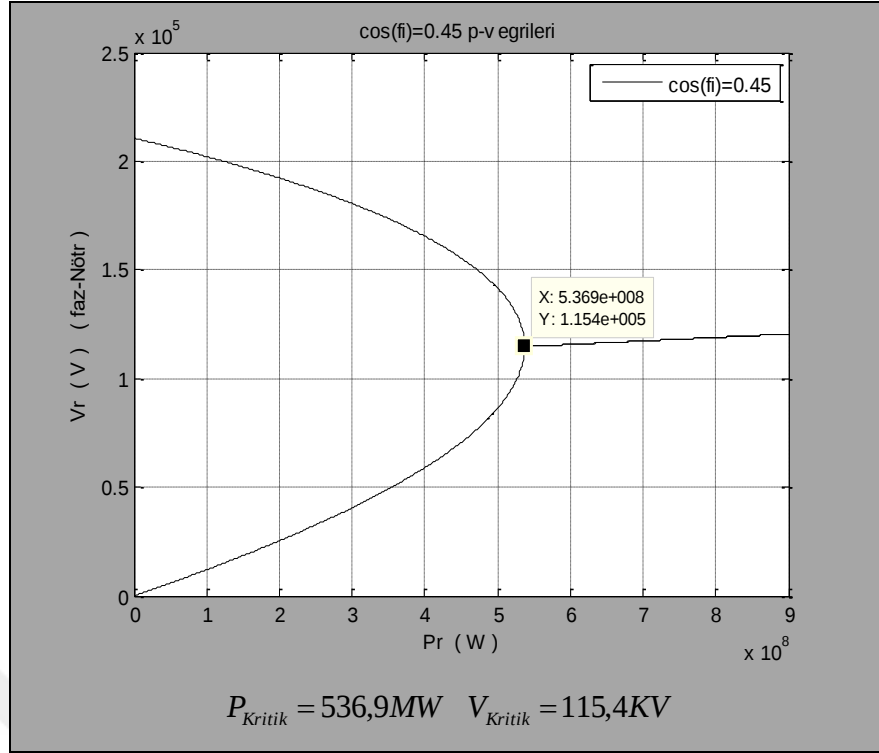
Çizelge 3.14. IEEE 9 Baralı Sistem DSR'li Durum (1-4 hattı için DSR $450 \mu H$ diğer DSR'ler $141 \mu H$) Güç Akışı Sonuçları.

Bara No	P(pu)	Q(pu)	V(pu)
1	1,58	0,08	1,03
2	0,1	0,05	1,01
3	0,25	0,15	1,00
4	0,6	0,4	1,02
5	0,8	2,62	1,06
6	1,00	0,8	1,00
7	0,8	0,6	1,01
8	1,2	0,09	1,01
9	0,2	0,1	1,01

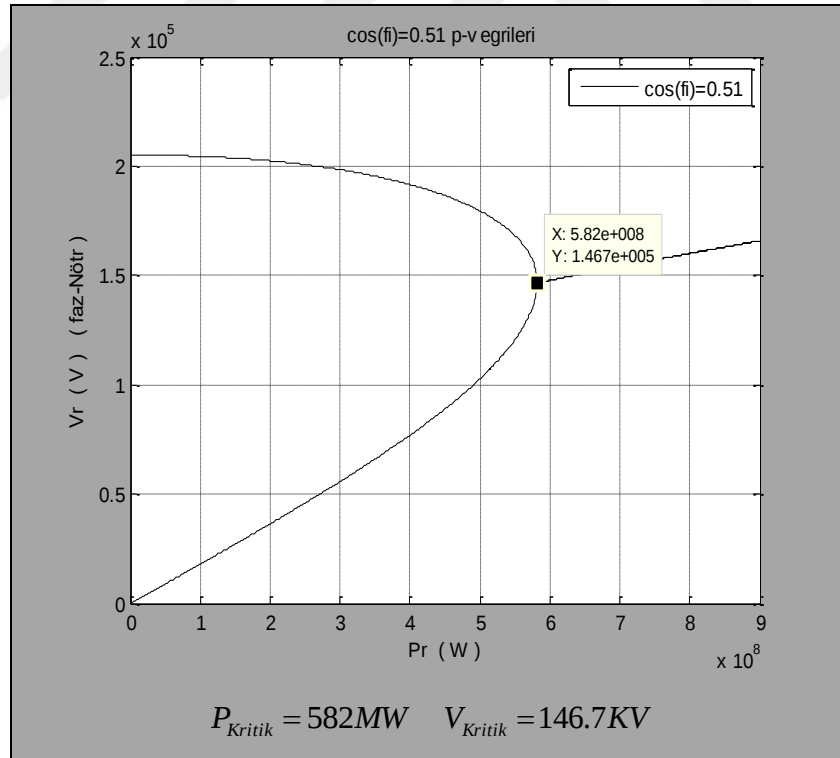
Sistemde sırasıyla en çok yüklenmenin görüldüğü (1-4), (4-5), (5-6) ve (5-7) hatlarına DSR modülleri bağlandığından DSR modüllerinin oluşturduğu empedans değerlerinin ilgili hatların empedanslarına eklenmesinden sonra hesaplanan bara admitans matrisi Denklem (3.20)'de görülmektedir.

$$\begin{bmatrix}
 9,4895 & -32,36771 & -5,5556 & +16,66671 & 0 & -3,9339 & +15,70941 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -5,5556 & +16,66671 & 10,7579 & -32,84711 & -5,2023 & +16,18501 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -5,2023 & +16,18501 & 10,2023 & -31,18501 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -5,0000 & +15,00001 \\
 -3,9339 & +15,70941 & 0 & 0 & 15,7260 & -52,51541 & -7,5869 & +22,93561 & -4,2052 & +13,87721 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -7,5869 & +22,93561 & 28,3903 & -52,43271 & -12,8319 & +7,01481 & -7,9715 & +22,49111 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -4,2052 & +13,87721 & -12,8319 & +7,01481 & 20,8833 & -40,12001 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -7,9715 & +22,49111 & 0 & 12,6774 & -33,66461 & -4,7059 & +11,17651 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4,7059 & +11,17651 & 9,3778 & -24,97981 \\
 0 & 0 & -5,0000 & +15,00001 & 0 & 0 & 0 & -3,8462 & +19,23081 & 0 & -4,6719 & +13,80341 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 13,5181 & -48,03411
 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

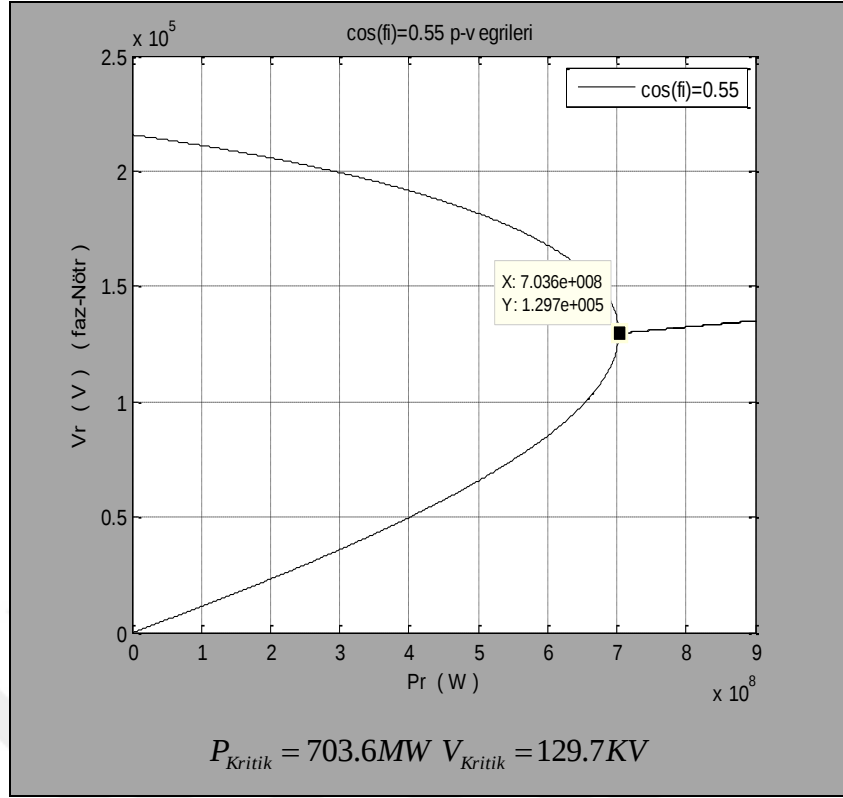
Denklem(3.20)'deki yeni bara admitans matrisi kullanılarak Bölüm 3.3.1'de belirtilen bara indirgeme işlem adımlarının uygulanması ile DSR'li durumda üç, dört, altı, yedi ve dokuz nolu yük baraları için çizilen P-V eğrileri ve kritik değerler, sırayla Şekil 3.21, Şekil 3.22, Şekil 3.23, Şekil 3.24, Şekil 3.25 ve Şekil 3.26'da görülmektedir.



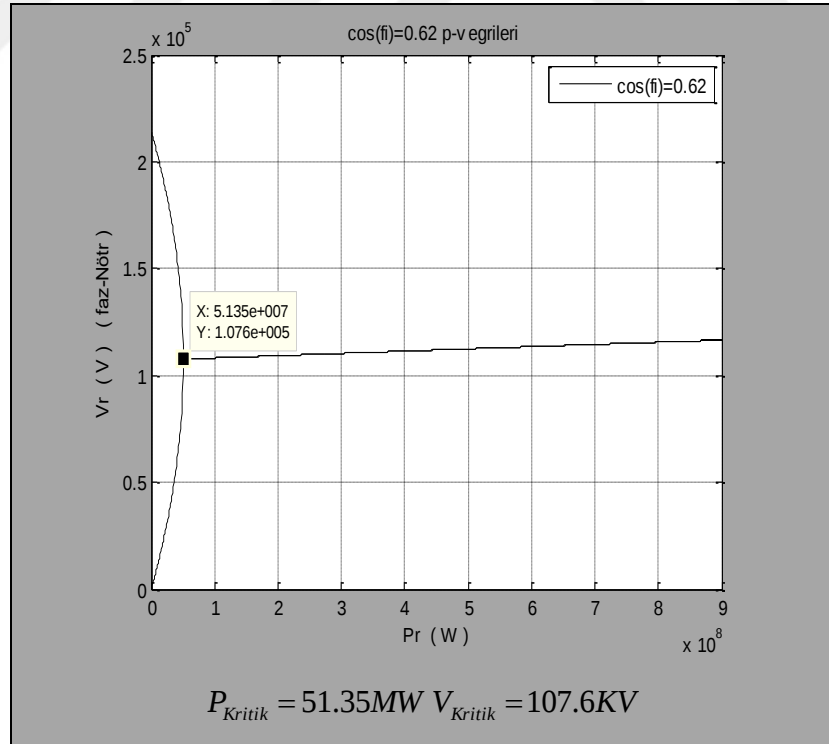
Şekil 3.21. 2 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.



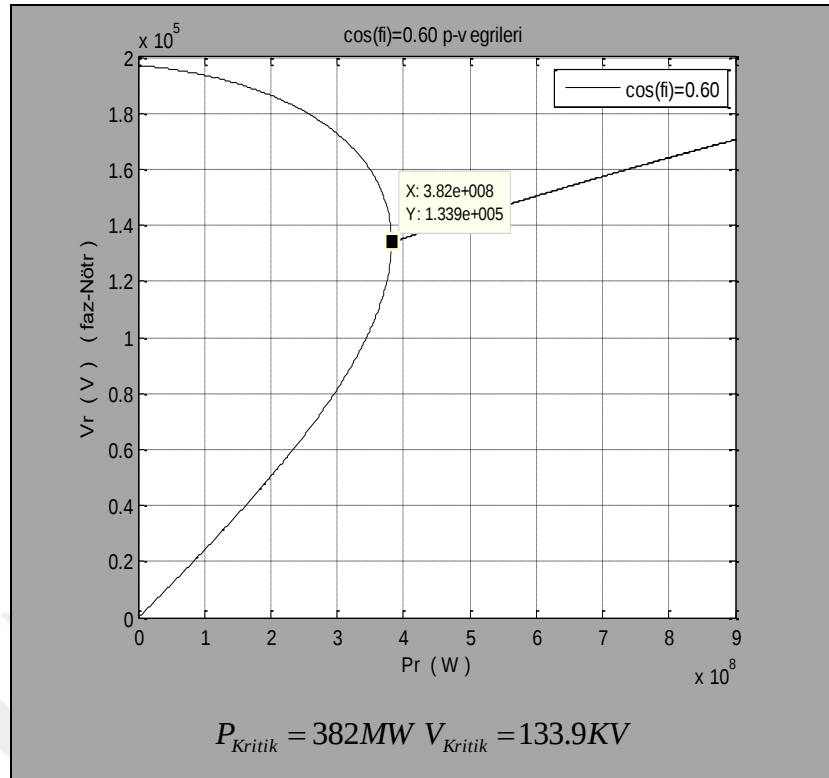
Şekil 3.22. 3 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.



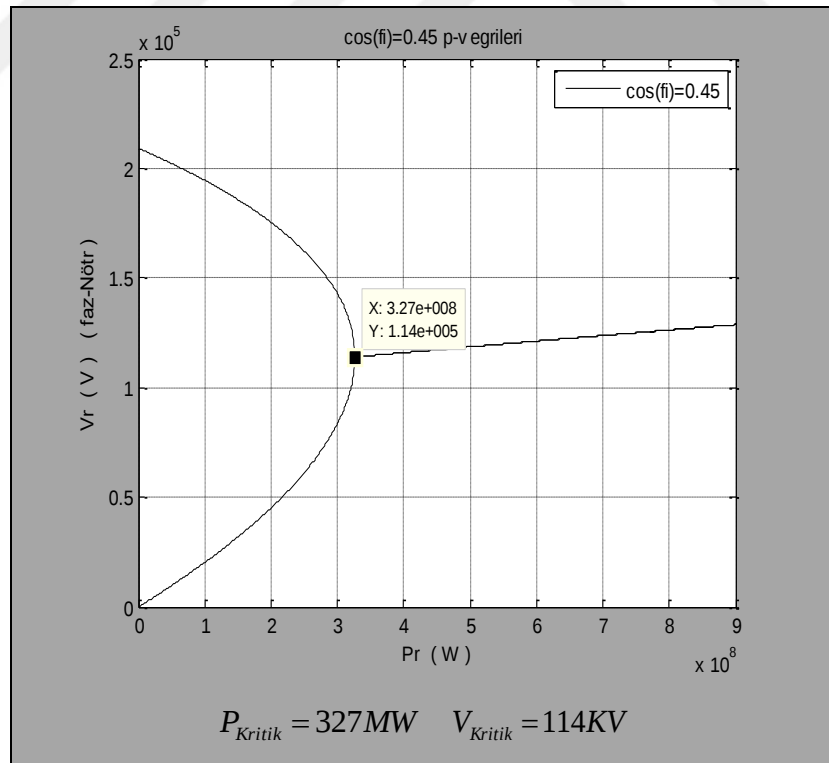
Şekil 3.23. 4 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.



Şekil 3.24. 6 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.



Şekil 3.25. 7 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.



Şekil 3.26. 9 Nolu Bara P-V Eğrisi ve Kritik Değerler.

En çok yüklenmenin görüldüğü (1-4), (4-5), (5-6) ve (5-7) numaralı hatlara DSR ilave edilmesi durumunda kritik değerler, iki numaralı yük barası: $P_{kritik} = 536.9MW$, $V_{kritik} = 115.4KV$, üç numaralı yük barası: $P_{kritik} = 582MW$, $V_{kritik} = 146.7KV$, dört numaralı yük barası: $P_{kritik} = 703.6MW$, $V_{kritik} = 129.7KV$, altı numaralı yük barası: $P_{kritik} = 51.35MW$, $V_{kritik} = 107.6KV$, yedi numaralı yük barası: $P_{kritik} = 382MW$, $V_{kritik} = 133.9KV$ ve dokuz numaralı yük barası: $P_{kritik} = 327MW$, $V_{kritik} = 114KV$ şeklinde hesaplanmıştır. IEEE 9 Baralı Sistemde gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar toplu halde aşağıda Çizelge 3.15, Çizelge 3.16, Çizelge 3.17, Çizelge 3.18, Çizelge 3.19’da görülmektedir.

Çizelge 3.15. Hatlardan Akan Aktif Güç Değerleri.

	DSR Öncesi Güç Akışı	DSR Sonrası Güç Akışı			
		Aktif Güç (MW)			
Hat No	Aktif Güç (MW)	DSR=47µH	DSR=94µH	DSR=141µH	DSR=Hat 1-4 için 450 µH Diğer hatlar için 141µH
1-4	116.29	113.79	111.57	109.55	102.07
4-5	33.02	30.33	27.89	25.59	21.76
5-6	72.45	70.98	69.60	68.16	67.90
5-7	28.70	27.69	26.78	26.02	22.50

Çizelge 3.16. Hatlardan Akan Reaktif Güç Değerleri.

	DSR Öncesi Güç Akışı	DSR Sonrası Güç Akışı			
		Reaktif Güç (MVAR)			
Hat No	Reaktif Güç (MVAR)	DSR=47µH	DSR=94µH	DSR=141µH	DSR=Hat 1-4 için 450 µH Diğer hatlar için 141µH
1-4	33,05	26,09	21.09	17.20	12.93
4-5	111,06	103,34	97.82	93.53	91.80
5-6	65,31	66,17	66.84	67.39	69.05
5-7	102,52	99,76	97.27	94.99	96.49

Çizelge 3.17. Yük Baraları kritik Değerleri.

	DSR Öncesi		DSR Sonrası	
Bara No	P_{Kritik} (MW)	V_{Kritik} (KV)	P_{Kritik} (MW)	V_{Kritik} (KV)
2	553.2	115.5	536.9	115.4
3	607.2	147.6	582	146.7
4	856.8	127.9	703.6	129.7
6	56.76	107.7	51.35	107.6
7	420.7	133.5	382	133.9
9	344.1	114.1	327	114

Çizelge 3.18. Hatlardaki Yükleme Durumu.

Hat No	DSR Öncesi Durum	DSR Sonrası Durum DSR=47 μ H	DSR Sonrası Durum DSR=94 μ H	DSR Sonrası Durum DSR=141 μ H	DSR=Hat 1-4 için 450 μ H Diğer hatlar için 141 μ H
1-2	%44	%45	%47	%48	%55
1-4	%116	%112	%109	%107	%99
2-3	%33	%35	%36	%38	%45
3-9	%8	%10	%12	%14	%22
4-5	%109	%101	%96	%91	%89
4-6	%39	%39	%38	%39	%39
5-6	%92	%92	%91	%90	%91
5-7	%100	%98	%95	%93	%93
6-9	%20	%20	%21	%22	%28
7-8	%64	%64	%63	%63	%66
8-9	%26	%25	%24	%23	%20

Çizelge 3.19. Hattardaki Kayıplar

Hat No	DSR Öncesi Durum		DSR Sonrası Durum DSR=47 μ H		DSR Sonrası Durum DSR=94 μ H		DSR Sonrası Durum DSR=141 μ H		DSR=Hat 1-4 için 450 μ H Diğer hatlar için 141 μ H	
	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr
1-2	0,34	0,55	0,37	0,64	0,39	0,72	0,43	0,80	0,55	1,18
1-4	2,02	5,65	1,88	5,96	1,79	6,25	1,72	6,52	1,48	8,49
2-3	0,20	0,60	0,22	0,67	0,24	0,73	0,25	0,79	0,36	1,13
3-9	0,01	0,04	0,02	0,06	0,03	0,08	0,04	0,11	0,09	0,29
4-5	1,87	4,27	1,66	4,09	1,51	3,96	1,41	3,85	1,35	3,62
4-6	0,31	1	0,30	0,98	0,29	0,98	0,30	0,98	0,31	1
5-6	5,09	2,25	5,04	2,47	4,98	2,66	4,92	2,85	5,02	2,94
5-7	1,42	3,32	1,34	3,48	1,27	3,61	1,21	3,71	1,22	3,76
6-9	0,38	0,20	0,41	0,21	0,44	0,22	0,47	0,24	0,76	0,38
7-8	1,32	3,14	1,30	3,07	1,27	3,02	1,26	2,97	1,41	3,34
8-9	0,15	0,43	0,13	0,28	0,13	0,38	0,12	0,36	0,08	0,25

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ulaşılan sonuçlar değerlendirildiğinde güç iletimi hatları üzerine DSR modüllerinin ilave edilmesiyle yük baralarının kritik değerlerinin bundan etkilendiği görülmektedir.

4.1. IEEE 6 BARALI SİSTEMİ

Sisteme DSR Modülleri eklendiğinde güç ve gerilim için kritik değerlerin düştüğü görülmüştür. Kritik değerlere ilişkin esaslar dikkate alınırse Kritik güçte azalma iletebilecek en yüksek gücün azalması demek olduğundan bu durum olumsuzdur. Ama kritik gerilimde azalma, gerilim daha az artırılarak sistemin kararlılığının sağlanabileceği demek olduğundan bu durum olumludur. Öte yandan gerilim daha az artırılarak sistemin kararlılığının sağlanabilmesi sistem işletim maliyetini düşüreceğinden yine olumludur. Enerji nakil hatlarına ilişkin Çizelge 3.12’de görünen yüklenmeler incelenirse **47 μH** ’lik DSR ilavesi ile en çok yüklenen (1-4) ile (3-6) hatlarının yüklenmesi düşmüş, (1-2), (1-5), (2-4), (2-6) ve (3-5) numaralı hatlarda yüklenme artmış, (4-5) ile (5-6) numaralı hatlarda yüklenme oranı düşmüş ve (2-3) ile (2-5) numaralı hatlarda yüklenme oranı değişmemiştir. DSR endüktans değeri **94 μH** ’ye çıkarıldığında en çok yüklenen (1-4) ile (3-6) numaralı hatlarda yüklenme öncekine nispetle bir miktar düşmüş, Diğer hatlar için, (1-2), (1-5), (2-4), (2-6) ve (3-5) hatlarında öncekine nispetle bir miktar artmış, (2-5), (4-5) ve (5-6) numaralı hatlarda ise yüklenme aynı değerde olmuş ve (2-3) numaralı hatta ise öncekine nispetle bir miktar daha azaldığı görülmüştür. Bunu yanında en çok yüklenen (1-4) ile (3-6) numaralı hatlardan çekilen güç büyüklüklerine ait Çizelge 3.10 değerlendirildiğinde DSR endüktans değeri arttığında hatlar üzerinden aktarılan güç büyüklüklerinin buna bağımlı şekilde azaldığı görülmüştür. Diğer taraftan Çizelge 3.1, Çizelge 3.5, Çizelge 3.9’daki güç akışı sonuçları incelendiğinde Sisteme **47 μH** değerinde DSR modülü eklenmesi sonrasında bir nolu generatör barasından çekilen aktif güç artarken diğer generatör baralarından çekilen aktif güç değerlerinin değişmediği, buna karşılık bir ve üç nolu generatör barasından çekilen reaktif güç azalırken iki nolu generatör barasından çekilen reaktif gücün arttığı görülmektedir. DSR’nin endüktansı **94 μH** ’ye çıkarılınca önceki duruma göre, iki numaralı generatör barası reaktif gücü artmış, üç numaralı generatör barası reaktif gücü azalmış diğer değerler ise değişmemiştir. Hatlardaki kayıplara ilişkin Çizelge 3.8 değerlendirildiğinde ise, **47 μH** ’lik DSR ilavesi ile en çok yüklenen (1-4) ile

(3-6) hatlarındaki aktif güç kayıpları azalmış reaktif güç kayıpları ise artmıştır. (1-2) ve (2-4) numaralı hatlarda hem aktif güç kayıpları hem de reaktif güç kayıpları artmıştır. (2-6) ve (3-5) numaralı hatlarda aktif güç kayıpları artmış reaktif güç kayıpları azalmıştır. (1-5) numaralı hatta aktif güç kaybı artmış reaktif güç kaybı azalmıştır. (2-3) ve (5-6) numaralı hatlarda hem aktif güç kayıpları hem de reaktif güç kayıpları azalmıştır. (4-5) numaralı hatta aktif güç kaybı azalırken reaktif güç kaybı artmıştır. Son olarak (2-5) numaralı hatta aktif güç kaybı değişmezken reaktif güç kaybı ise azalmıştır. DSR'nin endüktansı **94 μH** 'ye çıkarılınca en çok yüklenen (1-4) ile (3-6) numaralı hatlarda aktif güç kayıpları öncekine nispetle azalmış reaktif güç kayıpları ise artmıştır. (1-2), (2-5), (2-6) ve (3-5) numaralı hatlarda aktif güç kayıpları öncekine nispetle artmış reaktif güç kayıpları ise azalmıştır. (2-3) ve (5-6) numaralı hatlarda aktif güç kayıpları değişmemiş reaktif güç kayıpları ise öncekine nispetle azalmıştır. (1-5) numaralı hatta aktif güç kayıpları öncekine nispetle artmış reaktif güç kayıpları ise azalmıştır. (2-4) numaralı hatta hem aktif güç kayıpları hem de reaktif güç kayıpları öncekine nispetle artmıştır. Son olarak (4-5) numaralı hatta aktif güç kayıpları öncekine nispetle azalmış reaktif güç kayıpları ise artmıştır.

4.2. IEEE 9 BARALI SİSTEMİ

Sisteme DSR Modülleri eklendiğinde genel olarak kritik değerlerin her ikisinin düştüğü görülmüştür. Ancak dört nolu bara ile yedi nolu baraya ait kritik gerilim değerlerinin arttığı görülmektedir. Kritik güçte düşme sistemde aktarılabilecek en yüksek gücün düşmesi demek olduğundan bu durum olumsuzdur. Kritik gerilimde azalma, gerilim daha az arttırılarak sistemin kararlılığının sağlanabileceği demek olduğundan bu durum olumludur. Öte yandan gerilim daha az arttırılarak sistemin kararlılığının sağlanabilmesi sistem işletim maliyetini düşüreceğinden yine olumludur. Diğer taraftan kritik gerilimde artma gerilimin daha fazla arttırılarak sistemin kararlılığının sağlanabileceği demek olduğundan ve bu durum güç sistemi işletme maliyetini de arttıracığından olumsuz bir durumdur. İletim hatlarına ilişkin Çizelge 3.33'deki yüklenme oranlarına bakıldığında, sisteme **47 μH** 'lik DSR ilave edilmesi ile, en çok yüklenen oranına sahip olan hatlardan (1-4), (4-5) ve (5-6) hatlarının yüklenme oranları düşerken (5-7) hattının yüklenme oranı değişmediği, bunun yanında diğer hatlardan (1-2), (2-3) ve (3-9) hatlarının yüklenme oranlarının arttığı, (4-6), (6-9) ve (7-8) hatlarının yüklenme oranlarının değişmediği, (8-9) hattının yüklenme oranının ise azaldığı görülmüştür. DSR **94 μH** 'ye

çıkarıldığında, en çok yüklenen oranına sahip olan (1-4), (4-5), (5-6) ve (5-7) hatlarının yüklenme oranları önceki duruma göre düşmekte, bunun yanında diğer hatlardan (1-2), (2-3), (3-9) ve (6-9) hatlarının yüklenme oranlarının önceki duruma göre arttığı, (4-6), (7-8) ve (8-9) hatlarının yüklenme oranlarının ise önceki duruma göre azaldığı görülmüştür. DSR **141 μH** 'ye çıkarıldığında, en çok yüklenen (1-4), (4-5), (5-6) ve (5-7) hatlarının yüklenme oranları önceki duruma göre biraz daha düşmekte, bunun yanında diğer hatlardan (1-2), (2-3), (3-9), (4-6) ve (6-9) hatlarının yüklenme oranlarının önceki duruma göre biraz arttığı, (8-9) hattının yüklenme oranının azaldığı ve (7-8) hattının yüklenme oranının ise değişmediği görülmektedir. Son durumda DSR modülünün endüktansı *(1-4) hattı için 450 μH 'ye çıkarılıp diğer hatlar için ise 141 μH* uygulandığında, en çok yüklenen (1-4), (4-5), (5-6) ve (5-7) hatlarının yüklenme oranları bir önceki duruma göre biraz daha düşmekte, bunun yanında diğer hatlardan (1-2), (2-3), (3-9), (4-6), (6-9) ve (7-8) hatlarının yüklenme oranlarının önceki duruma göre biraz arttığı, (8-9) hattının yüklenme oranının azaldığı ve (4-6) hattının yüklenme oranının ise değişmediği görülmektedir. Çizelge 3.13, Çizelge 3.20, Çizelge 3.21, Çizelge 3.22 ve Çizelge 3.23'deki güç akışı sonuçları incelendiğinde ise sisteme **47 μH** değerinde DSR modülü eklenmesi sonrasında generatör baralarından çekilen aktif güç değerleri değişmezken reaktif güç değerlerinin azaldığı görülmektedir. DSR modülünün endüktansı **94 μH** 'ye çıkarıldığında önceki duruma göre, 1 nolu generatör barasından çekilen aktif gücün azaldığı, diğer generatör baralarından çekilen aktif güç değerlerinin değişmediği, buna karşılık tüm generatör baralarından çekilen reaktif güç değerlerinin yine önceki duruma göre azaldığı görülmektedir. DSR modülünün endüktansı **141 μH** 'ye çıkarıldığında önceki duruma göre, tüm generatör baralarından çekilen aktif güç değerlerinin değişmediği, buna karşılık 1 nolu generatör barasından çekilen reaktif güç önceki duruma göre artarken diğer generatör baralarından çekilen reaktif gücün önceki duruma göre azaldığı görülmektedir. Son olarak DSR modülünün endüktansı *(1-4) hattı için 450 μH 'ye çıkarılıp diğer hatlar için ise 141 μH* uygulandığında, 1 nolu generatör barasından çekilen aktif güç önceki duruma göre artarken diğer generatör baralarından çekilen aktif güç değerlerinin değişmediği, buna karşılık tüm generatör baralarından çekilen reaktif güç değerlerinin yine önceki duruma göre arttığı görülmektedir. Hatlardaki kayıplara ilişkin Çizelge 3.19 değerlendirildiğinde ise, sırasıyla **47 μH** , **94 μH** , **141 μH** ve son durumda *(1-4) hattı için 450 μH 'ye çıkarılıp diğer hatlar için ise 141 μH* DSR uygulandığında en çok yüklenen (1-4), (4-5), (5-6) ve (5-7) numaralı hatlarda aktif güç kayıpları her adımda bir öncekine nispetle biraz daha azalmıştır.

Reaktif güç kayıpları ise (1-4), (5-6) ve (5-7) numaralı hatlarda her adımda öncekine nispetle biraz daha artmış, (4-5) hattında ise her adımda reaktif güç kaybı biraz daha azalmıştır. (1-2), (2-3), (3-9) ve (6-9) numaralı hatlarda hem aktif güç kayıpları hem de reaktif güç kayıpları her adımda öncekine nispetle biraz daha artmıştır. (4-6) numaralı hatta DSR **47 μ H** iken aktif güç ve reaktif güç kayıplarının her ikisi de öncekine nispetle biraz azalmış, DSR **94 μ H** iken aktif güç kaybı öncekine nispetle biraz daha azalırken reaktif güç kaybı değişmemiş, DSR **94 μ H** olduğunda, aktif güç kaybı öncekine nispetle biraz artmış, reaktif güç kaybı ise değişmemiş ve son durumda ise aktif güç ve reaktif güç kayıplarının her ikisi de öncekine nispetle biraz artmıştır. (7-8) numaralı hatta sırasıyla **47 μ H**, **94 μ H**, **141 μ H** DSR uygulandığında her adımda aktif güç ve reaktif güç kayıplarının her ikisi de öncekine nispetle biraz daha azalmış, (1-4) hattı için **450 μ H**'ye çıkarılıp diğer hatlar için ise **141 μ H** DSR uygulandığında ise aktif güç ve reaktif güç kayıplarının her ikisi de öncekine nispetle artmıştır. Son olarak (8-9) numaralı hatta DSR **47 μ H** iken aktif güç ve reaktif güç kayıplarının her ikisi de öncekine nispetle azalmış, DSR **94 μ H** iken aktif güç kaybı değişmemiş, reaktif güç kaybı ise öncekine nispetle artmıştır. DSR **141 μ H** iken aktif güç ve reaktif güç kayıplarının her ikisi de öncekine nispetle azalmış ve son aşamada ise aktif güç ve reaktif güç kayıplarının her ikisi de öncekine nispetle biraz daha azalmıştır.

4.3. SONUÇ

Bu çalışmada, DSR cihazlarının kullanılması ile güç sisteminde fazla yüklenen hatların yüklenme oranlarının düştüğü görülmüştür. IEEE 6 baralı sisteminde fazla yüklenen (1-4) ve (3-6) hatlarının yüklenme oranları enbaştta sırasıyla %65 ve %69 iken bu hatlara DSR cihazları eklendiğinde yüklenme oranlarının son durumda sırasıyla %61 ve %64 seviyesine gerilediği görülmüştür. IEEE 9 baralı sisteminde fazla yüklenen (1-4), (4-5), (5-6) ve (5-7) hatlarının yüklenme oranları enbaştta sırasıyla %116, %109, %92, %100 iken bu hatlara DSR cihazları eklendiğinde yüklenme oranlarının son durumda sırasıyla %99, %89, %91, %93 seviyesine gerilediği görülmüştür. Ayrıca sistem kararlılığı açısından kritik güç ve kritik gerilim değerlerinin her ikisinin de genel olarak düştüğü görülmüştür. Yine bu çalışmada DSR kullanımının, fazla yüklenen hatlarda aktif güç kayıplarını azalttığı ama reaktif güç kayıplarını ise genel olarak arttırdığı görülmüştür. DSR kullanımı güç sisteminde fazla yüklenen hatların rahatlatılarak hatlardan iletebilecek güçler ile generatörlerden alınabilecek gücün ve kararlılığa ilişkin

değerlerin denetlenebilmesine olanak sunmaktadır. DSR cihazının endüktansına ve kullanılan cihaz sayısına bağlı olarak sistem üzerindeki etki düzeyi de farklılaşmaktadır. DSR cihazlarının tesiste nerelere yerleştirileceği, kaç adet DSR kullanılması gerektiği ile bunun maliyet durumu konularında ayrıntılı çalışmalar yapıp DSR cihazları kullanılması mümkündür. Nüfus artışına paralel şekilde gerek ferdi, gerekse sınıai enerji gereksinimi hızla yükselmektedir. Günümüzde güç sistemlerinin boyutlarının genişletilmesi, fiziki ve ekonomik sebeplerle giderek zorlaştığından Enerji tesisinin hali hazırdaki ebatları değiştirilmeden daha etkin kullanılması bakımından DSR aygıtlarının iyi bir yöntem olabileceği düşünülmektedir.



5. KAYNAKLAR

- [1] M. M. Ertay Z. Aydoğmuş, “Güç Sistemlerinde FACTS Uygulamaları”, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)*, Elazığ, Türkiye, 2011, 370-375
- [2] A. Çifci, “Facts Cihazları Kullanılan Elektrik Güç Sistemlerinde Enerji Fonksiyonu İle Gerilim Kararlılığı Analizi”, Doktora Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2015
- [3] M. K. Döşoğlu, “Rüzgar Santralinde Gerilim Ve Güç Kontrolünün Facts Cihazları İle İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2010
- [4] H. Bakır, “Güç Sistemlerinde Facts Cihazlarının Optimal Yerleşim Noktalarının Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2018
- [5] E. BAYRAKTAR. “Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Arttırılmasında FACTS Cihazların Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye, 2021
- [6] BAYSAL M., Harmonik İçeren Güç Sistemlerinin Gerilim Kararlılığının Yük Modellemeleri Ve Facts Elemanları Bakımından İncelenmesi Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi , (2008).
- [7] A. ÖZTÜRK H. BAKIR S. TOSUN, “Güç Sistemlerinde Paralel FACTS Cihazlarının Gerilim Kararlılığına Etkisinin İncelenmesi”, Young Scholars Union (IMCOFE 2017 / ROME), Roma, İtalya, 2017, 195-206
- [8] C. Ersavaş, “Elektrik Şebekelerinde FACTS Cihazlarının Optimum Yerleşimi”, Yüksek Lisans Tezi , Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, 2013
- [9] M. Güleriyüz, “Facts Cihazları ve Rüzgar Enerji Santrallerinin Gerilim Kararlılığına Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, , Elektrik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2011
- [10] S.Tosun, A. Öztürk, M.A. Yalçın, K.Döşoğlu, U. Güvenç, “Güç Sisteminde SVC ve STATCOM Denetleyici Etkilerinin İncelenmesi”, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)*, Elazığ, Türkiye, 2011, 287-292
- [11] Grant, I., Shultz, J., Orman, S., Couillard, J., Kreikebaum, F., Broadwater, R., (2014), “Initial Field Trials of Distributed Series Reactors and Implications for

Future Applications”, CIGRE US National Committee Grid of the Future Symposium.

- [12] Rahimi, K., Jain, H., Broadwater, R., (2016), ”Application of Distributed Series Reactors in Relieving Congestion Costs ”, IEEE.
- [13] Rogers, K.M., (2009), Power System Control With Distributed Flexible AC Transmission System Devices, M.S. Thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Illinois, Urbana-Illinois, USA.
- [14] Rahimi, K., Jain, H., Broadwater, R., Hambrick, J., (2015), ”Application of Distributed Series Reactors in Voltage Balancing”, IEEE.
- [15] Alaşahan Y. Tosun S., ”Dağıtılmış Seri Reaktörlerin (DSR) Güç Sistemlerine Etkileri”, *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, Cilt: 15, Sayı: 4, ss: 50-63.
- [16] Öztürk, A., (2007), Güç Sistemlerindeki Gerilim Kararlılığının Genetik Algoritma İle İncelenmesi, Doktora Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.
- [17] İnternet: http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/16900/13/13_appendix.pdf, Erişim Tarihi: 20.07.2020.
- [18] İnternet: http://www.yildiz.edu.tr/~inan/LU_Hesap/Power_World_Simulator_Programi_Kisa_Anlatim.doc, Erişim Tarihi: 07.05.2019
- [19] Alaşahan, Y., (2015), Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Kritik Değerlere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye.
- [20] Uzunoğlu M., Kızıl A. Ve Onar Ç. (2002). *Matlab 6.0-6.5* (1. Basım). İstanbul: Türkmen Kitabevi.
- [21] Arifoğlu U. (2005). *Matlab 7* (1. Basım). İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti.
- [22] Yüksel İ. (2004). *Matlab İle Mühendislik Sistemlerinin Analizi ve Çözümü* (3. Basım). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
- [23] A. Kara, & T. Yalçınöz, “Esnek AC İletim Sistemlerinde Kullanılan Cihazlar ve TCR, SVC, TSR Yapılı Paralel Kompanzatörlerin Yük Gerilimine Etkisinin Matlab Ortamında İncelenmesi”, *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi-MBGAK 2005*.
- [24] A. Kara, & T. Yalçınöz, “Aç-Kapa Kontrollü FACTS Cihazları İle Yük Kompanzasyonu”, *Elektrik Mühendisleri Odası-Emo*.
- [25] A. Öztürk, B. Bozali, & S. Tosun, “Güç Sistemi Kararlılığını İyileştirecek FACTS Cihazlarının Bağlantı Noktasının Belirlenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, sayı 2, ss. 812-825, 2016.

- [26] B. Bozali, A. Öztürk, & S. Tosun, “Güç sistemi Kararlılığını İyileştirecek FACTS Cihazlarının Bağlantı Noktasının Belirlenmesi”, *Nevşehir Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, sayı 2, ss. 123-134, 2018.
- [27] F. Aydın, & B. Gümüş, “Comparative Analysis Of FACTS Controllers For Voltage Stability Enhancement In Power Systems”, *International Engineering and Natural Sciences Conference –IENSC*, 2019.
- [28] Yalçın F. (2013). “*FACTS Cihazları İçeren AA-DA Sisteminde Optimal Güç Akışı İçin Yeni Bir Yaklaşım*”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [29] K. Döşoğlu, & T. E. Bozkurt, “ Güç Sistemlerinde Sürekli ve Geçici Durum Gerilim Kararlılığının UPFC-Yakıt Hücresi İle İncelenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, c. 9, sayı 2, ss. 915-928, 2021.
- [30] M. M. Ertay, Z. Aydoğmuş, “STATCOM İle Bir Enerji İletim Sisteminde Gerilim Kontrolü”, *Dumlupınar üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, sayı 21, ss. 91-105, 2010.
- [31] T. E. Gümüş, M. A. Yalçın, “ FACTS Cihazlarının Gerilim Kararlılığına Etkisinin İncelenmesi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 17, sayı 2, ss. 1-6, 2013.
- [32] T. Yeşilyurt, & B. Akbal, “Elektrik Tesislerinde Gerilim Kararlılığının Sağlanması için Kullanılan Yöntemler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 287-292, 2020.
- [33] Yamaçlı V, “FACTS Cihazları İçeren Güç Sistemlerinin Sezgisel Algoritmalarla Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, Türkiye, 2014.
- [34] Y. Genç, & E. Yanıkoğlu, “Statik Senkron kompanzatörün Bulanık Mantık Temelli Kontrolör İle Tasarımı ve Analizi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 20, sayı 1, ss. 7-12, 2016.
- [35] S. Tosun, A. Öztürk, M.A. Yalçın, K. Döşoğlu, & U. Güvenç, “Güç Sisteminde SVC ve STATCOM Denetleyici Etkilerinin İncelenmesi”, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Türkiye, 2011, 287-292.
- [36] D. Divan, & H. Johal, “Distributed FACTS – A New Concept for Realizing Grid Power Flow Control”, *IEEE*, ss. 8-14, 2005.
- [37] S. Omran, R. Broadwater, J. Hambrick, & M. Dilek, “DSR Design Fundamentals: Power Flow Control”, *IEEE*, 2014.
- [38] A. Önen, “Investigation Of Distributed Series Reactors In Power System Applications and its Economic Implementation”, *Int. Trans. Electr. Energ. Syst.(John Wiley & Sons, Ltd.)*, ss. 1-8, 2017.
- [39] H. Johal , “Disributed Series Reactance: A New Apporach To Realize Grid Power Flow Control”, Doktora Tezi, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği

Bölümü, Georgia Teknoloji Enstitüsü, Georgia, Amerika Birleşik Devletleri, 2008.

- [40] M. N. Nazir, “Control Of Power Flow In Transmission Lines Using Distributed Series Reactors”, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Virginia Devlet Üniversitesi, Virginia, Amerika Birleşik Devletleri, 2015.
- [41] O. A. Afolabi, W. H. Ali, P. Cofie, J. Fuller, P. Obiomon & E. S. Kolawole, “Analysis Of The Load Flow Problem In Power System Planning Studies”, Energy And Power Engineering, c. 7, ss. 509-523, 2015.
- [42] Arifoğlu U. (2002) *Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi* (1. Basım) İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti.



6. EKLER

6.1. EK 1: IEEE 6 BARALI SİSTEM İÇİN BARA İNDİRGEME İŞLEMİNİ YAPAN MATLAB KODLARI (DSR'SİZ DURUM)

```
clc
clear all
nh=11;%hat sayısı
nb=6;%Bara Sayısı
ng=3;%Generatör Sayısı
SB=1%%Salınım Barası Numarası%%
IB=5%%İncelenen Yük Barası Numarası-her seferinde ilgili bara
numarası girilecek%%
P=[1.08,0.50,0.60,0.70,0.70,0.70];%%Güç akışı sonucunda elde edilen
bara aktif güç değerleri%%
Q=[0.31,0.84,0.69,0.70,0.70,0.70];%%Güç akışı sonucunda elde edilen
bara reaktif güç değerleri%%
V=[1,1,1,0.95,0.92,0.94];%%Güç akışı sonucunda elde edilen bara
gerilim genlik değerleri%%

blt=[1 1 1 2 2 2 2 3 3 4 5;2 4 5 3 4 5 6 5 6 5 6];%%Hat bağlantı
sırası%%
zh1=[0.1+0.2i 0.05+0.092i 0.08+0.2i 0.05+0.25i 0.05+0.1i 0.1+0.3i
0.07+0.2i 0.12+0.26i 0.02+0.1i 0.2+0.4i 0.1+0.3i];%%Hat
empedansları-Sisteme ilişkin data tablolarından%%
ys1=[0.02i 0.02i 0.03i 0.03i 0.01i 0.02i 0.025i 0.025i 0.01i 0.04i
0.03i];%%Hat admitansları-Sisteme ilişkin data tablolarından%%

%BARA ADMİTANS MATRİSİ HESAPLAMASI
ybus=zeros(nb,nb);
for k=1:nb
    %Ana Köşegen Elemanlarının Hesabı
    for f=1:nh
        if blt(1,f)==k|blt(2,f)==k
            t=(1/zh1(f))+ys1(f);
            ybus(k,k)=ybus(k,k)+t;
        end
    end
    %Ana Köşegen Dışındaki Elemanların Hesabı
    for d=1:nh
        for p=1:nb
            if blt(1,d)==k&blt(2,d)==p
                t=(-1/zh1(d));
                ybus(k,p)=ybus(k,p)+t;
                ybus(p,k)=ybus(k,p);
            end
        end
    end
end
end
end
ybus

%%Bara İndirgeme İşlemi%%
s=zeros(1,nb);
fi=zeros(1,nb);
z=zeros(1,nb);
y=zeros(1,nb);
```

```

for i=1:nb
    if (i~=SB & i~=IB)
        s(i)=P(i)+j*Q(i);
        fi(i)=(180/pi)*atan(Q(i)/P(i));
        z(i)=((V(i))^2)/s(i)*exp(j*fi(i));
        y(i)=1/(z(i));
    if (i==2||i==3)
        ybus(i,i)=ybus(i,i)-y(i);
    else
        ybus(i,i)=ybus(i,i)+y(i);

    end
end
end
s
fi
z
y

K=zeros(nb,nb);

k(1:nb,SB:SB)=ybus(1:nb,2:2);
ybus(1:nb,2:2)=ybus(1:nb,SB:SB);
ybus(1:nb,SB:SB)=k(1:nb,SB:SB);

k(SB:SB,1:nb)=ybus(2:2,1:nb);
ybus(2:2,1:nb)=ybus(SB:SB,1:nb);
ybus(SB:SB,1:nb)=k(SB:SB,1:nb);

k(1:nb,1:1)=ybus(1:nb,IB:IB);
ybus(1:nb,IB:IB)=ybus(1:nb,1:1);
ybus(1:nb,1:1)=k(1:nb,1:1);

k(1:1,1:nb)=ybus(IB:IB,1:nb);
ybus(IB:IB,1:nb)=ybus(1:1,1:nb);
ybus(1:1,1:nb)=k(1:1,1:nb);

ybus

k=ybus(1:2,1:2)
L=ybus(1:2,3:nb)
LT=ybus(3:nb,1:2)
M=ybus(3:nb,3:nb)
MT=inv(M)
y2x2=k-L*MT*LT%%%İndirgeme işlemleri sonucunda elde edilen 2X2 lik
matris%%%%%%%%
y12=-1*y2x2(1,2)
zh=1/y12%%%Hattın Empedansı%%%
y1y=y2x2(1,1)-y12%%%Hattın admitansı için Y/2 Değeri%%%
y2y=y2x2(2,2)-y12%%%Hattın admitansı için Y/2 Değeri%%%
y=y1y+y2y%%%Hattın Admitansı%%%%%%%%

```

6.2. EK 2: IEEE 6 BARALI SİSTEM BARA İNDİRGEME İŞLEMİNİ YAPAN MATLAB KODLARI (DSR'Lİ DURUM)

```
clc
clear all
nh=11;%hat sayısı
nb=6;%Bara Sayısı
ng=3;%Generatör Sayısı
SB=1%%%%Salınım Barası Numarası%%%%%%%%
IB=6%%%%İncelenen Yük Barası Numarası-her seferinde ilgili bara
numarası girilecek%%%%%%%%
P=[1.09,0.50,0.60,0.70,0.70,0.70];%%%%Güç akışı sonucunda elde edilen
bara aktif güç değerleri%%%%%%%%
Q=[0.30,0.88,0.67,0.70,0.70,0.70];%%%%Güç akışı sonucunda elde edilen
bara reaktif güç değerleri%%%%%%%%
V=[1,1,1,0.94,0.92,0.93];%%%%Güç akışı sonucunda elde edilen bara
gerilim genlik değerleri%%%%%%%%

blt=[1 1 1 2 2 2 2 3 3 4 5;2 4 5 3 4 5 6 5 6 5 6];
zh1=[0.1+0.2i 0.05+0.0965i 0.08+0.2i 0.05+0.25i 0.05+0.1i 0.1+0.3i
0.07+0.2i 0.12+0.26i 0.02+0.1052i 0.2+0.4i 0.1+0.3i];%%%%Hat
empedansları-DSR eklenen hatların empedanslarına DSR'nin oluşturduğu
toplam edüktans eklenmiş hali %%%%%%%%%
ys1=[0.02i 0.02i 0.03i 0.03i 0.01i 0.02i 0.025i 0.025i 0.01i 0.04i
0.03i];%%%%Hat admitansları-Sisteme ilişkin data tablolarından%%%%%%%%

%BARA ADMİTANS MATRİSİ HESAPLAMASI
ybus=zeros(nb,nb);
for k=1:nb
    %Ana Köşegen Elemanlarının Hesabı
    for f=1:nh
        if blt(1,f)==k|blt(2,f)==k
            t=(1/zh1(f))+ys1(f);
            ybus(k,k)=ybus(k,k)+t ;
        end
    end
    %Ana Köşegen Dışındaki Elemanların Hesabı
    for d=1:nh
        for p=1:nb
            if blt(1,d)==k&blt(2,d)==p
                t=(-1/zh1(d));
                ybus(k,p)=ybus(k,p)+t;
                ybus(p,k)=ybus(k,p);
            end
        end
    end
end
end
end
ybus
%%Bara İndirgeme İşlemi%%%%%%%%%%%%%%
s=zeros(1,nb);
fi=zeros(1,nb);
z=zeros(1,nb);
y=zeros(1,nb);

for i=1:nb
    if (i~=SB & i~=IB)
        s(i)=P(i)+j*Q(i);
        fi(i)=(180/pi)*atan(Q(i)/P(i));
        z(i)=((V(i))^2)/s(i))*exp(j*fi(i));
```

```

        y(i)=1/(z(i));
    if (i==2||i==3)
        ybus(i,i)=ybus(i,i)-y(i);
    else
        ybus(i,i)=ybus(i,i)+y(i);
    end
end
end
s
fi
z
y

K=zeros(nb,nb);

k(1:nb,SB:SB)=ybus(1:nb,2:2);
ybus(1:nb,2:2)=ybus(1:nb,SB:SB);
ybus(1:nb,SB:SB)=k(1:nb,SB:SB);

k(SB:SB,1:nb)=ybus(2:2,1:nb);
ybus(2:2,1:nb)=ybus(SB:SB,1:nb);
ybus(SB:SB,1:nb)=k(SB:SB,1:nb);

k(1:nb,1:1)=ybus(1:nb,IB:IB);
ybus(1:nb,IB:IB)=ybus(1:nb,1:1);
ybus(1:nb,1:1)=k(1:nb,1:1);

k(1:1,1:nb)=ybus(IB:IB,1:nb);
ybus(IB:IB,1:nb)=ybus(1:1,1:nb);
ybus(1:1,1:nb)=k(1:1,1:nb);

ybus

k=ybus(1:2,1:2)
L=ybus(1:2,3:nb)
LT=ybus(3:nb,1:2)
M=ybus(3:nb,3:nb)
MT=inv(M)
y2x2=k-L*MT*LT%%İndirgeme işlemi sonucunda elde edilen 2X2 lik
matris%%%%%%%%
y12=-1*y2x2(1,2)
zh=1/y12%%Hattın Empedansı%%
y1y=y2x2(1,1)-y12%%Hattın admitansı için Y/2 Değeri%%
y2y=y2x2(2,2)-y12%%Hattın admitansı için Y/2 Değeri%%
y=y1y+y2y%%Hattın Admitansı%%%%%%%%

```

6.3. EK 3: IEEE 9 BARALI SİSTEM BARA İNDİRGEME İŞLEMİNİ YAPAN MATLAB KODLARI (DSR'SİZ DURUM)

```

clc
clear all
nh=11;%hat sayısı
nb=9;%Bara Sayısı
ng=3;%Generatör Sayısı
SB=1%%Salınım Barası Numarası%%%%%%%%

```

```

IB=4%%%%İncelenen Yük Barası Numarası-her seferinde ilgili bara
numarası girilecek%%%%%%%%
P=[1.58,0.10,0.25,0.60,0.80,1,0.80,1.20,0.20];%%%Güç akışı sonucunda
elde edilen bara aktif güç değerleri%%%%%%%%
Q=[0.11,0.05,0.15,0.40,2.84,0.80,0.60,0.16,0.10];%%%Güç akışı
sonucunda elde edilen bara reaktif güç değerleri%%%%%%%%
V=[1.03,1.01,1,1.03,1.06,1,1.02,1.01,1];%%%Güç akışı sonucunda elde
edilen bara gerilim genlik değerleri%%%%%%%%

blt=[1 1 2 3 4 4 5 5 6 7 8;2 4 3 9 5 6 6 7 9 8 9];%Hat bağlantı sırası
zh1=[0.0180+0.0540i,0.0150+0.0450i,0.0180+0.0560i,0.0200+0.0600i,0.013
0+0.0360i,0.0200+0.0660i,0.0600+0.030i,0.0140+0.0360i,0.0100+0.0500i,0
.0320+0.0760i,0.0220+0.0650i];%%%Hat empedansları-Sisteme ilişkin
data tablolarından%%%%%%%%
ys1=[0.0045i,0.0038i,0,0,0.0030i,0,0.0028i,0.0030i,0,0,0];%%%Hat
admitansları-Sisteme ilişkin data tablolarından%%%%%%%%

%BARA ADMİTANS MATRİSİ HESAPLAMASI
ybus=zeros(nb,nb);
for k=1:nb
    %Ana Köşegen Elemanlarının Hesabı
    for f=1:nb
        if blt(1,f)==k|blt(2,f)==k
            t=(1/zh1(f))+ys1(f);
            ybus(k,k)=ybus(k,k)+t;
        end
    end
    %Ana Köşegen Dışındaki Elemanların Hesabı
    for d=1:nb
        for p=1:nb
            if blt(1,d)==k&blt(2,d)==p
                t=(-1/zh1(d));
                ybus(k,p)=ybus(k,p)+t;
                ybus(p,k)=ybus(k,p);
            end
        end
    end
end
end
end
ybus

%%%Bara İndirgeme İşlemi%%%%%%%%%%%%%%
s=zeros(1,nb);
fi=zeros(1,nb);
z=zeros(1,nb);
y=zeros(1,nb);

for i=1:nb
    if (i~=SB & i~=IB)
        s(i)=P(i)+j*Q(i);
        fi(i)=(180/pi)*atan(Q(i)/P(i));
        z(i)=((V(i))^2)/s(i)*exp(j*fi(i));
        y(i)=1/(z(i));
    end
    if (i==5||i==8)
        ybus(i,i)=ybus(i,i)-y(i);
    else
        ybus(i,i)=ybus(i,i)+y(i);
    end
end
end

```

```

s
fi
z
y

K=zeros(nb,nb);

k(1:nb,SB:SB)=ybus(1:nb,2:2);
ybus(1:nb,2:2)=ybus(1:nb,SB:SB);
ybus(1:nb,SB:SB)=k(1:nb,SB:SB);

k(SB:SB,1:nb)=ybus(2:2,1:nb);
ybus(2:2,1:nb)=ybus(SB:SB,1:nb);
ybus(SB:SB,1:nb)=k(SB:SB,1:nb);

k(1:nb,1:1)=ybus(1:nb,IB:IB);%%%%%%%%%
ybus(1:nb,IB:IB)=ybus(1:nb,1:1);%%%%%%%%%
ybus(1:nb,1:1)=k(1:nb,1:1);%%%%%%%%%
                                %%%%%%%%%%
k(1:1,1:nb)=ybus(IB:IB,1:nb);%%%%%%%%% 2 nolu yük barası için bu kısım
çalıştırılmayacak %%%%%%%%%%
ybus(IB:IB,1:nb)=ybus(1:1,1:nb);%%%%%%%%%
ybus(1:1,1:nb)=k(1:1,1:nb);%%%%%%%%%

ybus

k=ybus(1:2,1:2)
L=ybus(1:2,3:nb)
LT=ybus(3:nb,1:2)
M=ybus(3:nb,3:nb)
MT=inv(M)
y2x2=k-L*MT*LT%%%İndirgeme işlemi sonucunda elde edilen 2X2 lik
matris%%%%%%%%%
y12=-1*y2x2(1,2)
zh=1/y12%%%Hattın Empedansı%%%
y1y=y2x2(1,1)-y12%%%Hattın admitansı için Y/2 Değeri%%%
y2y=y2x2(2,2)-y12%%%Hattın admitansı için Y/2 Değeri%%%
y=y1y+y2y%%%Hattın Admitansı%%%%%%%%%

```

6.4. EK 4: IEEE 9 BARALI SİSTEM BARA İNDİRGEME İŞLEMİNİ YAPAN MATLAB KODLARI (DSR'Lİ DURUM)

```

clc
clear all
nh=11;%hat sayısı
nb=9;%Bara Sayısı
ng=3;%Generatör Sayısı
SB=1%%Salınım Barası Numarası%%%%%%%%%
IB=2%%İncelenen Yük Barası Numarası-her seferinde ilgili bara
numarası girilecek%%%%%%%%%
P=[1.58,0.10,0.25,0.60,0.80,1,0.80,1.20,0.20];%%%Güç akışı sonucunda
elde edilen bara aktif güç değerleri%%%%%%%%%
Q=[0.08,0.05,0.15,0.40,2.62,0.80,0.60,0.09,0.10];%%%Güç akışı
sonucunda elde edilen bara reaktif güç değerleri%%%%%%%%%

```

```

V=[1.03,1.01,1,1.02,1.06,1,1.01,1.01,1.01];%%%Güç akışı sonucunda
elde edilen bara gerilim genlik değerleri%%%%%%%%

blt=[1 1 2 3 4 4 5 5 6 7 8;2 4 3 9 5 6 6 7 9 8 9];%Hat bağlantı sırası
zh1=[0.0180+0.0540i,0.0150+0.0599i,0.0180+0.0560i,0.0200+0.0600i,0.013
0 + 0.0393i,0.0200+0.0660i,0.0600 + 0.0328i,0.0140 +
0.0395i,0.0100+0.0500i,0.0320+0.0760i,0.0220+0.0650i];%%%Hat
empedansları-DSR eklenen hatların empedanslarına DSR'nin oluşturduğu
toplam edüktans eklenmiş hali %%%%
ys1=[0.0045i,0.0038i,0,0,0.0030i,0,0.0028i,0.0030i,0,0,0];%%%Hat
admitansları-Sisteme ilişkin data tablolarından%%%%%%%%

%BARA ADMİTANS MATRİSİ HESAPLAMASI
ybus=zeros(nb,nb);
for k=1:nb
    %Ana Köşegen Elemanlarının Hesabı
    for f=1:nh
        if blt(1,f)==k||blt(2,f)==k
            t=(1/zh1(f))+ys1(f);
            ybus(k,k)=ybus(k,k)+t;
        end
    end
    %Ana Köşegen Dışındaki Elemanların Hesabı
    for d=1:nh
        for p=1:nb
            if blt(1,d)==k&blt(2,d)==p
                t=(-1/zh1(d));
                ybus(k,p)=ybus(k,p)+t;
                ybus(p,k)=ybus(k,p);
            end
        end
    end
end
end
end
ybus

%%%Bara İndirgeme İşlemi%%%%%%%%%%%%%%
s=zeros(1,nb);
fi=zeros(1,nb);
z=zeros(1,nb);
y=zeros(1,nb);

for i=1:nb
    if (i~=SB & i~=IB)
        s(i)=P(i)+j*Q(i);
        fi(i)=(180/pi)*atan(Q(i)/P(i));
        z(i)=((V(i))^2)/s(i)*exp(j*fi(i));
        y(i)=1/(z(i));
    end
    if (i==5||i==8)
        ybus(i,i)=ybus(i,i)-y(i);
    else
        ybus(i,i)=ybus(i,i)+y(i);
    end
end
end
s
fi
z
y

```

```

K=zeros(nb,nb);

k(1:nb,SB:SB)=ybus(1:nb,2:2);
ybus(1:nb,2:2)=ybus(1:nb,SB:SB);
ybus(1:nb,SB:SB)=k(1:nb,SB:SB);

k(SB:SB,1:nb)=ybus(2:2,1:nb);
ybus(2:2,1:nb)=ybus(SB:SB,1:nb);
ybus(SB:SB,1:nb)=k(SB:SB,1:nb);

k(1:nb,1:1)=ybus(1:nb,IB:IB);%%%%%%%%%
ybus(1:nb,IB:IB)=ybus(1:nb,1:1);%%%%%%%%%
ybus(1:nb,1:1)=k(1:nb,1:1);%%%%%%%%%
%%%%%%%%%
k(1:1,1:nb)=ybus(IB:IB,1:nb);%%%%%%%%% 2 nolu yük barası için bu kısım
çalıştırılmayacak %%%%%
ybus(IB:IB,1:nb)=ybus(1:1,1:nb);%%%%%%%%%
ybus(1:1,1:nb)=k(1:1,1:nb);%%%%%%%%%

ybus

k=ybus(1:2,1:2)
L=ybus(1:2,3:nb)
LT=ybus(3:nb,1:2)
M=ybus(3:nb,3:nb)
MT=inv(M)
y2x2=k-L*MT*LT%%%İndirgeme işlemi sonucunda elde edilen 2X2 lik
matris%%%%%%%%
y12=-1*y2x2(1,2)
zh=1/y12%%%Hattın Empedansı%%%
y1y=y2x2(1,1)-y12%%%Hattın admitansı için Y/2 Değeri%%%
y2y=y2x2(2,2)-y12%%%Hattın admitansı için Y/2 Değeri%%%
y=y1y+y2y%%%Hattın Admitansı%%%%%%%%

```

6.5. EK 5: P-V EĞRİSİNİN ÇİZİMİ İŞLEMİNİ YAPAN MATLAB KODLARI

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%P-V Eğrisi %%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clear all
clc
vs=220000;%%Kaynak Gerilimi
z=(0.0138+0.1425i)*484/550%%% Bara indirgeme işlem sonucunda elde
edilen 2X2 lik matrizen hesaplanan hat empedansı ohm/km%%%%%%%%%
y=(0.8590-1.3477i)*0.0021/550%%% Bara indirgeme işlem sonucunda elde
edilen 2X2 lik matrizen hesaplanan hat admitansı s/km%%%%%%%%%
l=550;%%%%%%%% km olarak hat uzunluğu%%%%%%%%%
gm=sqrt(z*y)%%%%%%%% gm:gama yayılma sabiti%%%%%%%%%
%alfa=real(gm);
%beta=imag(gm);
zc=sqrt(z/y)%%%%%%%% karakteristik empedans değeri%%%%%%%%%
A=cosh(gm*l)%%%%%%%% Uzun İletim Hattı Sabiti%%%%%%%%%
B=zc*sinh(gm*l)%%%%%%%% Uzun İletim Hattı Sabiti%%%%%%%%%
C=(1/zc)*sinh(gm*l);%%%%%%%% Uzun İletim Hattı Sabiti%%%%%%%%%
D=A;%%%%%%%% Uzun İletim Hattı Sabiti%%%%%%%%%
a1=real(A);
a2=imag(A);

```

```

b1=real(B);
b2=imag(B);
A2=(a1.^2+a2.^2);
B2=b1.^2 +b2.^2;
%+++++
% p-v gercek değerler ile eğrisi
%tanfi=beta
fi=(180/pi)*acos(0.95)%%% Buraya kritik değeri incelenen her bara
için cos? değeri girilecek %%%
beta=tan(fi);
pdn=linspace(0, 9e+8 ,1000);
b=2*pdn*(a1*b1+a2*b2)+2*pdn*beta*(a1*b2-a2*b1)-vs.^2;
delta=b.^2- (4*A2*B2*pdn.^2)*(1+beta.^2);
%v2n=sqrt(3)*(sqrt(-b+sqrt(delta)/(2*A2)));
v2n=sqrt((-b+sqrt(delta))/(2*A2));
%+++++
pdp=linspace(9e+8 , 0 , 1000);
by=2*pdp*(a1*b1+a2*b2)+2*pdp*beta*(a1*b2-a2*b1)-vs.^2;
deltay=by.^2-4*A2*B2*pdp.^2*(1+beta.^2);
%v2p=sqrt(3)*((sqrt(-by-sqrt(deltay)/(2*A2))));
v2p=sqrt((-by-sqrt(deltay))/(2*A2));
pd1=[pdn pdp];
v21=[v2n v2p];
%p-v eğrilerinin çizdirilmesi
plot(pd1,v21,'k-');
%plot(pd1,v21,'k';',pd2,v22,'w-',pd3,v23,'.w-.');
%title('P - V EGRISI');
title('cos(fi)=0.95 p-v eğrileri ');
legend('cos(fi)=0.95')
xlabel('Pr ( W )');
ylabel('Vr ( V ) ( faz-Nötr )');
grid on

```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yusuf ALAŞAHAN

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Müh.	Düzce Üniversitesi	2023
	Elektrik Eğitimi	Düzce Üniversitesi	2015
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2020
	Elektrik Öğretmenliği	Abant İzzet Baysal Üniv.	2009
Lise	Elektrik	Osmaniye End. Mes. Lisesi	1998

TEZDEN ÇIKAN YAYIN(LAR)

Alaşahan Y. Tosun S.,”**Dağıtılmış Seri Reaktörlerin (DSR) Güç Sistemlerine Etkileri**”, *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, Cilt: 15, (2020), Sayı: 4, ss: 50-63.

DİĞER YAYINLAR

Alaşahan Y. Ercan İ. Öztürk A. Tosun S. **Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Kritik Değerlere Etkisi** *Düzce Üniv. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi* Cilt 5, Sayı 1, (2016), 191-202