
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

ENERJİ SİSTEMLERİNDE DİNAMİK GÜÇ AKIŞI İZLEME VE GERİLİM KARARLILIK ANALİZİ

Ümüt ÇETİNKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKİM 2016

Ümüt ÇETİNKAYA tarafından hazırlanan "ENERJİ SİSTEMLERİNDE DİNAMİK GÜÇ AKIŞI İZLEME VE GERİLİM KARARLILIK ANALİZİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR

Elektrik Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ..……

İkinci Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet YEŞİLBUDAK

Elektrik Elektronik Mühendisliği, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ...……

Başkan : Prof. Dr. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

Elektrik Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ...……

Üye: Doç. Dr. Hamit ERDEM

Elektrik Elektronik Mühendisliği, Başkent Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ...……

Üye: Doç. Dr. Erdal IRMAK

Elektrik Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ...……

Tez Savunma Tarihi: 05/10/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……..…….

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ümüt ÇETİNKAYA

05/10/2016

ENERJİ SİSTEMLERİNDE DİNAMİK GÜÇ AKIŞI İZLEME VE GERİLİM KARARLILIK ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ümüt ÇETİNKAYA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2016

ÖZET

Günümüzde elektrik enerjisine olan talep sürekli artmaktadır. Bu talebi karşılamak için kesintisiz ve kararlı bir elektrik şebeke alt yapısının sağlanması güncel çalışma alanları arasında yer almaktadır. Aynı zamanda, işletme verimliliğini artırmak ve doğru yatırımları yapmak için elektrik sistemlerinin doğru şekilde analiz edilmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, öncelikle, güç sistemleri için ihtiyaç duyulan dinamik güç akış analizi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen uygulama aracılığıyla, modellenen güç sistemlerinin güç akış analizleri şebeke verilerinin otomatik olarak okunmasıyla yapılabilmektedir. Daha sonra, güç akış analizleri neticesinde, şebeke gerilim koşullarını sağlamayan baralar tespit edilerek gerilim kararlılık analizleri yapılmıştır. Modellenen şebeke üzerindeki baraların aktif güç – gerilim sınırları P-V eğrileri metodu kullanılarak elde edilmiştir. Son olarak ise, şebekede meydana gelen gerilim bozulmalarının kontrolünde talep tarafı faaliyetlerinin etkisi araştırılmıştır. Tüm modelleme ve analiz çalışmaları Digsilent Power Factory programıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, dinamik güç akış uygulaması ve gerilim kararlılık analizleri örnek bir test sistemi ve gerçek şebeke modeli üzerinde yapılmıştır. Geliştirilen dinamik güç akış analizi uygulamasıyla daha hızlı ve görsel bir analiz ortamı elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 90502

Anahtar Kelimeler : Dinamik güç akış analizi, Gerilim kararlılığı, P-V eğrisi, Talep tarafı katılımı.

Sayfa Adedi : 83

Danışman : Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR

İkinci Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mehmet YEŞİLBUDAK

DYNAMIC POWER FLOW MONITORING AND VOLTAGE STABILITY ANALYSIS ON ENERGY SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Ümüt ÇETİNKAYA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

October 2016

ABSTRACT

Nowadays, the demand for electrical energy is constantly increasing. To meet this demand, ensuring an uninterrupted and stable power grid infrastructure is among current workspaces. In the meantime, it is required to analyze and evaluate the electrical systems accurately in order to increase the operational efficiency and make the right investments. In this thesis, firstly, an application of dynamic power flow analysis needed for power systems is carried out. By means of the developed application, the power flow analysis of the power systems modeled can be made by reading the grid data automatically. Afterwards, as a result of the power flow analysis, the voltage stability analyses have been done by determining the buses which could not provide the grid conditions. The active power – voltage limits of the buses on the modeled power system have been obtained by using P-V curves method. And finally, the effect of demand-side facilities has been investigated in the control of voltage distortions occurred on the power systems. All modeling and analyzing studies have been carried out by Digsilent Power Factory program. In addition, the dynamic power flow application and the voltage stability analysis have been made on a sample test system and a real grid model. A faster and visual analysis platform has been obtained via the dynamic power flow application developed.

Science Code : 90502

Key Words : Dynamic power flow analysis, Voltage stability, P-V curve, Demand-side participation.

Page Number : 83

Supervisor : Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR

Co-Supervisor : Assist. Prof. Dr. Mehmet YEŞİLBUDAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen ve katkılarıyla beni yönlendiren kıymetli danışman hocalarım Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet YEŞİLBUDAK'a, çok değerli arkadaşım Mustafa CANAY'a, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TEİAŞ'ta görevli tüm çalışma arkadaşlarıma, maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme, eşime ve kızıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

SİMGELER VE KISALTMALAR xii

1. GİRİŞ 1

2. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİ 9

2.1. Elektrik Enerjisi ve Önemi 9

2.2. Elektrik Üretim – İletim - Dağıtım Sistemleri 10

2.3. Türkiye'de Üretim, İletim ve Dağıtım Sistemleri 11

3. GÜÇ SİSTEM ANALİZLERİ 17

3.1. Güç Akış Analizi 18

3.1.1. Bara çeşitleri 19

3.1.2. Per-unit sistem 20

3.1.3. Bara admitans matrisi 21

3.1.4. Newton Raphson metodu ile güç akış analizi 24

3.2. Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığı 28

3.2.1. Gerilim kararlılık analizi 30

4. ELEKTRİK SİSTEMLERİNDE TALEP TARAFI KATILIMI VE YÖNETİMİ 35

5. GÜÇ SİSTEMLERİNDE GERÇEK ZAMANLI GÜÇ AKIŞ ANALİZİ VE GERİLİM KARARLILIĞI 39

Sayfa

5.1. Elektrik Sistemlerinde Dinamik Güç Akışı Uygulaması 39

5.2. Örnek Bir Güç Sistemi Üzerinde Dinamik Güç Akış Analizi ve Kritik Noktaların Belirlenmesi 50

5.3. Güç Sistemlerinde Kritik Noktalarda Gerilim Kararlılık Analizi Uygulaması... 60

5.4. Talep Tarafı Katılımıyla Gerilim Seviyesi Kontrolü 65

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 69

KAYNAKLAR 73

EKLER..... 79

Ek-1. Yazılım kodu..... 80

ÖZGEÇMİŞ 82

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. 2015 yılı sonu itibariyle kurulu güç kapasiteleri…..... 12

Çizelge 2.2. 2013-2014 yılları Türkiye elektrik üretimi ve tüketimi..... 13

Çizelge 2.3. 2013-2014 yılları Türkiye elektrik enerjisi birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı ...…….....…..…….…. 13

Çizelge 2.4. İletim hatları karakteristikleri ve uzunlukları …… 16

Çizelge 3.1. Bara çeşitleri, bilinen ve bilinmeyen değişkenler…...……. 19

Çizelge 5.1. Üretim ve tüketim değerleri ……...…….. 43

Çizelge 5.2. Şebeke servis durumları …….……. 43

Çizelge 5.3. Bara gerilimlerinin renk skalası …….……...……. 45

Çizelge 5.4. Hat ve generatörlerin yüklenme oranı renk skalası ….……. 46

Çizelge 5.5. Santral kurulu gücü ve özellikleri …….……..……..…….. 50

Çizelge 5.6. Hat tipi ve uzunlukları …….…… 51

Çizelge 5.7. İşletme gerilim sınırları …….……. 51

Çizelge 5.8. Baralardaki yüklerin güç değerleri…….…. 53

Çizelge 5.9. Generatörlerin güç değerleri ……..…. 54

Çizelge 5.10. Uygulanan yöntemlerin sonuçları ……. 68

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. 2015 yılı sonu itibariyle kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı 12

Şekil 2.2. Türkiye'nin gerçekleşen ve tahmin edilen elektrik tüketim eğrisi 15

Şekil 2.3. 2013-2022 yılları arasındaki termik elektrik santralleri kapasite projeksiyonu……. 15

Şekil 2.4. 2013-2022 yılları arasındaki yenilenebilir elektrik santralleri kapasite projeksiyonu 16

Şekil 3.1. Gerilim kaynağı ve empedans 21

Şekil 3.2. Dört baralı şebekenin tek hat şeması 22

Şekil 3.3. Empedans diyagamı 22

Şekil 3.4. Admitans diyagramı..... 23

Şekil 3.5. Güç sistem kararlılığının sınıflandırılması 29

Şekil 3.6. P-V ve Q-V eğrileri 33

Şekil 4.1. Talep tarafı katılımı ve yönetimi şeması 37

Şekil 5.1. Program akış diyagramı 41

Şekil 5.2. Örnek dört baralı sistemin tek hat diyagramı……... 42

Şekil 5.3. Kod dizinin çalıştırılması ……... 44

Şekil 5.4. Senaryo-1 sonuçları 45

Şekil 5.5. Senaryo-2 sonuçları 47

Şekil 5.6. Senaryo-3 sonuçları 47

Şekil 5.7. Senaryo-4 sonuçları 48

Şekil 5.8. Senaryo-5 sonuçları 48

Şekil 5.9. Analiz tabloları ve raporları …….. 49

Şekil 5.10. Tek hat şeması 52

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.11. Durum 1 analiz sonucu 55

Şekil 5.12. Bara gerilimleri tablosu-Durum 1..... 56

Şekil 5.13. Bara gerilimleri raporu-Durum 1..... 57

Şekil 5.14. Durum 2 analiz sonucu 58

Şekil 5.15. Bara gerilimleri tablosu - Durum 2..... 59

Şekil 5.16. Bara gerilimleri raporu - Durum 2..... 59

Şekil 5.17. Yük değişim karakteristiği..... 61

Şekil 5.18. Bara 17 ve Bara 18 gerilim eğrisi..... 62

Şekil 5.19. Durum 1 için P-V eğrileri……...… 63

Şekil 5.20. Durum 2 için P-V eğrileri…….…. 64

Şekil 5.21. Genişletilmiş akış diyagramı ……... 65

Şekil 5.22. Tarafı katılımı uygulaması öncesindeki baraların mevcut durumları …..... 66

Şekil 5.23. Birinci yöntem sonucu …… 67

Şekil 5.24. İkinci yöntem sonucu ……..…….. 65

Şekil 5.25. Üçüncü yöntem sonucu ……. 68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
pu	Per Unit
P	Aktif Güç
Q	Reaktif Güç
δ	Gerilim Faz Açısı

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AA	Alternatif Akım
AVR	Otomatik Gerilim Kontrolü
DA	Doğru Akım
FACTS	Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (Flexible Alternative Current Transmission System)
HES	Hidroelektrik Santrali
JES	Jeotermal Elektrik Santrali
P-V	Aktif Güç- Gerilim
Q-V	Reaktif Güç- Gerilim
RES	Rüzgâr Elektrik Santrali
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi, kullanım kolaylığı ve diğer tüm enerji türlerine alternatif olarak kullanılabilmesi nedeniyle çağımızın vazgeçilmez ihtiyacı haline gelmiştir. İnsan hayatı için ekonomik ve sosyal faaliyetlerin en değişmez parçasıdır. Ulaşımdan haberleşmeye, sağlıktan tarıma tüm sektörel faaliyetlerin en önemli girdisidir. Elektrik enerjisinin üretiminde geçmişten beri genel olarak fosil yakıtlardan faydalanılmaktadır. Fosil yakıtların bir gün tükenecek olması ve çevreye verdiği olumsuz etkilerden dolayı artık yerini temiz ve doğa dostu kaynakların kullanımına bırakmaya başlamıştır. Güneş, rüzgâr, biokütle gibi kaynakların yer aldığı yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi gelişen teknolojiyle birlikte daha da artmaktadır. Ancak elektrik enerjisinin en büyük dezavantajı büyük oranda depolanamaması ve üretildiği anda tüketilmesi zaruriyetidir. Günümüzde yeni nesil depolama teknikleri ortaya çıkmış olsa da henüz istenilen seviyeye ulaşılamamıştır. Bununla birlikte elektrik enerjisine olan talep her geçen gün artmaktadır. Tüketiciye kesintisiz ve kaliteli bir hizmet sunmak tüm şebeke işletmecilerin en önemli görevidir. Bu nedenle üretiminden dağıtımına kadar elektrik şebekelerinin doğru bir şekilde planlanması ve işletilmesi gerekmektedir [1-3].

Elektrik sistemlerinin geleneksel yapısı ise her geçen gün değişmekte ve gelişmektedir. Son yıllarda yaşanan liberalleşme süreciyle sektörel olarak pek çok değişimler meydana gelmiştir. Geleneksel elektrik sistemlerinde yerleşim yerlerinden uzakta büyük üretim santralleri bulunurken, bugün ise tüketici seviyesinde elektrik üretilebilmektedir. Elektriği uzun hatlarla iletmek yerine daha merkezi noktalarda üreterek kısa hatlarla dağıtılabilmektedir. Ancak artan dağıtık şebeke yapısı ise elektrik sistemlerinin kontrolünü daha karmaşık hale getirmektedir. Bu sorunların önüne geçilmesi ve artan talebin sürdürülebilir şekilde sağlanabilmesi için ülkemizde ve dünyada yoğun çalışmalar ve yatırımlar yapılmaktadır. Elektrik sistemini oluşturan üretim, iletim ve dağıtım şebekelerinin birbiri ile uyum içerisinde olmasını sağlayacak, ayrıca tüketicinin etkinliğini ve enerji verimliliğini artıracak akıllı şebeke uygulamaları amaçlanmaktadır [4].

Elektrik sistemleri üreticiden tüketiciye pek çok unsuru bünyesinde barındırırken, coğrafi olarak farklı bölgelere dağılmaktadır. Bu nedenle enerji sistemlerinin optimum işletme koşullarının sağlanması amacıyla, farklı güç sistemlerinin birbiriyle bağlanması sonucu

enterkonnekte şebekeler oluşmaktadır. Büyük çaplı şebekelerin ise planlanması ve işletme sürecinde ortaya çıkabilecek sorunların giderilmesi için bir dizi sistem analizleri yapılmaktadır. En yaygın ve temel olarak yapılanlar; yük akış analizi, kısıtlılık analizi, kararlılık analizi ve kısa devre analizidir. Büyük ölçekli şebeke analizleri olduğu için bu analizler geliştirilen programlar aracılığıyla yapılmaktadır. Böylece şebeke üzerindeki yük akışlarını, sistemdeki kayıpları, enerji akış yönlerini, şebekenin kritik çalışma sınırları, vb. sonuçlar elde edilebilmektedir [5].

Güç akış analizleri elektrik sistemlerinin planlama ve kontrol safhalarında ihtiyaç duyulan önemli bir araçtır. Güç sisteminin kararlılığı; durum tahmini, dengeleme gibi çok önem arz eden konular doğru bir şekilde yapılacak güç akış analizine ihtiyaç duyar. Ayrıca diğer şebeke analizlerinin uygulanmasında da güç analizi temel olarak kullanılmaktadır. Örneğin kısıtlılık analizi temel olarak güç akış analizine dayanmaktadır. Planlama açısından bakıldığında şebekenin ileriye dönük talep durumuna göre güç analizleri yapılarak, ilave şebeke yatırımları en doğru şekilde hesaplanmaya çalışılır. Gelişen şebeke üzerinde her bir baranın gerilim büyüklüğü ve açısının belirlenmesi, iletim hatlarının ve trafoların yüklenme oranlarının belirlenmesi, yapılan analiz sonucunda elde edilir. Böylece elektrik şebekesinin karşılaşabileceği her husus incelenebilmektedir. Güç akışı analizleri için birden fazla etkili ve güvenilir güç akışı metotları vardır. En yaygın kullanılan yöntemler Newton – Raphson ve Gauss – Seidel yöntemleridir [6].

Elektrik sistemlerinin belirlenmiş şebeke koşulları altında işletilmesi gerekmektedir. Bu şebeke koşullarının en önemli parametrelerinden birisi de şebeke gerilimidir. Gerilim kararlılığı, şebekedeki baraların, gerilim genlik değerlerini tüm koşullarda belirli limitler arasında tutabilme yeteneğidir. Şebekede meydana gelebilecek kısa devre, hat açması, aşırı yüklenme, üretim azalması gibi bozucu etkiler gerilim kararsızlığına neden olabilir. Bazen bu bozucu etkiler bölgesel çökmeye hatta tüm bir sistemin çökmesine neden olabilir. Gerilim çökmelerine neden olacak en büyük etken plansız/ani yük artışlarıdır. Şebekedeki ani yük artışlarıyla geçici ya da uzun süreli bozulmalar oluşabilir ve şebekenin gerilim kararlılığını etkileyebilir. Bu olayların önlenebilmesi için güç sistemlerinin gerilim kararlılık analizleri yapılarak, gerilim kontrol yöntemleri uygulamaktadır. Trafo kademe değiştiricileri, seri-paralel kompanzasyon, aşırı yük durumlarında yük atma gibi yöntemler uygulanmaktadır [7].

Bununla birlikte, günümüzde güç sistemlerinde yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve şebekeye entegrasyonu sürekli artmaktadır. Bilindiği gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının süreklilik arz etmemesi en önemli dezavantajıdır. Bu nedenle yenilebilir enerji kaynaklı üretim santrallerinin kontrolü şebeke işletmecileri açısından oldukça önemlidir. Ayrıca akıllı şebeke mimarisinin en büyük hedeflerinden biri de tüketicinin elektrik piyasasında daha etkin rol alabilmesini temin etmektir. Akıllı şebekelerin kullanılmasında hem enerji verimliliğinin artırılması hem de ekonomik olarak fayda sağlanması hedeflenmektedir [8]. Tüketicinin elektrik talebini elektrik fiyatına göre kendi kendine kontrol etmesi, mikro şebeke uygulamalarıyla üretici rolünü üstlenmesi, şebeke kısıtlarına göre üretici ya da tüketici faaliyetlerine aktif olması gelecek şebeke hedeflerindendir. Böylelikle tüketim tarafında güç sistemleri üretim-tüketim faaliyetleri kontrol edilebilecektir. Ancak bu durum sistem işletmecilerinin yükünü daha da artırması beklenmektedir. Güç sistemi üzerinde her unsurun aktifliğinin artması, daha güvenilir bir kontrol anlayışını gerektirmektedir. Güç sistemlerinin sürekli ve dinamik şekilde doğru şekilde analizlerinin yapılması ve kararlı işletme yapısının sağlanması gerekmektedir.

Literatür araştırmaları

Son yıllarda güç sistemlerinin bahsedilen gelişmelerine yönelik pek çok çalışmalar ve araştırmalar yapılmaktadır.

Katsanevakis, orta gerilim şebekesine bağlanan güneş santrallerinin şebekeye olan etkilerini incelemiştir. Yaptığı güç akışı ve gerilim kararlılığı analizleriyle şebekenin günlük olarak gerilim profilini hesaplamıştır [9].

Venkatesan, tüketici davranışlarını dikkate alarak talep katılımı modeli geliştirmiştir. Çalışmasında farklı talep katılımı senaryolarına göre gerçek zamanlı fiyatlandırma matrisleri oluşturulmuş ve günlük uygulaması yapılmıştır. Oluşturulan fiyatlandırmaya göre talep azaltılmasının şebeke gerilimine olan etkileri incelenmiştir [10].

Ahn, IEEE 25 baralı test sistemi üzerinde gerilim çökmelerinin şebeke kararlılığına olan etkilerini incelemiştir. Yapılan çalışmada farklı şebeke kritik durumları için P-V analizleri gerçekleştirerek şebeke gerilim kararlılığının değişimini ortaya koymuştur [11].

Shobole, gerçek zamanlı kaynak ve talep dengelemesi yönetimi uygulaması yapmıştır. Bu yöntemle üretim, tüketim, depolama piyasa koşullarını dikkate almış ve gerçek şebeke verileri üzerinde Digsilent programı üzerinde analizler gerçekleştirmiştir. Yapılan analiz sonucunda gerçek zamanlı üretim, tüketim ve depolama teknikleriyle dengeleme faaliyetleri yapılabildiğini göstermiştir [12].

Uzal, mevcut iletim ve dağıtım hatlarını bilgisayar ortamında modelleyerek, oluşabilecek arıza, yük değişiklikleri veya yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme bağlanması gibi farklı senaryoların güç akış analizlerini gerçekleştirmiştir. Güç sistemlerinin en iyi şekilde planlanmasına ve işletilmesine yönelik sonuçlar elde etmiştir [13].

Pamuk, il bazında elektrik şebekesini Matlab programında modelleyerek güç akış analizi ve kısa devre analizleri yapmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre yük taşıma kapasiteleri, röle koordinasyonları ve gerilim yalıtım seviyelerinin kontrol etmiştir [14].

Akwukwaegbu, güç sistemlerinde reaktif güç kontrolü ve gerilim kararlılığı konularını incelemiştir. Çalışmasında gerilim kararlılığını artıracak yük altında kademe değiştirme, bara ve fider şönt kapasitör uygulamalarını ve reaktif güç kontrolü metodu kullanılmıştır [15].

Bhuyan, güç sistemlerinin planlama ve işletme faaliyetlerine yönelik güç akış analizlerini IEEE 57 bara sistemi üzerinde gerçekleştirmiştir. Çalışmasında Matlab programı üzerinde yapılan model üzerinde yapılan analizlerde kullanıcı dostu bir uygulama yazılım alt yapısı oluşturulması hedeflenmiştir [16].

Marzooghi, gelecek şebeke alt yapısının kararlılığını ve performansını belirlemek için toplam talep katılımının olduğu bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında 2020 yılında Avusturya Elektrik piyasasının artan yenilenebilir enerji entegrasyonuyla nasıl etkileneceği ortaya koyulmuştur [17].

Keskin, güç sistemlerinde gerilim kararlılığı için "süregelen güç akışı metodunu" incelemiştir. Özelikle gerilim kararlılığına katkı sağlayan faktörler tartışılmış ve süregelen güç akışı metodunu örnek test sistemi ve Türkiye'nin farklı bölgelerindeki şebeke

bölümleri üzerinde uygulamıştır. Yapılan uygulama sonucunda pek çok bara için P-V eğrileri oluşturulmuştur [18].

Mavrikas, İsveç elektrik sisteminde talep tarafında tüketimin azaltılmasının ya da yük kaydırma faaliyetlerinin uygulama potansiyelini araştırmıştır. Özelikle tüketicileri en önemli faktör olarak kabul ederek farklı çalışma modellerine yoğunlaşmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda elektrik şebekesinin nasıl etkilendiği sonuçları elde edilmiştir [19].

Kaygusuz, artan dağıtık yenilenebilir enerji üretimlerinin şebekenin güç akışına olan etkilerini incelemiştir. Süreksiz kaynakların güç üretimlerinin durumlarına göre saatlik bazda analizler gerçekleştirerek şebekenin gerilim seviyesini incelemiştir. Sonuç olarak şebekede yeterli güç dengelemesi yapılırsa dağıtık kaynakların olumsuz etkilerinin olmadığı sonucuna varılmıştır [20].

Shen, kontrol edilebilir yönetimi yaklaşımını incelemiştir. Çalışmasında günümüzde yaygın olan son kullanıcıların depolama, elektrikli araçların V2G (Vehicle to Grid) uygulamaları açıklanmış ve kontrol stratejileri şebeke üzerinde analiz edilmiştir [21].

Farhoodne, çalışmasında gerilim kararlılığının önemini ve kontrol prensiplerini ortaya koymuştur. Ayrıca gerilim kararlılığı için FACT cihazlarının ve uyartım kontrollerinin önemini vurgulamıştır [22].

Sulaiman, P-V ve Q-V eğrileri yöntemini kullanarak gözlü şebeke yapısının gerilim kararlılık analizlerini Digsilent programıyla gerçekleştirmiştir. Ayrıca yapılan analizlerde şönt kapasitörlerin gerilim kararlılığına olan etkisi gösterilmiştir [23].

Petinrin, çalışmasında mikro şebekelerin şebeke geriliminin kontrolünde etkinliğini araştırmıştır. Oluşturulan güneş ve rüzgâr tabanlı hibrit mikro şebeke alt yapısı üzerinde ayrı olarak üretim etkilerini analiz etmiştir. Ayrıca talep kontrolünü de ilave ederek, mikro şebekelerin gerilim kontrolünde etkin olacağını ortaya koymuştur [24].

Narimani, çalışmasında talep katılımının güç sistemlerine olan etkilerini incelemiştir. IEEE 33 bara sistemi üzerinde talep katılımının şebeke kayıplarına, gerilim kararlılığına ve hat

yüklenmelerine olan etkisi incelenmiş olup, talep katılımının pek çok olumlu etkisi olduğu ortaya çıkarılmıştır [25].

Kadurek, lokal gerilim kontrolünde talep katılımının olası etkinliğini araştırmıştır. Bunun için yeni bir talep katılımı uygulamasıyla OG ve AG trafo merkezlerinde testler gerçekleştirmiştir. Yapılan test sonuçlarında lokal talep katılımlarının doğru şekilde yapılması halinde merkezi kontrolden daha faydalı olabileceği sonucuna varılmıştır [26].

Yapılan çalışmalara genel olarak incelendiğinde güç sistemlerinde güç akış analizinin farklı yöntem ve metotlarla yapıldığı anlaşılmaktadır. Özelikle örnek bara sistemlerinde ve bazı gerçek şebeke üzerinde planlama ve işletme koşullarının belirlenmesinde uygulamalar yapılmıştır. Diğer taraftan gerilim kararlılık analizleri uygulamalarında P-V eğrisi, Q-V eğrisi ve süregelen güç akışı metotlarıyla başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte gelişen ve değişen şebeke koşullarının güç sistemine olan etkileri belirli dönem ve koşullar altında incelenmiştir. Ancak dağıtık şebeke koşullarının arttığı, kullanıcıların elektrik piyasasında daha etkin rol almaya başladığı günümüz şebeke şartlarında güç sistemlerinin sürekli olarak izlenmesi, analiz edilmesi ve kontrol edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca sürekli olarak değişen şebeke şartları altında kararlı bir sistemin sağlanabilmesi oldukça zor hale gelmektedir. Bu nedenle zorluğun aşılabilmesi için değişken şebeke koşullarının anlık olarak kararlılık analizlerinin yapılması ve kontrol işlemlerini kolaylaştırması en büyük ihtiyaçlardan birisidir.

Yapılan bu tez çalışmasında özellikle dinamik bir güç akış analizi ortamı oluşturularak, şebeke kararlılık analizlerinin yapılabileceği bir uygulama yapılması hedeflenmiştir. İlk olarak güç sistemleri için ihtiyaç duyulan dinamik güç akış analizinin yapılabildiği bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulama ile güç sistemlerinin modellemelerinin yapılmasının ardından, şebeke verilerinin otomatik olarak okunduğu ve bu veriler üzerinden anlık güç akış analizlerin yapılabildiği bir yapı geliştirilmiştir. Daha sonra analizlerin sonucunda elde edilen şebeke gerilim profili incelenerek kritik noktalar belirlenmiştir. Bu kritik noktalarda şebeke gerilimlerinin analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerilim kararlılığının sağlanabilmesi için kritik noktalarda P-V eğrileri oluşturularak, bozulmaya neden olan işletme sınırları belirlenmiştir. Son olarak ise şebekede meydana gelen gerilim bozulmalarının kontrolünde talep tarafının rolü üzerinde durulmuştur. Yapılan tüm modelleme ve analiz çalışmalarında Digsilent Power Factory programı

kullanılmıştır. Ayrıca yapılan dinamik güç akış analizi ve optimizasyon uygulaması Türkiye'nin mevcut elektrik alt yapısına benzer bir model üzerinde gerçekleştirilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, örnek dört baralı şebeke ile gerçek şebeke üzerinde yapılan farklı şebeke durumlarının hızlı bir şekilde güç akış analizlerinin yapılabildiği örnek bir uygulama geliştirilmiştir.

2. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİ

2.1. Elektrik Enerjisi ve Önemi

Enerji, insanoğlunun var oluşundan beri insanlığın gelişiminde büyük rol oynamaktadır. Ekonomik, sosyal ve çevresel ihtiyaçlar göz önüne alındığında enerjinin kaynakları ve kullanım gereksinimi asla yadsınamaz. Eğitim, sağlık, ulaşım, haberleşme, sanayi tesisleri ve altyapı hizmetlerinin sunumunda, beslenme, ısınma ve barınma gibi sosyal ihtiyaçların giderilmesinde sağladığı imkânlar düşünüldüğünde, enerjinin neden bir toplumun ilerlemesinde en önemli girdilerden biri olarak değerlendirildiği daha iyi anlaşılabilmektedir [27].

Enerji kaynakları iki grup olarak incelenebilir. Birincil enerji kaynakları; her hangi bir kaynaktan türetilmemiş ve doğada kendiliğinden var olan, kömür, petrol, doğalgaz, rüzgar, güneş ve hidrolik enerji gibi kaynaklardır. İkincil enerji kaynakları ise elektrik enerjisi gibi güneş, rüzgar, fosil yakıtlar, hidrolik vb. diğer enerji kaynaklarından dönüştürülmüş enerji türleridir.

Diğer enerji türleriyle karşılaştırıldığında elektrik enerjisinin avantajları bulunmaktadır. Bunlar özellikle; kolay dönüştürülebilir olması, uzun mesafelere iletilebilirliği, kullanım kolaylığı, verimliliği, çevre dostu olmasıdır. Ayrıca ısınma, aydınlatma, ulaşım gibi pek çok farklı amaç için de kullanılabilir. Ekonomik açıdan bakıldığında ise elektrik, bulunduğu yerin sosyal ve ekonomik yapısını da değiştirmektedir. Ancak bazı dezavantajları da vardır. Bunların en önemlisi depolanamamasıdır. Bu nedenle elektrik sistemlerinde kaçınılmaz olan husus üretildiği anda tüketilmesidir. Özelikle de tüketimin olduğu yerde elektriğin iletim ve dağıtım kayıplarına maruz kalmadan üretilmesi arzu edilen hususdur. Günümüzde yeni nesil teknolojiler kullanılarak depolama teknikleri geliştirilmektedir ancak yakın gelecekte yeterli olacağı öngörülememektedir. Diğer bir husus ise iletim ve dağıtım şebekelerinin tesis yatırımları ve işletme koşullarıdır. Artan talep ve nüfus paralelinde artan abone sayıları, dağıtık üretim sistemlerinin entegrasyonunun artmasıyla elektrik şebekelerinin dengeli bir şekilde işletilmesi daha da karmaşık hale gelmektedir.

Günümüzde insan hayatının her geçen gün elektrik enerjisine olan bağımlılığı artmaktadır. Artan nüfus ve sanayileşmenin etkisiyle elektrik enerjisi tüketimi artmaktadır. Elektrik enerjisinin dünya nihai enerji tüketimindeki payı 1973 yılında % 9,4 iken, 2002'de % 16,1 ve 2010 yılında % 17,7 ye yükselmiştir. Bu oranın 2030 yılında %20,2 olması beklenmektedir. Bununla birlikte arz-talep dengesinin sağlanabilmesi de diğer bir önemli unsurdur. Tüketiciye kesintisiz ve sürdürülebilir bir hizmet sağlamak elektrik sistem işletmecilerinin en önemli görevidir. Elektrik sistemlerinin üretim, iletim ve dağıtım altyapılarının planlanması ve işletilmesi için kapsamlı analizler ve çalışmalar yapılması gerekmektedir [28, 29].

2.2. Elektrik Üretim – İletim - Dağıtım Sistemleri

Geleneksel olarak elektrik sistemleri üretim, iletim, dağıtım ve tüketim şeklinde dört bölüme ayrılmaktadır. Elektrik üretim santralleri teknik ve ekonomik sebeplerden dolayı genellikle kaynağa yakın yerlere tesis edilmektedir. Termik, hidro vb. kaynaklı elektrik üretim santrallerinde generatörler kullanılarak 10-15 kV seviyesinde elektrik üretilip, daha sonra uzak mesafelere iletebilmek için 170, 220, 380, 500 kV gerilim seviyelerine yükseltilir. Son olarak ise tüketicinin kullanabilmesi için gerilim seviyesi düşürülerek elektriğin dağıtımı gerçekleştirilmektedir [30].

Ancak modern elektrik sistemlerinde bu süreç değişmektedir. Gelişen teknoloji ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla elektrik üretimi, küçük ya da orta ölçekli santrallerin iletim ya da dağıtım şebekelerine bağlanmasıyla yapılabilmektedir. Ayrıca günümüzde mikro şebeke olarak adlandırılan uygulamalarda tüketici seviyesinde de üretim yapılabilmektedir [31, 32].

Elektrik enerjisi, başka bir enerji kaynağının kullanılmasıyla elde edilmektedir. Bilimsel olarak elektriğin elde edilmesinde pek çok yöntem vardır fakat pratikte kullanılan yöntemler çok sayılmaz. Bunlar;

- ✓ Elektromanyetik indüksiyon: Kapalı bir devre içerisinde bir generatör ya da dinamo aracılığıyla kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Elektrik üretiminde en çok kullanılan yöntemdir.

- ✓ Fotovoltaik: Işık içerisinde bulunan foton enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Son yıllarda gelişen güneş panelleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması politikaları sayesinde kullanımı hızla artmıştır.
- ✓ Elektrokimsayal: Kimyasal reaksiyon aracılığıyla elektrik üretilmesidir. Günümüzde kullanılan batarya, yakıt hücreleri örnek verilebilir. Geçmişte kullanımı oldukça düşük olmasına rağmen günümüzde elektrik araçlarının kullanılmasıyla batarya sistemleri önemli hale gelmiştir.
- ✓ Termoelektrik etki; ısı enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesidir.
- ✓ Nükleer enerji
- ✓ Statik elektrik [33]

Elektrik şebekeleri temel olarak iletim ve dağıtım olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İletim şebekeleri yüksek güç taşıma kapasitesine sahip uzun iletim hatları ve büyük güçlü trafolardan oluşmaktadır. Dünya genelinde iletim şebeke gerilimleri 100 kV ile 500 kV arasında değişmektedir. Genellikle büyük güçlü üretim sistemleri doğrudan iletim şebekelerine bağlanmaktadır. Yine benzer şekilde büyük çaplı elektrik tüketimi olan kullanıcılar da (sanayi ve endüstriyel kullanıcılar gibi) enerjisini iletim sisteminden tedarik etmektedir. Dağıtım şebekeleri de indirici trafolarla iletim şebekelerine bağlanarak, lokal tüketicilere enerji sağlamaktadır. Dağıtım şebekeleri iletim sistemlerinin aksine daha kısa hatlar ile küçük güçlü trafolardan oluşmaktadır ve gerilimi genellikle 50 kV'un altındadır [34].

2.3. Türkiye'de Üretim, İletim ve Dağıtım Sistemleri

Türkiye’de elektrik sistemleri üretim, iletim ve dağıtım sistemleri olarak işletilmekte olup yönetim organizasyonları ayrı ayrı yapılandırılmıştır. Elektrik enerjisi üretimi, kamuya ait EÜAŞ ile birlikte özel üretim şirketleri ve otoprodüktör santralleri vasıtasıyla yapılmaktadır. Elektrik iletimi ise Türkiye’nin lisanslı tek iletim şirketi olan TEİAŞ tarafından gerçekleştirilir. TEİAŞ, üretilen enerjiyi elektrik dağıtım şirketlerine sağlar ve bu şirketlerce elektrik nihai tüketicilere ulaştırılır. Genel işletme yapısı bu şekilde olmasına rağmen tüketici ve üretici güç kapasitesine göre farklı bağlantılar da yapılabilir. Örneğin sanayi tipi kullanıcılar doğrudan iletim hatlarına ya da küçük güçlü üretim santralleri de dağıtım şebekelerine bağlanabilmektedir.

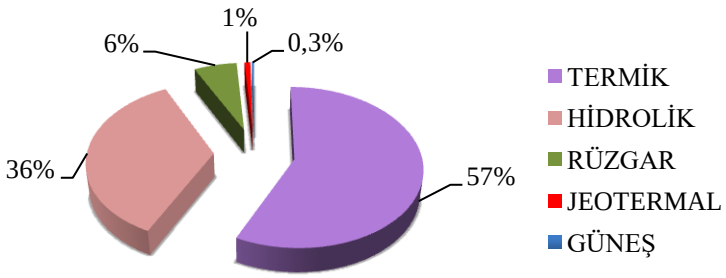
Türkiye'de elektriğin tüketiciye kesintisiz ve kaliteli olarak sunulması esas alınmıştır. Bu nedenle tüketici tarafından kullanılan elektriğin kaliteli olabilmesi için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- ✓ Sürekli, kesintisiz olmalı
- ✓ Gerilim seviyesi kararlı ve belirlenen limitler içinde olmalı
- ✓ Frekansın seviyesi kararlı ve belirlenen limitler içinde olmalı

Türkiye enerji üretimi açısından zengin kaynaklara sahiptir. Özelikle hidroelektrik santrallerden elde edilen enerji miktarı, Türkiye'nin jeopolitik ve fiziksel konumundan dolayı önemli bir seviyededir. Zengin kömür, linyit yataklarının olduğu bölgelerde termik santraller bulunmaktadır. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklı santrallere verilen destekle beraber güneş, rüzgâr, jeotermal enerjili santrallerinin sayısı da artmaktadır. Türkiye'nin 2015 yılı sonu itibariyle sahip olduğu toplam kurulu güç kapasitesi 73146,7 MW'tır. 2014 yılına göre yaklaşık 3627 MW'lik artış olmuştur. 2015 yılı sonu itibariyle kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı Şekil 2.1'de, santral sayıları ile kurulu güç kapasiteleri Çizelge 2.1'de görülmektedir.

Çizelge 2.1. 2015 yılı sonu itibariyle kurulu güç kapasiteleri [36]

Yakıt Türü	*Kurulu Güç (MW)*	*Santral Sayısı (Adet)*
Termik	41.903,0	449
Hidrolik	25.867,8	560
Rüzgâr	4.503,2	122
Jeotermal	623,9	21
Güneş	248,8	362
TOPLAM	73146,7	1514



Şekil 2.1. 2015 yılı sonu itibariyle kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı [36]

Türkiye'de tüketilen enerji miktarı bilhassa yaz aylarında artmakta olup, ihtiyaç duyulan bu enerji yerli kaynaklardan elde edilemediğinde komşu ülkelerden satın alınmaktadır. Benzer şekilde tüketimin az olduğu dönemlerde komşu ülkelere satış yapılmaktadır. 2015 yılında Türkiye'nin brüt elektrik tüketimi, % 8 artış ile 264.138,8 GWh olmuştur. İleriki yıllarda elektrik enerjisi talebinin giderek artması beklenmekte olup, 2013 ve 2014 yılları için gerçekleşen veriler Çizelge 2.2 ve 2.3'de verilmektedir [35]. Elektrik enerjisinin büyük bir bölümü sanayi kuruluşlarında tüketilmekte olup, kalan kısım konutlarda, hizmet sektörlerinde, tarım ve sulamada kullanılmaktadır.

Çizelge 2.2. 2013-2014 yılları Türkiye elektrik üretimi ve tüketimi [36]

	2013		*2014*		*Artış*
	GWh	Kullanım Oranı (%)	GWh	Kullanım Oranı (%)	Değişim oranı (%)
Termik	171.812,5	71,5	200.416,6	79,5	16,6
Hidrolik	59.420,5	24,7	40.644,7	16,1	-31,6
Jeotermal	1.363,5	0,6	2.364	0,9	73,4
Rüzgâr	7.557,5	3,1	8.520	3,4	12,7
Güneş	-	-	17,4	0	-
Brüt üretim	240.154	100	251.962,8	100	4,9
Dış alım	7.429,4	-	7.953,3	-	-
Dış satım	1.226,7	-	2.696	-	-
Brüt tüketim	246.356,6	1	257.220,1	1	4,4

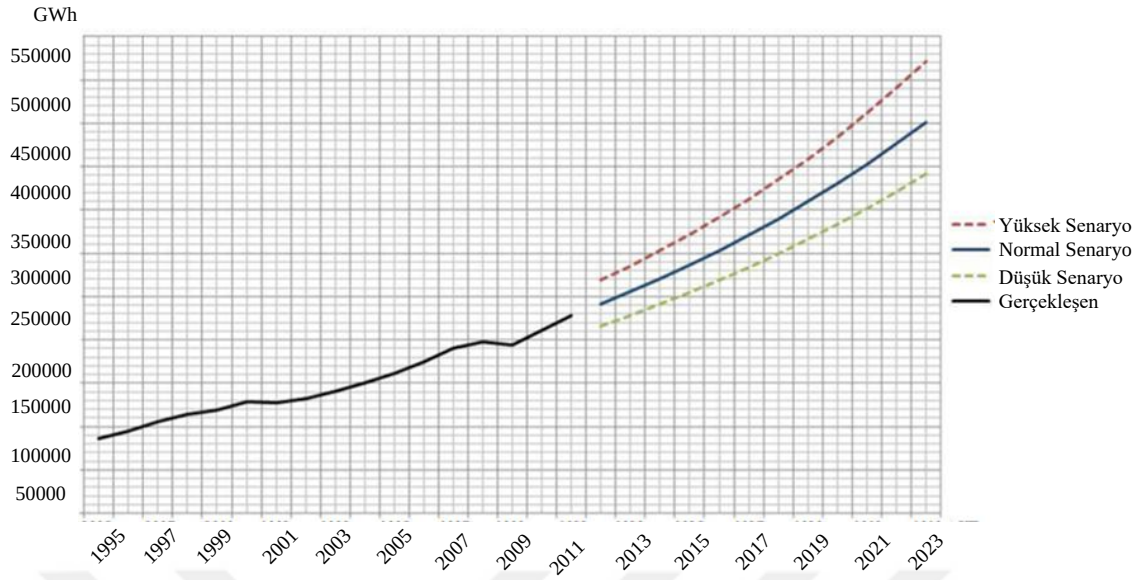
Çizelge 2.3. 2013-2014 yılları Türkiye elektrik enerjisi birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı [36]

	2013		*2014*		*Artış*
	GWh	Kullanım Oranı (%)	GWh	Kullanım Oranı (%)	Değişim oranı (%)
Kömür	63.786,1	26,6	76.262,7	30,3	19,6
Sıvı Yakıtlar	1.738,8	0,7	2.145	0,9	23,4
Doğalgaz	105.116,3	43,8	120.576	47,9	14,7
Yenilenebilir+Atık+ Atık Isı	1.171,2	0,5	1.432,6	0,6	22,3
Hidrolik	59.420,5	24,7	40.644,7	16,1	-31,6
Jeotermal	1.363,5	0,6	2.364	0,9	73,4
Rüzgâr	7.557,5	3,1	8.520	3,4	12,7
Güneş	-	-	17,4	0	-
Toplam	240.154	100	251.962,8	100	4,9

Elektriğin dağıtımı ülkemizde daha önceden kamuya bağlı olarak TEDAŞ tarafından yapılmaktaydı. Ancak günümüzde TEDAŞ'ın 21 Dağıtım Şirketine bölünerek

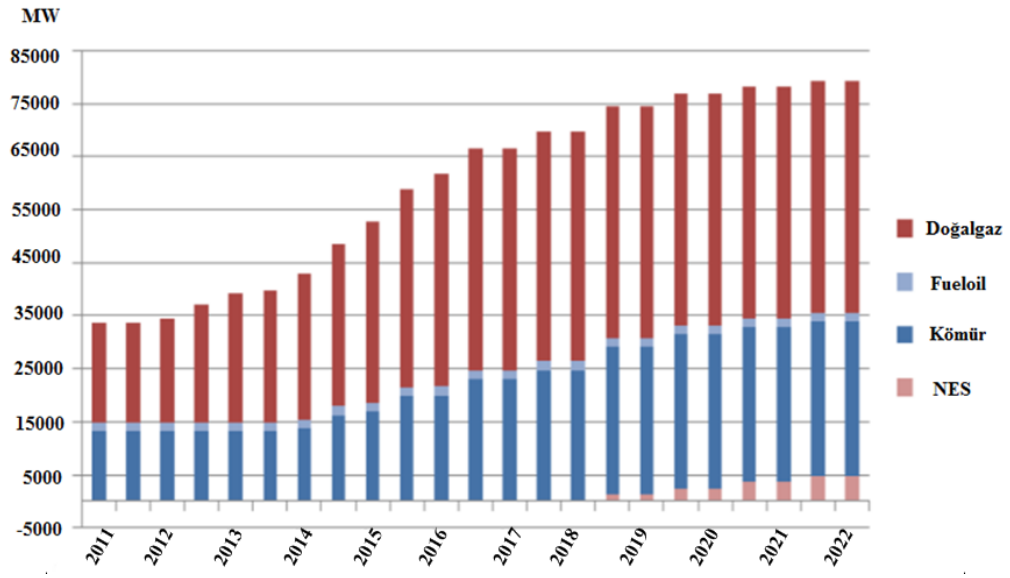
özelleştirilmesi ile artık özel dağıtım şirketlerince mevcut ve hala geliştirilmekte olan elektrik şebekeleri ile yerine getirilmektedir. Elektrik dağıtım sistemleri, iletim şebekelerine göre daha aktif bir sistem olmasından dolayı, tüm sistemin periyodik olarak revize edilmesi gereklidir. Türkiye'de Elektrik dağıtım sisteminde, 0,4 kV, 3,3 kV, 6,3 kV, 10,5 kV, 15,8 kV, 31,5 kV ve 33 kV gerilim seviyeleri kullanılmaktadır. Türkiye nüfusunun artması, kalkınmakta olan bir ülke olması, iş bulmanın zorlaşması nedeniyle büyük şehirlere göçlerin artması ve sonuç olarak şehirlerin nüfuslarının dengesiz olmasından dolayı, enerji tüketim artışı bölgesel olarak farklılık göstermektedir. Türkiye'nin son yıllardaki ekonomik olarak kalkınması, gelişen bir ülke olması nedeniyle sanayide kullanılan enerji miktarı artmaktadır. Sanayi ve nüfus yoğunluğu sebebiyle en yoğun enerji kullanımı Türkiye'de Marmara bölgesindedir [30].

Enerji talebinin karşılanması için kurulan yeni enerji üretim tesislerinin enterkonnekte sisteme dahil edilmesi için yeni iletim hatları ile trafo merkezlerinin yapılmasına ihtiyaç duyulur. Enterkonnekte sistemin planlanmasında amaç; daimi, gerilim ve frekansı yönetmeliklerdeki sınırlar içerisinde değişen, kaliteli ve sürekli bir enerji teminidir. TEİAŞ teknik ve sosyo-ekonomik gelişim verilerine dayanılarak talep tahmin çalışmalarını yapmak, bu tahminlere göre sistem güvenilirliğini sağlamak üzere üretim planlamalarını oluşturmak ve 20 yıllık uzun dönem Elektrik Enerjisi Üretim Gelişim planını hazırlamak zorundadır. Aynı zamanda kısa ve orta dönem arz talep dengesini belirlemekle yükümlüdür. Yatırım planlamalarındaki esas amaç; maliyeti düşük, kolay işletilebilir, yeniliklere açık, daima yenilenebilen bir iletim sisteminin planlanması, mevcut sistemlerin ekonomik ömürleri boyunca kullanılması ve bunun en düşük maliyetle sağlanmasıdır. 2012 yılı içersinde kısa-orta ve uzun dönemli olacak şekilde 2013-2022 yılları için Bölgesel Talep tahmini ve Analiz çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bu analizlerde mevsimsel etkiler, puant dönemleri dikkate alınarak, N-1 kısıtlılık analizleriyle iletim sisteminin durum analizleri elde edilmiştir. Öncelikle bu analizlere referans olacak üretim ve tüketim projeksiyonları oluşturulmuştur. Bu çalışmada elde edilen tüketim eğrileri Şekil 2.2' de görülmektedir [36].

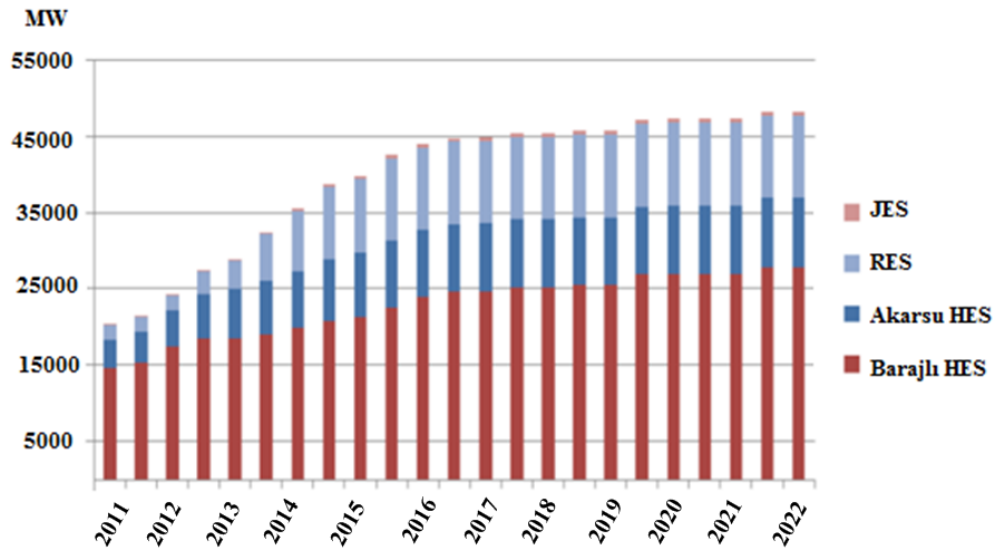


Şekil 2.2. Türkiye'nin gerçekleşen ve tahmin edilen elektrik tüketim eğrisi [36]

Yapılan tüketim tahminleri ilk beş yıllık dönem için 2017 yılında 352.490 GWh, on yıllık dönem sonunda ise 2022 için 449.877 GWh'tir. Tahmin çalışmalarında nüfus artışı ve daha önceki yıllardaki tüketim artış oranları dikkate alınmıştır. 10 yıllık üretim projeksiyon çalışmalarında ise termik santrallerin kurulu gücünün 80.000 MW, yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücünün 48.000 MW olacağı öngörülmüştür. 10 yılın sonunda toplam 128.000 MW kurulu güce ulaşabileceği tahmin edilmiştir. Şekil 2.3 ve 2.4'de yıllara göre üretim kapasite artışları gösterilmiştir [36].



Şekil 2.3. 2013-2022 yılları arasındaki termik elektrik santralleri kapasite projeksiyonu



Şekil 2.4. 2013-2022 yılları arasındaki yenilenebilir elektrik santralleri kapasite projeksiyonu [36]

Türkiye'nin enterkonnekte sistemi genel olarak 380 kV ve 154 kV iletim hatları ve trafo merkezlerinden oluşmaktadır. Ancak bazı komşu ülkelerle olan enerji alış-verişinden dolayı sınır bölgelerde 220 kV iletim hatları da mevcuttur. TEİAŞ'ın 93 adet 380 kV, 1 adet 220 kV, 575 adet 154 kV, 14 adet 66 kV olmak üzere toplam 683 adet trafo merkezi bulunmaktadır. Üretimde 5227 MVA, tüketimde de 76557 MVA olmak üzere kullanıcıya hitap eden kurulu güç toplamı 81784 MVA'dır. İletim hatları karakteristikleri ve uzunlukları Çizelge 2.4'te gösterilmektedir. Enterkonnekte Sistemin işletmecisi TEİAŞ, Yük Tevzi Merkezleri vasıtasıyla SCADA ve enerji işletim sistemi programı kullanarak sistemi gözleyip, yönetmektedir. Bu enterkonnekte iletim sistemi Milli Yük Tevzi Merkezi (Ankara) ile 9 adet Bölgesel Yük Tevzi Merkezi'nden (Kuzeybatı Anadolu, Orta Anadolu, Batı Anadolu, Trakya, Batı Akdeniz, Doğu Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu, Orta Karadeniz) gözlenip yönetilmektedir.

Çizelge 2.4. İletim hatları karakteristikleri ve uzunlukları

Enerji İletim Hatları Sayısı (adet)				
380 kV	220 kV	154 kV	66 kV	Toplam
217	2	1230	27	1.476
Enerji İletim Hatları Uzunlukları (km)				
380 kV	220 kV	154 kV	66 kV	Toplam
17.682,8	84,5	35.132	509,4	53.408,7

3. GÜÇ SİSTEM ANALİZLERİ

Güç sistemlerinin planlaması, tesisi ve işletmesi için endüstriyel ve ticari uygulamalar açısından çeşitli mühendislik ve analiz çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemin bütün olarak güvenli işletme koşullarında, kesintisiz ve devamlılığı sağlayacak doğru şekilde planlanması ve işletilmesi oldukça önemlidir. Diğer taraftan, güç sistemlerinin tesis süresi uzun zaman almakta ve tesis yatırımları çok fazla olmaktadır. Bu nedenle yapılan yatırımların gelecek talep artışını karşılayacak şekilde olması planlanmalıdır. Bununla birlikte yapılan yeni tesislerin tasarımında ise mevcut sistemin yapısına (arıza, hata gibi) zararlar vermeden işletme güvenliğinin de dikkate alınması gerekmektedir.

Günümüzde güç sistemleri her geçen gün daha da büyümektedir. Artan nüfus, büyüyen şehirler ve artan enerji talebiyle sürekli üretim ve tüketim noktaları artmaktadır. Özellikle güneş, rüzgâr vb. yenilenebilir enerji kaynaklarının da kullanılabildiği mikro şebekeler tesis edilmekte ve dağıtık üretim yapısı artmaktadır [37].

Bu büyük ve karmaşık sistemlerin analizlerinin ise manüel olarak hesaplanması oldukça zordur. Ancak son yıllarda güç sistemlerinde meydana gelebilecek problemlerin analizlerinin yapılabilmesi için bilgisayar programları geliştirilmektedir. Bu programlar üzerinde güç sistemlerinin modellemeleri yapılarak istenilen analizler yapılmaktadır. Ancak bir analizin doğru bir şekilde yapılabilmesi için sistemi oluşturan gerekli unsurların, modellemelerinin ve kullanılacak verilerin doğru olması çok önemlidir. Bilgisayar programları sayesinde bu analiz sonuçları kolaylıkla elde edildikten sonra doğru bir şekilde yorumlanıp, problemler çözülebilmektedir. Bu nedenle her ne kadar analizler yapılmış olsa da, elde edilen sonuçların anlaşılabilmesi için yeterli mühendislik bilgisine ve tecrübeye ihtiyaç duyulmaktadır [38, 39].

Güç sistemlerinin planlama ve işletme koşullarının belirlenmesi için yaygın olarak yapılan analizler aşağıda gösterilmektedir [40, 41].

1. Güç akış analizi
2. Kısa devre analizi
3. Kararlılık analizi
4. Kısıtlılık analizi

5. Koruma-koordinasyon analizleri
6. Harmonik analizi

3.1. Güç Akış Analizi

Güç akışı analizi, elektrik şebekelerinin hesaplamalarında en yaygın olarak kullanılan analizlerdendir. Ayrıca yük akışı analizi olarak adlandırılabilir. Şebeke hesaplamalarının en temeli olarak kabul edilmektedir. Çünkü güç akış analiz hesaplamalarının yapılması sonucunda pek çok değer elde edilebilir [42].

Genellikle güç sistemlerinin kararlı durum (steady-state) koşulları altında hesaplanan güç akışı analizinde aşağıdaki kabullenmeler yapılır:

- Generatörlerin şebekenin enerji talebini ve iletim hatlarındaki kayıpları karşılayabildiği,
- Tüm baralar gerilimlerinin nominal işletme sınırları içerisinde olduğu,
- Generatörlerin, kendilerine ait aktif ve reaktif güç sınırlarını aşmadığı,
- Trafo ve iletim hatlarının, aşırı yüklenmedikleri.

Güç akış hesaplamalarının yapılması sonucunda, şebekedeki baralara ait gerilim genliği ve gerilim açısı ile baralar arasındaki iletim hatlarından akan aktif ve reaktif güç değerleri ve kayıplar elde edilir. Bir elektrik şebekesinin bilinen devre denklemleriyle güç akışlarının hesaplanması oldukça zordur. Çünkü şebekeye bağlı yüklerin değerleri empedans yerine aktif- reaktif güç olarak bilinmekte, benzer şekilde generatörler, gerilim ya da akım kaynağı yerine güç kaynağı olarak gösterilmektedir. Terim olarak aktif ve reaktif güç terimleri kullanıldığı için bu denklemler lineer olmayan denklemlerdir [41, 43].

Güç akışı hesaplarında çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır ve bununla ilgili pek çok araştırmalar yapılmıştır. Bu algoritmaların başlıca önemli olanları; Gauss-Seidel, Newton-Raphson, Fast Decoupled metotları ve DC yük akış analizidir. Bu dört algoritma güç sistemleri mühendisliğinde en fazla kullanılanlardır. Bu algoritmaların aralarında çözüm ve yakınsama özelliklerine göre farklılıklar bulunmaktadır ve bu özelliklerine göre tercih edilirler. Örneğin; hızlı bir çözüm isteniyorsa DC yük akışı kullanılabilir, ancak iterasyonlu bir çözüm ile yakınsamalı çözüm isteniyorsa Newton- Raphson seçilebilir. Newton-Raphson metodunun sistemin başlangıç durumunu belirlemek için en güvenilir hesaplama

metodu olduğu söylenebilir. Öte yandan eğer kararsız ya da düzensiz sistem koşulları varsa Fast Decoupled metodu kullanılması diğerlerine göre daha doğru sonuçlar verebilmektedir [44].

Güç sistem problemleri kendi doğası gereği doğrusal değildir, bu nedenle iterasyonlu çözümlere ihtiyaç duyulur. Ancak DC güç akış analizi tam doğrusal olmayana yakın olduğu için doğrusaldır. Gauss-Seidel metodu doğrusal olmayan denklemlerde iterasyonlu çözümlerin en basit olanlarından biridir. Diğer çözümlere göre daha fazla iterasyon gerekir fakat her iterasyonun süresi daha az olduğu için çözüm süresi daha hızlıdır. Bu yönüyle daha az yüklü sistemlerde kullanılmasıyla daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Newton-Raphson metodu, daha büyük çaplı sistemlerin çözümünde daha etkili ve hızlıdır. Fast Decoupled metodu ise esasen Newton- Raphson metodundan türetilen bir çözümdür [44].

Güç akış hesabı yapılabilmesi için sistemde bulunan baralardaki dört değişkenin ikisinin bilinmesi gerekmektedir. Bir bara için bu dört değişkenin ikisi biliniyorsa diğer bilinmeyen değişkenler güç akışı hesaplarıyla elde edilebilir. Bu dört değişken;

P: Aktif güç (MW)
Q: Reaktif güç (MVar)
V: Gerilim
δ : Gerilim faz açısı

3.1.1. Bara çeşitleri

Enerji iletim sistemlerinde her bir baranın özellikleri yukarıda belirtilen dört değişkene göre tanımlanmaktadır. Sistemin frekansı sabit ve gerilimi kararlı olduğu kabul edilerek baralar üç tip olarak tanımlanır. Bu baraların detaylı gösterimi Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bara çeşitleri, bilinen ve bilinmeyen değişkenler

Bara Tipi	*Bilinen Değişkenler*	*Bilinmeyen Değişkenler*
Salınım Barası	V, δ	P, Q
Yük Barası	P, Q	V, δ
Generatör Barası	P, V	Q, δ

Salınım (Slack) bara; şebeke analizlerinde, sistemdeki aktif üretimleri tamamen tanımlamak mümkün değildir. Örneğin şebekedeki hat kayıpları bilinmemektedir. Bu kayıp güçler nedeniyle, şebekedeki bir baranın aktif gücü bilinmeyen seçilir, yapılan hesaplamaların sonucunda kayıplar elde edilir. Bu genellikle generatör baralarından birinde uygulanır ve "salınım (slack) barası" ya da "referans bara" olarak adlandırılır. Yük akışı analizlerinde salınım barasının sadece gerilim genliği ve faz açısı değerleri girilir. Yani bu baranın bilinen değişkenleri V ve δ bilinen değerlerdir. Aktif ve reaktif güçleri analiz sonucunda hesaplanır. Salınım barasının yapılan analizlerde yalnızca üretim barasında olması koşulu yoktur. Ancak salınım barasının seçimi şebekedeki problemin çözümünü etkileyebilir. Genel olarak salınım barasının seçiminde elektriksel olarak merkezi bir yer ya da çok sayıda bağlantının olduğu bir yer seçilir.

Yük barası; aktif-reaktif bara olarak tanımlanmaktadır. P ve Q bilinen, V ve δ ise bulunması gereken değişkenlerdir. Buradaki P+jQ gücü, fiziksel güç sistemlerinde bir şehir veya sanayi bölgesi gibi yük merkezlerine karşılık gelir. Bara gerilimlerindeki küçük değişikliklerin, P ve Q güçlerinin değerlerini etkilemediği varsayılır.

Generatör barası; P ve V bilinen değerler olup; generatör, statik kapasitör vb. sistem elemanlarının bağlı olduğu bu baradaki reaktif güç limitleri ile gerilim sabit tutulabilir. Diğer bir deyişle, bu barada toplam P aktif gücü bilinmekte olup, V gerilim genliği de reaktif güç verilmesi ile belli bir değerde korunmaktadır. Bu bara tipi, genelde bir generatöre karşılık gelir. Yardımcı santrallerde, statik paralel kapasitörlerden ya da senkron kompansatörlerden reaktif güç beslemesi ile gerilimin sabit olduğu baradır.

3.1.2. Per-unit sistem

Bölüm 2'de anlatıldığı gibi elektrik sistemleri farklı gerilim seviyelerini birleştiren bir sistemdir. Aynı zamanda pek çok farklı parametre ve birimi içermektedir. Bu nedenle yapılan matematiksel hesaplamalarda karmaşıklığa neden olmaktadır. Bu karmaşıklığı azaltmak için güç sistem analizlerinde aktif – reaktif güç, gerilim, akım ve empedans gibi fiziksel değerler için tek birim kullanılır ve buna per-unit sistem denir. Böylece farklı büyüklüklerin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması daha kolay olur.

Per-unit sistemini uygulayabilmek için öncelikle iki baz değer kabul edilir. Bu iki baz değer genel olarak gerilim ve görünür güç seçilir, diğer bilinmeyen değişkenler bu baz değere göre hesaplanır. Özetle bir değişkenin per-unit karşılığı gerçek değerinin baz değere olan oranıdır. Eşitlik 3.1' de gösterilmiştir.

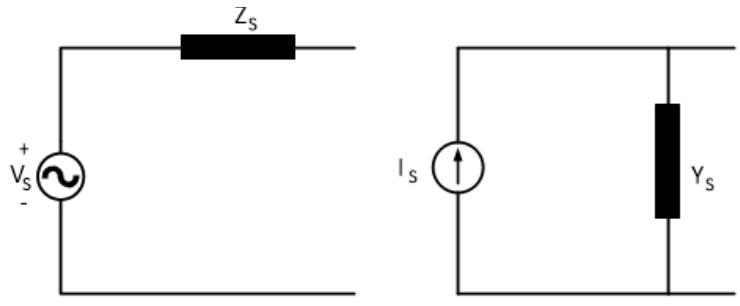
$$\text{Per} - \text{Unit Değer(pu)} = \text{Gerçek Değer}/\text{Baz Değer} \tag{3.1}$$

3.1.3. Bara admitans matrisi

Elektrik şebekeleri çok sayıda değişken ve birim içerdiği için sistemin matematiksel modelini oluşturmak oldukça zordur. Özellikle sisteme entegre olan bara sayısı arttıkça şebekenin yapısı daha karmaşık hale gelmektedir. Bu karmaşıklığı sadeleştirmek için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Şebekede bulunan generatör ve yükler şebekede akım kaynakları olarak kabul edildiğinde, akım yönleri göz önüne alınarak şebekede bağlantı şemasına ve akım-gerilim ilişkisine göre bağlantı matrisleri oluşturulabilir. Şekil 3.1'deki gerilim kaynağı ve empedans dikkate alındığında, Norton teoremi kullanılarak empedans - admitans eşitlikleri elde edilmektedir. Bara admitans matrisi de bu formülasyona göre düzenlenir.

$$I_s = V_s \,/\, Z_s \tag{3.2}$$

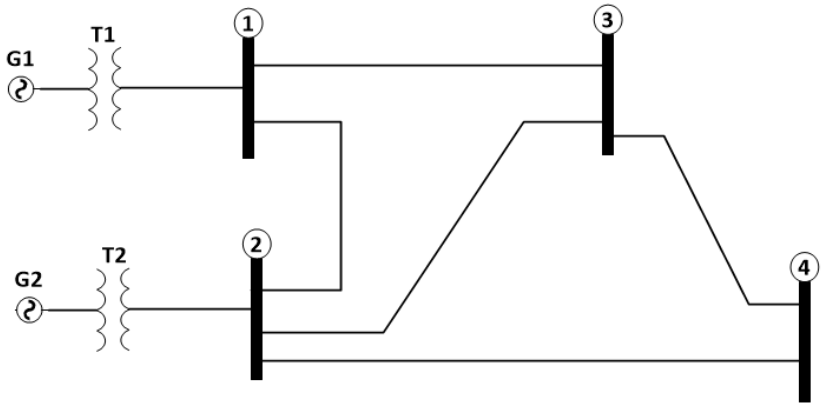
$$Y_s = \frac{1}{Z_s} \tag{3.3}$$



Şekil 3.1. Gerilim kaynağı ve empedans

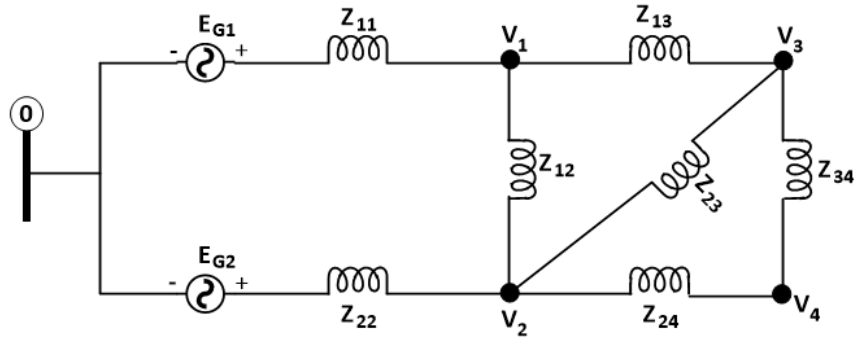
Şekil 3.2 de dört baradan oluşan bir şebekenin tek hat şeması görülmektedir. G1 ve G2 genaratörleri trafolar ile şebekeye bağlıdır ve baralar arasında da iletim hatları

bulunmaktadır. İlk olarak bu şebekenin empedans diyagramını oluşturmak için genaratör, trafo ve hatların reaktans dönüşümleri yapılmalıdır.



Şekil 3.2. Dört baralı şebekenin tek hat şeması

Şekilde 3.3'te şebekenin empedans diyagramı gösterilmiştir. G1 ve G2 senkron genaratörlerin reaktansları X_{G1} ve X_{G2}, trafoların ise X_{T1} ve X_{T2}'dir. V_1,V_2, V_3 ve V_4 bara gerilimleridir. Elektrik iletim sistemlerinde gerilim büyüklüğüne göre direnç, kapasitans ve indüktans gibi hat sabiteleri değişmektedir. Örneğin alçak gerilim tesislerinde indüktans, yüksek gerilim tesislerinde direnç değerleri diğer değerlere göre küçüktür ve bu nedenle yapılan hesaplamalarda ihmal edilebilir. Bu durumda ;

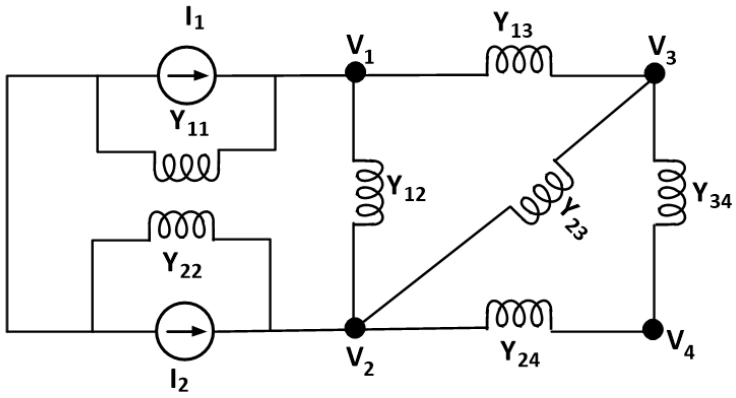


Şekil 3.3. Empedans Diyagramı

$$Z_{11} = j(X_{G1} + X_{T1}) \tag{3.3}$$

$$Z_{22} = j(X_{G2} + X_{T2)} \tag{3.4}$$

İkinci olarak daha önce belirtildiği gibi Norton teoremine göre emdedans diyagramından Şekil 3.4'teki admitans diyagramı elde edilir.



Şekil 3.4. Admitans diyagramı

Bara admitans diyagramı üzerinde uygulanan Kirşof akımlar yasalarına göre bara gerilimleri ve akıma göre aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \mathrm{Y}_{\mathrm{Bara}} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad ya\ da \quad \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \mathrm{Z}_{\mathrm{Bara}} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{3.5}$$

Baralara göre düğüm gerilimi çözümleri yapıldığında;

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}(V_1 - V_2) + Y_{13}(V_1 - V_3) = (Y_{11} + Y_{12} + Y_{13})V_1 - Y_{12}V_2 - Y_{13}V_3 \tag{3.6}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= Y_{22}V_2 + Y_{12}(V_2 - V_1) + Y_{23}(V_2 - V_3) + Y_{24}(V_2 - V_4) \\ &= -Y_{12}V_1 + (Y_{22} + Y_{12} + Y_{23} + Y_{24})V_2 - Y_{23}V_3 - Y_{24}V_4 \end{aligned} \tag{3.7}$$

$$\begin{aligned} 0 &= Y_{13}(V_3 - V_1) + Y_{23}(V_3 - V_2) + Y_{34}(V_3 - V_4) \\ &= -Y_{13}V_1 - Y_{23}V_2 + (Y_{13} + Y_{23} + Y_{34})V_3 - Y_{34}V_4 \end{aligned} \tag{3.8}$$

$$0 = Y_{24}(V_4 - V_2) + Y_{34}(V_4 - V_3) = -Y_{24}V_2 - Y_{34}V_3 + (Y_{24} + Y_{34})V_4 \tag{3.9}$$

Bu eşitlikler matris formunda yazıldığında;

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} + Y_{12} + Y_{13} & -Y_{12} & -Y_{13} & 0 \\ -Y_{12} & Y_{22} + Y_{12} + Y_{23} + Y_{24} & -Y_{23} & -Y_{24} \\ -Y_{13} & -Y_{23} & Y_{13} + Y_{23} + Y_{34} & -Y_{34} \\ 0 & -Y_{24} & -Y_{34} & Y_{24} + Y_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$Y_{Bara} = \begin{bmatrix} Y_{11} + Y_{12} + Y_{13} & -Y_{12} & -Y_{13} & 0 \\ -Y_{12} & Y_{22} + Y_{12} + Y_{23} + Y_{24} & -Y_{23} & -Y_{24} \\ -Y_{13} & -Y_{23} & Y_{13} + Y_{23} + Y_{34} & -Y_{34} \\ 0 & -Y_{24} & -Y_{34} & Y_{24} + Y_{34} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Sonuç olarak genel n baralı bir sistemin bara admitans matrisi yazılması gerekirse;

$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^{n} Y_{ij} \ , \ j \neq i \quad (3.12)$$

$$Y_{Bara} = \begin{bmatrix} Y_{11} & -Y_{12} & -Y_{13} & \cdots & -Y_{1n} \\ -Y_{21} & Y_{22} & -Y_{23} & \cdots & -Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -Y_{n1} & -Y_{n2} & -Y_{n3} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Y_{11}, Y_{22}… , Y_{nn} bağlı olduğu baraların köşegen elemanlarıdır ve bağlı olduğu tüm admitansların toplamıdır. Diğerleri ise köşegen dışı elemanlardır. İki bara arasında eğer admitans varsa $Y_{kj} = -Y_{jk}$ ‘dir. Eğer admitans yoksa $Y_{kj} = 0$’dır [45 - 48].

3.1.4. Newton Raphson metodu ile güç akış analizi

Bölüm 3.1'de detaylı olarak açıklandığı gibi, Newton-Raphson metodu büyük çaplı güç sistemlerinin analizinde en etkili ve pratik çözüm yollarındandır. Bu yöntemde çözüme ulaşmak için gerekli olan iterasyon sayısı şebekenin büyüklüğünden bağımsızdır. Ancak Her bir iterasyon sonucu için daha fazla değerlendirme gerekmektedir. Örneğin bir güç sisteminin admitans matrisi dikkate alınarak i barasındaki akım değeri;

$$I_i = \sum_{j=1}^{n} Y_{ij} \ V_j \quad (3.14)$$

Bu denklemin kutupsal formuyla yazarsak;

$$I_i = \sum_{j=1}^{n} |Y_{ij}| \ |V_j| \angle(\theta_{ij} + \delta_j) \quad (3.15)$$

Aynı baradaki güç ifadesi ise;

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* = V_i \sum_{j=1}^{n} |Y_{ij}| \ |V_j| \angle(\theta_{ij} + \delta_j) \quad (3.16)$$

Aktif ve reaktif güç değerleri ayrı yazılırsa;

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} |V_i| |Y_{ij}| \ |V_j| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (3.17)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^{n} |V_i| |Y_{ij}| \ |V_j| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (3.18)$$

3.17 ve 3.18 güç akış eşitlikleri olarak ifade edilir [49]. Bu iki eşitlik kullanılarak Newton Raphson metodu çözümü yapılır. Bölüm 3.1' de anlatıldığı gibi güç sisteminde bulunan baraların bazı değerleri bilinmekte olup, bilinmeyen değişkenler de analizin sonucunda elde edilir.

Genel olarak Newton Raphson metodu fonksiyonla ilişkilendirilmiş bir bağımsız değişken için hata düzeltilmesi yapılarak, hata oranının sıfıra yakınlaştırılmasıdır. Bu işlem için fonksiyon x_0 civarında bir Taylor serisine açılır. Örnek olarak 3.19'daki fonksiyonun Taylor serisi açılımı gösterilmiştir.

$$y = f(x) \quad (3.19)$$

$$y = f(x_0) + \left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_{x-x_0} (x - x_0) \ldots \quad (3.20)$$

3.20 eşitsizliğinden x bilinmeyeni çekilirse;

$$x = x_0 + \left[\left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_{x-x_0}\right]^{-1} (y - f(x_0)) \quad (3.21)$$

Daha sonra x_0 yerine x(i), ardından x yerine x (i+1) koyularak 3.22'deki seri elde edilir.

$$x(i+1) = x(i) + \ [J(i)]^{-1}(y - f[x(i)]) \tag{3.22}$$

J ifadesi, Jacobian matrisi olarak ifade edilir. NxN boyutlu bir J(i) matrisi yazılırsa,

$$J\ (i) = \frac{\partial f}{\partial x}\Big|_{x-x_{(i)}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial x_N} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_2}{\partial x_N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_N}{\partial x_1} & \frac{\partial f_N}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_N}{\partial x_N} \end{bmatrix} \tag{3.23}$$

Taylor seri açılımı 3.17 ve 3.18 güç akış eşitlikleri için yazılacak olursa;

$$x = \begin{vmatrix} \delta \\ V \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_N \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{vmatrix} \ ; \ y = \begin{vmatrix} P \\ Q \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} P_2 \\ \vdots \\ P_N \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_N \end{vmatrix} \tag{3.24}$$

$$f(x) = \begin{vmatrix} P(x) \\ Q(x) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} P_2\,(x) \\ \vdots \\ P_N(x) \\ Q_2(x) \\ \vdots \\ Q_N(x) \end{vmatrix} \tag{3.25}$$

Tüm V, P, Q ve δ değerlerinin başlangıç değerleri bilindiği için ikinci değerlerinin bulunmasıyla devam eder. Yapılan hesaplamalar per unit olarak yapılır ve salınım barasının gerilim ve açısı dâhil edilmez [41].

$$y_k \ = P_k = P_k(x) = V_k \sum_{j=1}^{N} \left|Y_{kj}\right| \ \left|V_j\right| \ \cos(\delta_k - \delta_N - \theta_{kN}\ ) \tag{3.26}$$

$$y_{k+N} \ = Q_k = Q_k(x) = V_k \sum_{j=1}^{N} \left|Y_{kj}\right| \ \left|V_j\right| \ \sin(\delta_k - \delta_N - \theta_{kN}\ )$$

k= 2, 3, 4, ...N (3.27)

3.26 ve 3.27 eşitliklerinden dört açılımlı J formu elde edilirse;

n≠k durumları için,

1. $J1_{kn} = \frac{\partial P_k}{\partial \delta_n} = V_k Y_{kn} V_n \sin(\delta_k - \delta_N - \theta_{kN})$

2. $J2_{kn} = \frac{\partial P_k}{\partial V_n} = V_k Y_{kn} \cos(\delta_k - \delta_N - \theta_{kN})$

3. $J3_{kn} = \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_n} = -V_k Y_{kn} V_n \cos(\delta_k - \delta_N - \theta_{kN})$

4. $J4_{kn} = \frac{\partial Q_k}{\partial V_n} = V_k Y_{kn} \sin(\delta_k - \delta_N - \theta_{kN})$

n=k durumları için

1. $J1_{kk} = \frac{\partial P_k}{\partial \delta_k} = -V_k \sum_{n=1}^{N} Y_{kn} V_{kn} \sin(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn})$

2. $J2_{kk} = \frac{\partial P_k}{\partial V_n} = V_k Y_{kk} \cos\theta_{kk} + \sum_{n=1}^{N} Y_{kn} V_n \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn})$

3. $J3_{kk} = \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_n} = V_k \sum_{n=1}^{N} Y_{kn} V_n \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn})$

4. $J4_{kk} = \frac{\partial Q_k}{\partial V_n} = -V_k Y_{kk} \sin\theta_{kk} + \sum_{n=1}^{N} Y_{kn} V_n \sin(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn})$

$$J = \left[\begin{array}{ccc|ccc} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_N} & \frac{\partial P_2}{\partial V_2} & \cdots & \frac{\partial P_2}{\partial V_N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_N}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_N}{\partial \delta_N} & \frac{\partial P_N}{\partial V_2} & \cdots & \frac{\partial P_N}{\partial V_N} \\ \hline \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_N} & \frac{\partial Q_2}{\partial V_2} & \cdots & \frac{\partial Q_2}{\partial V_N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_N}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_N}{\partial \delta_N} & \frac{\partial Q_N}{\partial V_2} & \cdots & \frac{\partial Q_N}{\partial V_N} \end{array}\right]$$

$$\begin{vmatrix}\Delta P_2\,(i)\\ \Delta Q_2(i)\end{vmatrix} = \begin{bmatrix}\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_N} & \vdots & \frac{\partial P_2}{\partial V_2} & \cdots & \frac{\partial P_2}{\partial V_N}\\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \frac{\partial P_N}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_N}{\partial \delta_N} & \vdots & \frac{\partial P_N}{\partial V_2} & \cdots & \frac{\partial P_N}{\partial V_N}\\ \hline \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_N} & \vdots & \frac{\partial Q_2}{\partial V_2} & \cdots & \frac{\partial Q_2}{\partial V_N}\\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \frac{\partial Q_N}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_N}{\partial \delta_N} & \vdots & \frac{\partial Q_N}{\partial V_2} & \cdots & \frac{\partial Q_N}{\partial V_N}\end{bmatrix} \begin{vmatrix}\Delta \delta_i\\ \Delta V_i\end{vmatrix} \quad \text{, i: 2, 3, 4...N} \qquad (3.28)$$

J matrisi aktif ve reaktif güç değerlerindeki küçük değişimler ile gerilim-açı arasındaki değişimleri göstermektedir. ΔV_i ile $\Delta \delta_i$ 'deki değişimlerin kısmi türevi aktif ve reaktif güçteki değişimleri ifade eder.

$$\begin{vmatrix}\Delta \delta_i\\ \Delta V_i\end{vmatrix} = \begin{vmatrix}\delta(i+1) - \delta(i)\\ V(i+1) - V(i)\end{vmatrix} \qquad (3.29)$$

$$\begin{vmatrix}\Delta P_i\\ \Delta Q\end{vmatrix} = \begin{vmatrix}P - P\,[x(i)]\\ Q - Q\,[x(i)]\end{vmatrix} \qquad (3.30)$$

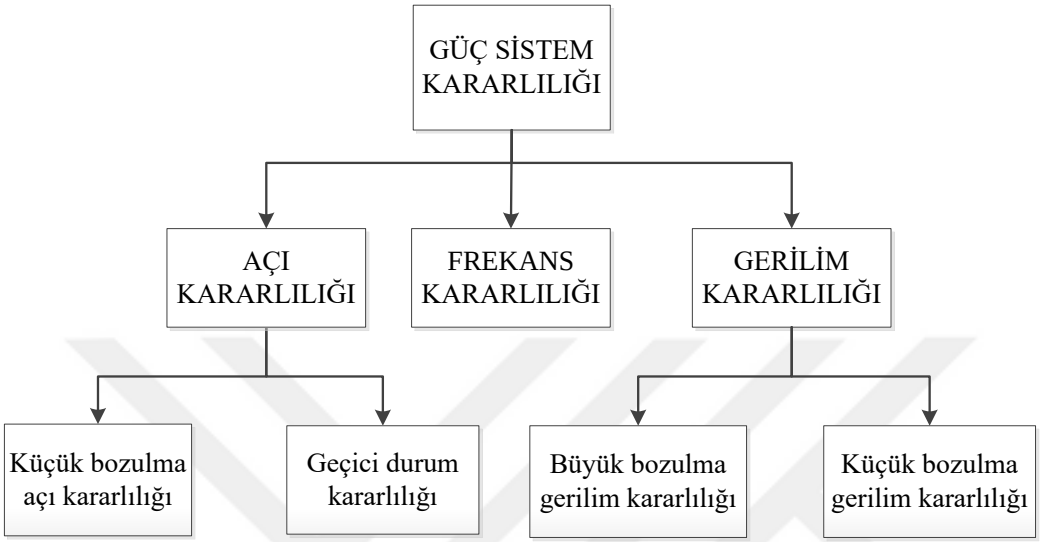
P ve Q değerleri baraların ilk durumda bilinen güç değerleridir. Her iterasyon sonucunda değişime göre yeni değer hesaplanır ve bir sonraki iterasyona geçilir. Eğer iterasyon sonunda başlangıçta seçilen tolerans değeri (ε) sağlanırsa çözüm sonuçlanır [49-53].

$$\begin{vmatrix}\Delta P(i)\\ \Delta Q(i)\end{vmatrix} = \begin{vmatrix}J1_i & J2_i\\ J3_i & J4_i\end{vmatrix} \begin{vmatrix}\Delta \delta_i\\ \Delta V_i\end{vmatrix} \qquad (3.31)$$

3.2. Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığı

Güç sistemlerinin işletme koşullarının belirlenen sınırlar içerisinde olması gerekmektedir. Ayrıca sistemde meydana gelecek olası arıza, dengesizlik vs. durumlarında bu işletme sınırları korunmalı ve kesinti oluşması önlenmelidir. Bu kararlılığın sağlanması ve sürekli olması, sistem işletmecilerinin en önemli ve büyük sorunlarından birisidir. Günümüzde ekonomik ve çevresel etkiler nedeniyle güç sistemlerinin kararlılığının sağlanması için pek çok alt yapı ve otomasyon uygulamaları mevcuttur. Güç sistem kararlılığı; açı kararlılığı, frekans karlılığı ve gerilim kararlılığı olarak sınıflandırabilir. Açı kararlılığı sistemin

sürekli ve geçici durum koşullarını içermektedir. Frekans ve gerilim kararlılığı ise sistemin yüklenmesiyle bağlantılıdır. Şekil 3.5'te güç sistem kararlılığının sınıflandırması görülmektedir [54].



Şekil 3.5. Güç sistem kararlılığının sınıflandırılması [54]

Güç sistemlerinde gerilim kontrolü ve kararlılığı geçmişten günümüze elektrik şebekelerinin başlıca önem arz eden konularındandır. Kararsızlık geçmişte sadece zayıf sistem koşulları ve uzun iletim hattı olarak tanımlanırken, günümüzde arz yetersizliği, aşırı yüklenme gibi sorunlardan da kaynaklanabilmektedir. Son yıllarda şebeke çökmelerinin başlıca nedenlerinden birisi de gerilim seviyesinde yaşanan kararsızlıktır. Bu nedenle gerilim kararsızlığını gerilim çökmesi olarak da tanımlanabilir. Ayrıca gerilim kararlılığına, yük kararlılığı da denilebilmektedir.

Gerilim kararlılığı; güç sisteminin normal koşullar altında şebeke geriliminin tüm baralarda belirlenen sınırlar içerisinde kalma yeteneği şeklinde tanımlanabilir. Sistemde yaşanacak herhangi bir talep artışı, arıza gibi durumlarda şebekede sürekli ya da kontrol edilemeyen gerilim değişimleri görülebilir. Güç sistem kararlılığını etkileyen en büyük ana etkenlerden reaktif gücün sistem tarafından yeterince karşılanamaması nedeniyle oluşur.

Genel olarak gerilim kararlılığı problemleri aşırı yoğun sistemlerde ortaya çıkmaktadır. Güç sisteminin belirli bir noktasında yaşanan çeşitli sorunlar nedeniyle gerilim bozulması yaşanabilirken, aslında sistemin yapısından kaynaklı zayıflıklar olduğu anlaşılır. Örneğin,

şebekenin büyüklüğü ve iletilen aşırı gücün yanında genaratörlerin reaktif güç limitleri, iletim hatlarının ve yüklerin karakteristikleri gerilim kararlılığını etkileyebilmektedir [55].

Güç sisteminde meydana gelebilecek gerilim kararsızlıkları etki süreleri bakımından farklı şekilde tanımlanabilmektedir. Çünkü kararsızlığın olduğu süre milisaniyelerden onlarca dakikalar kadar zamanı kapsayabilmektedir. Bu süreyi ise sistem karakteristiği ve arıza durumu belirlemektedir. Bu nedenle gerilim kararlılığı kısa dönem ve uzun dönem olay olarak değerlendirilir. Diğer taraftan şebekede meydana gelecek gerilim kararsızlığı her zaman sadece gerilimden kaynaklı olmaz. Örneğin açısal kararlılık çoğu zaman gerilim kararlılığı ile beraber oluşmaktadır. Birbirlerini tetikleyebilir ve aradaki fark anlaşılmayabilir. Bu nedenle aradaki farkı anlayabilmek işletme güvenliği açısından oldukça önemlidir. Genel olarak gerilim kararlılığı; büyük bozucu etkili ve küçük bozucu etkli gerilim kararlılığı olarak sınıflandırabilir. *Büyük bozucu etkili gerilim kararlılığı;* güç sisteminde meydana gelebilecek hat arızası, üretim kaybı ve şebeke kısıtlılığı gibi büyük bir arıza sonrası sistemin geriliminin istenilen sınırlar içerisinde kalabilmesidir. *Küçük bozucu etkili gerilim kararlılığı;* güç sisteminde oluşabilecek yük artışı gibi küçük bozucu etkiler sonrasında sistemin geriliminin kontrol edilebilme yeteneğidir. Şebekedeki yük karakteristiklerinin bilinerek kontrol edilmesiyle kararlılık yeteneği belirlenebilir [56, 57]. Güç sisteminde gerilim kararlılığını etkileyen başlıca etkenler şunlardır [58, 59] :

- Şebekenin reaktif güç talebini karşılayamaması
- Reaktif güç dengeleme araçlarının özellikleri
- Gerilim kontrol ünitelerinin etkinliği ve koordinasyonu
- Generatör reaktif güç sınırları
- Yük karakteristikleri
- İletim hatları ve trafoların karakteristikleri
- Üretim ve tüketim arasındaki uzak mesafeler
- Koruma ve kontrol cihazlarının koordinasyon eksikliği

3.2.1. Gerilim kararlılık analizi

Bir güç sisteminin gerilim kararlılık probleminin incelemelerinde iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar statik ve dinamik yöntemlerdir. Statik yöntemlerin genel olarak

sürekli hal koşulu için yapılması daha uygundur. Normal şartlar esnasında üretim yerinden tüketim yerine güç transfer kabiliyeti gerilim kararlılığının konusudur. Statik metot analizi farklı yöntemler ile yapılabilmektedir ancak temel olarak güç akış analiz hesaplamalarını kullanmaktadır. Dinamik yöntemler ise daha çok geçici hal durumlarının belirlenmesi için kullanılır ve güç sisteminde bulunan dinamik elemanların (generatör, trafo gibi) etkileri üzerine yoğunlaşmaktadır. Dinamik analiz metodu, dinamik güç sistem modelini baz alması nedeniyle gerilim kararsızlığının nedeninin belirlenmesi daha zor ve yetersiz olmaktadır. Bu dezavantajı nedeniyle güç sistemlerinin işletme durumlarının belirlenmesi için kullanılması pek uygun değildir [60].

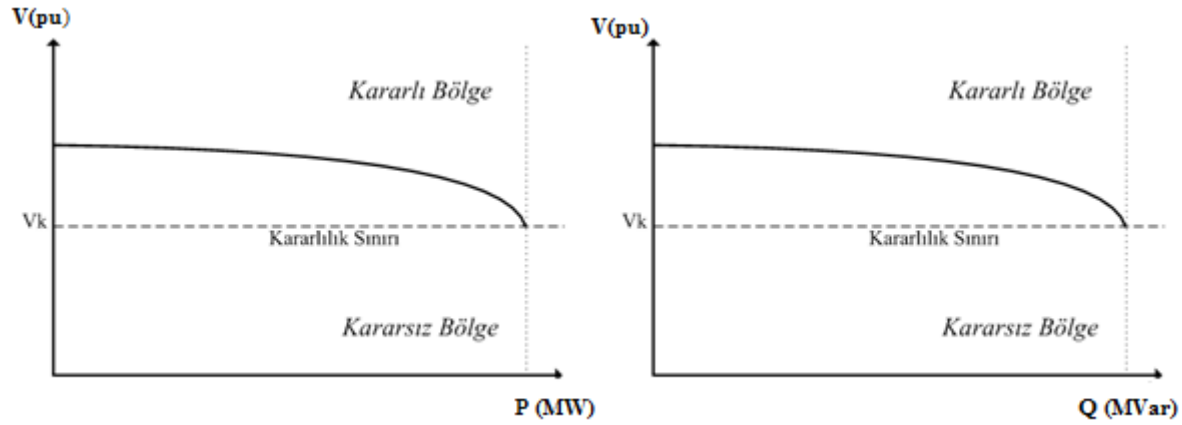
Gerilim kararlılık analizi pek çok farklı yöntemlerle yapılmaktadır. Gerilim kararsızlığının belirlenebilmesi için çeşitli kararlılık yaklaşımları yapılır. Bu yaklaşımlarla ilgili literatürde pek çok çalışmalar yapılmıştır. Gerilim çöküşünün sebebini belirlemek için Jacobian matris hesaplamaları kullanılabilir. Bu hesaplamada özgün değer, en küçük özgün değer belirleme ya da kritik baralarda tanjant vektörün belirlenmesi gibi farklı yöntemler geliştirilmiştir. Ayrıca özgün değer ve özgün vektör hesaplamalarının yapıldığı analizler modal analiz olarak tanımlanmaktadır. Diğer yöntemler genel olarak bir hattın ya da bir baranın maksimum yüklenmesi durumlarının belirlenmesi ya da bir baranın kararlılık sınırlarının belirlenmesini temel almaktadır [61]. Gerilim kararlılık analizi yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanlar [62];

1. P-V eğrisi
2. Q-V eğrisi
3. Jacobian Matris Determinantı
4. Süregelen güç akış analizi

P-V ve Q-V eğrileri şebekenin normal ve normal olmayan durumlar altında tüm baraların belirlenen işletme sınırları içerisinde kalıp kalamayacağını belirmek için yapılmaktadır. Güç sistemindeki baraların gerilim çöküş sınırları, baralar arasındaki maksimum güç limiti, ihtiyaç duyulan reaktif güç dengesi ve şebekedeki generatör, yük gibi elemanların etkisi bu eğrilerin oluşturulmasıyla anlaşılabilir. P-V ve Q-V eğrileri değişen güç durumlarına göre yapılan güç akış analizleriyle oluşturulur.

P-V Eğrisi; adım adım artırılan ya da azaltılarak değişken güç durumuna göre yapılan güç akış analizleri sonucu çizilen parabolik eğridir. Bu yöntem elektrik iletimi ve baralardaki artan güç etkisinin belirlenmesi açısından oldukça etkilidir. Örneğin enerji iletimi artıkça, bazı baralarda gelirim düşecektir. Şekil 3.6, örnek bir P-V eğrisi ve gerilim sınırlarını göstermektedir. Şekildeki eğrinin üst yarısında, aktif güç yükü artarken gerilim düşmektedir, bu nedenle eğim negatiftir. Eğrinin kritik noktası iletilebilecek maksimum gücü verir. Bu noktaya kadar olan bölgi düşük gerilim bölgesi olarak tanımlanabilir. Belirlenen kritik nokta ise kritik bara gerilimi ya da gerilim işletme alt sınırı olarak ifade edilebilir. P-V analizlerini sistemdeki belirli tek bir baranın gerilim profilini ya da kritik noktasının tespiti için yapılmaktadır. P-V eğrisinin üst kısmı normal kararlı çalışma bölgesini yansıtmaktadır, alt bölge ise gerilim kararsızlığına karşılık gelen bölgedir. Kritik güçten daha fazla güç talebi sistemi kararsızlığa götürmektedir. Ayrıca P-V eğrileri sistemde meydana gelebilecek arıza ya da aşırı yüklenme durumlarında yük atma ya da yük alma faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde ya da ihtiyaç duyulan reaktif güç dengeleme miktarlarının belirlenmesinde de kullanılabilir.

Q-V eğrileri, kritik gerilim sınırları içerinde olmayan sistemdeki baranın gerilim seviyesinin reaktif güce göre değişimini gösterir. Baraya ait Q-V eğrisinin elde edilmesi için, bir baranın reaktif güç limitleri olmayan gerilim kontrollü bir bara olduğu varsayılır. Baranın geriliminin değişik değerleri için bir dizi yük akış simülasyonları yapılır ve buna karşılık gelen reaktif güç çıkış değerleri elde edilir. Reaktif güç ile gerilim değerlerine göre oluşturulan Q-V eğrileri elde edilir. Gerilim, bağımsız değişken olarak alınır. Gerilim kararlılığı doğrudan reaktif güçle bağlantılı olduğu için bu eğriler sayesinde kararlılık sınırları belirlenebilir. Diğer yandan kompanzasyon için kullanılan cihazların belirlenen eğri üzerine etkileri analiz edilerek kullanım karakteristikleri hesaplanabilir. Q-V eğrileri generatörlerin reaktif güç limitleri dikkate alınarak oluşturulabilir ve böylece güç sisteminin kapsamlı bir kararlılık profili ortaya çıkarılır [63].



Şekil 3.6. P-V ve Q-V eğrileri

Güç sistemlerinde gerilim kararlılığının kontrolü çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır. Bunlar;

- Generatörlerde otomatik gerilim kontrolü (AVR)
- Trafo kademe değiştirme (Yük altında)
- Yük atma
- Reaktif güç kontrolü

Üretim santrallerinde AVR'ler gerilim kontrolünde oldukça önemlidir. Normal koşullarda santral gerilimlerinin kararlı olması gerekir. Reaktif güç talebi nedeniyle meydana gelecek dengesizlikler generatör seviyesinde kontrol edilir. AVR'ler generatörlerin uyartım kontrolünde rol almaktadır. Trafo kademeleri de güç sistemlerinde gerilim ve reaktif güç kontrolünde kullanılırlar. Özellikle değişik talep durumlarına göre trafo kademeleri yüksüz ya da yük altında değiştirilerek gerilim seviyeleri ayarlanabilir. Yük atma uygulamaları ise genellikle sistem yüklenmelerinde kullanılmaktadır. Gerilim seviyesinin alt limite indiği durumlarda, sistemde herhangi bir kararsızlık oluşmaması için yapılır. Çok istenmeyen bir durumdur ancak sistem güvenliği açısından yapılır. Yük atma manuel ya da otomatik olarak yapılabilmektedir. P-V ve Q-V eğrileri oluşturularak sistemin kritik noktalarına göre belirlenen yükler otomatik olarak ya da manuel olarak atılabilir [55].

4. ELEKTRİK SİSTEMLERİNDE TALEP TARAFI KATILIMI VE YÖNETİMİ

Son yıllarda enerji sistemi geleneksel anlayıştan uzaklaşarak yeni bir yön kazanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve enerji depolama teknolojileriyle birlikte tüketici enerji değer zincirinde aktif katılım imkânı bulabilmektedir. Son yıllarda özellikle dağıtık üretimin artmasıyla, tüketiciler kullandıkları elektriğin bir kısmını ya da tamamını mikro şebekeler ile üretebilmekte ve ihtiyaç fazlasını piyasada değerlendirebilmektedir. Diğer taraftan kendi tüketimlerini de kontrol edebilmektedir. Günümüzde elektrik fiyatlandırmaları elektriğin talep zaman dilimlerine göre ayarlanmaktadır. Bu fiyat durumlarına göre tüketiciler, tüketim kontrollerini yaparak tasarruf sağlayabilirler. Tüketicinin elektrik sisteminde aktif rol alması ve şebeke faaliyetlerine katkı sağlaması Talep Tarafı Katılımı olarak tanımlanmaktadır [64].

Çağımızın en önemli ihtiyaçlarından biri olan enerjinin sağlanabilmesi için geliştirilen akıllı şebeke ürünlerinin yanında, sektörel roller ve kuralların değişmesi gerekmektedir. Gelişen bilgi teknolojilerinin kullanılmasıyla elektriğin sadece bir yerde üretilip bir noktaya iletilmesi yerine tüketim noktasında üretilmesi ve piyasa da değerlendirilmesi gerekir. Literatürde üretken tüketici olarak tanımlanan; tüketicilerin bireysel olarak piyasada üretim-tüketim faaliyetlerinde etkin roller alması, gerektiğinde üretim katkısı gerektiğinde ise tüketim kısıtlarına olanak sağlayarak şebeke işletmeciliğinde aktif olmasıdır. Bu durum elektrik işletmesi ve piyasa koşulları için yeni bir dönem anlamına gelmektedir.

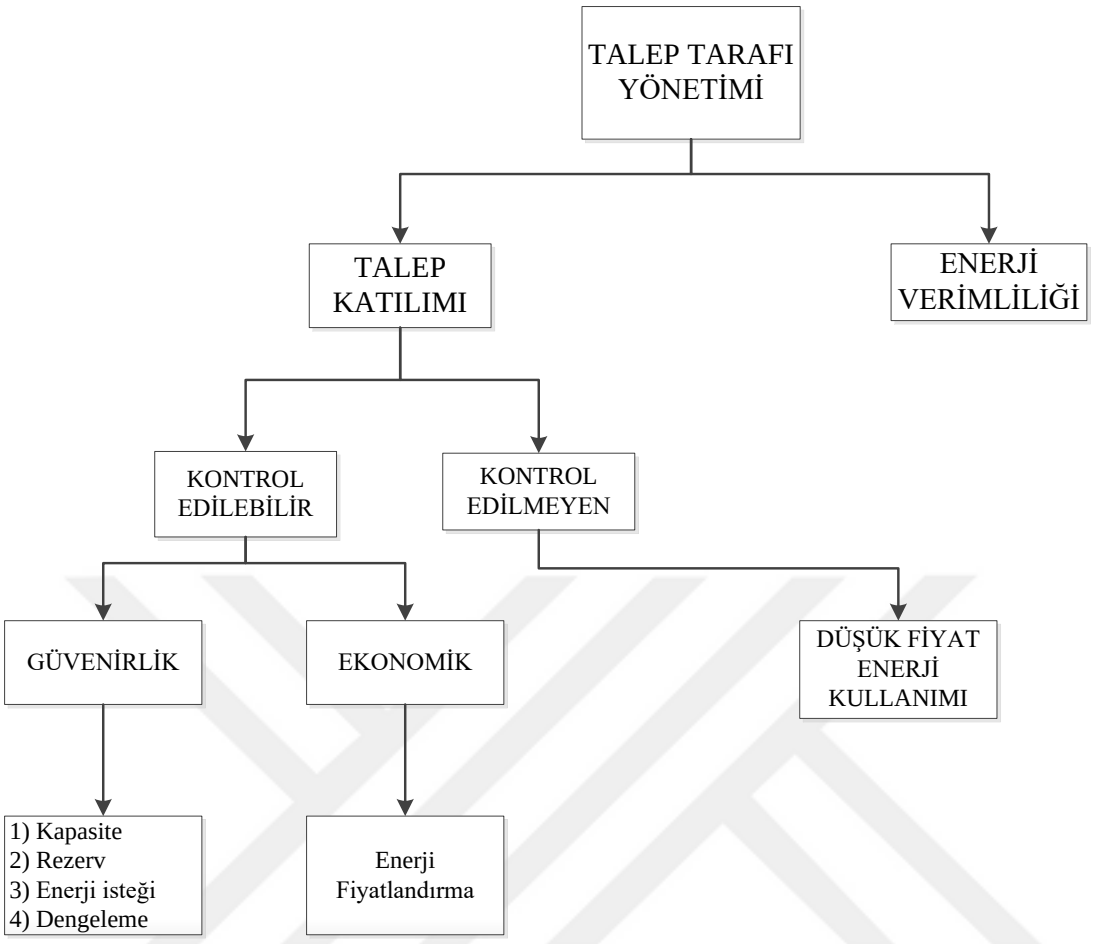
Talep katılımı ilk bakışta sadece fiyat ve tüketim azaltma olarak kabul edilir. Fakat gelişen kontrol ve otomasyon uygulamalarıyla şebeke işletme faaliyetlerinde de etkin hale gelmiştir. Örneğin, şebekenin iletim kısıtlarının olduğu durumlarda tüketici ile yapılan ikili anlaşmalarla tüketim kısıtlaması yapılabilir. Bu uygulamaların sistem güvenliğini ve hizmet kalitesini etkilemeden yapılması için karar verme ve kontrol sistemleri gerekmektedir. Genel olarak bu sistemlere talep tarafı yönetim sistemleri adı verilir.

Talep tarafı katılımını üç sınıfta incelenebilir.

a) Acil durum talep katılımı

b) Finansal talep katılımı
c) Yardımcı (yan) hizmet talep katılımı

Günümüzde kullanılan pek çok talep katılımı tekniği vardır. Bunlar aktif ya da pasif ve doğrudan ya da dolaysız olabilir. Aktif talep katılımı tüketiciye programı doğrudan yönetme hakkı vermektedir. Tüketici belirlenen zaman ya da acil durumlarda enerji yönetimini yapabilir ya da tüketiciyle yapılacak ikili anlaşma modelleriyle sistem işletmecileri tüketicinin elektriğinin tamamını ya da bir kısmını kesebilir. Ya da üretken tüketici olarak tanımlanan tüketiciler aktif üretim katkısı da yapabilir. Pasif talep katılımında tüketicinin rolü yoktur, daha çok sistem işletmecileri tarafından sistem yönetilir. Pasif talep katılımı daha çok kesinti ya da gerilim çökmesi gibi durumlarda sistem işletmecisi tarafından yapılır. Doğrudan talep katılımı ise şebekenin ölçülmesi ve kendi kendine karar vermesi sonucunda talebin değiştirilmesidir. Örneğin; uzaktan klima, pompa gibi cihazların kontrol edilmesi vb. Şekil 4.1'de talep tarafı katılımı ve yönetimi şemasını görülmektedir [65, 66]. Talep tarafı yönetimi talep katılımı ve enerji verimliliği olarak iki grupta incelenebilir. Enerji verimliliği bilindiği gibi kullanıcıların tüketimini artıran uygulamaları kendi kontrolünde sınırlamasıdır. Talep katılımı kısmı ise tüketici faaliyetlerinin işletmeci tarafından kontrol edilen ve kontrol edilmeyen olarak tanımlanabilir. Kontrol edilmeyen olarak tanımlanan ise tüketicinin talebini kendisi kontrol edebilir. Örneğin; tüketimini daha çok ucuz elektrik saatlerinde yapabilir, pahalı saatlerde ise tüketimini azaltabilir. Kontrol edilebilir olarak tanımlanan ise tüketici, tüketim-üretim faaliyetlerinin işletmecinin kontrolünde yapılmasıdır. Örneğin tüketici, sistem işletmecisi ile yapılacak anlaşma sonucunda tüketimini kontrol ettirebilir (tüketici ile belirlenen saatlerde ihtiyaç durumunda elektriğinin kesilmesi gibi) ve böylece ucuz elektrik tarifesinde faydalanabilir. Benzer şekilde işletmeci, mikro şebeke sahibi bir tüketicinin üretimini rezerv güç olarak değerlendirebilir. Böylece talep katılımı işletme güvenliği için yük kontrolünde kullanılabilir.



Şekil 4.1. Talep tarafı katılımı ve yönetimi şeması [66]

5. GÜÇ SİSTEMLERİNDE GERÇEK ZAMANLI GÜÇ AKIŞ ANALİZİ VE GERİLİM KARARLILIĞI

Bu bölümde, sunulan tez çalışması kapsamında geliştirilen, güç sistemlerinde dinamik güç akış analizinin gerçekleştirildiği ve güç akışlarının izlenebildiği uygulama tanıtılmaktadır. Bölüm 3'te detaylı olarak anlatıldığı gibi, güç sistemlerinin güvenli bir şekilde işletilmesi için sistem analizlerinin ve kararlılık hesaplamalarının yapılması oldukça önemlidir. Ayrıca gelişen ve büyüyen güç sistemlerinin sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında bir güç sisteminin gerçek zamanlı güç akış analizlerinin sürekli ve dinamik olarak yapılması için bir uygulama hazırlanmıştır. Belirlenen bir program akış düzeninde, modellenen bir güç sisteminin güç akış analizinin, verilerin otomatik güncellenerek hesaplamaların kolaylıkla yapıldığı gösterilmiştir. İlk olarak programın veri güncelleme ve güç akış analizinin nasıl yapıldığı dört baralı örnek bir şebeke üzerinde gösterilmiştir. Böylelikle daha sonra yapılacak gerçek şebeke analizinde ekran uygulamasının nasıl kullanılacağı açıklanmıştır. İkinci olarak ise güç sistemlerinde kritik gerilim seviyelerinde talep tarafında yapılacak yük atma ya da üretim katkısının gerilim kontrolünde kullanılabileceği gösterilmeye çalışılmıştır. Bunun için şebeke üzerinde kritik gerilim olayı yaşanan baralarda P-V eğrileri oluşturularak, yapılması gereken güç değişimi değerinin hesaplanması hedeflenmiştir. Tüm modelleme, kod yazılımı ve analizler Digsilent Power Factory programıyla yapılmıştır. Bu analiz programı pek çok güç sistem analizi uygulamasını gerçekleştirebilen, akademik ve sanayi uygulamalarında kendini ispatlamış bir üründür. Ayrıca Digsilent programı kendine ait DPL (Digsilent Programing Language) yazılım altyapısına sahiptir. Bu özelliği sayesinde kullanıcılara tasarım ve modelleme imkânı sağlamaktadır.

5.1. Elektrik Sistemlerinde Dinamik Güç Akışı Uygulaması

Bölüm 2 ve Bölüm 3'te anlatıldığı gibi güç sistemlerinde güç akış analizi genellikle sistemin mevcut durumunun belirlenmesi ya da gelecekte ortaya çıkacak değişikliklerin etkisinin şebeke üzerindeki etkilerini hesaplamak için yapılmaktadır. Bu nedenle şebeke işletmeciliği açısından çok önemli bir tekniktir. Diğer taraftan elektrik sistemlerinin

modellemesi günümüzde çeşitli yazılımlar aracılığı ile yapılabilmekte olup, analizler bu programlar ile yapılmaktadır.

Günümüzde elektrik sistem işletmecileri tarafından şebekedeki tüm üretim ve tüketim verilerinin kayıtları dakika, saat, gün vb. zaman tabanlı olarak sürekli olarak takip edilir ve kayıtları tutulmaktadır. Bu kayıtlar otomatik ya da manuel olarak da yapılabilmektedir. Bu nedenle verilerin toplanarak bilgisayar ortamına aktarılması mümkündür. Bu çalışmada gerçek bir sisteme entegre bir ortam olmadığı için veri setleri ".txt" uzantılı dosyalar halinde oluşturulmuş ve programa otomatik olarak bu dosyalar aracılığıyla veri aktarılması gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama ilk olarak örnek olması amacıyla oluşturulan dört baralı model üzerinde yapılmıştır. Programda dinamik güç analizi yöntemi ve güç akışlarının izlenebilirliğini görsel olarak kolayca anlaşılabilmesi için dört baralı örnek şebeke uygulaması yapılmıştır.

Genel olarak program üzerinde yapılan uygulama akış diyagramı Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Akış diyagramı şebekenin modellenmesiyle başlamaktadır. Analiz yapılacak şebekenin tek hat modeli Digsilent programı üzerinde yapılmalıdır. Bu modellemelerde program içersinde mevcut olan hat, trafo vb. karakteristikler kullanılabilir. Aynı zamanda ele alınan şebekedeki teçhizatın modeli de oluşturulabilir. İstenilen şebeke modeli oluşturulduktan sonra güç akış analizinin ya da arzu edilen diğer şebeke analizlerinin yapılabileceği ortam hazırlanmış olacaktır.

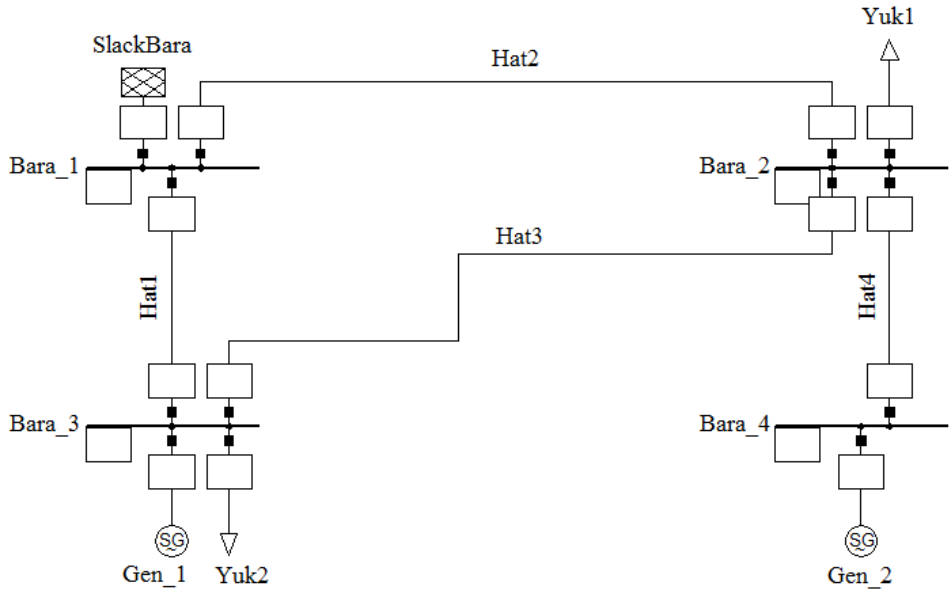


Şekil 5.1. Program akış diyagramı

Dinamik güç akış analizi için öncelikle şebekede aktif olan servisleri kontrol etmek gerekir. 1. adımda, analizin yapılacağı zamanda şebeke unsurlarının sisteme bağlı olup olmadığı, aktif-pasif durumları gibi durumları kontrol edilir. Örneğin servis dışı olan hat ya da üretimde olmayan generatörler gibi. Eğer varsa şebekenin fiziki değişimleri model üzerinde yapılacaktır. Böylece şebekenin fiziksel tüm durumları model üzerinde belirlenmiş olacaktır.

İkinci adımda, şebekenin istenilen zamandaki güç akış analizini yapabilmek için üretim ve tüketim verilerinin programa otomatik olarak girdisi için oluşturulan “txt” dosyası olarak hazırlanacaktır. 3. adımda ise şebeke verilerini program hazırlanan dinamik güç akış kodu (script) çalıştırılır. Modellenen sistem tüm koşullarıyla program üzerinde hazır hale gelir. Son olarak yapılan şebekenin analizleri incelenir ve analiz değerlendirmeleri yapılabilir.
İlk olarak hazırlanan dinamik güç akışı uygulaması, Şekil 5.2’te gösterilen dört baralı bir güç sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Dört baralı modellenen sistem; iki adet yük, iki adet generatör, dört iletim hattı ve bir harici şebeke içermektedir. Harici şebeke yapılan analizlerde salınım barası olarak tanımlanmış olup, Bara_1 referans baradır. Modellenen sistemin gerilim seviyesi 154 kV’tur. Bu model örnek olarak tasarlanmış olduğu için iletim hatları ve generatörlerin modellenmesinde programda var olan hazır modeller

kullanılmıştır. Bu modellerde iletim hatlarının empedans ve kapasitans verileri mevcuttur. Benzer şekilde generatör modelleri için gerekli tüm karakteristikler tanımlanmıştır.



Şekil 5.2. Örnek dört baralı sistemin tek hat diyagramı

Farklı üretim ve tüketim seviyelerinin şebekede meydana getirdiği değişiklikleri otomatik akış diyagramıyla görebilmek için Çizelge 5.1 ve 5.2'deki yük - generatör değerleri ve şebeke üzerindeki farklı servis durumları oluşturulmuştur. Öncelikle Senaryo-1 için tüm şebekenin güç akışının normal olarak sağlanabildiği, yani dengeli bir güç sisteminin sağlandığı, üretim ve tüketim değerleri belirlenmiştir. Sonraki senaryolar için üretimin ve tüketim değerleri katlanarak artırılmıştır. Burada şebekenin artan yük koşullarında nasıl etkilendiği gösterilmek istenmektedir. İkinci olarak ise şebekenin generatör ve hatların sistemde olmadığı durumlarda fiziksel yüklenmelerin nasıl etkisi olacağı görülebilmesi için sırasıyla hat ve generatörler aktif/ pasif halleri gösterilmiştir.

Belirlenen senaryolar incelenecek olursa; Senaryo 1'e göre diğer senaryoların yüklerin aktif ve reaktif güç oranları artmaktadır. Bu artış generatörler için geçerlidir ancak farklı olarak Senaryo 2'de Genaratör 1, Senaryo 3'te Generatör 3 servis haricidir. Ayrıca şebekenin fiziki yapısındaki değişimler oluşturulmuştur. Şebeke servis durumları çizelgesinde farklı senaryolarda bazı iletim hatlarının servis dışı olduğu gösterilmektedir. Bu farklı şebeke yapısı ve yük durumları sonucunda şebekenin güç akış yönleri, hat ve generatör yüklenme durumları açıkça görülebilecektir.

Çizelge 5.1 Üretim ve tüketim değerleri

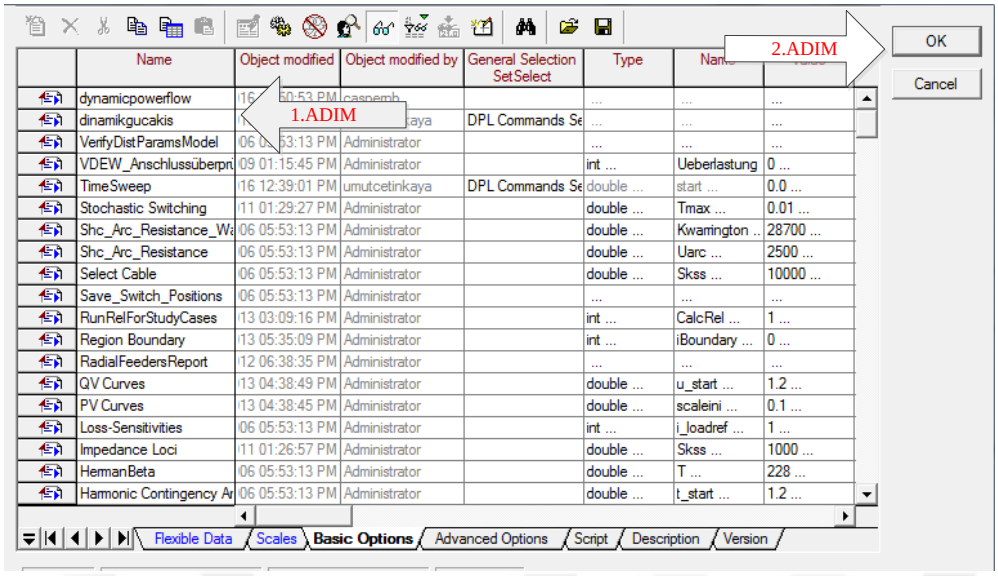
	Senaryo-1		*Senaryo-2*		*Senaryo-3*		*Senaryo-4*		*Senaryo-5*	
	P	*Q*	*P*	*Q*	*P*	*Q*	*P*	*Q*	*P*	*Q*
Yük 1	20	5	30	7,5	40	10	60	15	80	20
Yük 2	40	10	60	15	80	20	120	30	160	40
Gen 1	20	5	0	0	40	10	60	15	80	20
Gen 2	40	10	60	15	0	0	120	30	160	40

P: Aktif Güç (MW) Q:Reaktif Güç (Mvar)

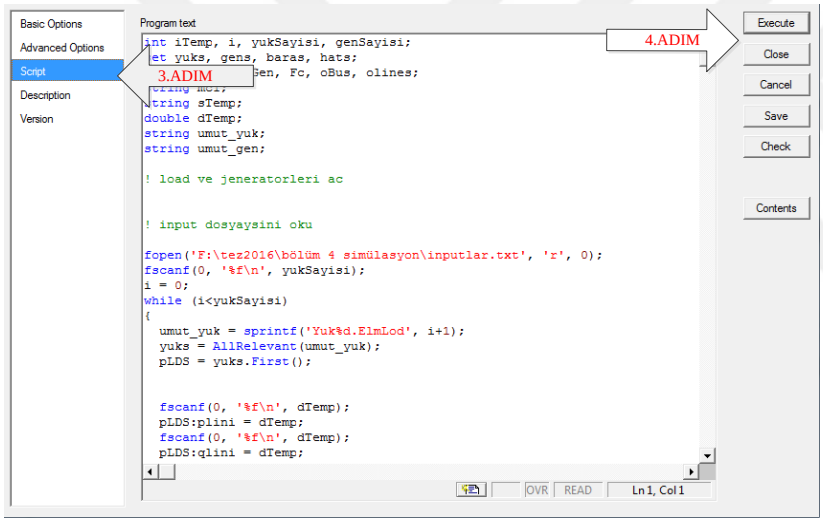
Çizelge 5.2. Şebeke servis durumları

	Senaryo-1	*Senaryo-2*	*Senaryo-3*	*Senaryo-4*	*Senaryo-5*
Gen 1	Aktif	*Pasif*	Aktif	Aktif	Aktif
Gen_2	Aktif	Aktif	*Pasif*	Aktif	Aktif
Hat 1	Aktif	Aktif	Aktif	*Pasif*	Aktif
Hat 2	Aktif	Aktif	Aktif	Aktif	Aktif
Hat 3	Aktif	Aktif	Aktif	Aktif	*Pasif*
Hat 4	Aktif	Aktif	*Pasif*	Aktif	Aktif

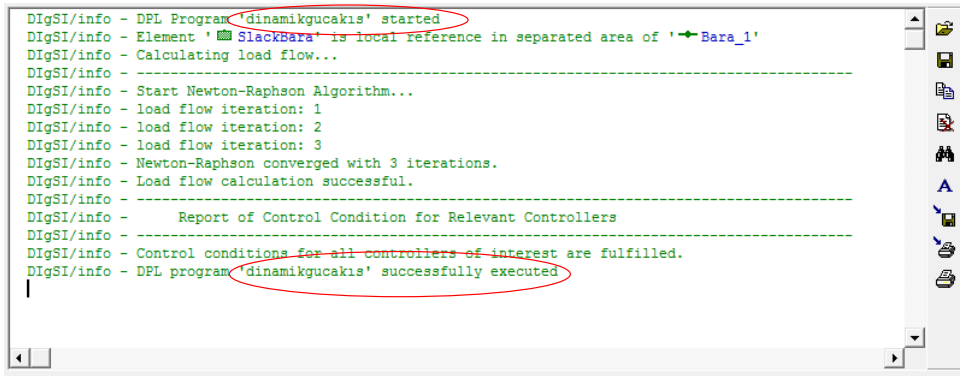
Yapılan modelleme üzerinde Çizelge 5.1 ve 5.2 dikkate alınarak, akış diyagramına göre dinamik güç akış uygulaması gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları elde edilmiştir. Öncelikle Digsilent programında yapılan model üzerinde, hazırlanan verilerin otomatik olarak okunabilmesi için yazılan dinamik güç akış kod dizininin nasıl çalıştırıldığı sırasıyla Şekil 5.3’de anlatılmıştır. Ayrıca bu çalışma için hazırlanan kod dizini Ek-1'de detaylı olarak verilmiştir.



a)



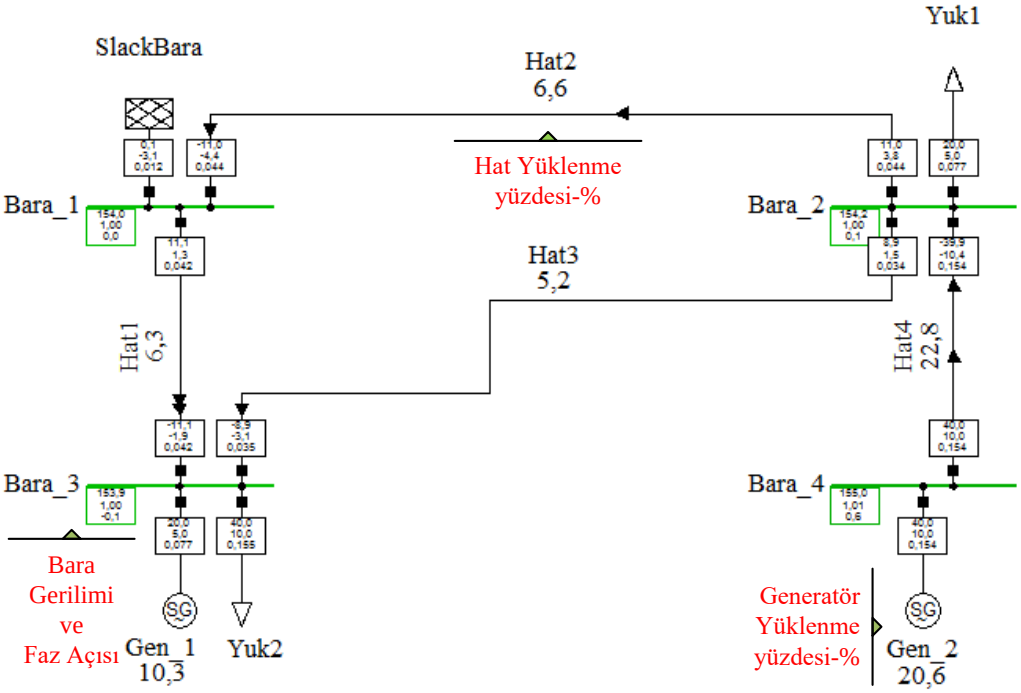
b)



c)

Şekil 5.3. Kod dizinin Çalıştırılması a) Hazırlanan kod dizinin açılması b) Hazırlanan kod dizinin çalıştırılması c) Sonuç raporu

Senaryo-1'de yapılan uygulama sonucu Şekil 5.4'de görülmektedir. İlk olarak program ekranında bara gerilimlerinin, generatör ve hat yüklenmelerinin görsel olarak algılanabilmesi için renk skalası belirlenmiştir. Şebekenin işletme sınırları dikkate alınarak minimum- maksimum gerilim seviyesi ile generatör-hat yüklenmelerinin yüklenme eşiklerine göre renkler ayarlanmıştır ve belirlenen renklendirme şekli Çizelge 5.3 ile Çizelge 5.4'tegösterilmiştir.



Şekil 5.4 Senaryo-1 sonuçları

Güç sistemlerinde bara gerilim sınırları için alt ve üst limit değerleri belirlenmektedir. Kullanılan Digsilent programında herhangi bir sınır seçilmezse, gerilim limitleri seviyesi ±%10 olarak belirlenir. Diğer tarafta bazı durumlarda işletme kararlılığı açısından ±%5'lik değişimi aşılmamaya çalışılmaktadır. Örnek uygulamada buna göre bir renk skalası oluşturulmuştur [2].

Çizelge 5.3. Bara gerilimlerinin renk skalası

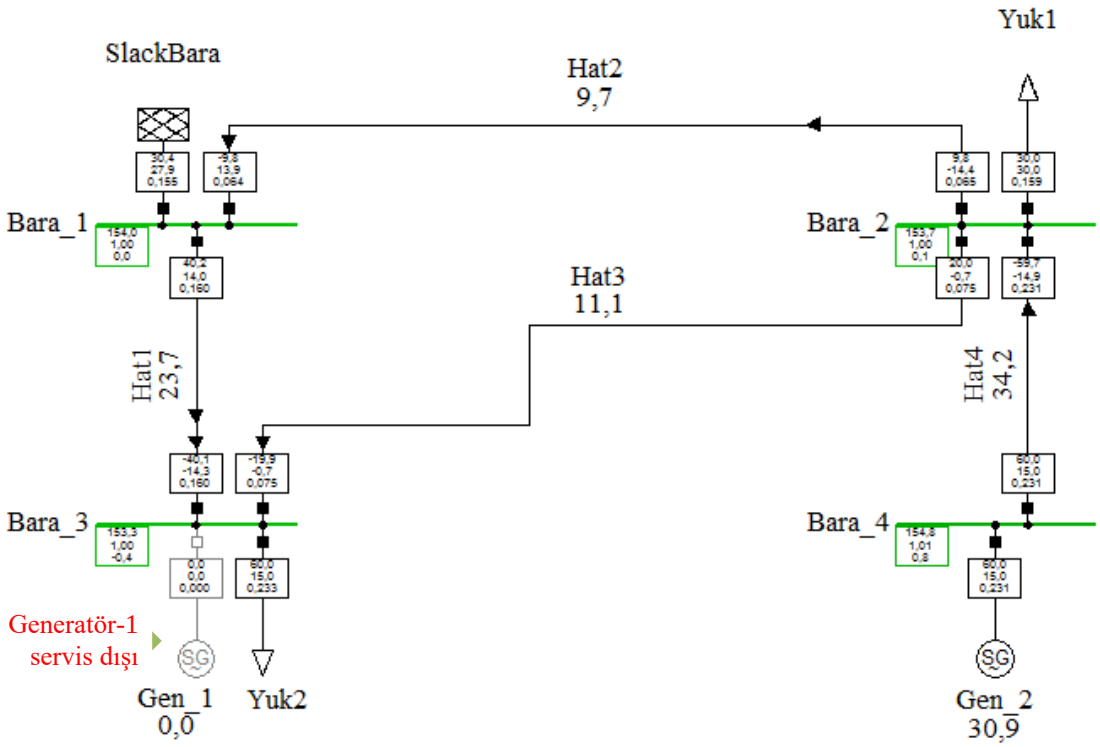
Düşük Gerilim	*Renk*	*Yüksek Gerilim*	*Renk*
0,95-1,00 pu	Yeşil	1,00 – 1,05 pu	Yeşil
0,90-0,95 pu	Açık Mavi	1,05– 1,10 pu	Turuncu
< 0,90	Mavi	>1,10	Kırmızı

Çizelge 5.4. Hat ve generatörlerin yüklenme oranı renk skalası

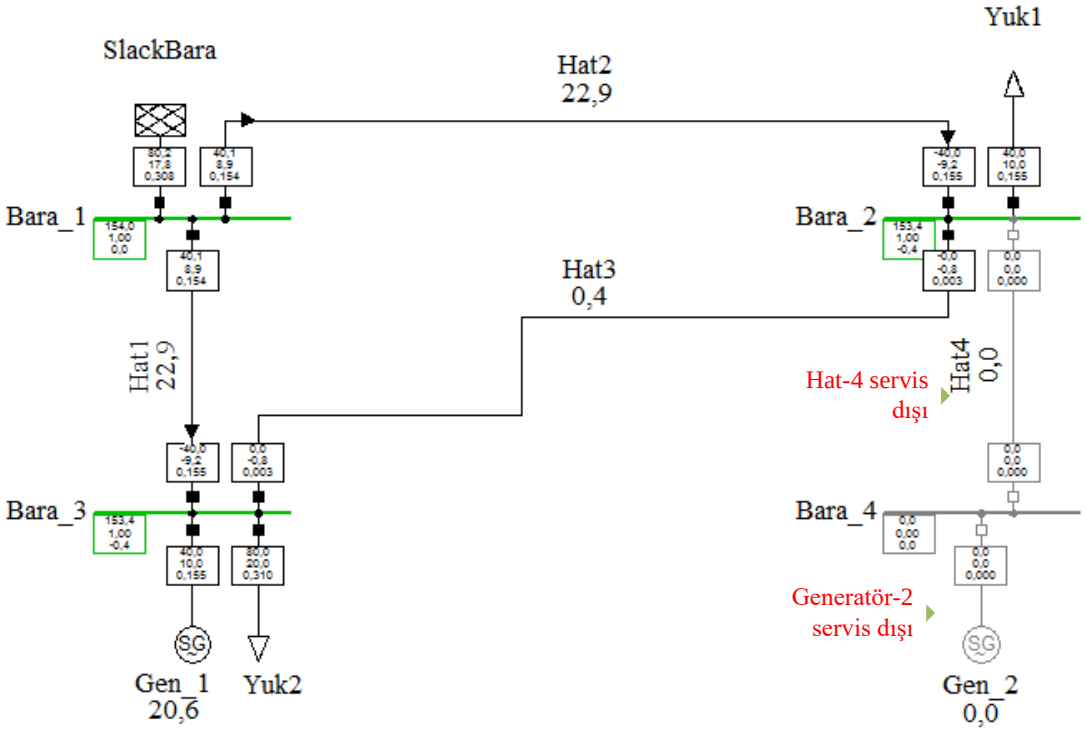
Yüklenme Yüzdesi (%)	*Renk*
0-80	Siyah
80-100	Turuncu
>100	Kırmızı

Oluşturulan renk skalasına göre, gerilimin 0,95 pu ile 1,05 pu arasında yeşil renk olarak belirlenmesiyle, şebeke gerilim profilinin ±%5'lik değişimi öngörülmesi sağlanmaktadır. Düşük gerilim durumunda yeşilden maviye doğru, yüksek gerilim durumunda yeşilden kırmızıya doğru bir renk geçişi ayarlanmıştır. Aynı şekilde hatlar içinde hattın yüklenme durumları için siyah-turuncu ve kırmızı renkleri belirlenmiştir. Program üzerinde böylelikle şebeke durumları kolaylıkla anlaşılabilmektedir. Örneğin Senaryo-1'in sonuçlarını gösteren Şekil 5.4'e bakıldığında tüm bara gerilimleri normal sınırda olduğu için tüm renkleri yeşil görülmektedir. Ayrıca baraların gerilim ve faz açı değerleri kolaylıkla okunabilmektedir. Hat ve generatörlerin yüklenme durumu yüzde olarak gösterilmektedir.

Senaryo-2'de Gen_1, Senaryo-3'de Gen_3 servis dışıdır. Şekil 5.5 ve 5.6 'ya bakıldığında servis dışı oldukları görsel olarak anlaşılmaktadır. Ayrıca program üzerinde tüm teçhizatların kesicileri açılarak ya da kapatılarak kolaylıkla servise alınabilir ya da çıkarılabilir. Ayrıca iki senaryo arasındaki gerilim, hat ve generatör yüklenmeleri ile güç akış yönleri açıkça izlenebilmektedir.

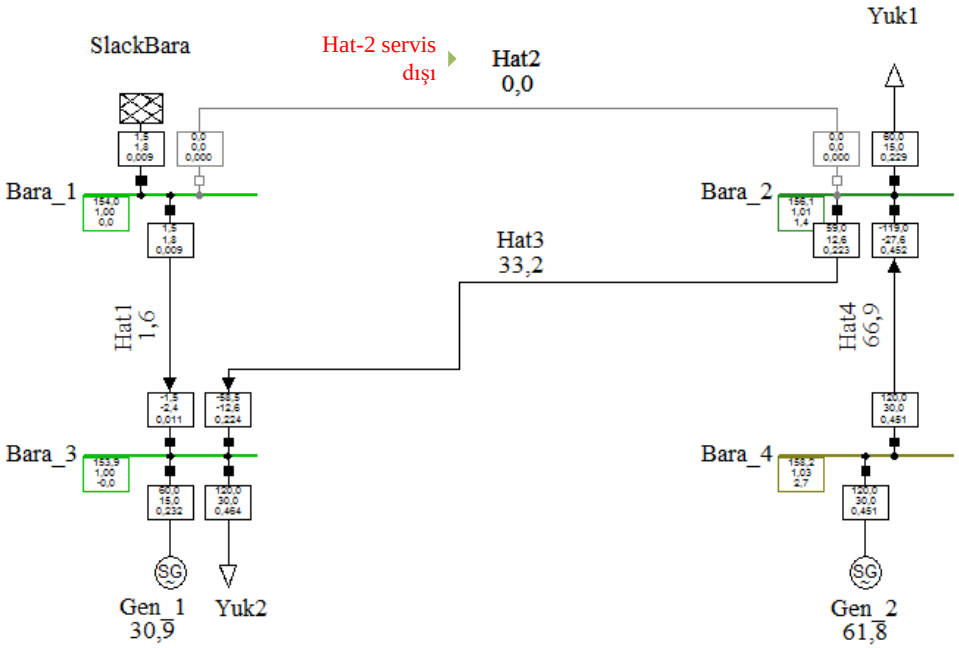


Şekil 5.5. Senaryo-2 sonuçları

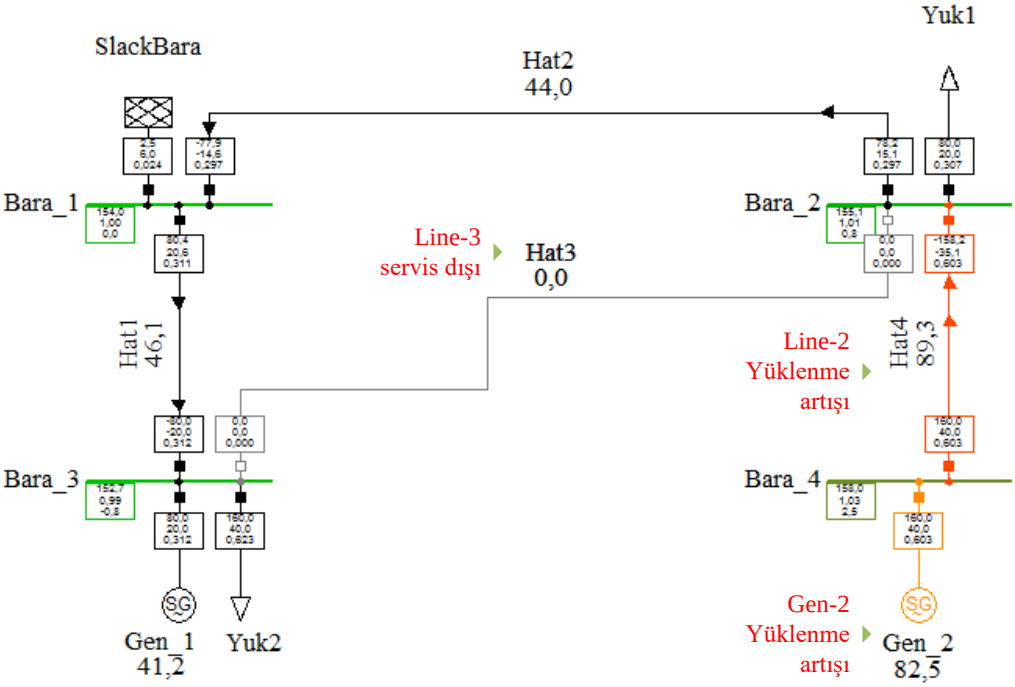


Şekil 5.6. Senaryo-3 sonuçları

Benzer şekilde Senaryo-4 ve Senaryo-5'te servis dışı olan hatlar Şekil 5.8 ve 5.9'da gösterilmiştir. Ancak Senaryo-5'te Hat-4 ile Gen_2'nin yüklenmelerinin arttığı renk farkından anlaşılabilmektedir.



Şekil 5.7. Senaryo-4 sonuçları



Şekil 5.8: Senaryo-5 sonuçları

Programın görselinden ayrı olarak tüm analizlerin sonuçları raporlanabilmekte ve tablo olarak görülebilmektedir. Örneğin Şekil 5.10'da Senaryo-5'in sonuç raporları ve tabloları verilmiştir. Bu raporlar ayrıca farklı ortamlara .xls yada .pdf formatında alınabilmektedir.

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	Ul, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.	U, Angle deg
▶	Bara_1	Grid	154,	154,	1,	0,
	Bara_2	Grid	154,	154,4846	1,003147	0,31323
	Bara_3	Grid	154,	153,4803	0,9966254	-0,32484
	Bara_4	Grid	154,	156,6771	1,017384	1,66499

a)

	Name	Grid	...	Terminal i Busbar	...	Terminal j Busbar	u, Magnitude Terminal i in p.u.	u, Magnitude Terminal j in p.u.	Loading %	Capacitive Loading Mvar
▷	Hat1	Grid		Bara_1		Bara_3	1,	0,9966254	19,27103	0,6200218
	Hat2	Grid		Bara_1		Bara_2	1,	1,003147	18,46815	0,6240785
	Hat3	Grid		Bara_2		Bara_3	1,003147	0,9966254	15,164	1,554957
	Hat4	Grid		Bara_2		Bara_4	1,003147	1,017384	67,56223	0,7619847

b)

	Name	Grid	Te... St...	Terminal Busbar	B...	Active ... MW	Reactive Power Mvar	Apparent Power MVA	App.Pow. MVA	u, Magnitude p.u.	Power Factor
▶	Gen_1	Grid		Bara_3	PQ	60,	15,	61,84658	200,	0,9966254	0,97014
	Gen_2	Grid		Bara_4	PQ	120,	30,	123,6932	200,	1,017384	0,97014

c)

Grid: Grid	System Stage: Grid	Study Case: Study Case	Annex: / 1

	rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.]	[kV]	[deg]	Voltage - Deviation [%] -10	-5	0	+5	+10
Bara_1									
	154,00	1,000	154,00	0,00					
Bara_2									
	154,00	1,003	154,48	0,31					
Bara_3									
	154,00	0,997	153,48	-0,32					
Bara_4									
	154,00	1,017	156,68	1,66					

d)

Şekil 5.9. Analiz tabloları ve raporları a) Bara Sonuçları b) Hat Sonuçları c) Generatör Sonuçları d) Şebekenin gerilim profili

5.2. Örnek Bir Güç Sistemi Üzerinde Dinamik Güç Akış Analizi ve Kritik Noktaların Belirlenmesi

Bu bölümde 5.1 bölümünde anlatılan dinamik akış uygulaması gerçek bir güç sisteminin benzer modeli üzerinde uygulanacaktır. Bu uygulamayı gerçekleştirebilmek için ilk olarak Türkiye Elektrik İletim şebekesinin bir bölümünün benzetimi referans alınmıştır. Ele alınan şebeke kısmı Türkiye'nin İç Anadolu bölgesindeki Konya – Ankara – Kırıkkale - Kırşehir illerini kapsamaktadır.

Modellemesi yapılacak şebekede 18 adet trafo merkezi bulunmaktadır. Bu merkezler arasında 24 adet iletim hattı ve bu bölgede toplam 10 tane üretim santrali vardır. Şebekenin Digsilent programında yapılan modellemesinin tek hat görünümü Şekil 5.10'da verilmiştir. Ayrıca şebekedeki hatların ve generatörlerin karakteristik bilgileri Çizelge 5.5 ve 5.6'da belirtilmiştir. İletim hatlarının modellemeleri çizelgede belirtilen iletken tipine ait direnç ve reaktans değerlerine göre yapılmıştır. Generatörler modelleri de çizelgede belirtilen kurulu güç, gerilim ve güç faktörü değerlerine göre modellenmiştir. Ayrıca genaratörlerin operasyonel reaktif güç limitleri ve aktif güce göre reaktif güç eğrileri oluşturulmuştur.

Çizelge 5.5. Santral kurulu gücü ve özellikleri

Santral Adı	Kurulu Güç (MVA)	Gerilim (kV)	Güç Faktörü
Gen_1	60	6,3	0,82
Gen_2	1,2	0,4	1,00
Gen_3	66	13,8	0,82
Gen_4	4	0,4	0,80
Gen_5	160	10,6	0,80
Gen_6	95	10,6	0,80
Gen_7	14,2	0,4	0,80
Gen_8	7	0,4	0,81
Gen_9	0,8	0,4	0,99
Gen_10	1,8	0,4	1,00

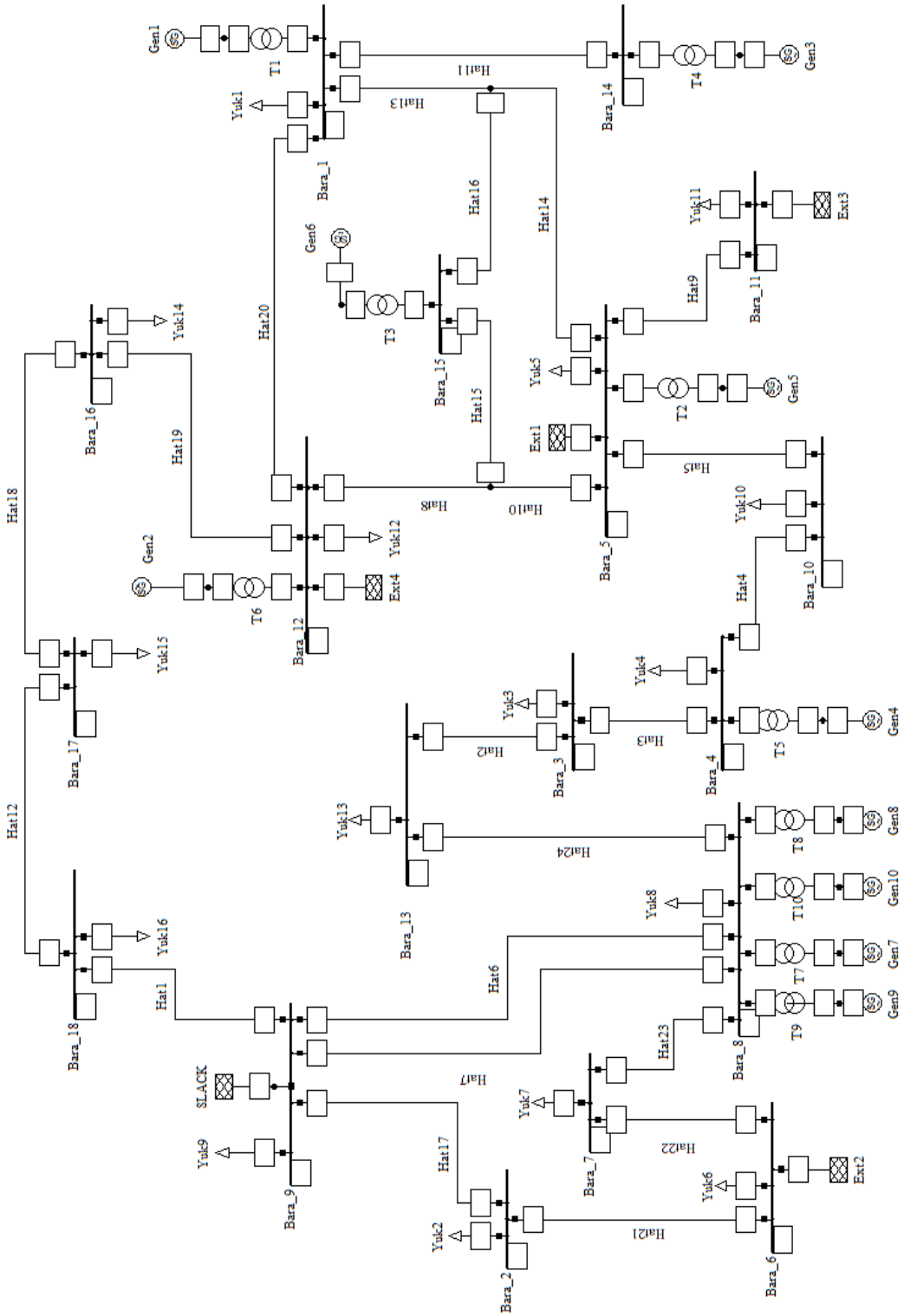
Çizelge 5.6. Hat tipi ve uzunlukları

Hat Adı	*Tipi*	*Uzunluk (km)*
Hat1	477 MCM	41
Hat2	477 MCM	45,1
Hat3	477 MCM	37,2
Hat4	477 MCM	59,2
Hat5	1272 MCM	28,8
Hat6	954 MCM	25,4
Hat7	954 MCM	25,4
Hat8	795 MCM	35
Hat9	477 MCM	58,3
Hat10	795 MCM	35
Hat11	477 MCM	1,2
Hat12	795 MCM	38
Hat13	795 MCM	33
Hat14	795 MCM	33
Hat15	795 MCM	1,5
Hat16	795 MCM	1,5
Hat17	1272 MCM	21,2
Hat18	2x795 MCM	50
Hat19	795 MCM	60
Hat20	795 MCM	16,4
Hat21	1272 MCM	24,3
Hat22	2x1272 MCM	11,2
Hat23	2x1272 MCM	15,5
Hat24	477 MCM	41,6

Türkiye'nin elektrik iletim şebekesi, normal işletme koşullarında gerilim seviyesi 400 kV ile 154 kV altında işletilmektedir. Yapılan tez çalışmasında modellenen şebeke de işletme gerilimi 154 kV olarak modellenmiştir. Normal koşullarda 154 kV'luk şebekenin işletme sınırı 140 kV ile 170 kV arasındadır. Ancak bu işletme sınırları planlama aşamasında ise 146 kV ile 162 kV arasında değerlendirilir [2].

Çizelge 5.7. İşletme Gerilim Sınırları

Sistem Gerilim Limitleri		
Nominal Gerilim	İşletme Limitleri	
154 kV	170 kV	140 kV
1,00 pu	1,10 pu	0,90 pu



Şekil 5.10. Tek hat şeması

Modellenen sistemde büyük ve küçük ölçekli santraller bulunmaktadır. Özellikle küçük ölçekli santraller tüketici tarafında tesis edilmiş merkezlerdir. Diğerleri ise müstakil üretim merkezleridir. Kurulu güç değerleri Çizelge 5.6'da detaylı olarak gösterilmiştir. Güç

sistemlerinin bir bölümünün analizinin yapılması genel olarak doğru sonuçlar vermeyebilir. Çünkü büyük bir enterkonnekte sistemin bir bölümünü modellemek tüm sistemin etkisinin analizi için yeterli olamaz. Bu nedenle ele alınan şebeke bölümünün modelinde diğer şebeke bağlantılarıyla olan güç akışını gösterebilmek için harici şebeke tanımlamaları kullanılmıştır. Programın harici şebeke elemanları hem kaynak olarak hem de yük olarak tanımlanabilir. Bu özelliği sayesinde kısmi şebeke analizlerinde, şebeke sınırında olan baralara harici şebeke koyularak şebekeler arasındaki güç miktarı tanımlanabilir ve gözlemlenebilir. Tek hat şeması üzerinde bu bağlantıların olduğu baralar görülebilmektedir. Örnek olarak Bara 6'daki Ext2 ile Bara 11'deki Ext3.

İkinci olarak dinamik güç akış analizlerinin modellenen şebeke üzerinde uygulaması yapılmıştır. Gerçek zamanlı olarak sisteme bağlı veri alış verişi yapılamadığı için analizler için veri setleri oluşturulmuştur. Güç sisteminin belirlenen gün ve saatteki üretim ve tüketim bilgilerine göre yük ve generatör bilgileri toplanmıştır. İşletmenin kritik durumlarını ortaya koyabilmek için puant yükün minimum ve maksimum olduğu dönemler dikkate alınarak tarihler oluşturulmuştur. Ayrıca belirlenen zamandaki şebekenin fiziksel bağlantıları da dikkate alınmıştır. Çizelge 5.8 ve 5.9'da Durum 1 ve Durum 2 olarak şebekenin güç değerleri verilmiştir. Durum 1 maksimum puant yani tüketimin maksimum olduğu dönemi, Durum 2 minimum puantın yani minimum tüketim olduğu dönemi ifade etmektedir. Bu verilerin "txt" uzantılı dosya ile programa yüklenmesi ve dinamik güç akışının uygulaması yapılabilir.

Çizelge 5.8. Generatörlerin güç değerleri

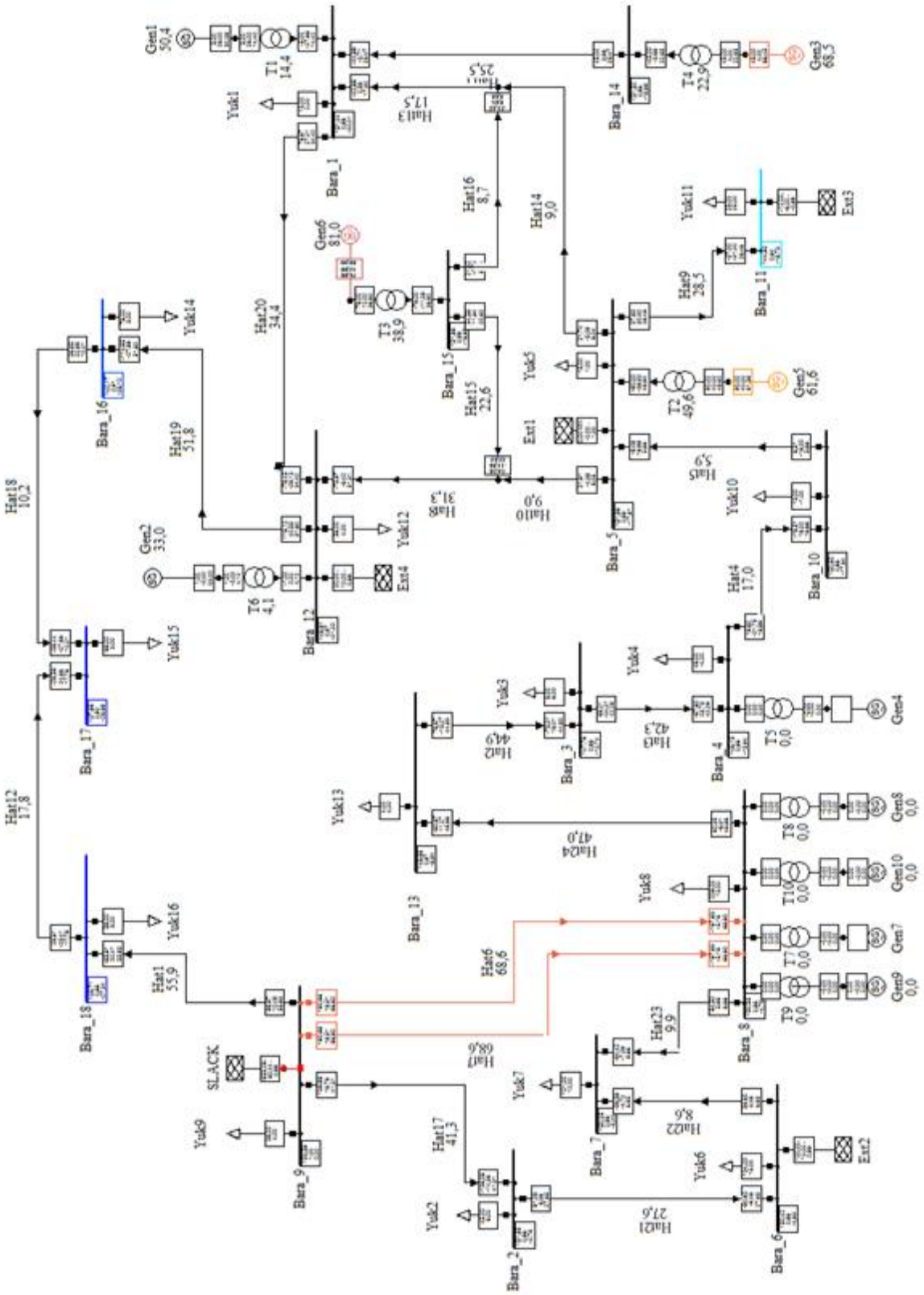
Durum No	*Durum 1 (Max)*		*Durum 2 (Min)*	
Generatör No	*P (MW)*	*Q (MVar)*	*P (MW)*	*Q (MVar)*
Gen_1	27,3	4,2	15,8	1,3
Gen_2	1,0	0	0,75	0
Gen_3	45	7	15	4
Gen_4	0	0	0	0
Gen_5	90	9	60	6
Gen_6	76	16	38	0
Gen_7	0	0	0	0
Gen_8	4,6	1,7	4,8	1
Gen_9	0,5	0	0,94	0
Gen_10	1,7	0	1,3	0

Çizelge 5.9. Baralardaki yüklerin güç değerleri

Durum No		*Durum 1 (Max)*		*Durum 2 (Min)*	
Bara No	Yük No	*P (MW)*	*Q (MVar)*	*P (MW)*	*Q (MVar)*
Bara_1	Yük1	13	2	18	2
Bara_2	Yük2	45	6	17	3
Bara_3	Yük3	29,6	1,9	2,4	0,3
Bara_4	Yük4	48	-4	8,5	-1
Bara_5	Yük5	15	1	14	2
Bara_6	Yük6	134	15	49	-4
Bara_7	Yük7	121	12	53	3
Bara_8	Yük8	229	13	9	-4
Bara_9	Yük9	36	4	8	0
Bara_10	Yük10	13	-1	6	-2
Bara_11	Yük11	25	2,5	16	1
Bara_12	Yük12	58	4	28	5
Bara_13	Yük13	45,3	5,6	8,5	1
Bara_16	Yük14	78	5	28	2
Bara_17	Yük15	66	3	30	-6
Bara_18	Yük16	56	5	3	-2

Bölüm 5.1'de anlatılan örnek dört baralı sistem uygulaması süreci benzer şekilde modellenen güç sistemi için gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda her durum için elde edilen sonuçlar aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Durum 1: Durum 1 için hazırlanan veri setlerine dinamik güç akış kodunun uygulanmasıyla analiz yapılmış ve elde edilen analiz sonucu görüntüsü Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Genel olarak program sonuç görüntüsüne bakıldığında hatların, generatörlerin ve baraların durumu renklendirme yardımıyla değerlendirilebilmektedir. Hat 6 ve Hat 7'nin yüklenme oranı %68,6 olduğu için turuncu renk görünür. Aynı şekilde generatör 3, 5 ve 6'da yüklenme oranı %50'yi geçtiği için turuncu görünür. Bara 11'in gerilimi 0,93 pu olduğu için açık mavi, Bara 17 gerilimi ise 0,89 olduğu için mavi olarak gösterilir.



Şekil 5.11. Durum 1 analiz sonucu

Durum 1'deki analizlerin sonuçları incelendiğinde Bara 17 ve 18'in gerilimlerin alt limitin altında olduğu renklendirme sayesinde ayırt edilebilmektedir. Benzer şekilde hat ve

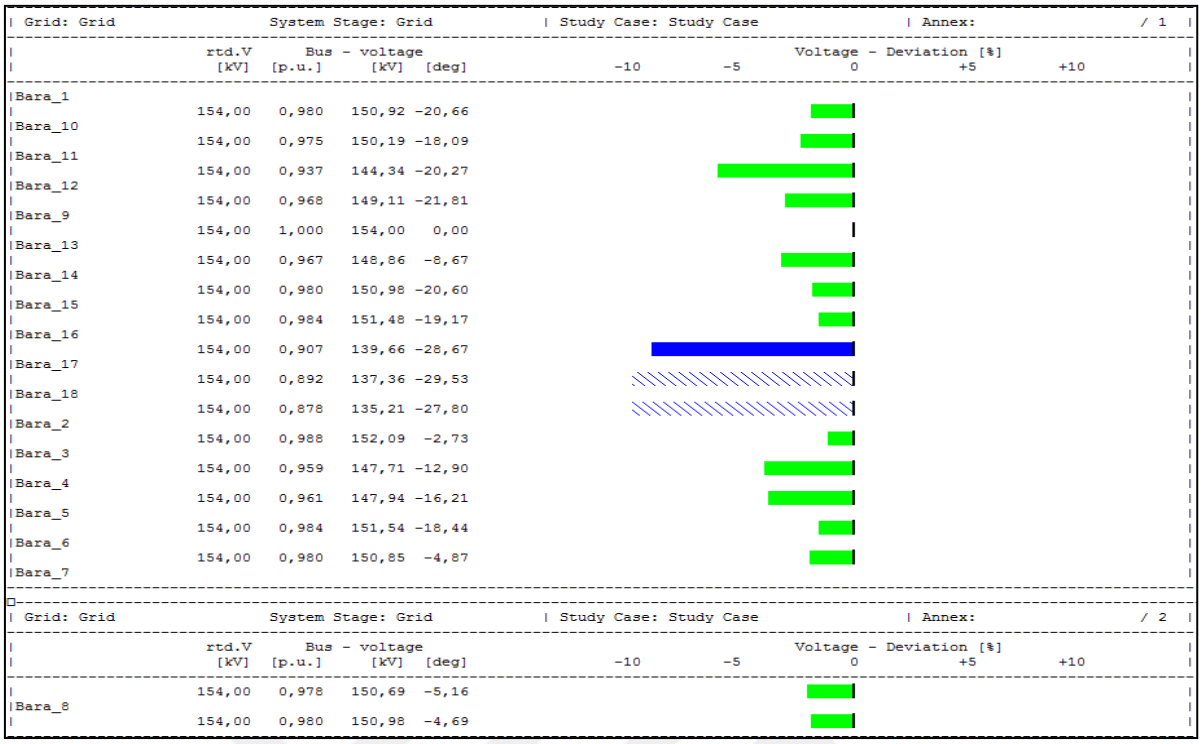
generatörlerin yüklenme ve diğer sonuçları görülebilmektedir. Ayrıca analiz sonuçlarını gösteren program tablolarından gerilim değerleri görülmektedir. Analiz sonucunda baraların gerilimlerini gösteren tablo ve rapor Şekil 5.12 ve 13'te verilmiştir.

Analiz sonuç raporlarında yapılan analiz sonuçlarını ayrıntılı şekilde görülebilmektedir. Şekil 5.12'de baraların nominal gerilimleri, analiz sonucunda bara gerilimi ve bara gerilimi faz açısı gösterilmektedir. Bara 9, referans bara olduğu için her zaman gerilimi 154 kV (nominal şebeke gerilimi), faz açısıda 0^0 olduğu listeden anlaşılmaktadır.

	Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	Ul, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.	U, Angle deg	
	Bara_1	Grid	154,	150,9242	0,98002	-20,65548	
	Bara_10	Grid	154,	150,195	0,97529	-18,08736	
	Bara_11	Grid	154,	144,342	0,93728	-20,27244	
	Bara_12	Grid	154,	149,1072	0,96822	-21,81273	
	Bara_13	Grid	154,	148,8601	0,96662	-8,67062	
	Bara_14	Grid	154,	150,9849	0,98042	-20,59853	
	Bara_15	Grid	154,	151,4775	0,98362	-19,17129	
▶	Bara_16	Grid	154,	139,6615	0,90689	-28,67126	
	Bara_17	Grid	154,	137,3586	0,89193	-29,52796	
	Bara_18	Grid	154,	135,2069	0,87796	-27,80178	
	Bara_2	Grid	154,	152,0854	0,98756	-2,73332	
	Bara_3	Grid	154,	147,7113	0,95916	-12,90205	
	Bara_4	Grid	154,	147,9426	0,96066	-16,20833	
	Bara_5	Grid	154,	151,5384	0,98401	-18,44234	
	Bara_6	Grid	154,	150,8544	0,97957	-4,86789	
	Bara_7	Grid	154,	150,6871	0,97848	-5,15941	
	Bara_8	Grid	154,	150,9833	0,98041	-4,69088	
	Bara_9	Grid	154,	154,	1,	0,	

Şekil 5.12. Bara gerilimleri tablosu-Durum 1

Şekil 5.13 ise yapılan sonucunda elde edilen analiz raporudur. Farklı olarak raporda her baradaki gerilim değişimini yüzde olarak göstermektedir. Gerilim değişimi hem yüzde olarak hem de renk skalası ile ifade edilmektedir. Örneğin; Bara 17 ve 18'de %10'un üstünde değişim olduğu için matematiksel ve görsel olarak anlaşılabilmektedir.



| Grid: Grid | System Stage: Grid | Study Case: Study Case | Annex: / 1 |

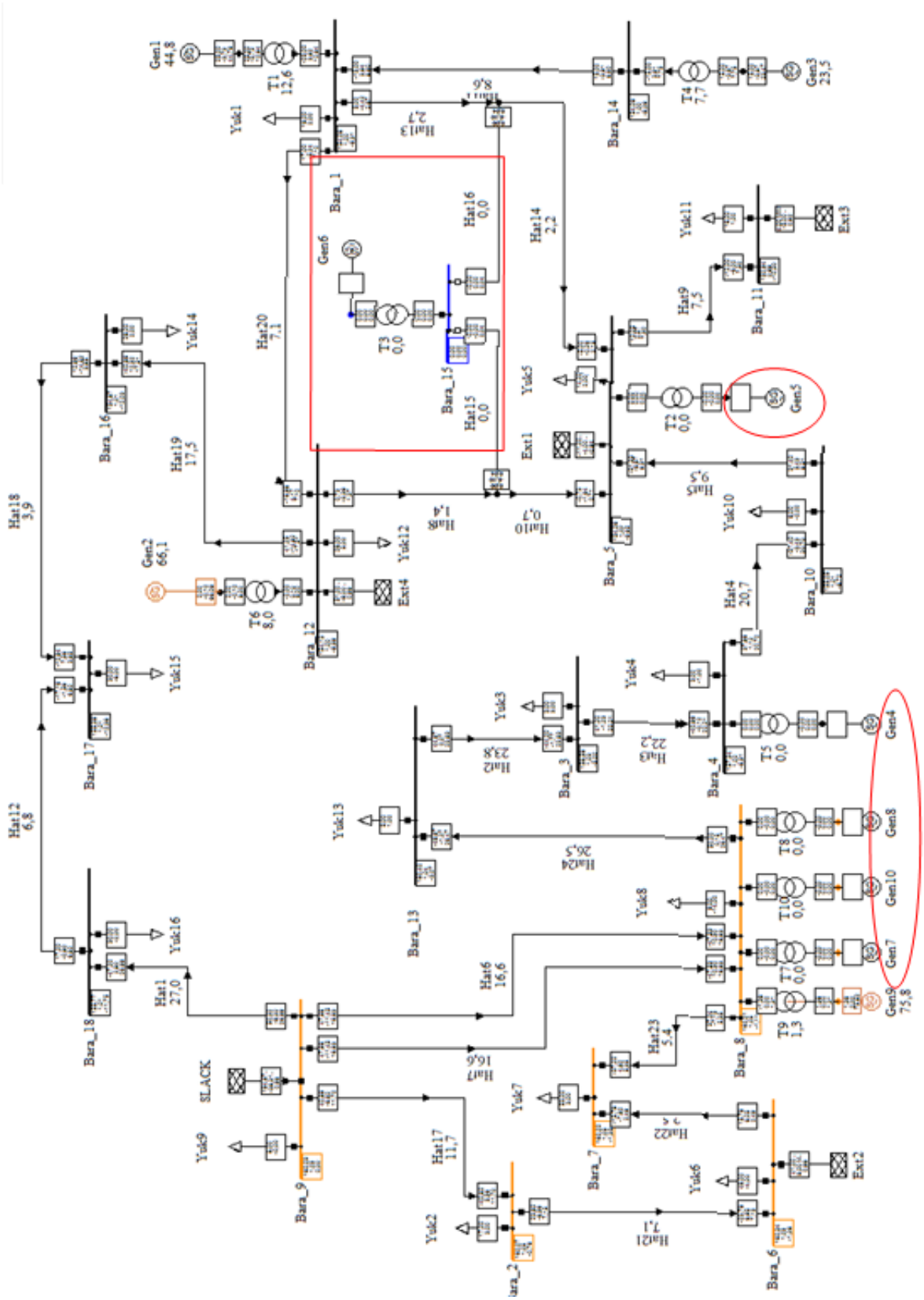
	rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.]	[kV]	[deg]	Voltage - Deviation [%] -10	-5	0	+5	+10
Bara_1	154,00	0,980	150,92	-20,66					
Bara_10	154,00	0,975	150,19	-18,09					
Bara_11	154,00	0,937	144,34	-20,27					
Bara_12	154,00	0,968	149,11	-21,81					
Bara_9	154,00	1,000	154,00	0,00					
Bara_13	154,00	0,967	148,86	-8,67					
Bara_14	154,00	0,980	150,98	-20,60					
Bara_15	154,00	0,984	151,48	-19,17					
Bara_16	154,00	0,907	139,66	-28,67					
Bara_17	154,00	0,892	137,36	-29,53					
Bara_18	154,00	0,878	135,21	-27,80					
Bara_2	154,00	0,988	152,09	-2,73					
Bara_3	154,00	0,959	147,71	-12,90					
Bara_4	154,00	0,961	147,94	-16,21					
Bara_5	154,00	0,984	151,54	-18,44					
Bara_6	154,00	0,980	150,85	-4,87					
Bara_7									

| Grid: Grid | System Stage: Grid | Study Case: Study Case | Annex: / 2 |

	rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.]	[kV]	[deg]	Voltage - Deviation [%] -10	-5	0	+5	+10
	154,00	0,978	150,69	-5,16					
Bara_8	154,00	0,980	150,98	-4,69					

Şekil 5.13. Bara gerilimleri raporu-Durum 1

Durum 2: Yapılan dinamik güç akış analizi sonucu Şekil 5.14'te görülmektedir. Tüketimin minimum olduğu dönemde Bara 2, 6, 7, 8 ve 9'un gerilimlerinde %5 artış meydana gelmektedir. Durum 2'de Generatör 4, 5, 6, 7, 8 ve 10 servis harici olduğu için üretime katkısı yoktur. Ayrıca Hat 15 ve 16'da servis haricidir. Bara 15 bu nedenle tamamen servis harici kalmıştır.

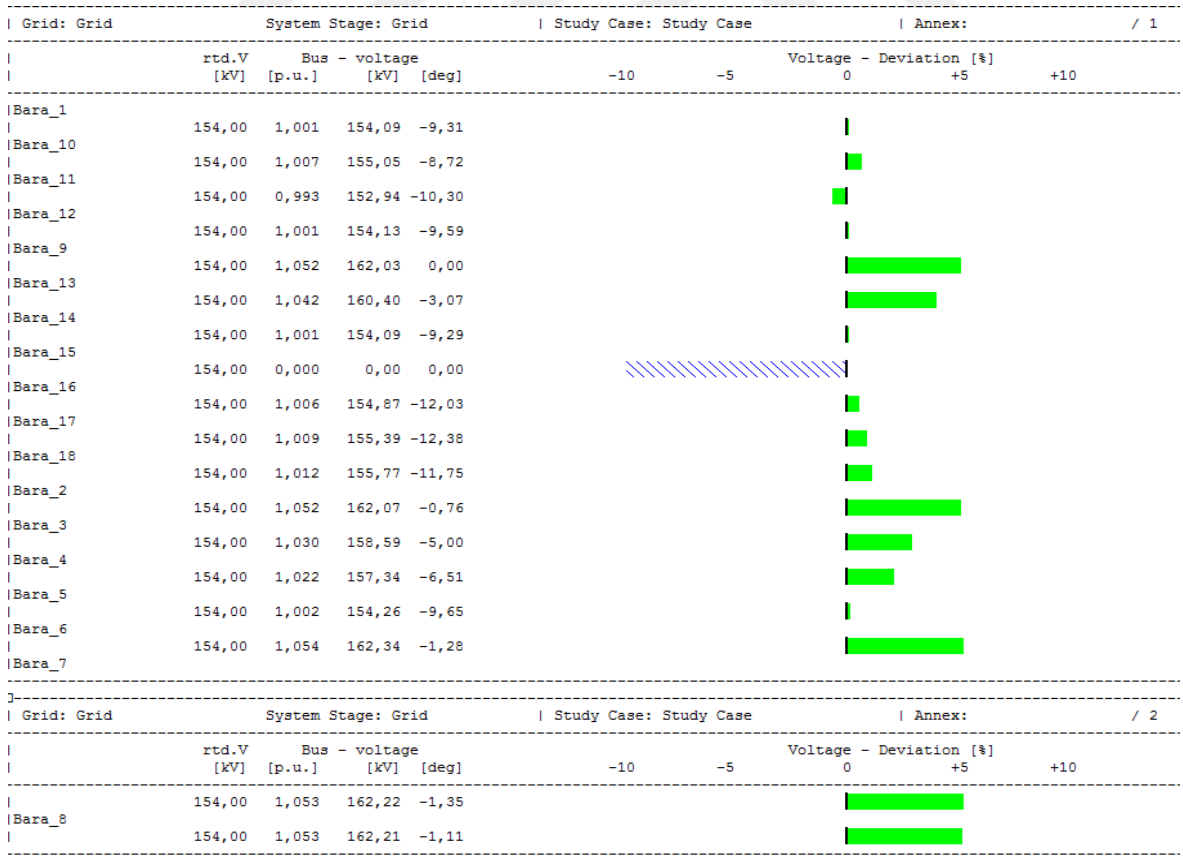


Şekil 5.14. Durum 2 analiz sonucu

Durum 2'nin gerilim tablosu ve sonuç raporu Şekil 5.15 ile 5.16'da görülmektedir.

Name	Grid	Nom.L-L Volt. kV	Ul, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.	U, Angle deg
Bara_1	Grid	154,	154,0871	1,00056	-9,31261
Bara_10	Grid	154,	155,0538	1,00684	-8,72082
Bara_11	Grid	154,	152,9405	0,99311	-10,2979
Bara_12	Grid	154,	154,1317	1,00085	-9,58719
Bara_13	Grid	154,	160,3981	1,04154	-3,06674
Bara_14	Grid	154,	154,0898	1,00058	-9,29241
Bara_15	Grid	154,	0,	0,	0,
Bara_16	Grid	154,	154,8739	1,00567	-12,02713
Bara_17	Grid	154,	155,3908	1,00903	-12,37628
Bara_18	Grid	154,	155,7741	1,01152	-11,7494
Bara_2	Grid	154,	162,0665	1,05238	-0,76014
Bara_3	Grid	154,	158,5856	1,02977	-4,99607
Bara_4	Grid	154,	157,3439	1,02171	-6,51116
Bara_5	Grid	154,	154,2555	1,00165	-9,64645
Bara_6	Grid	154,	162,3388	1,05414	-1,27843
Bara_7	Grid	154,	162,2209	1,05338	-1,34584
Bara_8	Grid	154,	162,2069	1,05329	-1,10594
Bara_9	Grid	154,	162,0312	1,05215	0,

Şekil 5.15. Bara gerilimleri tablosu-Durum 2



Grid: Grid	System Stage: Grid	Study Case: Study Case	Annex: / 1

	rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.]	[kV]	[deg]	Voltage - Deviation [%] −10 −5 0 +5 +10
Bara_1	154,00	1,001	154,09	-9,31	
Bara_10	154,00	1,007	155,05	-8,72	
Bara_11	154,00	0,993	152,94	-10,30	
Bara_12	154,00	1,001	154,13	-9,59	
Bara_9	154,00	1,052	162,03	0,00	
Bara_13	154,00	1,042	160,40	-3,07	
Bara_14	154,00	1,001	154,09	-9,29	
Bara_15	154,00	0,000	0,00	0,00	
Bara_16	154,00	1,006	154,87	-12,03	
Bara_17	154,00	1,009	155,39	-12,38	
Bara_18	154,00	1,012	155,77	-11,75	
Bara_2	154,00	1,052	162,07	-0,76	
Bara_3	154,00	1,030	158,59	-5,00	
Bara_4	154,00	1,022	157,34	-6,51	
Bara_5	154,00	1,002	154,26	-9,65	
Bara_6	154,00	1,054	162,34	-1,28	
Bara_7					

Grid: Grid	System Stage: Grid	Study Case: Study Case	Annex: / 2

	rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.]	[kV]	[deg]	Voltage - Deviation [%] −10 −5 0 +5 +10
Bara_8	154,00	1,053	162,22	-1,35	
	154,00	1,053	162,21	-1,11	

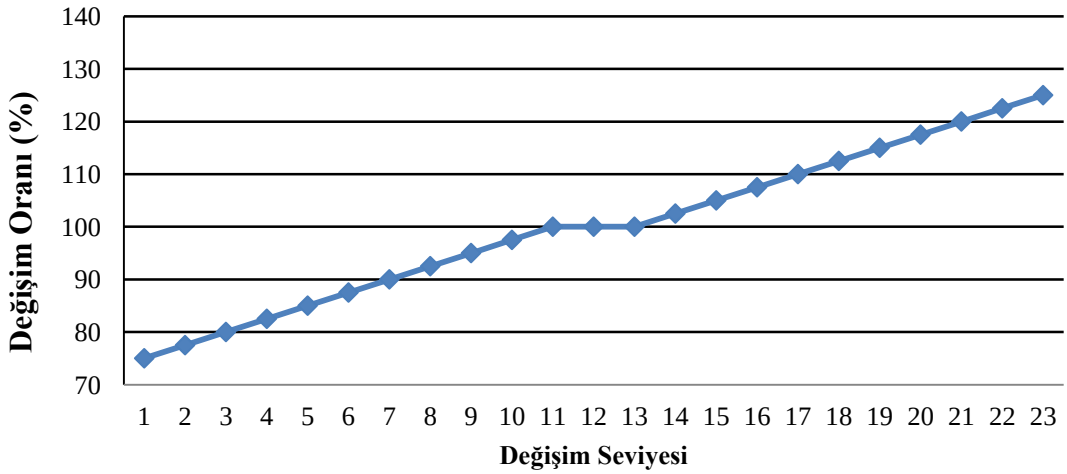
Şekil 5.16. Bara gerilimleri raporu-Durum 2

5.3. Güç Sistemlerinde Kritik Noktalarda Gerilim Kararlılık Analizi Uygulaması

Bu bölümde Bölüm 5.2'de yapılan güç akış analizleri sonuçlarında belirlenen baralar için P -V gerilim eğrileri oluşturulacaktır. P-V eğrileri hakkında Bölüm 3'te detaylı anlatımlar yapılmıştır. Durum 1 ve Durum 2 için yapılan güç akış analizlerinde baraların gerilim seviyesi ve şebekenin genel gerilim profili elde edilmiştir. Özellikle Durum 1'de bazı baralarda gerilimin şebeke alt limitinin altında olduğu görülmüştür. Belirlenen bu baralarda gerilim kararlılık sınırlarının belirlenmesi için P-V eğrisi yöntemi kullanılacaktır.

Bilindiği üzere P-V eğrisi yönteminde, şebeke üzerinde belirlenen noktalarda adım adım aktif güç artırılmasıyla gerilimin nasıl değişeceği izlenmektedir. Bu çalışmada da benzer şekilde bir uygulama yapılmaktadır. Dinamik güç akış uygulamasıyla şebekenin genel gerilim profili ve baralardaki gerilim seviyeleri elde edilmektedir. Elde edilen bu sonuçlara göre şebekedeki her hangi bir baradaki yük değerinin artırılıp azaltılmasıyla gerilim durumu incelenebilir. Bunun için öncelikle yük değişimini sağlayacak bir uygulama yapılması gerekmektedir.

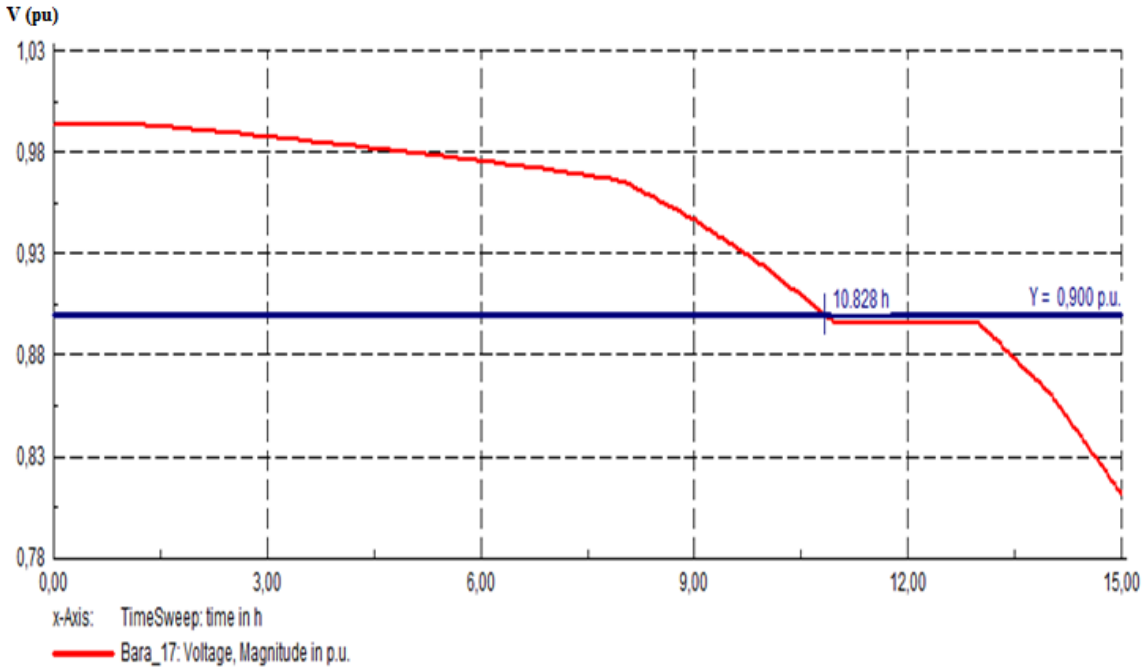
Bu çalışmada yük değişimini gösterebilmek için kullanılan program üzerinde, her yük içeriğine yük değişim karakteristiği eklenmiştir. Kullanılan analiz programında istenilen herhangi bir elemana değişik formlarda karakteristik eklemek mümkündür. Bu belirlenen karakteristiğe göre program üzerinde var olan kodun çalıştırılmasıyla analizler yapılabilir.
Modellenen şebeke üzerinde her yük için Şekil 5.17'de gösterilen değişim karakteristiği belirlenmiştir. Karakteristiğin %100 olduğu durum gerçek durumdaki değerinin ifade etmektedir. Yükün ± %2,5 değişimiyle toplamda ± % 25'lik bir değişim etkisinin izlenmesi hedeflenmiştir. Bu eğriye göre yük alma-atma uygulaması için istenilen değer belirlenebilir.



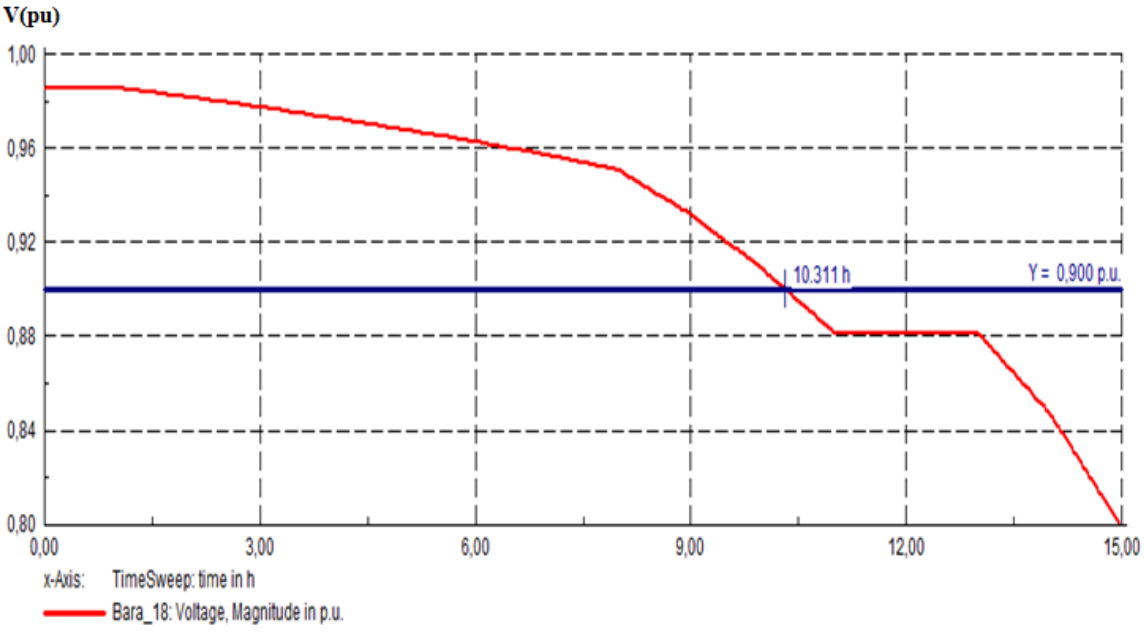
Şekil 5.17. Yük değişim karakteristiği

Belirlenen yük değişim karakteristiği modellenen şebekedeki tüm yüklere tanımlanmıştır. Böylelikle dinamik güç akışı sonrasında baralarda meydana gelecek kritik durumlarda, program içeriğindeki zaman eksenli değişime göre sürekli güç akışının yapıldığı uygulama kodu (time sweeping script) ile sıralı güç akış analizi yapılabilmektedir. Program üzerinde zamana bağlı olarak değişken durum analizleri yapılabilir. İstenilen birim zaman türünü tanımlamak ya da var olan seçenekler kullanılabilir. Bu tez çalışmasında gerçek zamana bağlı bir değişim eğrisi olmadığı için programın varolan bu özelliğini kullanabilmek için 24 seviyeli bir değişim aralığı belirlenmiştir. Bu belirlenen seviyelere göre yükün değişim yüzdesi tanımlamıştır. Örnek olarak; 100 MW'lık bi yükün %100 olduğu 11-13 seviyelerinde yük değeri değişmemektedir. Ancak 0-10 seviyelerinde yüzde oranı azaldığı için yük değeri azalmaktadır; 0-1 seviyesinde %75'i yani 75 MW olacaktır. Aksi durumda 23. seviyesinde bu değer %125'i yani 125 MW olacaktır. Kısaca yükün sahip olduğu değer değişim eğrisine göre azaltılıp, artırılmaktadır. Sonraki aşamada ise, bu değişim eğrisinin her seviyesindeki aktif gücün değerine göre güç akış analizi otomatik olarak tekrar yapılacak ve P-V eğrileri elde edilecektir.

Durum 1'de 17 ve 18 baralarının gerilimleri şebeke sınırının altında kalmıştı. Buna göre bu baralar için yük değişim eğrisine göre P-V eğrileri oluşturulmuştur. Şekil 5.18'de Bara 17 ve 18 için yapılan time sweeping analizi sonucunda oluşan gerilim eğrisi görülmektedir. Oluşturulan eğriler incelendiğinde gerilimin belirli süre sonra şebeke limitinin altına düştüğü görülmektedir. Grafik üzerinden şebeke altı sınırı olan 0,9 pu değerine sabit eksen ayarlandığında hangi zaman diliminde gerilimin düşmeye başladığı anlaşılabilmektedir.



a)

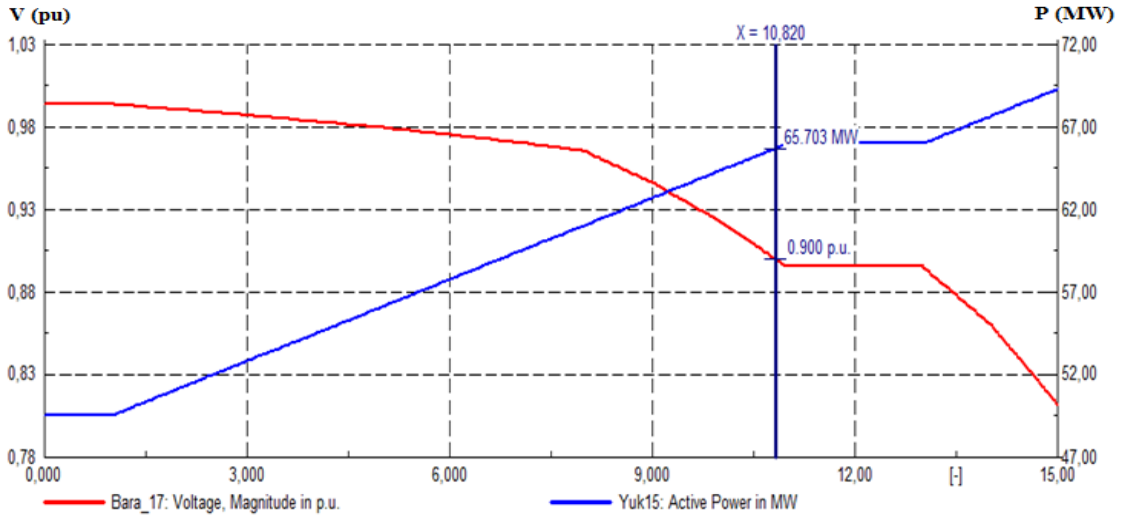


b)

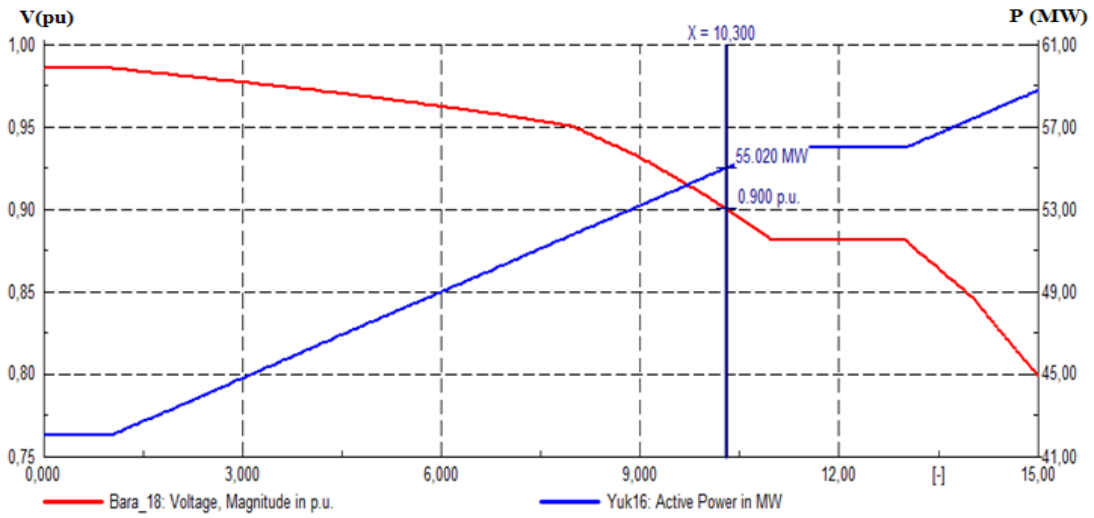
Şekil 5.18. Bara 17 ve Bara 18 gerilim eğrisi a) Bara 17, b) Bara 18

Şekil 5.19 ise yük değişim ve gerilim eğrileri beraber gösterilmiştir. Artan yüke göre gerilimin değişimi anlaşılabilmesi için iki y_eksenli bir grafik oluşturulmuştur. Böylece belirlenen yük değişim karakteristiğine göre gerilim ile yükün değişimi aynı grafik ortamında el alınabilmektedir. Ayrıca gerilimin şebekenin alt limitine düştüğü ana göre

sabit eksenin oluşturulmasıyla gerilim ve yük değeri elde edilmektedir. Elde edilen P-V eğrileri incelediğinde, iki barada da yükte %5'in üzerinde bir artış olduğunda (15.adım) sistemde güç akışı yapılamadığı görülmüştür. Yükün mevcut durumundan %5'lik bir azaltılma yapıldığında ise gerilim seviyesi normal sınırlara gelebilmektedir. Örneğin Bara 18'de yükün %5 oranında azaltılmasıyla gerilim normal işletme seviyesine dönecektir.



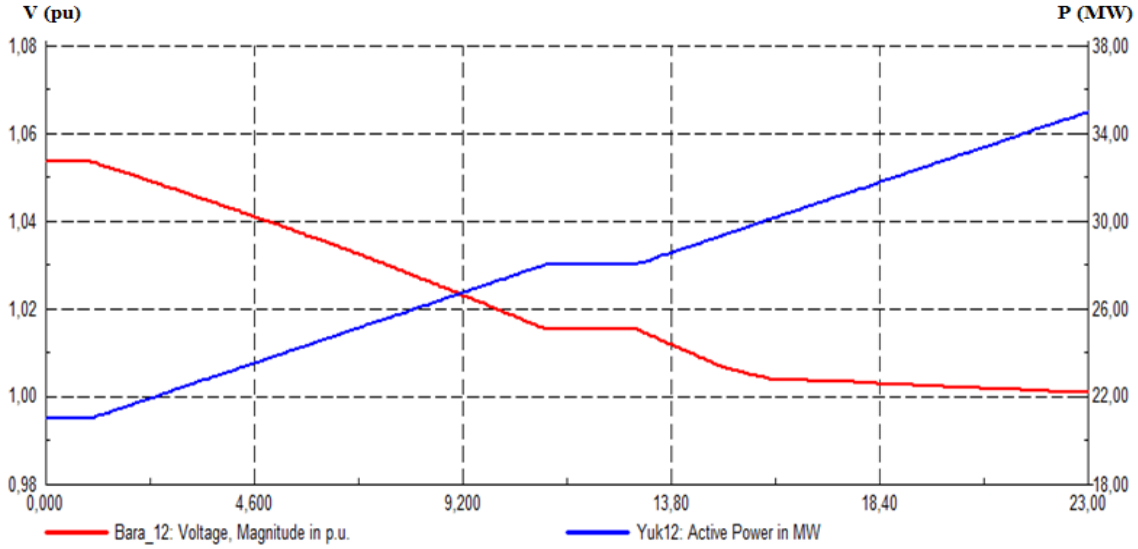
a)



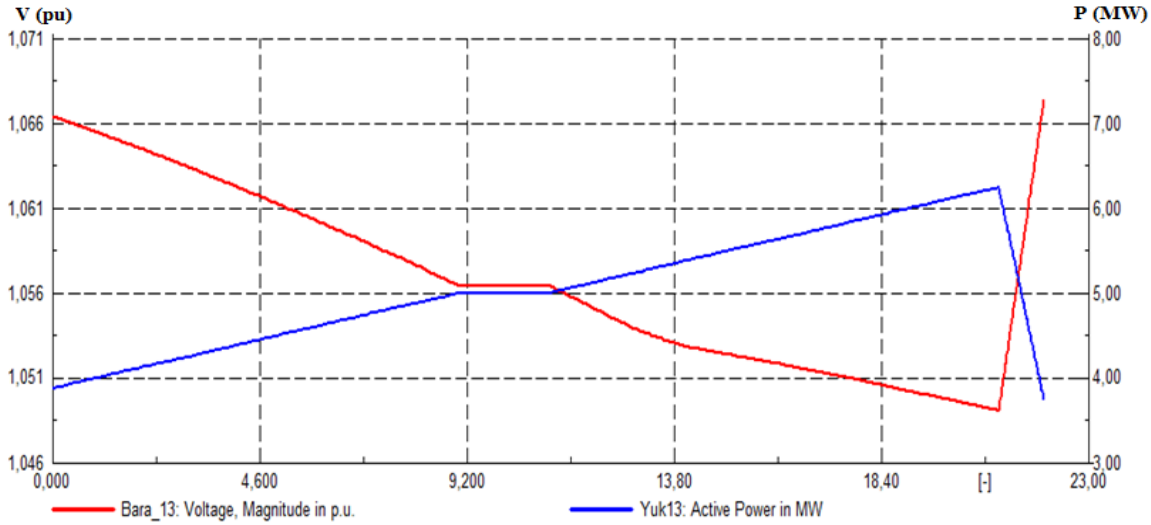
b)

Şekil 5.19. Durum 1 için P-V eğrileri a) Bara 17, b) Bara 18

Ayrıca Durum 2 için Bara 12 ve 13 için P-V eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan P-V eğrileri Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Şekil incelediğinde bara gerilimlerinin işletme sınırlarında kaldığı görülebilmektedir.



a)



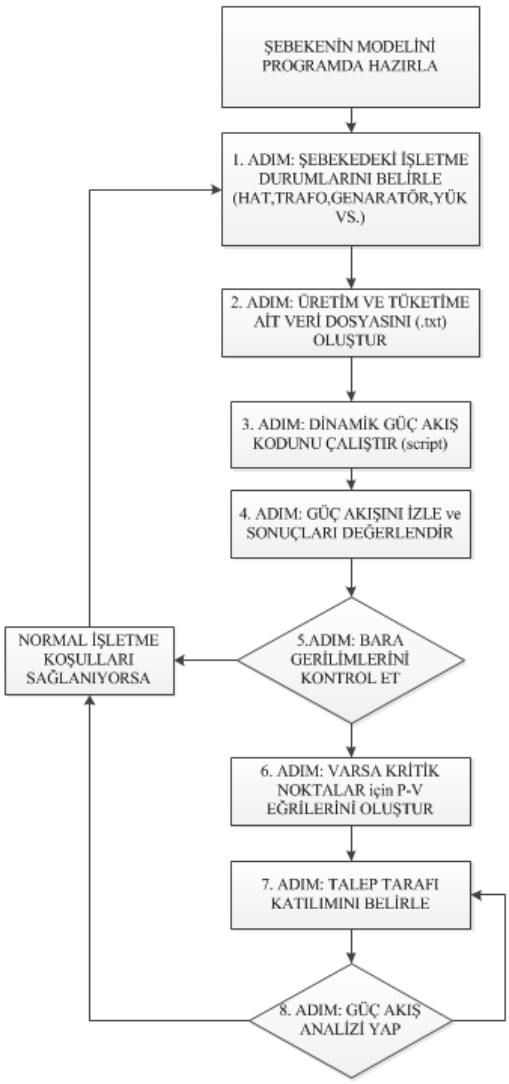
b)

Şekil 5.20. Durum 2 için P-V eğrileri a) Bara12, b) Bara 13

Yapılan time sweeping analiziyle birlikte elde edilen P-V eğrileri sayesinde şebekede noktasal gerilim kararlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Özellikle meydana gelen kritik durumlarda yük değişim karakteristiği ile aktif güç artışının gerilimi nasıl etkilediği ve aşırı güç miktarının ne kadar olduğu da anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda öngörülen yük atma faaliyetinin talep tarafı ile yapılarak, gerilimin normal sınırlara gelebileceği Bölüm 5.4'de uygulanacaktır.

5.4. Talep Tarafı Katılımıyla Gerilim Seviyesi Kontrolü

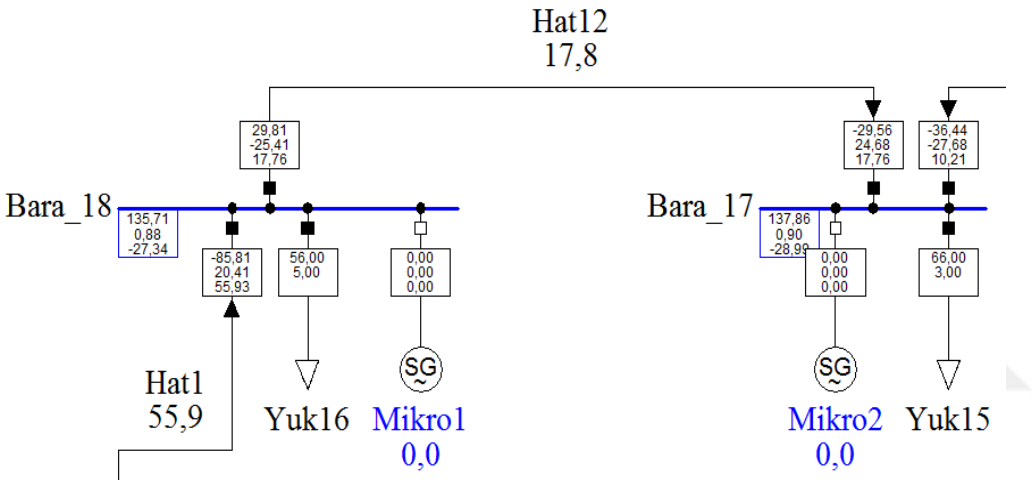
Bu bölümde yapılan tüm sürecin akış diyagramı ve talep tarafı katılımıyla gerilim kontrolü uygulaması gösterilecektir. Bölüm 5.2 ile 5.3'te yapılan dinamik güç akış uygulaması ile P-V eğrilerini kullanarak talep tarafında yük atma ya da üretim katkısının etkisinin örneklemeleri yapılacaktır. Bunun için ilk olarak program akış diyagramı genişletilmiştir. Genişletilmiş program akış diyagramı Şekil 5.21'de gösterilmiştir.



Şekil 5.21.Genişletilmiş akış diyagramı

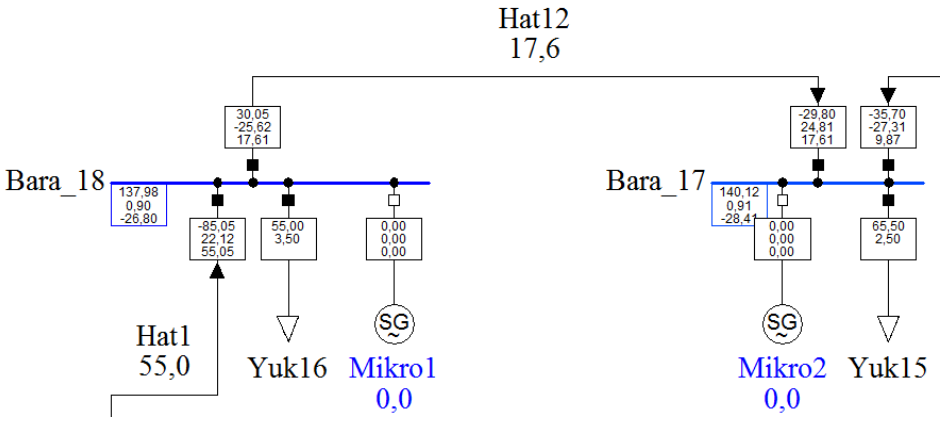
Belirlenen akış diyagramına göre Durum 1 için talep tarafı katılımı uygulaması yapılmıştır. Bara 17 ile 18 için belirlenen P-V eğrilerine göre talep tarafı katılımı miktarı belirlenmiştir.

Bara 17 ve 18 için yapılan P-V eğrisi Şekil 5.19'da verilmişti. Bu eğriye göre her iki barada mevcut yükün yaklaşık %5'i kadar yük fazlalığı görülmektedir. Buna program akışına yedinci adımdan itibaren devam edilirse, üç farklı şekilde talep tarafı katılımı etkisi uygulanacaktır. Birinci yöntem tamamen fazla yükün tamamının talep tarafında atılması, ikinci yöntem fazla yükün talep tarafından karşılanması ve üçüncü yöntem ise yük atma ile üretimin beraber dâhil edilmesi olarak belirlenmiştir. Bu üç yöntemi uygulayabilmek için ilgili baralara yerel küçük ölçekli mikro üretimlerin olduğu varsayılmıştır. Ayrıca yük atma faaliyetleri için de talep katılımının olduğu kabul edilmiştir. Şekil 5.22 talep tarafı katılımı uygulaması öncesindeki baraların mevcut durumlarını göstermektedir.



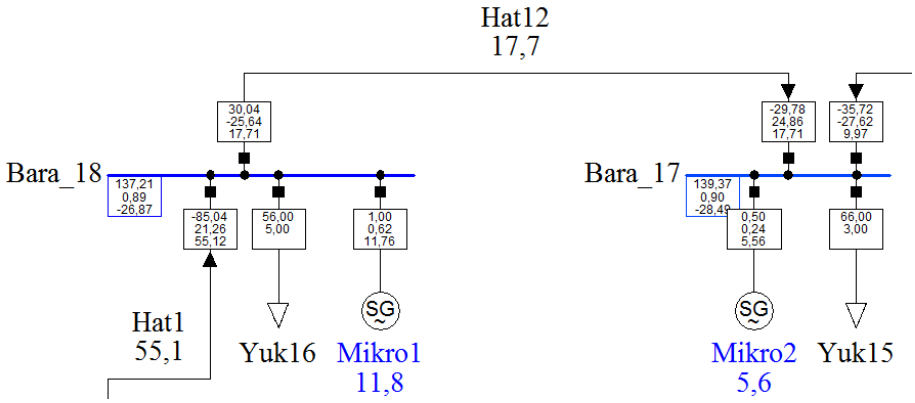
Şekil 5.22. Talep tarafı katılımı uygulaması öncesindeki baraların mevcut durumları

Birinci Yöntem: Bu yöntemde fazla olan yük miktarının tamamen talep tarafından atıldığı kabul edilmiştir. Şekil 5.23'de yük atılması sonrasında Bara 17 ile 18'in değerleri görülmektedir. P-V eğrileri dikkate alınarak talep katılımıyla Yük 15'ten 0,5 MW, Yük 16'tan 1 MW olmak üzere toplamda 1,5 MW yük atılmıştır. Talep tarafından yük miktarının atılmasıyla bara gerilimleri normal şebeke sınırları içerisinde kaldığı görülmektedir. Diğer taraftan talebin azalmasıyla hatlardaki yüklenme oranları değişmiştir. Talep tarafında yük atma işlemi öncesinde Hat 12'nin yüklenmesi %17,8 iken yük atılmasıyla %17,6' ya düşmüştür. Hat 1'in yüklenmesi benzer şekilde % 55 inmiştir.



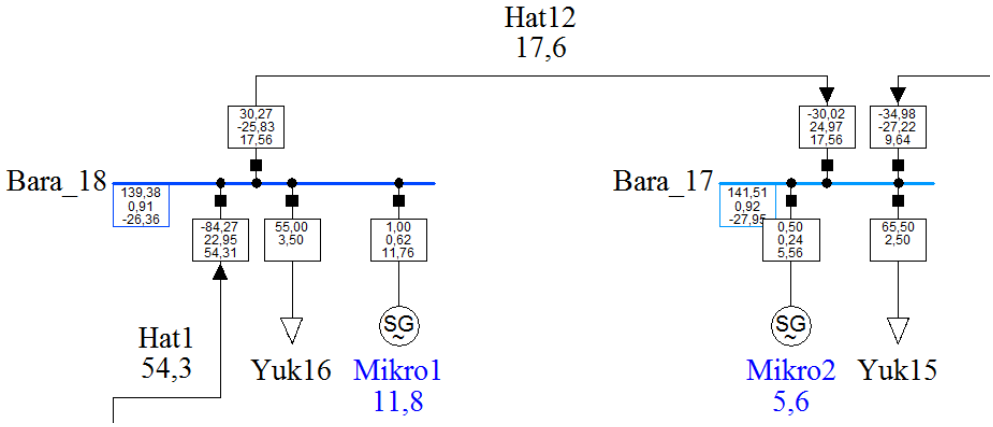
Şekil 5.23. Birinci yöntem sonucu

İkinci Yöntem: Bu yöntemde fazla olan yük miktarı tamamen talep tarafında oluşturulan mikro şebekelerden karşılanmaktadır. Şekil 5.24'de talep tarafı üretim katkısıyla Bara 17 ile 18'in değerlerinin değişimi görülmektedir. Belirlenen yük fazlalığı kadar mikro şebekelerden üretim katkısı olduğu kabul edilmiştir. Bara 17 gerilim normal şebeke koşullarını sağlamış olup, Bara 18 alt limite biraz daha yaklaşmıştır.



Şekil 5.24. İkinci yöntem sonucu

Üçüncü Yöntem: Bu yöntemde birinci ve ikinci yöntemde yapılan uygulamanın beraber şekilde uygulaması yapılmıştır. Yapılan uygulama sonucu Şekil 5.25'de görülmektedir. Talep tarafı katılımının iki şekilde katılmasıyla her iki baranın da gerilimi normal sınırlara dönmüştür.



Şekil 5.25. Üçüncü yöntem sonucu

Talep tarafı katılımı için yapılan üç yöntemin sonuçları Çizelge 5.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.10. Uygulanan yöntemlerin sonuçları

	Mevcut Durum	*1.Yöntem*	*2.Yöntem*	*3.Yöntem*
Gerilim	V(pu)	V(pu)	V(pu)	V(pu)
Bara_17	0,89	0,91	0,90	0,92
Bara_18	0,88	0,90	0,89	0,91

Mevcut duruma göre karşılaştırma yapıldığında uygulanan yöntemlerde olumlu sonuçlar alınmıştır. Ancak yalnızca yük atma işleminin yapıldığı birinci yöntem ile ve yük atma ve üretim katkısının olduğu üçüncü yöntemin uygulaması sonucunda baraların gerilimleri istenilen gerilim seviyesine ulaşmıştır. İkinci yöntemde ise Bara_18'in gerilimi artmıştır ancak istenilen seviyeye ulaşmadığı görülmüştür. Sonuç olarak yapılan bu uygulamalarla talep tarafının şebeke faaliyetlerinde etkin olabileceği ve olumlu sonuçlar elde edileceği anlaşılmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda elektrik enerjisine olan talep her geçen gün artmaktadır. Gelişen teknoloji ve artan nüfusla birlikte genişleyen yaşam alanları enerji kullanımının artışının en önemli etkenlerindendir. Bu nedenle elektrik sistemlerinin sürekli olarak genişletilmesi ve doğru şekilde işletilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda gelişen teknolojilerin faaliyetlerinin elektrik sistemlerinde etkili olması ve yeni nesil uygulama çözümlerinin kullanılması beklenmektedir.

Bu tez çalışmasında öncelikle elektrik sistemlerinin önemi ve günümüzdeki durumu Giriş ve Bölüm 2'de detaylı olarak anlatılmıştır. Elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin temel yapısı anlatılmış ve özellikle Türkiye'deki üretim, iletim, dağıtım şebekeleri hakkında güncel bilgilere yer verilmiştir. Türkiye'deki yapılan çalışmalar incelendiğinde elektrik üretiminde ve tüketiminde son yıllarda büyük artışlar olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte artan üretim ve tüketimin yeterli ve güçlü şebekeler üzerinden işletilebilmesi için yapılan planlama ve işletme çalışmaları incelenmiştir.

Bölüm 3'te güç sistem analizleri ve gerilim kararlılığı anlatılmıştır. Geçmişten günümüze sürekli gelişen güç sistemlerinin doğru şekilde işletilebilmesi ve planlaması için sistem analizlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Şebeke güvenliğinin normal koşullar altında kararlı şekilde işletilmesi şebeke işletmecilerinin en önemli görevidir. Bu nedenle sürekli olarak sistem analizleri yapılması gerekmektedir.

Güç sistem analizlerinden güç akış analizi en yaygın olarak kullanılan analiz yöntemidir. Şebeke hesaplamalarının en temeli olarak kabul edilmektedir. Güç akış analizlerinin sonucunda şebekenin güç akış yönleri, iletim kayıpları ve hat-trafo yüklenme sonuçları elde edilebilmektedir. Güç akış analizinde çeşitli hesaplama metotları kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin detaylı olarak açıklamaları yapılmıştır. Bu yöntemler üzerinde yapılan çalışmalar incelediğinde iterasyonlu ve yakınsamalı çözüm sağladığı için Newton – Raphson analiz yöntemi tez çalışmasında kullanılmıştır. Bu doğrultuda güç akış analizi gereken bara admitans matrisinin oluşturulması, per unit sistem, bara tipleri ve Newton-Raphson analiz yöntemi detaylı olarak anlatılmıştır.

Gerilim kararlılığı; güç sisteminin normal koşullar altında şebeke geriliminin tüm baralarda belirlenen sınırlar içerisinde kalma yeteneği şeklinde tanımlanmaktadır. Sistemde meydana gelecek olası arıza, dengesizlik vs. durumlarında bu işletme sınırlarının korunması ve kesinti oluşması önlenmelidir. Bu kararlılığın sağlanması ve sürekli olması sistem işletmecilerinin en önemli ve büyük sorunlarından birisidir. Bu nedenle şebekenin gerilim kararlılık analizlerinin sürekli ve geçici durumlar için yapılması gerekmektedir. Gerilim kararlılık analizleri yöntemlerinden sürekli hal durumlarının belirlenmesi için yaygın olarak P-V ve Q-V eğrisi yöntemleri kullanılmaktadır. Yapılan kararlılık analizlerine göre gerilim kontrol yöntemleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada özellikle P-V eğrisi yöntemi üzerinde durulmuştur. Çünkü yapılan şebeke analizi sonrasında kararlık durumunun belirlenmesi için gerekli sonuçlar bu yöntemle elde edilebilmektedir.

Bölüm 4'te ise son yıllarda elektrik sistemlerinin en önemli konularından biri olan talep tarafı katılımı ve yönetimi hakkında tanımlamalar yapılmıştır. Akıllı şebeke uygulamalarının en büyük hedeflerinden biri tüketicinin enerji piyasasında daha aktif olmasını sağlamaktır. Yeni nesil elektrik şebekeleriyle tüketiciler enerji verimliliği uygulamalarının yanında, piyasada gerek tüketim kontrolü gerekse üretim katkısı yapabilme imkânlarına sahip olabilmektedir. Ancak şebeke üzerindeki aktif kullanıcıların artması işletme koşullarının yönetilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle güç sistemlerinin şebeke durumlarının analizlerinin daha dinamik bir yapıda olması günümüzün ihtiyaçlarındandır. Diğer taraftan mevcut şebeke alt yapısına olan etkilerinin de önceden analiz edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın asıl amaçlarından birisi de talep tarafı katılımını şebeke kararlılığına olan etkilerini göstermektir.

Bölüm 5'te çalışmanın temelini oluşturan dinamik güç akış analizi uygulaması ve kararlılık analizleri anlatılmıştır. İlk olarak çalışmada kullanılan program üzerinde dinamik güç akış oluşturulmuş ve anlatılmıştır. Digsilent programı üzerinde yapılan yazılım ile hazırlanan veri setleriyle otomatik olarak güç akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Uygulama öncelikle örnek dört baralı şebeke üzerinden anlatılarak, programın görsel platformunun daha rahat anlaşılması hedeflenmiştir. Farklı senaryolara göre örnek şebeke üzerinde yapılan dinamik güç akış analizi uygulaması başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır. Daha sonra bu uygulama gerçek şebeke örneği üzerinde yapılmıştır. Bu amaçla Türkiye elektrik sisteminin bir bölümü örnek alınarak kullanılan program üzerinde modellenmiştir. Ardından modellenen şebeke üzerinde farklı üretim ve tüketim dönemlerine ait veriler baz alınarak dinamik güç

akış analizi uygulaması yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda şebeke üzerindeki baraların gerilim seviyeleri, güç akış yönleri ve hat yüklenmeleri elde edilmiştir. Özellikle daha sonra kararlılık analizlerinin uygulanması için kritik gerilim noktaları (düşük gerilim) belirlenmiştir. Belirlenen kritik noktalarda gerilim kararlılık sınırlarının belirlenmesi için P-V eğrisi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasıyla, gerilim seviyesinin normal koşulları sağlayabilmesi için kritik noktalardaki yük sınırları elde edilmiştir. Sonuç olarak kritik noktalar için oluşturulan P-V eğrilerine göre baralardaki yük fazlalığı belirlenmiştir. Son olarak ise gerilim düşümü görülen baralarda oluşturulan P-V eğrilerine göre optimizasyon işlemi uygulanmıştır. Yapılan optimizasyon işleminde talep tarafında yük atma ya da üretim katkısı kullanılmıştır. Böylece talep tarafının lokal olarak uygulamasıyla gerilim kontrolünde etkinliği incelenmiştir. Talep tarafı katılımında üç farklı yöntem uygulanmıştır. Birincisinde sadece yük atma, ikincisinde sadece üretim katkısı ve üçüncüsünde de her ikisi beraber uygulanmıştır. Üç farklı yöntemin uygulama sonuçlarıyla gerilim kararlılığının sağlanabildiği ayrı ayrı gösterilmiştir.

Yapılan bu çalışma ile bir güç sistemi için dinamik güç akış analizinin yapılabildiği, gerilim kararlılık sınırlarının oluşturulduğu ve talep tarafının gerilim kontrolünde etkin olabileceği gösterilmiştir. Çalışma öncesinde dinamik güç akış analizi uygulaması gerçek zamanlı olarak bir şebeke üzerinde yapılması düşünülmüştür. Ancak bunun için kurumsal olarak destek sağlanamadığı için hazırlanan veri setleri kullanılmıştır. Benzer bir çalışmanın gerçek şebeke üzerinde uygulanmasının daha faydalı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca talep tarafı katılımın merkezi bir yapıyla kontrol edilmesi düşünülebilir. Yine farklı olarak, gerilim kararlılık analizi Q-V eğrisi ya da diğer metotlarla yapılabilir. Çünkü farklı yöntemler ile gerilim kararlılık analizlerinin yapılmasıyla elektrik şebekelerinin reaktif güç gibi diğer değerlerinin durum analizleri yapılarak şebekenin kararlılık seviye daha geniş çapta incelenmiş olacaktır.

Güç sistemlerinin dinamik olarak güç akışının yapılması ve izlenmesi pek çok faydayı beraberinde getireceği düşünülmektedir. Özellikle sürekli değişen bir şebekede çok kısa zamanlar için etkin izleme ve kontrol önlemleri alınabilir. Diğer taraftan artan dağıtık üretimlerin ve gelecekteki talep tarafı uygulamalarının etkinliğinin artırılmasında dinamik güç sistem analizleri şebeke işletmecilerine faydalı olacaktır. Ancak bu dinamik analizlerin doğru şekilde değerlendirilebilmesi için merkezi kontrol ve karar destek sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Ugranlı, F. (2012). *Dağıtılmış Enerji Üretiminin Elektrik Şebekelerine Etkisi ve Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

2. Canbek, E. (2010). *Türkiye İletim Sistemi Planlama Kriterleri Dâhilinde Havza Planlamaları ve Bu Kapsamda Sason Havzası Planlaması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

3. Pamuk, N. (2009). *380 Ve 154 Kv'luk Kuzeybatı Anadolu Şebekesi Güç Akışı Benzetimleri*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

4. Çoksürer, Y. (2013). *Akıllı Şebekeler Ve Orta Gerilim Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

5. Başaran, Ü. (2004). *Türkiye'deki 380 kV'luk Enterkonnekte Güç Sisteminde Çeşitli Güç Akış ve Ekonomik Dağılım Analizleri*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

6. Efe, S. B. (2014). *Mikro Şebekelerde Güç Akış Analizi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

7. Gümüş, T. A. (2012). *KBA Şebekesinde Enerji Sistem Büyümelerinden Etkilenen Kritik Baraların Sürekli Güç Akışı Yöntemi İle Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

8. İnternet: Şanlı B. ve Alanyalı M. (2013). Türkiye Elektrik Piyasasında Talep Katılımının Tasarımı. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.barissanli.com%2Fcalismalar%2F2013%2Fbsanli-malanyali-talepyonetimi-aralik2013.pdf+&dat e= 2016-11-13, Son Erişim Tarihi: 10 Mayıs 2016.

9. Katsanevakis, M. (2011). Solar Plant Integration and Analysis of Effect in the MV Electricity Grid; *Student Report of Aalborg University.*

10. Venkatesan, N., Solanki, J. and Solanki, S.K. (2011). *Demand Response Model and its Effects on Voltage Profile of a Distribution System*. Paper Presented at the First IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego.

11. Ahn, S., Yoo, D. and Cho, J. (2014). Impact of Voltage Reduction on Voltage Stability in Emergency Conditions. *International Journal of Control and Automation*, Vol.7(4), 65-72.

12. Shobole, A. ve Karakaş, A. (Mayıs, 2014). *Real Time Balancing Of Supply And Demand in Smart Grid By Using Storage, Controllable Loads And Smart Generations.* Uluslararası Akıllı Şebekeler Kongresinde sunuldu, İstanbul.

13. Uzal, H., Zonturlu, A., Kalaycı, B., Karatepe, E., Ugranlı, F. ve Bülbül, K. (2011). *İzmir İli ve Çevresi Elektrik Şebekesinin Farklı Senaryolar Altında* İncelenmesi. II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresinde sunuldu, İzmir.

14. Pamuk, N. (2011). Sakarya ili elektrik iletim şebekesinin matlab/simulink programı kullanılarak modellenmesi ve analiz edilmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27 (1),19-39.

15. Akwukwaegbu, I. O and Gerald, O. (2013). Concepts of reactive power control and voltage stability methods in power system network. *Journal of Computer Engineering*, 11(2),15-25.

16. Bhuyan, S. and Hazarika, S. (2014). Power flow analysis on IEEE 57 bus system using Matlab. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 3(8), 1161-1171.

17. İnternet: Marzooghi H. and Doiran M. G. (2006). Aggregated Demand Response Modeling for the Performance and Stability Assessment of the Future Grid Scenario.URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fsydney.edu.au%2Fengineering%2Felectrical%2Fabout%2FUserFiles%2FFile%2FMARZOOGHI.pdf&date=2016-11-13, Son ErişimTarihi:5 Nisan 2016.

18. Keskin, M. B. (2007). *Continuation Power Flow and Voltage Stability in Power System*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

19. Mavrikas, P. and Holmgre, U. (2013). *Evaluation Of Demand Response Systems for Smart Grids: State Of The Art, Value Potential And The Hyllie Case*. Master's Thesis, Chalmers University Of Technology, Göteborg, Sweden.

20. Kaygusuz, A., Gül, O. ve Alagöz, B.B. (Aralık, 2012). Yenilenebilir dağıtık üretim koşullarının güç sistemlerinin yük akışına etkilerinin analizi. *EMO Bilimsel Dergi*, 2(4), 77-85.

21. Shen, J., Jiang, C. and Le, B. (2015). Controllable Load Management Approaches in Smart Grids. *Journal of Energies*. 8(1),11187-11202.

22. Farhoodnea, M., Zayandehroodi, H., Eslami, M., Sirjani, R., Mohammadjafari, M. and Forozi, A. (2012). Power System Voltage Stability and Control- A Review. *Research Journal Applied Sciences Engineering and Technology*. 4 (9), 1110-1116.

23. Sulaiman, M. and Nor, A.F.M. (2015). PV and QV Curves Approach for Voltage Instability Analysis on Mesh-Type Electrical Power Networks Using Digsilent; University Teknikal Malaysia Melaka. *MAGNT Research Report*, Malaysia, 36-42.

24. Petinrin, J.O. and Shaaban, M. (2013). *A Hybrid Solar PV/Wind Energy System for Voltage Regulation in a Microgrid*. Presented at First the IEEE Student Conference on Research and Development, Putrajaya, Malaysi.

25. Narimani, M. R., Joo, J.Y. and Crow, M. L. (2015). *The Effect Of Demand Response On Distribution System Operation*. Presented at First the Power and Energy Conference at Illinois, Champaign.

26. Kadurek, P., Sarab, M. M., Cobben, J. F. G. and Kling, W. L. (2012). *Assessment of Demand Response Possibilities by Means of Voltage Control with Intelligent MV/LV Distribution Substation*", Presented at First the IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego.

27. Yamaçlı, M. (2012). *Türkiye'nin Uzun Dönem Elektrik Yük Tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

28. Yavuzdemir, M. (2014). *Türkiye'nin Kısa Dönem Yıllık Brüt Elektrik Enerjisi Talep Tahmini*", Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans, Ankara.

29. Gülan, H. (2010). *Güç Sistemlerinin Planlaması İçin Enerji Talep Tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

30. Sarıtaş, A. (2013). *Akıllı Şebekeler Ve Fazör Ölçüm Birimlerinin Şebekeye Optimal Yerleşimi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

31. Gülay, Z. (2010). *Enerji İletim Sistemlerinde Kontrollü Çalışma Bölgeleri*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

32. Yavuz E. (2012). *Örnek Bir Dağıtım Sisteminde Dağıtım Gerilim Seviyelerinin Optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

33. Biggar D. R. and Hesamzadeh M. R. (2014). *The Economics of Electricity Markets*. (First Edition). New York: John Wiley & Sons.

34. Karady, G. G. and Holbert, K. E. (2005). *Electrical Energy Conversion and Transport: An Interactive Computer-Based Approach* (Second Edition). New York: John Wiley & Sons.

35. İnternet: Türkiye Elektrik İletim A.Ş Faaliyet Raporu (2014). URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.teias.gov.tr%2FFaaliyetRaporlari.aspx.+&date=2016-11-13, Son Erişim Tarihi: 5 Mayıs 2016.

36. İnternet: 2013 - 2022 Yılları Türkiye İletim Sistemi Bölgesel Talep Tahmin ve Şebeke Analiz Çalışması Raporu (2013). URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F%3A%2F%2Fwww.teias.gov.tr%2FDosyalar%2FT%25C3%25BCrkiyeB%25C3%25B6lgeselTalepTahminPlaniv3.pdf&date=2016-11-13, Son Erişim Tarihi: 5 Mayıs 2016.

37. Kaygusuz, A., Gül, O. ve Alagöz, B. B. (Aralık, 2012). Yenilenebilir dağıtık üretim koşullarının güç sistemlerinin yük akışına etkilerinin analizi. *EMO Bilimsel Dergi*, 2 (4),77-85.

38. IEEE. (1997). *Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis Standard*, IEEE Std 399-1997.

39. İnternet: Zhang, X. (2009). Electricty Power System Analysis, Operation And Control. URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.eolss.net%2Fsample-chapters%2Fc05%2Fe6-39a-06-02.pdf+&date=2016-11-13, Son Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2016.

40. İnternet: Tomsovic, K. and Venkatasubramanian, V. Power System Analysis. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fciteseerx.ist.psu.edu%2Fviewdoc%2Fdownload%3Fdoi%3D10.1.1.64.9435%26rep%3Drep1%26type%3Dpdf&date=2016-11-13, Son Erişim Tarihi: 10 Mart 2016.

41. Duncan, J., Sarma, M. S. and Overbye, T. J. (2010). *Power System Analysis And Design* (Fifth Edition). United State of America: Cengage Learning.

42. Zhang, X. (2010). *Restructured Electric Power Systems: Analysis Of Electricity Markets With Equilibrium Models*. New York: John Wiley & Sons.

43. Ağalar, Ş. (2012). *Güç Sistemleri Analizi*. Türkiye: Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2735.

44. Musti K. S. and Ramkhelawa R. B. (2012). Power System Load Flow Analysis Using Microsoft Excel. *Spreadsheets in Education (EJIE)*, 6 (1), 1-19.

45. Saadat, H. (2010). *Power System Analysis* (Third Edition), United State of America: PSA Publishing.

46. İnternet: The Thapar Institute of Engineering and Technology University. Network Admittance And Impedance Matrices. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fddenptel.thapar.edu%2Fcourses%2FWebcourse-content&date=2016-11-13, Son Erişim Tarihi: 22 Mayıs 2016.

47. Arrilaga J. and Arnold C.P. (1994). *Computer Analysis of Power System*. New York: John Wiley & Sons.

48. İnternet: National Programme on Technology Enhanced Learning, Indian Institutes of Technology (IIT) and Indian Institute of Science (IISc). URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fnptel.ac.in%2Fcourses%2F108107028%2F+&date=2016-11-13, Son Erişim Tarihi: 5 Haziran 2016.

49. Kurban, M. ve Filik, Ü. B. (2007). Türkiye'deki 22 baralı 380 kV'luk güç sisteminin iki farklı yöntem kullanarak ekonomik dağıtım analizi. *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1), 78-86.

50. Yaşar, C., Fadıl, S.,. Taş, M. A ve Yıldız, T. (Eylül, 2003). *Görsel Bir Program: Yük Akış Analizi Ve Aktif Güç Optimizasyonu*. Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresinde sunuldu.

51. Aydın, B. (2008). *Voltage Security Assesment Using P-V and Q-V Curves*. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

52. Zhang, X., Song, Y. and Irving, M. (2008). *Modern Power System Analysis* (First Edition). United State of America:Springer.

53. Abacı, K., Yalçın, M. A, Uyaroğlu, Y. (2004). *Güç Sistemlerinde Farklı Salınım Barası Seçiminin Gerilim Kararlılığı Açısında İncelenmesi*. Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumunda sunuldu, Bursa.

54. Taylor, C. W. (1994). *Power System Voltage Stability*. NewYork: McGraw-Hill.

55. Kundur, P. (1993). *Power System Stability And Control.* NewYork: McGraw-Hill.

56. Eğridereli, B. (2006). *Elektrik Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığı ve İyileştirilmesinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

57. Uslu, O. (2006). *Türkiye elektrik iletim şebekesinin Trakya bölümünün kontrollü çalışma bölgelerine ayrılmasının incelenmesi*", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

58. Parsai, N. and, Thakur A. (April, 2015). PV Curve –Approach For Voltage Stability Analysis. *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*. 4(4), 31-35.

59. Bhaladhare, S. B., Telang, A. S. and Bedekar, P. P. (2013). P-*V, Q-V Curve – A Novel Approach for Voltage Stability Analysis.* Presented at the First National Conference on Innovative Paradigms in Engineering & Technology.

60. Eremia, M. and Shahidehpour, M. (2013). *Handbook of Electrical Power System Dynamics: Modeling. Stability, and Control*. United State of America: John Wiley & Sons.

61. Althowibi, F. A. and Mustafa, M.W. (2013). Power System Voltage Stability: Indications, Allocations and Voltage Collapse Predictions. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2(7). 3138-3152.

62. İnternet: Chakrabarti, S. Notes on Power System Voltage Stability. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fhome.iitk.ac.in%2F%7Esaikatc%2FEE632_files%2FVS_SC.pdf&date=2016-11-13, Son Erişim Tarihi: 5 Mayıs 2016.

63. İnternet: Ramaswamy, R. PowerApps Voltage Stability Solution. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.powerapps.org%2FPAES_Downloads%2FMicrosoft%2520Word%252020PowerApps%2520Voltage%2520Stability%2520Solutions.pdf&date=2016-11-13, Son Erişim Tarihi: 15 Haziran 2016.

64. Erol, E., Akınç, H. E., Atasoy, T., Güreç, O., Erçin, Ö. ve Benli, O. (Mayıs,2014). *Akıllı Şebekelerde Karar Destek Sistemleri İle Talep Tarafı Katılımı*". Uluslararası Akıllı Şebekeler Kongresinde sunuldu, İstanbul.

65. Dorrody, A. (2000). *Evaluation of Conservation Voltage Reduction as A Tool for Demand Side Management*. Bachelor Degree, Science in Electrical Engineering of Tehran Azad University, Tehran.

66. İnternet: Hurley, D., Peterson, P. and Whited, M. (May, 2013). Demand Response as a Power System Resource. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.raponline.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F05%2Fsynapse-hurley-demandresponseasapowersystemresource-2013-may-31.pdf&date=2016-11-13, Son Erişim Tarihi: 10 Haziran 2016.

EKLER

EK-1. Yazılım kodu

```
int iTemp, i, yukSayisi, genSayisi;
set yuks, gens, baras, hats;
object pLDS, pGen, Fc, oBus, olines;
string mc1;
string sTemp;
double dTemp;
string umut_yuk;
string umut_gen;
 fopen('D:\tez2016\bölüm 4 simülasyon\inputlar.txt', 'r', 0);
fscanf(0, '%f\n', yukSayisi);
i = 0;
while (i<yukSayisi)
{
  umut_yuk = sprintf('Yuk%d.ElmLod', i+1);
  yuks = AllRelevant(umut_yuk);
  pLDS = yuks.First();
  fscanf(0, '%f\n', dTemp);
  pLDS:plini = dTemp;
  fscanf(0, '%f\n', dTemp);
  pLDS:qlini = dTemp;
 ! pLDS = yuks.Next();
  i = i + 1; }
fscanf(0, '%f\n', genSayisi);
i = 0;
 while (i<genSayisi)
{
```

Ek-1. (devam) Yazılım kodu

```
umut_gen = sprintf('Gen%d.ElmSym', i+1);
gens = AllRelevant(umut_gen);
pGen = gens.First();
fscanf(0, '%f\n', dTemp);
 pGen:pgini = dTemp;
fscanf(0, '%f\n', dTemp);
 pGen:qgini = dTemp;
  i = i + 1; }
fclose(0);
! load flowu calistir
Fc = GetCaseObject('ComLdf');
Fc.Execute();
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı : ÇETİNKAYA, Ümüt

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 05.09.1986, Giresun

Medeni hali : Evli

Telefon : 0 (312) 203 83 42

e-mail : u.cetinkaya28@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi	2016
Lisans	K.Maraş Sütçü İmam Üniversitesi	2008
Lise	Atatürk Anadolu Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-2009	TTAŞ	Mühendis
2009- Halen	TEİAŞ	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Çetinkaya, Ü. ve Bayındır, R. (2015). *Kamu Binaları İçin Mikro Şebeke Tasarımı ve Ekonomik Değerlendirmesi*. Uluslararası Akıllı Şebekeler Kongrasinde sunuldu, İstanbul.

2. Bayındır, R., Yeşilbudak, M. and Çetinkaya, Ü. (2015). *Load and Short-Circuit Analyses of The Electricity Transmission System for Industry Regions in Ankara*. Presented at the first International Conference on Renewable Energy Research and Applications,Palermo.

3. Bayındır, R., Yeşilbudak, M., Çetinkaya, Ü., Bülbül, H. İ. and Arslan, F. (2015). *Statistical Scenarios for Demand Forecast of a High Voltage Feeder: A Comparative Study*. Presented at the first IEEE International Conference on Machine Learning and Applications, Miami.

4. Bayındır, R., Yeşilbudak, M. and Çetinkaya, Ü. (2015). Modelling and Analysing of Electricity Transmission Infrastructure of Ankara, Turkey A Case Study on The Critical Line Scenarios. *Gazi University Journal of Science.* 28(4), 587-597.

5. Bayındır, R., Yeşilbudak, M. ve Çetinkaya, Ü. (2015). Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığını Etkileyen Faktörler. *Gazi University Journal of Science Part C.* 3(4), 513-523.



GAZİ GELECEKTİR..