

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TRAKYA BÖLGESİ YÜK AKIŞI ANALİZİNİN FARKLI
YAZILIMLARLA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

ZEKERİYA HARMAN

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**ARALIK 2010
DÜZCE**



**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ


**TRAKYA BÖLGESİ YÜK AKIŞI ANALİZİNİN FARKLI
YAZILIMLARLA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Zekeriya HARMAN

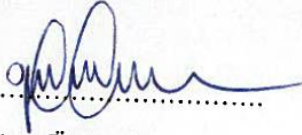
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI


**ARALIK 2010
DÜZCE**

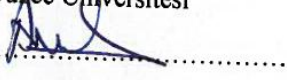
Zekeriya HARMAN tarafından hazırlanan TRAKYA BÖLGESİ YÜK AKIŞI ANALİZİNİN FARKLI YAZILIMLARLA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. Bilal SARAÇOĞLU.....
Tez Danışmanı, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Uğur GÜVENÇ.....
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Bilal SARAÇOĞLU.....
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK.....
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Tarih: .13./12./2010.

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Refik KARAGÜL.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Zekeriya HARMAN

ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanmasında başından itibaren her türlü desteğini benden esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Bilal SARAÇOĞLU'na, değerli hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Ali ÖZTÜRK'e, değerli hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Bahtiyar DURSUN'a, TEİAŞ İletim Planlama ve Koordinasyon Müdürlüğü çalışanı Sayın Mevlüt AKDENİZ'e ve yaşamım boyunca her konuda destekçim olan eşime en içten dileklerle teşekkür eder; rahmetli babacığım ve rahmetli kayınvalidemin ruhlarına atfederim.

Aralık 2010

Zekeriya HARMAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
SEMBOL LİSTESİ.....	vi
ÖZ.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. ELEKTRİK İLETİM VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDE YÜK AKIŞI.....	2
1.2. YÜK AKIŞ PROBLEMİNİN ANALİTİK TANIMI VE AMACI.....	4
1.3. YÜK AKIŞI ANALİZİ.....	6
1.4. YÜK AKIŞI ANALİZLERİNİN KULLANIM ALANLARI.....	8
1.5. BARA TİPLERİ.....	9
1.5.1. Salınım (Slack) Barası.....	9
1.5.2. Yük Barası.....	10
1.5.3. Gerilim Kontrollü Bara veya Generatör Barası.....	10
1.6. YÜK AKIŞ PROBLEMLERİ VE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR.....	11
2. GENEL KISIMLAR.....	12
2.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	12
2.2. GELENEKSEL YÜK AKIŞI MODELLERİ.....	17
2.3. YÜK AKIŞI HESAPLAMALARI.....	18
2.4. GAUSS-SEIDAL YÖNTEMİ İLE YÜK AKIŞI.....	22
2.5. NEWTON-RAPHSON YÖNTEMİ İLE YÜK AKIŞI.....	25

2.5.1. Üç Baralı Örnek Bir Sistemin Yük Akışının Direk Hesaplama Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi.....	33
2.6. FAST-DECOUPLED (HIZLI AYRIŞIK) YÖNTEMİ İLE YÜK AKIŞI.....	51
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	53
3.1. YÜK AKIŞI PROGRAM VE YAZILIMLARI.....	53
3.1.1. PSAT Programı Hakkında Bilgiler.....	56
3.1.1.1. PSAT Programındaki Veriler.....	59
3.1.2. MatPower Programı Hakkında Bilgiler.....	61
4. BULGULAR.....	63
4.1. TRAKYA BÖLGESİ VERİLERİ	63
4.2. FARKLI YAZILIMLAR İLE ÖRNEK İLETİM HATTININ YÜK AKIŞI ANALİZİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	76
4.2.1. 14 Baralı Örnek İletim Hattının Verileri.....	76
4.2.2. 14 Baralı Örnek İletim Hattının Farklı Yazılımlar İle Gerçekleştirilen Yük Akışı Analizlerinin Değerlendirilmesi.....	78
4.3. TRAKYA BÖLGESİ İÇİN FARKLI YAZILIMLAR İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN YÜK AKIŞI ANALİZİ SONUÇLARI.....	81
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	88
KAYNAKLAR.....	93
EKLER.....	97
EK-A : PSAT YAZILIMI İLE ÖRNEK SİSTEMİN YÜK AKIŞI ANALİZİ.....	97
EK-B : MATPOWER YAZILIMI İLE ÖRNEK SİSTEMİN YÜK AKIŞI ANALİZİ.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	102

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: SVC'nin hatta bağlantı şeması.....	17
Şekil 2.2	: TCSC'nin hatta bağlantı şeması.....	18
Şekil 2.3	: i. baradaki aktif güç gösterimi.....	20
Şekil 2.4	: Genel amaçlı bir bara gösterimi.....	21
Şekil 2.5	: Herhangi bir i. baranın genel amaçlı gösterimi.....	21
Şekil 2.6	: Gauss-Seidal yönteminde örnek fonksiyonun çözümü.....	25
Şekil 2.7	: İki bara arasındaki hattan akan aktif ve reaktif güçler.....	29
Şekil 2.8	: Newton-Raphson yönteminde örnek fonksiyonun çözümü.....	30
Şekil 2.9	: Newton-Raphson algoritması.....	32
Şekil 2.10	: Üç baralı örnek sistem.....	33
Şekil 3.1	: GGAD ile yerleştirilmiş IEEE 14 baralı sistemi.....	54
Şekil 3.2	: Yük akış analizi kullanıcı arayüzü.....	54
Şekil 3.3	: Yük sistem analizinde Matlab araçlarının genel biçimi.....	56
Şekil 3.4	: PSAT programının simulink kütüphanesi.....	57
Şekil 3.5	: PSAT programının ana grafik yüzü.....	58
Şekil 3.6	: PSAT programının veri formatı değiştirme ara yüzü.....	59
Şekil 4.1	: Türkiye yük tevzi merkezleri.....	64
Şekil 4.2	: Trakya bölgesi iletim haritası (2006).....	65
Şekil 4.3	: Türkiye'nin 380 kV'luk yük sistemi (2006).....	65
Şekil 4.4	: Bulgaristan enterkonneksiyonu tek hat şeması.....	66
Şekil 4.5	: Trakya 11. bölge enerji iletim hattı.....	67
Şekil 4.6	: Trakya 12. bölge enerji iletim hattı	68
Şekil 4.7	: 14 baralı örnek iletim hattı.....	76
Şekil 4.8	: Bara geriliminin kV ve p.u. cinsinden grafik gösterimi.....	80
Şekil 4.9	: Bara açısının radyan ve derece cinsinden grafik gösterimi.....	80
Şekil 4.10	: Generatör güçlerinin p.u. cinsinden grafik gösterimi.....	80

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1	: Yük akışında baraların sınıflandırılması.....	9
Çizelge 4.1	: Trakya bölgesi bara isimleri ve numaraları.....	69
Çizelge 4.2	: Trakya bölgesi enerji iletim hatları verileri.....	70
Çizelge 4.3	: Trakya bölgesi enerji iletim hatları transformatör verileri.....	72
Çizelge 4.4	: Trakya bölgesi generatör ve salınım barası verileri.....	73
Çizelge 4.5	: Trakya bölgesi yük verileri.....	74
Çizelge 4.6	: 14 baralı sistemin generatör verileri.....	77
Çizelge 4.7	: 14 baralı sistemin yük verileri.....	77
Çizelge 4.8	: 14 baralı sistemin salınım barası verileri.....	77
Çizelge 4.9	: 14 baralı sistemin hat verileri.....	78
Çizelge 4.10	: Yük akışı analizi bara değerleri.....	81
Çizelge 4.11	: Yük akışı analizi hat değerleri.....	83
Çizelge 5.1	: Farklı yazılımlarla bulunan bara sonuçlarının karşılaştırılması.....	89
Çizelge 5.2	: Farklı yazılımlarla bulunan hat sonuçlarının karşılaştırılması.....	90
Çizelge 5.3	: Kullanılan yazılımların yük akışı analizi süreleri.....	90
Çizelge 5.4	: Kullanılan yazılımların farklı ve ortak bazı özellikleri.....	91

SEMBOL LİSTESİ

V	: Gerilim
I	: Akım
P	: Aktif güç
Q	: Reaktif güç
S	: Görünür güç
R	: Direnç
X	: Reaktans
B	: Suseptans
δ	: Faz açısı [derece ve radyan]
J	: Jacobian matris
y_{bara}	: Bara admitans matrisi
z_{bara}	: Bara empedans matrisi
i_i^*	: i. bara akım fazörü eşlenik değeri
s_i	: i. baradan alternatif akım hattına verilen kompleks güç
p_i	: i. baradaki bağlı tüm hatlara verilen aktif güç değeri
q_i	: i. baradaki bağlı tüm hatlara verilen reaktif güç değeri
v_i	: i. baranın kompleks gerilim genlik değeri
v_j^*	: j. baraya ilişkin eşlenik bara gerilimi
y_{ij}^*	: [y_{bara}] admitans matrisinin eşlenik bir elemanı
δ_{ij}	: i. ve j. bara gerilim fazörlerinin arasındaki faz farkı
p_{g_i}	: i. baraya bağlı generatör aktif gücü
p_{y_i}	: i. baraya bağlı yükün aktif bileşeni
p_{g_i}	: i. baraya bağlı generatör reaktif gücü
q_{c_i}	: i. baraya bağlı kontrol edilebilen şönt reaktif üreteç gücü
q_{y_i}	: i. baraya bağlı yükün reaktif bileşeni
δ_i	: i. baranın gerilim açısı değeri
v_{g_i}	: i. baranın generatör gerilim genlik değeri
t_i	: i. baradaki transformatörlerin kademe ayar değeri
Cos δ	: Güç katsayısı
Bus	: Bara
p.u.	: per-unit (birim değer)
PSAT	: Power System Analysis Tool
EST	: Educational Simulation Tool
SPS	: Sim Power Systems
PAT	: Power Analysis Toolbox
PST	: Power System Toolbox

MATLAB	: Matrix Laboratory
UPFC	: Bütünleştirilmiş Yük Akış Denetleyicisi
GGAD	: Gelişmiş Yük Akış Denetleyicisi
FACTS	: Flexible AC Transmission Systems
SVC	: Statik VAr Kompanzatör
TCSC	: Tristör Kontrollü Seri Kapasitör
SCADA	: Supervisory Control And Data Acquisition
IEEE	: International Electrical Engineers Enstitue
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
ENTSO-E	: Avrupa Elektrik Sistemi
GYTE	: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
YTM	: Yük Tevzi Merkezi

TRAKYA BÖLGESİ YÜK AKIŞI ANALİZİNİN FARKLI YAZILIMLARLA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Zekeriya Harman

DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Aralık 2010

ÖZ

Bu tez çalışmasında, 114 baralı 154 ve 380 kV'luk gerilimlerden oluşan Trakya bölgesi enter-konnekte güç iletim sisteminin yük akışı analizi, bilgisayar ortamında farklı yazılım programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen yük akışı analizi ile, Trakya bölgesinin; enerji iletim hatlarından akan aktif ve reaktif güçler, hatlarda oluşan kayıplar, baraların gerilim ve açıları, transformatör güçleri, generatör ve yüklerin aktif ve reaktif güç değerleri incelenmiştir.

Yük akışı analizleri, Matlab programı altında çalışan MatPower 4.0b4 ve PSAT 2.1.2 yazılım programları ile gerçekleştirilmiştir. Farklı iki programla yapılan yük akışı analizi sonuçları; kolaylık, zaman, hassasiyet v.b. açılardan karşılaştırılmış ve birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları belirlenmiştir. Böylece, ileriye dönük güç iletim şebeke planlanmalarında önemli bir aşama olan mevcut şebeke yük akışı analizinde farklı yazılımların üstünlüklerinden yararlanmak mümkün olacaktır.

Çalışmada kullanılan Trakya bölgesine ait veriler, TEİAŞ İletim Planlama ve Koordinasyon Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Yük akışı analizi, Trakya bölgesi, Enerji iletim hatları
Sayfa Adedi : 114
Tez Yöneticisi : Yrd.Doç.Dr. Bilal SARAÇOĞLU

PROVIDING ANALYSIS OF POWER FLOW IN THRACE WITH USING DIFFERENT SOFTWARE

(M.Sc. Thesis)

Zekeriya Harman

DUZCE UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
December 2010

ABSTRACT

In this thesis study, the load flow analysis of the inter-connected power conduction system of the Thrace region consisting of 114 bus 154 and 380 kV voltages have been achieved in the computer environment by using different software programs. With the load flow analysis made, active and reactive powers flowing energy conduction lines, the losses occurring in the lines, the voltage and angles of buses, transformer powers, generator and active and reactive power values of the loads of the Thrace region have been examined.

The load flow analyses have been realized with MatPower 4.0b4 and PSAT 2.1.2 softwares operating under Matlab program. The results of load flow analysis implemented through two different programs have been compared in terms of facility, time, precision and etc. and their advantages and disadvantages over each other have been determined. Thus, it is going to be possible to make use of the superiorities of different softwares in existing mains load flow analysis which is an important phase in the forward looking power conduction mains plannings.

The data of Thrace region used in the study were adopted from Conduction Planning and Coordination Managery.

Key Words : Power flow analysis, Thrace region, Energy transmission lines

Page Number : 114

Adviser : Yrd.Doç.Dr. Bilal SARAÇOĞLU

1. GİRİŞ

Bu çalışmada, Trakya bölgesi enerji iletim hattına ait veriler kullanılarak, farklı yazılımlar ile yük akışı analizi gerçekleştirilecektir. Yük akışı analizi için Matlab programı altında çalışan Mat-Power yazılımının 4.0b4 versiyonu ile PSAT yazılımının 2.1.2 versiyonu kullanılmış ve Trakya bölgesinin yük akışı analizi için ilk defa kullanılan bu yazılımların sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bunun için gerekli olan veriler TEİAŞ İletim Planlama ve Koordinasyon Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Trakya bölgesi iletim ve dağıtım sistemi, Türkiye'nin Avrupa yakasını tamamıyla kapsayan bölgede bulunmaktadır. 380 kV seviyesinde yaklaşık 1200 km, 154 kV seviyesinde yaklaşık 1600 km iletim hattının bulunduğu sistemde (Uslu, 2008), 5 Ağustos 2009 tarihi itibarıyla toplam 97 adet bara mevcuttur. Baraların 81 tanesi 154 kV değerinde, 16 tanesi 380 kV değerinde olup; üretim barası 23 adet, yük barası 74 adettir. Üretim baralarından 4 tanesinde aynı zamanda yük de bulunmaktadır. İletim hatları üzerinde 21 adet transformatör bulunmaktadır.

Tez çalışması 5 bölüm ve 2 ekten oluşmaktadır: Birinci bölümde; elektrik şebeke sistemlerinde yük akışı analizinin gerekliliği ve önemi anlatılmış, yük akışı analizi hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde; yük akışı ile ilgili olarak bugüne kadar yapılmış literatür çalışmaları sunulmuş, geleneksel yük akışı modelleri tanıtılmış, Newton-Raphson modeli bir örnekle anlatılmıştır. Üçüncü bölümde; çalışmamızda kullanacağımız yük akışı analizi yazılımları (PSAT, Mat-Power) tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde, üzerinde çalışacağımız Trakya bölgesi enerji iletim hattı tanıtılmış, kullanılacak veriler belirtilmiş, örnek bir iletim hattının yük akışı analizi MatPower ve PSAT yazılımları ile gerçekleştirilerek sonuçları irdelenmiştir. Beşinci bölümde, Trakya bölgesi enerji iletim hattı için PSAT ve Mat-Power yazılımlarında yapılan yük akışı analizinin sonuçları karşılaştırılmış, yazılımların farklı ve ortak yönleri ortaya konmuş,

bu yazılımlar ile yapılabilen çalışmalar gösterilmiş ve ileride yapılabilecek başka çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

1.1. ELEKTRİK İLETİM VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDE YÜK AKIŞI

Son yıllarda elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın gün geçtikçe teknolojik gelişmelere paralel olarak artması, buna karşılık ham enerji kaynaklarının aynı oranda harekete geçirilememesi, devredeki enerji kaynaklarından en iyi şekilde faydalanmayı gerektirmiştir. Elektrik santralleriyle tüketicilerin farklı bölgelere dağılmış olmaları ve enerji sistemlerinde en uygun işletme veriminin sağlanması amacıyla, farklı güç sistemlerinin aralarında bağlanması sonucu enter-konnekte şebekeler oluşmuştur. Günümüzde bazı ülkeler arasındaki elektrik enerjisi alışverişleri, bu ülkelerin enter-konnekte şebekelerinin birbirlerine bağlanmalarına neden olmuştur. Böylece elektrik mühendislerinin karşısına nitelikleri ve boyutları giderek büyüyen şebekelerin planlanması ve işletilmesi sırasında ortaya çıkan sorunlar da zamanla daha karmaşık bir yapıya sahip olmakta ve bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu tür problemler genellikle, A büyük boyutlu bir kare matris olmak üzere,

$$[A][x]=[b]$$

şeklinde bir doğrusal olmayan denklem sisteminin çözümünü gerektirmektedir. 1929'dan sonra analiz için ilk defa analog hesap makinaları kullanılmış, 1956'dan sonra ise, bu alanda dijital bilgisayarlar kullanılmaya başlanmıştır (İnan, 2010). Dijital bilgisayarların kullanılmasıyla, daha büyük şebekeler, daha hızlı ve daha ekonomik biçimde incelenerek daha hassas sonuçlar elde edilmiştir.

Günümüzde büyük boyutlu şebekelerin bilgisayarla analizi sırasında, çok zaman gereksinimi ve çok büyük bellek ihtiyacı gibi problemler ile karşılaşmaktadır. Bu yüzden bilgisayar hesaplamalarında bazı kolaylıklar sağlamak amacıyla, şebekelerin formülasyonunda yeni yöntemler ortaya atılmakta ve bu konudaki çalışmalar yoğun bir şekilde sürmektedir.

Elektrik enerji sistemlerinin büyümesi ve karmaşık bir hal alması işletme ve planlama safhalarında ayrıntılı çalışmaların yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bir şebekenin verimsiz bir şekilde planlanması ve işletilmesi maliyet kaybına sebep olacaktır.

Modern endüstrinin gelişmesiyle beraber elektrik enerji üretimi için yeniden çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. İhtiyacı karşılayamayan bugünkü kaynakların yanında rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynakların kullanılması gündeme gelmiştir.

Elektrik endüstrisinin gelişiminin hız kazanması, matematik ve bilgisayar sektörünün gelişmesine paralel olarak artmaktadır. Karışık bir sistemde herhangi bir problemi çözenin esas yolu analog veya matematiksel modeli üzerinde çalışmaktır.

Mevcut güç sistemlerinin en iyi şekilde işletilmesi kadar, gelecekte sistemlerde meydana gelebilecek gelişmelerin planlanması yönünden de yük akışı analizi çalışmalarında elde edilen başlıca bilgiler; her baradaki gerilimin genliği, faz açısı ve her hatta akan aktif ve reaktif güçlerdir. Bunların dışında, bilgisayar çıkışlarından güç sistemi işletmeciliği ile ilgili ilave bilgiler (kısa devre analizi, kararlılık vb) de elde edilebilir.

Önceleri güç sistemi analizleri ve dolayısıyla yük akışı analizleri a.c hesap panoları ile yapılırdı. Bu işlem oldukça can sıkıcı ve zaman alıcıydı. Bilgisayarlardaki hızlı gelişmelerin sonucu olarak eskiden kullanılan analiz yöntemleri yerlerini bilgisayar analiz yöntemlerine bırakmak zorunda kalmıştır. Bilgisayarların hızı, güvenilirliği ve yüksek hassasiyeti, kısa zamanda güç sistemlerinin analizinde ve bilhassa yük akışı analizinde en sık kullanılan bir araç haline gelmelerine sebep olmuştur. Bilgisayarların, güç sistemlerinin analizinde kullanılmaya başlanması ile birlikte sayısal analiz yöntemleri de ön plana çıkmıştır.

Elektrik enerjisi üretim, iletim, dağıtım ve tüketim safhalarından geçerek kullanılmaktadır. Termik, doğalgaz, hidroelektrik, rüzgar santrallerinde üretilen elektrik enerjisi çok yüksek gerilimlerde enter-konnekte sistemimizde enerji iletim hatlarıyla

taşınır. Ardından trafo merkezlerinde alçak gerilim seviyesine düşürülerek dağıtım hatları ile tüketim noktalarına taşınarak, dağıtım trafoları ile gerilim seviyesi düşürülerek son tüketiciye ulaştırılır. Bu aşamalarda birçok makine, teçhizat, eleman kullanılmaktadır (İnan, 2010).

1.2. YÜK AKIŞI PROBLEMİNİN ANALİTİK TANIMI VE AMACI

Yük akışı bir sistemin sürekli hal koşullarını ifade eder. Standart yük akışı sonuçları bara gerilimleri ve hata akımlarıdır. Yük akışı hesaplaması güç sistemi tasarım ve analizinde temel çalışma olup güç sistem mühendisliği problemlerinden biridir. Güç sistemindeki yükler; alt istasyonlarda, büyük tüketicilerde, tüm elektrik üretici, tüketici ve dağıtıcı kurumlarında sürekli ve çok dikkatli bir şekilde takip edilmektedirler. Günlük, haftalık, mevsimlik ve yıllık yük tahminleri yapılabilmektedir. Yıllık tepe yük talebi tahmini, üretim ve planlama için yapılırken; enerji ihtiyaç tahminleri de elektrik üreticileri ve şirketleri için yapılır.

Yük akışı probleminin amacı; bara gerilimleri, hat, transformatör, kablo yük akışları, empedansları, admitansları ve yükleri hesaplayarak, üretimleri belirleyerek enerji arzını karşılamaktır. Başka bir ifadeyle yük akışı problemi çözümlenin temel amacı, verilen ağ yapısı, üretim ve tüketim değerlerini kullanarak baralar üzerindeki kompleks gerilim değerlerini ve hatlar üzerinde akan kompleks güç değerlerini bulmaktır (Esen, 2006).

Yük akışı analizi, en genel anlamı ile şebekedeki gerilimleri ve yük akışını bulmak demektir. Yük akışı problemi çözmek için bilinmesi gereken değerler, şebekenin yük tevzi merkezinden elde edilir. Şebekedeki baraların, yüklerin ve santrallerin bağlı olduğu yük ve üretim baraları olmak üzere ikiye ayrıldıkları kabul edilmiştir. Yük baralarındaki aktif ve reaktif güçler, şebekenin aktif güç ihtiyacının santral arasında nasıl dağıldığı ve santralin gerilim genlikleri yük tevzi merkezince bilinmektedir. Dolayısıyla bu değerler problemin verileri olarak kullanılır. Diğerleri ise, her baradaki karmaşık gerilim, santralin reaktif üretimleri ve çekilen gücün hatlara ne şekilde dağıtıldığıdır. Bunlar problemin bilinmeyenlerini teşkil eder.

Yük akışı analizi çalışmasında santral ve yüklerin diğer özelliklerinin bilinmesi gerekmez. Buradaki diğer özellikler baralardaki akımlar olarak gösterilir. Böylece yük akışı problemi, şebekenin hatlarından ve baralarından oluşan, bilinen ve bilinmeyen değerleri düğüm akım ve gerilimleri olan devreyi çözmeye indirgenmiş olur. Çözümün sağlanması gereken koşullar ise aktif ve reaktif güçler ve bazı baralardaki gerilim genlikleridir. Çözüme ulaşıldıktan sonra bu koşulların, yük baralarındaki gerilim, sistemin her noktasındaki gerilim seviyesi ve gerilimler arasındaki faz farklarını sağlayıp sağlamadığına bakılır. Yük akışı, sisteme sağladığı faydaların dışında, kısa devre ve kararlılık çalışmalarının da ilk adımını oluşturur.

Yük akışı probleminde her bir baradaki dört değişkeni bilmemiz gerekmektedir. Bunlar aktif güç (P), reaktif güç (Q), gerilimin genliği (V), faz açısı (δ) 'dır. Problemi çözebilmek için bunlardan ikisini bilmek yeterlidir. Yük akışı uygulaması yaparak diğer iki değişkeni bulabiliriz.

Yük akış sisteminin her düğümünde iki bilinmeyen değişken için doğrusal olmayan çevrim güç denklemlerinden üretilir. İterasyon yöntemi bu doğrusal denklemler grubuna uygulanmaktadır.

Bara güç değerleri, şebeke bağlantıları, admitans ve empedans gibi sistem verileri okunmaktadır. Temel yük akışı için tüm baralarda başlangıç gerilimleri tayin edilmektedir. P, V baraları $P+jV$ ayarlı iken; P, Q baraları $1+j0$ 'a ayarlanır. Bara gerilim ve açıları belirlenen güç ve üretimi sağladığı anda iterasyona son verilir. Bu şart, tüm baralar için güç uyumsuzluğu küçük bir tolerans değerinden, gerilim artışları da e' den daha küçük iken kabul edilmektedir. Bu sonuca erişildiğinde, tüm baralar için güç şartları hesaplanmaktadır. Daha sonra hat güç akışları, kayıpları ve sistem toplamları hesaplanmaktadır. (İnan, 2010)

1.3. YÜK AKIŞI ANALİZİ

Güç sistemlerinin tasarlanmasının temelini oluşturan yük akışı analizi, güç sistemlerinin benzetiminde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Yük akışı problemi, güç sistemlerinin bütün tüketim baralarındaki tüketimi karşılamak amacıyla üretim tesislerinde üretilen enerjinin, iletim ile dağıtım hatlarında ve transformatörlerdeki akışının analizlerle hesaplanmasıdır. Güç sistemlerinde iletim hatları ve transformatörlerin aşırı yüklenmemesi, bütün baralardaki gerilimlerin güvenli çalışma limitlerinin arasında kalması ve generatörlerin reaktif üretimlerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması gereklidir.

Güç sistemlerinin sağlıklı bir şekilde işletilebilmesi için, yeni üretim ve/veya tüketim tesislerinin sisteme ilave edilmesinin etkilerinin ya da ilave edilen iletim hattının etkilerinin, devreye girmeden evvel bilinmesi gereklidir.

Güç sistemi işletmesinde, yük analizi yapılmak suretiyle belirlenen işletme koşullarında sistemdeki aşırı yüklenmeye maruz kalan hatların ve bu hatlardaki iletim limitlerinin belirlenmesi mümkündür. Yine, yük akışı analizi yapılarak, güç faktörünün ve baralardaki gerilimlerin artırılabilmesi için kapasitörlerin sisteme konulacağı en uygun yerin ve kapasitelerinin belirlenmesi de mümkündür.

Güç sistemi planlamasında ve işletilmesinde yük akışı analizleri gereklidir. Yük akışı analizleri diğer analiz türleri için de ilk adımı oluşturur.

Yük akışı analizleri için bilinmesi gereken veriler:

- İletim hatlarının empedansları ve şarj admitansları
- Transformatör empedansları ve tap ayar değerleri
- Statik kapasitör veya reaktör gibi şönt bağlı teçhizatların admitansları
- Sistemdeki her bir baranın yük tüketimi
- Her bir generatörün üretim kapasitesi

- Generatör baralarının gerilimi ve generatörlerin reaktif üretimleri
- Generatörlerin maksimum ve minimum reaktif üretim limitleri

Bu veriler ile:

- Sistemdeki her bir baranın bilinmeyen geriliminin genliği
- Her bir baradaki faz gerilimi
- Reaktif üretimi bilinmeyen her bir generatörün reaktif üretimi
- Her bir iletim hattında ve transformatördeki aktif, reaktif yük akışı ve akımlar hesaplanabilmektedir (Kiose Chousein, 2006).

Elektrik iletim ve dağıtımında, hali hazırda kullanılmakta olan güç sistemlerinin en mükemmel şekilde işletilmesinin yanı sıra, gelecekte bu sistemlerde meydana gelmesi muhtemel gelişmelerin planlanması da çok büyük önem arz etmektedir. Bir güç sisteminin bütün baralarında gerçekleşen gerilimlerin yanı sıra iletim sistemindeki elemanların yüklenme durumları ile sistemin kayıplarının tespit edilmesi ve kısıtlılık analizinin yapılması gerekmektedir.

Kısıtlılık analizi ile sistemdeki elemanlardan birinin veya birden fazlasının devre dışı kalması halinde, sisteme olan etkisi tespit edilir. Kısıtlılık analizi yapılan bir sistemde tüm hatların devrede olduğu, yani sistemin normal işletme şartlarında olduğu kabul edilir ve sistemdeki elemanların her biri (n-1) kriterine uygun olarak tek tek devre dışı bırakılarak, bunun sisteme olan etkisi belirlenir. Sistemdeki herhangi bir elemanın devre dışı bırakılması durumunda, sistemdeki diğer iletim veya üretim hatlarının aşırı yüklenmeye maruz kalmaları mümkündür. Aşırı yüklenmeye maruz kalan bu hatlar da üzerlerindeki koruyucu elemanlar sayesinde devre dışı edilirler. Bu gibi art arda meydana gelen olaylar neticesinde sistemin bir kısmı veya büyük bir kısmı enerjisiz kalabilir. İşte böyle bir neticenin önüne geçmek adına, bir enerji iletim sistemi için kısıtlılık analizi yapılmak suretiyle gereken tedbirler alınabilir (Kiose Chousein, 2006).

Yük akışı analizinin giriş verileri; bara, iletim hatları ve transformatör bilgilerinden meydana gelmektedir. Her bir baraya ait gerilim genliği, faz açısı, net aktif güç ve reaktif güç değerleri bilinmelidir. Her baradaki bu değerlerden net aktif güç ve reaktif

güç giriş bilgisi olarak tanımlanır. Gerilim genliği ve faz açısı ise yük akışı analizinde hesaplanan bilinmeyenlerdir. Her bir bara salınım (slack), yük ve gerilim kontrollü (generatör) bara olmak üzere üç bara tipinden birine girer. Salınım barası, her sistemde sadece bir tane olur ve bu bara genelde bir nolu baradır. Sistemdeki baraların çoğu yük barasıdır. Yük barasında generatör de bulunabilir (Yaşar ve diğ, 2003).

1.4. YÜK AKIŞI ANALİZLERİNİN KULLANIM ALANLARI

Yük akışı analizleri, güç sistemlerinin planlanmasında ve işletilmesinde kullanılmaktadır. Güç sisteminin planlanmasından amaç, bütün tüketim tesislerine yeterli miktarda, güvenilir, kaliteli, ekonomik ve kesintisiz enerji sağlamaktır. Güç sisteminin planlamasında; iletim tesislerinin tasarımı, iletim sisteminin analizi ve gelişimi, güç sistemleri arasında enerji alış-verişi, üretim yeterlilik çalışması ve sisteme yeni ilavelerin fayda-maliyet analizleri gibi işlemler bulunmaktadır. Üretim planlamasını da güç sistemi planlamasının içine katabiliriz.

İletim sisteminin gelecekte alacağı modeller hazırlanarak (örneğin puvant yük koşullarında oluşturulan modeller ile) yük analizleri yapılabilir. Bu analizler sayesinde, sistemde kullanılacak elemanların (iletkenlerin tipi ve kesiti, transformatörler, kapasitörler vb) karakteristik özellikleri belirlenebilir.

Yük akışı analizleri ile iletim hatlarının yüklenme durumları, baralarda limitler dışında kalan gerilimler, üretim tesislerinde üretilen reaktif üretimler ve işletmede oluşabilecek diğer parametreler belirlenir. Puvant yük koşullarının yaygın olarak kullanılmasına rağmen, bazen minimum yük koşullarında da yük akışı analizlerinin yapılması gerekmektedir. Puvant yük koşullarında belirlenemeyen gerilim yükselmeleri minimum yük koşullarında belirlenebilmektedir. (Kiose Chousein, 2006)

Sürekli durum gerilim kararlılık analizi için geliştirilen sürekli yük akışı yöntemi de örnek teşkil edebilecek kullanım alanlarından sadece biridir (Ajjarapu ve Christy, 1992).

Çizelge 1.1: Yük akışında baraların sınıflandırılması

Bara Tipi	Bilinen Büyüklükler	Bilinmeyen Büyüklükler
Salınım Barası	V ve δ	P ve Q
Generatör Barası	P ve V	Q ve δ
Yük Barası	P ve Q	V ve δ

Özelliklerini anlatacağımız bara tiplerini Çizelge 1.1’de görüldüğü gibi sınıflandırabiliriz (Başaran, 2004).

1.5. BARA TIPLERİ

Enerji iletim sistemlerinde her bir baranın özellikleri, dört değişken ile tanımlanmaktadır. Bu değişkenler; aktif güç (P), reaktif güç (Q), gerilim açısı (faz açısı) değeri (δ), gerilim büyüklüğü (genlik) (V) ‘dür. Sistemin frekansı sabit ve gerilimi kararlı durum kabullerine göre baraları üç tip olarak tanımlarız (Çakır, 1986).

1.5.1. Salınım (Slack) Barası:

Şebekedeki tüm santrallerin aktif üretimlerini tamamen bilmek mümkün değildir. Çünkü hat kayıpları bilinmemektedir. Bu nedenle aktif bara güçlerinden birini bilinmeyen yaparak, bunu çözümün sonunda elde etmek gerekmektedir.

Diğer bir ifadeyle, iletim hatlarındaki kayıp güçler nedeniyle, şebekedeki bütün santrallerin aktif güç üretim miktarları, sistemdeki baralardan birinde aktif güç bilinmeyen seçilerek, çözümün sonunda elde edilebilmektedir. Bu nedenle generatör baralarından birinde aktif güç bilinmeyen seçilir ki, bu baraya “salınım barası”, diğer bir deyişle “referans bara” denilir. Yük akışı analizlerinde salınım barası geriliminin genliği ve faz açısı değerleri girilir. Yani bu barada, V ve δ bilinen değerlerdir. Salınım barasının aktif ve reaktif güçleri ise deşışkendirler ve hesaplanmaları gerekir.

Bununla birlikte, salınım barasının üretim baralarından biri olması zorunlu değildir. Salınım barasının seçimi bazen problemin çözümünde yakınsaklaşmayı etkileyebilir. Genellikle salınım barası sistemin elektriksel olarak merkezinde ya da çok sayıda hattın

bağlı olduğu baraların arasından seçilir. Tabii bu kurallar tamamen deneyseldir (İnan, 2010).

Salınım barasının aktif gücü değişkendir, bu gücün değeri de diğer santrallerin aktif üretimi ile aktif yükler ve kayıpların toplamı arasındaki fark kadardır.

Şebeke baralarına numara verilirken salınım barasına numara vermek ve bu baradaki gerilimi diğer gerilimlerin faz referansı olarak almak faydalı olacaktır.

Salınım barasının seçimi, gerilim kararlılığının analizinde önemlidir. Salınım baraları arasındaki güç farklılıklarının kritik değerlerde daha fazla bir değişime neden olduğu, eşit güçlü salınım baralarının ise kritik değerlere etkisinin daha az olduğu tespit edilmiştir. Güç farklılıkları arttıkça kritik değerlerdeki değişmelerin daha fazla olması beklenmelidir. Bu nedenle gerilim kararlılığı analizlerinde kritik noktaların tayininde, seçilecek salınım barası etkilerinin de göze alınması gerekmektedir (Abacı ve diğ, 2002).

1.5.2. Yük Barası:

Yük barası PQ barası olarak da adlandırılmakta olup, 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.

1.5.3. Gerilim Kontrollü Bara veya Generatör Barası:

Bu tip baralarda 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 kompensatörlerden reaktif güç beslemesi ile gerilimin sabit olduğu baradır.

1.6. YÜK AKIŞI PROBLEMLERİ VE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR

Yük akışı probleminin çözümü, bilgisayarda matematiksel olarak kesin bir şekilde elde edilebilir. Yük akışı analizinin çözümünde karşılaşılan zorluklar, değişik baralar için tarif edilen bilgilerin farklılığından ileri gelmektedir (Tosun, 2008).

Yük akışı problemlerinin sayısal çözümleri, bilinmeyen bara gerilimlerine tahmini değerler verip tarif edilen aktif ve reaktif güçler ve baralardaki tahmini değerlerden her bara için yeni bir gerilim değeri hesaplamak suretiyle yapılır.

Yük akışı analizlerinde Y_{bara} matrisi, kısa devre analizlerinde de en fazla Z_{bara} matrisi kullanılmaktadır. Y_{bara} matrisini elde ederken, sistemin tek hat şemasından yola çıkılır ve iletim hatlarının seri empedansları ve şönt admitansları dikkate alınır. Yük akışı analizinde bir bara hariç diğer tüm baralarda şebekeye giren aktif güç belirlenmelidir. Yükün çektiği güç sisteme giren negatif güç, diğerleri ise generatörler ve sistem üzerinden gelen pozitif ve negatif güçlerdir. Bununla birlikte baralardan sisteme giden reaktif güç ve gerilimin genliği tarif edilmelidir. Yani, her barada reaktif yük akışı veya gerilimin genliğinden hangisinin sabit tutulacağına karar verilir. Genel olarak yük akış analizlerinde generatör baralarında gerilimin genliği, yük baralarında ise aktif ve reaktif güçler tarif edilir (Eminoğlu, 2007).

Ayrıca, hat tıkanıklığı gibi durumlarda güç sistemlerinin verimli bir şekilde çalışabilmesi için aşırı yüklenmenin engellenmesi ve bu durumun iyi yönetilmesi gerekir (Güner, 2009).

Normal şartlar altında yük sistemleri sabit durumda çalışırlar. Yük akışı hesaplamaları çalışma şartlarının ve sistemin durumunun anlaşılması için gerçekleştirilir. Sistemin muhtemel uzun vadeli değişikliklere dayanıklı olup olmadığı öngörülen yük artışlarına göre yapılacak yeni yük akışı hesaplamalarıyla belirlenir ve bu sonuçlara göre geleceğe yönelik yöntemler belirlenir. Yük akışı hesaplamaları muhtemel problemler, mesela hat kaybı gibi durumlar alternatif yollar bulmakta kullanılır (Hocaoğlu, 2007).

2. GENEL KISIMLAR

2.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tinney ve Clifford (1967), önceki çalışmalara alternatif olarak daha az sayıda iterasyon (5 adet) ile sonuca yakınsayan yeni bir Newton yöntemi geliştirmişlerdir.

Mutlu ve Yalçınöz (2004), çalışmalarında, yük akışı analizi Matlab'da Gauss-Seidal, Newton-Raphson ve Fast-Decoupled yöntemleriyle çözülmüş, özellikle üniversite öğrencilerinin rahatlıkla kullanabilecekleri, yük akışı analizini kavrayabilecekleri, programcılık deneyimi kazanabilecekleri bir bilgisayar programı hazırlamışlardır.

Shirmohammadi ve diğ. (1988), çalışmalarında, çok girişli bir kompanzasyon tekniği ile Kirchoff Kanunu'nun temel formasyonu kullanılarak, zayıf ağılı iletim ve dağıtım şebekelerinin çözümü için yeni bir yük akışı yöntemi geliştirilmişlerdir.

Wang ve Alvarado (1992), çalışmalarında, giriş verilerinin belirsiz olduğu yük akışı problemlerinde bu belirsizliği çözüme katmanın yolu aranmış ve bunun için bir yöntem geliştirilmişlerdir. Bu yöntemi hali hazırda kullanılan yazılımlara uyarlamak mümkündür.

Hermann ve Tinney (1968), çalışmalarında, gradient yöntemi kullanılarak en uygun yük akışı çözümü gerçekleştirmişlerdir.

B. Stoot (1972), çalışmasında, Decoupled-Newton yük akışı analizi ile ilgili çözümler göstermiştir.

Stoot ve Olsacc (1974), çalışmalarında, son derece hızlı ve güvenilir olan Fast-Decoupled yük akışı analizi ile ilgili çözümler göstermişlerdir.

Burchett ve diğ. (1982), çalışmalarında, bir yük akışı yöntemini, en uygun dağıtım için uygulamışlardır.

Sun ve diğ. (1984), çalışmalarında, klasik en uygun yük akışı problemlerinin çözümünü, Kuhn Tucker optimallik koşullarını kullanarak geliştirilen Newton yöntemi ile gerçekleştirilmişlerdir.

Wu ve diğ. (1994), çalışmalarında, iç nokta yöntemini kullanarak en uygun yük akışı problemleri çözümlerini gerçekleştirmişlerdir.

Kurban ve Filik (2007), çalışmalarında, Türkiye'deki 22 baralı termik santrallerden müteşekkil yük sisteminin kayıplı ve kayıpsız durumlardaki ekonomik dağıtım analizini, Newton-Raphson yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

Lukman ve Blackburn (2001), konferans bildirilerinde, yük sistemlerinde kayıpların minimum seviyelere indirilmesiyle ilgili olarak gerilim denetim yöntemlerini sunmuşlar, bunun için Matlab'da kayıpları ölçen yük akış benzetimini geliştirilmişlerdir.

Milano (2009), çalışmasında, yük akışı problemine sürekli Newton yönteminin uygulanmasını, UCTE sisteminin 1254 baralı modeli örnek olarak gerçekleştirmiştir.

Kurban ve Filik (2006), çalışmalarında, Türkiye'deki 30 adet generatör ve 35 adet yük barasından meydana gelen enter-konnekte yük sistemini incelemişler ve yük akışı analizini Matlab programını kullanarak yapmışlardır.

Nguyen (1996), çalışmasında, üç fazlı iletim ve dağıtım hatlarının yük akışı analizinin çözümünde, Newton-Raphson yöntemi ve karmaşık formunu geliştirerek, yeni ve sağlam bir yöntem olarak kullanmıştır.

Abacı ve diğ. (2002), çalışmalarında, yük akışı analizlerinde salınım barası değişiminin etkilerini araştırmışlar, örnek bir sistemde her analiz başında farklı üretim baralarını

salınım barası olarak seçmişler ve her defasında sonlu yük artırımlarıyla gerilim kararlılığı analizini yapmışlardır. Yapılan her analiz sonucunda kritik noktalardaki değişimler bulunmuş, ayrıca üretim baraları arasındaki güç farklılıklarının kritik noktalardaki değişimlere olan etkileri araştırılmıştır.

Gözel ve Hocoğlu (2004), çalışmalarında, yük sistemleri eğitimi için grafik ortamda bir yük sistemi tek hat diyagramı oluşturulabilen bir grafik kullanıcı arabirim programını tanıtarak, programın avantajlarını ortaya koymuşlardır.

Eminoğlu ve Hocoğlu (2005), çalışmalarında, yayılmış dağıtım hatlarının yük akışı probleminin çözümüne ilişkin basit ve hızlı bir yöntem ortaya koymuşlardır. 12 baralı ve 30 baralı sistemlerde uygulanan bu yöntemin avantajları; yakınsamayı hızlı bir şekilde gerçekleştirebilmesi, hatta şönt kapasite ve statik yüklerin kullanımına imkan vermesi olmuştur.

Vural ve Tümay (2003), çalışmalarında, Power System Analysis Software Package (PSASP) isimli programın, güç elektroniği dönüştürücüleri için çok üstün bir güç düzenleyicisi olan Unified Power Flow Controller (UPFC-Bütünleştirilmiş Güç Akış Denetleyicisi) ile birlikte yük akışı analizinde kullanımının mümkün olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışmada, UPFC'nin performans değerlendirmesi için bir güç modeli geliştirilmiş ve bu model PSASP ile birlikte kullanılmıştır. Çok pratik ve kullanışlı olan yazılım, IEEE'nin 14 baralı örnek bir yük sisteminde test edilmiştir.

Alrashidi ve El-Hawary (2009), çalışmalarında, en uygun yük akışı probleminin çözümünde, hesaba dayalı bilgi araçlarının uygulanmasını gerçekleştirmişlerdir.

Yaşar ve diğ. (2003), çalışmalarında, yük akışı analizi ve en uygun aktif güç dağıtım problemlerinin çözümünde kullanılan, eğitim amaçlı görsel bir programın yapısını vermişlerdir. Çalışmada, iletim hatları ve baralar nesnel şekilde düzenlenerek, yük akışı analizi ve aktif güç optimizasyonu programı görsel hale getirilmiştir. Ayrıca bu benzetim programıyla sistemdeki veri girişleri kolaylıkla yapılabilmekte, veri

girişlerindeki hata ortadan kalkmakta ve bazı değerler grafik olarak kolayca görüntülenebilmektedir.

Ünal ve diğ. (2008), çalışmalarında, web standartlarına uygun bir şekilde çalışan bir yük akışı analiz programı geliştirmişlerdir. Geliştirilen program günümüzün web standartlarıyla uyumlu olduğu için gerekirse bölünerek değişik programlarla da kullanılabilir tasarımdadır.

Vural ve Tümay (2003), çalışmalarında, Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri'nin en son geliştirilen ve aynı zamanda çok yönlü bir elemanı olan Gelişmiş Güç Akış Denetleyicisi (GGAD) ile donatılmış yük sistemleri için yük akış çalışmalarında kullanılabilir bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemin geliştirilmesi için Newton-Raphson yük akış yöntemi genişletilmiş ve modifiye edilmiştir.

Uslu ve Bağrıyanık (2008), çalışmalarında, Matlab-PSAT ve PTI-PSS/E yazılımları kullanılarak Türkiye Elektrik İletim Sistemi'nin Trakya Bölümü'nde sistem ayırma stratejilerini incelemişlerdir.

Ayasun (2005), çalışmasında, yük akışı, dinamik ve statik çatallanma ve denge noktalarının küçük sinyal kararlılık analizlerinin kolaylıkla yapılabilmesini sağlayan, Matlab kullanılarak geliştirilen bir gerilim kararlılık programının yapısını ve kullanımını göstermiştir. Bunun için IEEE'nin 14 baralı örnek sistemi kullanılmıştır.

Eminoğlu ve diğ. (2003), çalışmalarında, FACTS cihazlarından Statik VAR Kompanzator ve Tristör Kontrollü Seri Kapasitör paralel ve seri kompanzatorlerin yük sistemlerinde gerilim ve akım kontrolü ile yük akışına olan etkilerini, örnek bir 5 baralı sistemi kullanarak incelemişlerdir.

Wang ve diğ. (2007), çalışmalarında, AC yük akışı problemi için kullanılan geleneksel Newton-Raphson yöntemi ile bir noktada birleşen farklı bazı durumlar için çözümler sunmuşlardır. Çalışmada jacobian matris için yeni düzenlenen bir teknik vurgulanarak, Newton'un yük akışı problemlerine paralel bir çözüm sunulmuş, bunu yaparken de bara

admitans ve jacobian matris arasındaki yapısal benzerlikler işletilmiştir. Hem de yük akışının bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesi için, FPGA (field-programmable gate array) aygıtı içeren bilgisayarda bir SOPC (system-on-a-programmable-chip) üzerinde çoklu işlemci tasarlanmıştır.

Kulworawanichpong (2010), çalışmasında, bir grup doğrusal olmayan denklemin güncel ilkesini açık ve kesin olarak vurgulayarak, Newton-Raphson yük akışı çözüm yönteminin kolaylaştırılmış bir versiyonunu anlatmıştır. Yöntem, IEEE'nin 5,6,24,30 ve 57 baralı test sistemlerinde uygulanmıştır.

İbrahim (2002), çalışmasında, güç mühendisliği sahasında, endüstriyel uygulamalar, eğitim ve araştırma amaçlı ve çok yaygın olarak kullanılan 13 tane PC tabanlı yazılım paketi ile yapılanları açıklamış ve karşılaştırmıştır.

Golkar (2007), çalışmasında, bilinen geleneksel yük akışı denklemlerini kullanmadan, 3 fazlı dengesiz radyal dağıtım şebekelerinin yük akışı analizi için yeni bir yöntem sunmuştur. Geliştirilen yöntem geleneksel yöntemlere göre az hafıza kullanımı ve yüksek hıza sahiptir.

Tumay ve Vural (2004), çalışmalarında, esnek AC iletim sistemlerinin ileri düzeyde bir çalışanı olan UPFC (unified power flow controller) üzerinde durmuşlardır. PSASP modeline adapte edilen UPFC ile iki gerilim kaynağı gösterilerek detaylı yük akışı analizi gerçekleştirilmiştir. Bunun için IEEE'nin 14 ve 30 baralı sistemleri üzerinde çalışılmıştır.

Milano (2005), çalışmasında, küçük ve orta ölçekli elektrik güç sistemlerinin analiz ve planlaması için Matlab ve GNU/Octave temelli çalışan PSAT yük akışı analiz programını açıklamıştır. Uygulama için IEEE'nin 14 baralı sistemi kullanılmıştır.

Cartina ve diğ. (2007), çalışmalarında, güç sistem analizinde kullanılan Matlab araçlarından bazılarının önemli noktalarını belirtmişlerdir. Matlab aracı olarak

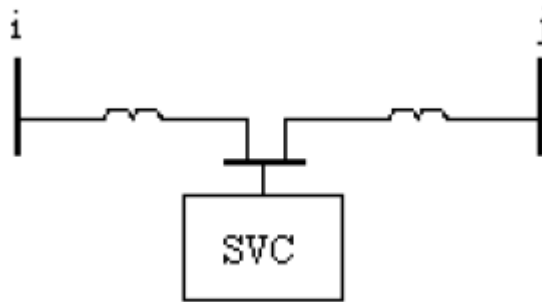
MatPower Toolbox (MPT), Power System Analysis Toolbox (PSAT), Voltage Stability Toolbox (VST) kullanılmıştır.

2.2. GELENEKSEL YÜK AKIŞI MODELLERİ

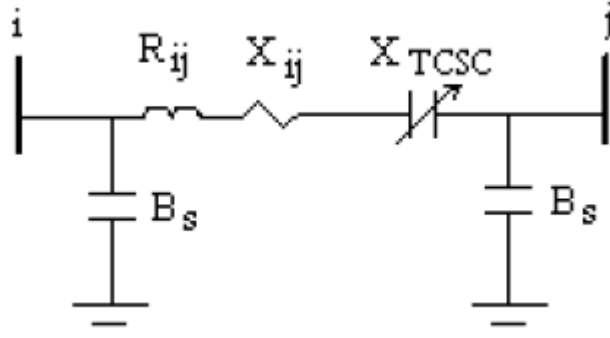
Sürekli hal koşulu altında, dengeli ve üç fazlı enerji sistemlerinde kullanılan yük akışı algoritması genellikle belirtilen kabuller üzerine bina edilmektedir:

- Generatörler sistemin talep ettiği bütün yükü ve kayıpları karşılar,
- Baraların gerilim genlikleri nominal gerilim sınırlarındadır,
- Generatörler kendi aktif ve reaktif güç sınırlarını aşmazlar,
- İletim hatları ve transformatörler aşırı yüklenmezler.

Yük akışı programları; dengeli, üç fazlı ve sürekli hal koşulları altında yazılarak meydana getirilir. Algoritma sonlandırıldığında, sistemdeki bütün baraların gerilim genlik ve açıları, gerilim düşümleri, iletim hatları üzerinden akan aktif ve reaktif güçleri, sistemin toplam güç kaybı hesaplanmış olur. Sistem yükleri aktif veya reaktif güç olarak verildiği ve generatörler gerilim veya akım kaynağı yerine güç kaynağı olarak modellendiği için bilinen düğüm ve çevre denklemleri çalışan yük akışı için uygun değildir. Bu nedenle yük akışında kullanılabilecek modelleri tanıtacağız (Soysal, 2008). Geleneksel modellerin yanında yeni bazı modeller de geliştirilmeye başlanmıştır.



Şekil 2.1: SVC'nin hatta bağlantı şeması



Şekil 2.2: TCSC'nin hatta bağlantı şeması

FACTS cihazlarından Statik VAr Kompanzator (SVC-Şekil 2.1) ve Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC- Şekil 2.2) paralel ve seri kompanzatorler kullanılarak yük akışının değişiminin gözlemlendiği modelleri örnek olarak verebiliriz (Eminoğlu ve diğ, 2003).

2.3. YÜK AKIŞI HESAPLAMALARI

Yük akışı hesaplamalarında kontrol değişkenleri sabit tutularak, durum değişkenleri hesaplanır. Yani veri dosyalarında bulunan kontrol değişken değerlerine karşı gelen durum değişkenleri hesaplanır. Veri dosyasında bulunan kontrol değişken değerleri yük akışı algoritması boyunca sabit kalırlar. Durum değişkenlerine ise ilk iterasyon başlangıcında belirlediğimiz tahmini değer verilir. İlk iterasyon sonunda tahmini olarak verilen durum değişkenleri ile iterasyon sonunda bulunan durum değişken değerleri arasındaki fark hesaplanır. Eğer aralarındaki fark tolerans değerimizden küçük ise iterasyon sonlandırılır. Küçük değil ise yeni durum değişkenleri ile hesaplamalara baştan başlanır. İterasyon sonucu tolerans değerimiz içinde ise hesaplama sonunda bulunan değişken değerleri yardımı ile hatlardan akan aktif ve reaktif güç değerleri hesaplanır (Aydemir, 2009).

Bara sayısı n adet olan bir enerji sisteminde i. baradan alternatif akım hattına verilen kompleks güç birim değer olarak ;

$$s_i = p_{i+} + jq_i = v_i i_i^* \quad (2.1)$$

ifadesiyle bulunabilir. Yukarıda verilen akım fazörü eşlenik değeri, bara gerilimleri ve sistem elemanlarının admitansları cinsinden yazılırsa;

$$i_i^* = \sum_{j=1}^n y_{ij}^* v_j^* \quad (\text{i. bara için}) \quad (2.2)$$

olarak bulunur. (2.1) ifadesindeki v_i ifadesi yerine;

$$v_i \angle \delta = v_i (\cos \delta_i + j \sin \delta_i) \quad (2.3)$$

konulabilir. v_i ; i. baraya ilişkin kompleks değerde bara gerilimidir. v_j^* ise j. baraya ilişkin eşlenik bara gerilim değeridir. δ_i ; verilen bir referansa (genellikle salınım barasına) göre i. baranın gerilim faz açısıdır. (2.2) eşitliğinde kullanılan y_{ij} admitansı, $[y_{bara}]$ admitansı matrisinin (i , j) elemanı olup,

$$y_{ij} = g_{ij} + j b_{ij} \quad (2.4)$$

ifadesiyle verilebilir. (2.2), (2.3) ve (2.4) ifadesinde yerine konular ve ifade düzenlenirse;

$$s_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) + j v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \sin \delta_{ij} - b_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (i=1, \dots, n) \quad (2.5)$$

elde edilir. (2.5) eşitliğinde kullanılan δ_{ij} ,

$$\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j \quad (2.6)$$

değerinde olup, i. ve j. bara gerilim fazörlerinin açıları arasındaki faz farkıdır. (2.5) eşitliği reel ve sanal kısımlarına ayrılırsa, i. baradan alternatif akım hattına verilen aktif ve reaktif güç değerleri;

$$p_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (2.7)$$

$$q_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \sin \delta_{ij} - b_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (2.8)$$

olur. i . baraya bağlı generatör aktif gücü p_{gi} , i . baraya bağlı yükün aktif bileşeni p_{yi} ve i . baraya bağlı tüm hatlara verilen aktif güç değeri p_i ise, i . baradaki aktif güç dengesinden;

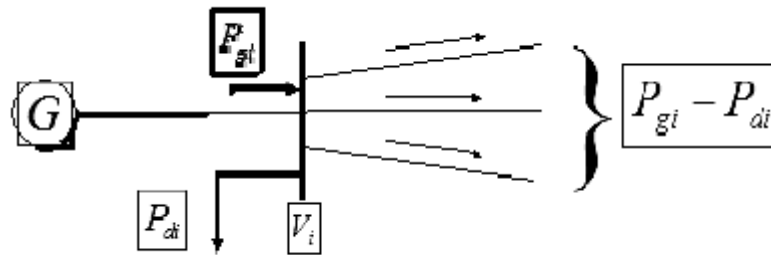
$$p_{gi} = p_{yi} + p_i \quad (2.9)$$

yazılabilir. i . baradaki aktif güç gösterimi Şekil 2.3'deki gibidir (Kurban ve B. Filik, 2007).

i . baraya bağlı generatör reaktif gücü p_{gi} , i . baraya bağlı kontrol edilebilen şönt reaktif üreteç güç değeri q_{ci} (bu üreteç güç katsayısını düzeltici bir kapasite olabileceği gibi senkron makinada olabilir), i . baraya bağlı yükün reaktif bileşeni q_{yi} ve i . baraya bağlı tüm hatlara verilen reaktif güç değeri q_i ise, i . baradaki reaktif güç dengesinden,

$$q_{gi} + q_{ci} = q_{yi} + q_i \quad (2.10)$$

yazılabilir.



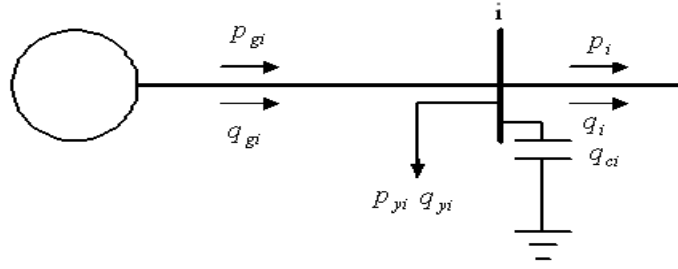
Şekil 2.3: i . baradaki aktif güç gösterimi

Şekil 2.4’de genel amaçlı bir bara gösterimi, Şekil 2.5’de ise herhangi bir i . baranın genel amaçlı gösterimi verilmiştir (Abacı ve diğ, 2002). Güç akış algoritması,

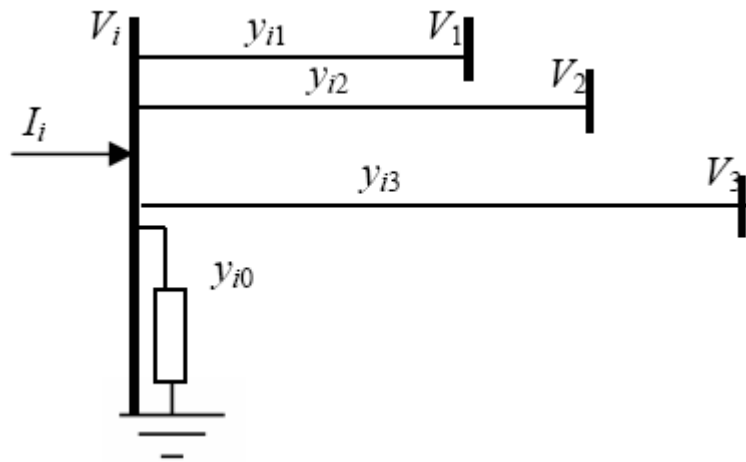
$$p_i - (p_{gi} - p_{yi}) = p_i - p_{hati} = g_{pi} = 0 \quad (i=2, \dots, n) \quad (2.11)$$

$$q_i - (q_{ci} - q_{yi}) = q_i - q_{hati} = g_{qi} = 0 \quad (i=ng+1, \dots, n) \quad (2.12)$$

ifadelerinin sağlanması durumunda son bulur. Yukarıdaki ifadede ng ; sistem içindeki toplam generatör sayısını göstermektedir. Enerji iletim sistemlerinde her bir baranın tüm özellikleri dört değişken yardımı ile belirlenir. Bunlar p_{hati}, q_{hati}, v_i ve δ_i değerleridir. Yük akışında bu değerlerden her bir barada iki tanesinin bilindiği kabul edilerek diğer ikisi bulunmaya çalışılır.



Şekil 2.4: Genel amaçlı bir bara gösterimi



Şekil 2.5: Herhangi bir i . baranın genel amaçlı gösterimi

Yük akışı hesaplamalarında kontrol değişkenleri sabit kabul edilerek bu değişkenler yardımı ile durum değişkenleri bulunur. Durum değişkenleri olarak tüm baralara ilişkin δ_i gerilim açı değerleri (salınım barası hariç) ve yük bara gerilimlerinin v_i gerilim genlik değerleri seçilir. Kontrol değişkenleri olarak ise generatör baralarına ilişkin v_{gi} gerilim genlik değerleri, ayarlanabilir reaktörlerinin q_{ci} reaktif güç değerleri ve sürekli ayarın yapılabildiği transformatörlerin t_i kademe ayar değerleri alınır.

2.4. GAUSS-SEIDAL YÖNTEMİ İLE YÜK AKIŞI

Devreler teorisinden bilinen,

$$[I_{\text{bara}}] = [Y_{\text{bara}}] \cdot [V_{\text{bara}}] \quad (2.13)$$

matris eşitliği açık formda yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{12} & Y_{22} & Y_{23} & \dots & Y_{2n} \\ Y_{13} & Y_{32} & Y_{33} & \dots & Y_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{1n} & Y_{2n} & Y_{3n} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

elde edilir. (2.13) eşitliğinde bilinmeyen $[V_{\text{bara}}]$ elemanlarının olduğu kabul edilir ve (2.14) eşitliğinde gerilim değerleri yalnız bırakılırsa, (i+1). Gauss-Seidal iterasyonu sonunda;

$$V_1^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{11}} (I_1^{(i)} - Y_{12} V_2^{(i)} - Y_{13} V_3^{(i)} - \dots - Y_{1n} V_n^{(i)}) \quad (2.15)$$

$$V_2^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{22}} (I_2^{(i)} - Y_{21} V_1^{(i+1)} - Y_{23} V_3^{(i)} - \dots - Y_{2n} V_n^{(i)}) \quad (2.16)$$

$$V_3^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{33}} (I_3^{(i)} - Y_{31} V_1^{(i+1)} - Y_{32} V_2^{(i+1)} - \dots - Y_{3n} V_n^{(i)}) \quad (2.17)$$

$$V_n^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{nn}} (I_n - Y_{n1} V_1^{(i+1)} - Y_{n2} V_2^{(i+1)} - \dots - Y_{n,n-1} V_{n-1}^{(i+1)}) \quad (2.18)$$

elde edilir. (2.15)-(2.18) eşitliklerinde görülen I_i (akım vektörü elemanları), güç cinsinden;

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.19)$$

olarak yazılabilir. (2.19)'daki formül (2.15)-(2.18) ifadelerinde yerine konulduğunda (1 nolu bara salınım barası alınır);

$$V_k^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{kk}} \left(\frac{P_k - jQ_k}{V_k^{(i)*}} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n Y_{kj} V_j^{(i)} \right) \quad (k=2, \dots, n) \quad (2.20)$$

eşitliğine dönüşür. 1 numaralı bara salınım barası olduğu için, bu baranın gerilim genlik ve açısı bilindiği kabul edilerek (2.20) eşitliğine $k=2$ 'den başlanarak Gauss-Seidal yöntemi uygulanır.

Örneğin k . bara yük barası (PQ) kabul edilsin. Yük barasında P ve Q değerleri bilindiği için yalnızca V değerlerine ihtiyaç vardır. İlk döngüde $i=0$ için (2.20) eşitliği;

$$V_k^{(1)} = \frac{1}{Y_{kk}} \left(\frac{P_k - jQ_k}{V_k^{(0)*}} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n Y_{kj} V_j^{(0)} \right) \quad (2.21)$$

olur. Daha çabuk yakınsama sağlamak için aynı k . bara numarası için (2.18) işlemi birkaç kere (genelde iki kere) daha tekrar edilir. Fakat daha evvel yapılandan farklı olarak (2.21) eşitliği ile elde edilen $V_k^{(1)}$ değerinin eşleniği alınır ve (2.21) eşitliğinde (tekrarlanan her iki iterasyonda da) $V_k^*(0)$ yerine konulur. Bu işlem diğer PQ baraları ve aşağıda anlatılan şekliyle tüm PV baraları için (2.15)-(2.18) eşitliklerinde gösterilen iterasyon adımlarıyla tekrar yapılır.

$$|X_k^{(i+1)} - X_k^{(i)}| \leq \epsilon \quad (k=1,2, \dots, n) \text{ eşitsizliği sağlanınca algoritma sona erer.}$$

Eğer m. bara (PV) generatör barası ise yukarıda anlatılan adımlar tümüyle aynen kullanılamaz. Çünkü (2.20) ifadesinde Q değeri bilinmemektedir (İlk iterasyonda tahmini bir değer konulsa bile sonraki iterasyonlarda Q yerine konulacak değer bilinmez). Generatör akımı;

$$I_g = \frac{P_g - jQ_g}{V_m^*} = Y_{m1} V_1 + Y_{m2} V_2 + Y_{m3} V_3 + \dots + Y_{mn} V_n \quad (2.22)$$

ya da:

$$P_g - jQ_g = V_m^{(i)*} \left[\sum_{j=1}^n Y_{mj} V_j^{(i)} \right] \quad (2.23)$$

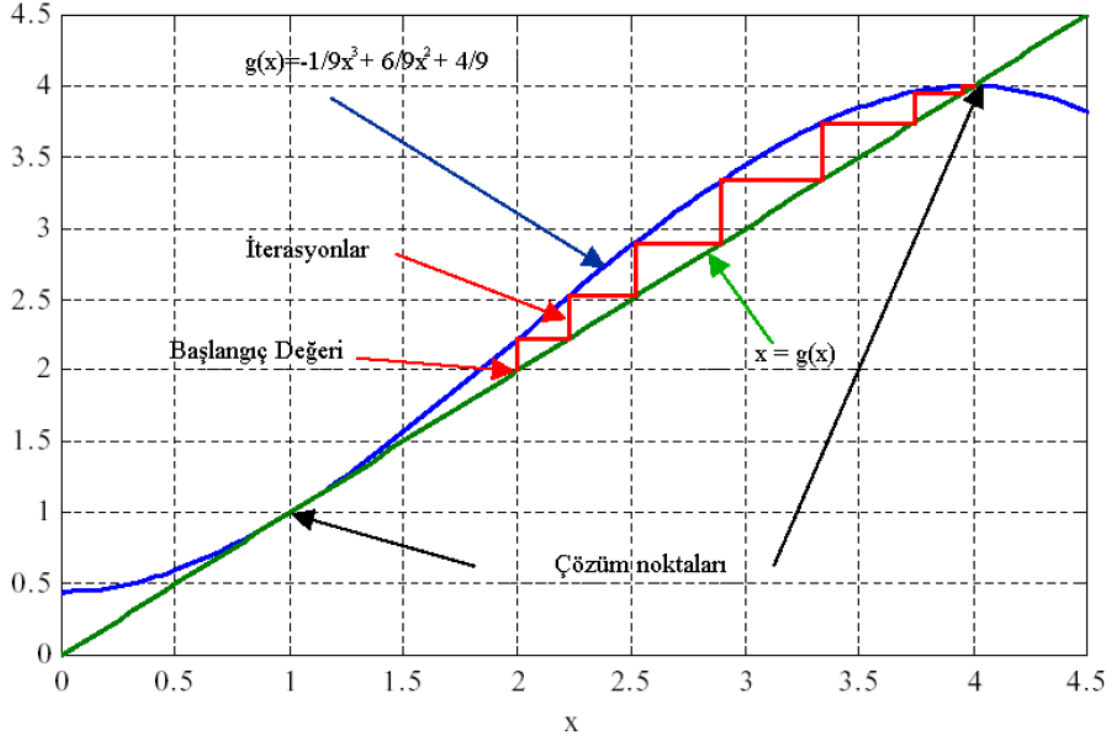
ifadeleri yardımıyla bulunabilir. (2.23) eşitliğinin sanal kısmı alınır;

$$Q_g = -I_m \left[V_m^{(i)*} \left(\sum_{j=1}^n Y_{mj} V_j^{(i)} \right) \right] \quad (2.24)$$

elde edilir. (2.24) eşitliğinde tüm gerilim değerleri yerlerine konularak (ilk iterasyonda $V(0)$, sonraki iterasyonlarda ise bir önceki iterasyondan elde edilen V değerleri kullanılarak) Q_g değeri bulunur. Eğer bulunan Q_g değeri veri dosyasında verilen $Q_{g \max}$ değerinden büyükse $Q_g = Q_{g \max}$ alınır. Eğer bulunan Q_g değeri veri dosyasında verilen $Q_{g \min}$ değerinden küçükse $Q_g = Q_{g \min}$ alınır ve bulunan Q_g değeri (2.20) denkleminde yerine konulur.

PV baralarına ilişkin gerilim fazörlerinin hesaplanması PQ baralarına ilişkin gerilim fazörlerinin hesaplanması gibidir. Hesaplanan gerilim genlik değeri veri dosyasında verilen $V_{g \max}$ değerinden büyükse $V_g = V_{g \max}$ alınır. Eğer bulunan V_g değeri veri dosyasında verilen $V_{g \min}$ değerinden küçükse $V_g = V_{g \min}$ alınır. Fakat her iki durumda da hesaplama neticesinde elde edilen gerilim açısı değeri muhafaza edilir ve bir sonraki iterasyonda aynen kullanılır. Tüm bara gerilim genlik ve açıları bulunduktan sonra (2.7) ve (2.8) eşitliklerinde $i=1$ konularak salınım barasına ilişkin generatör aktif ve reaktif güç değerleri elde edilir.

Lineer olmayan denklem çözümünde kullanılan bu yöntemde, $f(x)=x^3-6x^2+9x-4=0$ şeklindeki örnek bir denklemin çözümünün elde edilişi Şekil 2.6'daki gibidir. $x=g(x)$ olarak alınmıştır (Esen, 2006).



Şekil 2.6: Gauss-Seidal yönteminde örnek fonksiyonun çözümü

2.5. NEWTON-RAPHSON YÖNTEMİ İLE YÜK AKIŞI

Lineer olmayan bir matris denklemi;

$$\begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \\ \vdots \\ f_n(x) \end{bmatrix} = [y] \quad (2.25)$$

olarak verilsin. Bu eşitlik Taylor serisine açılır, ikinci ve daha yüksek terimler ihmal edilir ise, (2.1) eşitliğini sağlayan x değerleri (i+1). iterasyonda;

$$[x(i+1)] = [x(i)] + [j^{-1}(i)] * [y - f(x(i))] \quad (2.26)$$

denklemleri kullanılarak bulunur. Bu eşitlikte geçen $[y - f(x(i))]$ vektör matrisi, (2.11) ve (2.12) eşitliklerinde verilen iki alt vektör matrisin tek bir vektör matrisi olarak ifade edilmesiyle elde edilir. (2.11) ve (2.12) eşitliklerinde görüldüğü gibi $[y]$ vektör matrisi iterasyon adımından bağımsızdır. Eğer her hangi bir iterasyon sonunda;

$$x(i+1) - x(i) \leq \varepsilon \quad (2.27)$$

sağlanırsa Newton-Raphson algoritması sona erer, aksi halde en son iterasyondaki x değerleri bir sonraki iterasyonda başlangıç değeri olarak kullanılır ve algoritma kaldığı yerden devam eder. (2.26) ifadesindeki $[j]$, jacobian matrisi olarak adlandırılır ve $(n * n)$ boyutundadır;

$$[j(i)] = \left[\frac{df}{dx} \right]_{x=x(i)} = \begin{bmatrix} \frac{df_1}{dx_1} & \frac{df_1}{dx_2} & \dots & \frac{df_1}{dx_n} \\ \frac{df_2}{dx_1} & \frac{df_2}{dx_2} & \dots & \frac{df_2}{dx_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{df_n}{dx_1} & \frac{df_n}{dx_2} & \dots & \frac{df_n}{dx_n} \end{bmatrix}_{x=x(i)} \quad (2.28)$$

Yük akışı algoritmasında yukarıda verilen kabuller altında Taylor açılımı kullanıldığı takdirde, (2.26)'de verilen ifadeler bölüm 2.1'de verilen ifadelerle karşılaştırılmalıdır. Bu durumda;

$$[x]^T = [\delta_2 \quad \dots \quad \delta_n \quad v_{ng+1} \quad \dots \quad v_n] \quad (2.29)$$

$$[y]^T = [p_{hat2} \quad \dots \quad p_{hatn} \quad q_{hat(ng+1)} \quad \dots \quad q_{hatn}] \quad (2.30)$$

$$[f(x)]^T = [p_2 \quad \dots \quad p_n \quad q_{(ng+1)} \quad \dots \quad q_n] \quad (2.31)$$

olacaktır. Jacobian matris ifadesi (2.39)'da gösterilmiştir. Jacobian matris elemanları (matrisin ana köşegen ve ana köşegen dışı elemanları için);

$$\frac{dp_i}{d\delta_i} = J1(i, i) = v_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j (-g_{ij} \sin \delta_{ij} + b_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (2.32)$$

$$\frac{dp_i}{d\delta_j} = J1(i, j) = v_i v_j (g_{ij} \sin \delta_{ij} - b_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (2.33)$$

$$\frac{dp_i}{d\delta_i} = J2(i, i) = v_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) + 2v_i g_{ii} \quad (2.34)$$

$$\frac{dp_i}{d\delta_j} = J2(i, j) = v_i (g_{ij} \cos \delta_{ij} - b_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (2.35)$$

$$\frac{dp_i}{d\delta_i} = J3(i, i) = v_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (2.36)$$

$$\frac{dq_i}{d\delta_j} = J3(i, j) = -v_i v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} - b_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (2.37)$$

$$\frac{dq_i}{d\delta_i} = J4(i, i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j (g_{ij} \sin \delta_{ij} - b_{ij} \cos \delta_{ij}) - 2v_i b_{ii} \quad (2.38)$$

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{dp_2}{d\delta_2} & \frac{dp_2}{d\delta_3} & \dots & \dots & \frac{dp_2}{d\delta_n} & \frac{dp_2}{dv_{ng+1}} & \frac{dp_2}{dv_{ng+2}} & \dots & \dots & \frac{dp_2}{dv_n} \\ \frac{dp_3}{d\delta_2} & \frac{dp_3}{d\delta_3} & \dots & \dots & \frac{dp_3}{d\delta_n} & \frac{dp_3}{dv_{ng+1}} & \frac{dp_3}{dv_{ng+2}} & \dots & \dots & \frac{dp_3}{dv_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \frac{dp_n}{d\delta_2} & \frac{dp_n}{d\delta_3} & \dots & \dots & \frac{dp_n}{d\delta_n} & \frac{dp_n}{dv_{ng+1}} & \frac{dp_n}{dv_{ng+2}} & \dots & \dots & \frac{dp_n}{dv_n} \\ \frac{dq_{ng+1}}{d\delta_2} & \frac{dq_{ng+1}}{d\delta_3} & \dots & \dots & \frac{dq_{ng+1}}{d\delta_n} & \frac{dq_{ng+1}}{dv_{ng+1}} & \frac{dq_{ng+1}}{dv_{ng+2}} & \dots & \dots & \frac{dq_{ng+1}}{dv_n} \\ \frac{dq_{ng+2}}{d\delta_2} & \frac{dq_{ng+2}}{d\delta_3} & \dots & \dots & \frac{dq_{ng+2}}{d\delta_n} & \frac{dq_{ng+2}}{dv_{ng+1}} & \frac{dq_{ng+2}}{dv_{ng+2}} & \dots & \dots & \frac{dq_{ng+2}}{dv_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \frac{dq_n}{d\delta_2} & \frac{dq_n}{d\delta_3} & \dots & \dots & \frac{dq_n}{d\delta_n} & \frac{dq_n}{dv_{ng+1}} & \frac{dq_n}{dv_{ng+2}} & \dots & \dots & \frac{dq_n}{dv_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

$$\frac{dq_i}{dv_{ji}} = J4(i, j) = v_i (g_{ij} \sin \delta_{ij} - b_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (2.40)$$

olur. Şekil 2.3’de anlatılan Newton-Raphson algoritması sona erdiğinde x durum değişkenleri vektörü elde edilmiş olur. PV baralarında qg değerleri bilinmediğinden tüm PV (salınım barası dahil) baraları için (2.8) eşitliği kullanılarak Qi (i=1,.....ng) değerleri bulunur. Sonra yine tüm PV baralarına (2.12) ifadesi uygulanarak bilinmeyen tüm qg (salınım barası dahil) değerleri elde edilir. Salınım barasına ilişkin pg₁ generatör aktif gücünü bulmak için önce (2.7) eşitliğinde i=1 için p₁ elde edilir. Sonra bulunan bu değer (2.11) ifadesinde i=1 için yerine konular ve pg₁ elde edilir. Hatlarda kaybolan aktif güç değeri ise;

$$\sum_{i=1}^{ng} p_{gi} - \sum_{j=1}^n \dots \quad \text{Toplam aktif güç kaybı} \quad (2.41)$$

ifadesi ile bulunabilir. Yük akışı hesaplamaları sona erdikten sonra iki bara arasındaki hattın akan aktif ve reaktif güç değerlerini bulmak için şekil 2.7’den faydalanılabilir.

i. ve j. baraların arasındaki hattın admitansı y_{ij}, hattın Π (pi) eşdeğer devresi kullanıldığında, her bir baraya bağlanan hattın şönt admitans değeri y_{ij} olarak alınırsa, i. ve j. baralar arasındaki hattın akan kompleks güç;

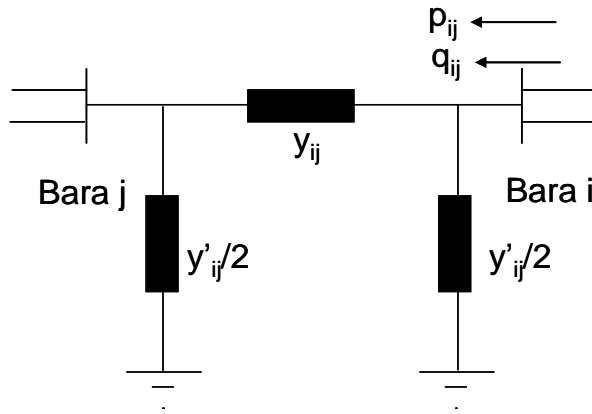
$$s_{ij} = p_{ij} + q_{ij} = v_i(v_i^* - v_j^*)y_{ij} + v_i v_i^* \left(\frac{y_{ij}}{2}\right)^* \quad (2.42)$$

olur. i. ve j. baralar arasındaki hattın aktif ve reaktif güç değeri;

$$p_{ij} = \text{Re} \left\{ v_i(v_i^* - v_j^*)y_{ij} + v_i v_i^* \left(\frac{y_{ij}}{2}\right)^* \right\} \text{ reel kısım aktif güç} \quad (2.43)$$

$$q_{ij} = \text{Im} \left\{ v_i(v_i^* - v_j^*)y_{ij} + v_i v_i^* \left(\frac{y_{ij}}{2}\right)^* \right\} \text{ imajiner kısım reaktif güç} \quad (2.44)$$

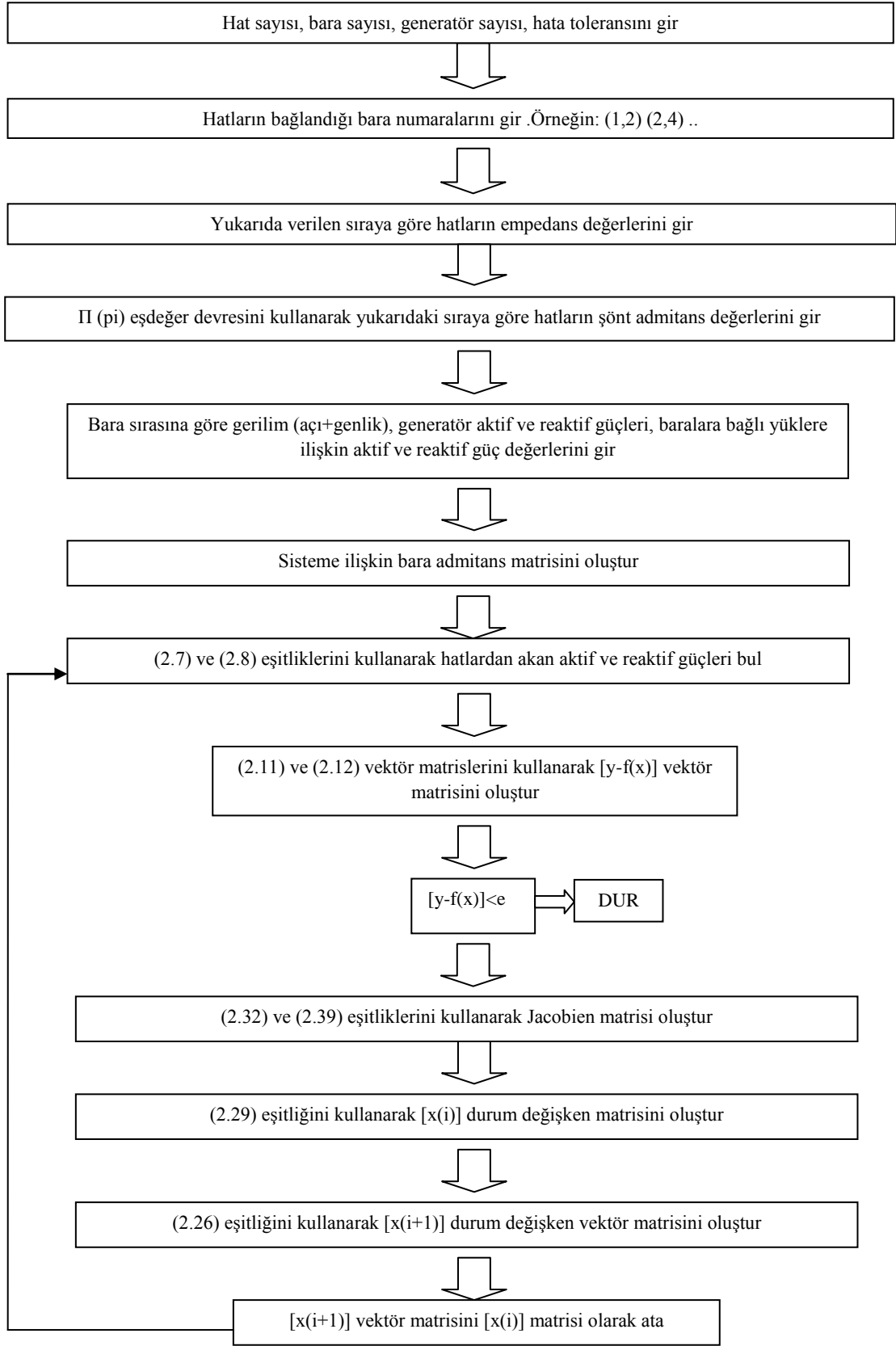
eşitlikleri kullanılarak bulunur.



Şekil 2.7: İki bara arasındaki hattın aktif ve reaktif güçler

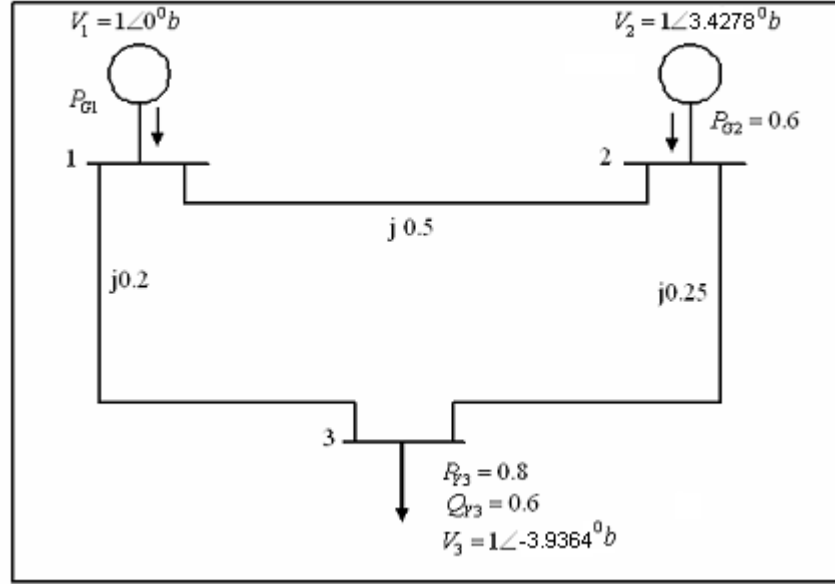
çıkması) bu bara için $q=q_{\min}$ yada $q=q_{\max}$ alınıp, v (bu baraya ilişkin bara gerilim genlik) değeri serbest bırakılır. Bu durumda bara, PV barası olmaktan çıkarılıp PQ barası yapılmaktadır. Bu baraya ilişkin aktif güç değeri ise $p_{\text{gen}}=p_y$ alınıp ve bu yeni değerler veri kabul edilerek yük akışı algoritmasının yeniden başlatılması gerekir. Hesaplama sonunda bu baranın gerilim genlik değeri bulunur.

- Yük akışı bitiminde eğer salınım barasından AA sistemine reaktif gücün sınır değeri aştığı görülür ise $q_1=q_{1\min}$ yada $q_1=q_{1\max}$ alınarak salınım bara genlik değeri v_1 sabit tutulmaz ve değişken yapılır. Bu durumda (1 numaralı) salınım barası PQ (yük barası) olarak hizmet görmeye başlar. Salınım barası olarak PV baralarından güçlü (p_{gen} değeri büyük olan) bir bara alınır (Arifoğlu, 2002).



Şekil 2.9: Newton-Raphson algoritması

2.5.1. Üç Baralı Örnek Bir Sistemin Yük Akışının Direk Hesaplama Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi



Şekil 2.10: Üç baralı örnek sistem

Sistemin çözümünü adım adım ilerleyerek yürüteceğiz.

İlk adım = Bara Admitans Matrisinin Oluşturulması:

$$Y_{\text{bara}} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} + jb_{11} & g_{12} + jb_{12} & g_{13} + jb_{13} \\ g_{21} + jb_{21} & g_{22} + jb_{22} & g_{23} + jb_{23} \\ g_{31} + jb_{31} & g_{32} + jb_{32} & g_{33} + jb_{33} \end{bmatrix}$$

$$Y_{11} = g_{11} + jb_{11} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{0 + 0.5i} + \frac{1}{0 + 0.2i} = 0 - 7.0000i$$

$$Y_{12} = g_{12} + jb_{12} = -\frac{1}{Z_1} = -\frac{1}{0 + 0.5i} = 0 + 2.0000i$$

$$Y_{13} = g_{13} + jb_{13} = -\frac{1}{Z_2} = -\frac{1}{0 + 0.2i} = 0 + 5.0000i$$

$$Y_{21} = g_{21} + jb_{21} = -\frac{1}{Z_1} = -\frac{1}{0 + 0.5i} = 0 + 2.0000i$$

$$Y_{22} = g_{22} + jb_{22} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_3} = \frac{1}{0 + 0.5i} + \frac{1}{0 + 0.25i} = 0 - 6.0000i$$

$$Y_{23} = g_{23} + jb_{23} = -\frac{1}{Z_3} = -\frac{1}{0 + 0.25i} = 0 + 4.0000i$$

$$Y_{13} = g_{31} + jb_{31} = -\frac{1}{Z_2} = -\frac{1}{0 + 0.2i} = 0 + 5.0000i$$

$$Y_{23} = g_{32} + jb_{32} = -\frac{1}{Z_3} = -\frac{1}{0 + 0.25i} = 0 + 4.0000i$$

$$Y_{33} = g_{33} + jb_{33} = \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} = \frac{1}{0 + 0.2i} + \frac{1}{0 + 0.25i} = 0 - 9.0000i$$

$$Y_{\text{bara}} = \begin{bmatrix} 0 - 7.0000i & 0 + 2.0000i & 0 + 5.0000i \\ 0 + 2.0000i & 0 - 6.0000i & 0 + 4.0000i \\ 0 + 5.0000i & 0 + 4.0000i & 0 - 9.0000i \end{bmatrix}$$

Birinci iterasyon sonundaki hesaplamalarda Şekil 2.10'da verilen;

$$x' = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2^{(1)} \\ \delta_3^{(1)} \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0^\circ \\ 3.4278^\circ \\ -3.9364^\circ \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

değerler kullanılarak gerçekleştirilir. Yukarıda verilen vektör matris içinde yer alan δ_1, v_1 ve v_2 (salınım barası gerilim açısı ve generatör baraları gerilim genlik değerleri) yük akışı boyunca sabit kaldıkları için aldıkları değerler (kontrol değişkenleri) iterasyon sayısından bağımsızdırlar.

İkinci adımda: Aşağıda verilen (2.7) eşitliği kullanılarak her bir baradan alternatif akım hatlarına aktarılan aktif güç değerleri hesaplanır;

$$p_i = v_i \sum_{j=1}^3 v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (i=2,3)$$

verilen eşitlik birinci iterasyonda salınım barası dışındaki baralar için hesaplanırsa;

$$p_2^{(1)} = v_2^{(1)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(1)} (g_{21} \cos(\delta_2^{(1)} - \delta_1^{(1)}) + b_{21} \sin(\delta_2^{(1)} - \delta_1^{(1)})) \\ + v_2^{(1)} (g_{22} \cos(\delta_2^{(1)} - \delta_2^{(1)}) + b_{22} \sin(\delta_2^{(1)} - \delta_2^{(1)})) \\ + v_3^{(1)} (g_{23} \cos(\delta_2^{(1)} - \delta_3^{(1)}) + b_{23} \sin(\delta_2^{(1)} - \delta_3^{(1)})) \end{array} \right\}$$

$$p_2^{(1)} = 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \cos(3.4278 - 0) + 2 \sin(3.4278 - 0)) \\ + 1(0 \cos(3.4278 - 3.4278) + (-6) \sin(3.4278 - 3.4278)) \\ + 1(0 \cos(3.4278 - (-3.9364)) + 4 \sin(3.4278 - (-3.9364))) \end{array} \right\} = 0.6323$$

$$p_3^{(1)} = v_3^{(1)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(1)} (g_{31} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_1^{(1)}) + b_{31} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_1^{(1)})) \\ + v_2^{(1)} (g_{32} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)}) + b_{32} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)})) \\ + v_3^{(1)} (g_{33} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_3^{(1)}) + b_{33} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_3^{(1)})) \end{array} \right\}$$

$$p_3^{(1)} = 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \cos((-3.9364) - 0) + 5 \sin((-3.9364) - 0)) \\ + 1(0 \cos((-3.9364) - 3.4278) + 4 \sin((-3.9364) - 3.4278)) \\ + 1(0 \cos((-3.9364) - (-3.9364)) + (-9) \sin((-3.9364) - (-3.9364))) \end{array} \right\} \\ = -0.8559$$

elde edilir. Daha sonra (2.8) eşitliği kullanılarak generatör baraları dışında kalan yük baralarının alternatif akım hatlarından çektiği reaktif güç değerleri birinci iterasyon için hesaplanırsa;

$$q_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \sin \delta_{ij} - b_{ij} \cos \delta_{ij})$$

$$q_3^{(1)} = v_3^{(1)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(1)} (g_{31} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_1^{(1)}) + b_{31} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_1^{(1)})) \\ + v_2^{(1)} (g_{32} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)}) + b_{32} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)})) \\ + v_3^{(1)} (g_{33} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_3^{(1)}) + b_{33} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_3^{(1)})) \end{array} \right\}$$

$$q_3^{(1)} = 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \sin((-3.9364) - 0) + 5 \cos((-3.9364) - 0)) \\ + 1(0 \sin((-3.9364) - 3.4278) + 4 \cos((-3.9364) - 3.4278)) \\ + 1(0 \sin((-3.9364) - (-3.9364)) + (-9) \cos((-3.9364) - (-3.9364))) \end{array} \right\}$$

$$= 0.0448$$

(i=3) elde edilir.

Üçüncü adımda: Baralardaki aktif ve reaktif güç dengesi araştırılır. Aktif güç dengesi aşağıda verilen (2.11) ifadesi yardımıyla birinci iterasyon için hesaplanırsa;

$$g_{p_i} = p_{g_i} - p_{y_i} - p_i = p_i - p_{\text{hati}} = g_{p_i} = 0 \quad (i=2,3)$$

$$0.6 - 0 - 0.6323 = p_2^{(1)} - p_{\text{hat}2} = g_{p2}^{(1)} = -0.0323 \text{ b.}$$

$$0 - 0.8 - (-0.8559) = p_3^{(1)} - p_{\text{hat}3} = g_{p3}^{(1)} = 0.0559 \text{ b.}$$

bulunur. Reaktif güç dengesi aşağıda verilen (2.12) ifadesi yardımıyla birinci iterasyon için hesaplanırsa;

$$q_{ci} - (q^{(1)}_i + q_{yi}) = g_{qi}^{(1)} = 0 \quad (i=3)$$

$$0 - (0.0448 + 0.6) = q_3^{(1)} - q_{\text{hat}3} = g_{q3}^{(1)} = -0.6448 \text{ b.}$$

Birinci iterasyon sonunda üçüncü adım sonunda aktif-reaktif güç dengesi kontrol edilerek;

$$\left| y - f(x^1) \right| = \begin{bmatrix} 0.0323 \\ 0.0559 \\ 0.6448 \end{bmatrix} \leq \varepsilon \quad \varepsilon = 0.01$$

(mutlak değer) eşitsizliğinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Eğer veri dosyasında verilen ε değeri yukarıda hesaplanan vektör matristen daha küçük veya eşitse iterasyon durur ve algoritma (dolayısıyla yük akışı) sona erer. Eğer şart sağlanamıyorsa algoritma dördüncü adımdan devam eder. Verilen problemde $\varepsilon \leq 0.01$ olarak alındığı için iterasyon hesaplamalarına devam edilmesi gerekmektedir.

Dördüncü adımda: $J^{(1)}$ jacobian matrisinin $J1^{(1)}, J2^{(1)}, J3^{(1)}, J4^{(1)}$ olarak gösterilen dört alt matrisin birinci iterasyon değerleri hesaplanır. Jacobian 3×3 matristir. $J1$ 2×2 , $J2$ 2×1 , $J3$ 1×2 , ve $J4$ 1×1 matrislerden oluşur.

Önce $J1^{(1)}$ alt matrisinin ana köşegen elemanları hesaplanırsa;

$$\frac{dp_i^{(1)}}{d\delta_i} = J1^{(1)}(i,i) = v_i^{(1)} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^3 v_j^{(1)} (-g_{ij} \sin \delta_{ij}^{(1)} + b_{ij} \cos \delta_{ij}^{(1)}) \quad (i=2,3)$$

$$\frac{dp_2^{(1)}}{d\delta_2^1} = J1^{(1)}(2,2) = v_2^{(1)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(1)} (-g_{21} \sin(\delta_2^{(1)} - \delta_1^{(1)}) + b_{21} \cos(\delta_2^{(1)} - \delta_1^{(1)})) \\ + v_3^{(1)} (-g_{23} \sin(\delta_2^{(1)} - \delta_3^{(1)}) + b_{23} \cos(\delta_2^{(1)} - \delta_3^{(1)})) \end{array} \right\}$$

$$\begin{aligned} \frac{dp_2^{(1)}}{d\delta_2^1} = J1^{(1)}(2,2) &= 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(-0 \sin(3.4278 - 0) + 2 \cos(3.4278 - 0)) \\ + 1(-0 \sin(3.4278 - (-3.9364)) + 4 \cos(3.4278 - (-3.9364))) \end{array} \right\} \\ &= 5.9643 \end{aligned}$$

$$\frac{dp_3^{(1)}}{d\delta_3^1} = J1^{(1)}(3,3) = v_3^{(1)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(1)} (-g_{31} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_1^{(1)}) + b_{31} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_1^{(1)})) \\ + v_2^{(1)} (-g_{32} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)}) + b_{32} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)})) \end{array} \right\}$$

$$\begin{aligned} \frac{dp_3^{(1)}}{d\delta_3^1} = J1^{(1)}(3,3) &= 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(-0 \sin((-3.9364) - 0) + 5 \cos((-3.9364) - 0)) \\ + 1(-0 \sin((-3.9364) - 3.4278) + 4 \cos((-3.9364) - 3.4278)) \end{array} \right\} \\ &= 8.9552 \end{aligned}$$

olarak elde edilir. Daha sonra birinci iterasyon için $J1^{(1)}$ alt matrisinin ana köşegen dışı elemanları hesaplanırsa;

$$\frac{dp_i^{(1)}}{d\delta_j^{(1)}} = J1^{(1)}(i, j) = v_i^{(1)} v_j^{(1)} (g_{ij} \sin \delta_{ij}^{(1)} - b_{ij} \cos \delta_{ij}^{(1)})$$

$$\frac{dp_2^{(1)}}{d\delta_3^{(1)}} = J1^{(1)}(2,3) = v_2^{(1)} v_3^{(1)} (g_{23} \sin(\delta_2^{(1)} - \delta_3^{(1)}) - b_{23} \cos(\delta_2^{(1)} - \delta_3^{(1)}))$$

$$\begin{aligned} \frac{dp_2^{(1)}}{d\delta_3^{(1)}} &= J1^{(1)}(2,3) = 1 \times 1 (0 \sin(3.4278 - (-3.9364)) - 4 \cos(3.4278 - (-3.9364))) \\ &= -3.9670 \end{aligned}$$

$$\frac{dp_3^{(1)}}{d\delta_2^{(1)}} = J1^{(1)}(3,2) = v_2^{(1)} v_3^{(1)} (g_{32} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)}) - b_{32} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)}))$$

$$\begin{aligned} \frac{dp_3^{(1)}}{d\delta_2^{(1)}} &= J1^{(1)}(3,2) = 1 \times 1 (0 \sin((-3.9364) - 3.4278) - 4 \cos((-3.9364) - 3.4278)) \\ &= -3.9670 \end{aligned}$$

$$\text{ve } J1^{(1)} = \begin{bmatrix} 5.9643 & -3.9670 \\ -3.9670 & 8.9552 \end{bmatrix} \text{ olarak elde edilir.}$$

Birinci iterasyonda $J2^{(1)}$ alt matrisinin ana köşegen elemanları birinci iterasyon için hesaplanırsa;

$$\frac{dp_i^{(1)}}{d\delta_i^{(1)}} = J2^{(1)}(i, i) = v_i^{(1)} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j^{(1)} (g_{ij} \cos \delta_{ij}^{(1)} + b_{ij} \sin \delta_{ij}^{(1)}) + 2v_i^{(1)} g_{ii} \quad (i=3)$$

$$\frac{dp_3^{(1)}}{d\delta_3^{(1)}} = J2^{(1)}(3,3) = v_3^{(1)} \left\{ v_1^{(1)} (g_{31} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_1^{(1)}) + b_{31} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_1^{(1)})) \right. \\ \left. + v_2^{(1)} (g_{32} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)}) + b_{32} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)})) \right\} + 2v_3^{(1)} g_{33}$$

$$\begin{aligned} \frac{dp_3^{(1)}}{d\delta_3^{(1)}} &= J2^{(1)}(3,3) = 1 \left\{ 1(0 \cos((-3.9364) - 0) + 5 \sin((-3.9364) - 0)) \right. \\ &\quad \left. + 1(0 \cos((-3.9364) - 3.4278) + 4 \sin((-3.9364) - 3.4278)) \right\} + 2 \times 1 \times 0 \\ &= -0.8559 \end{aligned}$$

elde edilir. Daha sonra birinci iterasyon için $J2^{(1)}$ alt matrisinin ana köşegen dışı elemanı hesaplanırsa;

$$\frac{dp_i^{(1)}}{d\delta_j^{(1)}} = J2^{(1)}(i, j) = v_i^{(1)}(g_{ij} \cos \delta_{ij}^{(1)} - b_{ij} \sin \delta_{ij}^{(1)})$$

$$\frac{dp_2^{(1)}}{d\delta_3^{(1)}} = J2^{(1)}(2,3) = v_2^{(1)}(g_{23} \cos(\delta_2^{(1)} - \delta_3^{(1)}) - b_{23} \sin(\delta_2^{(1)} - \delta_3^{(1)}))$$

$$\frac{dp_2^{(1)}}{d\delta_3^{(1)}} = J2^{(1)}(2,3) = 1(0 \cos(3.4278 - (-3.9364)) - 4 \sin(3.4278 - (-3.9364))) = 0.5127$$

elde edilir ve:

$$J2^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.5127 \\ -0.8559 \end{bmatrix} \text{ bulunur.}$$

$J3^{(1)}$ alt matrisinin ana köşegen elemanları hesaplanırsa;

$$\frac{dq_i^{(1)}}{d\delta_i^{(1)}} = J3^{(1)}(i, i) = v_i^{(1)} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j^{(1)} (g_{ij} \cos \delta_{ij}^{(1)} + b_{ij} \sin \delta_{ij}^{(1)})$$

$$\frac{dq_3^{(1)}}{d\delta_3^{(1)}} = J3^{(1)}(3,3) = v_3^{(1)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(1)}(g_{31} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_1^{(1)}) + b_{31} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_1^{(1)})) \\ + v_2^{(1)}(g_{32} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)}) + b_{32} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)})) \end{array} \right\}$$

$$\begin{aligned} \frac{dq_3^{(1)}}{d\delta_3^{(1)}} &= J3^{(1)}(3,3) = 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \cos((-3.9364) - 0) + 5 \sin((-3.9364) - 0)) \\ + 1(0 \cos((-3.9364) - 3.4278) + 4 \sin((-3.9364) - 3.4278)) \end{array} \right\} \\ &= -0.8559 \end{aligned}$$

elde edilir.

Birinci iterasyon için $J3^{(1)}$ alt matrisinin ilk satırının ana köşegen dışı elemanları hesaplanırsa;

$$\frac{dq_i^{(1)}}{d\delta_j^{(1)}} = J3^{(1)}(i, j) = -v_i^{(1)}v_j^{(1)}(g_{ij} \cos(\delta_i^{(1)} - \delta_j^{(1)}) + b_{ij} \sin(\delta_i^{(1)} - \delta_j^{(1)}))$$

$$\frac{dq_3^{(1)}}{d\delta_2^{(1)}} = J3^{(1)}(3,2) = -v_3^{(1)}v_2^{(1)}(g_{32} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)}) + b_{32} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)}))$$

$$\begin{aligned} \frac{dq_3^{(1)}}{d\delta_2^{(1)}} &= J3^{(1)}(3,2) = -1 \times 1 (0 \cos((-3.9364) - 3.4278) + 4 \sin((-3.9364) - 3.4278)) \\ &= 0.5127 \end{aligned}$$

elde edilir ve:

$$J3^{(1)} = [0.5127 \quad -0.8559] \text{ bulunur.}$$

Birinci iterasyon için $j4^{(1)}$ alt matrisinin ana köşegen elemanları birinci iterasyon için hesaplanırsa;

$$\frac{dq_i^{(1)}}{dv_i^{(1)}} = J4(i, i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j^{(1)} (g_{ij} \sin \delta_{ij}^{(1)} - b_{ij} \cos \delta_{ij}^{(1)}) - 2v_i^{(1)}b_{ii}$$

$$\frac{dq_3^{(1)}}{dv_3^{(1)}} = J4(3,3) = \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(1)} (g_{31} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_1^{(1)}) - b_{31} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_1^{(1)})) \\ + v_2^{(1)} (g_{32} \sin(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)}) - b_{32} \cos(\delta_3^{(1)} - \delta_2^{(1)})) \\ - 2v_3^{(1)}b_{33} \end{array} \right\}$$

$$\begin{aligned} \frac{dq_3^{(1)}}{dv_3^{(1)}} &= J4(3,3) = \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \sin((-3.9364) - 0) - 5 \cos((-3.9364) - 0)) \\ + 1(0 \sin((-3.9364) - 3.4278) - 4 \cos((-3.9364) - 3.4278)) \\ - 2 \times 1 \times (-9) \end{array} \right\} \\ &= 9.0448 \end{aligned}$$

elde edilir. Daha sonra ana köşegen dışı elemanları hesaplanır. Ana köşegen dışı elemanlar aşağıdaki formülle hesaplanır ama ana köşegen dışı eleman olmadığı için sadece formül verilmiştir.

$$\frac{dq_i^{(1)}}{dv_j^{(1)}} = J4^{(1)}(i, j) = v_i^{(1)}(g_{ij} \sin \delta_{ij}^{(1)} - b_{ij} \cos \delta_{ij}^{(1)})$$

$$J4^{(1)} = [9.0448]$$

Yukarıda elde edilen tüm alt matrisler (2.40) eşitliğinde gösterildiği şekliyle jacobian matrisi oluşturacak şekilde birleştirilirse, ilk iterasyon sonunda;

$$J^{(1)} = \begin{bmatrix} 5.9643 & -3.9670 & 0.51270 \\ -3.9670 & 8.9552 & -0.8559 \\ 0.5127 & -0.8559 & 9.0448 \end{bmatrix} \text{ elde edilir.}$$

Beşinci adımda: $x^{(1)}$ durum değişkeni vektörü oluşturulur;

$$x^{(1)} = \begin{bmatrix} \delta_2^{(1)} \\ \delta_2^{(1)} \\ v_3^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.4283^\circ \\ -3.9368^\circ \\ 0.9287 \end{bmatrix}$$

Altıncı adımda: (2.26) eşitliği kullanılarak ikinci iterasyon adımıdaki yeni durum değişkeni vektörü bulunur;

$$[x^{(2)}] = [x^{(1)}] + [J^{(1)}]^{-1} [y - f(x)^{(1)}]$$

$$[J^{(1)}]^{-1} = \begin{bmatrix} 5.9643 & -3.9670 & 0.51270 \\ -3.9670 & 8.9552 & -0.8559 \\ 0.5127 & -0.8559 & 9.0448 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} 0.2379 & 0.1050 & -0.0035 \\ 0.1050 & 0.1591 & 0.0091 \\ -0.0035 & 0.0091 & 0.1116 \end{bmatrix}$$

$$[x^{(2)}] = \begin{bmatrix} 3.4278^\circ \\ -3.9364^\circ \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.2379 & 0.1050 & -0.0035 \\ 0.1050 & 0.1591 & 0.0091 \\ -0.0035 & 0.0091 & 0.1116 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0323 \\ 0.0559 \\ -0.6448 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.4283 \\ -3.9368 \\ 0.9287 \end{bmatrix}$$

İkinci iterasyon değerlerini hesaplamak için birinci iterasyon sonucunda elde edilen $x^{(2)}$ vektörü yeni durum değişken vektörümüz olur ve bundan sonra bu değerleri kullanarak yeniden güçler hesaplanır ve güç dengesine bakılır.

$$p_2^{(2)} = v_2^{(2)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(2)} (g_{21} \cos(\delta_2^{(2)} - \delta_1^{(2)}) + b_{21} \sin(\delta_2^{(2)} - \delta_1^{(2)})) \\ + v_2^{(2)} (g_{22} \cos(\delta_2^{(2)} - \delta_2^{(2)}) + b_{22} \sin(\delta_2^{(2)} - \delta_2^{(2)})) \\ + v_3^{(2)} (g_{23} \cos(\delta_2^{(2)} - \delta_3^{(2)}) + b_{23} \sin(\delta_2^{(2)} - \delta_3^{(2)})) \end{array} \right\}$$

$$p_2^{(2)} = 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \cos(3.4283 - 0) + 2 \sin(3.4283 - 0)) \\ + 1(0 \cos(3.4283 - 3.4283) + (-6) \sin(3.4283 - 3.4283)) \\ + 0.9287(0 \cos(3.4283 - (-3.9368)) + 4 \sin(3.4283 - (-3.9368))) \end{array} \right\} = 0.5958$$

$$p_3^{(2)} = v_3^{(2)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(2)} (g_{31} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_1^{(2)}) + b_{31} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_1^{(2)})) \\ + v_2^{(2)} (g_{32} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)}) + b_{32} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)})) \\ + v_3^{(2)} (g_{33} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_3^{(2)}) + b_{33} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_3^{(2)})) \end{array} \right\}$$

$$p_3^{(2)} = 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \cos((-3.9368) - 0) + 5 \sin((-3.9368) - 0)) \\ + 1(0 \cos((-3.9368) - 3.4283) + 4 \sin((-3.9368) - 3.4283)) \\ + 0.9287(0 \cos((-3.9368) - (-3.9368)) + (-9) \sin((-3.9368) - (-3.9368))) \end{array} \right\} \\ = -0.7950$$

elde edilir. Daha sonra (2.30) eşitliği kullanılarak generatör baraları dışında kalan yük baralarının alternatif akım hatlarından çektiği reaktif güç değerleri ikinci iterasyon için hesaplanırsa;

$$q_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \sin \delta_{ij} - b_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (i=3)$$

$$q_3^{(2)} = v_3^{(2)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(2)}(g_{31} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_1^{(2)}) + b_{31} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_1^{(2)})) \\ + v_2^{(2)}(g_{32} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)}) + b_{32} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)})) \\ + v_3^{(2)}(g_{33} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_3^{(2)}) + b_{33} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_3^{(2)})) \end{array} \right\}$$

$$q_3^{(2)} = 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \sin((-3.9368) - 0) + 5 \cos((-3.9368) - 0)) \\ + 1(0 \sin((-3.9368) - 3.4283) + 4 \cos((-3.9368) - 3.4283)) \\ + 0.9287(0 \sin((-3.9368) - (-3.9368)) + (-9) \cos((-3.9368) - (-3.9368))) \end{array} \right\}$$

$$= -0.5547$$

elde edilir. Bundan sonra baralardaki aktif ve reaktif güç dengesi araştırılır. Aktif güç dengesi aşağıda verilen (2.11) ifadesi yardımıyla ikinci iterasyon için hesaplanırsa;

$$g p_i = p_{g_i} - p_{y_i} - p_i = p_i - p_{hati} = g p_i = 0$$

$$p_{g_i} - (p^{(2)}_i + p_{y_i}) = p_i^{(2)} - p_{hati} = g_{pi}^{(2)} = 0 \quad (i=2,3)$$

$$0.6 - (0.5958 + 0) = p_2^{(2)} - p_{hat2} = g_{p2}^{(2)} = 0.0042 \text{ b.}$$

$$0 - (-0.7950 + 0.8) = p_3^{(2)} - p_{hat3} = g_{p3}^{(2)} = -0.0050 \text{ b.}$$

bulunur. Reaktif güç dengesi aşağıda verilen (2.12) ifadesi yardımıyla ikinci iterasyon için hesaplanırsa;

$$q_{ci} - (q^{(2)}_i + q_{yi}) = g_{qi}^{(2)} = 0 \quad (i=3)$$

$$0 - (-0.5547 + 0.6) = g_{q3}^{(2)} = -0.0453 \text{ b. Buradan;}$$

$$\left| y - f(x^2) \right| = \begin{bmatrix} 0.0042 \\ 0.0050 \\ 0.0453 \end{bmatrix} \leq \varepsilon \quad \varepsilon = 0.01$$

şartı henüz sağlanamadığından hesaplamalara kalınan yerden devam edilir. $J^{(2)}$ jacobian matrisinin $J1^{(2)}, J2^{(2)}, J3^{(2)}, J4^{(2)}$ olarak gösterilen dört alt matrisin ikinci iterasyon değerleri hesaplanır. Jacobian 3×3 matristir. $J1^{(2)}$ 2×2 , $J2^{(2)}$ 2×1 , $J3^{(2)}$ 1×2 , ve $J4^{(2)}$ 1×1 matrislerden oluşur.

Önce $J1^{(2)}$ alt matrisinin ana köşegen elemanları hesaplanırsa;

$$\frac{dp_i^{(2)}}{d\delta_i} = J1^{(2)}(i,i) = v_i^{(2)} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^3 v_j^{(2)} (-g_{ij} \sin \delta_{ij}^{(2)} + b_{ij} \cos \delta_{ij}^{(2)}) \quad (i=2,3)$$

$$\frac{dp_2^{(2)}}{d\delta_2^{(2)}} = J1^{(2)}(2,2) = v_2^{(2)} \left\{ v_1^{(2)} (-g_{21} \sin(\delta_2^{(2)} - \delta_1^{(2)}) + b_{21} \cos(\delta_2^{(2)} - \delta_1^{(2)})) \right. \\ \left. + v_3^{(2)} (-g_{23} \sin(\delta_2^{(2)} - \delta_3^{(2)}) + b_{23} \cos(\delta_2^{(2)} - \delta_3^{(2)})) \right\}$$

$$\frac{dp_2^{(2)}}{d\delta_2^{(2)}} = J1^{(2)}(2,2) = 1 \left\{ 1(-0 \sin(3.4283 - 0) + 2 \cos(3.4283 - 0)) \right. \\ \left. + 0.9287(-0 \sin(3.4283 - (-3.9368)) + 4 \cos(3.4283 - (-3.9368))) \right\} \\ = 5.6804$$

$$\frac{dp_3^{(2)}}{d\delta_3^{(2)}} = J1^{(2)}(3,3) = v_3^{(2)} \left\{ v_1^{(2)} (-g_{31} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_1^{(2)}) + b_{31} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_1^{(2)})) \right. \\ \left. + v_2^{(2)} (-g_{32} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)}) + b_{32} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)})) \right\}$$

$$\frac{dp_3^{(2)}}{d\delta_3^{(2)}} = J1^{(2)}(3,3) = 1 \left\{ 1(-0 \sin((-3.9368) - 0) + 5 \cos((-3.9368) - 0)) \right. \\ \left. + 1(-0 \sin((-3.9368) - 3.4283) + 4 \cos((-3.9368) - 3.4283)) \right\} \\ = 8.3162$$

olarak elde edilir. Daha sonra ikinci iterasyon için $J1^{(2)}$ alt matrisinin ana köşegen dışı elemanları hesaplanırsa;

$$\frac{dp_i^{(2)}}{d\delta_j^{(2)}} = J1^{(2)}(i,j) = v_i^{(2)} v_j^{(2)} (g_{ij} \sin \delta_{ij}^{(2)} - b_{ij} \cos \delta_{ij}^{(2)})$$

$$\frac{dp_2^{(2)}}{d\delta_3^{(2)}} = J1^{(2)}(2,3) = v_2^{(2)} v_3^{(2)} (g_{23} \sin(\delta_2^{(2)} - \delta_3^{(2)}) - b_{23} \cos(\delta_2^{(2)} - \delta_3^{(2)}))$$

$$\frac{dp_2^{(2)}}{d\delta_3^{(2)}} = J1^{(2)}(2,3) = 1 \times 0.9287(0 \sin(3.4283 - (-3.9368)) - 4 \cos(3.4283 - (-3.9368))) \\ = -3.6840$$

$$\frac{dp_3^{(2)}}{d\delta_2^{(2)}} = J1^{(2)}(3,2) = v_2^{(2)} v_3^{(2)} (g_{32} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)}) - b_{32} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)}))$$

$$\begin{aligned} \frac{dp_3^{(2)}}{d\delta_2^{(2)}} &= J1^{(2)}(3,2) = 1 \times 0.9287 (0 \sin((-3.9368) - 3.4283) - 4 \cos((-3.9368) - 3.4283)) \\ &= -3.6840 \end{aligned}$$

$$J1^{(2)} = \begin{bmatrix} 5.6804 & -3.6840 \\ -3.6840 & 8.3162 \end{bmatrix} \text{ olarak elde edilir.}$$

ikinci iterasyonda $J2^{(2)}$ alt matrisinin ana köşegen elemanları ikinci iterasyon için hesaplanırsa;

$$\frac{dp_i^{(2)}}{d\delta_i^{(2)}} = J2^{(2)}(i,i) = v_i^{(2)} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j^{(2)} (g_{ij} \cos \delta_{ij}^{(2)} + b_{ij} \sin \delta_{ij}^{(2)}) + 2v_i^{(2)} g_{ii} \quad (i=3)$$

$$\frac{dp_3^{(2)}}{d\delta_3^{(2)}} = J2^{(2)}(3,3) = v_3^{(2)} \left\{ v_1^{(2)} (g_{31} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_1^{(2)}) + b_{31} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_1^{(2)})) \right. \\ \left. + v_2^{(2)} (g_{32} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)}) + b_{32} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)})) \right\} + 2v_3^{(2)} g_{33}$$

$$\begin{aligned} \frac{dp_3^{(2)}}{d\delta_3^{(2)}} &= J2^{(2)}(3,3) = 0.9287 \left\{ 1(0 \cos((-3.9368) - 0) + 5 \sin((-3.9368) - 0)) \right. \\ &\quad \left. + 1(0 \cos((-3.9368) - 3.4283) + 4 \sin((-3.9368) - 3.4283)) \right\} \\ &+ 2 \times 0.9287 \times 0 = -0.8560 \end{aligned}$$

elde edilir. Daha sonra ikinci iterasyon için $J2^{(2)}$ alt matrisinin ana köşegen dışı elemanı hesaplanırsa;

$$\frac{dp_i^{(2)}}{d\delta_j^{(2)}} = J2^{(2)}(i,j) = v_i^{(2)} (g_{ij} \cos \delta_{ij}^{(2)} - b_{ij} \sin \delta_{ij}^{(2)})$$

$$\frac{dp_2^{(2)}}{d\delta_3^{(2)}} = J2^{(2)}(2,3) = v_2^{(2)} (g_{23} \cos(\delta_2^{(2)} - \delta_3^{(2)}) - b_{23} \sin(\delta_2^{(2)} - \delta_3^{(2)}))$$

$$\frac{dp_2^{(2)}}{d\delta_3^{(2)}} = J2^{(2)}(2,3) = 1(0 \cos(3.4283 - (-3.9368)) - 4 \sin(3.4283 - (-3.9368))) = 0.512$$

elde edilir ve:

$$J2^{(2)} = \begin{bmatrix} 0.512 \\ -0.8560 \end{bmatrix} \text{ bulunur.}$$

$J3^{(2)}$ alt matrisinin ana köşegen elemanları hesaplanırsa;

$$\frac{dq_i^{(2)}}{d\delta_i^{(2)}} = J3^{(2)}(i,i) = v_i^{(2)} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j^{(2)} (g_{ij} \cos \delta_{ij}^{(2)} + b_{ij} \sin \delta_{ij}^{(2)})$$

$$\frac{dq_3^{(2)}}{d\delta_3^{(2)}} = J3^{(2)}(3,3) = v_3^{(2)} \left\{ v_1^{(2)} (g_{31} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_1^{(2)}) + b_{31} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_1^{(2)})) \right. \\ \left. + v_2^{(2)} (g_{32} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)}) + b_{32} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)})) \right\}$$

$$\frac{dq_3^{(2)}}{d\delta_3^{(2)}} = J3^{(2)}(3,3) = 0.9287 \left\{ 1(0 \cos((-3.9368) - 0) + 5 \sin((-3.9368) - 0)) \right. \\ \left. + 1(0 \cos((-3.9368) - 3.4283) + 4 \sin((-3.9368) - 3.4283)) \right\} \\ = -0.7950$$

elde edilir. İkinci iterasyon için $j3^{(2)}$ alt matrisinin ilk satırının ana köşegen dışı elemanları hesaplanırsa;

$$\frac{dq_i^{(2)}}{d\delta_j^{(2)}} = J3^{(2)}(i,j) = -v_i^{(2)} v_j^{(2)} (g_{ij} \cos(\delta_i^{(2)} - \delta_j^{(2)}) + b_{ij} \sin(\delta_i^{(2)} - \delta_j^{(2)}))$$

$$\frac{dq_3^{(2)}}{d\delta_2^{(2)}} = J3^{(2)}(3,2) = -v_3^{(2)} v_2^{(2)} (g_{32} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)}) + b_{32} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)}))$$

$$\frac{dq_3^{(2)}}{d\delta_2^{(2)}} = J3^{(2)}(3,2) = -0.9287 \times 1(0 \cos((-3.9368) - 3.4283) + 4 \sin((-3.9368) - 3.4283)) \\ = 0.4762$$

elde edilir ve:

$$J3^{(2)} = [0.4762 - 0.7950] \text{ bulunur.}$$

İkinci iterasyon için $J4^{(2)}$ alt matrisinin ana köşegen elemanları ikinci iterasyon için hesaplanırsa;

$$\frac{dq_i^{(2)}}{dv_i^{(2)}} = J4(i,i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j^{(2)} (g_{ij} \sin \delta_{ij}^{(2)} - b_{ij} \cos \delta_{ij}^{(2)}) - 2v_i^{(2)} b_{ii}$$

$$\frac{dq_3^{(2)}}{dv_3^{(2)}} = J4(3,3) = \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(2)} (g_{31} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_1^{(2)}) - b_{31} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_1^{(2)})) \\ + v_2^{(2)} (g_{32} \sin(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)}) - b_{32} \cos(\delta_3^{(2)} - \delta_2^{(2)})) \\ - 2v_3^{(2)} b_{33} \end{array} \right\}$$

$$\begin{aligned} \frac{dq_3^{(2)}}{dv_3^{(2)}} = J4(3,3) &= \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \sin((-3.9368) - 0) - 5 \cos((-3.9368) - 0)) \\ + 1(0 \sin((-3.9804) - 3.4283) - 4 \cos((-3.9368) - 3.4283)) \\ - 2 \times 0.9287 \times (-9) \end{array} \right\} \\ &= 7.7605 \end{aligned}$$

elde edilir. Daha sonra ana köşegen dışı elemanları hesaplanır. Ana köşegen dışı elemanlar aşağıdaki formülle hesaplanır ama ana köşegen dışı eleman olmadığı için sadece formül verilmiştir.

$$\frac{dq_i^{(2)}}{dv_j^{(2)}} = J4^{(2)}(i,j) = v_i^{(2)} (g_{ij} \sin \delta_{ij}^{(2)} - b_{ij} \cos \delta_{ij}^{(2)})$$

$$J4^{(2)} = [7.7605]$$

Yukarıda elde edilen tüm alt matrisler (2.40) eşitliğinde gösterildiği şekliyle jacobian matrisi oluşturacak şekilde birleştirilirse, ikinci iterasyon sonunda;

$$J^{(2)} = \begin{bmatrix} 5.6804 & -3.6840 & 0.51280 \\ -3.6840 & 8.3162 & -0.8560 \\ 0.4762 & -0.7950 & 7.76050 \end{bmatrix} \text{ elde edilir.}$$

$x^{(2)}$ durum değişkeni vektörü oluşturulur;

$$x^{(2)} = \begin{bmatrix} \delta_2^{(2)} \\ \delta_2^{(2)} \\ v_3^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.4283^\circ \\ -3.9368^\circ \\ 0.9287 \end{bmatrix}$$

(2.26) eşitliği kullanılarak ikinci iterasyon adımıdaki yeni durum değişkeni vektörü bulunur;

$$[x^{(3)}] = [x^{(2)}] + [J^{(2)}]^{-1} [y - f(x)^{(2)}]$$

$$[J^{(2)}]^{-1} = \begin{bmatrix} 5.6804 & -3.6840 & 0.5128 \\ -3.6840 & 8.3162 & -0.8560 \\ 0.4762 & -0.7950 & 7.7605 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} 0.2471 & 0.1091 & -0.0043 \\ 0.1091 & 0.1697 & 0.0115 \\ -0.0040 & 0.0107 & 0.1303 \end{bmatrix}$$

$$[x^{(3)}] = \begin{bmatrix} 3.4283^\circ \\ -3.9368^\circ \\ 0.9287 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.2471 & 0.1091 & -0.0043 \\ 0.1091 & 0.1697 & 0.0115 \\ -0.0040 & 0.0107 & 0.1303 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.0042 \\ -0.0050 \\ -0.0453 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.4290 \\ -3.9377 \\ 0.9227 \end{bmatrix}$$

Eşitliğinden $x^{(3)}$ durum değişkeni vektörü elde edilir. Üçüncü iterasyon değerlerini hesaplamak için $x^{(3)}$ durum değişkeni vektöründeki değerler kullanılarak yeniden güçler hesaplanır ve güç dengesine bakılır.

$$p_2^{(3)} = v_2^{(3)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(3)} (g_{21} \cos(\delta_2^{(3)} - \delta_1^{(3)}) + b_{21} \sin(\delta_2^{(3)} - \delta_1^{(3)})) \\ + v_2^{(3)} (g_{22} \cos(\delta_2^{(3)} - \delta_2^{(3)}) + b_{22} \sin(\delta_2^{(3)} - \delta_2^{(3)})) \\ + v_3^{(3)} (g_{23} \cos(\delta_2^{(3)} - \delta_3^{(3)}) + b_{23} \sin(\delta_2^{(3)} - \delta_3^{(3)})) \end{array} \right\}$$

$$p_2^{(3)} = 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \cos(3.4290 - 0) + 2 \sin(3.4290 - 0)) \\ + 1(0 \cos(3.4290 - 3.4290) + (-6) \sin(3.4290 - 3.4290)) \\ + 0.9227(0 \cos(3.4290 - (-3.9377)) + 4 \sin(3.4290 - (-3.9377))) \end{array} \right\} = 0.5928$$

$$p_3^{(3)} = v_3^{(3)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(3)} (g_{31} \cos(\delta_3^{(3)} - \delta_1^{(3)}) + b_{31} \sin(\delta_3^{(3)} - \delta_1^{(3)})) \\ + v_2^{(3)} (g_{32} \cos(\delta_3^{(3)} - \delta_2^{(3)}) + b_{32} \sin(\delta_3^{(3)} - \delta_2^{(3)})) \\ + v_3^{(3)} (g_{33} \cos(\delta_3^{(3)} - \delta_3^{(3)}) + b_{33} \sin(\delta_3^{(3)} - \delta_3^{(3)})) \end{array} \right\}$$

$$p_3^{(3)} = 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \cos((-3.9377) - 0) + 5 \sin((-3.9377) - 0)) \\ + 1(0 \cos((-3.9377) - 3.4290) + 4 \sin((-3.9377) - 3.4290)) \\ + 0.9227(0 \cos((-3.9377) - (-3.9377)) + (-9) \sin((-3.9377) - (-3.9377))) \end{array} \right\}$$

$$= -0.7900$$

elde edilir. Daha sonra (2.8) eşitliği kullanılarak generatör baraları dışında kalan yük baralarının alternatif akım hatlarından çektiği reaktif güç değerleri üçüncü iterasyon için hesaplanırsa;

$$q_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \sin \delta_{ij} - b_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (i=3)$$

$$q_3^{(3)} = v_3^{(3)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(3)} (g_{31} \sin(\delta_3^{(3)} - \delta_1^{(3)}) + b_{31} \cos(\delta_3^{(3)} - \delta_1^{(3)})) \\ + v_2^{(3)} (g_{32} \sin(\delta_3^{(3)} - \delta_2^{(3)}) + b_{32} \cos(\delta_3^{(3)} - \delta_2^{(3)})) \\ + v_3^{(3)} (g_{33} \sin(\delta_3^{(3)} - \delta_3^{(3)}) + b_{33} \cos(\delta_3^{(3)} - \delta_3^{(3)})) \end{array} \right\}$$

$$q_3^{(3)} = 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \sin((-3.9377) - 0) + 5 \cos((-3.9377) - 0)) \\ + 1(0 \sin((-3.9377) - 3.4290) + 4 \cos((-3.9377) - 3.4290)) \\ + 0.9227(0 \sin((-3.9377) - (-3.9377)) + (-9) \cos((-3.9377) - (-3.9377))) \end{array} \right\}$$

$$= -0.6007$$

elde edilir. Bundan sonra baralardaki aktif ve reaktif güç dengesi araştırılır. Aktif güç dengesi aşağıda verilen (2.11) ifadesi yardımıyla üçüncü iterasyon için hesaplanırsa;

$$p_{gi} - (p_i^{(3)} + p_{yi}) = p_i^{(3)} - p_{hati} = g_{pi}^{(3)} = 0 \quad (i=2,3)$$

$$0.6 - (0.5928 + 0) = p_2^{(3)} - p_{hat2} = g_{p2}^{(3)} = 0.0072 \text{ b.}$$

$$0 - (-0.7900 + 0.8) = p_3^{(3)} - p_{hat3} = g_{p3}^{(3)} = -0.0100 \text{ b. bulunur.}$$

Reaktif güç dengesi aşağıda verilen (2.12) ifadesi yardımıyla üçüncü iterasyon için hesaplanırsa;

$$q_{ci} - (q^{(3)}_i + q_{yi}) = g^{(3)}_{qi} = 0 \quad (i=3)$$

$$0 - (-0.6007 + 0.6) = g^{(2)}_{q3} = 0.0007 \text{ b. Buradan;}$$

$$\left| y - f(x^3) \right| = \begin{bmatrix} 0.0072 \\ 0.0100 \\ 0.0007 \end{bmatrix} \leq \varepsilon \quad \varepsilon = 0.01$$

Şartı sağlandığından iterasyon durur. Ve burada kullanmış olduğumuz $x^{(3)}$ durum değişkenindeki değerler ile son güç durumları hesaplanır.

$$p_1^{(3)} = v_1^{(3)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(3)} (g_{11} \cos(\delta_1^{(3)} - \delta_1^{(3)}) + b_{11} \sin(\delta_1^{(3)} - \delta_1^{(3)})) \\ + v_2^{(3)} (g_{12} \cos(\delta_1^{(3)} - \delta_2^{(3)}) + b_{12} \sin(\delta_1^{(3)} - \delta_2^{(3)})) \\ + v_3^{(3)} (g_{13} \cos(\delta_1^{(3)} - \delta_3^{(3)}) + b_{13} \sin(\delta_1^{(3)} - \delta_3^{(3)})) \end{array} \right\}$$

$$p_1^{(3)} = 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \cos(0 - 0) + (-7) \sin(0 - 0)) \\ + 1(0 \cos(0 - 3.4290) + 2 \sin(0 - 3.4290)) \\ + 0.9227(0 \cos(0 - (-3.9377)) + 5 \sin(0 - (-3.9377))) \end{array} \right\} = 0.1972$$

$$q_1^{(3)} = v_1^{(1)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(3)} (g_{11} \sin(\delta_1^{(3)} - \delta_1^{(3)}) - b_{11} \cos(\delta_1^{(3)} - \delta_1^{(3)})) \\ + v_2^{(3)} (g_{12} \sin(\delta_1^{(3)} - \delta_2^{(3)}) - b_{12} \cos(\delta_1^{(3)} - \delta_2^{(3)})) \\ + v_3^{(3)} (g_{13} \sin(\delta_1^{(3)} - \delta_3^{(3)}) - b_{13} \cos(\delta_1^{(3)} - \delta_3^{(3)})) \end{array} \right\}$$

$$q_1^{(3)} = 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \sin(0 - 0) - 5 \cos((0 - 0)) \\ + 1(0 \sin(0 - 3.4290) - 4 \cos(0 - 3.4290)) \\ + 0.9227(0 \sin(0 - (-3.9377)) - (-9) \cos(0 - (-3.9377))) \end{array} \right\} = 0.4013$$

$$q_2^{(3)} = v_2^{(1)} \left\{ \begin{array}{l} v_1^{(3)} (g_{21} \sin(\delta_2^{(3)} - \delta_1^{(3)}) - b_{21} \cos(\delta_2^{(3)} - \delta_1^{(3)})) \\ + v_2^{(3)} (g_{22} \sin(\delta_2^{(3)} - \delta_2^{(3)}) - b_{22} \cos(\delta_2^{(3)} - \delta_2^{(3)})) \\ + v_3^{(3)} (g_{23} \sin(\delta_2^{(3)} - \delta_3^{(3)}) - b_{23} \cos(\delta_2^{(3)} - \delta_3^{(3)})) \end{array} \right\}$$

$$q_2^{(3)} = 1 \left\{ \begin{array}{l} 1(0 \sin(3.4290 - 0) - 5 \cos(3.4290 - 0)) \\ + 1(0 \sin(3.4290 - 3.4290) - 4 \cos(3.4290 - 3.4290)) \\ + 0.9227(0 \sin(3.4290 - (-3.9377)) - (-9) \cos(3.4290 - (-3.9377))) \end{array} \right\} = 0.3435$$

$$P_{gen1} = p_1 + p_{y1} = 0.1972 + 0 = 0.1972$$

$$Q_{gen1} = q_1 + q_{y1} = 0.4013 + 0 = 0.4013$$

$$Q_{gen2} = q_2 + q_{y2} = 0.3435 + 0 = 0.3435$$

2.6. FAST-DECOUPLED (HIZLI AYRIŞIK) YÖNTEMİ İLE YÜK AKIŞI

Büyük boyutlu enerji sistemlerinin izlenmesi ve kontrolü amacıyla ana bilgisayarda sık sık yük akışı hesabı yapılır. Algoritma olarak Newton-Raphson yöntemi tercih edilmişse, sistemin büyümesi jacobian matrisini de oldukça büyütür. Bu yüzden bilgisayar bellek gereksinimi artar ve algoritmanın yakınsaması uzar. Hızlı ayrışık yük akışı algoritmaları bu olumsuzlukları gidermek için geliştirilmiştir.

Yük akışı algoritmasında kullanılan ve (2.40) ifadesiyle verilen jacobian matris içinde, q- δ ve p-v arasındaki zayıf ilişki nedeniyle, hızlı ayrışık yük akışı yaklaşımında J2 ve J3 alt matrisleri ihmal edilir. Böylece algoritma hem hızlanır, hem de bilgisayar bellek gereksinimi azalır. Algoritmanın daha da hızlandırılması için ilave olarak $V_i \approx V_k \approx 1b$. kabul edilerek, $\delta_i \approx \delta_k$ alınabilir. Son kabuller de kullanılırsa J1 ve J4 sabit matris özelliğini kazanır. Bu durumda Newton-Raphson algoritmasında her iterasyonda her iterasyonda jacobian matrisin tekrar hesaplanması gerekmez, dolayısıyla algoritmanın yakınsama hızı oldukça artar. Bu yaklaşımlar, ihmal yapılmayan algoritmaya göre yaklaşık sonuçlar üretirler ama zaman kazanmanın daha önemli olduğu yerlerde bu hatalara göz yumulur (Arifoğlu, 2002).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

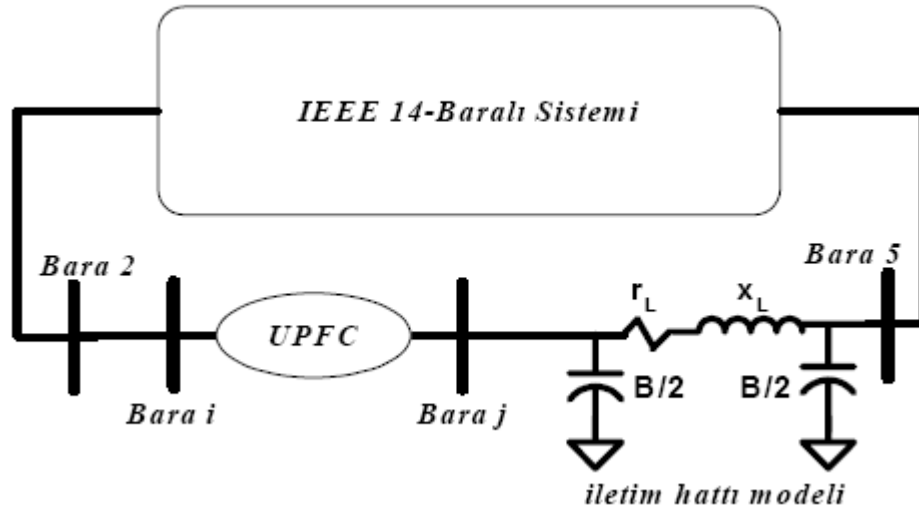
3.1. YÜK AKIŞI PROGRAM VE YAZILIMLARI

Türkiye'deki yük sisteminin işletmesi, sistemin 380 kV transformatör merkezlerini ve 50 MW ın üzerindeki tüm santrallerini kapsayan bir SCADA ve enerji iletim sistemi programı ile yapılmaktadır (Teiaş, 2009). Sistemimizin yük akışı analizinde Matlab ortamında çalışan MatPower ve PSAT yazılımları kullanılacaktır.

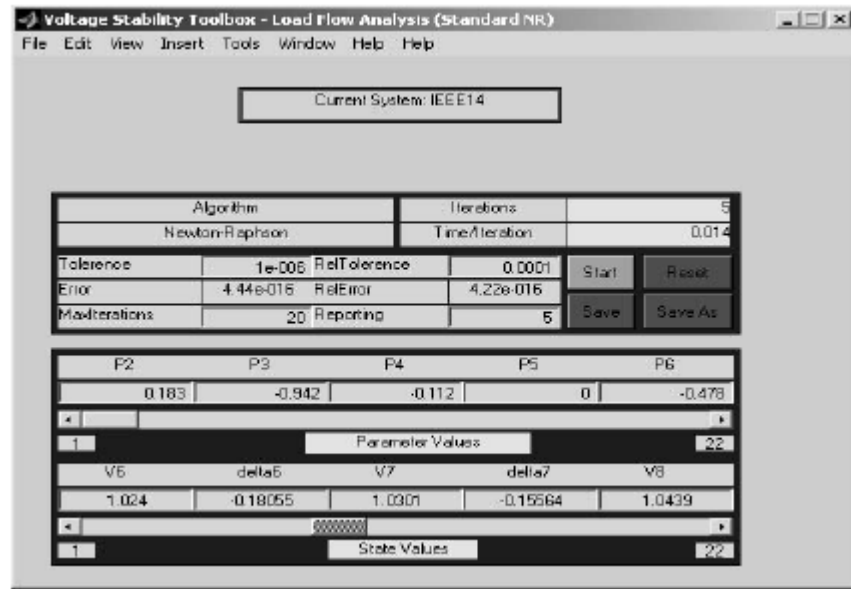
Yük akışı analizi için DIGSILENT, POWERWORLD v.b. türden çok sayıda program ve yazılımlar da bulunmaktadır. Her program ve yazılımın kendine göre birtakım kullanım avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Mesela POWERWORLD programının ücretsiz sürümünde 13 baradan daha fazlasıyla çalışmaya izin verilmemektedir. Çok pahalı ve ithal edilerek kullanılabilen programlara alternatif olarak ülkemizde de kendi yazılım ve programlarımızı geliştirmemiz gerektiği açıktır. Mesela, GYTE' de geliştirilen bir yük akışı analizi programı ile, tek hat diyagramında yük sistemi oluşturulabilmekte, yük akışı analizi yapıldıktan sonra yük akışı sonucu görülebilmekte, tek yük sistemi ile farklı analizler yapılabilmekte, yeni güç sistem elemanları eklenebilmektedir. Program ile diğer yük sistem analizleri de yapılabilmektedir (Gözel ve Hocoğlu, 2004).

Yine yapılan bir çalışmada (Vural ve Tümay, 2003), PSASP isimli programın UPFC (bütünleştirilmiş yük akış denetleyicisi) ile birlikte kullanılarak, çok pratik ve kullanışlı bir yük akışı analizi yapılabilmektedir.

Başka bir çalışmada (Vural ve Tümay, 2003), yakın gelecekte yük akış analizinde ihtiyaç duyulacak olan Gelişmiş Yük Akış Denetleyicisi (GGAD) ile donatılmış örnek bir yük sisteminin (IEEE'nin 14 baralı yük sistemi-Şekil 3.1) aktif ve reaktif güç akış denetimi yapılmıştır. Bu yöntem ile yük akış sonuçları yakınsamakta ve doğruluk değerleri kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır.



Şekil 3.1: GGAD ile yerleştirilmiş IEEE 14 baralı sistemi



Şekil 3.2: Yük akış analizi kullanıcı arayüzü

Kullanıcısına baralardaki aktif/reaktif güç miktarlarını ve Newton-Raphson algoritmasındaki maksimum iterasyon sayısı ile hata toleransı gibi kontrol parametrelerini belirleme imkanını veren, Matlab'da geliştirilmiş programı yük akışı analizinde kullanmak mümkündür. Şekil 3.2'de kullanıcı arayüzü görülen programda reset butonu bara gerilimleri genlik ve faz açısı başlangıç koşullarını 1.0 p.u. ve 0 radyana ayarlamaktadır. Start butonuna basılarak program çalıştırılır ve bara gerilimi

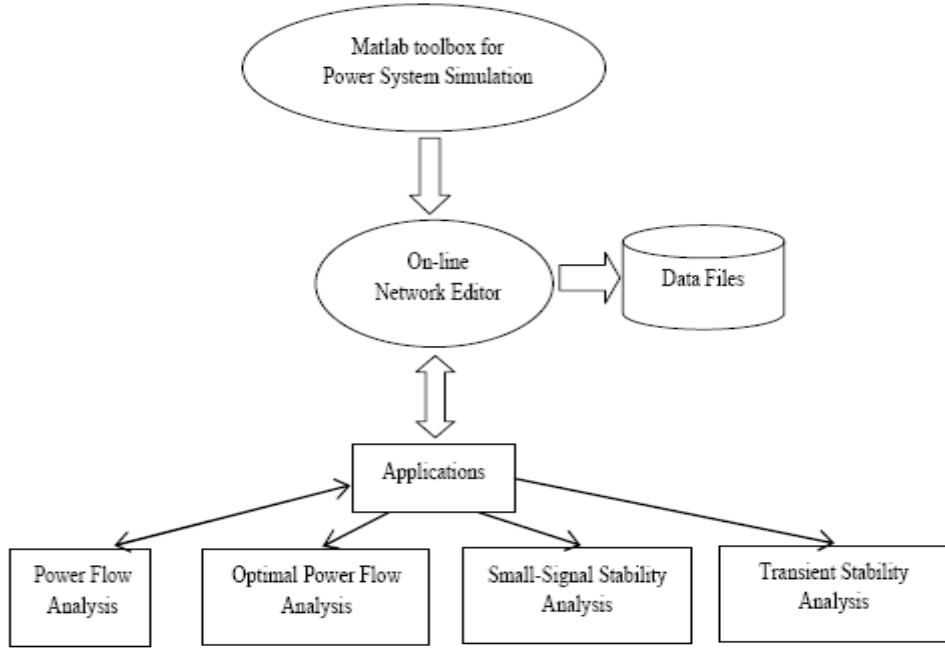
genlik ve faz açısı değerleri arayüzün alt kısmında verilmektedir. Save ya da saveas butonu kullanılarak yük akışı analiz sonuçları Excel dosyası olarak kaydedilebilir (Ayasun, 2005).

POWERWORLD yük akışı analiz programının AC yük akışında eğitim ve araştırma için çok kullanışlı olduğu akademik çalışmalarla teyit edilmiştir. Bu yazılım sayesinde, temel yük akışı, otomatik gerilim kontrolü, aktif ve reaktif güç kayıpları, hat ve transformatör yüklenmesi, güç işlemleri, generatör kontrol bölgesi ve çok bölgeli yük akışı modülleri ile güç işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Bu modüllerin bazılarının gerçekleştirilebildiği EDSA, PAT, PST, SPS, EST, Cyme, EMTP, DIgSILENT, ETAP, EASYPOWER, COPERITE gibi yazılımlar sayılabilecek örneklerdendir. Bunlardan EMTP isimli yazılım ile sadece temel yük akışı yapılabilen, DIgSILENT ve EASYPOWER yazılımları ile temel yük akışının yanı sıra otomatik gerilim kontrolü de yapılabilir. Cyme isimli yazılım ile temel yük akışı, otomatik gerilim kontrolü, aktif ve reaktif güç kayıpları modülleri bulunmaktadır. COPERITE ile temel yük akışı ile hat ve transformatör yüklenmelerine dair modüller vardır. ETAP ve EDSA isimli yazılımlar POWERWORLD'den sonra sayılabilecek en kullanışlı programlardır.

EDSA ile temel yük akışı, otomatik gerilim kontrolü, aktif ve reaktif güç kayıpları, hat ve transformatör yüklenmelerine dair modüller, ETAP'da ise temel yük akışı, aktif ve reaktif güç kayıpları, hat ve transformatör yüklenmeleri, generatör kontrol bölgesi ve çok bölgeli yük akışı modülleri bulunmaktadır (İbrahim, 2002).

PAT ile temel yük akışı, küçük sinyal analizi, zaman ayarlı benzetim; PST ile bunların yanı sıra sürekli yük akışı yapılabilir. SPS ve EST ile de aynı analizler gerçekleştirilebilmektedir (Milano, 2005).

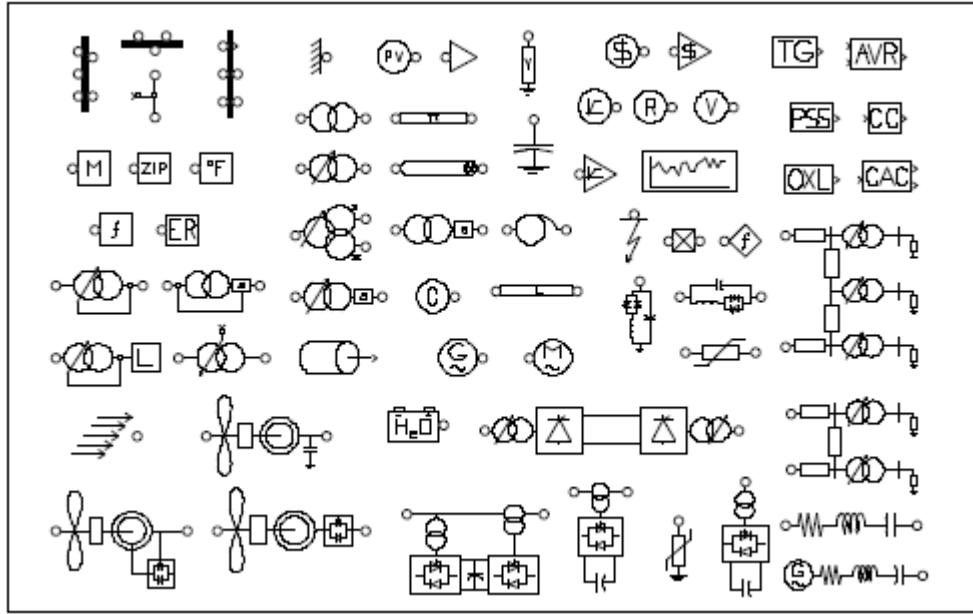
MatPower, PSAT, VST gibi Matlab araçlarının yük akışı analizindeki genel biçimlerini de Şekil 3.3'de görebiliriz (Cartina ve diğ., 2007).



Şekil 3.3: Yük sistem analizinde Matlab araçlarının genel biçimi

3.1.1. PSAT Programı Hakkında Bilgiler

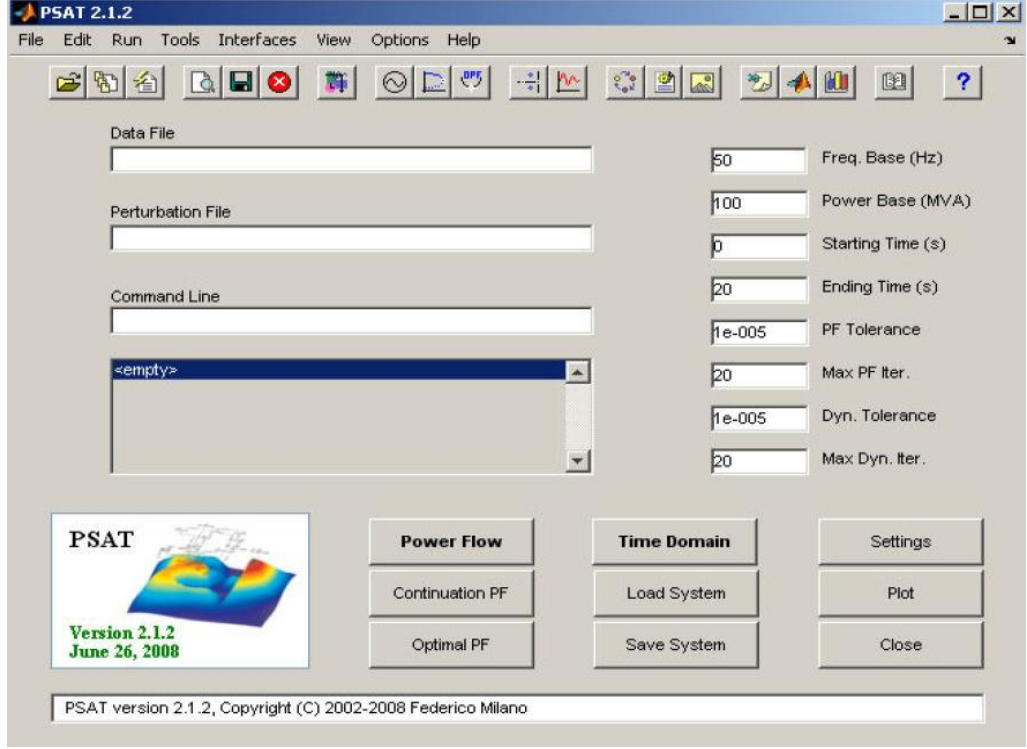
PSAT (Power System Analysis Tool) yük akışı analiz programı, yük akışı, sürekli yük akışı, en uygun yük akışı, küçük işaret kararlılık analizi gibi işlemleri yapmamıza imkan verir. Bunun için birkaç değişik statik modelleme yapılabilir. Modellerde, geleneksel yüklerin yanı sıra, senkron ve asenkron makineler, regülatörler ve FACTS kullanılabilir. PSAT kapsamında Newton-Raphson yöntemi, Fast-Decoupled yük akışı ve dağıtılmış bir salınım barası modeli ile birlikte yük akışı bulunmaktadır. İkincisi Matlab temelli güç sistem yazılımlarında bir yeniliktir. Yine PSAT’da sürekli yük akışı da güç sistem analizinde Matlab temelli kullanılabilen bir yeniliktir (Milano, 2005). PSAT 2.1.2 programı komut satırından girilen komutlarla kullanılabilir. Program GNU Octave uyumludur (Milano, 2005).



Şekil 3.4: PSAT programının simulink kütüphanesi

Tüm işlemler grafik arabirimi ile görsel bir şekilde uygulanabilirken ayrıca Şekil 3.4’deki simulink tabanlı kütüphane uygulamaları da sistem tasarımı için kolay kullanım imkanı sağlamaktadır. Program ayrıca zaman domen benzetimi, fazör ölçüm birimi yerleşimi, FACTS modelleri, rüzgar türbin modelleri, bazı formatlardaki verilerin çevrimi, program sonuç raporlaması, GAMS ve UWPFLOW programları ile arayüz sunma gibi işlemleri yapabilir. Newton-Raphson iterasyonu kullanılan program doğru ve tam bir yük akışı analizi için statik yüklerin yanında senkron makine yükleri ve kontrol sistemlerinin, FACTS cihazlarının, rüzgar türbinlerinin de matematiksel olarak programa girilmesine imkan verir. Kullanım kısıtlamasının olmaması ve açık kaynak kodlarına erişim imkanının olması önemli avantajlarıdır (Pamuk, 2009).

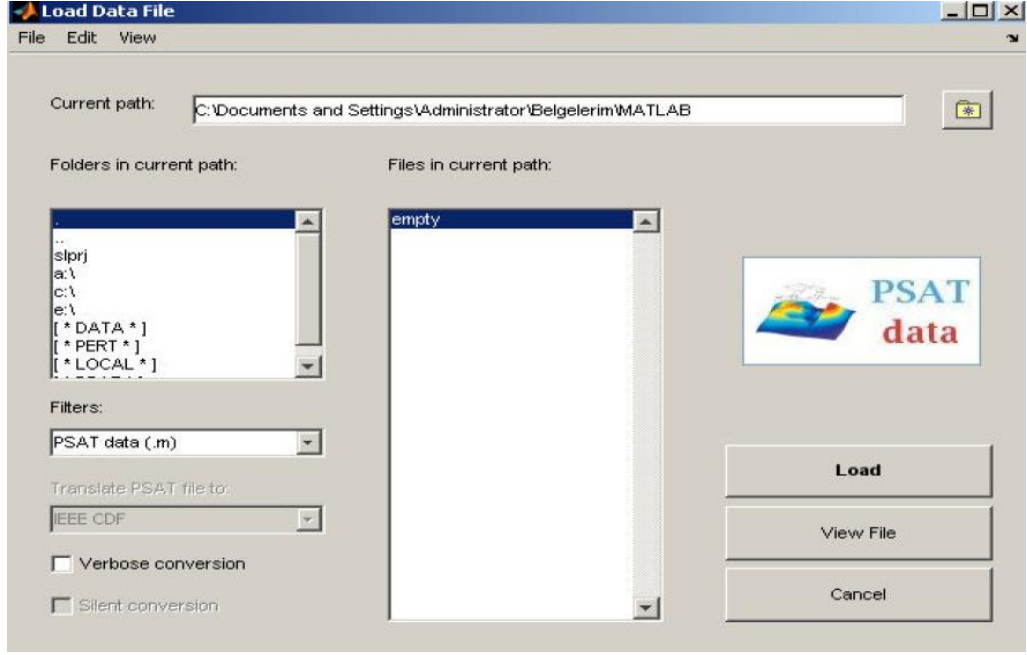
PSAT programı, Matlab programı altında çalışmaktadır. Bunun için öncelikle PSAT kurulum dosyasının Matlab klasörü içine kaydedilmesi gerekir. Sonrasında Matlab programı açılır ve ilk kurulumda bir kereye mahsus olarak PSAT için Matlab içerisinde bir yol tanımlanır. Sonraki kullanımlarda yol gösterimine ihtiyaç yoktur.



Şekil 3.5: PSAT programının ana grafik yüzü

Kullanım için ilk önce Matlab programı açılır. Sonrasında aşama aşama şu yol izlenir:

- Matlab'ın Command Window sayfasında 'psat' yazılıp enter tuşuna basıldığında PSAT (2.1.2)'in ana ekranı ortaya çıkacaktır (Şekil 3.5).
- Analizini yapacağımız sistemin verilerinin kayıtlı olduğu veri dosyasını açmak için 'data file' üzerine çift tıklanır veya 'open data file' simgesine tıklanır.
- Açılan 'Load Data File' sayfasında 'Current path' bölümünden analizi yapılacak dosya seçilir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: PSAT programının veri formatı değiştirme arayüzü

- Seçilen dosya 'Load' butonuna basılarak yüklenir.
- Ana ekran üzerinde 'Power Flow' butonuna basılır ve böylece sistemin yük akışı analizi gerçekleştirilmiş olur.
- Yük analizi sonuçlarını görmek için 'Static Report' butonuna basılır. Açılan ekranda bara isimleri, bara gerilimleri, bara açıları, generatör ve yüklerin aktif ve reaktif güçleri görülebilir.
- 'Static Report' ekranında 'Report' butonuna basılarak yazılı olarak ayrıntılı rapor çıkarılabilir.

3.1.1.1. PSAT Programındaki Veriler

Transformatörlerin kısa hatlar gibi tanımlandığı sistemimizin yük akışı analizi için PSAT 2.1.2 versiyonunda gerekli veriler şöyledir (Milano, 2010):

Bara verileri:

- Bara numarası
- Bara gerilimi
- Bara gerilim genliğinin tahmini başlangıç değeri (p.u.)
- Faz geriliminin tahmini başlangıç değeri (radyan)
- Bölge numarası

Yük verileri:

- Bara numarası
- Bara gücü (MVA)
- Bara gerilimi (kV)
- Aktif yük (p.u.)
- Reaktif yük (p.u.)
- Maksimum gerilim (p.u.)
- Minimum gerilim (p.u.)
- Bağlantı durumu

Generatör verileri:

- Bara numarası
- Generatör gücü (MVA)
- Bara gerilimi (kV)
- Aktif güç (p.u.)
- Gerilim büyüklüğü (p.u.)
- Maksimum reaktif güç (p.u.)
- Minimum reaktif güç (p.u.)
- Maksimum gerilim genliği (p.u.)
- Minimum gerilim genliği (p.u.)
- Kayıp katılma katsayısı

Salınım (Slack) barası verileri:

- Bara numarası
- Bara gücü (MVA)
- Bara gerilimi (kV)
- Gerilim büyüklüğü (p.u.)
- Referans açısı (radyan)
- Maksimum reaktif güç (p.u.)
- Minimum reaktif güç (p.u.)
- Maksimum gerilim genliği (p.u.)

- Minimum gerilim genliği (p.u.)
- Tahmini aktif güç (p.u.)
- Kayıp katılma katsayısı

Hat verileri:

- Baradan baraya
- Hat gücü (MVA)
- Bara gerilimi (kV)
- Frekansı
- Hattın rezistansı, reaktansı ve suseptansı (p.u.)
- Hattın maksimum gerilim genliği (p.u.)
- Hattın minimum gerilim genliği (p.u.)

3.1.2. MatPower Programı Hakkında Bilgiler

Sistemimizin yük akışı analizi için MatPower programının son sürümü olan 4.0b4 versiyonunu kullandık. Program ilgili siteden indirilmiştir (2010, www.pserc.cornell).

MatPower programının kullanımı için asgari gereksinim Matlab'ın 6.5 versiyonu veya GNU Octave'ın 3.2 versiyonudur. Program zip uzantılı olarak indirilmektedir.

MatPower programında da PSAT'daki veriler kullanılmaktadır. Kurulum için dosyayı istenilen bir konuma açmak yeterlidir. Sonrasında Matlab veya GNU Octave altında direkt olarak kullanılabilir (Zimmerman, 2010). Sistemimiz için Matlab (7.7.0) altında çalışılmıştır.

Sisteme ait verilerin girildiği ve kaydedildiği dosyayı çalıştırmak için sırasıyla şu işlemler gerçekleştirilmelidir:

- MatPower klasörü içindeki 'runpf' dosyası açılır.
- Dosya içindeki yazılımın 'casedata' kısmının karşılığına sistemimize ait dosyanın adı yazılır.
- 'runpf' dosyası kayıt edilir.

- ‘runpf’ dosyasının ‘run’ tuşuna basıldığında verileri girilmiş sistemin yük akışı analizi gerçekleştirilmiş olur.
- Yük akışı sonuçları Matlab’ın ‘Command Window’ sayfasında görülecektir.

4. BULGULAR

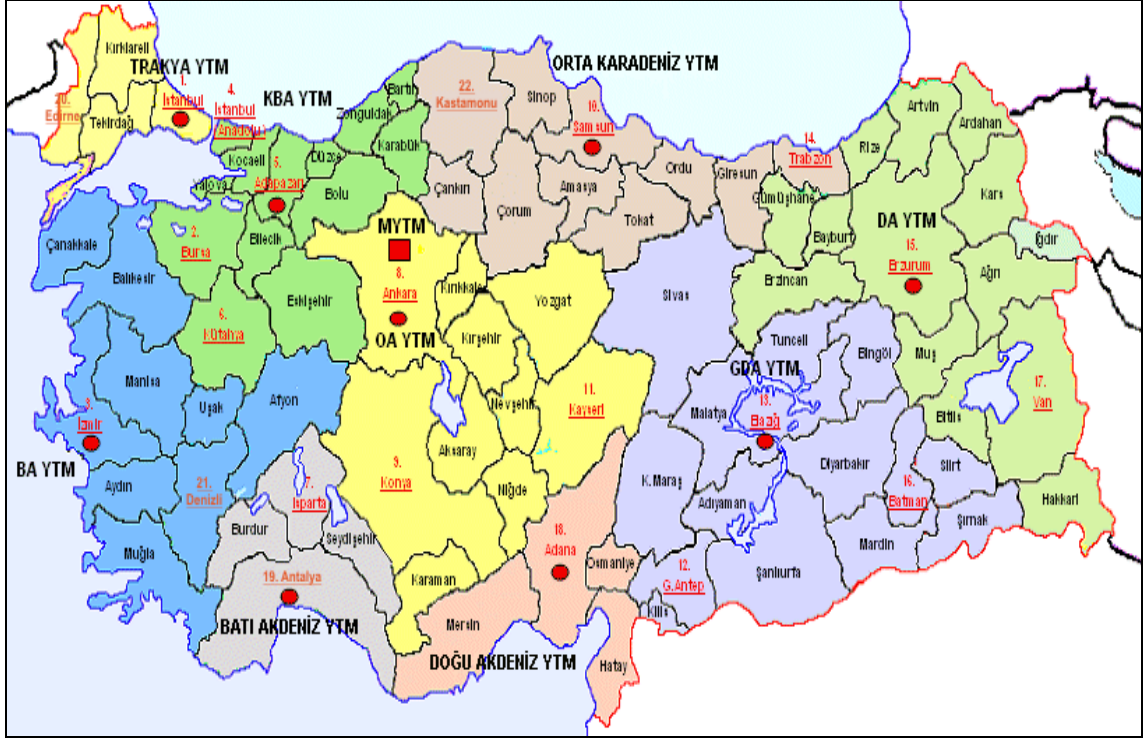
4.1. TRAKYA BÖLGESİ VERİLERİ

Bu bölümde Trakya bölgesi enerji iletim hattına ait veriler kullanılarak, farklı yazılımlar ile yük akışı analizi gerçekleştirilecek ve sonuçları incelenecektir. Bunun için gerekli olan veriler TEİAŞ İletim Planlama ve Koordinasyon Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Trakya iletim ve dağıtım sistemi, Türkiye'nin Avrupa yakasını tamamıyla kapsayan bölgede bulunmaktadır. Sistemde 380 kV seviyesinde yaklaşık 1200 km, 154 kV seviyesinde yaklaşık 1600 km iletim hattı bulunmaktadır (Uslu, 2008). Transformator merkezleri, bu merkezler arası iletim hatları, yer altı kabloları, generatör, indirici yükseltici transformator gibi elemanlar da bulunmaktadır.

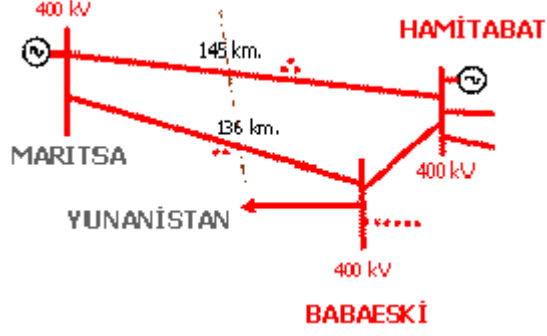
Şekil 4.1'de de Trakya YTM adlı sistemin ani puvantının maksimum olduğu 5 Ağustos 2009 tarihindeki ani puvant gücü 4738 MW, üretimi 88000 MWh, tüketimi de 88700 MWh'dir. Kış döneminde ani puvant gücü 5000 MW ve tüketimi de 96000 MWh'e kadar çıkabilmektedir. Sistemin tüketiminin minimum olduğu günde ani puvant gücü 2080 MW, üretimi 35200 MWh, tüketimi de 44000 MWh'dir. (2009, www.teias.gov.tr).

Sistemde 5 Ağustos 2009 tarihi itibariyle toplam 97 adet bara bulunmaktadır. Bunlardan 81 tanesi 154 kV değerinde, 16 tanesi 380 kV değerindedir. Aktif güç değeri en yüksek olan 110210 numaralı bara salınım barası olarak seçilmiştir. Sistemde 23 adet üretim barası, 74 adet yük barası bulunmaktadır. Üretim baralarından 4 tanesinde aynı zamanda yük de bulunmaktadır. İletim hatları üzerinde 21 adet transformator bulunmaktadır. 2006 yılına ait Trakya bölgesinin iletim hattı sistemi Şekil 4.2'deki gibidir (Uslu, 2008). 2006 yılı itibariyle Türkiye geneli 380 kV'luk enter-konnekte yük sisteminin dağılımı Şekil 4.3'deki gibidir (Kurban ve Filik, 2006).



Şekil 4.1: Türkiye yük tevzi merkezleri

Sistemdeki bazı üretim birimleri son iki yıl içinde işletmeye alınmıştır. Çorlu'da 5670 MW gücündeki Kasar Dual, 49530 MW (ilave) gücündeki Zorlu Enerji, 26000 MW gücündeki Şahinler Enerji, 96780 MW gücündeki Modern Enerji doğalgaz santrallerini örnek olarak verebiliriz. Ayrıca rüzgar enerji santrali olarak da Şarköy'de kurulan 28800 MW gücündeki Alize Enerji'yi sayabiliriz. B.Karıştıran'daki 5000 MW gücündeki Bey Enerji gibi bazı santraller de sistemden çıkarılmıştır.



Şekil 4.4: Bulgaristan enterkonneksiyonu tek hat şeması

Trakya bölgesine ait enter-konnekte iletim sisteminin tek hat şemaları iki parça halinde Şekil 4.2 ve 4.3'de verilmiştir. Burada Şekil 4.4'de de bölgesel olarak gösterilen Bulgaristan hattı Avrupa Elektrik Sistemi ile (ENTSO-E) senkron paralel çalışmaktadır. Türkiye Elektrik Sistemi'nin de ENTSO-E sistemine senkron paralel bağlanması konusundaki çalışmalar sürmektedir. Türkiye'nin bağlantısının gerçekleşmesine kadar Bulgaristan ile enerji alış-verişi hangi yöntemle olursa olsun ENTSO-E yönetiminin müsaadesi ile mümkündür (Teiaş, 2009).

Çizelge 4.1'de Trakya enerji iletim hattının 11. ve 12. bölgelerine (Şekil 4.5-4.6) ait baraların isimleri ve numaraları verilmiştir.

Çizelge 4.1: Trakya bölgesi bara isimleri ve numaraları

TRAKYA BÖLGESİ BARA İSTASYONLARI					
Bara No	Bara Gerilimi	Bara Adı	Bara No	Bara Gerilimi	Bara Adı
101	380 kV	BEYKOZ-ESDEG	113621	154 kV	DELTA-ENJ
102	380 kV	UMRANI-ESDEG	113721	154 kV	MARMARA-PMK
103	380 kV	PASAKO-ESDEG	120021	154 kV	AMBARLIDG-A
104	380 kV	ADA-2DGESDEG	120022	154 kV	AMBARLIDG-B
110110	380 kV	4UNIMAR	120023	154 kV	AMBARLIDG-T
110210	380 kV	4HAMITABAT	120121	154 kV	AMBARLI-TM-A
110310	380 kV	4BABAESKI	120221	154 kV	AMBARLI-FO
110410	380 kV	4K.CELIK	120321	154 kV	ALIBEYKOY-A
120010	380 kV	4AMBARLI	120322	154 kV	ALIBEYKOY-B
120310	380 kV	4ALIBEYKOY	120421	154 kV	ATISALANI-A
120410	380 kV	4ATISALANI	120422	154 kV	ATISALANI-B
120510	380 kV	4DAVUTPASA	120521	154 kV	DAVUTPASA-A
120610	380 kV	4KITELLI	120522	154 kV	DAVUTPASA-B
120710	380 kV	4HABIBLER	120621	154 kV	IKITELLI-A
120810	380 kV	4YILDIZTEPE	120622	154 kV	IKITELLI-B
120910	380 kV	4ZEKERIYAKOY	120721	154 kV	HABIBLER-A
110221	154 kV	HAMITABAT-A	120821	154 kV	YILDIZTEPE-A
110321	154 kV	BABAESKI	120822	154 kV	YILDIZTEPE-B
110521	154 kV	TRAKYA-ELK-A	120921	154 kV	ZEKERIYAKY-A
110621	154 kV	BOTASME	121021	154 kV	SULTANMRAT-A
110721	154 kV	B.CEKMECE	121121	154 kV	SAGMALCLAR-A
110821	154 kV	B.KARISTIRAN	121221	154 kV	TOPKAPI-A
110921	154 kV	CERKEZKOY	121222	154 kV	TOPKAPI-B
111021	154 kV	CORLU	121321	154 kV	BAGCILAR-A
111121	154 kV	TEKIRDAG	121322	154 kV	BAGCILAR-B
111221	154 kV	LULEBURGAZ	121421	154 kV	SILAHTAR-UC
111321	154 kV	ULAS-A	121521	154 kV	YENIBOSNA
111421	154 kV	TEGESAN	121621	154 kV	VELIEFENDI-A
111521	154 kV	KIYIKOY	121622	154 kV	VELIEFENDI-B
111621	154 kV	AKCANSAN-A	121821	154 kV	ETILER
111721	154 kV	SILIVRI-A	121921	154 kV	LEVENT-A
111821	154 kV	UZUNKOPRU	122021	154 kV	SISLI-A
111921	154 kV	HAVSA	122121	154 kV	HADIMKOY
112021	154 kV	PINARHISAR	122221	154 kV	B.EVLER-A
112121	154 kV	MALKARA	122222	154 kV	B.EVLER-B
112221	154 kV	KESAN-A	122321	154 kV	B.DUZU-A
112321	154 kV	GELIBOLU	122322	154 kV	B.DUZU-B
112421	154 kV	KUMLIMANI	122421	154 kV	AKSARAY-A
112521	154 kV	EDIRNE	122422	154 kV	AKSARAY-B
112621	154 kV	EDIRNECİM	122521	154 kV	MASLAK-A
112721	154 kV	KIRKLARELI	122522	154 kV	MASLAK-B
112821	154 kV	ZORLUENERJ-A	122621	154 kV	TASOLUK-A
112921	154 kV	K.ELI-DG-A	122721	154 kV	BAHCESEHIR-A
113021	154 kV	BURGAZ-RES-A	122821	154 kV	ESENYURT-A
113121	154 kV	CAN-ENJ-A	122921	154 kV	KASIMPASA-A
113221	154 kV	C.KOY-OSB-A	123021	154 kV	KUCUKKOY
113321	154 kV	MODERN-ENJ-A	123121	154 kV	ALTINTEPE-A
113421	154 kV	TRACIM	123122	154 kV	ALTINTEPE-B
113521	154 kV	CATALCA-RES			

Çizelge 4.2: Trakya bölgesi enerji iletim hatları verileri

TRAKYA BÖLGESİ ENERJİ İLETİM HATTI VERİLERİ				
Baradan Baraya		R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)
101	120310	3.62000E-4	4.60500E-3	0.15628
102	120310	6.20000E-4	7.38400E-3	0.22590
103	120910	4.01000E-4	5.85700E-3	0.20184
104	120710	2.31500E-3	2.90550E-2	0.97087
110110	110210	1.20000E-3	1.43100E-2	0.43791
110110	120610	2.08000E-3	1.92200E-2	0.42687
110110	120710	1.36000E-3	1.62300E-2	0.49665
110210	110310	6.10000E-4	5.68000E-3	0.12605
110210	110410	2.26000E-3	2.08900E-2	0.46402
110210	120310	2.44000E-3	2.80800E-2	0.92258
110221	110321	1.39200E-2	4.31900E-2	0.01586
110221	111221	2.47000E-3	1.43800E-2	0.00563
110221	111321	9.91000E-3	8.31400E-2	0.02757
110221	113621	2.19130E-2	7.09290E-2	0.02246
110321	111821	2.39000E-2	7.66600E-2	0.02627
110321	111921	1.75000E-2	5.61300E-2	0.01924
110321	112021	2.23300E-2	7.16300E-2	0.02455
110521	110621	1.50000E-4	8.50000E-4	0.00033
110521	110921	7.41000E-3	6.21500E-2	0.02061
110521	111421	7.85000E-3	3.68400E-2	0.01578
110521	111721	1.15600E-2	5.42400E-2	0.02323
110621	110721	2.36700E-2	1.11050E-1	0.04757
110621	111421	7.68000E-3	3.60500E-2	0.01544
110721	111621	1.14000E-3	3.39000E-3	0.00134
110721	111621	1.14000E-3	3.39000E-3	0.00134
110721	113521	6.67700E-3	3.18290E-2	0.01371
110721	120622	1.57800E-2	7.40600E-2	0.03172
110721	120622	1.57800E-2	7.40600E-2	0.03172
110821	110921	2.43500E-2	7.81100E-2	0.02677
110821	112821	2.90000E-4	1.75000E-3	0.00079
110821	113121	7.88200E-3	2.53120E-2	0.00872
110821	113621	1.00900E-3	7.95200E-3	0.00379
110921	111021	1.05800E-2	3.39200E-2	0.01163
110921	111521	1.66900E-2	8.27500E-2	0.03171
110921	113221	2.20000E-5	1.57000E-4	0.00008
111021	111321	3.53000E-3	2.96000E-2	0.00981
111021	111421	5.68000E-3	2.81500E-2	0.01079
111021	111421	9.40000E-3	3.01400E-2	0.01033
111021	113721	5.55700E-3	1.80320E-2	0.00625
111121	111421	1.11500E-2	3.57700E-2	0.01226
111121	112121	2.84700E-2	9.13200E-2	0.03130
111221	112821	7.76000E-3	4.76000E-2	0.02159
111321	113321	1.65100E-3	1.01240E-2	0.00459
111321	113321	1.65100E-3	1.01240E-2	0.00459
111721	113521	5.74700E-3	2.73980E-2	0.01180
111821	112121	1.68500E-2	8.35000E-2	0.03200
111921	112521	1.35600E-2	4.35100E-2	0.01491
112021	112721	1.56200E-2	5.00900E-2	0.01717
112021	113421	3.50100E-3	2.76030E-2	0.01316
112121	112221	7.98000E-3	4.63200E-2	0.01815
112121	112321	3.44400E-2	1.10480E-1	0.03786
112321	113021	1.52400E-3	6.75400E-3	0.00274

112421	113021	2.68590E-2	8.81140E-2	0.03078
112521	112621	6.33000E-3	3.13700E-2	0.01202
112621	112721	1.60500E-2	7.95700E-2	0.03049
112721	112921	3.47000E-3	1.62700E-2	0.00697
113121	113721	2.01000E-3	7.48600E-3	0.00281
120010	120610	5.30000E-4	4.86000E-3	0.11113
120021	120023	1.00000E-5	1.00000E-4	0.00010
120022	120622	4.42000E-3	2.07200E-2	0.00891
120022	120622	4.42000E-3	2.07200E-2	0.00891
120022	122322	2.01000E-3	1.44700E-2	0.00656
120022	122322	2.01000E-3	1.44700E-2	0.00656
120023	120221	1.25000E-4	9.79000E-4	0.00083
120023	120221	1.25000E-4	9.79000E-4	0.00083
120121	120221	2.89000E-4	1.37700E-3	0.00059
120121	120221	2.89000E-4	1.37700E-3	0.00059
120221	120621	5.40000E-3	2.52800E-2	0.01087
120221	120621	5.40000E-3	2.52800E-2	0.01087
120221	121021	3.05100E-3	1.45440E-2	0.00626
120221	121021	3.05100E-3	1.45440E-2	0.00626
120310	120410	3.50000E-4	4.20000E-3	0.12845
120310	120810	1.20000E-4	1.06000E-3	0.02393
120321	120322	0.00000E+0	1.00000E-4	0.00000
120321	120821	1.54000E-3	7.23000E-3	0.00311
120321	120821	1.54000E-3	7.23000E-3	0.00311
120321	121821	4.89000E-4	4.95900E-3	0.16689
120321	122522	1.32000E-3	9.50000E-3	0.00431
120321	122522	1.32000E-3	9.50000E-3	0.00431
120410	120610	2.20000E-4	2.67000E-3	0.08174
120421	120621	2.74000E-3	1.28400E-2	0.00550
120421	120621	2.74000E-3	1.28400E-2	0.00550
120421	121322	2.93000E-4	2.97500E-3	0.10014
120422	121121	6.90000E-4	3.25000E-3	0.00139
120422	121121	6.90000E-4	3.25000E-3	0.00139
120510	120610	1.40000E-4	1.60200E-3	1.29743
120510	120810	1.00000E-4	1.14600E-3	0.92816
120521	121621	3.50000E-4	3.72000E-3	0.06787
120522	121021	3.73800E-3	1.96930E-2	0.12587
120522	121221	3.00000E-4	3.20000E-3	0.05838
120522	121221	1.82000E-3	5.43000E-3	0.00216
120522	121322	3.48000E-4	3.53300E-3	0.11891
120610	120710	4.20000E-4	4.96000E-3	0.15181
120621	121021	3.88200E-3	1.85060E-2	0.00797
120621	121322	1.95000E-3	9.13000E-3	0.00393
120622	121521	3.07000E-3	1.44000E-2	0.00617
120622	121521	3.07000E-3	1.44000E-2	0.00617
120710	120910	2.20000E-4	3.64000E-3	0.12702
120721	122121	3.71000E-3	2.90700E-2	0.02475
120721	122121	3.71000E-3	2.90700E-2	0.02475
120721	122621	3.30000E-3	2.36200E-2	0.01084
120721	122621	3.30000E-3	2.36200E-2	0.01084
120721	122721	3.30000E-3	2.49700E-2	0.01024
120721	122721	3.30000E-3	2.49700E-2	0.01024
120721	123021	1.92000E-3	1.37400E-2	0.00630
120721	123021	1.92000E-3	1.37400E-2	0.00630
120821	121321	3.74500E-3	1.97550E-2	0.12796
120821	122021	4.20000E-4	4.53000E-3	0.08247
120821	122921	2.26000E-4	2.29300E-3	0.07719
120821	123122	3.94000E-4	4.23100E-3	0.07708
120821	120822	0.00000E+0	1.00000E-5	0.00001

120822	121421	3.40000E-4	1.09000E-3	0.00037
120921	122521	2.64000E-3	1.90000E-2	0.00862
120921	122521	2.64000E-3	1.90000E-2	0.00862
121121	121222	3.10000E-4	3.28000E-3	0.59990
121221	122421	3.40000E-4	1.53000E-3	0.03228
121321	122222	2.50000E-4	2.64000E-3	0.04817
121521	121622	7.30000E-4	7.85000E-2	0.01430
121622	122422	5.20000E-4	5.61000E-3	0.10216
121821	121921	2.70000E-4	2.88000E-3	0.05254
121821	122021	3.50000E-4	3.72000E-3	0.06787
121921	122521	2.20000E-4	2.40000E-3	0.04379
122221	122222	0.00000E+0	1.00000E-5	0.00001
122321	122721	1.57000E-3	1.18300E-2	0.00485
122321	122821	1.61000E-3	1.21600E-2	0.00499
122421	122422	0.00000E+0	1.00000E-5	0.00001
122521	122522	0.00000E+0	1.00000E-5	0.00001
122721	122821	7.30000E-4	5.51000E-3	0.00226
122921	123121	9.80000E-5	1.04900E-3	0.01911
123121	123122	0.00000E+0	1.00000E-5	0.00000

Çizelge 4.2’de Trakya bölgesi enerji iletim hattındaki baralar arası omik direnç (R), endüktif direnç (X) ve süseptans (B) değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.3: Trakya bölgesi enerji iletim hatları transformatör verileri

TRAKYA BÖLGESİ ENERJİ İLETİM HATTI TRANSFORMATÖR VERİLERİ					
Baradan Baraya		R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)	Oran
110221	110210	1.36000E-3	4.72800E-2	0	1
110321	110310	4.20000E-3	7.33333E-2	0	0.98701
110321	110310	4.20000E-3	7.33333E-2	0	0.98701
120322	120310	1.36000E-3	4.79200E-2	0	1.02597
120321	120310	1.13333E-3	3.78533E-2	0	1.02597
120321	120310	1.13333E-3	3.78533E-2	0	1.02597
120821	120810	1.36000E-3	4.86800E-2	0	1.01299
120821	120810	1.36000E-3	4.86800E-2	0	1.01299
120422	120410	1.36000E-3	4.86400E-2	0	1
120422	120410	1.36000E-3	4.88000E-2	0	1
120621	120610	1.36000E-3	4.74000E-2	0	1.01299
120621	120610	1.36000E-3	4.88800E-2	0	1.01299
120721	120710	1.36000E-3	4.80000E-2	0	1
120721	120710	1.36000E-3	4.80000E-2	0	1
120721	120710	1.36000E-3	4.80000E-2	0	1
120622	120610	1.36000E-3	4.74000E-2	0	1.01299
120622	120610	1.36000E-3	4.88800E-2	0	1.01299
120521	120510	1.36000E-3	4.80000E-2	0	1
120921	120910	1.36000E-3	4.80000E-2	0	1
120021	120010	4.20000E-3	7.16667E-2	0	1
120021	120010	4.20000E-3	7.16667E-2	0	1

Çizelge 4.3’de sistemdeki transformatörlerin R, X, B değerleri ile oranları, Çizelge 4.4’de sistemdeki generatör baralarının bağlı oldukları baralar, aktif güç, gerilim, maksimum aktif güç ve minimum reaktif güç değerleri ile salınım barasının bağlı olduğu bara, açısı, gerilimi, maksimum aktif gücü ve minimum reaktif gücü verilmiştir.

Çizelge 4.4: Trakya bölgesi generatör ve salınım barası verileri

TRAKYA BÖLGESİ ENERJİ İLETİM HATTI GENERATÖR VERİLERİ				
Bara Numarası	Aktif Gücü (MW)	Gerilimi (kV)	Maks. Aktif Gücü (p.u.)	Min. Reaktif Gücü (p.u.)
101	321.4	380	450	-350
102	55	380	150	50
103	80	380	180	-300
104	456.5	380	550	50
110110	441.0	380	550	75
110221	125.0	154	225	-25
110410	55.0	380	150	-25
110521	419.0	154	525	50
110821	34.8	154	125	-25
110921	54.0	154	150	-60
111021	14.0	154	100	-50
112821	73.0	154	175	-25
112921	78.0	154	175	-50
113121	22.0	154	100	-25
113221	44.0	154	150	0
113321	24.0	154	125	-50
113621	48.0	154	150	-25
113721	15.0	154	100	-50
120010	387.0	380	500	200
120021	361.0	154	450	-100
120022	400.0	154	500	0
122821	148.0	154	250	25
TRAKYA BÖLGESİ ENERJİ İLETİM HATTI SALINIM BARASI VERİLERİ				
Bara Numarası	Açısı (deg)	Gerilimi (p.u.)	Maks. Aktif Gücü (p.u.)	Min. Reaktif Gücü (p.u.)
110210	4.5	380	800	100

Çizelge 4.5’de Trakya bölgesindeki yüklerin bağlı oldukları baralar, aktif güç ve reaktif güç değerleri verilmiştir.

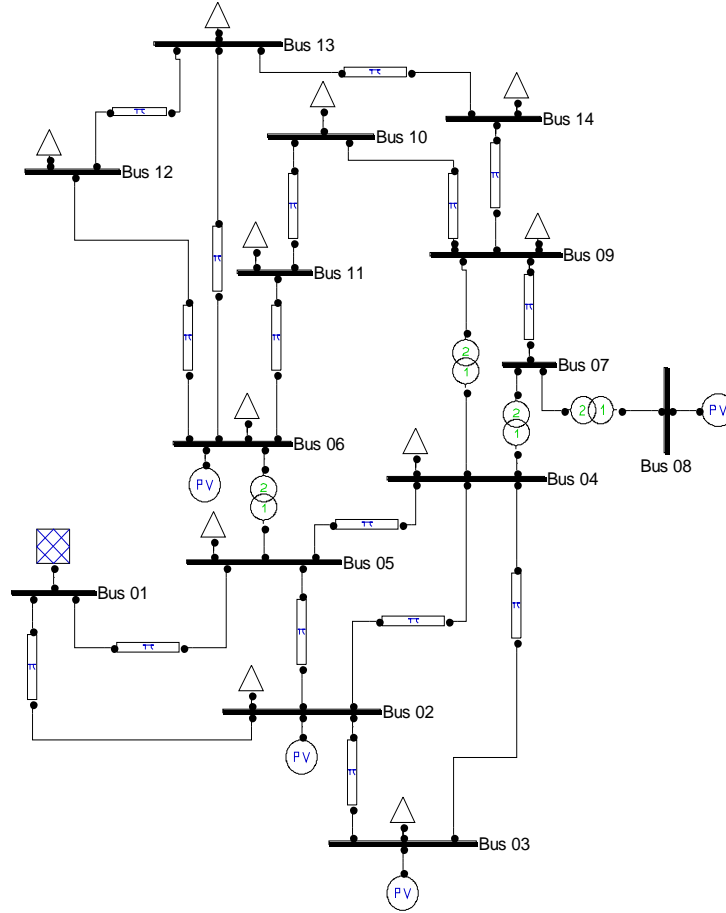
Çizelge 4.5: Trakya bölgesi yük verileri

TRAKYA BÖLGESİ ENERJİ İLETİM HATTI YÜK VERİLERİ				
Bara Numarası	Aktif Gücü (MW)	Reaktif Gücü (MVar)	Aktif Gücü (p.u.)	Reaktif Gücü (p.u.)
110310	0	0	0	0
110321	21	3	0.21	0.03
110410	35	0	0.35	0
110621	31	5	0.31	0.05
110721	95	19	0.95	0.19
110821	79	9	0.79	0.09
110921	202	29	2.02	0.29
111021	136	26	1.36	0.26
111121	47	7	0.47	0.07
111221	46	11	0.46	0.11
111321	38	4	0.38	0.04
111421	12	2	0.12	0.02
111521	1	0	0.01	0
111621	20	0	0.20	0
111721	60	6	0.60	0.06
111821	22	7	0.22	0.07
111921	12	3	0.12	0.03
112021	21	2	0.21	0.02
112121	19	0	0.19	0
112221	58	17	0.58	0.17
112321	9	0	0.09	0
112421	5	0	0.05	0
112521	60	12	0.60	0.12
112621	10	1	0.10	0.01
112721	21	3	0.21	0.03
113021	-7	0	-0.07	0
113421	24	2	0.24	0.02
113521	-38	0	-0.38	0
120023	0	0	0	0
120121	180	44	1.80	0.44
120221	0	0	0	0
120310	0	0	0	0
120321	43	7	0.43	0.07
120322	0	0	0	0
120410	0	0	0	0
120421	0	0	0	0
120422	60	7	0.60	0.07

120510	87	22	0.87	0.22
120521	40	5	0.40	0.05
120522	60	14	0.60	0.14
120610	85	23	0.85	0.23
120621	68	14	0.68	0.14
120622	68	14	0.68	0.14
120710	0	0	0	0
120721	74	15	0.74	0.15
120810	0	0	0	0
120821	101	15	1.01	0.15
120822	0	0	0	0
120910	23	1	0.23	0.01
120921	0	0	0	0
121021	89	15	0.89	0.15
121121	184	30	1.84	0.30
121221	68	23	0.68	0.23
121222	68	23	0.68	0.23
121321	70	19	0.70	0.19
121322	70	19	0.70	0.19
121421	39	7	0.39	0.07
121521	197	30	1.97	0.30
121621	125	34	1.25	0.34
121622	0	0	0	0
121821	152	28	1.52	0.28
121921	95	17	0.95	0.17
122021	126	30	1.26	0.30
122121	54	6	0.54	0.06
122221	57	17	0.54	0.17
122222	57	17	0.57	0.17
122321	0	0	0	0
122322	244	42	2.44	0.42
122421	65	13	0.65	0.13
122422	65	13	0.65	0.13
122521	42	0	0.42	0
122522	41	0	0.41	0
122621	34	8	0.34	0.08
122721	82	13	0.82	0.13
122921	78	21	0.78	0.21
123021	108	29	1.08	0.29
123121	0	0	0	0
123122	66	12	0.66	0.12

4.2. FARKLI YAZILIMLAR İLE ÖRNEK İLETİM HATTININ YÜK AKIŞI ANALİZİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

4.2.1. 14 Baralı Örnek İletim Hattının Verileri



Şekil 4.7: 14 baralı örnek iletim hattı

PSAT programında çizilen Şekil 4.7'deki sistemde; 14 adet bara, 16 adet iletim hattı, 4 adet transformatör, 5 adet generatör ve 11 adet yük bulunmaktadır. 2, 3 ve 6 numaralı baralarda hem yük hem de generatör bulunmaktadır. 1 numaralı bara salınım barası olarak, 7 numaralı bara da yük barası olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.6’da sistemin generatör verileri, Çizelge 4.7’de sistemin yük verileri, çizelge 4.8’de sistemin salınım barası verileri ve Çizelge 4.9’da sistemin iletim hattı verileri verilmiştir.

Çizelge 4.6: 14 baralı sistemin generatör verileri

Örnek Sistemin Generatör Verileri				
Bara Numarası ve Gerilimi	Aktif Gücü (p.u.)	Gerilimi (p.u.)	Maksimum Reaktif Gücü (p.u.)	Minimum Reaktif Gücü (p.u.)
2 – 69 kV	0.4	1.045	0.5	-0.4
3 – 69 kV	0	1.01	0.4	0
6 – 13.8 kV	0	1.07	0.24	-0.06
8 – 18 kV	0	1.09	0.24	-0.06

Çizelge 4.7: 14 baralı sistemin yük verileri

Örnek Sistemin Yük Verileri				
Bara Numarası ve Gerilimi	Aktif Gücü (p.u.)	Reaktif Gücü (p.u.)	Aktif Gücü (MW)	Reaktif Gücü (MVar)
2 – 69 kV	0.217	0.127	21.7	12.7
3 – 69 kV	0.942	0.190	94.2	19
4 – 69 kV	0.478	0.040	47.8	4
5 – 69 kV	0.076	0.016	7.6	1.6
6 – 13.8 kV	0.112	0.075	11.2	7.5
9 – 13.8 kV	0.295	0.166	29.5	16.6
10 – 13.8 kV	0.090	0.058	9	5.8
11 – 13.8 kV	0.035	0.018	3.5	1.8
12 – 13.8 kV	0.061	0.016	6.1	1.6
13 – 13.8 kV	0.135	0.058	13.5	5.8
14 – 13.8 kV	0.149	0.050	14.9	5

Çizelge 4.8: 14 baralı sistemin salınım barası verileri

Örnek Sistemin Salınım Barası Verileri				
Bara Numarası ve Gerilimi	Gerilimi (p.u.)	Açısı (deg)	Maksimum Reaktif Gücü (p.u.)	Minimum Reaktif Gücü (p.u.)
1 – 69 kV	1.06	0	9.9	-9.9

Çizelge 4.9: 14 baralı sistemin hat verileri

Örnek Sistemin Hat Verileri				
Baradan Baraya İstasyonlar		R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)
2	5	0.05695	0.17388	0.0340
6	12	0.12291	0.25581	0
12	13	0.22092	0.19988	0
6	13	0.06615	0.13027	0
6	11	0.09498	0.19890	0
11	10	0.08205	0.19207	0
9	10	0.03181	0.08450	0
9	14	0.12711	0.27038	0
14	13	0.17093	0.34802	0
7	9	0	0.11001	0
1	2	0.01938	0.05917	0.0528
3	2	0.04699	0.19797	0.0438
3	4	0.06701	0.17103	0.0346
1	5	0.05403	0.22304	0.0492
5	4	0.01335	0.04211	0.0128
2	4	0.05811	0.17632	0.0374
5	6	0	0.25202	0
4	9	0.00500	0.55618	0
4	7	0	0.20912	0
8	7	0	0.17615	0

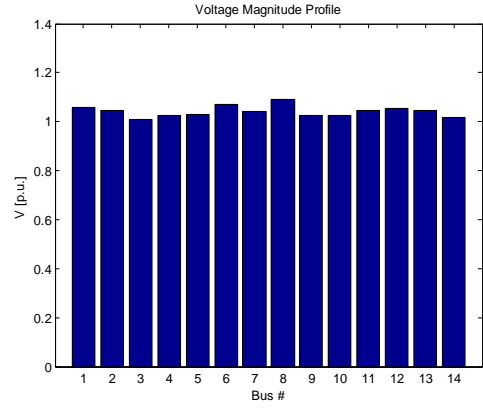
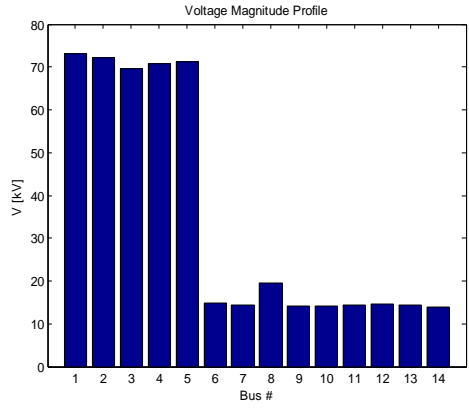
4.2.2. 14 Baralı Örnek İletim Hattının Farklı Yazılımlar İle Gerçekleştirilen Yük Akışı Analizlerinin Değerlendirilmesi

Sistemin yük akışı analizi sonuçları EK-A ve EK-B’de çıkarıldığı gibidir. Sistemin PSAT ve MatPower programları ile gerçekleştirdiğimiz yük akışı analizlerini incelediğimizde sonuçların aynı olduğunu görmekteyiz.

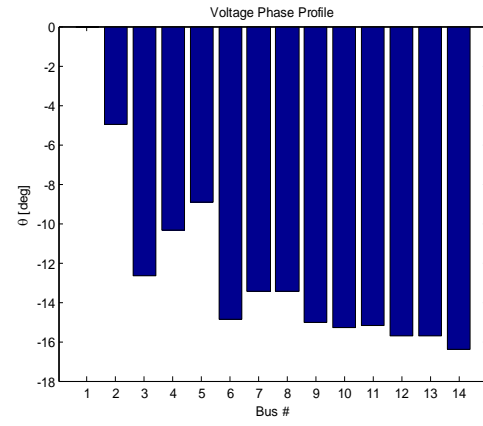
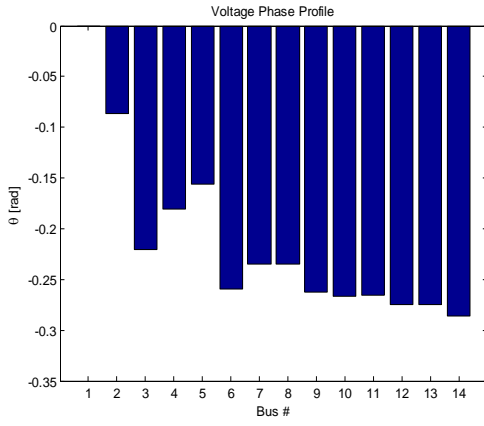
PSAT programında veriler p.u. cinsinden girilmiş ve sonuçlar da p.u. cinsinden elde edilmiştir. MatPower programında ise veriler MW cinsinden girilmiş ve sonuçlar da MW cinsinden elde edilmiştir. Sadece toplam hatlardaki reaktif güç kaybı değeri matematiksel yöntemin farklı olmasından dolayı aynı gözükmemektedir, ama incelendiğinde aynı sonuçlar elde edilmektedir.

MatPower programı ile yük akışı analizinde transformatör oranları 1 olarak girilmiştir. MatPower programı ile ilk defa gerçekleştirilen yük akışı analizi 0.27 saniye zaman almıştır. İlkinden sonra birkaç kere daha yük akışı gerçekleştirdiğimizde analiz süresinin MatPower programında 0.01 saniyeye kadar düştüğünü görmekteyiz. PSAT programında ise yapılan yük akışının sonucu yaklaşık 1 saniye sonra görülebilmektedir. Analizler her iki programda da Newton-Raphson yöntemine göre ve 4 iterasyon neticesinde gerçekleşmiştir.

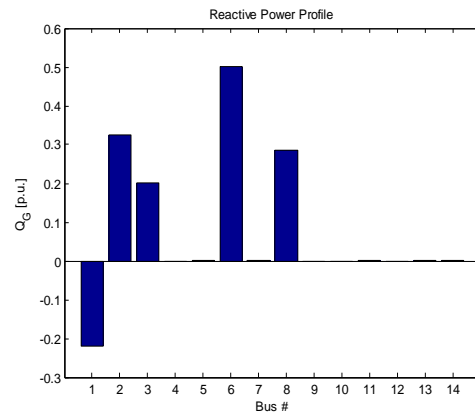
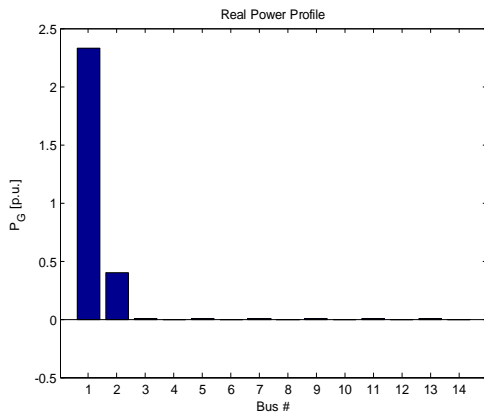
PSAT ile yapılan analiz neticesinde görsel olarak bara gerilimi, bara açısı ve generatör güçlerinin değerlerini görmek istersek, Şekil 4.8, 4.9, ve 4.10'daki gibi grafikler elde ederiz.



Şekil 4.8: Bara geriliminin kV ve p.u. cinsinden grafik gösterimi



Şekil 4.9: Bara açısının radyan ve derece cinsinden grafik gösterimi



Şekil 4.10: Generatör güçlerinin p.u. cinsinden grafik gösterimi

4.3. TRAKYA BÖLGESİ İÇİN FARKLI YAZILIMLAR İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN YÜK AKIŞI ANALİZİ SONUÇLARI

Çizelge 4.10: Yük akışı analizi bara değerleri

BARA VERİLERİ						
BARA NO	GERİLİM	AÇI	GENERATÖR		YÜK	
	(p.u.)	(p.u.)	P (MW)	Q (MVA _r)	P (MW)	Q (MVA _r)
101	1.000	-	321.40	-270.60	-	-
102	1.020	-0.700	55.00	107.20	-	-
103	1.000	0.700	80.00	-228.20	-	-
104	1.060	7.400	456.50	80.20	-	-
110110	1.042	3.000	441.00	136.20	-	-
110210	1.053	4.500	676.00	221.00	-	-
110221	1.031	3.900	125.00	14.60	-	-
110310	1.050	4.200	-	-	-	-
110321	1.018	2.400	-	-	21.00	3.00
110410	1.056	4.700	55.00	-	35.00	-
110521	1.023	3.900	419.00	108.00	-	-
110621	1.022	3.800	-	-	31.00	5.00
110721	1.002	-1.00	-	-	95.00	19.00
110821	1.024	3.600	34.80	-	79.00	9.00
110921	1.008	2.000	54.00	0.90	202.00	29.00
111021	1.008	2.100	14.00	-0.40	136.00	26.00
111121	0.993	0.600	-	-	47.00	7.00
111221	1.027	3.600	-	-	46.00	11.00
111321	1.010	2.500	-	-	38.00	4.00
111421	1.011	2.400	-	-	12.00	2.00
111521	1.010	1.900	-	-	1.00	-
111621	1.002	-1.100	-	-	20.00	-
111721	1.007	1.000	-	-	60.00	6.00
111821	0.990	-0.100	-	-	22.00	7.00
111921	1.000	1.000	-	-	12.00	3.00
112021	1.000	1.600	-	-	21.00	2.00
112121	0.972	-1.900	-	-	19.00	-
112221	0.955	-3.500	-	-	58.00	17.00
112321	0.973	-2.600	-	-	9.00	-
112421	0.972	-2.900	-	-	5.00	-
112521	0.989	0.200	-	-	60.00	12.00
112621	0.991	0.700	-	-	10.00	1.00
112721	0.998	2.300	-	-	21.00	3.00
112821	1.025	3.600	73.00	21.20	-	-
112921	1.000	3.000	54.00	-1.50	-	-
113021	0.973	-2.600	-	-	-7.00	-

113121	1.018	3.100	22.00	4.10	-	-
113221	1.008	2.000	44.00	20.30	-	-
113321	1.010	2.500	24.00	-11.80	-	-
113421	1.000	1.200	-	-	24.00	2.00
113521	1.005	0.300	-	-	-38.00	-
113621	1.026	3.800	48.00	11.20	-	-
113721	1.016	2.900	15.00	1.50	-	-
120010	1.029	0.100	387.00	336.00	-	-
120021	1.006	-2.000	361.00	33.30	-	-
120022	1.013	-1.100	400.00	112.80	-	-
120023	1.006	-2.000	-	-	-	-
120121	1.005	-2.200	-	-	180.00	44.00
120221	1.006	-2.200	-	-	-	-
120310	1.011	-0.900	-	-	-	-
120321	1.010	-5.000	-	-	43.00	7.00
120322	1.010	-5.000	-	-	-	-
120410	1.013	-1.000	-	-	-	-
120421	1.001	-3.300	-	-	-	-
120422	1.002	-5.300	-	-	60.00	7.00
120510	1.014	-0.900	-	-	87.00	22.00
120521	0.988	-5.500	-	-	40.00	5.00
120522	0.998	-3.800	-	-	60.00	14.00
120610	1.017	-0.600	-	-	85.00	23.00
120621	1.004	-3.000	-	-	68.00	14.00
120622	1.008	-2.000	-	-	68.00	14.00
120710	1.020	-0.600	-	-	-	-
120721	1.019	-1.300	-	-	74.00	15.00
120810	1.012	-1.000	-	-	-	-
120821	1.006	-5.500	-	-	101.00	15.00
120822	1.006	-5.500	-	-	-	-
120910	1.013	0.400	-	-	23.00	1.00
120921	1.009	-4.300	-	-	-	-
121021	1.002	-2.900	-	-	89.00	15.00
121121	1.001	-5.500	-	-	184.00	30.00
121221	0.996	-4.000	-	-	68.00	23.00
121222	1.001	-5.700	-	-	68.00	23.00
121321	0.987	-7.500	-	-	70.00	19.00
121322	1.000	-3.500	-	-	70.00	19.00
121421	1.005	-5.500	-	-	39.00	7.00
121521	1.002	-2.800	-	-	197.00	30.00
121621	0.986	-5.700	-	-	125.00	34.00
121622	0.996	-4.000	-	-	-	-
121821	1.006	-5.500	-	-	152.00	28.00
121921	1.007	-5.400	-	-	95.00	17.00
122021	1.005	-5.700	-	-	126.00	30.00

122121	1.017	-1.700	-	-	54.00	6.00
122221	0.985	-7.700	-	-	57.00	17.00
122222	0.985	-7.700	-	-	57.00	17.00
122321	1.029	-0.700	-	-	-	-
122322	1.006	-2.100	-	-	244.00	42.00
122421	0.996	-4.100	-	-	65.00	13.00
122422	0.996	-4.100	-	-	65.00	13.00
122521	1.008	-5.200	-	-	42.00	-
122522	1.008	-5.200	-	-	41.00	-
122621	1.017	-1.500	-	-	34.00	8.00
122721	1.027	-0.900	-	-	82.00	13.00
122821	1.031	-0.500	148.00	90.40	-	-
122921	1.005	-5.600	-	-	78.00	21.00
123021	1.015	-1.700	-	-	108.00	29.00
123121	1.005	-5.600	-	-	-	-
123122	1.005	-5.600	-	-	66.00	12.00

Çizelge 4.11: Yük akışı analizi hat değerleri

HAT VERİLERİ								
Hat	Baradan	Baraya	Bara Giriş		Bara Çıkış		Kayıp	
			P (MW)	Q (MVAr)	P (MW)	Q (MVAr)	P (MW)	Q (MVAr)
1	101	120310	321.40	-270.60	-320.80	262.80	0.60	-7.80
2	102	120310	55.00	107.20	-54.90	-129.20	0.10	-22.00
3	103	120910	80.00	-228.20	-79.80	210.90	0.20	-17.30
4	104	120710	456.50	80.20	-451.80	-126.70	4.70	-47.50
5	110110	110210	-205.10	-81.10	205.60	39.10	0.50	-42.00
6	110110	120610	356.30	86.40	-353.60	-107.00	2.70	-20.60
7	110110	120710	289.80	93.10	-288.60	-131.20	1.20	-38.10
8	110210	110310	96.10	35.80	-96.10	-49.20	-	-13.40
9	110210	110410	-19.80	-41.20	19.80	-10.20	-	-51.40
10	110210	120310	368.70	89.40	-365.30	-148.20	3.40	-58.80
11	110221	110321	66.20	10.00	-66.60	-9.80	-0.40	0.20
12	110221	111221	45.30	17.50	-45.20	-17.80	0.10	-0.30
13	110221	111321	34.10	20.80	-34.00	-22.40	0.10	-1.60
14	110221	113621	4.80	4.60	-4.80	-6.90	-	-2.30
15	110321	111821	63.90	19.40	-62.80	-18.70	1.10	0.70
16	110321	111921	49.90	16.90	-49.40	-17.30	0.50	-1.90
17	110321	112021	26.40	14.80	-26.20	-16.70	0.20	-1.90
18	110521	110621	184.20	25.70	-184.20	-25.40	-	0.30
19	110521	110921	58.50	16.90	-58.20	-16.80	0.30	0.10
20	110521	111421	76.00	16.70	-75.60	-16.20	0.40	0.50
21	110521	111721	100.30	10.30	-99.10	-7.40	1.20	2.90
22	110621	110721	79.50	3.00	-78.00	1.20	1.50	4.20
23	110621	111421	73.30	16.50	-72.90	-16.20	0.40	0.30

24	110721	111621	10.10	0.30	-10.10	-0.50	-	-0.20
25	110721	111621	10.10	0.30	-10.10	-0.50	-	-0.20
26	110721	113521	-75.90	4.80	76.30	-4.30	0.40	0.50
27	110721	120622	19.00	-14.60	-18.90	11.80	0.10	-2.80
28	110721	120622	19.00	-14.60	-18.90	11.80	0.10	-2.80
29	110821	110921	39.80	7.50	-39.50	-9.00	0.30	-1.50
30	110821	112821	-70.30	-16.60	70.30	16.60	-	-
31	110821	113121	38.80	13.10	-38.70	-13.60	0.10	-0.50
32	110821	113621	-52.80	-15.40	52.80	15.20	-	-0.20
33	110921	111021	-8.80	2.40	8.80	-3.50	-	-1.10
34	110921	111521	1.00	-3.20	-1.00	-	-	-3.20
35	110921	113221	-43.70	-13.30	43.70	13.30	-	-
36	111021	111321	-19.50	-3.90	19.50	3.00	-	-0.90
37	111021	111421	-19.30	-6.70	19.30	5.70	-	-1.00
38	111021	111421	-18.10	-4.30	18.10	3.30	-	-1.00
39	111021	113721	-75.20	-16.90	75.60	17.30	0.40	0.40
40	111121	111421	-97.60	-18.30	98.70	20.80	1.10	2.50
41	111121	112121	48.90	7.60	-48.20	-8.30	0.70	-0.70
42	111221	112821	-1.20	4.80	1.20	-7.10	-	-2.30
43	111321	113321	-11.90	6.80	11.90	-7.20	-	-0.40
44	111321	113321	-11.90	6.80	11.90	-7.20	-	-0.40
45	111721	113521	38.60	-2.90	-38.50	2.10	0.10	-0.80
46	111821	112121	39.70	10.40	-39.40	-12.00	0.30	-1.60
47	111921	112521	36.80	13.60	-36.60	-14.40	0.20	-0.80
48	112021	112721	-20.50	10.50	20.60	-11.90	0.10	-1.40
49	112021	113421	24.50	2.70	-24.50	-3.80	-	-1.10
50	112121	112221	60.20	24.70	-59.90	-24.30	0.30	0.40
51	112121	112321	8.20	-5.30	-8.10	1.80	0.10	-3.50
52	112321	113021	-1.40	-3.50	1.40	2.20	-	-1.30
53	112421	113021	-5.50	-0.50	5.50	-2.40	-	-2.90
54	112521	112621	-24.70	-2.80	24.70	1.80	-	-1.00
55	112621	112721	-35.10	-3.30	35.30	1.30	0.20	-2.00
56	112721	112921	-77.80	6.60	78.00	-6.30	0.20	0.30
57	113121	113721	60.70	16.70	-60.60	-16.70	0.10	-
58	120010	120610	277.40	224.30	-276.80	-230.00	0.60	-5.70
59	120021	120023	470.30	58.70	-470.20	-58.50	0.10	0.20
60	120022	120622	76.50	5.60	-76.30	-5.30	0.20	0.30
61	120022	120622	76.50	5.60	-76.30	-5.30	0.20	0.30
62	120022	122322	123.50	32.00	-123.20	-30.40	0.30	1.60
63	120022	122322	123.50	32.00	-123.20	-30.40	0.30	1.60
64	120023	120221	235.10	29.30	-235.00	-28.80	0.10	0.50
65	120023	120221	235.10	29.30	-235.00	-28.80	0.10	0.50
66	120121	120221	-90.90	-29.10	90.90	29.20	-	0.10
67	120121	120221	-90.90	-29.10	90.90	29.20	-	0.10
68	120221	120621	54.80	-5.90	-54.60	5.50	0.20	-0.40
69	120221	120621	54.80	-5.90	-54.60	5.50	0.20	-0.40
70	120221	121021	89.30	5.30	-89.10	-5.00	0.20	0.30

71	120221	121021	89.30	5.30	-89.10	-5.00	0.20	0.30
72	120310	120410	33.40	-66.60	-33.40	53.60	-	13.00
73	120310	120810	172.90	-122.30	-172.90	120.30	-	-2.00
74	120321	120322	-151.00	-45.50	151.00	45.50	-	-
75	120321	120821	120.10	34.40	-119.80	-33.60	0.30	0.80
76	120321	120821	120.10	34.40	-119.80	-33.60	0.30	0.80
77	120321	121821	179.40	46.70	-179.20	-61.90	0.20	-15.20
78	120321	122522	35.30	17.60	-35.30	-17.90	-	-0.30
79	120321	122522	35.30	17.60	-35.30	-17.90	-	-0.30
80	120410	120610	-282.40	-102.40	282.60	96.30	0.20	-6.10
81	120421	120621	-54.60	-13.70	54.70	13.60	0.10	-0.10
82	120421	120621	-54.60	-13.70	54.70	13.60	0.10	-0.10
83	120421	121322	109.20	27.50	-109.20	-37.10	-	-9.60
84	120422	121121	127.40	7.70	-127.30	-7.30	0.10	0.40
85	120422	121121	127.40	7.70	-127.30	-7.30	0.10	0.40
86	120510	120610	-398.30	-197.50	398.60	66.50	0.30	-131.00
87	120510	120810	144.10	108.40	-144.00	-203.20	0.10	-94.80
88	120521	121621	126.20	35.80	-126.10	-41.80	0.10	-6.00
89	120522	121021	-83.70	-12.90	84.00	1.70	0.30	-11.20
90	120522	121221	109.40	35.00	-109.40	-40.40	-	-5.40
91	120522	121221	64.60	6.60	-64.60	-6.60	-	-
92	120522	121322	-150.90	-47.60	151.00	36.60	0.10	-11.00
93	120610	120710	-417.70	-45.80	418.40	38.50	0.70	-7.30
94	120621	121021	-4.60	11.20	4.60	-12.00	-	-0.80
95	120621	121322	112.90	26.00	-112.60	-25.20	0.30	0.80
96	120622	121521	112.80	25.10	-112.40	-23.90	0.40	1.20
97	120622	121521	112.80	25.10	-112.40	-23.90	0.40	1.20
98	120710	120910	115.50	210.30	-115.40	-221.30	0.10	-11.00
99	120721	122121	27.10	1.40	-27.10	-3.80	-	-2.40
100	120721	122121	27.10	1.40	-27.10	-3.80	-	-2.40
101	120721	122621	17.10	3.30	-17.00	-4.40	0.10	-1.10
102	120721	122621	17.10	3.30	-17.00	-4.40	0.10	-1.10
103	120721	122721	-32.60	-29.50	32.70	28.90	0.10	-0.60
104	120721	122721	-32.60	-29.50	32.70	28.90	0.10	-0.60
105	120721	123021	54.40	16.80	-54.30	-17.10	0.10	-0.30
106	120721	123021	54.40	16.80	-54.30	-17.10	0.10	-0.30
107	120821	120822	39.20	8.90	-39.20	-8.90	-	-
108	120821	121321	187.00	56.50	-185.60	-61.60	1.40	-5.10
109	120821	122021	80.80	10.20	-80.80	-18.20	-	-8.00
110	120821	122921	93.20	18.40	-93.20	26.00	-	44.40
111	120821	123122	53.70	8.60	-53.70	-16.30	-	-7.70
112	120822	121421	39.20	8.90	-39.20	-8.90	-	-
113	120921	122521	85.90	-2.60	-85.70	3.10	0.20	0.50
114	120921	122521	85.90	-2.60	-85.70	3.10	0.20	0.50
115	121121	121222	68.80	-30.10	-68.80	-29.90	-	-60.00
116	121221	122421	105.10	17.20	-105.10	-20.20	-	-3.00
117	121321	122222	115.20	39.10	-115.10	-43.40	0.10	-4.30

118	121521	121622	26.30	5.90	-26.30	-6.80	-	-0.90
119	121622	122422	26.30	6.80	-26.30	-16.90	-	-10.10
120	121821	121921	-61.80	-10.60	61.80	5.40	-	-5.20
121	121821	122021	87.80	34.70	-87.80	-41.20	-	-6.50
122	121921	122521	-158.40	-30.10	158.40	26.20	-	-3.90
123	122221	122222	-57.60	-21.70	57.60	21.70	-	-
124	122321	122721	27.60	13.90	-27.60	-14.40	-	-0.50
125	122321	122821	-27.60	-13.90	27.60	13.50	-	-0.40
126	122421	122422	39.40	1.70	-39.40	-1.70	-	-
127	122521	122522	-29.30	-34.10	29.30	34.10	-	-
128	122721	122821	-120.20	-60.40	120.40	61.10	0.20	-0.30
129	122921	123121	13.00	-0.50	-13.00	-1.40	-	-1.90
130	123121	123122	13.00	1.40	-13.00	-1.40	-	-
131	110221	110210	-25.40	-46.50	25.40	47.70	-	1.20
132	110321	110310	-47.90	-22.70	48.00	24.60	0.10	1.90
133	110321	110310	-47.90	-22.70	48.00	24.60	0.10	1.90
134	120021	120010	-54.60	-27.40	54.80	30.10	0.20	2.70
135	120021	120010	-54.60	-27.40	54.80	30.10	0.20	2.70
136	120321	120310	-191.20	-57.30	191.70	72.90	0.50	15.60
137	120321	120310	-191.20	-57.30	191.70	72.90	0.50	15.60
138	120322	120310	-151.00	-45.50	151.30	57.80	0.30	12.30
139	120422	120410	-157.80	-12.30	158.20	24.40	0.40	12.10
140	120422	120410	-157.80	-12.30	157.70	24.40	-0.10	12.10
141	120521	120510	-166.40	-42.80	166.80	57.30	0.40	14.50
142	120621	120610	-90.00	-48.50	90.10	53.60	0.10	5.10
143	120621	120610	-87.20	-47.10	87.40	52.00	0.20	4.90
144	120622	120610	-52.90	-42.30	52.90	44.50	-	2.20
145	120622	120610	-51.20	-41.10	51.30	43.20	0.10	2.10
146	120721	120710	-68.80	-0.80	68.80	3.00	-	2.20
147	120721	120710	-68.80	-0.80	68.80	3.00	-	2.20
148	120721	120710	-68.80	-0.80	68.80	3.00	-	2.20
149	120821	120810	-162.10	-29.00	162.50	42.40	0.40	13.40
150	120821	120810	-154.10	-27.80	154.40	40.50	0.30	12.50
151	120921	120910	-171.80	5.20	172.20	8.70	0.40	3.50
Toplam							37.30	-581.80

Trakya bölgesine ait enerji iletim hattı verilerini Matlab programı altında çalışan PSAT 2.1.2 ve MatPower 4.0b4 yazılımlarını kullanarak yaptığımız yük akışı analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar yukarıda çizelgeler halinde verilmiştir. Trakya bölgesi enerji iletim hattının yük akışı analizi sonucunda, Çizelge 4.10'da baralardaki gerilim ve açılı değerleri ile baralara bağlı generatör ve yüklerin güç değerleri verilmiştir. Çizelge

4.11'de ise yük akışı analizi sonucunda elde edilen bara giriş ve çıkış güç değerleri ile hatlarda meydana gelen kayıp güç değerleri verilmiştir.

Sonuçlarda aktif güç birimi MW, reaktif güç birimi MVar, baradan baraya aktif güç birimi MW, baradan baraya reaktif güç birimi MVar cinsinden alınmış ve ondalık kısımlar iki basamaklı olacak şekilde tamamlanmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, Türkiye'nin Trakya bölgesinin (114 baralı 154 ve 380 kV'luk gerilimlerden oluşan) enter-konnekte enerji iletim sisteminin yük akışı analizi gerçekleştirilmiştir. Bunun için, Matlab programı altında çalışan PSAT 2.1.2 ve MatPower 4.0b4 yazılım programları kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılarak incelenmiştir. Çalışma, TEİAŞ İletim Planlama ve Koordinasyon Müdürlüğü'nden sağlanan sistem verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Enerji iletim hatlarının güvenilir ve en verimli şekilde görevlerini yerine getirebilmeleri için planlamanın çok iyi yapılması gerekir. Gelecekte sistemin herhangi bir bölümünde ortaya çıkabilecek yük artış talebini veya daha başka bir değişikliği karşılamak mümkün olmalıdır. Planlama yapılırken sistemin yük akışı uzun süreli olarak incelenmelidir. Sistemin yük akışının uzun vadede nasıl olacağına yönelik tahmin çalışmaları yapılmalıdır. Bu yapılırken bölgenin nüfus yoğunluğu ve nüfus artışı, ekonomik durumu gibi faktörler göz önüne alınmalıdır.

İncelemesini yaptığımız Trakya bölgesini ele alacak olursak, bu bölgenin nüfus yoğunluğunun, sanayisinin ve dolayısıyla enerji talebinin sürekli arttığını görmekteyiz. Dolayısıyla hali hazırda Türkiye'deki elektrik enerjisinin altında birinin tüketildiği bölge için yapılacak yük akışı çalışmaları çok büyük önem arz etmektedir.

Trakya bölgesi enerji iletim hattının yük akışı analizinin yapılması neticesinde, sistemde bulunan transformatör, enerji iletim hatları ve yüklerdeki gerilim, açı, aktif ve reaktif güç değişimleri ile hatlarda meydana gelen kayıplar incelenmiştir. Bu analizler için kullanılan yazılımların avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur.

Çizelge 5.1: Farklı yazılımlarla bulunan bara sonuçlarının karşılaştırılması

Karşılaştırılan Sonuçlar	Bara Numarası	Bara İsmi	Bara Gerilimi (kV)	Bara Açısı (deg)	Generatör Aktif Gücü (MW)	Generatör Reaktif Gücü (MVA _r)
MatPower Sonuçları	102	Umrani_Esdeg	387.60	-0.700	55.00	107.20
	110210	4Hamitabat	399.99	4.500	676.00	221.00
	120010	4Ambarlı	390.98	0.100	387.00	336.00
	110221	Hamitabat_A	158.76	3.900	125.00	14.60
	112921	K.eli_Dg_A	154.00	3.000	54.00	-1.50
	120021	Ambarlıdg_A	154.99	-2.000	361.00	33.30
	120022	Ambarlıdg_B	155.99	-1.100	400.00	112.80
PSAT Sonuçları	102	Umrani_Esdeg	387.60	-0.7002	55.00	107.196
	110210	4Hamitabat	399.99	4.5002	676.00	221.042
	120010	4Ambarlı	390.98	0.1001	387.00	335.990
	110221	Hamitabat_A	158.76	3.9000	125.00	14.605
	112921	K.eli_Dg_A	154.00	3.0001	54.00	-1.500
	120021	Ambarlıdg_A	154.99	-2.0002	361.00	33.298
	120022	Ambarlıdg_B	155.99	-1.1000	400.00	112.792

Her iki yazılımda da elde edilen sonuçlar 14 baralı örnek sistemde olduğu gibi aynı çıkmaktadır. Çizelge 5.1’de görüldüğü üzere, MatPower ve PSAT ile yapılan yük akışı analizlerinin bara sonuçları, reaktif güçler ve bara açılarındaki çok küçük farklar dışında aynı çıkmaktadır. Ondalık kısımdaki bu çok küçük farklar da tamsayıya tamamlanabilecek kadar küçüktür. Bu farklar okuma hatası veya kullanılan yöntemin farklılığından kaynaklanabilir.

Çizelge 5.2: Farklı yazılımlarla bulunan hat sonuçlarının karşılaştırılması

Karşılaştırılan Sonuçlar	Baradan		Baraya		Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVar)
	Bara Numarası	Bara İsmi	Bara Numarası	Bara İsmi		
MatPower Sonuçları	101	Beykoz_Esdeg	120310	4Alibeyköy	321.40	-270.60
	110521	Trakya_Elk_A	110621	Botaşme	184.20	25.70
	111121	Tekirdag	111421	Tekesan	-97.60	-18.30
	120023	Ambarlı_Dg_T	120221	Ambarlı_Fo	235.10	29.30
	121921	Levent_A	122521	Maslak_A	-158.40	-30.10
	120821	Yıldıztepe_A	120810	4Yıldıztepe	-162.10	-29.00
PSAT Sonuçları	101	Beykoz_Esdeg	120310	4Alibeyköy	321.402	-270.60
	110521	Trakya_Elk_A	110621	Botaşme	184.203	25.700
	111121	Tekirdag	111421	Tekesan	-97.598	-18.304
	120023	Ambarlı_Dg_T	120221	Ambarlı_Fo	235.102	29.303
	121921	Levent_A	122521	Maslak_A	-158.399	-30.102
	120821	Yıldıztepe_A	120810	4Yıldıztepe	-162.101	-29.003

Çizelge 5.2’de görüldüğü gibi, MatPower ve PSAT yazılımları ile yapılan yük akışı analizinin hat sonuçları da bazılarının ondalık kısımlarındaki çok küçük farklar dışında aynı çıkmaktadır. Her iki yazılımdaki yük akışı analizi süreleri Çizelge 5.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3: Kullanılan yazılımların yük akışı analizi süreleri

Karşılaştırılan Sonuçlar	Yük Akışı Analiz Süreleri		
	1.Çalıştırma (s)	2.Çalıştırma (s)	3.Çalıştırma (s)
MatPower Sonuçları	0.61	0.25	0.01
PSAT Sonuçları	4	3.5	4

Matlab programında MatPower yazılımı ile yapılan yük akışı analizi ilk çalıştırmada 0.61 saniyede, daha sonraki çalıştırmalarda sırasıyla 0.25 ve 0.01 saniye gibi bir zamanlarda gerçekleşmiştir. MatPower yazılımında Newton-Raphson yöntemi kullanılmış ve yük akışı analizi üç iterasyonda sonuçlanmıştır.

Matlab programında PSAT yazılımı ile yapılan yük akışı analizi her çalıştırmada yaklaşık 4 saniye kadar sürmektedir. Newton-Raphson yönteminin kullanıldığı yazılımda yük akışı analizi beş iterasyonda sonuçlanmıştır.

Buna göre zaman açısından karşılaştırdığımızda, PSAT yazılımı ile yapılan yük akışı analizinin daha fazla zaman aldığı ve daha fazla iterasyon gerektirdiğini söyleyebiliriz.

MatPower yazılımında veri girişini yapmak ve yük akışı analizini gerçekleştirmek oldukça kolaydır. PSAT yazılımında birkaç aşamada yük akışı analizi yapılabilmektedir. Fakat PSAT yazılımındaki ara yüzler oldukça kullanışlıdır. Ayrıca, PSAT yazılımında sayısal sonuçları ve raporlamayı görsel grafiklerle incelemek mümkündür. Sonuçların ayrıntılı olarak incelenebilmesiyle ilgili olarak PSAT yazılımının avantajlarını Çizelge 5.4'e baktığımızda da görebiliriz.

Çizelge 5.4: Kullanılan yazılımların farklı ve ortak bazı özellikleri

Karşılaştırılan Yazılımlar	Bara Gerilimi Birim ve Gösterimi			Bara Açısı Birim ve Gösterimi			Generatör-Yük Aktif Gücü Birim ve Gösterimi			Generatör-Yük Reaktif Gücü Birim ve Gösterimi		
	kV	p.u.	Grafik	rad	Deg	Grafik	p.u.	MW	Grafik	p.u.	MVAr	Grafik
MatPower 4.0b4	-	VAR	-	-	VAR	-	-	VAR	-	-	VAR	-
PSAT 2.1.2	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR

Buna göre anlık yük akışı analiz sonuçlarının hızlı bir şekilde istendiği yerlerde MatPower yazılımı önerilebilir. Analiz süresinin önemli olmadığı durumlarda ise PSAT yazılımı önerilebilir. Özellikle grafiksel ve detaylı görsel sonuçların istenmesi halinde ve süre de önemli değilse PSAT yazılımı önerilebilir. Ayrıca, sonuçların hem p.u. ve hem de kendi birimi cinsinden istendiği yerler için de PSAT yazılımı önerilebilir.

Türkiye'nin bütün bölgeleri için yapılması gereken planlama çalışmalarında, MatPower ve PSAT dışında daha başka yazılımlardan da yararlanarak, sistemlerin farklı yönleri incelenebilir. Bunun için EDSA, PAT, PST, SPS, EST, Cyme, EMTP, DIgSILENT, ETAP, EASYPOWER, COPERITE, VST gibi yazılımlar kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- ABACI, K., YALÇIN, M.A., UYAROĞLU, Y., 2002, Güç Sistemlerinde Farklı Salınım Barası Seçiminin Gerilim Kararlılığı Açısından İncelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü*
- AJJARAPU, V. ve CHRISTY, C., 1992, The continuation power flow: A tool for steady state voltage stability analysis, *IEEE Transactions on Power Systems*, 7, 1, 416-423
- ALRASHIDI, M.R. ve EL-HAWARY, M.E., 2009, Applications of Computational Intelligence Techniques for Solving the Revived Optimal Power Flow Problem, *Scient Direct Electric Power Systems Research*, 79(2009), 694-702
- ARİFOĞLU, Uğur, 2002, *Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi*, Alfa Yayınları, Melisa Matbaacılık, 975-297-022-2
- AYASUN, S., 2005, Güç Sistemlerinde Araştırma ve Eğitim İçin Geliştirilen Gerilim Kararlılık Programı, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi*
- AYDEMİR, Emrah O., 2009, *Elektrik Sistemlerinde Harmonik Güç Akışı*, Y.Lisans, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- BAŞARAN, Ümmühan, 2004, *Türkiye'deki 380 kv'luk Enter-konnekte Güç Sisteminde Çeşitli Güç Akışı ve Ekonomik Dağıtım Analizleri*, Y.Lisans, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- BURCHETT, R.C., HAPP, H.H., VIEARATH, D.R., WIRGAU, K.A., 1982, Developments In Optimal Power Flow, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 101
- CARTINA, G., GRIGORAS, G., BOBRIC, E.C., 2007, Power System Analysis Using Matlab Toolboxes, *6th International Conference On Electromechanical And Power Systems*
- ÇAKIR, Hüseyin, 1986, *Elektrik Güç Sistemleri Analizi*, YTÜ Yayını, İstanbul
- EMİNOĞLU, U., HERDEM, S., YALÇINÖZ, T., 2003, Anahtarlama Paralel ve Seri Kompanzatorların Enerji İletim Sistemlerinde Gerilim/Akım ve Güç Akışına Etkisinin İncelenmesi, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*
- EMİNOĞLU, U. ve HOCAOĞLU, M.H., 2005, A New Power Flow Method for Radial Distribution Systems Including Voltage Dependent Load Models, *Scient Direct Electric Power Systems Research*, 76(2005), 106-114

EMİNOĞLU, Ulaş, 2007, *Dağıtım Sistemleri İçin Yeni Bir Güç Akışı Algoritmasının Geliştirilmesi*, Doktora, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü

ESEN, Murat, 2006, *Bulanık Mantık Destekli Güç Akış Analizi*, Y.Lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

GOLKAR, M.A., 2007, A Novel Method For Load Flow Analysis Of Unbalanced Three-Phase Radial Distribution Networks, *TÜBİTAK, Turk J Elec Engin*, 15, 3

GÖZEL, T. ve HOCAOĞLU, M.H., 2004, Güç Sistem Analizi İçin Grafik Kullanıcı Arabirimi, *Eleco '2004 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 301-305 (Elektrik)

GÜNER, Sıtkı, 2009, *Analysis of Transmission Congestion Using Power-Flow Solutions*, Y.Lisans, Bahçeşehir Üniversitesi

HOCAOĞLU, M.H., 2007, *Analiz 1 (Notlar)*, 4

IBRAHİM, Emad S., 2002, A Comparative Study Of PC Based Software Packages For Power Engineering Education And Research, *Electrical Power and Energy Systems*, 24 (2002) 799-805

INAN, 2010, http://www.yildiz.edu.tr/~inan/LU_Hesap/Yuk_Akisi_Genel_Bilgi.doc [Ziyaret Tarihi: 15 Temmuz 2010]

KIOSE CHOUSEIN, Ogkioun, 2006, *KKTC Elektrik Üretim İletim Sistemi'nde Yük Akışı ve Gelişim Planı*, Y.Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

KULWORAWANICHPONG, T., 2010, Simplified Newton-Raphson Power-Flow Solution Method, *Electrical Power and Energy Systems*, 32 (2010) 551-558

KURBAN, M. ve BAŞARAN FILİK, Ü., 2006, Parameters and Power Flow Analysis of the 380 –kv Interconnected Power System in Turkey, *IEEE Power and Energy Conference*, 235-239

KURBAN, M. ve BAŞARAN FILİK, Ü., 2007, Türkiye'deki 22 Baralı 380 kv'luk Güç Sisteminin İki Farklı Yöntem Kullanılarak Ekonomik Dağıtım Analizi, *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 11, 1, 87-95

LUKMAN, D. ve BLACKBURN, T.R., 2001, Loss Minimization In Load Flow Simulation In Power System, *IEEE International Conference On Power Electronics and Drive Systems*, 84-88

MILANO, F., 2005, An Open Source Power System Analysis Toolbox, *IEEE Transaction on Power Systems*, 20, 3, 1199-1206

MILANO, F., 2009, Continuous Newton's Method for Power Flow Analysis, *IEEE Transactions on Power Systems*, 24, 50-57

MILANO, 2010, www.power.uwaterloo.ca/~fmilano/psat.htm [Ziyaret Tarihi: 10 Temmuz 2010]

MUTLU, A. ve YALÇINGÖZ, T., 2004, Eğitim Amacıyla Kullanılmak Üzere Matlab GUI' de Geliştirilen Yük Akış Programı, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği*

NEGUYEN, H.L., 1996, Newton-Raphson Method in Complex Form [Power System Analysis], *IEEE Transmission and Distribution Conference*, 591-595

PAMUK, Nihat, 2009, 380 ve 154 KV'luk Kuzeybatı Anadolu Şebekesi Güç Akışı Benzetimleri, Y.Lisans, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

SHIRMOHAMMADI, D. ve HONG, H.W., 1988, A Compensation-Based power flow method for weekly meshed distribution and transmission Networks, *IEEE Transactions on Power Systems*, 3, 753-762

SOYSAL, Sefer, 2008, *Bolu-Düzce Bölgesi 154 KV/34,5 KV İletim ve Dağıtım Şebekesinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi*, Y.Lisans, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

STOOT, B., 1972, Decoupled Newton Load Flows, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 91, 1955

STOOT, B. ve OLSACC, O., 1974, Fast-Decoupled Load Flow, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 93, 859-869

SUN, D.I., ASHLEY, B., BREWER, B., HUGHES, A., TINNEY, W.F., 1984, Optimal Power Flow By Newton Approach, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 103, 2864-2880

TINNEY, W.F. ve CLIFFORD E.H., 1967, Power Flow Solution by Newton's Method, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 86, 11

TINNEY, W.F. ve HERMANN W.D., 1968, Optimal Power Flow Solutions, *IEEE Transactions on Power Systems*, 87, 10, 1866-1876

TOSUN, İlyas, 2008, *Güç Sistemleri Eğitimi İçin Matlab GUI Tabanlı Bir Yük Akış Simülatörü*, Y.Lisans, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

TUMAY, M. ve VURAL, A.M., 2004, Analysis And Modeling Of Unified Power Flow Controller: Modification Of Newton-Raphson Algorithm And User-Defined Modeling Approach For Power Flow Studies, *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 29, 2B

USLU, O. ve BAĞRIYANIK, M., 2008, Elektrik İletim Sistemlerinin Kontrollü Bölgesel İşletimi İçin Sistem Ayırma Stratejilerinin İncelenmesi, *Eleco'2008 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 95-99

USLU, Okan, 2008, *Türkiye Elektrik İletim Şebekesinin Trakya Bölümünün Kontrollü Çalışma Bölgelerine Ayrılmasının İncelenmesi*, Y.Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

ÜNAL, M., GÖZEL, T., HOCAOĞLU, M.H., 2008, Web Tabanlı Dağıtım Sistemleri Güç Akış Analiz Programı, *Eleco'2008 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*

VURAL, A.M. ve TÜMAY, M., 2003, Power Flow Analysis of Power System Embedded with UPFC Using PSASP Program, *Eleco'2003 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, A1-6

VURAL, A.M. ve TÜMAY, M., 2003, Gelişmiş Yük Akış Denetleyicileri İle Donatılmış Güç Sistemlerinin Newton-Raphson Metodu İle Analizi, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, 63-66

WANG, Z. ve ALVARADO, F.L., 1992, Interval Arithmetic In Power Flow Analysis, *IEEE Transactions on Power Systems*, 7, 1341-1349

WANG, X., ZIAVRAS, S.G., NWANKPA, C., JOHNSON, J., NAGVAJARA, P., 2007, Parallel Solution Of Newton's Power Flow Equations On Configurable Chips, *Electrical Power and Energy Systems*, 29 (2007) 422-431

WU, Y., DEBS, A.S., MARSTEN, R.E., 1994, A Direct Nonlinear Predictor-Corrector Primal-Dual Interior Point Algorithm For Optimal Power Flows, *IEEE Transactions on Power Systems*, 9, 876-883

YAŞAR, C., FADIL, S., TAŞ, M.A., YILDIZ, T., 2003, Görsel Bir Program: Yük Akışı Analizi ve Aktif Güç Optimizasyonu, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, 20-23

ZIMMERMAN, Ray D., 2010, *Matpower 4.0b4 User's Manuel*, Power Systems Engineering Research Center, 1-105

2010, www.pserc.cornell.edu/matpower/ [Ziyaret Tarihi: 10 Temmuz 2010]

2009, www.teias.gov.tr [Ziyaret Tarihi: 15 Temmuz 2010]

EKLER

EK-A : PSAT YAZILIMI İLE ÖRNEK SİSTEMİN YÜK AKIŞI ANALİZİ

POWER FLOW REPORT

P S A T 2.1.2

Author: Federico Milano, (c) 2002-2010

e-mail: Federico.Milano@uclm.es

website: <http://www.uclm.es/area/gsee/Web/Federico>

File: C:\Program Files\MATLAB\R2008b\psat\tests\d_014tez.mdl

Date: 04-Sep-2010 15:13:04

NETWORK STATISTICS

Buses: 14
Lines: 16
Transformers: 4
Generators: 5
Loads: 11

SOLUTION STATISTICS

Number of Iterations: 4
Maximum P mismatch [p.u.] 0
Maximum Q mismatch [p.u.] 0
Power rate [MVA] 100

POWER FLOW RESULTS

Bus	V [p.u.]	phase [deg]	P gen [p.u.]	Q gen [p.u.]	P load [p.u.]	Q load [p.u.]
Bus 01	1.06	0	2.3255	-0.21957	0	0
Bus 02	1.045	-4.9593	0.4	0.32623	0.217	0.127
Bus 03	1.01	-12.6473	0	0.20255	0.942	0.19
Bus 04	1.0239	-10.3372	0	0	0.478	0.04
Bus 05	1.0314	-8.9332	0	0	0.076	0.016
Bus 06	1.07	-14.8799	0	0.5002	0.112	0.075
Bus 07	1.0438	-13.4296	0	0	0	0
Bus 08	1.09	-13.4296	0	0.286	0	0
Bus 09	1.0266	-15.0516	0	0	0.295	0.166
Bus 10	1.0267	-15.3031	0	0	0.09	0.058
Bus 11	1.0445	-15.2057	0	0	0.035	0.018

Bus 12	1.0529	-15.7198	0	0	0.061	0.016
Bus 13	1.0461	-15.7361	0	0	0.135	0.058
Bus 14	1.0168	-16.3841	0	0	0.149	0.05

LINE FLOWS

From Bus	To Bus	Line	P Flow [p.u.]	Q Flow [p.u.]	P Loss [p.u.]	Q Loss [p.u.]
Bus 02	Bus 05	1	0.41657	-0.05825	0.00913	-0.00877
Bus 06	Bus 12	2	0.08049	0.03317	0.00081	0.00169
Bus 12	Bus 13	3	0.01868	0.01548	0.00012	0.00011
Bus 06	Bus 13	4	0.18178	0.10513	0.00255	0.00502
Bus 06	Bus 11	5	0.0794	0.09937	0.00134	0.00281
Bus 11	Bus 10	6	0.04306	0.07856	0.0006	0.00141
Bus 09	Bus 10	7	0.04763	-0.01894	8e-005	0.00021
Bus 09	Bus 14	8	0.08828	-0.00318	0.00094	0.002
Bus 14	Bus 13	9	-0.06166	-0.05518	0.00113	0.00231
Bus 07	Bus 09	10	0.27569	0.16713	0	0.0105
Bus 01	Bus 02	11	1.5618	-0.2024	0.04259	0.07153
Bus 03	Bus 02	12	-0.70454	0.01425	0.02293	0.05033
Bus 03	Bus 04	13	-0.23746	-0.0017	0.00372	-0.02629
Bus 01	Bus 05	14	0.76368	-0.01717	0.02805	0.06198
Bus 05	Bus 04	15	0.61339	-0.01016	0.00472	0.00138
Bus 02	Bus 04	16	0.55817	-0.05253	0.01663	0.01044
Bus 05	Bus 06	17	0.45367	-0.13448	0	0.05305
Bus 04	Bus 09	18	0.15532	4e-005	0.00012	0.0128
Bus 04	Bus 07	19	0.27569	-0.08996	0	0.01678
Bus 08	Bus 07	20	0	0.286	0	0.01213

LINE FLOWS

From Bus	To Bus	Line	P Flow [p.u.]	Q Flow [p.u.]	P Loss [p.u.]	Q Loss [p.u.]
Bus 05	Bus 02	1	-0.40744	0.04949	0.00913	-0.00877
Bus 12	Bus 06	2	-0.07968	-0.03148	0.00081	0.00169
Bus 13	Bus 12	3	-0.01856	-0.01537	0.00012	0.00011
Bus 13	Bus 06	4	-0.17923	-0.10011	0.00255	0.00502
Bus 11	Bus 06	5	-0.07806	-0.09656	0.00134	0.00281
Bus 10	Bus 11	6	-0.04245	-0.07715	0.0006	0.00141
Bus 10	Bus 09	7	-0.04755	0.01915	8e-005	0.00021
Bus 14	Bus 09	8	-0.08734	0.00518	0.00094	0.002
Bus 13	Bus 14	9	0.0628	0.05749	0.00113	0.00231
Bus 09	Bus 07	10	-0.27569	-0.15664	0	0.0105
Bus 02	Bus 01	11	-1.5192	0.27392	0.04259	0.07153
Bus 02	Bus 03	12	0.72746	0.03609	0.02293	0.05033
Bus 04	Bus 03	13	0.24119	-0.02459	0.00372	-0.02629

Bus 05	Bus 01	14	-0.73563	0.07915	0.02805	0.06198
Bus 04	Bus 05	15	-0.60867	0.01154	0.00472	0.00138
Bus 04	Bus 02	16	-0.54153	0.06297	0.01663	0.01044
Bus 06	Bus 05	17	-0.45367	0.18753	0	0.05305
Bus 09	Bus 04	18	-0.15521	0.01276	0.00012	0.0128
Bus 07	Bus 04	19	-0.27569	0.10674	0	0.01678
Bus 07	Bus 08	20	0	-0.27387	0	0.01213

GLOBAL SUMMARY REPORT

TOTAL GENERATION

REAL POWER [p.u.] 2.7255

REACTIVE POWER [p.u.] 1.0954

TOTAL LOAD

REAL POWER [p.u.] 2.59

REACTIVE POWER [p.u.] 0.814

TOTAL LOSSES

REAL POWER [p.u.] 0.13546

REACTIVE POWER [p.u.] 0.28142

EK-B: MATPOWER YAZILIMI İLE ÖRNEK SİSTEMİN YÜK AKIŞI ANALİZİ

Toolbox Path Cache read in 0.04 seconds.

MATLAB Path initialized in 0.57 seconds.

MATPOWER Version 4.0b4, 21-May-2010 -- AC Power Flow (Newton)

Newton's method power flow converged in 4 iterations.

Converged in 0.27 seconds

System Summary

How many?		How much?	P (MW)	Q (MVar)
Buses	14	Total Gen Capacity	800.0	-1042.0 to 1128.0
Generators	5	On-line Capacity	800.0	-1042.0 to 1128.0
Committed Gens	5	Generation (actual)	272.5	109.9
Loads	11	Load	259.0	81.4
Fixed	11	Fixed	259.0	81.4
Dispatchable	0	Dispatchable	- 0.0 of -0.0	-0.0
Shunts	0	Shunt (inj)	-0.0	0.0
Branches	20	Losses ($I^2 * Z$)	13.55	56.60
Transformers	4	Branch Charging (inj)	-	28.1
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow	0.0	0.0
Areas	1			

	Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	1.010 p.u. @ bus 3	1.090 p.u. @ bus 8
Voltage Angle	-16.38 deg @ bus 14	0.00 deg @ bus 1
P Losses ($I^2 * R$)	-	4.26 MW @ line 1-2
Q Losses ($I^2 * X$)	-	13.00 MVar @ line 1-2

Bus Data

Bus	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.060	0.000	232.55	-21.94	-	-
2	1.045	-4.959	40.00	32.88	21.70	12.70
3	1.010	-12.648	0.00	20.30	94.20	19.00
4	1.024	-10.336	-	-	47.80	4.00
5	1.031	-8.933	-	-	7.60	1.60
6	1.070	-14.880	0.00	50.05	11.20	7.50
7	1.044	-13.429	-	-	-	-
8	1.090	-13.429	0.00	28.62	-	-
9	1.027	-15.051	-	-	29.50	16.60
10	1.027	-15.303	-	-	9.00	5.80
11	1.044	-15.205	-	-	3.50	1.80
12	1.053	-15.720	-	-	6.10	1.60

13	1.046	-15.736	-	-	13.50	5.80
14	1.017	-16.384	-	-	14.90	5.00
		Total:	272.55	109.91	259.00	81.40

Branch Data

Brnch	From Bus	To Bus	From Bus Injection		To Bus Injection		Loss (I ² * Z)	
			P (MW)	Q (MVA _r)	P (MW)	Q (MVA _r)	P (MW)	Q (MVA _r)
1	1	2	156.18	-20.24	-151.92	27.39	4.259	13.00
2	1	5	76.37	-1.70	-73.56	7.89	2.805	11.58
3	11	10	4.31	7.86	-4.25	-7.72	0.060	0.14
4	2	4	55.82	-5.02	-54.15	6.43	1.663	5.05
5	2	5	41.66	-5.80	-40.74	4.92	0.913	2.79
6	3	4	-23.74	-0.13	24.12	-2.50	0.372	0.95
7	14	13	-6.17	-5.52	6.28	5.75	0.113	0.23
8	4	7	27.57	-9.02	-27.57	10.69	-0.000	1.68
9	4	9	15.53	-0.00	-15.52	1.28	0.012	1.28
10	5	6	45.37	-13.47	-45.37	18.77	-0.000	5.31
11	6	11	7.94	9.94	-7.81	-9.66	0.134	0.28
12	6	12	8.05	3.32	-7.97	-3.15	0.081	0.17
13	6	13	18.18	10.52	-17.92	-10.01	0.255	0.50
14	3	2	-70.46	1.43	72.75	3.61	2.293	9.66
15	7	9	27.57	16.71	-27.57	-15.66	-0.000	1.05
16	9	10	4.76	-1.90	-4.75	1.92	0.008	0.02
17	9	14	8.83	-0.32	-8.73	0.52	0.094	0.20
18	5	4	61.34	-0.95	-60.86	1.09	0.472	1.49
19	12	13	1.87	1.55	-1.86	-1.54	0.012	0.01
20	8	7	-0.00	28.62	0.00	-27.41	-0.000	1.21
						Total:	13.546	56.60

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : HARMAN, Zekeriya
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 25.07.1972 Karabük
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (288) 214 87 77
Faks : 0 (288) 214 14 95
e-mail : etzharman@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Düzce Üniversitesi /Elektrik Bölümü	2010
Lisans	Marmara Üniversitesi/ Elektrik EABD	2001
Lise	Maçka A.T.Teknik Lisesi	1991

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2009-...	Kırklareli Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2006-2009	MSB ANT Başkanlığı	Bilgisayar İşletmeni
2005-2006	Macrol Scientific A.Ş.	Üretim Sorumlusu
2003-2005	Kent Day.Tük.Mal.Ltd.Şti.	Servis Müdürü
2001-2002	Dede Korkut İ.Ö.O.	İngilizce Öğretmeni

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kitap, Basketbol, Yüzme