

57588



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ SİSTEMLERİNDE DURUM TAHMİNİ

Elek.Müh. Ümitsen HAYKIR

F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

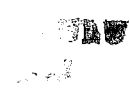
Tez Danışmanı : Yard. Doç. Dr. Erdin GÖKALP

57588

İSTANBUL , 1996



Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü



İÇİNDEKİLER :

İÇİNDEKİLER.....	I
TEŞEKKÜR	III
ÖZET.....	IV
ABSTRACT (İNGİLİZCE ÖZET).....	V
1.BÖLÜM.....	1
1.1 GÜÇ SİSTEMİ DURUM TAHMİNİNE GENEL BAKIŞ.....	1
1.2 DURUM TAHMİNİ İÇİN VERİLERİN ELDE EDİLMESİ.....	3
1.3 GÜÇ SİSTEMİNİN GENEL AMACI.....	6
2. BÖLÜM.....	7
2.1 EN KÜÇÜK KARELER YÖNTEMİ.....	7
3. BÖLÜM	
İSTATİSTİK,HATALAR VE TAHMİN İLİŞKİLERİ.....	19
3.1 HATALARIN KAYNAKLARI VE NEDENLERİ.....	19
3.2 HATALARIN ETKİLERİ.....	20
3.3 KÖTÜ VERİLERİN YOK EDİLMESİ.....	22
3.4 KÖTÜ VERİ TESTİ.....	29
4. BÖLÜM	
GÜÇ SİSTEMLERİNDE DURUM TAHMİNİNE GİRİŞ.....	42
4.1 ALTERNATİF UYGULAMALAR.....	43
4.2 SİSTEM İŞLETMESİNDEKİ MEVCUT UYGULAMALAR.....	44
4.2.1 KOMŞU SİSTEMLERİ TEMSİL ETMEK İÇİN EŞDEĞER ŞEBEKE KULLANILMASI.....	47
4.3 DURUM TAHMİNCİNİN YAPISI.....	49
4.3.1 ÖLÇME VE UZAKTAN ÖLÇME SİSTEMİ.....	50
4.3.2 GİRİŞ VERİLERİNİ SAKLAMA VE GÖRÜNTÜLEME.....	51
4.3.2.1 YALANCI ÖLÇÜMLERİ BELİRTME.....	51
4.3.2.2 ÖLÇÜM DUYARLIĞI BELİRTME.....	51
4.3.2.3 ŞEBEKE VERİLERİ.....	52
4.3.2.4 KISA DÖNEM YÜK TAHMİNLERİ VE ÜRETİM TAKVİMLERİ.....	52
4.3.3 TAHMİN VE KOVARYANS HESABI.....	52
4.3.3.1 ÖLÇÜM İŞLEME KONTROLÜ.....	52
4.3.3.2 GÜÇ AKIŞI PROGRAMI.....	53
4.3.3.3 GÜÇ AKIŞI KOVARYANS HESABI.....	53
4.3.3.4 ÖLÇÜMLER İÇİN SIRALI İŞLEMCİ.....	53
4.3.4 ÇIKIŞ VERİLERİNİ SAKLAMA VE GÖRÜNTÜLEME.....	53
4.3.5 HABER ALMA MERKEZİ.....	54
4.4 TAHMİNCİNİN GİRİŞLERİ.....	54
4.5 ON-LINE ÖLÇÜM İŞLEME.....	55
4.6 GÜÇ SİSTEMİNDE DURUM TAHMİNİ.....	56
4.7 H _x MATRİSİNİN YAPISI VE ŞEKLİ.....	73
5. BÖLÜM	
GÜÇ SİSTEMİ DURUM TAHMİNİ KONUSUNDA İLERİ KONULAR.....	86

5.1 GÜÇ SİSTEMLERİNDE DURUM TAHMİNİ İÇİN ÖLÇME SİSTEMİ SEÇİMİ.....	86
5.1.1 ŞEBEKE KONFIGÜRASYONU (YAPISI).....	86
5.1.2 GÜVENİLİRLİK İÇİN FAZLALIK KONUSU.....	87
5.1.3 PARAMETRE TAHMİNİ İÇİN FAZLALIK KONUSU.....	88
5.1.4 TAM DOĞRULUK İÇİN FAZLALIK KONUSU.....	89
5.2 ÖLÇME SİSTEMİ PLANLAMA VE DİZAYNINDAKİ UYGULAMALAR.....	92
5.2.1 ÖLÇME ALETİ YERLEŞİM PROBLEMİ.....	92
5.2.2 HİYERARŞİK BİLGİ SİSTEMİ.....	92
5.2.3 BİLGİ SİSTEMİ SİMÜLASYONU.....	92
5.3 ÖLÇÜM SAYISINA GÖRE TAHMİN DENKLEMLERİNİN DEĞİŞİMİ....	94
5.3.1 BELİRLİLİK ÜSTÜ DURUM ($N_m > N_s$).....	94
5.3.2 TAM BELİRLİ DURUM ($N_m = N_s$).....	95
5.3.3 BELİRLİLİK ALTI DURUM ($N_m < N_s$).....	95
6. BÖLÜM.....	98
6.1 ÖRNEK BİR GÜÇ SİSTEMİNE UYGULAMA.....	98
6.1.1 VERİLER.....	102
6.1.2 DENKLEMLERİN ELDE EDİLMESİ.....	103
6.1.3 DURUM TAHMİNİ PROGRAMI.....	106
6.2 SONUÇLAR.....	117
7 KAYNAKLAR.....	119

TEŞEKKÜR :

Tez çalışmalarında danışmanlığımı yapan Yard.Doç.Dr. Erdin GÖKALP Bey' e yapmış olduğu yardımlardan dolayı teşekkür ederim. Ayrıca gerek konu belirlemede gerekse kaynak bulmada göstermiş olduğu ilgiden dolayı Elek.Yük.Müh. Aslan İNAN Bey'e de teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET :

Elektrik Güç Sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar genelde elde edilen veya geliştirilen modeller vasıtasıyla olduğu için modelleme hataları önem kazanmaktadır. Ayrıca sistem üzerine etki eden bir çok faktörden dolayı sistem , kendi modelinden çok farklı bir hale gelebilir. İşte bu durumda Durum Tahmini sistemin herhangi bir andaki durumunu aslına uygun tahmin etmeye yarar. Yani bir Gerçek-Zaman Veri Analizi yapar.

Bu çalışmada öncelikle durum tahmininin amaçlarından , yararlarından ve durum tahminine hazırlık (veri elde etme) safhasından bahsedildi. Sonra basit bir DC devre üzerinde bir sistem modeli oluşturularak , bu devre vasıtasıyla genel durum tahmin denklemleri elde edildi. Eldeki veriler ve bu denklemler kullanılarak devrenin durum tahmini elde edildi. Bu yapılırken En Küçük Kareler Yöntemi kullanılmıştır.

İkinci önemli konu olarak eldeki verilerin hatalarını bulmaya yarayan “ki-kare” testi kullanılmıştır. Bu istatistiki yöntem kullanılarak bir kötü veri testi ortaya çıkarılmıştır. Böylece daha doğru bir tahmin yapmaya yönelinmiştir.

Bu hazırlık safhalarından sonra güç sistemine uygulamaya geçilmiştir. İlk önce güç sistemi durum tahmini uygulamaları hakkında bilgi verilmiş yararlarından bahsedilmiştir. Sonra gerekli denklemler verilerek bunların kullanılması ile ilgili örnekler gösterilmiştir. Daha sonra durum tahmini konusu için çok önemli olan Hx matrisinin yapısından ve elde edilmesinden bahsedilmiştir. Ayrıca durum tahmini konusunda ileri konular olan ölçme sistemi seçimi ve ölçüm sayısına göre durum tahmini denklemlerinin değişiminden bahsedilmiştir.

Son olarak bir durum tahmini programı geliştirilmiş ve üç baralı bir güç sistemine uygulanmıştır. Bu örnekte durum tahmini programının nasıl çalıştığı görülmüş ve sistemin gerçek durumuna yakın sonuçlar elde edilmiştir.

ABSTRACT :

Due to increasing importance of modelling mistake , studies were done on power systems by general determined or developed models. As well as that in so far as a lot of effects influence the system , system can differ from its model. State estimation , under this condition , is used estimating the state of system. It means that it verifies real-time data analysis .

In this study , subject of state estimation facilities and preparation for it (data acquisition) was discussed first. Then by using a simple DC circuit of general state estimation equations were obtained. Using available data and these equations , state of circuit has been estimated at any time. In the process of estimation , The Method of Least Squares was used.

As a second subject of “chi-square” test was used in order to find out errors of available data. Using this statistical method , such a bad data detection test was found. So much better an estimation has been led.

After these preparation sections , we passed the application of power system. First of all information about the applications of power system state estimation is given and facilities of power system state estimation are mentioned. Then equations that are needed are given and examples about the equations are solved , and then Hx matrix which is very important for state estimation and the way to find the matrix is told. Also the changes of state estimation equations according to measurement number and selection of measurement system which are extreme subject about state estimation are presented.

Finally a state estimation program is developed and it is applied to a three bus power system. In this example , the working of state estimation program is examined and the solutions which are nearly equal to real state of system are held.

1. BÖLÜM

1.1 GÜÇ SİSTEMİ DURUM TAHMİNİNE GENEL BAKIŞ

Durum tahmini , enerji kontrol merkezleri için peryodik olarak on-line uzaktan ölçülen veriler kullanılarak her bir kaç dakikada bir temel yük akışı probleminin çözümüne yardımcı olmakla ilgilidir. Bir dağıtım şirketinin veya kuruluşunun büyük dahili iletim sistemi için durum tahmini kullanılır. Ayrıca her bir dağıtım kurumu durum tahminciye sahipse bir harici şebeke eşdeğer modelinin geliştirilmesine yardım için diğer komşu dağıtım kurumları ile veri değişimleri kolayca yapılacaktır. Böyle dağıtım sistemleri interkonnekte şebekelerdir. Son zamanlarda interkonnekte güç sistemleri daha karmaşık ve sistemi güvenli bir şekilde işletmek daha zorlaşmıştır. Ana sistem çökmeleri ve bölgesel güç kesintilerinden kaçınmaya yardım olsun diye elektrik dağıtım kurumları , enerji kontrol merkezlerinde bilgisayar destekli şebekenin (SCADA : Supervisory Control and Data Acquisition) heryerinde daha geniş yönetim kontrolü ve veri elde etme tesisatına sahiptirler. Oluşturulan veri bankaları uygulama programları için tasarlanır. Bunların bazıları ekonomik sistem işletmesini ve diğer konulara mesela ekipman hataları ve iletim hattı kesilmeleri olursa güvenliği sağlamak içindir.

Herhangi bir güvenlik değerlendirmesi yapmadan önce veya kontrol faaliyetine girişmeden önce sistemin gerçek durumunun güvenilir bir tahmini belirlenmelidir. Bu fiziksel ölçümlerin amacı basit güç akışı hesaplamalarına destek olmak için gerekli nicelikleri sağlamakla sınırlanamaz. Basit güç akışı , kontrol yapılan baralardaki P , $|V|$ değerleri ile sınırlıdır. Bu girişlerden biri bilinmiyorsa basit güç akışı problemi bile çözülemez. Bununla birlikte , giriş niceliklerinin bir veya daha fazlasındaki büyük hatalar faydasız yük akışı sonuçlarına neden olur. Pratikte P , Q hat akışları gibi diğer gerekli ölçülen nicelikler elde edilebilirler fakat onlar basit güç akışı hesaplamalarında kullanılamazlar. Bu sınırlamalar ağırlıklı en küçük kareler temelinde durum tahmini ile

kaldırılabilir. Sistem durumunu tahmin ve ölçülen niceliğe ait iyi bir tahminin nasıl olacağına dair sunulan bilgiler daha öncelikle bu gerçek zaman güç akışı hesaplamaları veya on-line sistem güvenliğini değerlendirmek için kullanılır. Bundan başka basit güç akışı analizleri için gereken veriler sistemden alınan megawatt ve magavar akışlarını içine alır. Kaçınılmaz ölçme hataları durumların (state) istatistiksel özellikleri ve tahminleri ile işaretlenir ve bunlar tatmin edici kabul edilmeden önce istatistiksel bir teste tabi tutulur. Bu nedenle durum tahmini esnasında belirlenen büyük hatalar otomatik olarak filtrelenir veya yok edilir.

Durum tahmini için gerekli olan veriler alınırken tahminin yapılması için gerekli verilerden daha fazlası ölçülür. Böyle yapılarak ölçümlerdeki hataların bazısını filtrelemek için durum tahmini istatistiksel teorisi kullanılabilir. Bu durumda çözümlerin ölçümlerden daha doğru olmasını bekleyebiliriz. Her ne kadar çözümlerin doğruluğu artırılrsa da yinede (tam) kesin bir doğruluk sağlanamaz. Kötü veriler nadiren ölçme aletlerinin bozulmasından , muhtemelen iletişim hatalarından veya diğer bazı faktörlerden dolayı oluşur. Yalnızca fazla ölçümler olduğunda yük akışı çözümlerinin güvenilirliğini korumak için otomatik kendini kontrol algoritması ve bir oran geliştirmek yararlı olur.

Durum tahmini algoritması ölçümlerdeki hataların istatistiğini bulmak için kendi kendine adresleme veya belirleme yapar. Durum tahmini problemine stokastik (olasılık teorisi kullanılarak) bir yaklaşım gereklidir. Elde edilen ölçümler ve çözümler probabilistik (olasılıksal) karakterinden dolayı yapı itibarıyla stokastiktir. Bu stokastik yaklaşımın önemi sadece ölçüm hatalarının gösterilmesi veya belirlenmesinde yatmaz. Fakat yinede belirlenemeyen diğer faktörlerin yerleştirilmesinde (yanlışlıkların , hataların modellenmesinde bunların ortaya çıkması gibi) rol oynar. Hat değerlerindeki elde edilen sonuç yanlışlıkları , admitans değerini elde etmedeki ilk yaklaşımlardan dolayı transformatör admitansları , hava etkileri ve diğerleri bunlara örnektir. Bunlar küçük fakat özellikle ölçme hatalarıyla karşılaştırıldığında önemli hatalardır. Harici bir eşdeğer model olmaksızın durum tahmininin kullanılması gerilim seviyelerini , faz açılarını hat akışlarını ve şebeke yapısını (veya durumunu) bir ekranda görüntüleme işlemini

sınırlandırmaktadır. Bundan dolayı şebeke yapısı veya topolojisi iyi belirlenip modellenmelidir. Bu modelleme işinde yine zaman zaman büyük modelleme hataları meydana gelir.

Durum tahmini ile bağlantılı öncelikli (önemli) konular şunlardır ;

- * Ağırlıklı en küçük kareler tahmini
- * Kötü verilerin bulunması ve yok edilmesi
- * Parametre tahmini yoluyla modelleme hatalarının düzeltilmesi
- * Ölçü aletlerinin seçimi ve yerleştirilmesi

Bu konular ileride daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır (*Johns,A.T.,IEEE Power Engineering Series 5*).

1.2 DURUM TAHMİNİ İÇİN VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

Büyük ve karmaşık güç dağıtım sistemlerinin ortaya çıkması ile birlikte veri kazanma veya veri elde etme konusu önemli hale gelmiştir. Ancak interkonnekte sistemlerin ortaya çıkması ile bu işlem git gide zorlaşmakta ve karmaşık bir hal almaktadır. Türkiye’de de olduğu gibi veri elde etme sisteminin temelini SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition : Yönetimsel Kontrol ve Veri Kazanma*) sistemi oluşturmaktadır.

SCADA , kontrol merkezlerindeki operatörler ve diğer uygulama programları tarafından ihtiyaç duyulan verileri Uzak Terminal Birimleri (UTB) aracılığıyla toplayan ve bunların gönderdiği komutları istasyonlara ileten uygulamadır. Ülkemizde SCADA , Ulusal Yük Dağıtım Sisteminin en temel fonksiyonudur.

Mesala Türkiye’de SCADA sistemi ile toplam olarak 45 istasyondan yaklaşık 800 ölçüm ve 3200 civarında durum ve alarm bilgisi toplanmaktadır (*Uçan ,Bahadır Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi*).

Türkiye’de SCADA ile toplanan ölçüm bilgileri :

- * 380 kV hatlardaki aktif ve reaktif güçler,
- * 380 kV bara gerilimleri,
- * 380/154 kV ototrafoların 154 kV taraflarındaki aktif ve reaktif güç akışları ile gerilimleri,
- * Genaratör ünitelerinin brüt aktif ve reaktif güç değerleri ve buna ilaveten kömür santrallerinde genaratör ünitelerinin net aktif ve reaktif güç değerleri,
- * Diğer ülkelerle veya şirketlerle olan bağlantı hatlarındaki aktif ve reaktif güç akışları ve aktif enerji alış veriş değerleri,
- * Seri kapasitör akımları,
- * Bazı baralardan frekans ölçümleri,
- * 380/154 kV ototrafoların YKD pozisyon değerleri,
- * AGC (otomatik üretim kontrolü) için hassas frekans ölçümü,
- * YFK (Yük Frekans Kontrolü)’ na katılan santrallerin alt ve üst sınır bilgileri,

Toplanan durum ve alarm bilgileri ;

- * Topoloji (şebeke yapısı) tanımlayan kesici/ayırıcı/toprak ayırıcısı durum bilgileri,
- * 380 kV ve 154 kV baraların gerilim ve sigorta durum bilgileri,
- * Hat kesicisi tekrar kapama bilgileri,
- * Genaratör senkron kompensatör bilgileri,
- * YFK’ na katılan santral ünitelerinin on/off ,auto/manual ve YFK anabiriminin çalışma modu ve alarm bilgileri,
- * UYD (Uzak Yük Denetim) sisteminde bulunan iletişim cihazları ve diğer teçhizat ikazları,

UTB (uzak terminal birimi)' lere gönderilen komutlar ;

- * Otomatik üretim kontrolü,
- * Programın her 4 saniyede bir çalışarak Yük Frekans Kontroluna katılan santrallar için hesap ettiği aktif güç ayar noktası değerleri,
- * Yük Frekans Kontroluna dahil olmayan hidrolik santrallere operatör tarafından gönderilen santral üretim talep değerleri.

Durum bilgileri ve ikazların yanı sıra bunların akış zamanlarını gösteren zaman etiketi bilgileri de toplanır. Bu bilgiler ekranlarda sıralı olaylar listesinde görüntülenir.

Genel olarak 10 saniyede bir sorgulanan analog ölçümler tam skalalarının 2/1000' i kadar değişmedikçe UTB'ler tarafından gönderilmemektedir. 2 saniyede bir sorgulanan Yük Frekans Kontroluna katılan santral üniteleri ve diğer elektrik şebekesi ile olan bağlantı hatlarının MW değerleri bu kuralın dışındadır. Ulusal Kontrol Merkezinde hassas frekans ölçümü 1 saniyelik aralıklarla yapılmaktadır.

SCADA veri tabanı (SCADAMOM) 4 Bölümden oluşmaktadır.Bu Bölümlerde ;

- * Hiyerarşik bir yapı içinde bilgi toplanan istasyonlar ve ölçümler,
- * Telemetre sisteminin yapısı,
- * Giriş/Çıkış birimlerinin UTB' lere bağlantı yapısı,
- * BKM (Bölgesel Kontrol Merkezi)' leri ile UTB' ler arasındaki iletişim sisteminin yapısı,
- * UKM ile BKM' leri arasındaki iletişim sisteminin yapısı ve mesajlar tanımlanır.

Daha fazla bilgi için (*Uçan,Bahadır,Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi*) isimli kaynağa bakınız.

1.3 GÜÇ SİSTEMİ DURUM TAHMİNİN GENEL AMACI

Daha öncede bahsedildiği gibi durum tahmini bize sistemin o anki yapısı hakkında bilgi sağlar. Fakat durum tahmininin konusunu sırf tahminle sınırlandırmak doğru değildir. Durum tahmini algoritmasının en önemli özelliklerinden biriside hataları yok etmesidir. Böylece ölçümlerden daha doğru olan tahmin değerlerini kullanabiliriz. Bir durum tahmincininde genel amacı bu daha doğru verileri elde etmek olmalıdır. Aşağıda durum tahmini konusunun genel amaçları verilmiştir ;

- * Şebeke durumunu (tüm baraların , gerilim değerleri ve açılarını) hesaplamak,
- * Bulunan bu şebeke durumundan yararlanarak , şebekenin diğer bilinmeyenlerini hesaplamak,
- * Giriş bilgilerindeki , yani SCADA' dan gelen ölçüm bilgileri ve şebeke modelindeki hataları saptamak,
- * Şüpheli ölçümlerin çözümdeki ağırlıklarını azaltarak , tamamen hatalı ölçümlerin ağırlıklarını sıfıra indirerek yani bu ölçümleri çözüm dışı bırakarak mümkün olduğu kadar hatalardan arındırılmış bir çözüm bulmak (*Bahadır,Uçan ,5. Elektrik Mühendisliği Ulusal Kongresi*)

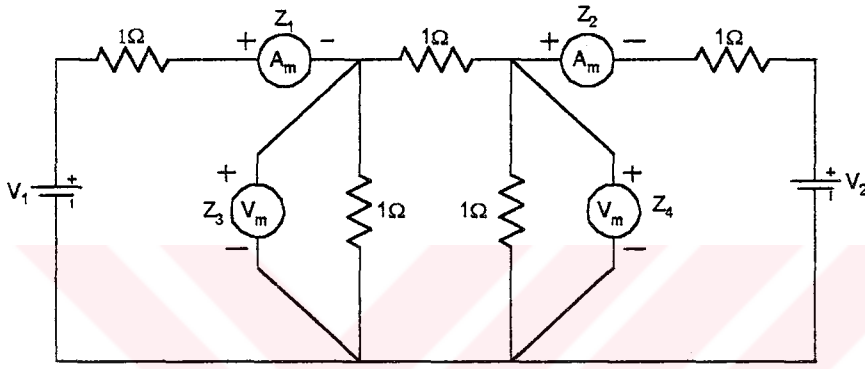
2. BÖLÜM

2.1 EN KÜÇÜK KARELER YÖNTEMİ

Elektrik güç iletim sistemlerinde aktif (gerçek) güç , reaktif (gerçel) güç , gerilimler ve akımları ölçmek için sırasıyla wattmetreler , varmetreler , voltmetreler ve ampermetreler kullanılır. Bu devamlı (aralıksız) veya analog nicelikler sistemin güç santrallerinin ve alt istasyonlarının (dağıtım postaları) baralarına , transformatörlerine ve hatlarına kurulan akım ve gerilim transformatörleri (veya eşdeğer devreler) vasıtasıyla ekranlara aktarılırlar. Ancak nicelikler transduserler ve analog-dijital dönüştürücülerden geçirilerek , dijital çıkışlar çeşitli iletişim linklerinden (linkler üzerinden) enerji kontrol merkezlerine aktarılırlar (veya telemetre edilirler). Alınan veriler enerji kontrol merkezlerinde sistemin ileriki (gelecek) durumunun sistem operatörleri tarafından bilinmesi için bilgisayarlar vasıtasıyla işlenirler. Elde edilen veriler daima hatalar içerirler ki bunlar kaçınılmazdırlar. Çünkü fiziksel ölçümler (sayısal çözümlerin aksine) rasgele hatalar veya gürültülerden tamamen bağımsız yapılamazlar. Bu hatalar istatistiksel manadaki sayılara dökülebilirler ve ölçüm yapılan niceliklerin tahmin edilen değerleri eğer belirli ölçme doğruluklarını aşmışlarsa makul kabul edilebilirler veya reddedilebilirler.

Gürültüden dolayı fiziksel niceliklerin gerçek değerleri asla bilinemez ve bilinemeyen niceliklerin en iyi muhtemel tahminlerini nasıl hesaplayacağımızı dikkate almalıyız. En küçük kareler metodu bir veya iki nicelikte ölçülen verilerin arasındaki en iyi , en kuvvetli ilişkiyi bulmada sık sık kullanılır. İlk önce konunun anlaşılması için DC ölçümlerin basit bir grubu için uygulama yapacağız. Bu gruptaki ölçümler hata içermektedirler. Bu uygulama **4.Bölüm'** deki AC güç sistemi için tahmin prosedürüne kadar genişletilir. En iyi tahminler ölçme hatalarının karelerinin toplamını ağırlıklı olarak minimize etmekle seçilir. **Şekil 2.1'**deki basit DC devrede 5 direncin herbiri 1Ω olmak üzere , V_1 ve V_2 gerilim kaynakları bilinmemek üzere tahmin yapılır. Ampermetre okumaları z_1 , z_2 ve

voltmetre okumaları z_3 , z_4 ölçüm grubunu içerir.” z ” sembolü ölçme yapılan fiziksel nicelik ne olursa olsun normalde ölçümler için kullanılır ve benzer olarak “ x ” sembolü de tahmin edilen nicelikler için kullanılır. Temel devre analizi yöntemleriyle , sistem modeli şebeke parametrelerinin terimlerdeki ölçülen niceliklerin değerleri ve gerçek (fakat bilinmeyen) $x_1 = V_1$ ve $x_2 = V_2$ gerilim kaynakları ile ifade edilir. Sonra ölçü aletleri okumalarını karakterize etmek için , ölçülen denklemleri sistem modeli için hata terimleri uygulama yöntemiyle bulunur.



Şekil 2.1: z_1 ve z_2 niceliklerini ölçen iki ampermetreli (A_m) ve z_3 ve z_4 'ü ölçen (V_m) iki voltmetreli basit DC devre.

Şekil 2.1' den şunları elde edebiliriz ;

$$z_1 = \frac{5}{8}x_1 - \frac{1}{8}x_2 + e_1 \quad (2.1)$$

$$z_2 = -\frac{1}{8}x_1 + \frac{5}{8}x_2 + e_2 \quad (2.2)$$

$$z_3 = \frac{3}{8}x_1 + \frac{1}{8}x_2 + e_3 \quad (2.3)$$

$$z_4 = \frac{1}{8}x_1 + \frac{3}{8}x_2 + e_4 \quad (2.4)$$

Buradaki nümerik katsayılar , devre dirençleri ve iki gerilim z_3 ve z_4 , iki akım z_1 ve z_2 ölçümlerindeki hataları belirten e_1 , e_2 , e_3 ve e_4 vasıtasıyla belirlenirler. Bazı bilim

adamları hatalar (errors) yerine fazlalık (residual) terimini kullanırlar. Bu nedenle her iki terimi bazan birbiri yerine kullanabiliriz.

Eğer e_1 , e_2 , e_3 ve e_4 sıfır (ideal durum) , ölçü aleti okumalarının herhangi ikisi belirlenmiş olan V_1 ve V_2 ' nin x_1 ve x_2 gerçek değerlerinden tam (kesin) ve birbirini tutacak şekilde değerler olurlar. Fakat herhangi bir tasarımda (planda) bilinmeyen hatalar vardır ki bunlar genellikle **3.Bölüm'** de anlatılacağı gibi istatistiksel bir kalıp takip ederler. 2.1' den 2.4' e kadar olan denklemlerin katsayıları belli bir yola göre adlandırılırsa ,

$$z_1 = h_{11}x_1 + h_{12}x_2 + e_1 = z_{1,ger} + e_1 \quad (2.5)$$

$$z_2 = h_{21}x_1 + h_{22}x_2 + e_2 = z_{2,ger} + e_2 \quad (2.6)$$

$$z_3 = h_{31}x_1 + h_{32}x_2 + e_3 = z_{3,ger} + e_3 \quad (2.7)$$

$$z_4 = h_{41}x_1 + h_{42}x_2 + e_4 = z_{4,ger} + e_4 \quad (2.8)$$

denklemlerini elde ederiz. Burada $z_{j,ger}$, z_j ölçülen niceliğin gerçek değeri olarak gösterilir. Şimdi Denklem (2.5)' den (2.8)' e kadar olan denklemleri vektör matris formunda yeniden düzenlersek ,

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} z_{1,ger} \\ z_{2,ger} \\ z_{3,ger} \\ z_{4,ger} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \\ h_{31} & h_{32} \\ h_{41} & h_{42} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

olur. Denklem (2.9) çok daha basit formda şu şekilde yazılabilir ;

$$e = z - z_{true} = z - Hx \quad (2.9)$$

Burada ölçülen niceliklerin gerçek (fakat bilinmeyen) değerleri $z_{ger} \cong Hx$ ve mevcut ölçümle z arasındaki hataları gösteririz. x_1 ve x_2 ' nin gerçek değerleri bilinemez fakat aşağıda gösterileceği gibi x_1^{est} ve x_2^{est} tahminlerini hesaplayabiliriz. Denklem (2.9) daki bu tahminler çözülerek aşağıdaki formda hataların tahmin edilen değerleri verilir.

$$\begin{bmatrix} e_1^{est} \\ e_2^{est} \\ e_3^{est} \\ e_4^{est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \\ h_{31} & h_{32} \\ h_{41} & h_{42} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1^{est} \\ x_2^{est} \\ x_3^{est} \\ x_4^{est} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

“est ” üst indisli e_j^{est} ve x_j^{est} gibi nicelikler aynı değişkenlerin indissiz olan niceliklerine uygun tahminlerdir. Denklem (2.11)’ de sol taraftaki vektör e^{est} , z ve onların tahminleri

$z^{est} \cong Hx^{est}$ arasındaki farklar olarak gösterilir. Bu nedenle ;

$$e^{est} = z - z^{est} = z - Hx^{est} = e - H (x^{est} - x) \quad (2.12)$$

yazabiliriz. Hesaplanan $e^{est} = [e_1^{est} \ e_2^{est} \ e_3^{est} \ e_4^{est}]^T$ ve $z^{est} = [z_1^{est} \ z_2^{est} \ z_3^{est} \ z_4^{est}]^T$ den x_1^{est} ve x_2^{est} tahminlerini hesaplamak için bir kriter üzerinde karar vermeliyiz. Bu tahmin edilen hataların , cebirsel toplamını minimize etme yoluna gitmek doğru değildir. Çünkü pozitif ve negatif hatalar birbirlerini cebirsel toplamda dengeleyebilir ve bu sanki hatalar yokmuş gibi görülebilir ancak mevcudiyetlerini korurlar. Bundan dolayı hataların kareleri toplamını minimize etmek pozitif ve negatif hata sorununu ortadan kaldırır. Ancak bu da yeterli değildir. Çünkü doğruluğu veya hassasiyeti yüksek olan , yani kaliteli aletlerden alınan ölçümleri ağırlıklandırmak tahminin doğruluğuna katkıda bulunacaktır. Böyle yapmakla bu aletlerden alınan ölçümlerin daha doğru olması varsayımıyla , (bu gerçekte de böyledir) aletin ölçtüğü değerin hatasını daha düşük görmüş oluruz (matematiksel olarak). Bunu yapmak için amaç fonksiyonu diyeceğimiz bir “ f ” hata fonksiyonunu uygun bir ağırlık faktörü ile çarpacağız.

$$f = \sum_{j=1}^4 w_j e_j^2 = w_1 e_1^2 + w_2 e_2^2 + w_3 e_3^2 + w_4 e_4^2 \quad (2.13)$$

f amaç fonksiyonu sayesinde minimum değerlerini alacak olan x_1^{est} ve x_2^{est} durum değişkeni değerlerinin en iyi tahminlerini seçebiliriz. f ’ i minimum yapmak için genelde

şartlara uygun olarak , x_1^{est} ve x_2^{est} tahminleri , x_1 ve x_2 ' nin değerleridir ki bunlar aşağıdaki denklemleri sağlarlar ,

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial x_1} \Big|_{x^{est}} &= \left[w_1 e_1 \frac{\partial e_1}{\partial x_1} + w_2 e_2 \frac{\partial e_2}{\partial x_1} + w_3 e_3 \frac{\partial e_3}{\partial x_1} + w_4 e_4 \frac{\partial e_4}{\partial x_1} \right]_{x^{est}} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial x_2} \Big|_{x^{est}} &= \left[w_1 e_1 \frac{\partial e_1}{\partial x_2} + w_2 e_2 \frac{\partial e_2}{\partial x_2} + w_3 e_3 \frac{\partial e_3}{\partial x_2} + w_4 e_4 \frac{\partial e_4}{\partial x_2} \right]_{x^{est}} = 0 \end{aligned} \quad (2.15)$$

$|_{x^{est}}$ notasyonu , solundaki türevde x yerine x^{est} değerinin konulacağını gösterir. Yani bilinmeyen durumların $x^{est} = [x_1^{est} \ x_2^{est}]^T$ durum tahminlerinden elde edilen değerleri yukardaki denklemlere verileceğini gösterir. Bilinmeyen gerçek hatalar e_j yerine tahmin edilen e_j^{est} hataları konur ki bunlar bir kere bilinen x_i^{est} durumlarından hesaplanabilirler. Vektör matris formundaki (2.14) ve (2.15) denklemleri şu hale gelir ;

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial x_1} & \frac{\partial e_2}{\partial x_1} & \frac{\partial e_3}{\partial x_1} & \frac{\partial e_4}{\partial x_1} \\ \frac{\partial e_1}{\partial x_2} & \frac{\partial e_2}{\partial x_2} & \frac{\partial e_3}{\partial x_2} & \frac{\partial e_4}{\partial x_2} \end{bmatrix}_{x^{est}} \begin{bmatrix} w_1 & . & . & . \\ . & w_2 & . & . \\ . & . & w_3 & . \\ . & . & . & w_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1^{est} \\ e_2^{est} \\ e_3^{est} \\ e_4^{est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Burada , W ağırlık faktörlerinin diyagonal matrisidir. Bu **3.Bölüm'** de gösterileceği gibi özel bir öneme haizdir. Denklem (2.16)' daki çözüm için kısmi türevler H' ' ın elemanları vasıtasıyla , verilen sabitler yardımıyla (2.5)' den ... (2.8)' e kadar olan denklemlerden bulunur. Bu nedenle,

$$e_1^{est} = z_1 - h_{11} x_1^{est} - h_{12} x_2^{est} \text{ denkleminin türevi } \Rightarrow = 0 - h_{11} - 0 \text{ şeklinde olması gibi}$$

$$\begin{bmatrix} h_{11} & h_{21} & h_{31} & h_{41} \\ h_{12} & h_{22} & h_{32} & h_{42} \end{bmatrix} x^{est} \begin{bmatrix} w_1 & . & . & . \\ . & w_2 & . & . \\ . & . & w_3 & . \\ . & . & . & w_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1^{est} \\ e_2^{est} \\ e_3^{est} \\ e_4^{est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

elde ederiz. Denklem (2.17) , Denklem (2.12)' nin basit formunu kullanarak aşağıdaki hali alır ;

$$H^T W e^{est} = H^T W (z - H x^{est}) = 0 \quad (2.18)$$

Bu denklemlerdeki çarpımları yaparak ve $x^{est} = [x_1^{est} \ x_2^{est}]^T$ için çözüm yaparak şunu buluruz,

$$x^{est} = \begin{bmatrix} x_1^{est} \\ x_2^{est} \end{bmatrix} = (H^T W H)^{-1} H^T W z = G^{-1} H^T W z \quad (2.19)$$

burada x_1^{est} ve x_2^{est} bu durum değişkenlerinin “AĞIRLIKLIL EN KÜÇÜK KARELER TAHMİNLERİ” dir. H matrisi bir dikdörtgen matristir. $H^T W H$ (sık sık G “KAZANÇ MATRİSİ” diye adlandırılır) simetrik matrisinin tersi alınırsa tek başına G^{-1} yapmak gibi ki bunun sonucu simetrik bir matristir. Ayrıca ilerde deyineceğimiz gibi yeterli ölçüm olmadığı zaman G’ nin tersini almak zorlaşmaktadır.

x_i tahminlerini elde etmek için ağırlıklı enküçük kareler prosedürünü kullanırız. Böylece elde edilen değerler gerçek duruma oldukça yakın olur. ($x_i^{est} - x_i$) farkı için olan bir ifade Denklem (2.19)’ daki $z = H x + e$ için çözüm yaparak bulunur. Bunu elde etmek için ;

$$\mathbf{x}^{est} = \mathbf{G}^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{W} (\mathbf{H} \mathbf{x} + \mathbf{e}) = \mathbf{G}^{-1} (\mathbf{H}^T \mathbf{W} \mathbf{H}) \mathbf{x} + \mathbf{G}^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{W} \mathbf{e} \quad (2.20)$$

$\mathbf{G}'$ yi $\mathbf{G}^{-1}$ yaparak ve sonucu yeniden düzenleyerek aşağıdaki denkleme ulaşabiliriz ;

$$\mathbf{x}^{est} - \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1^{est} - x_1 \\ x_2^{est} - x_2 \end{bmatrix} = \mathbf{G}^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{W} \mathbf{e} \quad (2.21)$$

Bu Denklem (2.21) sonucu , matristeki herbir terimin boyutunu kontrol etmek için yararlıdır. Bu da “ağırlıklı en küçük kareler” yönteminin özelliklerini geliştirmek için önemlidir. *Şekil (2.1)*’ deki örnek devre için $\mathbf{G}^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{W}$ matrisi bir uçtan bir uca (sıra × kolon) olmak üzere 2 x 4 lük bir boyuta sahiptir. Bunun anlamı e_1 , e_2 , e_3 ve e_4 gibi 4 hatanın herhangi biri veya daha fazlası herbiri durum tahmini ve onların gerçek değerleri arasındaki değerlere etki edebilirler. Diğer yandan , en küçük kareler hesabı herhangi bir ölçümdeki yada tüm tahminlerdeki hataları etkisini yayar : Bu karakteristik “KÖTÜ VERİLER” in bulunması için testin temelidir. Bu konu *3.Bölüm*’ de açıklanacaktır.

Benzer bir konuda , ölçülen niceliklerin $\mathbf{z}^{est} = \mathbf{H} \mathbf{x}^{est}$ hesaplanan değerleri ile Denklem (2.12)’ den çıkan Denklem (2.21)’ den $\mathbf{x}^{est} - \mathbf{x}$ için çözüm vasıtasıyla “z” gerçek ölçümlerini karşılaştırabiliriz. Bu yapılırsa ;

$$\mathbf{e}^{est} = \mathbf{z} - \mathbf{z}^{est} = \mathbf{e} - \mathbf{H} \mathbf{G}^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{W} \mathbf{e} = [\mathbf{I} - \mathbf{H} \mathbf{G}^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{W}] \mathbf{e} \quad (2.22)$$

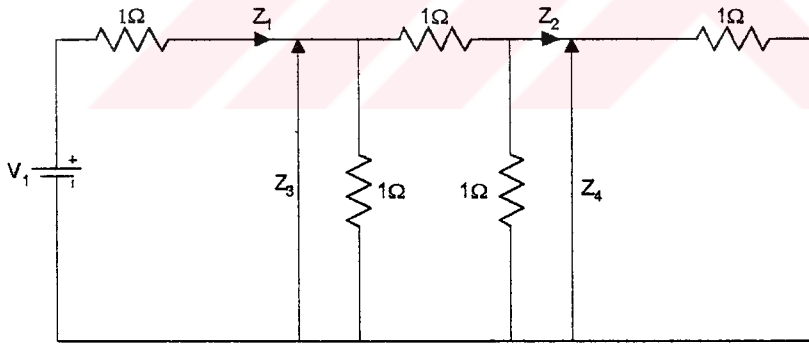
olur. Burada “I” birim matristir. Doğrudan doğruya (2.21) ve (2.22) denklemlerinin kullanılması e_i gerçek hataları bilinmeksizin mümkün değildir. Fakat *3.Bölüm*’ deki hataların istatistiksel özelliklerine girildikten sonra bu denklemleri analitik amaçlar için kullanabiliriz.

Örnek 2.1 :

Şekil 2.1' deki devrede , ölçme aletlerinin okuduğu değerler $z_1 = 9.01 \text{ A}$, $z_2 = 3.02 \text{ A}$, $z_3 = 6.98 \text{ V}$, $z_4 = 5.01 \text{ V}$ dır. Farzedelim ki ampermetreler , voltmetrelere nazaran daha iyi bir doğruluğa sahiptirler. Ölçüm ağırlıkları da $w_1 = 100$, $w_2 = 100$, $w_3 = 50$, $w_4 = 50$ olarak gösterelim. Gerilim kaynakları V_1 , V_2 ' nin ağırlıklı en küçük kareler tahminlerini hesaplayalım.

Çözüm :

Ölçülen akımlar ve gerilimler , temel süperpozisyon devre analizi yöntemi kullanılarak iki gerilim kaynağının fonksiyonu olarak ifade edilebilirler. Sonuç , Denklemler (2.1) den (2.4)' e kadar olan denklemler , sistem modelini temsil eder. Bu modeli şu şekilde buluruz.

 V_1 Gerilim Kaynağı Devrede :

Şekil (2.1.a): V_1 kaynağı devrede olduğu zaman ki durum.

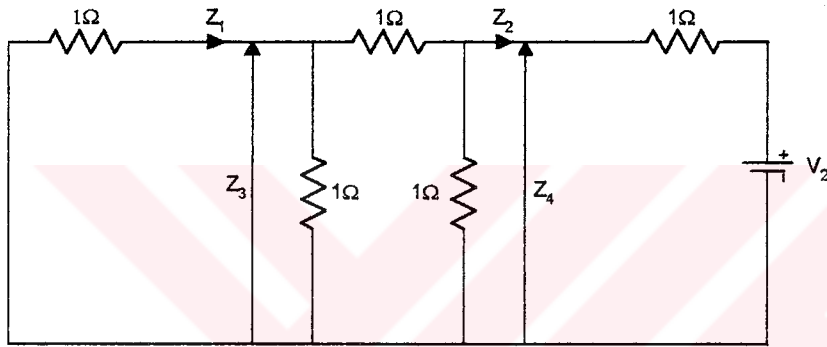
$$z_1^1 = V_1 / \{ [(1//1+1)//1] + 1 \}$$

$$z_3^1 = z_1^1 \cdot \frac{[(1//1) + 1]}{[(1//1) + 1] + 1} \cdot 1$$

$$z_2^1 = \left[z_1^1 - z_3^1 \frac{[(1//1) + 1]}{[(1//1) + 1] + 1} \right] \cdot \left(\frac{1}{1+1} \right)$$

$$z_4^1 = \left[z_1^1 - z_3^1 \frac{[(1//1) + 1]}{[(1//1) + 1] + 1} \right] \cdot \left(\frac{1}{1+1} \right) \cdot 1 = z_2^1 \cdot 1$$

V_2 Gerilim Kaynağı Devrede :



Şekil (2.1.b): V_2 kaynağı devrede olduğu zamanki durum.

$$z_2^u = -V_2 / 7\{[(1//1+1)//1]+1\}$$

$$z_4^u = z_2^u \cdot \frac{[(1//1+1)//1]}{[(1//1+1)//1]+1} \cdot 1$$

$$z_1^u = [z_2^u - (z_4^u/1)] \cdot [1/(1+1)]$$

$$z_3^u = z_1^u \cdot 1 = z_1^u$$

Bundan sonra ;

$$z_1 = z_1^i + z_1^u$$

$$z_2 = z_2^i + z_2^u$$

$$z_3 = z_3^i + z_3^u$$

$$z_4 = z_4^i + z_4^u$$

şeklinde sistem yapısı durum değişkenleri $x_1 = V_1$ ve $x_2 = V_2$ cinsinden belirlenir.

Bunlara göre H matrisi şu şekilde bulunur ;

$$H = \begin{bmatrix} 0.625 & -0.125 \\ -0.125 & 0.625 \\ 0.375 & 0.125 \\ 0.125 & 0.375 \end{bmatrix}$$

$H^T W$ yı hesaplayarak aşağıdaki sonucu elde ederiz ;

$$H^T W = \begin{bmatrix} 0.625 & -0.125 & 0.375 & 0.125 \\ -0.125 & 0.625 & 0.125 & 0.375 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100 & . & . & . \\ . & 100 & . & . \\ . & . & 50 & . \\ . & . & . & 50 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 62.50 & -12.50 & 18.75 & 6.25 \\ -12.50 & 62.50 & 6.25 & 18.75 \end{bmatrix}$$

Elde edilen sonucu kullanarak simetrik “Kazanç Matrisi” G bulunursa ;

$$G = H^T W H = \begin{bmatrix} 62.50 & -12.50 & 18.75 & 6.25 \\ -12.50 & 62.50 & 6.25 & 18.75 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.625 & -0.125 \\ -0.125 & 0.625 \\ 0.375 & 0.125 \\ 0.125 & 0.375 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 48.4375 & -10.9375 \\ -10.9375 & 48.4375 \end{bmatrix}$$

Sayısal değerler yerine konarak ;

$$\begin{bmatrix} x_1^{est} \\ x_2^{est} \end{bmatrix} = G^{-1} H^T W z \quad (2.19)$$

$$= \begin{bmatrix} 48.4375 & -10.9375 \\ -10.9375 & 48.4375 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 62.50 & -12.50 & 18.75 & 6.25 \\ -12.50 & 62.50 & 6.25 & 18.75 \end{bmatrix} z = \begin{bmatrix} 16.0072 \\ 8.0261 \end{bmatrix}$$

olur. Bu değerler V_1 ve V_2 gerilim kaynaklarının tahminleridir. Tahmin edilen ölçümler aşağıdaki gibi $z^{est} = H x^{est}$ 'den hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} z_1^{est} \\ z_2^{est} \\ z_3^{est} \\ z_4^{est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.625 & -0.125 \\ -0.125 & 0.625 \\ 0.375 & 0.125 \\ 0.125 & 0.375 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 16.0072 \\ 8.0216 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9.00123 \\ 9.01544 \\ 7.00596 \\ 5.01070 \end{bmatrix}$$

Denklem (2.11) kullanılarak ölçümlerin tahmin edilen hataları ;

$$e^{est} = z - Hx^{est} \quad (2.12)'den$$

$$\begin{bmatrix} e_1^{est} \\ e_2^{est} \\ e_3^{est} \\ e_4^{est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9.01 \\ 3.02 \\ 6.98 \\ 5.01 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 9.0023 \\ 3.01544 \\ 7.00596 \\ 5.01070 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.00877 \\ 0.00456 \\ -0.02596 \\ -0.00070 \end{bmatrix}$$

Bu yapılan örnek ağırlıklı en küçük kareler metodu ile sistemin durumunu hesaplar. Fakat tahmin edilen durumu bilmek sadece bu değildir. Tahminin iyi olup olmadığını ispatlamak veya bilmek de gerekir. Örneğin *Şekil 2.1*'deki voltmetre ölçümü $z_4 = 5.01$ değilde, 4.40 V olsaydı ve diğer ölçümler aynı kalsaydı Durum Değişkenlerinin Tahminlerini Denklem (2.19)'dan şu şekilde hesaplayabiliriz ;

$$\begin{bmatrix} x_1^{est} \\ x_2^{est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.2982 & 0.0351 & 0.4386 & 0.2281 \\ 0.0351 & 1.2982 & 0.2281 & 0.4386 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 9.01 \\ 3.02 \\ 6.98 \\ 4.40 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15.86807 \\ 7.75860 \end{bmatrix}$$

ve tahmini ölçüm hataları tekrar Denklem (2.11) kullanılarak ,

$$\begin{bmatrix} e_1^{est} \\ e_2^{est} \\ e_3^{est} \\ e_4^{est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9.01 \\ 3.02 \\ 6.98 \\ 4.40 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.625 & -0.125 \\ -0.125 & 0.625 \\ 0.375 & 0.125 \\ 0.125 & 0.375 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 15.86807 \\ 7.75860 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.06228 \\ 0.15439 \\ 0.05965 \\ -0.49298 \end{bmatrix}$$

Bu iki ölçüm grubundan hangisi tahmin açısından doğrudur ? Hatalı olan veriler nasıl ortaya çıkarılabilir? Bu ve benzeri soruların cevabını emniyet seviyesi diye nitelendirilebilecek istatistiksel bir inceleme kullanılarak en küçük kareler hesaplamalarını geliştirilerek bulunabilir (*Stevenson, W.D., Mc Graw-Hill Inc. 1994*)

3. BÖLÜM

İSTATİSTİK , HATALAR VE TAHMİN İLİŞKİLERİ

3.1 HATALARIN KAYNAKLARI VE NEDENLERİ

İletim hattının ve transformatör admitanslarının hesaplanan değerleri normal durumda çeşitli hatalar içerir. İletim hattındaki hatalar aşağıdaki faktörlerden kaynaklanmaktadır ,

- * Hesaplamalarda kullanılan matematiksel uygulamalar. Mesala Taylor Serisi' ne açılımda serinin uzak elemanlarının dikkate alınmaması gibi ,
- * Modelleri sadeleştirme. Mesela düz bir dünya , tamamen transpoze edilmiş hatlar , aynı hattaki (doğrultuda) hatların birbirlerine etkilerini yok saymak gibi ,
- * Tesadüfe bağlı büyük insan hataları ,
- * Hava durumu etkileriyle , hattın farklı seviyelerde sarkması ve bu nedenle hattın rezistans ve endüktanslarındaki değişimler.

Çalışmalar sonunda nominal değerlerin %5 kadarında hatalar olmasının muhtemel olabileceği gözlenmiştir. Açıkça bellidir ki insan tarafından girilen verilerin parametre hataları sonucuna daha fazla etkileri vardır.

3.2 HATALARIN ETKİLERİ

Hataların az bir miktarına müsaade edilebilir ve sistemin on-line olarak bir ekrana aktarılmasına bir etki oluşturmaz. Bu sistem planlanması problemi içinde bir durum olabilir. Bu problem içinde verileri kullanmada yanlışlıklar vardır. Şebeke verilerindeki önemli yanlışlıklar büyük etkiler oluşturmazlar. Ayrıca sistem daima yeterli derecede güvenlik ve güvenilirlik sınırları dahilinde dizayn edilebilir ki bu , bilinmeyen parametrelerin veya değişkenlerin daha kötü etkilerinin hesap edilebilmesi içindir. İşletme programı gerçek dünya ile karşılaştırılırsa sistem planlamacıları tarafından asla hayal edilemeyecek durumlarla karşılaşılabilir. Çünkü planlamacılar o anki sistemi dikkate alarak modellerini geliştirmişlerdir. Seyrek karşılaşılan durumlar nedeniyle kötü cevaplar veya veriler alınabilir.

Sistem operatörü kendi hesaplama yönteminde emniyeti sağlamalıdır. Bu durum uzun deneyler ve tecrübeler sonucu elde edilebilir.

Durum tahminleri için durum tahmincinin duyarlılığı

a - İşletme koşullarına

b- Parametre tipine

c - Şebeke konfigürasyonu veya yapısına

sıkı bir şekilde bağlıdır. Yanlış parametrelerden hataları bulma ağır güç akışı şartlarında daha çok konuşulur ve istenir. Bunlar kesin olarak kritik güvenlik değerlendirmesi yapıldığında koşullarla (şartlarla) ilgili bir durumdur.

Parametre hatalarının tipik olan %5' lik kısmı için , çalışmalar aşağıda verilen sıraya göre durum tahminci tarafından sıralandırılır ;

- 1 - Transformatör çevirme oranları ,
- 2 - Hat veya transformatör seri süseptansları ,
- 3 - Hat şarj (şönt) kapasiteleri ,
- 4 - Hat ve transformatör seri kondüktansları (iletkenlikleri) ,

Hava hattı için son iki madde ihmal edilebilir öneme sahiptirler. Ancak bu iki madde yeraltı hattı için hat dirençleri ve şarj kapasiteleri oluştuğunda önemli olabilirler. Bunun anlamı , hat dirençleri yeraltı durumu için sıcaklıktan dolayı hissedilir derecede değişecektir.

Son olarak , şebeke yapısı durum tahmincinin doğruluğuna kuvvetli bir etkiye sahiptir. Radyal (ortak bir merkezden her tarafa dağılan) veya ağ şebekeler için değişik performanstaki parametre hatalarının etkisi oldukça küçüktür. Ancak durum değişkeni tahminleri bir parça hatalı olacaktır. Bir çok kapalı çevrimler , interkonnekte yapılan şebekelerde performans indeksleri pratik açıdan bakıldığında istatistiksel yönden kabul edilemez olacaktır.

İleriki konuda sistemden elde edilen verilerdeki hatalı verilerin nasıl belirlenip yok edileceği araştırılacaktır. Bu yapılırken istatistiksel bir metod takip edilecektir (*Johns, A.T., IEEE Power Engineering Series 5*).

3.3 KÖTÜ VERİLERİN YOKEDİLMESİ

Güç akışı incelemeleri gibi bilgisayar simülasyonları tam cevap verebilir fakat gerçekte fiziksel olarak işletim sistemlerinin durumunu kesin olarak bilemeyiz , ölçme doğruluğunu sağlamaya çok dikkat edilse bile , fiziksel sonuçları az yada çok bozacak şekilde ölçme işlemine kaçınılmaz rasgele gürültüler karışır. Bununla beraber dikkatli bir şekilde kontrol edilen şartlar altında aynı niceliğin tekrar tekrar ölçümleri , gerçek değer tahmin edilmesi için belirli istatistiki özellikleri ortaya çıkarır.

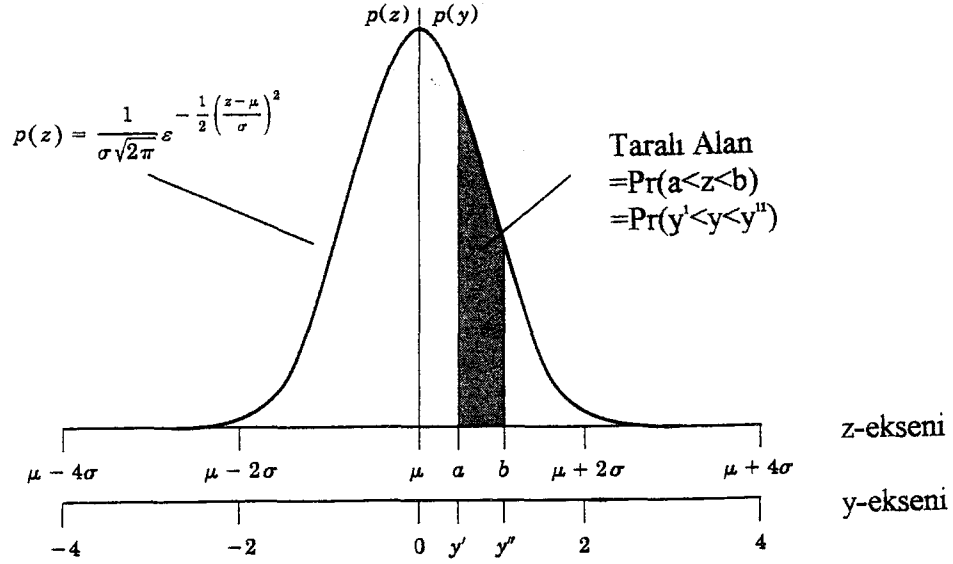
Ölçülen değerler olayın bağıl frekansının bir fonksiyonu olarak çizilirse , ölçüm sayısı (teorikte sonsuz) artırılarak sürekli bir eğri uydurulacak şekilde bir histogram elde edilir. En çok rastlanan sürekli eğri , *Şekil 3.1*’ de gösterildiği gibi çan şekilli fonksiyon “ $p(z)$ ” dir. Gauss veya normal olasılık fonksiyonu (PDF-OYF) olarak adlandırılan $p(z)$ fonksiyonu ,

$$p(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (3.1)$$

şeklinde formüle edilmiştir ve yatay eksen boyunca ölçülen niceliğin değerlerini gösteren değişken , gauss veya normal rasgele değişken (z) olarak bilinir. Eğri altında kalan alan , olasılıkları verir (yatay eksenle eğri altında kalan alan). Örneğin z ’ in *Şekil 3.1*’ deki “a” ve “b” noktaları arasında kalan alanın olasılığı ,

$$\Pr(a < z < b) = \int_a^b p(z)dz = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-\mu}{\sigma}\right)^2} dz \quad (3.2)$$

ile verilen taralı alandır.



Şekil 3.1: $y = (z - \mu) / \sigma$ değişken dönüşümüyle elde edilen gauss olasılık yoğunluk fonksiyonu $p(z)$ ve standart gauss olasılık yoğunluk fonksiyonu.

Burada $\Pr(\cdot)$ sembolü, $(\cdot)$ olayının olasılığı anlamına gelir. $-\infty$ ile $+\infty$ eksenleri ile $p(z)$ eğrisi altında kalan alan 1'e eşittir. Çünkü z 'in değeri keyfi olarak seçilen büyük ekstrem (uç) değerler arasında kalacak şekilde bellidir (olasılığı 1 veya %100'e eşittir).

Denklem (3.1)' gauss olasılık yoğunluk fonksiyonu μ ve σ parametreleri bilindiğinde tam olarak belirlenebilir. **Şekil 3.1** z , μ 'ye eşit olduğunda $p(z)$ 'in maximum değerini aldığını gösterir. z 'in beklenen değeri, $E(z)$ ile gösterilir ve

$$\mu = E[z] = \int_{-\infty}^{+\infty} zp(z)dz \quad (3.3)$$

μ 'nün beklenen değeri, ortalama (mean) olarak adlandırılır. z 'in değerleri, μ 'nün civarında simetrik olarak kümelendiğinden $p(z)$ eğrisinin, μ civarında yayılma derecesi z 'in varyansı σ^2 'ne bağlıdır; varyans,

$$\sigma^2 = E[(z - \mu)^2] = \int_{-\infty}^{+\infty} (z - \mu)^2 p(z)dz \quad (3.4)$$

Böylece z' in varıansı , z' in ortalama değeriinden z' in sapmalarının karesinin beklenen değeriidir. σ^2 ' nin değeriileri nekadar küçük yapılrısa herbir μ civarında birim alana sahip o kadar dar ve yüksek yani sivri eğriiler oluşur. Varyansın pozitif kare kökü , z' in standart sapmasıdır. Ortalama ve varyans , bir çok yaygın olarak kullanılan olasılık yoğunluk fonksiyonlarının önemli parametreleridir. Böyle her fonksiyon , ilgili rasgele değışken olasılıklarını niteleyen bir alana (arta kalan) sahiptir.

Gauss dağılımı , ölçme istatistiklerinde çok önemli bir rol oynar. $p(z)$ yoğunluğu doğrudan integre edilemediğinden *Şekil 3.1* ' de gösterildiği gibi eğri altındaki alanlar , $\mu_y = 0$ ve $\sigma_y = 1$ parametrelerine sahip standart yoğunluk fonksiyonu $p(z)$ için tablolaştırılmıştır. *Şekil 3.1* ' in yatay eksenini yeniden ölçeklendirebildiğimize göre μ ve σ ' nın diğer değeriileri için gauss dağılımının başka tablolarında gereklidir. Aşağıdaki değışken dönüşümünü yaparak , z' den y' ye kadar dönüşüm mümkün yapılabilir ;

$$y = \frac{z - \mu}{\sigma} \quad (3.5)$$

Tablo 3.1 : Standart Gauss Dağılımı ($Pr(a)$) , $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^a e^{-\frac{1}{2}y^2} dy$ 'nin değeriidir.

a	Pr(a)	a	Pr(a)	a	Pr(a)	a	Pr(a)
0.05	0.01994	0.80	0.28814	1.55	0.43943	2.30	0.48928
0.10	0.03983	0.85	0.30234	1.60	0.44520	2.35	0.49061
0.15	0.05962	0.90	0.31594	1.65	0.45053	2.40	0.49180
0.20	0.07926	0.95	0.32894	1.70	0.45543	2.45	0.49286
0.25	0.09871	1.00	0.34134	1.75	0.45994	2.50	0.49379
0.30	0.11791	1.05	0.35314	1.80	0.46407	2.55	0.49461
0.35	0.13683	1.10	0.36433	1.85	0.46784	2.60	0.49534
0.40	0.15542	1.15	0.37493	1.90	0.47128	2.65	0.49597
0.45	0.17364	1.20	0.38493	1.95	0.47411	2.70	0.49653
0.50	0.19146	1.25	0.39435	2.00	0.47726	2.75	0.49702
0.55	0.20884	1.30	0.40320	2.05	0.47982	2.80	0.49744
0.60	0.22575	1.35	0.41149	2.10	0.48214	2.85	0.49781
0.65	0.24215	1.40	0.41924	2.15	0.48422	2.90	0.49813
0.70	0.25804	1.45	0.42647	2.20	0.48610	2.95	0.49841
0.75	0.27337	1.50	0.43319	2.25	0.48778	3.00	0.49865

Denklem (3.5)' den $dz = \sigma dy$ elde edilir. z , a ile b arasında değerler alırsa y , $y^1 = (a-\mu)/\sigma$ ile $y^u = (b-\mu)/\sigma$ sayıları arasında bulunmalıdır. Böylece (3.2) denkleminde y ' nin bu değerleri yerine konulursa ;

$$\begin{aligned} \Pr(a < z < b) &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{y^1}^{y^u} e^{-\frac{1}{2}y^2} \sigma dy = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{y^1}^{y^u} e^{-\frac{1}{2}y^2} dy \\ &= \Pr(y^1 < y < y^u) \end{aligned} \quad (3.6)$$

elde edilir. Bu denklemde y ($\mu_y = 0$ ve $\sigma_y = 1$ değerlerine sahip) , standart gauss olasılık yoğunluk rasgele değişkenleridir. Böylece Denklem (3.5)' e göre ölçeğin değiştirilmesi , normal olasılık yoğunluk fonksiyonlu herhangi bir rasgele değişken (z) için *Tablo 3.1'* de verilen y ' nin tablo halindeki değerlerini kullanmamıza izin verir. Yeni ölçekte y , z ' in karışık gelen değerlerinin ortalamadan ne kadar standart sapma yaptığını gösterir. *Şekil 3.1* Gauss Yoğunluk Eğrisi altında kalan alan , şu şekilde dağılmıştır. z -sınırları $\mu \pm \sigma$ içinde %68 , z -sınırları $\mu \pm 2\sigma$ içinde %95 ve z -sınırları $\mu \pm 3\sigma$ içinde %99 olur. Bu nedenle , olasılık %99 olduğu durumda gauss rasgele değişkeninin değeri z ' in ortalaması μ ' nün 3σ mesafesi içinde dağılır.

Bundan sonra , e_1 , e_2 , e_3 ve e_4 gürültü terimlerini , sıfır ortalamalı ve sırasıyla σ_1^2 , σ_2^2 , σ_3^2 ve σ_4^2 varyanslı bağımsız gauss rasgele değişkenler olduğunu farzedeceğiz. İki rasgele değişken e_i ve e_j , $i \neq j$ için $E(e_i e_j) = 0$ olduğunda , bağımsızdırlar. Satır ortalamalı varsayım , herbir ölçümdeki hataların , verilen bir büyüklüğün pozitif veya negatif değerini üzerine alma olasılığına eşit olmasını sağlar. Bir e vektörü ve onun transpozisinin çarpımı şu şekildedir ;

$$e \cdot e^T = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 & e_2 & e_3 & e_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1^2 & e_1 e_2 & e_1 e_3 & e_1 e_4 \\ e_2 e_1 & e_2^2 & e_2 e_3 & e_2 e_4 \\ e_3 e_1 & e_3 e_2 & e_3^2 & e_3 e_4 \\ e_4 e_1 & e_4 e_2 & e_4 e_3 & e_4^2 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$e \cdot e^T$ nin beklenen değeri , (3.7) matris denkleminde her girişin beklenen değerlerini hesaplayarak bulunur. Diyagonal dışındaki elemanlar dışındaki elemanların beklenen değerleri sıfırdır. Çünkü hataların bağımsız olduğu varsayılır. Diyagonal elemanlarının beklenen değerleri , sıfır değildir ; $E[e_i^2] = \sigma_i^2$ ($i = 1...4$) varyansına karşılık gelir. Elde edilen diyagonal matris , genellikle “R” sembolüyle gösterilir ve böylece (3.7)’ nin beklenen değeri ;

$$E[ee^T] = R = \begin{bmatrix} E[e_1^2] & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & E[e_2^2] & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & E[e_3^2] & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & E[e_4^2] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \sigma_2^2 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \sigma_3^2 & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \sigma_4^2 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

olur. Bu bilgilerden sonra ağırlıklı en küçük kareler tahmin işleminin bazı istatistiksel özelliklerini ele alabiliriz.

Denklem (2.5)’ de z_1 ’ ölçümü , gauss rasgele değişkeni e_1 ve z_1 ’ in gerçek değerini ($z_{1,ger}$) gösteren $h_{11}x_1 + h_{12}x_2$ sabit teriminin toplamıdır. Sabit terimin e_1 ’ e eklenmesi , e_1 ’ in eğrisini gerçek değerle miktartıyla orantılı olarak sağa kaydırır (veya eğer gerçek değer negatif ise aynı miktar kadar sola). Fakat bu kayma e_1 ’ in olasılık yoğunluk fonksiyonun şekli ve yayılımını hiçbir şekilde değiştiremez. Böylece z_1 ’ de , $z_{1,ger}$ gerçek değerine eşit μ , ortalama değerli ve e_1 ’ in gerçek değerine eşit σ_1^2 varyanslı gauss olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahiptir. Benzer varsayımlar z_2 , z_3 ve z_4 ‘ e de uygulanabilir. Buna göre daha küçük hata varyanslı ölçü aletleri daha dar eğrilere sahiptir ve daha doğru ölçümler sağlar. Denklem (2.13)’ ün amaç fonksiyonunun formülasyonunda , σ^2 varyansının

karşılığı olarak w , ağırlığını seçerek daha doğru ölçümlere , tercihli ağırlık verilir. Hatalar ne kadar küçük varyanslara sahip olursa o kadar büyük ağırlığa sahip olur. Bundan böyle , Denklem (2.21) ve (2.22) denklemlerinin ağırlık matrisi W ,

$$W = R^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} & . & . & . \\ . & \frac{1}{\sigma_2^2} & . & . \\ . & . & \frac{1}{\sigma_3^2} & . \\ . & . & . & \frac{1}{\sigma_4^2} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

ve kazanç matrisi G ,

$$G = H^T R^{-1} H \quad (3.10)$$

olur.

1 ve 2 ölçü aletleri için $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = 1 / 100$ ve 3 ve 4 aletleri için $\sigma_3^2 = \sigma_4^2 = 1 / 50$ hata varyanslarının karşılığı olarak **Örnek 2.1'** deki ağırlık matrisindeki elemanlarla ilgilenebiliriz. Ölçme hatalarının standart sapmaları , $\sigma_1 = \sigma_2 = 0.1$ ve $\sigma_3 = \sigma_4 = (\sqrt{2}/10)$ V olur. Böylece **Şekil 2.1'** deki 1 ve 2 ampermetreleri uygun şekilde çalıştıklarında 3σ veya 0.3 A (onların ölçtükleri gerçek değerlerinin) içinde %99 olasılıkla okumalar verecektir. Rasgele değişkenin (z) beklenen değerini tanımlayan Denklem (3.3)' den $E[az + b] = aE[z] + b$ (eğer a ve b sabitse) , olduğunu gösterebiliriz. Bu yüzden Denklem (2.21)' in her tarafının beklenen değerinin alınması şu ifadeyi verir ;

$$\begin{bmatrix} E[x_1^{est} - x_1] \\ E[x_2^{est} - x_2] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E[x_1^{est}] - x_1 \\ E[x_2^{est}] - x_2 \end{bmatrix} = G^{-1}H^T R^{-1} \begin{bmatrix} E[e_1] \\ E[e_2] \\ E[e_3] \\ E[e_4] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Bu denklemde x_1 ve x_2 , e_1 , e_2 , e_3 ve e_4 sıfır beklenen değerli gauss rasgele değişkenleri iken durum değişkenlerinin gerçek (fakat bilinmeyen) değerlerine eşit belirli sayılardır. (3.11) denkleminde

$$E[x_i^{est}] = x_i \quad (3.12)$$

olduğu çıkarılır ki bu her durum değişkeninin ağırlıklı en küçük kareler tahminini verir. Benzer şekilde ,

$$E \begin{bmatrix} e_1^{est} \\ e_2^{est} \\ e_3^{est} \\ e_4^{est} \end{bmatrix} = E \begin{bmatrix} z_1 - z_1^{est} \\ z_2 - z_2^{est} \\ z_3 - z_3^{est} \\ z_4 - z_4^{est} \end{bmatrix} = [I - HG^{-1}H^T R^{-1}] E \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

ve “ z_j ” , “ $z_{j,ger} + e_j$ ” ye eşit olduğundan ,

$$E[z_j^{est}] = E[z_j] = z_{j,ger} \quad (3.14)$$

(3.13) ve (3.14) eşitlikleri , durum değişkenlerinin ve ölçülen niceliklerin ağırlıklı en küçük kareler tahminlerinin (ortalama olarak) , onların gerçek değerlerine eşit olduğunu ifade ederler ve tahminler uygundur. Buna göre **Örnek 2.1'** de V_1 için 16.0072 V ve V_2 için 8.0261 V çözümleri gerçek değerlerin uygun karşılıkları olarak kabul edilebilirler. Ancak kötü ölçüm verilerinin olmaması şartıyla bu durum geçerli olabilir.

3.4 KÖTÜ VERİ TESTİ

Sistem modeli doğru , ölçümlerde tam (doğru) olduğunda “ağırlıklı en küçük kareler” tahminlerini kabul etmek mümkündür. Fakat bir ölçüm kabaca hatalı veya kötü ise o fark edilmeli ve sonra açıklanmalıdır. Böylece bu ölçüm tahmincinin hesaplamalarından ayırt edilebilir. Ölçüm istatistiksel özellikleri belirleme ve ortaya çıkarma gibi işlemleri kolaylaştırır.

Tahmin edilen her bir ölçüm hatası $e_j^{est} = (z_j - z_j^{est})$, Denklem (3.13) de gösterildiği gibi sifıra eşit bir gauss rasgele değişkenidir. e_j^{est} in varyansı için bir formül iki adımda Denklem (2.22)’ den çıkartılabilir. İlk olarak R^{-1} tarafından değiştirilen W ile e^{est} ve onun transpozesi $e^{est T}$ ‘ yi aşağıdaki eşitliği elde etmek için çarpalım ;

$$e^{est} (e^{est})^T = (z - z^{est})(z - z^{est})^T = [I - HG^{-1}H^TR^{-1}] \cdot e \cdot e^T \cdot [I - R^{-1}HG^{-1}H^T] \quad (3.15)$$

Bu eşitliğin sol tarafı Denklem (3.7)’ de olduğu gibi bir kare matrisi temsil eder ; sağ tarafta köşeli parantezler içindeki iki matris sadece sabit elemanlar içerir ve biri diğerinin transpozesidir. $e \cdot e^T$ terimi gerçekte Denklem (3.7) verilen matrisin aynısıdır ve onun beklenen değeri R , Denklem (3.8) eşitliğinin diyagonal matrisidir. İkinci adımda ; Denklem (3.15)’ in her bir tarafının beklenen değerini alarak şunu buluruz ;

$$E[e^{est} \cdot (e^{est})^T] = [I - HG^{-1}H^TR^{-1}] \cdot E[e \cdot e^T] [I - R^{-1}HG^{-1}H^T] \quad (3.16)$$

R ile $[I - R^{-1}HG^{-1}H^T]$ çarpılarak ve sonra R ’ yi parantez dışına alarak şu sonuçlar elde edilir;

$$\begin{aligned} E[e^{est} (e^{est})^T] &= [I - HG^{-1}H^TR^{-1}] [R - HG^{-1}H^T] \\ &= [I - HG^{-1}H^TR^{-1}] [I - HG^{-1}H^TR^{-1}] R \end{aligned} \quad (3.17)$$

Okuyucu $[I - HG^{-1}H^TR^{-1}]$ matrisinin kendisiyle çarpıldığında değişmeden kaldığını görebilir ve böylece Denklem (3.17) şu şekilde basitleştirilir ;

$$E[e^{est}(e^{est})^T] = [I - HG^{-1}H^TR^{-1}]R = R - HG^{-1}H^T \quad (3.18)$$

$e^{est}(e^{est})^T$ kare matrisi $e_i^{est}e_j^{est}$ vasıtasıyla verilen tipik girişlerle Denklem (3.17)' nin formunu alır. Bu nedenle diyagonal girişlerde $e_j^{est} = (z_j - z_j^{est})$ ' in yerini alması için şunu elde ederiz ;

$$E[(e_j^{est})^2] = E[(z_j - z_j^{est})^2] = R^1_{jj} \quad (3.19)$$

burada R^1_{jj} , $R^1 = R - HG^{-1}H^T$ matrisinin j. diyagonal elemanının sembolüdür. e_j^{est} sıfıra eşit değerlere sahip olduğunda , Denklem (3.19) gerçekte e_j^{est} ' nin varyansının formülüdür. Bu ise $\sqrt{R^1_{jj}}$ ' nü standart sapma yapar. Denklem (3.19)' un her iki tarafını R^1_{jj} sayısına bölersek bize şunu verir ;

$$E\left[\left(\frac{e_j^{est}}{\sqrt{R^1_{jj}}}\right)^2\right] = E\left[\left(\frac{z_j - z_j^{est}}{\sqrt{R^1_{jj}}}\right)^2\right] = 1 \quad (3.20)$$

Böylece , Denklem (3.15) tarzında onun sıfır değerinden tahmin edilen hata (e_j^{est})' in sapması ($\sqrt{R^1_{jj}}$ standart sapmasına bölünen) standart gauss rasgele değişkenini verir.

$$\frac{e_j^{est} - 0}{\sqrt{R^1_{jj}}} = \frac{z_j - z_j^{est}}{\sqrt{R^1_{jj}}} \quad (3.21)$$

Denklem (3.20)' de gösterildiği gibi 1' e eşit varyans ve sıfır değerli Denklem (2.4)' ün $R^{-1} = (R - HG^{-1}H^T)$ matrisleri kovaryans matrisler olarak adlandırılır. Bu Denklem (2.21)' i kullanılarak ta gösterilebilir ; $E[(x - x^{est})(x - x^{est})^T]$ tarafından verilen $x - x^{est}$ ' in kovaryans matrisi $G^{-1} = (H^TR^{-1}H)^{-1}$ ' dir.

Tablo 3.2 : Rezidü (fazla) terimlerin özeti ve kovaryans matrisler

Terim	Durum	İfade	Kovaryans Matris
$e=z-Hx$	(ölçülen-gerçek) _z	$z-Hx$	R
$e_x^{est}=x-x^{est}$	(gerçek-tahmin edilen) _x	$-G^{-1}H^TR^{-1}e$	$G^{-1}=(H^TR^{-1}H)^{-1}$
$e^{est}=z-z^{est}$	(ölçülen-tahmin edilen) _x	$(I-HG^{-1}H^TR^{-1})e$	$R^1=(R-HG^{-1}H^T)$

Burada $x^{est}=G^{-1}H^TR^{-1}z$ ve $z^{est}=Hx^{est}$

Daha önce işlenen terimlerin bazılarının bir özeti ve onların istatistiksel özellikleri **Tablo 3.2'** de sunulmaktadır.

Doğru ölçüm hatası e_j ' nin mühendislik uygulamalarında asla bilinemiyeceğini anlatmıştık. Yapılabilecek en iyi şey tahmin edilen hata e_j^{est} in hesaplanmasıdır ki bu sonra amaç fonksiyonunda e_j ' nin yerini alır. Bu nedenle , Denklem (2.13)' de Denklem (3.21)' i yerine koyarak şunu elde ederiz ;

$$f^{est} = \sum_{j=1}^{N_m} w_j (e_j^{est})^2 = \sum_{j=1}^{N_m} \frac{(e_j^{est})^2}{\sigma_j^2} = \sum_{j=1}^{N_m} \frac{(z_j - z_j^{est})^2}{\sigma_j^2} \quad (3.22)$$

burada N_m ölçüm sayısı ve ağırlıklandırma faktörü w_j , $1 / \sigma_j^2$ ' ne eşit bir kümedir. Karelerin ağırlıklı toplamı f^{est} ' in kendisi bir rasgele değişkendir. Bu istatistiklerde pek çok ders kitaplarında tablolanmış değerlerle herkesçe bilinen bir olasılık dağılımına sahiptir. Bu tabloları kullanmak için f^{est} ' in değerini bulmaya ihtiyaç duyarız ki şimdi göstereceğimiz gibi bunu tesbit etmek basittir.

Denklem (3.22)' de j. terimin pay ve paydası ölçüm hatasının hesaplanan varyansı R_{jj}^1 ile çarparak ve sonucun beklenen değerini alarak şu sonucu elde ederiz ;

$$E[f^{est}] = E\left[\sum_{j=1}^{N_m} \frac{R_{jj}^1 (e_j^{est})^2}{\sigma_j^2 R_{jj}^1}\right] = \sum_{j=1}^{N_m} \frac{R_{jj}^1}{\sigma_j^2} E\left[\frac{(z_j - z_j^{est})^2}{R_{jj}^1}\right] \quad (3.23)$$

Denklem (3.23)' ün sağ tarafındaki sağlamada beklenen değer Denklem (3.20)' ye göre 1' e eşitlenir ve böylece f^{est} ' in değerini elde ederiz ;

$$E[f^{est}] = E\left[\sum_{j=1}^{N_m} \frac{(e_j^{est})^2}{\sigma_j^2}\right] = \sum_{j=1}^{N_m} \frac{R_{jj}^1}{\sigma_j^2} \quad (3.24)$$

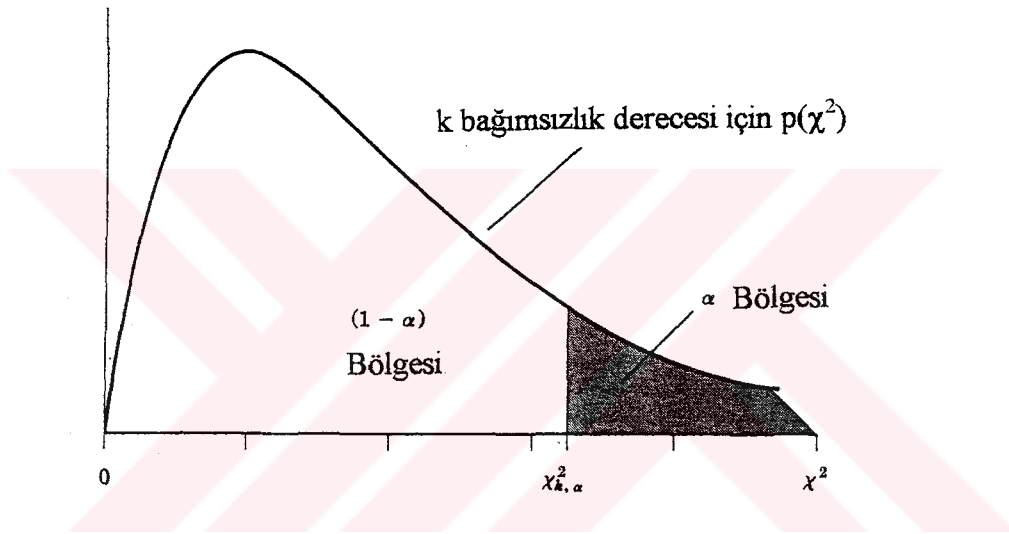
Örnek 3.1' de gösterildiği gibi bu denklemin sağ tarafı **Şekil 2.1'** deki devrenin beş ölçüm ve iki durum değişkenine göre sayısal değeri $2 = (4-2)$ olur. Daha genel bir şekilde , bu şu şekilde gösterilebilir , f^{est} ' in beklenen değeri (expected value of f^{est}) daima $(N_m - N_s)$ bağımsızlık derecesi sayısına nümerik olarak eşdeğerdir ; bunun anlamı ,

$$E[f^{est}] = \sum_{j=1}^{N_m} E\left[\frac{(z_j - z_j^{est})^2}{\sigma_j^2}\right] = N_m - N_s \quad (3.25)$$

Eğer N_m ölçüm ve N_s tahmin edilen bağımsız durum değişkenlerinin bir grubu varsa yukardaki denklem geçerlidir. Bu nedenle f^{est} ' in ortalama değeri bir tam sayıdır ki bu ölçümlerin sayısından durum değişkenleri sayısının çıkarılması ile basitçe bulunur. $(N_m - N_s)$ sayısı ölçüm planının fazlalığı (veya redundancy) olarak adlandırılır ve durum değişkeninden daha fazla ölçüm olduğunda belirli bir büyüklüktedir.

e_j^{est} standart gauss dağılımına sahip olduğunda (standart gaussian distribution) , istatistiksel teori , Denklem (3.22)' ün karelerin ağırlıklı toplamı (weighted sum of squares , f^{est}) “ki-kare (chi-square- $\chi^2_{k,\alpha}$) dağılımı” na sahip olduğunu gösterir Burada , χ grek alfabesindeki chi' yi gösterir. $k=(N_m-N_s)$ bağımsızlık derecesi ve $(\chi^2_{k,\alpha})$ eğrisinin

altındaki bölgeye bağlıdır (orantılıdır). Ki-kare dağılımı çok yakın olarak standart gauss dağılımına “k” büyük olduğunda ($k > 30$) durumlarda karşılıktır. Bu durumla güç sistemi uygulamalarında sık sık karşılaşılır. **Şekil 3.2**, k’ nın bir bağıl küçük değeri için ($\chi^2_{k,\alpha}$) nın olasılık yoğunluk fonksiyonunu gösteriyor. Genelde olduğu gibi eğrinin altındaki toplam bölge 1’ eşittir fakat burada simetrik olarak dağılmamıştır veya simetrik bir dağılım yoktur.



Şekil 3.2: Bağımsızlık derecesi k’ nın küçük bir değeri için ($\chi^2_{k,\alpha}$) ki-kare dağılımının $p(\chi^2)$ olasılık yoğunluk fonksiyonu.

Tablo 3.3 : Şekil 3.2’ deki $\chi^2 = \chi^2_{k,\alpha}$ ’ nin sağ tarafındaki α bölgesi değerleri. Daha geniş bir tablo için (Akdeniz, Fikri, 1991) isimli kaynağa veya herhangi bir olasılık ve istatistik kitabına müracaat edilebilir.

α					α				
k	0.05	0.025	0.01	0.005	k	0.05	0.025	0.01	0.005
1	3.84	5.02	6.64	7.88	11	19.68	21.92	24.73	26.76
2	5.99	7.38	9.21	10.60	12	21.03	23.34	26.22	28.30
3	7.82	9.35	11.35	12.84	13	23.36	24.74	27.69	29.82
4	9.49	11.14	13.28	14.86	14	23.69	26.12	29.14	31.32
5	11.07	12.83	15.09	16.75	15	25.00	27.49	30.58	32.80
6	12.59	14.45	16.81	18.55	16	26.30	28.85	32.00	34.27
7	14.07	16.01	18.48	20.28	17	27.59	30.19	33.41	35.72
8	15.51	17.54	20.09	21.96	18	28.87	31.53	34.81	37.16
9	16.92	19.02	21.67	23.59	19	30.14	32.85	36.19	38.58
10	18.31	20.48	23.21	25.19	20	31.41	34.17	37.57	40.00

Şekil 3.2’ deki $\chi^2_{k,\alpha}$ ’ nin sağındaki eğrinin altında kalan bölge α ’ ya eşdeğerdir. Bu bölgede muhtemelen f^{est} $\chi^2_{k,\alpha}$ ’ yı geçer veya aşar. Eğrinin altındaki arta kalan alan $(1-\alpha)$ muhtemelen bu $\chi^2_{k,\alpha}$ ’ den daha küçük bir değer olacak “k” bağımsızlık derecesi ile birlikte f^{est} karelerin ağırlıklı toplamının hesaplanan değeridir. Bunun anlamı :

$$\Pr(f^{est} < \chi^2_{k,\alpha}) = (1-\alpha) \quad (3.26)$$

Bu denklem temelinde , f^{est} istatistiki kritik değeri **Tablo 3.3’** deki $\chi^2_{2,0.01}=9.21$ kritik değerinden daha azdır sonucuna varabiliriz. Bu nedenle , f^{est} ’ in ki-kare dağılımı kötü verilerin belirlenmesi için bir test imkanı verir. İşlem sırası aşağıdaki gibidir :

* Denklem (2.19)’ dan sistem durumlarının x_i^{est} ağırlıklı en küçük kareler tahminlerini belirlemek için sistemden elde edilen işlenmemiş z_j ölçümlerini kullan,

* z_j ölçümlerinin z_j^{est} tahmini değerlerini (tahmin edilen) hesaplamak için $z^{est} = Hx^{est}$ denklemindeki x_i^{est} tahminlerini çözümle ,

* $k=(N_m-N_s)$ bağımsızlık derecesinin uygun sayısı için , f^{est} değerini α' ya uygun kritik değerden küçük olsada olmasada belirle. Pratikte , bunun anlamı ,

$$f^{est} < \chi^2_{k,\alpha} \quad (3.27)$$

eşitsizliğinin tatmin edici olup olmadığını kontrol edeceğiz demektir. Eğer bu şart doğruysa durum tahminleri ve ölçülen sıra veriler doğru kabuledilir.

* Eğer bu eşitsizlik sağlanamaz ise en az bir tane kötü veri olduğu anlaşılır. Bu belirleme üzerine , en büyük standart hataya sahip ölçüm atılır. Bu ,

$(z_j - z_j^{est}) / \sqrt{R^1_{jj}}$ Denklem (3.21) formülü ile bulunur. f^{est} karelerin toplamı ile birlikte durum tahminlerin de tekrar hesaplanmalıdır. Eğer (3.27) eşitsizliğinin ki-kare testine göre f^{est} ' in yeni değeri uygun ise ihmal edilen ölçüm başarılı bir şekilde bir kötü veri noktası olarak teşhis edilmiştir.

Tahmin edilen hataların karelerin toplamını kötü veriler olduğu sürece büyük olacaktır. Bu nedenle , kötü veri noktalarının belirlenmesi ki-kare testi ile kolayca yapılabilir. Kısmi (partiküler) verilerin teşhis edilmesi kolayca yapılamaz. Pratikte güç sistemi uygulamalarında , bağımsızlık derecesi sayısı büyüktür. Bu bize en büyük standart fazlalıklara (residuals) uygun olarak ölçümlerin bir grubunu atmaya izin verir. Her nekad en büyük standart hatalar kötü verilerin belirlenmesini garanti etmesede , büyük hataları teşhis etme problemini oldukça kolaylaştırır. **6. Bölüm'** de bu anlatılanlara uygun bir akış diyagramı ve program verilmiştir.

Gelecek örneklerin her birinde ölçüm hatalarının hepsini gauss rasgele değişkenleri olarak farzedeceğiz. **Örnek 3.1'** de f^{est} ' in değeri (ölçü aletleri doğrulukları bilinmiyor kabulüyle) **Örnek 2.1'** in sonuçları kullanılacaktır. Sonra **Örnek 3.2** ve **3.3'** de ölçüm grubundaki kötü verilerin varlığını kontrol edeceğiz.

Örnek 3.1 :

Farzedelim ki w_1 ' den w_4 ' e kadar olan ağırlıklandırma faktörleri **Örnek 2.1** için **Şekil 2.1'** deki 4 ölçü aleti için hata değişkenlerinin uygun karşılıklarıdır. Buna göre ölçüm fazlalıklarının f^{est} karelerin toplamının tahmini değerlerini bulalım

Çözüm :

İlk olarak , Denklem (3.24) için karelerin toplamını şekillendirmeden önce

$R^1 = (I - HG^{-1}H^TR^{-1})R$ formunda yazarız. Sonra **Örnek 2.1'** deki $HG^{-1}H^TR^{-1}$ matrisinin hesabındaki değerler alınır ,

$$HG^{-1}H^TR^{-1} = \begin{bmatrix} 6.625 & -0.125 \\ -0.125 & 0.625 \\ 0.375 & 0.125 \\ 0.125 & 0.375 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.2982 & 0.0351 & 0.4386 & 0.2281 \\ 0.0351 & 1.2982 & 0.2281 & 0.4380 \end{bmatrix}$$

Bu denklemdeki elemanlardan sadece diyagonaldekilere Denklem (3.24) için ihtiyaç vardır ve bu nedenle H ' ın birinci satırı ile $G^{-1}H^TR^{-1}$ ' ın birinci sütunu çarpılarak , ikinci satır ikinci sütunla çarpılarak ve sonunda ,

$$HG^{-1}H^TR^{-1} = \begin{bmatrix} 0.8070 & \times & \times & \times \\ \times & 0.8070 & \times & \times \\ \times & \times & 0.1930 & \times \\ \times & \times & \times & 0.1930 \end{bmatrix}$$

Sonucunu elde ederiz. Burada $\times$ işaretleri sıfır olamayan elemanları gösterir ki bunlar çarpma işlemine tabi tutulmamışlardır yani değerlerine ihtiyacımız yoktur. R^1 ' nün diyagonal elemanları bulunduktan sonra şu durum elde edilir ,

$$\begin{bmatrix} R^1_{11} & . & . & . \\ . & R^1_{22} & . & . \\ . & . & R^1_{33} & . \\ . & . & . & R^1_{44} \end{bmatrix} = \left\{ \begin{bmatrix} 1 & . & . & . \\ . & 1 & . & . \\ . & . & 1 & . \\ . & . & . & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.8070 & . & . & . \\ . & 0.8070 & . & . \\ . & . & 0.193 & . \\ . & . & . & 0.193 \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & . & . & . \\ . & \sigma_2^2 & . & . \\ . & . & \sigma_3^2 & . \\ . & . & . & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

burada σ_j^2 , j. ölçü aletinin hata değişimidir. f^* in tahmini değeri Denklem (3.24)' e göre $N_m = 4$ için hesaplanırsa ;

$$\sum_{j=1}^4 \frac{R^1_{jj}}{\sigma_j^2} = \frac{(1-0.807)\sigma_1^2}{\sigma_1^2} + \frac{(1-0.807)\sigma_2^2}{\sigma_2^2} + \frac{(1-0.193)\sigma_3^2}{\sigma_3^2} + \frac{(1-0.193)\sigma_4^2}{\sigma_4^2}$$

$$= (1+1+1+1) - (0.807+0.807+0.193+0.193) = 4 - 2 = 2$$

olur ki bu değer , iki durum değişkeni için tahmin yapmak için *Örnek 2.1'* deki sistemden 4 ölçüm yapıldığında “bağımsızlık derecelerinin sayısı” olur.

Çözüm yolundan da anlaşılacağı gibi bu örnekte $HG^{-1}H^TR^{-1}$ matrisinin diyagonal elemanları sayısal olarak durum değişkenlerinin sayısı N_s ' e eşittir.

Örnek 3.2 :

Ki-kare düzensizlik testi (3.27) kullanılarak *Örnek 2.1'* deki ölçüm grubu için kötü verilerin varlığını kontrol et. $\alpha = 0.01$ seçelim.

Çözüm :

Örnek 2.1' deki iki durum değişkeni ve dört ölçüm için , $k=2$ ve $\alpha=0.01$ için **Tablo 3.3'** den $\chi^2_{k,\alpha}=9.21$ seçeriz. **Örnek 2.1'** deki e_j^{est} için bulunan sonuçlar göze alınarak , karelerin tahmini toplamı f^{est} aşağıdaki gibi hesaplanır ,

$$\begin{aligned} f^{est} &= \sum_{j=1}^4 \frac{(e_j^{est})^2}{\sigma_j^2} = 100(e_1^{est})^2 + 100(e_2^{est})^2 + 50(e_3^{est})^2 + 50(e_4^{est})^2 \\ &= 100(0.00877)^2 + 100(0.00456)^2 + 50(0.02596)^2 + 50(0.00070)^2 \\ &= 0.043507 \end{aligned}$$

açıkça görülüyorki bu değer 9.21 değerinden daha azdır. Bu nedenle **Örnek 2.1'** de ölçüm grubu (%99 güvenle) hiçbir kötü veriye sahip değildir sonucuna varabiliriz.

Örnek 3.3 :

Farzedelim ki ölçüm grubu **Örnek 2.1'** deki sistem için ;

$$[z_1 \ z_2 \ z_3 \ z_4]^T = [9.01A \ 3.02A \ 6.98V \ 4.40V]^T$$

ve ölçü aletleri **Örnek 3.1'** deki ile aynıdır. $\alpha = 0.01$ olmak suretiyle ki-kare testini kullanarak kötü verilerin varlığını kontrol edelim. Eğer kötü veri varsa bunları yok edelim ve azalan veri grubunu kullanarak yeni durum tahminlerini hesaplayalım.

Çözüm :

Ölçüm grubu **Bölüm 2'** nin sonundaki ile aynıdır. Buna göre hata tahminleri aşağıdaki gibi çıkacaktır ,

$$[e_1^{est} \ e_2^{est} \ e_3^{est} \ e_4^{est}]^T = [0.06228 \ 0.15439 \ 0.05965 \ -0.49298]^T$$

Denklem (3.22)' de bu sayısal değerleri çözümleyerek şu değerleri bulabiliriz ;

$$f^{est} = \sum_{j=1}^4 \frac{e_j^2}{\sigma_j^2} = 100(e_1^{est})^2 + 100(e_2^{est})^2 + 50(e_3^{est})^2 + 50(e_4^{est})^2$$

$$= 100(0.06228^2 + 0.15439^2) + 50(0.05965^2 + 0.49298^2) = 15.1009$$

f^{est} in bu değeri $\chi^2_{2,0.01} = 9.21$ ' i aşar ve bu nedenle en az bir tane kötü veri olduğu hükmüne varırız. Standart hata tahminleri **Örnek 3.1'** den R^1_{ij} diyagonal elemanları kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır ;

$$\frac{e_1^{est}}{\sqrt{R^1_{11}}} = \frac{0.06228}{\sqrt{(1-0.807)\sigma_1^2}} = \frac{0.06228}{\sqrt{0.193/100}} = 1.4178$$

$$\frac{e_2^{est}}{\sqrt{R^1_{22}}} = \frac{0.15439}{\sqrt{(1-0.807)\sigma_2^2}} = \frac{0.15439}{\sqrt{0.193/100}} = 3.5144$$

$$\frac{e_3^{est}}{\sqrt{R^1_{33}}} = \frac{0.05965}{\sqrt{(1-0.193)\sigma_3^2}} = \frac{0.05965}{\sqrt{0.807/50}} = 0.4695$$

$$\frac{e_4^{est}}{\sqrt{R^1_{44}}} = \frac{-0.49298}{\sqrt{(1-0.193)\sigma_4^2}} = \frac{-0.49298}{\sqrt{0.807/50}} = -3.8804$$

En büyük standart hata büyüklük olarak z_4 içindir. Bu durumda z_4 ' ü kötü veri olarak kabul edebiliriz ve durum tahmini hesaplamalarında ihmal edebiliriz. 3 ana ölçüm için H ve $H^T R^{-1}$ matrisleri tekrar bulunursa ;

$$H = \begin{bmatrix} 0.625 & -0.125 \\ -0.125 & 0.625 \\ 0.375 & 0.125 \end{bmatrix}$$

$$H^T R^{-1} = \begin{bmatrix} 62.50 & -12.50 & 18.75 \\ -12.50 & 62.50 & 6.25 \end{bmatrix}$$

ve kazanç matrisi ve tersi ,

$$G = \begin{bmatrix} 47.65625 & -13.28125 \\ -13.28125 & 41.40625 \end{bmatrix}, G^{-1} = \begin{bmatrix} 0.023043 & 0.007391 \\ 0.007391 & 0.026522 \end{bmatrix} \text{ olur.}$$

Kalan 3 ölçüme göre durum tahminleri ,

$$\begin{bmatrix} x_1^{est} \\ x_2^{est} \end{bmatrix} = G^{-1} H^T R^{-1} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.34783 & 0.17391 & 0.47826 \\ 0.13044 & 1.56522 & 0.30435 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 9.01 \\ 3.02 \\ 6.98 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16.0074V \\ 8.0265V \end{bmatrix}$$

ve aynı üç niceliğin tekrar tahminleri ,

$$\begin{bmatrix} z_1^{est} \\ z_2^{est} \\ z_3^{est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.625 & -0.125 \\ -0.125 & 0.625 \\ 0.375 & 0.125 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 16.0074 \\ 8.0265 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9.0013A \\ 3.0157A \\ 7.0061V \end{bmatrix}$$

Tahmin edilen hatalar ,

$$[e_1^{est} \ e_2^{est} \ e_3^{est} \ e_4^{est}]^T = [0.0087 \ 0.0043 \ -0.0261]^T \text{ olarak hesaplanır. Bunlardan ,}$$

$f^{\text{est}} = \sum_{j=1}^3 \frac{e_j^2}{\sigma_j^2}$ karelerin toplamıda 0.0435' e eşit bulunur. Şimdi iki durum değişkeninin

tahmini için sadece 3 ölçüm vardır. $f^{\text{est}}=0.0435$ değerini ki-kare değeri $\chi^2_{1,0.01}=6.64$ (bu bir tane bağımsızlık derecesi için olur) ile karşılaştırsak kötü veri kalmadığı kanaatine varırız (*Stevenson,D.W.,chapter.15,Mc Graw-Hill 1994*).



4. BÖLÜM

GÜÇ SİSTEMLERİNDE DURUM TAHMİNİNE GİRİŞ

Şimdiye kadar durum tahminin nasıl yapıldığını kötü verilerin nasıl yok edildiğini inceledik fakat güç sistemine bu yöntemlerin uygulanması biraz farklıdır. Her şeyden önce bu hesaplamaları el ile yapılması mümkün değildir ve her durumda bilgisayara ihtiyaç vardır. Tabi bu bilgisayarın ihtiyaç duyduğu profesyonel yazılımda beraberinde olmalıdır.

Durum tahmini güç sistemlerinde merkezi kontrol ve haber alma fonksiyonları için gerçek zaman veri temeli sunan bir dijital işleme yöntemidir. Amacı sistem güvenliğini sağlamak , doğru verileri elde etmek ve uzaktan ölçüm (telemetry) ve ölçüm maliyetini düşürmektir.

Güç sistemlerinde durum tahminin amaçlarını iki grupta toplayabiliriz :

- 1) On-line güvenlik analizleri , anormallik belirleme , hata teşhisi ve bunlarla alakalı görüntüleme fonksiyonları için bir gerçek zaman veri temeli sunarak sistem güvenliğinde düzeltmelere yardımcı olmak ,
- 2) Çok pahalı algılama ve telemetry (uzaktan algılama) donanımının uygulanması için gerekenleri minimize ederek belirli ileri kontrol fonksiyonları (gerçek zaman güç akışı optimizasyonu gibi)' nın yerine getirilmesini kolaylaştırmak.

Durum tahminin ikincil amacı kontrol , haber alma , kaydetme ve saklama fonksiyonlarının kalitesini yükseltmektir. Durum tahminci algoritmasının geri plandaki amaçlarından biride ekonomik bir şekilde merkezi kontrol ve haber alma için ihtiyaç

hissedilen verileri elde etmek için sistem bilgisinin dizayn ve planlamasına yardımcı olmaktadır.

4.1 ALTERNATİF UYGULAMALAR

Durum tahmini merkezi bir yerdeki sistem değişkenlerinin (mesala , güç akışları ve üretimleri , gerilimler ve faz açıları) tahminlerini bulmak için yapılmaktadır. Durum tahminin üç alternatif uygulaması düşünülebilir ki bu uygulamalar sistem kontrolü için , karşılaştırılabilir veri temeli üretmek ve sistem güvenliği için kullanılırlar.

- 1) Tam bir ölçme ve teletetre sistemi ,
- 2) Yük akışı analizi ,
- 3) Durum değişkenlerinin bazı basitleştirilmiş daha düşük doğruluktaki hesaplamaları (Larson, R.E., March 1970)

Gerçek zamanda tüm sistem değişkenlerini ölçmek mümkün olsada muhtemelen ekonomik olmayacaktır. Alternatif olarak , eğer gerçek zamanda elde edilmiş yeterli miktarda güç üretimi ölçümü varsa , bir güç akışı programı V ve δ durum değişkenleri setini devamlı bir şekilde yenileyebilir. Üçüncü uygulama kontrol merkezlerinde genelde mevcut olan ölçümlerden daha fazlasına ihtiyaç duyar ve sonuçları güç akışından elde edilenlerden daha az doğruluğa sahiptir.

Eğer bazı gerçek zaman ölçümleri kaybolmuşsa (veya güvenilir hale gelmişse) , bu eksiklik ölçme sisteminin tamamına etki edecektir. Bunlar diğer ölçüm ve yalancı ölçümler tarafından telafi edilmelidir. Bu ne operatör bilgisi (dikkati) (daima mevcut değil) ne de fazlalık ve uygun seçim (ayırma) mantığına ihtiyaç gösterir. Ayrıca , ölçümler için hiçbir kovaryans matris elde edilemez. Bu nedenle , veri kazanma ve iletme

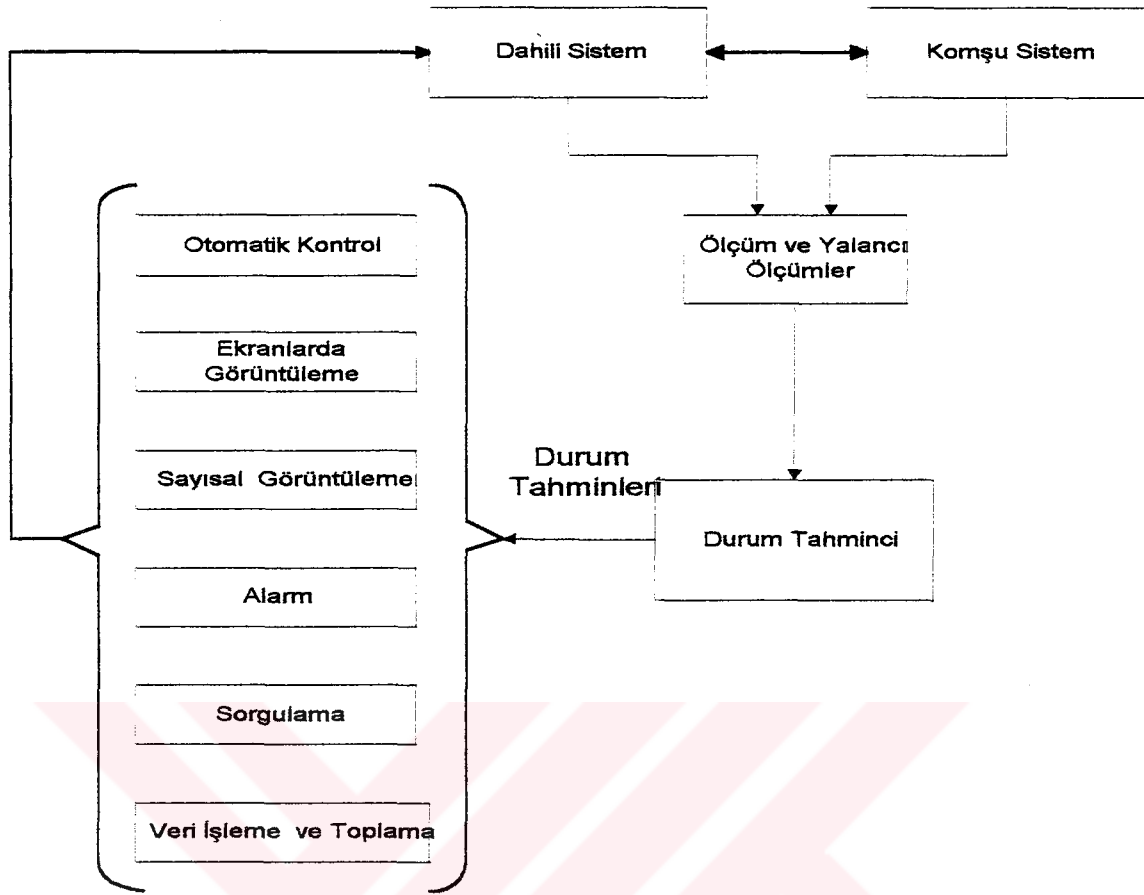
altsistemlerinin anormallikleri kovaryanslar ve fazlalıkların karşılaştırılması vasıtasıyla belirlenip yok edilemez (Larson, R.E.,Part I, March 1970).

Durum tahmininin basitleştirilmiş hesaplamaları tam ölçüm sisteminin bunlar için benzer eksikliklerine sahiptirler. Ayrıca , ferdi ölçüm ve yalancı ölçüm nicelikleri onların doğruluklarını uygun olarak ağırlıklandırılmalıdırlar. Bu nedenle , giriş niceliklerinin bir kaçının yanlışlığı , hesaplanan durumun doğruluğunun derecesini düşürebilir.

Güç akışı çözümleri tam ölçüm sisteminin bu aynı zorluklarına sahiptirler. Ancak , güç akışı hesaplamaları durum kovaryans matrisinide içine alacak şekilde genişletilebilir. Bu uygulama , durum değişkenlerinin sayısının , ölçümlerin sayısına eşit olduğu ($N_m=N_s$) özel bir durumda bahsedilmiştir. Durum değişkenlerinin her bir yenilenmesi (güncelleştirme) anlatılan durum tahminindeki ölçümlerin işleme sırasına benzemeyen tam güç akışı hesaplamasına ihtiyaç duyacaktır. Ayrıca güç akışı hesabı kontrol merkezinde mevcut olabilecek herhangi bir fazla bilgiden yararlanamayacaktır.

4.2 SİSTEM İŞLETMESİNDEKİ MEVCUT UYGULAMALAR

Bilgi ve kontrol sisteminde durum tahmincinin yeri veya rolü *Şekil 4.1'* de gösterilmiştir. Tahminci interkonnekte sistem hakkındaki mevcut bütün bilgiyi işler ve çeşitli kontrol ve haber alma fonksiyonları için bir veri temeli sunar. Durum tahmincinin çıkışları önemli elektriksel sistem değişkenlerinin tahminleridirler. Bunlar aktif ve reaktif güç genaratör çıkışları ve yükler , iletim hatlarındaki aktif ve reaktif güç akışları , bara gerilimlerinin modülleri ve faz açıları ve son olarakta şebekede seçilen admitans parametreleri (eğer parametre tahmini düşünülüyse).



Şekil 4.1 : Kontrol sisteminde durum tahmincinin yeri ve görevi

Durum tahmincinin faydalı çeşitli kontrol ve görüntüleme fonksiyonlarının bazıları şunlardır :

1) Yük frekans kontrolü (Cohn, N.,1961) bütün güç akışı ve üretimlerin optimum tahminlerini almak için yararlıdır , özellikle gerçek zamanda ölçülmeyen fakat operatör tarafından tahmin edilip periyodik olarak yenilenen (mesela saatte bir) giriş nicelikleri için. Durum tahminci giriş verilerini oluşturmak için doğal bir kaynak görünümündedir.

2) Aktif ve reaktif gücün optimum haber alma işlemi ferdi bara yüklerine dayandırılır. Durum tahminci kontrol merkezleri için telemetre edilmeyen ve ölçülmeyen bu yüklerin tahminlerini verebilir. Bu nedenle çeşitli optimum haberalma planlarının doğal yardımcısıdır (Peschon, J.,January 1968 ; Dommel, H.W.,October 1968).

3) Güvenlik görüntülemesi ; mesela üretim kaynakları (rezervleri) , hat yükleri , bara gerilimleri , şebekenin geçici (transiyent) kararlılık özellikleri ve gerçekmiş gibi kabul edilen olasılıkların etkilerini önceden haber vermenin periyodik kontrolü gibi (*Mochon, H.H.,1968*) durum tahmincinin çıkışlarındaki gerçek zaman bilgilerinden çıkarılabilir.

4)Planlanan haber alma kesintisi , planlanan kesintilerin etkilerinin analizini veya sistem güvenliğine anahtarlama operasyonlarının etkilerinin analizini gerektirir. Tahmin edilen değişkenler önceden haber verme testleri için bir temel teşkil eder.

Durum tahmincinin çıkışları ile beslenen ekranlar haber alıcı için aşağıdaki bilgileri verir.

- 1) Hat akışı tahminleri , genaratör çıkışları , yükler , gerilim seviyeleri , faz açıları v.b. , sistemin her tarafında onların bağıl doğrulukları (standart sapma) ile birlikte ,
- 2) Bilgi sistemi hatası veya şebeke arızası için haber alıcıya alarm vermek için sistemdeki anormallikler ve onların coğrafi yerleri ,
- 3) Bir hatayı teşhis işleminde ilk haber alıcı için rapor edilmeyen kesintiler ve onların yerleri (*Larson,R.E.Part I,March 1970*) ,
- 4) Önemli sistem baraları veya alış veriş noktalarındaki gücün (aktif ve reaktif) marjinal maliyetleri (*Peschon, J.,January 1968 ; Dommel,H.W.,October 1968*) ,
- 5) Sistem her ne zaman kolayca zarar görebilecek bir duruma gelmişse haber alıcıyı uyarmak için üretim ve iletim rezervleri gibi güvenlik göstergeleri ,
- 6) Sistem düzeltme prosedürü esnasında ilk haber alıcı için istenmeyen güç akışı ve gerilim şartlarını düzeltmek için ihtiyaç duyulan doğru eylemler ,

Yukarıda listelenen bilgilerin hepsi ne durum tahmincinin içindedir ne de ondan kolayca elde edilebilir. Çünkü sadece bu bilginin küçük bir bölümü görüntülenmeyi gerektirir , kalanlar bilgi toplama işlemi olarak kabul edilebilirler.

Son olarak tahminci mevcut olandan daha doğru ve tam bir bilgi sistemi sunacaktır , toplanan verilerin düzeltilmesi için faydalı olduğu aşikardır.

4.2.1 KOMŞU SİSTEMLERİ TEMSİL ETMEK İÇİN EŞDEĞER ŞEBEKE KULLANILMASI

Türkiye için tam olarak mevcut olmayan fakat interkonnekte sistemin farklı kısımlarının farklı dağıtım şirketleri tarafından işletilmesi durumunda bu konu önem kazanmaktadır. Ayrıca bu durum ülkeler arası enerji alışverişi için de ortaya çıkmaktadır. Gerçek ölçüm yapılmayan şebeke bölümlerinde yalancı ölçümler olduğu varsayılmıştır. Komşu sistem kısımlarının olması durumunda alternatif bir prosedür mevcuttur. Bu prosedürde dahili sistemle komşu sistem arasındaki hatlarda akışların ölçüldüğü varsayılmıştır. Bundan sonra aşağıdaki gibi komşu sistemin etkisini modellemek mümkündür :

- 1) Mevcut ölçümleri kullanarak komşu sistemin bağlı olduğu baraların hepsinden durum değişkenlerinin tahminlerini elde et ,
 - 2) Bu tahminleri ve bağlantı hattı akışlarını kullanarak (komşu sisteme bağlayan hatlar) hatların olmadığı (bittiği) komşu sistemdeki sınır baralar için sistem durum değişkenlerinin tahminlerini belirle ,
 - 3) Komşu sistemin pasif eşdeğer şebekesini ve 2. adımdaki durum değişkenlerini kullanarak merkezi sisteme bağlı olan komşu sistemdeki sınır baralarındaki eşdeğer üretimleri belirle ,
3. adımın eşdeğer üretimleri sanki mevcut komşu sistemin tam durum tahminiymiş gibi dahili sistemdeki komşu sistemin etkisini tasfir etmede kullanılabilirler (*Larson,R.E.January 1969*).

Durum tahmini mevcut analitik teknikler ve bilgisayar donanımıyla bir gerçek güç sistemi için yapılabilir. Durum tahmininin hesaplama ihtiyaçları güç akışı çözümleriyle aynı sıradadır ve bunlarla karşılaştırılabilirler. Güç akışı çözümü işletmenin ekonomi ve

güvenliğini arttırmak için yapılmaktadır. Durum tahmini diğer uygulamalarına ek olarak sık sık güç akışı çözümlerinin yerine kullanılır.

Durum tahminci yavaş değişen şartlar altında güç sisteminin işletilmesiyle birleştirilen basit ve ileri haberalma işlemlerinin çoğuna bilgi temeli sunar. Ancak çok kısa sürede yapılması gereken acil kontrol fonksiyonları tanımlanan durum tahmini algoritmasının çıkışlarının doğrudan kullanılması mümkün olmaz. Bu gibi fonksiyonlar gerçek bir dinamik tahminciye ihtiyaç duyacaktır.

Tanımlanan durum tahminci konfigürasyonu ölçüm değişkenleri ve onların standart sapmaları ile birlikte durumun yenilenmiş (güncelleştirilmiş) optimum tahminlerini üretir. Ayrıca sistem parametrelerini belirleme ve seçilen değişkenlerin (mesela yükler) kısa dönem tahmini yapmak içinde kullanılabilir.

Durum tahminci teletre sistemindeki mevcut birikmelere karşılık olarak olasılıksal bir dengeleme sunmak için ek bir yazılım geliştirmeyi gerektirir. Mümkün olan faydalar anormallik belirleme ve teşhis kabiliyeti , bilgi sistemi oluşturmada ve doğruluğu arttırmadaki esneklikten çıkarılabilir.

Durum tahmini konusunda pratikteki problemlerin çoğu halledilebilmiştir. Bunlar şebeke modelleme , bilgi sistemi hiyerarşik yapısı , anormal durumları belirleme , teşhis ve önceden haber verme fonksiyonları ve etkili işletme için bilgisayardaki işlenmemiş ölçümleri okuma metodlarını içine alır.

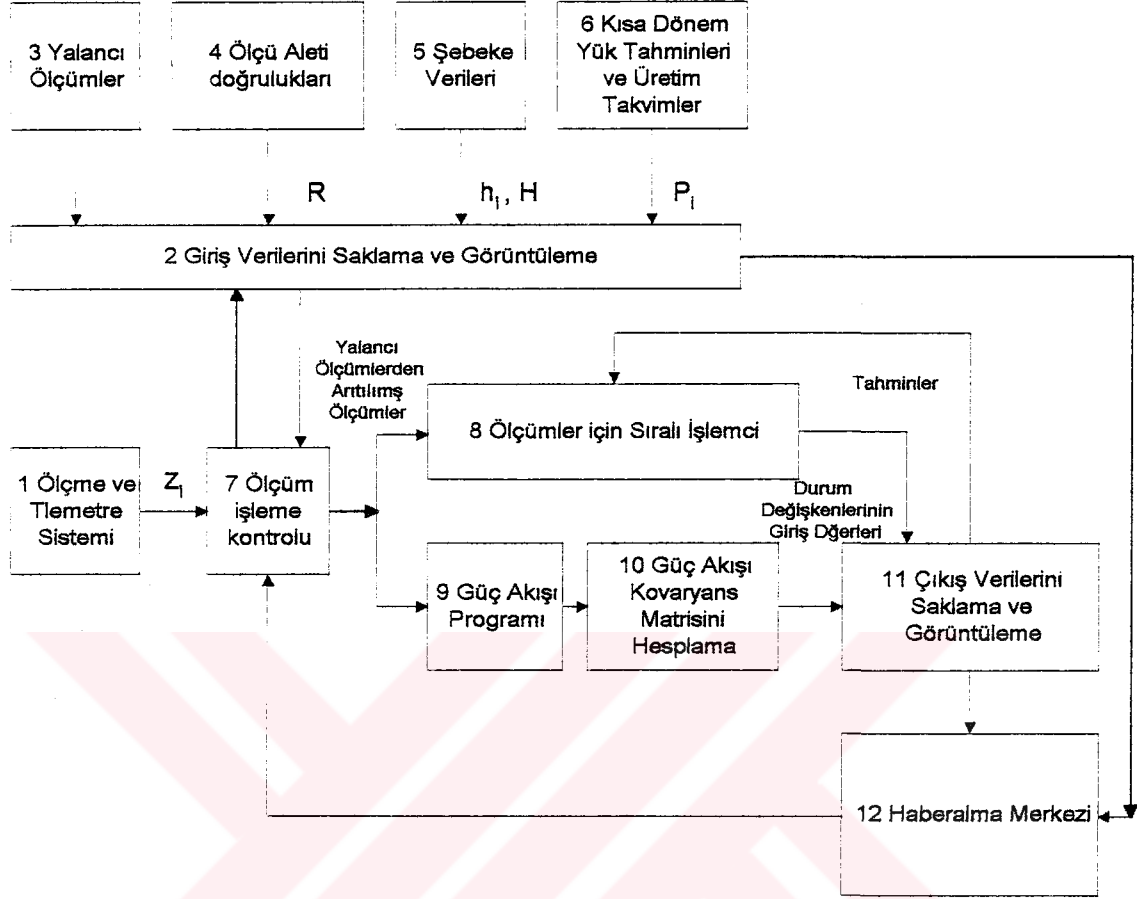
4.3 DURUM TAHMİNCİNİN YAPISI

Daha önceki konularda durum tahmini güç sistemlerinde merkezi kontrol ve haberalma fonksiyonları için gerçek zaman veri temeli sunduğundan bahsettik. Amacı sistem güvenliğini sağlamak , doğru verileri elde etmek ve uzaktan ölçüm ve/veya ölçme maliyetini düşürmektir. Bütün bunları yapabilmesi için çok karmaşık telemetre sistemleri ve profesyonel yazılımlar gerekmektedir.

Durum tahmincinin yapısı ***Şekil 4.2'*** de gösteriliyor. Bu tahminci beş ana fonksiyonda anlatılabilir.

- 1) Ölçme ve uzaktan algılama (telemetre),
- 2) Giriş verilerini saklama ve gösterme (display),
- 3) Tahmin ve kovaryans hesaplama,
- 4) Çıkış verilerini saklama ve görüntüleme,
- 5) Haber alma (veri alma) merkezi,

Şekil 4.2 : Durum tahmincinin blok diyagramı



4.3.1 ÖLÇME VE UZAKTAN ÖLÇME SİSTEMİ

Çeşitli adreslerden elde edilen ölçümler telemetre sistemi vasıtasıyla toplanıp sayısal olarak durum tahmini programı bulunan bilgisayara işlenmemiş (saf) olarak iletilirler. Bu ölçümlerin herbir işlenmesi sistemin bir kısmını içerir. Z_1 şeklinde ölçüm grubunu gösterilen ölçümler şu tiplerden hepsi veya bazıları olabilir ; aktif ve reaktif hat akışları , aktif ve reaktif güç üretimleri (injeksiyonları) (baralardaki) ve baraların gerilimleri (efektif olarak) ve faz açıları. Genelde şebekenin bazı kısımlarında fazla ölçümler vardır veya durum değişkenlerinden daha fazla ölçüm vardır , bu esnada şebekenin diğer bölümlerinde ise hiç ölçüm olmayabilir.

4.3.2 GİRİŞ VERİLERİNİ SAKLAMA VE GÖRÜNTÜLEME

Tahmin işlemini yapabilmek için bazı niceliklerin belirtilmesi gerekmektedir. Bunlar şebeke yapısı ve parametreleri (sisteme etki edenler) , ölçüm ve teletetre sistemi duyarlılığı (doğruluğu) ve yalancı ölçümleri içine alır. Bu bilgi *Şekil 4.2'* deki 2. blokta toplanıp saklanmıştır. Bu bilgi durum tahmininde ve haberalma merkezinde görüntüleme (ekranlarda gösterme) için gerekli olduğundan dolayı mevcuttur. Çeşitli veri tiplerinin nasıl belirtildiği aşağıda anlatılmıştır.

4.3.2.1 YALANCI ÖLÇÜMLERİ BELİRTME

Şebeke parçaları ölçme ve teletetre sisteminin içinde uygun ölçümlere sahip olmayabilir. Bu anlamsız tahminlere neden olabilir (*Larson, R.E., Part I, March 1970; Larson, R.E., October 1968*). Ancak bu zorluk uygun ölçümlerin olmadığı baralardaki yalancı ölçümlerin belirlenmesiyle çözülebilir. Yalancı ölçümler , eski veriler (daha önce alınmış veriler) , yük takvimleri , üretim takvimleri , komşu sistemlerden verilen bilgiler , operatör deneyimi v.b. vasıtasıyla ortaya çıkarılabilir. Bu sayılanların çok büyük doğruluğa ihtiyacı yoktur fakat gösterdikleri niceliğin gerçek değerine uygun olmalıdırlar. Yalancı ölçüm grubu *Şekil 4.2'* deki 3. bloktan elde edilir.

4.3.2.2 ÖLÇÜM DUYARLIĞI BELİRTME

Durum tahmini için kritik grışlerden biri bütün ölçümler (z_i) ve yalancı ölçümlerin doğruluğudur. Bu bilgi herbir ölçüm ve yalancı ölçümün standart sapması formunda veya eşdeğer olarak gürültü kovaryansı R vasıtasıyla belirtilir. Bunlar ölçme ve teletetre sistemi donanımının karakteristiklerden ve yalancı ölçümleri ortaya çıkarmada kullanılan metodlardan hesaplanabilirler. Bu veriler *Şekil 4.2'* de ki 4. blokta saklanmıştır.

4.3.2.3 ŞEBEKE VERİLERİ

Hat admitansları (Y_{ij}) ve açıları (θ_{ij}) gibi şebeke parametreleri ve şebeke yapısı , tahmini gerçekleştirmek için gerekli sırada bilinmelidir. Bu ayrıca “f” ve H_x matrisinin elde edilmesinde kullanılan lineer olmayan fakat lineerleştirilen (iteratif bir yöntemle) denklemlerin hesaplanması için de gereklidir. Bu , konu ilerledikçe verilecek güç akışı denklemlerinde görülecektir.

4.3.2.4 KISA DÖNEM YÜK TAHMİNLERİ VE ÜRETİM TAKVİMLERİ

Sistem değişkenlerini kısa dönem önceden bilme önemli bir konudur. Bu önceden bilme işleminin iki baş kaynağı kısa dönem yük tahmini ve üretim takvimleridir. Bu ve diğer önceden bilinebilir (predictive) bilgi *Şekil 4.2'* de 6. blokta mevcuttur.

4.3.3 TAHMİN VE KOVARYANS HESABI

Durum tahmincinin kalbi tahmin ve kovaryans hesabıdır. Bu fonksiyon , hesaplamaları ve diğer blokları yöneten (koordine eden) , özel hesaplamaları gerçekleştiren ölçüm işleme kontrolünden ibarettir. Bunların hepsi aşağıda tanımlanmıştır.

4.3.3.1 ÖLÇÜM İŞLEME KONTROLÜ

7. blok ölçüm işleme kontrolü , durum tahminci hesaplamalarının planlanması ve kontrolünü yapar. Bu , işlenmemiş ölçümleri ve yalancı ölçümlerin akışını kontrol eder , seçilen giriş verilerini tekrar elde eder ve durum tahminci denklemlerini kullanarak belirler. Bu , haberalma merkezinden gönderilen komutlara tepki verme kabiliyeti ve mantığından ibarettir. Bu blok ölçüm ve yalancı ölçümleri iki grupta sınıflandırır.

4.3.3.2 GÜÇ AKIŞI PROGRAMI

Durum tahmincinin anahtarlarından biri 7. bloğun çıkışı olan N_m ölçüm için $x^{(0)}$ tahmin giriş değerlerini hesaplayan güç akışı programıdır. 9. blokta bu program mevcuttur. Bu program sayesinde durum tahminci daha hızlı çalışıp daha çabuk sonuca ulaşacaktır. Her ne kadar güç akışı programının her yeni ölçüm grubu alındığında kullanılmasına ihtiyaç yoksa da giriş değeri hesaplamada durum tahmincinin önemli bir elemanıdır.

4.3.3.3 GÜÇ AKIŞI KOVARYANS HESABI

Güç akışı bir başlangıç değeri kümesi verir fakat onun kovaryansını vermez. *Şekil 4.2* 10. blokta gösterildiği gibi güç akışı kovaryans matrisinin elde edilmesi için ek hesaplamalara ihtiyaç vardır.

4.3.3.4 ÖLÇÜMLER İÇİN SIRALI İŞLEMCI

Tahmin ve kovaryans hesabında en çok kullanılan blok *Şekil 4.2'* de ki 8. blok ile temsil edilen sıralı işlemcidir. Bu blok z_i ölçüm grubundan her seferinde bir tane ölçüm alır ve x^{est} durum tahmini ve onun kovaryansı $H(h_i)$ 'ı yeniler. Denklemleri yenileme çok basittir ve binlerce ölçüm her saniyede bir bu yolla işlenebilir. Sıralı işlemci zamanın çoğunu ölçümleri işlemede kullanabilir ve güç akışı programına sadece giriş değerleri ve periyodik tekrar lineerleştirme için gerek duyulur.

4.3.4 ÇIKIŞ VERİLERİNİ SAKLAMA VE GÖRÜNTÜLEME

Durum tahmincide durum değişkenleri ve diğer ölçüm değişkenlerinin her ikisi için kovaryansları hesaplama ve tahminleri yenileme devam eder gider. Büyük ölçüm yığınlarını işleyen durum tahminci için bu uygun değildir. Halbuki ölçümlerin sıralı işlenmesi bu işlemi oldukça basitleştirir. *Şekil 4.2'* de ki 11. blokta , çıkış verileri saklama

ve görüntüleme yüksek bir hızda saklama ve görüntüleme yaparak kovaryanslar ve tahminlerin en son yenilenmiş değerlerini saklar. Çünkü tek bir ölçüm , tahminler ve kovaryansların küçük değişmelerini bile yeniler. Çıkış verilerini saklama ve görüntülemekten ihtiyaç duyulan değişkenleri okumak mümkündür. Ayrıca sıralı işlemciye iletmek , hesaplamaları yenilemek ve sonra tekrar yenilenmiş ölçüm yapmakta mümkündür.

4.3.5 HABERALMA MERKEZİ

Durum tahminci tarafından üretilen bilgi temelindeki fonksiyonları çoğu *Şekil 4.2* blok 12' deki haberalma merkezinde gerçekleştirilir. Bu nedenle bu merkezler için giriş ve çıkış veri saklama ve görüntüleme zaruridir. Örneğin haber alıcı anormal bir belirleme kullanarak şebekenin belirli bir parçasından bilgi işlemek isteyebilir. Bu kabiliyet haberalma merkezine komutlar göndermeye izin verir. Uygulamada haberalma merkezi *Şekil 4.2'* deki 3. ve 6. blokların içerdiği verilerin bazılarını yenilemek veya değiştirmek isteyebilir.

4.4 TAHMİNCİNİN GİRİŞLERİ

Durum tahmincide işlenen ölçümlerden başka şebeke yapısı hakkında hiç bilgi yok kabul edilmiştir. Durum tahmincinin (on-line) normal işlemesi esnasında , mevcut saklanan tahmin şebeke durumunu çok doğru bir şekilde temsil eder. Bu nedenle eğer durum tahminci iteratif bir şekilde kullanılırsa *Şekil 4.2'* deki durum tahmincide çok daha az sıklıkla girişe (veri girişi) ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte bir giriş prosedürü tahmincinin başlatılması ve periyodik tekrar lineerleştirme için mevcut olmalıdır. Giriş işlemi (initialization) kesilme gibi şebekedeki büyük bir değişiklikten sonrada gerekli olabilir. Giriş işlemi için en uygun metod bara üretim (injeksiyon) ölçümlerini kullanarak

Newton Metodu ile güç akışı çözümü yapmaktır. Hiç ölçüm olmayan baralarda yalancı ölçümler kullanılır. Bu metod kullanılarak durum tahmininden mükemmel sonuçlar elde edilebilir (*Larson, R.E., Part I, March 1970*). Bazı koşullarda güç akışı programından elde edilen giriş tahminleri yerine daha önce elde edilmiş tahminleri kullanmak mümkündür. Ancak uygulamada bir durum tahminci bu önceki bilgilere bağlı olmaksızın bir giriş tahmini belirlemeye muktedir olmalıdır. Daha ileri olarak güç akışı hesaplamalarından gerçekleştirilmesi için prosedür oldukça hızlı ve etkilidir ki önceki bilgiyi kullanarak hesaplama yapmak çok büyük kazanç sağlamaz.

4.5 ON-LINE ÖLÇÜM İŞLEME

Giriş verisi tahmini ve kovaryansın elde edilmesinden sonra hesaplama yapılır ve sıralı işlemci (*Şekil 4.2* 8. blok) on line alınan bu ölçümlerin bu niceliklerini yenilemek için kullanılmıştır. Eğer ölçümler giriş verisi prosedüründeki kullanılan gibi aynı zamanda yapılmışsa , sıralı işlemci mükemmel performans gösterecektir. Eğer ölçümler daha sonra yapılırsa , durum tahminci gerçek bir dinamik tahminci halini alır. Eğer sistem parametrelerini belirleme durum tahmincinin bir bölümü olursa özel tekniklere ihtiyaç duyulacaktır.

4.6 GÜÇ SİSTEMLERİNDE DURUM TAHMİNİ

Güç sistemlerinde durum tahmini yapabilecek bir tahmincinin yapısından bahsettikten sonra , burdaki işlemler nasıl yapıyor konusuna bakalım.

AC güç sisteminin durumu baralardaki gerilimler ve faz açıları ile ifade edilir. Her ne kadar bara gerilimlerinin bağıl faz açıları ölçülemez ise de , sistemden gerçek zaman veri kazanması kullanılarak hesaplanabilirler. Bu veriler durum tahminci tarafından işlenir. Bilgisayar programı sistemin baralardaki gerilimleri ve onların faz açılarını hesaplar. Durum tahminci basit bir güç akışı programından elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar verirken giriş verileri ve hesaplama prosedürü biraz farklıdır.

Durum tahmincinin yönettiği gerçek-zaman girişleri “veriler ve konumlar bilgisi” olmak üzere ikiye ayrılır. Anahtarlama aletlerinin açma kapama konumları (kesiciler , ayırıcılar , transformatör kademeleri gibi) ağ şebeke yapısını belirlerler. Bu durum her ne zaman değişirse bu aletlerin işleyişide değişir. Sistemdeki değişiklikleri bildirmek için yerleştirilen uzak terminal üniteleri sistemin çoğu barasındaki genaratör ve transformatörlerin P ve Q yüklenmeleri ve gerilimler , bütün hat başlarındaki megawatt ve megavar akışları şeklinde analog veriler olarak görüntülenmesini sağlarlar. Her bir kaç dakikada bir uzak üniteler taranırlar ve ölçümlerin tam bir grubu enerji kontrol merkezleri için uzaktan ölçülürler. Bu nedenle durum tahminci basit bir güç akışı için tanımlanandan daha büyük bir veri temelinde sonuçlar çıkarır.

Pratikte durum tahmininde gerçek ölçümlerin sayısı güç akışıyla ihtiyaç hissedilen veri girişlerinin sayısından çok daha büyüktür. Sonuç olarak mevcut bilinmeyen durumları çözmek için çok daha fazla sayıda denkelem vardır. Bu “fazlalık (redundancy)” gereklidir çünkü ölçümler bazan veri elde etme sistemlerindeki arızalardan dolayı uygun değildir veya hatalar oldukça büyüktür. İşlenmemiş veya kullanılmamış ölçümlerin doğrudan doğruya kullanılması uygun değildir ve bazı veri filtreleme şekillerine ihtiyaç hissedilir.

Durum tahminci sistemin bütün durum-değişkenlerinin ortalama değer tahminini elde etmek için ölçümler grubunu işleyerek filtreleme fonksiyonu yapar. Bu yolla giriş verilerinin tamamının en iyisi herbir ölçümün ayrı ayrı işlenmesine gerek kalmadan elde edilir.

Bölüm 2' deki basit DC devrenin durum tahmini Denklem (2.19)' un kapalı form çözümü ile verilir. Çünkü devre denklemleri lineerdir. AC güç sistemi devre denklemleri nonlineerdir ve iteratif çözümlere ihtiyaç vardır. Mesela Newton-Raphson güç akışı prosedürü gibi. Farzedelim ki , ölçüm denklemleri aşağıdaki formdadır ;

$$e_1 = z_1 - h_1(x_1, x_2) \quad (4.1)$$

$$e_2 = z_2 - h_2(x_1, x_2) \quad (4.2)$$

$$e_3 = z_3 - h_3(x_1, x_2) \quad (4.3)$$

$$e_4 = z_4 - h_4(x_1, x_2) \quad (4.4)$$

burda genel olarak h_1 , h_2 , h_3 ve h_4 nonlineer fonksiyonlardır. Bu fonksiyonlar durum değişkenlerindeki ölçülen nicelikler olarak ifade edilirler ve e_1 , e_2 , e_3 ve e_4 Gauss Rasgele dağılımına sahip gürültü terimleridir. x_1 ve x_2 nin gerçek değerleri bilinemez ve z_1 , z_2 , z_3 ve z_4 ölçümlerinden tahmin edilmeleri gerekir.

σ_j^2 değişimlerinin karşılığı olan w_j ağırlıkları ile hataların toplamını ağırlıklandırma formülüyle işe başlarsak ,

$$f = \sum_{j=1}^4 \frac{e_j^2}{\sigma_j^2} = \frac{[(z_1 - h_1(x_1, x_2))]^2}{\sigma_1^2} + \frac{[(z_2 - h_2(x_1, x_2))]^2}{\sigma_2^2} + \frac{[(z_3 - h_3(x_1, x_2))]^2}{\sigma_3^2} + \frac{[(z_4 - h_4(x_1, x_2))]^2}{\sigma_4^2} \quad (4.5)$$

olur. x_1^{est} ve x_2^{est} tahminlerinden önce aşağıdaki alınan Denklem (2.16) ile f minimize edilmelidir ;

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial x_1} & \frac{\partial h_1}{\partial x_2} & \frac{\partial h_3}{\partial x_1} & \frac{\partial h_3}{\partial x_2} \\ \frac{\partial h_2}{\partial x_1} & \frac{\partial h_2}{\partial x_2} & \frac{\partial h_4}{\partial x_1} & \frac{\partial h_4}{\partial x_2} \end{bmatrix}_{x^{est}} \underbrace{\begin{bmatrix} 1/\sigma_1^2 & & & \\ & 1/\sigma_1^2 & & \\ & & 1/\sigma_1^2 & \\ & & & 1/\sigma_1^2 \end{bmatrix}}_{R^{-1}} \begin{bmatrix} z_1 - h_1(x_1^{est}, x_2^{est}) \\ z_2 - h_2(x_1^{est}, x_2^{est}) \\ z_3 - h_3(x_1^{est}, x_2^{est}) \\ z_4 - h_4(x_1^{est}, x_2^{est}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Bilinmelidir ki x_1 ve x_2 ' ye bağlı olan kısmi türevli terimleri şu şekilde belirleriz ;

$$H_x = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial x_1} & \frac{\partial h_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial h_2}{\partial x_1} & \frac{\partial h_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial h_3}{\partial x_1} & \frac{\partial h_3}{\partial x_2} \\ \frac{\partial h_4}{\partial x_1} & \frac{\partial h_4}{\partial x_2} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

ve sonra Denklem(4.6)' yı daha basit bir şekilde yazabiliriz ;

$$H_x^T R^{-1} \begin{bmatrix} z_1 - h_1(x_1^{est}, x_2^{est}) \\ z_2 - h_2(x_1^{est}, x_2^{est}) \\ z_3 - h_3(x_1^{est}, x_2^{est}) \\ z_4 - h_4(x_1^{est}, x_2^{est}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Durum tahminleri x_1^{est} ve x_2^{est} ye uygun olarak bu denklemleri çözmek için Newton-Raphson güç akışı ile aynı prosedürü takip ederiz. Örneğin , aşağıdaki güç akışı denklemini kullanarak $h_1(x_1, x_2)$ ' yi $(x_1^{(0)}, x_2^{(0)})$ noktalarında lineerize etmek için ,

$$h_1(x_1, x_2) = h_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \left. \frac{\partial h_1}{\partial x_1} \right|^{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \left. \frac{\partial h_1}{\partial x_2} \right|^{(0)} \quad (4.9)$$

alınır. Burada önce $\Delta x_i^{(0)} = x_i^{(1)} - x_i^{(0)}$ “ tipik durum değişkeni tanımlama” işlemini gösterir ve $x_i^{(1)}$, x_i değerinin ilk hesabıdır. Benzer olarak $h_2(x_1, x_2)$, $h_3(x_1, x_2)$ ve $h_4(x_1, x_2)$ ' ye genişletilerek Denklem (4.8)' deki açılımlar çözümlenerek ve yeniden düzenlenerek aşağıdaki şekle sokulur ,

$$H_x^{(0)T} R^{-1} \begin{bmatrix} z_1 - h_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \\ z_2 - h_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \\ z_3 - h_3(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \\ z_4 - h_4(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \end{bmatrix} = H_x^{(0)T} R^{-1} H_x^{(0)} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Bütün bu üst indisli nicelikler $x_1^{(0)}$ ve $x_2^{(0)}$ başlangıç değerleri ile hesaplanır. Denklem (4.8)' deki gibi Δx_1 ve Δx_2 “ tamamlamalarını “ sıfır yapmak gerekir. Bu nedenle Denklem(4.10) için hesaplamalar aşağıdaki daha genel iteratif formda

$\Delta x_i^{(k)} = x_i^{(k+1)} - x_i^{(k)}$ kullanılarak devam ettirilir.

$$\begin{bmatrix} x_1^{(k+1)} \\ x_2^{(k+1)} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_1^{(k)} \\ x_2^{(k)} \end{bmatrix} = (H_x^T R^{-1} H_x)^{-1} H_x^T R^{-1} \begin{bmatrix} z_1 - h_1(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}) \\ z_2 - h_2(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}) \\ z_3 - h_3(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}) \\ z_4 - h_4(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}) \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Uygun olsun diye “k” sayısının iterasyonu Denklem(2.6)’daki H_x ’den ihmal edilmiştir. Ancak her bir iterasyonda H_x jakobiyeinin elemanları ve $z_j - h_j(x_1^{(k)}, x_2^{(k)})$ nicelikleri, durum değişkenlerinin en son değerleri kullanılarak bulunur. Ardarda gelen çözümler özel bir doğruluk indeksi “ ϵ ” a yakınsayana dek bu durum devam eder. Bu kontrol $|x_i^{(k+1)} - x_i^{(k)}| < \epsilon$ herbir “i” için yapılır.

N_s tane durum değişkeni ve daha çok sayıda N_m ölçümleri olduğunda, dikdörtgen biçimindeki H_x , k. iterasyon için aşağıdaki şekilde alınır ;

$$H_x = \begin{bmatrix} \left. \frac{\partial h_1}{\partial x_1} \right|^{(k)} & \left. \frac{\partial h_1}{\partial x_2} \right|^{(k)} & \dots & \left. \frac{\partial h_1}{\partial x_{N_s}} \right|^{(k)} \\ \left. \frac{\partial h_2}{\partial x_1} \right|^{(k)} & \left. \frac{\partial h_2}{\partial x_2} \right|^{(k)} & \dots & \left. \frac{\partial h_2}{\partial x_{N_s}} \right|^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left. \frac{\partial h_{N_m}}{\partial x_1} \right|^{(k)} & \left. \frac{\partial h_{N_m}}{\partial x_2} \right|^{(k)} & \dots & \left. \frac{\partial h_{N_m}}{\partial x_{N_s}} \right|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

ve Denklem(4.13) genel iteratif formda şu şekilde yazılabilir ;

$$x^{(k+1)} - x^{(k)} = (H_x^T R^{-1} H_x)^{-1} H_x^T R^{-1} \begin{bmatrix} z_1 - h_1(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_{N_s}^{(k)}) \\ z_2 - h_2(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_{N_s}^{(k)}) \\ \vdots \\ z_{N_m} - h_{N_m}(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_{N_s}^{(k)}) \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

Kovaryans matristeki $x^{(k+1)}$ çözümü durum değişkenlerinin ağırlıklı en küçük kareler tahminlerine tekabül eder ki bunlar ;

$$x^{(k+1)} = x^{est} = [x_1^{est} \ x_2^{est} \ \dots \ x_{Ns}^{est}]^T \quad (4.14)$$

ile gösterilir. Aynı istatistiksel testler kullanılarak tahminleri kontrol etmek için önce ,

$$* e^{est} = z_j - h_j(x_1^{est}, x_2^{est}, \dots, x_{Ns}^{est}) \quad (4.15)$$

kullanılarak tekabül eden ölçüm hataları hesaplanır ,

* Denklem(3.22)' ye göre f^{est} karelerin toplamını buluruz ve ,

* Mevcut kötü verileri kontrol etmek için **Bölüm 3'** ün ki-kare (chi-square) testi uygulanır.(6. Bölüm'deki durum tahmini algoritmasına bakınız.)

Durum tahminlerini elde etmek için AC güç sistemi denklemlerini lineerleştirme ve iteratif olarak çözme için gerekli olan prosedürü göstermek için 4.1 ve 4.2 örneklerini kullanalım.

Örnek 4.1 :

İki voltmetre , iki varmetre ve bir wattmetre aşağıda verilen beş niceliği ölçmek için **Şekil 4.3'** deki sisteme yerleştirilmişlerdir.

Bara (2) gerilimi : $z_1 = |V_2|$

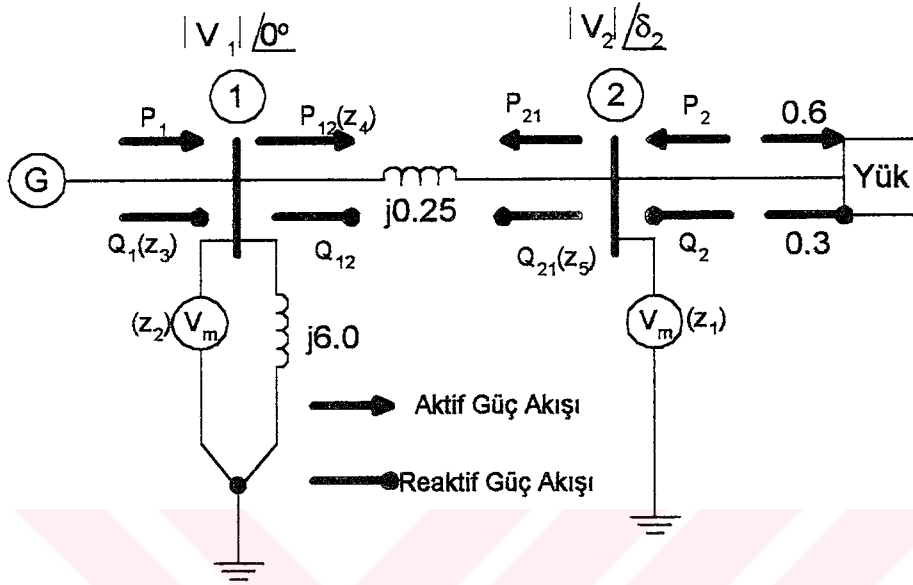
Bara (1) gerilimi : $z_2 = |V_1|$

Bara (1) reaktif güç girişi : $z_3 = Q_1$

Bara (1)' den bara (2)' ye hat P-akışı : $z_4 = P_{12}$

Bara (2)' den bara (1)' e hat Q-akışı : $z_5 = Q_{21}$

Şekil 4.3' de gösterildiği gibidir. Sistem durum tahminlerini ağırlıklı en küçük kareler yöntemine hesaplamak için lineer tahmin denklemlerini bulalım.



Şekil 4.3: Örnek 4.1' in tek hat diyagramı, $\{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5\}$ ölçüm grubunu temsil eden $|V_2|$, $|V_1|$, Q_1 , P_{12} ve Q_{21} nicelikleri gösteriliyor.

Çözüm :

Bu iki baralı örnekte $\delta_1 = 0^\circ$ 1 referans açısı seçeceğiz ve üç bilinmeyen durum değişkeni olarak $x_1 = \delta_2$, $x_2 = |V_2|$ ve $x_3 = |V_1|$ olarak alacağız (güç akışı çözümü yapıyormuş gibi). Üçüncü durum değişkeni $x_3 = |V_1|$ bu durum için gereklidir yani güç akışından farklıdır. Çünkü bara (1)'deki gerilim belirsizdir ve tahmin edilmelidir. Durum değişkenlerinin hat akışları için ifadeleri güç akışı denklemleri kullanılarak bulunursa,

$$P_{12} = -P_2 = -4 |V_1| |V_2| \sin(\delta_2 - \delta_1) = -4x_3x_2\sin x_1$$

$$Q_{21} = Q_2 = 4[|V_2|^2 - |V_1| |V_2| \cos(\delta_2 - \delta_1)] = 4(x_2^2 - x_3x_2\cos x_1)$$

Şekil 4.3' deki bara (1)' de şebekeye verielen reaktif güç Q_1 için aşağıdaki güç akışı denklemini kullanılır ,

$$Q_1 = |V_1|^2 \left(\frac{1}{6} + 4 \right) - 4|V_1||V_2| \cos(\delta_2 - \delta_1) = \frac{25}{6} x_3^2 - 4x_3x_2 \cos x_1$$

Q_1 bara (1) ile nötr arasındaki j6.0 per-unit' lik reaktansın reaktif gücünü gösterir. Yukardaki denklemler k. iterasyondaki ölçüm hataları için aşağıdaki ifadeleri yazmamıza müsade eder buna göre ;

$$e_1^{(k)} = z_1 - h_1(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, x_3^{(k)}) = z_1 - x_2^{(k)}$$

$$e_2^{(k)} = z_2 - h_2(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, x_3^{(k)}) = z_2 - x_3^{(k)}$$

$$e_3^{(k)} = z_3 - h_3(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, x_3^{(k)}) = z_3 - \left(\frac{25}{6} x_3^{(k)2} - 4x_3^{(k)}x_2^{(k)} \cos x_1^{(k)} \right)$$

$$e_4^{(k)} = z_4 - h_4(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, x_3^{(k)}) = z_4 - (-4x_3^{(k)}x_2^{(k)} \sin x_1^{(k)})$$

$$e_5^{(k)} = z_5 - h_5(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, x_3^{(k)}) = z_5 - (4x_2^{(k)2} - 4x_3^{(k)}x_2^{(k)} \cos x_1^{(k)})$$

Aynı iterasyon içinde h_1 , h_2 ve h_3 kısmi türevleri Denklem (4.12)' ye göre bulunur ki bunlar şu hali alır ;

$$H_x^{(k)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial x_1}^{(k)} & \frac{\partial h_1}{\partial x_2}^{(k)} & \frac{\partial h_1}{\partial x_3}^{(k)} \\ \frac{\partial h_2}{\partial x_1}^{(k)} & \frac{\partial h_2}{\partial x_2}^{(k)} & \frac{\partial h_2}{\partial x_3}^{(k)} \\ \frac{\partial h_3}{\partial x_1}^{(k)} & \frac{\partial h_3}{\partial x_2}^{(k)} & \frac{\partial h_3}{\partial x_3}^{(k)} \\ \frac{\partial h_4}{\partial x_1}^{(k)} & \frac{\partial h_4}{\partial x_2}^{(k)} & \frac{\partial h_4}{\partial x_3}^{(k)} \\ \frac{\partial h_5}{\partial x_1}^{(k)} & \frac{\partial h_5}{\partial x_2}^{(k)} & \frac{\partial h_5}{\partial x_3}^{(k)} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 4x_3^{(k)}x_2^{(k)}\sin x_1^{(k)} & -4x_3^{(k)}\cos x_1^{(k)} & \frac{25}{3}x_3^{(k)} - 4x_2^{(k)}\cos x_1^{(k)} \\ -4x_3^{(k)}x_2^{(k)}\cos x_1^{(k)} & -4x_3^{(k)}\sin x_1^{(k)} & -4x_2^{(k)}\sin x_1^{(k)} \\ 4x_3^{(k)}x_2^{(k)}\sin x_1^{(k)} & 8x_2^{(k)} - 4x_3^{(k)}\cos x_1^{(k)} & -4x_2^{(k)}\cos x_1^{(k)} \end{bmatrix}$$

$H_x^{(k)}$ ve $e_j^{(k)}$ 'ya dayanarak aşağıdaki formda durum değişkenlerini hesaplamada Denklem (4.13)' e karşılıktır.

$$\begin{bmatrix} x_1^{(k+1)} \\ x_2^{(k+1)} \\ x_3^{(k+1)} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_1^{(k)} \\ x_2^{(k)} \\ x_3^{(k)} \end{bmatrix} = \left(H_x^{(k)T} R^{-1} H_x^{(k)} \right)^{-1} H_x^{(k)T} R^{-1} \begin{bmatrix} e_1^{(k)} \\ e_2^{(k)} \\ e_3^{(k)} \\ e_4^{(k)} \\ e_5^{(k)} \end{bmatrix}$$

ve aşağıda bunlara karşılık gelen uyumsuzlukların ağırlık matrisi veriliyor ,

$$R^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} & . & . & . & . \\ . & \frac{1}{\sigma_2^2} & . & . & . \\ . & . & \frac{1}{\sigma_3^2} & . & . \\ . & . & . & \frac{1}{\sigma_4^2} & . \\ . & . & . & . & \frac{1}{\sigma_5^2} \end{bmatrix}$$

Önceki örnekte geliştirilen denklemler sistem durumunu tahmin için 4.2 ve 4.3 örneklerinin sayısal hesaplamalarında ve genel prosedürün anlatılmasında önemlidir.

Örnek 4.2 :

Şekil 4.3' te gösterilen fiziksel sistemde uzaktan alınan ölçümler (bunlar beş tane ölçülen niceliğin per-unit değerleridir) şu şekildedirler ;

$$z_1 = |V_2| = 0.92$$

$$z_2 = |V_1| = 1.02$$

$$z_3 = Q_1 = 0.605$$

$$z_4 = P_{12} = 0.598$$

$$z_5 = Q_{21} = 0.305$$

Ölçüm hatalarının uyumsuzlukları (variances) aşağıdaki gibi belirtilmiştir ,

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = (0.01)^2$$

$$\sigma_3^2 = \sigma_5^2 = (0.02)^2$$

$$\sigma_4^2 = (0.015)^2$$

Örnek 4.1' deki denklemleri kullanarak , **Şekil 4.3'** deki $x_1 = \delta_2$, $x_2 = |V_2|$ ve $x_3 = |V_1|$ olan durum değişkenlerinin ağırlıklı en küçük kareler tahminlerini hesapla.

Bölüm 3' teki istatistiksel testleri kullanarak sonuçları kontrol et.

Çözüm :

İlk önce $\sin x_1^{(0)} = 0$ ve $\cos x_1^{(0)} = 1$ değerlerini veren üç durum değişkeni için $x_1^{(0)} = 0^\circ$, $x_2^{(0)} = x_3^{(0)} = 1.0$ per-unit başlangıç değerlerini kullanarak iteratif hesaplamalara başlarız.

Örnek 4.1' deki ifadelerin sayısal değerlerini bulmak birinci iterasyonun ölçme hatalarını verir.

$$e_1^{(0)} = z_1 - x_2^{(0)} = 0.92 - 1.00 = -0.08$$

$$e_2^{(0)} = z_2 - x_3^{(0)} = 1.02 - 1.00 = 0.02$$

$$e_3^{(0)} = z_3 - [(25/6)x_3^{(0)2} - 4x_3^{(0)}x_2^{(0)}\cos x_1^{(0)}] = 0.605 - (1/6) = 0.4383$$

$$e_4^{(0)} = z_4 - (-4x_3^{(0)}x_2^{(0)}\sin x_1^{(0)}) = 0.598 - (0.0) = 0.5980$$

$$e_5^{(0)} = z_5 - (4x_2^{(0)2} - 4x_3^{(0)}x_2^{(0)}\cos x_1^{(0)}) = 0.305 - (0.0) = 0.3050$$

Benzer olarak , jakobiyen matrisin sayısal formu şu şekilde olur ,

$$H_x^{(0)} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -4 & 13/3 \\ -4 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & -4 \end{bmatrix}$$

“Kazanç matrisi” (Gain Matrix) $G_x^{(0)} = H_x^{(0)T} R^{-1} H_x^{(0)}$ aşağıdaki gibi bulunur ,

$$G_x^{(0)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -4 & 0 \\ 1 & 0 & -4 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 13/3 & 0 & -4 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{1}{(0.01)^2} & . & . & . & . \\ . & \frac{1}{(0.01)^2} & . & . & . \\ . & . & \frac{1}{(0.02)^2} & . & . \\ . & . & . & \frac{1}{(0.015)^2} & . \\ . & . & . & . & \frac{1}{(0.02)^2} \end{bmatrix} H_x^{(0)}$$

$$\begin{aligned}
&= 10^4 * \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1.7778 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1.0833 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -4 & 13/3 \\ -4 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & -4 \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} 7.1111 & 0 & 0 \\ 0 & 9.0000 & -8.3333 \\ 0 & -8.3333 & 9.6944 \end{bmatrix} * 10^4
\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} x_1^{(1)} \\ x_2^{(1)} \\ x_3^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^{(0)} \\ x_2^{(0)} \\ x_3^{(0)} \end{bmatrix} G_x^{(0)-1} H_x^{(0)T} R^{-1} \begin{bmatrix} e_1^{(k)} \\ e_2^{(k)} \\ e_3^{(k)} \\ e_4^{(k)} \\ e_5^{(k)} \end{bmatrix}$$

Birinci iterasyon için Denklem(4.13)' ün sayısal şekli şu olur ,

$$\begin{aligned}
&= \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + G_x^{(0)-1} * 10^4 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1.7778 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1.0833 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0800 \\ 0.0200 \\ 0.4383 \\ 0.5980 \\ 0.3050 \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 7.111 & 0 & 0 \\ 0 & 9.000 & -8.3333 \\ 0 & -8.3333 & 9.6944 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -1.0631 \\ -0.2133 \\ 0.1898 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.1495 \\ 0.9727 \\ 0.9961 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Durum değişkenlerinin bu değerleri ikinci iterasyon için giriş verileri görevi yaparlar ve hesaplamalar kovaryansa varılana dek devam edilir. x_i ' lerin yakınsayan değerleri seçilir. Bu aynı x_i^{est} durum değişkenlerinin tahmin edilmesi gibi yapılırsa ,

$$x_1^{est} = \delta_2 = -0.1762 \text{ rad} = -10.0955^\circ$$

$$x_2^{est} = |V_2| = 0.9578 \text{ pu}$$

$$x_3^{est} = |V_1| = 0.9843 \text{ pu}$$

per-unit değerlerdeki ölçme hatalarının uygun tahminleri ,

$$e_1^{est} = z_1 - x_2^{est} = 0.92 - 0.9578 = -0.0378$$

$$e_2^{est} = z_2 - x_3^{est} = 1.02 - 0.9843 = 0.0357$$

$$e_3^{est} = z_3 - [(25/6)(x_3^{est})^2 - 4x_3^{est}x_2^{est}\cos x_1^{est}] = 0.605 - 0.3240 = 0.2810$$

$$e_4^{est} = z_4 - (-4x_3^{est}x_2^{est}\sin x_1^{est}) = 0.598 - (0.6610) = -0.0630$$

$$e_5^{est} = z_5 - [4(x_2^{est})^2 - 4x_3^{est}x_2^{est}\cos x_1^{est}] = 0.305 - (-0.0430) = 0.3480$$

ve bu hataların karelerinin ağırlıklı toplamı ,

$$f^{est} = \sum_{j=1}^5 \left(\frac{e_j^{est}}{\sigma_j} \right)^2 = \frac{(-0.0378)^2}{(0.01)^2} + \frac{(0.0357)^2}{(0.01)^2} + \frac{(0.2810)^2}{(0.02)^2} + \frac{(-0.0630)^2}{(0.015)^2} + \frac{(0.3480)^2}{(0.02)^2} = 545$$

Eğer f^{est} ki-kare dağılımında ise , beş ölçüm varolduğu için ve üç durum değişkeni tahmin edildiği için , bağımsızlık derecesi “k” için ($\alpha=0.01$) $f^{est} \leq \chi^2_{k,\alpha}$ şartı yeterli olmalıdır.

Tablo 3.3' den $k = 2$ ve $\alpha = 0.01$ için , $\chi^2_{2,0.01} = 9.21$ buluruz ve görüleceği gibi hesaplanan f^{est} değeri aşırıdır. Bu kötü verilerin var olduğunu bize bildirmektedir. sonuç olarak hesaplanan durum değişkenleri değerlerini doğru olarak uygulayamayız. Eğer sadece bir tane kötü ölçüm varsa , onu belirtmek için **Bölüm 3'** deki işlem sırasını takip ederiz. Fakat iki veya daha fazla sayıda kötü veri varsa , prosedürümüz $N_m - N_s = 5 - 3 = 2'$ den dolayı işlemez ve fazlalık iki veya daha çok ölçüm atıldığında kaybolur. Hesaplamalar belirleme işlem sırası altında **Örnek 4.3'** dekinden elde edilir.

Örnek 4.3 :

Örnek 4.2' nin ölçüm grubundaki kötü verileri belirleyelim. Hatalı verileri ortadan kaldıralım ve eğer yeteri miktarda iyi ölçüm kalmış ise sistemin yeni durumunu hesaplayalım.

Çözüm :

Kötü verileri belirlemek için verilen ölçüm grubundaki fazlalıkları hesaplayalım.

Bunu yapmak için ilk önce ardarda gelen aşağıdaki hesaplamalarda **Örnek 4.2'** nin tahminlerini kullanarak $R' = R - H_x G_x^{-1} H_x^T = (I - H_x G_x^{-1} H_x^T R^{-1}) R$ kovaryans matrisinin diyagonal elemanlarını belirleriz.

$$H_x = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 4x_3^{est} x_2^{est} \sin x_1^{est} & -4x_3^{est} \cos x_1^{est} & \frac{25}{3} x_3^{est} - 4x_2^{est} \cos x_1^{est} \\ -4x_3^{est} x_2^{est} \cos x_1^{est} & 4x_3^{est} \sin x_1^{est} & -4x_2^{est} \sin x_1^{est} \\ 4x_3^{est} x_2^{est} \sin x_1^{est} & 8x_2^{est} - 4x_3^{est} \cos x_1^{est} & -4x_2^{est} \cos x_1^{est} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -0.6610 & -3.8761 & 4.4303 \\ -3.7125 & 0.6901 & 0.6716 \\ -0.6610 & 3.7863 & -3.7719 \end{bmatrix}$$

Örnek 4.2' nin R^{-1} ' ne göre kazanç sayısal elemanlarına uygun olarak ,

$$G_x = H_x^T R^{-1} H_x = \begin{bmatrix} 6.3442 & -1.1239 & -1.2169 \\ -1.1239 & 8.5518 & -7.6575 \\ -1.2169 & -7.6575 & 9.6641 \end{bmatrix} * 10^4$$

olur ve aşağıdaki matrisin diyagonal elemanlarını şimdi belirleyebiliriz.

$$H_x G_x^{-1} H_x^T R^{-1} = \begin{bmatrix} 0.5618 & . & . & . & . \\ . & 0.4976 & . & . & . \\ . & . & 0.5307 & . & . \\ . & . & . & 0.9656 & . \\ . & . & . & . & 0.4443 \end{bmatrix}$$

Bunun anlamı $N_m = 3$ için toplamdır. R^1 kovaryans matrisindeki diyagonal girişleri aşağıdaki gibi hazır olarak hesaplanır.

$$R^1 = (I - H_x G_x^{-1} H_x^T R^{-1}) R$$

$$= \begin{bmatrix} 0.4382 & . & . & . & . \\ . & 0.5024 & . & . & . \\ . & . & 0.4693 & . & . \\ . & . & . & 0.0344 & . \\ . & . & . & . & 0.5557 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.01^2 & . & . & . & . \\ . & 0.01^2 & . & . & . \\ . & . & 0.02^2 & . & . \\ . & . & . & 0.015^2 & . \\ . & . & . & . & 0.02^2 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.4382 & . & . & . & . \\ . & 0.5024 & . & . & . \\ . & . & 1.8772 & . & . \\ . & . & . & 0.0773 & . \\ . & . & . & . & 2.2229 \end{bmatrix} * 10^{-4}$$

Örnek 4.2' de hesaplanan e_j^{est} 'e uygun olarak standardize edilen hatalar ,

$$\frac{e_1^{est}}{\sqrt{R^1_{11}}} = \frac{-0.0378}{\sqrt{0.4382 * 10^{-4}}} = -5.7106$$

$$\frac{e_2^{est}}{\sqrt{R^1_{22}}} = \frac{0.0357}{\sqrt{0.5024 * 10^{-4}}} = 5.0419$$

$$\frac{e_3^{est}}{\sqrt{R_{33}^1}} = \frac{0.2810}{\sqrt{1.8772 * 10^{-4}}} = 20.5079$$

$$\frac{e_4^{est}}{\sqrt{R_{44}^1}} = \frac{-0.0630}{\sqrt{0.0773 * 10^{-4}}} = -22.6559$$

$$\frac{e_5^{est}}{\sqrt{R_{55}^1}} = \frac{0.3480}{\sqrt{2.2229 * 10^{-4}}} = 23.3403$$

Ayrıca söyleyebiliriz ki satandardize edilen büyük hatalar z_3 , z_4 ve z_5 ölçümleri ile ilişkilidir. Fazlalığı sağlamak için sadece bir ölçüm atılmıştır ki bunu en büyük standardize etme hatasına uygun olarak “ z_5 ” seçeriz. Asıl ölçüm grubundaki z_1 , z_2 , z_3 ve z_4 ve başlangıç değerleri $x_1^{(0)} = 0$, $x_2^{(0)} = x_3^{(0)} = 1.0$ per-unit’ den tekrar durum tahminci hesaplamalarını aşağıdaki gibi yaparız ;

$$x_1^{est} = \delta_2 = -0.1600 \text{ rad} = -9.1673^\circ$$

$$x_2^{est} = |V_2| = 0.9223 \text{ per-unit}$$

$$x_3^{est} = |V_1| = 1.0174 \text{ per-unit}$$

jakobiyen H_x matrisi ve kazanç matrisi G_x ’ e göre aşağıdaki sayısal değerleri inceleyip doğruluğunu görebiliriz ,

$$H_x = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -0.5978 & -4.0175 & 4.8358 \\ -3.7053 & 0.6482 & 0.5876 \end{bmatrix}$$

$$G_x = \begin{bmatrix} 6.1913 & -0.4670 & -1.6904 \\ -0.4670 & 5.2217 & -4.6877 \\ -1.6904 & -4.6877 & 6.9998 \end{bmatrix} * 10^{-4}$$

ölçüm hatalarının yeni tahminleri aşağıdaki gibi olur ;

$$e_1^{est} = z_1 - x_2^{est} = 0.92 - 0.9223 = -0.0023$$

$$e_2^{est} = z_2 - x_3^{est} = 1.02 - 1.0174 = 0.0026$$

$$e_3^{est} = z_3 - [(25/6)(x_3^{est})^2 - 4x_3^{est}x_2^{est}\cos x_1^{est}] = 0.605 - 0.6072 = -0.0022$$

$$e_4^{est} = z_4 - (-4x_3^{est}x_2^{est}\sin x_1^{est}) = 0.509 - 0.5978 = 0.0002$$

Karelerin ağırlıklı toplamı (bağımsızlık derecesi bir olmak üzere) ,

$$f^{est} = (-0.0023/0.01)^2 + (0.0026/0.01)^2 + (-0.0022/0.02)^2 + (0.0002/0.015)^2 = 0.1355$$

miktarına kadar varır. Bunun **Tablo 3.3'** deki $\chi^2_{1,0.01} = 6.64$ ' den daha düşük olduğu açıktır. Sonuç olarak x_1 , x_2 ve x_3 tahminleri durum değişkenlerinin makul değerleri olarak %99 güvenle kabul edilebilirler. Biz orjinal ölçüm grubunda sadece kötü veriler noktası olarak " z_5 " ' in olduğu sonucuna vardık.

Kötü veriler bir çok durumdan dolayı oluşabilir. Bunun nedeni ölçü aletlerinin uygun bağlanmamasıdır. Mesela ölçü aletlerinin ters bağlanması gibi. Bundan dolayı pozitif değeri negatif değer olarak okuyabilir. Mesela **Örnek 4.2'** deki orjinal veriler grubundaki $z_5=0.305$ pu olarak verilmiştir. Eğer z_5 değerini orjinal veri grubunda -0.305 pu olarak değiştirseydik ve bu beş ölçümün hepsini kullanarak durum tahmini yapsaydık aşağıdaki değerleri elde ederdik ,

$$x_1^{est} = \delta_2 = -0.1599 \text{ rad} = -9.1616^\circ$$

$$x_2^{est} = |V_2| = 0.9222 \text{ pu}$$

$$x_3^{est} = |V_1| = 1.0175 \text{ pu}$$

Bunlar $f^{est} = 0.1421$ kareler toplamına göre kabul edilebilirler. Bu nedenle durum tahmini , uygun fonksiyonları olan ölçü aletleri sisteme ters bağlandığında bu durum ortaya çıkar (*Stevenson,D.W.,chapter.15,Mc Graw-Hill 1994*).

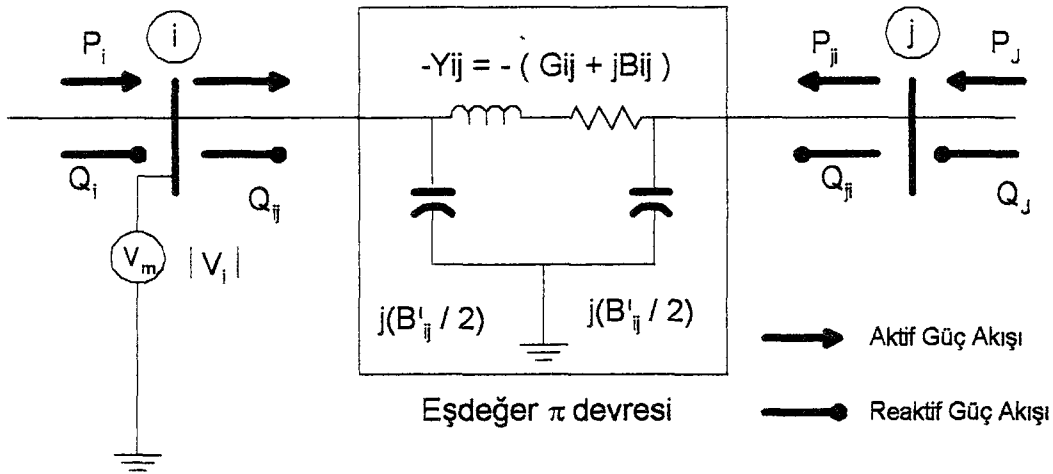
4.7 H_x MATRİSİNİN YAPISI VE ŞEKLİ

Sistemin farklı alt istasyonlarındaki (dağıtım postaları-substations) gerilimlerin açıları ekonomik olarak ölçülemez fakat gerilimler her zaman efektif değer olarak ekranlar aktarılabilir (monitoring). Sırasıyla gerilimleri ve açıları tahmin etmek için , N baralı sistemdeki baralardan birini referans bara seçmeliyiz. Bu bara seçimi Denklem (4.13) ile hesaplamak için N-1 açı ve N büyüklüğü ayırır. Bundan sonra durum tahmini jakobiyen matrisi H_x , basit Newton-Raphson güç akışı jakobiyen matrisi J' ye benzemez. Daima $(2N-1)$ kolon ve daha fazla sayıda N_m satır sayısına sahiptir. Bu durum Denklem(4.12)' de gösteriliyor.

H_x ' in her bir satırı ölçülen niceliklerin sadece biri için *Şekil 4.4'* deki iletim hattı eşdeğer devresinde gösterilir ,

- * $|V_i|$, tipik (i) barasındaki gerilim değeri ,
- * P_i , (i) barasında şebekeye verilen (injection) aktif güç ,
- * Q_i , (i) barasında şebekeye verilen (injection) reaktif güç ,
- * P_{ij} , (i) barasındaki güç akışı veya , (i) ve (j) baralarını birbirine bağlayan hatta (j) barasındaki P_{ji} aktif hat güç akışı
- * Q_{ij} , (i) barasındaki güç akışı veya , (i) ve (j) baralarını birbirine bağlayan hatta (j) barasındaki Q_{ji} hat reaktif güç akışı

Her ne kadar hat-şarj kapasitesi *Şekil 4.4'* de gösterilsede , hat-şarj megavarları ayrı ayrı ölçülemez. Çünkü bunlar hat boyunca simetrik olarak dağılmışlardır ve Q_{ij} ve Q_{ji} ölçümlerinin bir bölümüne etki ederler.



Şekil 4.4 : (i) ve (j) baraları arasındaki iletim hattının bir faz (tek-hat) tasfiri. Ölçülebilen injeksiyonlar, gerilim değerleri ve hat akışları gösteriliyor. Süseptans B'_{ij} ve Y_{ij} ile gösterilen hat kapasitesi hattın seri admitansının negatifine eşdeğer Y_{bara} 'nın elemanlarıdır. Basitlik olması açısından, diğer paralel bağlı reaktörler (endüktif reaktanslar) veya kapasitörler (kapasitif reaktanslar) gösterilmemişlerdir. Fakat bundan anlaşılmalıdır ki bu (i) barası ile nötr arası mecburi bağlantılardaki P ve Q ölçülebilir ve P_i ve Q_i şebeke injeksiyonları gibi alınabilir. Bu **Örnek 4.1'** de tanıtılıyor ve burada Q_i injeksiyonu bara (1) ile nötr arasındaki reaktif güç akışını içerir.

Eğer $|V_i|$, P_i ve Q_i her barada ölçülürse ve P_{ij} , P_{ji} , Q_{ij} ve Q_{ji} akışları her hat için ölçülürse, ölçüm grubu doldurulur ve $H_x N_m = (3N+4B)'$ nin toplamı satırdan oluşur. Burda B şebeke dallarının veya hatlarının sayısıdır. H_x' deki satırların kolonlara oranı (bunlar ölçümlerin durum değişkenlerine oranıdır) "fazlalık faktörü" (redundancy factor) olarak adlandırılır ve $(3N+4B)/(2N-1)'$ e eşdeğerdir veya takriben tam olarak ekranlara akatarılan bir güç sisteminde ortalama her baranın 1.5 dalında 4.5 olur :

Bu, $B/N = 1.5$ ilede açıklanabilir.

Pratikte fazlalık faktörü biraz daha küçük olabilir. Çünkü ölçüm grubu $2N-1'$ den arta kalan durum değişkenlerinin tamamından daha az olabilir. Durum değişkenlerinin sayısı, ölçümlerin sayısına eşit olduğunda "fazlalık" yoktur, H_x kareseldir ve katsayı matrisi H_x' in tersi alınsa bile Denklem (4.13) $(H_x^T R^{-1} H_x)^{-1} H_x^T R^{-1}$, H_x^{-1} ' e düşürülür. Bu

durumda ağırlıklandırma matrisi R^{-1} etkisizdir. Bütün satır ölçümleri doğrudan kullanılmalıdır (hatalı olsa bile) ve eğer herhangi bir ölçüm eksikse veya kaybedilmişse sistem çözülemez. Bu nedenle , sistemin stratejik noktalarından alınan ölçümlerin gereğinden fazla uygun miktarı tamamiyle anlaşılır uygun bir durum tahmini sağlamak içindir ve bu durum tahminideki jakobiyen rektangular matris ile yapılır. Ölçümlerin tam bir grubu (tamamı) numaralandırılır çünkü bunların aynı tipleri birlikte gruplandırılırlar. Ölçüm vektörü Denklem (4.16)'daki şekli alır ve uygun jakobiyen matrisi H_x **Tablo 4.1'** de gösterilen sembolik blok şeklini alır.

$$z = \begin{bmatrix} z_1 \\ \vdots \\ z_N \\ z_{N+1} \\ \vdots \\ z_{2N} \\ z_{2N+1} \\ \vdots \\ z_{3N} \\ z_{3N+1} \\ \vdots \\ z_{3N+B} \\ z_{3N+B+1} \\ \vdots \\ z_{3N+2B} \\ z_{3N+2B+1} \\ \vdots \\ z_{3N+3B} \\ z_{3N+3B+1} \\ \vdots \\ z_{3N+4B} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |V_1| \\ \vdots \\ |V_N| \\ P_1 \\ \vdots \\ P_N \\ Q_1 \\ \vdots \\ Q_N \\ \vdots \\ P_{ij} \\ \vdots \\ P_{ji} \\ \vdots \\ Q_{ij} \\ \vdots \\ Q_{ji} \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

N tane $|V_i|$ bara gerilimi

N tane P_i üretim (injeksiyon)

N tane Q_i üretimi

B tane P_{ij} hat akışı

B tane P_{ji} hat akışı

B tane Q_{ij} hat akışı

B tane Q_{ji} hat akışı

H_x P_1 ve Q_1 için bir satıra ve $|V_1|$ e uygun bir kolona sahiptir. Fakat δ_1 için bu durum yoktur. Bunun nedeni , durum tahmini hesaplamalarında bir referans açısı baraların bir tanesinde özel olarak seçilmelidir ki bu bizim tarafımızdan bara (1) olarak seçildi. Bu durum **Örnek 4.1'** dekine benzerdir. Gerilim değeri $|V_1|$ özelliendirilmelidir , bunun anlamı bara (1) güç akışı problemindeki (slack bus) referans baradan farklıdır. **Tablo 4.1'** deki blok-1' deki sıfır elemanların nedeni $|V_i|$ ölçümü açıkça δ_j 'ye bağlı değildir ve bu nedenle $\partial |V_i| / \partial \delta_j$ bütün i ve j değerleri için sıfıra eşdeğer olmasıdır. Tam bir ölçüm grubu için dahi blok-2' nin diyagonal elemanları birdir çünkü i, j 'ye eşit olduğunda $\partial |V_i| / \partial |V_j| = 1$ olur ve diğer durumlarda sıfırdır.

(i) barasından sisteme verilen aktif güç aşağıdaki gibidir ,

$$P_i = |V_i|^2 G_{ii} + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |V_i V_n Y_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (4.17)$$

ve (i) barasına verilen reaktif güç şu şekilde ifade edilir ,

$$Q_i = - \left\{ |V_i|^2 B_{ii} + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |V_i V_n Y_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \right\} \quad (4.18)$$

üretim (injeksiyon) P_i , sistemin (i) barasından diğer baralara bütün güç akışlarını içerir. Bu nedenle her bir (i)-(j) hattı için bara (i)' den (j)' ye aktif güç akışı P_{ij} şu şekilde olur ,

$$P_{ij} = -|V_i|^2 G_{ij} + |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (4.19)$$

İlk terim $-|V_i|^2 G_{ij}$ gereklidir. Çünkü (i)-(j) hattı Denklem (4.17)' nin G_{ij} self-kondüktansının hesaplanması için $-G_{ij}$ kondüktans serilerine katkıda bulunur. Benzer

olarak (i)-(j) hatlarındaki (i) barası ile (j) barası arasındaki reaktif güç akışı Denklem (4.18)' den aşağıdaki gibi yazılabilir ;

$$Q_{ij} = - \left\{ |V_i|^2 \left(\frac{B'_{ij}}{2} - B_{ij} \right) + \|V_i V_j Y_{ij}\| \sin(\theta_{ij} + \delta_{ij} - \delta_i) \right\} \quad (4.20)$$

burada $B'_{ij}/2$ hat-yük süseptansı ve $-B_{ij}$, B_{ii} self-süseptansı için (i)-(j) hattı vasıtasıyla süseptans serilerini verir. P_{ji} ve Q_{ji} için ifadeler , bütün gerilim değerlerindeki ve açılardaki “i” ve “j” alt indisleri değiştirilerek kolayca Denklem (4.19) ve (4.20)' den elde edilir.

Tablo 4.1 : H_x durum tahmini jakobiyen matrisinin blok formundaki tipik elemanları

$\delta_2 \quad \delta_3 \quad \dots \quad \delta_N \quad V_1 \quad V_2 \quad \dots \quad V_N $													
$\begin{matrix} 0 & & & & & & \\ & 0 & & & & & \\ & & \ddots & & & & \\ & & & 0 & & & \\ & & & & 1 & & \\ & & & & & 1 & \\ & & & & & & \ddots \end{matrix}$							$\begin{matrix} 1 & & & & & & \\ & 1 & & & & & \\ & & \ddots & & & & \\ & & & 1 & & & \\ & & & & 1 & & \\ & & & & & 1 & \\ & & & & & & \ddots \end{matrix}$						
$\begin{matrix} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_N} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_N}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_N}{\partial \delta_N} \end{matrix}$							$\begin{matrix} \frac{\partial P_1}{\partial V_1 } & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial V_N } \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_N}{\partial V_1 } & \dots & \frac{\partial P_N}{\partial V_N } \end{matrix}$						
$\begin{matrix} \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_N} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_N}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_N}{\partial \delta_N} \end{matrix}$							$\begin{matrix} \frac{\partial Q_1}{\partial V_1 } & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial V_N } \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_N}{\partial V_1 } & \dots & \frac{\partial Q_N}{\partial V_N } \end{matrix}$						
$\begin{matrix} \vdots & & \vdots \\ \dots & \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_j} & \dots \\ \vdots & & \vdots \end{matrix}$							$\begin{matrix} \vdots & & \vdots \\ \dots & \frac{\partial P_{ij}}{\partial V_i } & \dots & \frac{\partial P_{ij}}{\partial V_j } & \dots \\ \vdots & & \vdots \end{matrix}$						
$\begin{matrix} \vdots & & \vdots \\ \dots & \frac{\partial P_{ji}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial P_{ji}}{\partial \delta_j} & \dots \\ \vdots & & \vdots \end{matrix}$							$\begin{matrix} \vdots & & \vdots \\ \dots & \frac{\partial P_{ji}}{\partial V_i } & \dots & \frac{\partial P_{ji}}{\partial V_j } & \dots \\ \vdots & & \vdots \end{matrix}$						
$\begin{matrix} \vdots & & \vdots \\ \dots & \frac{\partial Q_{ij}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial Q_{ij}}{\partial \delta_j} & \dots \\ \vdots & & \vdots \end{matrix}$							$\begin{matrix} \vdots & & \vdots \\ \dots & \frac{\partial Q_{ij}}{\partial V_i } & \dots & \frac{\partial Q_{ij}}{\partial V_j } & \dots \\ \vdots & & \vdots \end{matrix}$						
$\begin{matrix} \vdots & & \vdots \\ \dots & \frac{\partial Q_{ji}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial Q_{ji}}{\partial \delta_j} & \dots \\ \vdots & & \vdots \end{matrix}$							$\begin{matrix} \vdots & & \vdots \\ \dots & \frac{\partial Q_{ji}}{\partial V_i } & \dots & \frac{\partial Q_{ji}}{\partial V_j } & \dots \\ \vdots & & \vdots \end{matrix}$						
$N - 1$							N						

$H_x =$

N tane $|V_i|$ bara gerilimi

N tane P_i üretim (injeksiyon)

N tane Q_i üretimi

B tane P_{ij} hat akışı

B tane P_{ji} hat akışı

B tane Q_{ij} hat akışı

B tane Q_{ji} hat akışı

Tablo 4.2 : H_x durum tahmini jakobiyen matrisinin elemanaları için formüller

$\frac{\partial V_i }{\partial \delta_j} = 0$ tüm i ve j ' ler için	$\frac{\partial V_i }{\partial V_j } = 0$ ($i \neq j$) ; $\frac{\partial V_i }{\partial V_i } = 1$
1	2
$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = - V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$ $\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N V_i V_n Y_{in} \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i)$	$\frac{\partial P_i}{\partial V_j } = V_i Y_{ij} \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$ $\frac{\partial P_i}{\partial V_i } = 2 V_i G_{ii} + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N V_n Y_{in} \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i)$
3	4
$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = - V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$ $\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N V_i V_n Y_{in} \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i)$	$\frac{\partial Q_i}{\partial V_j } = - V_i Y_{ij} \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$ $\frac{\partial Q_i}{\partial V_i } = -2 V_i B_{ii} - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N V_n Y_{in} \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i)$
5	6
$\frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_j} = - V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$ $\frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_i} = V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$	$\frac{\partial P_{ij}}{\partial V_j } = V_i Y_{ij} \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$ $\frac{\partial P_{ij}}{\partial V_i } = 2 V_i G_{ij} + V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$
7	8
$\frac{\partial P_{ji}}{\partial \delta_j} = V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)$ $\frac{\partial P_{ji}}{\partial \delta_i} = - V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)$	$\frac{\partial P_{ji}}{\partial V_j } = 2 V_j G_{ij} + V_i Y_{ij} \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)$ $\frac{\partial P_{ji}}{\partial V_i } = V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)$
9	10
$\frac{\partial Q_{ij}}{\partial \delta_j} = - V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$ $\frac{\partial Q_{ij}}{\partial \delta_i} = V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$	$\frac{\partial Q_{ij}}{\partial V_j } = - V_i Y_{ij} \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$ $\frac{\partial Q_{ij}}{\partial V_i } = -2 V_i \left(\frac{B^1_{ij}}{2} + B_{ij} \right) - V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$
11	12
$\frac{\partial Q_{ji}}{\partial \delta_j} = V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)$ $\frac{\partial Q_{ji}}{\partial \delta_i} = - V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)$	$\frac{\partial Q_{ji}}{\partial V_j } = -2 V_j \left(\frac{B^1_{ij}}{2} + B_{ij} \right) - V_i Y_{ij} \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)$ $\frac{\partial Q_{ji}}{\partial V_i } = - V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j)$
13	14

P_i , Q_i , P_{ij} ve Q_{ij} için denklemlerinin δ_2 , ... , δ_N ve $|V_1|$, ... , $|V_N|$ durum değişkenlerine bağlı olarak difransiyelini almak yoluyla , **Tablo 4.2'** de gösterildiği gibi H_x ' in geri kalan elemanları için ifadeleri elde ederiz.

Tablo 4.2' deki denklemler H_x jakobiyenindeki sıfır ve sıfır olmayan elemanların modelini belirtir. Bunlar **Tablo 4.1'** de gösterilmiştir. Şu ana kadar H_x ' deki tam ölçüm grubu işaretlendi veya gösterildi ki ;

* Blok-1' in her bir elemanı sıfırdır ,

* Blok-2' nin her bir ters diyagonal elemanı 1' dir.

Şimdi blok-3,4,5 ve 6' daki sıfır ve sıfır olmayan elemanların modelini deneyelim. Bunlar baralara verilen aktif ve reaktif güçlerin türevlerini içine alır. Ölçüm grubu tam olduğu zaman , blok-4 ve 6 kareseldir ($N*N$) ve bir çarpım faktörü gibi $|Y_{ij}|$ ile birlikte ters diyagonal elemanlara sahiptirler. Bu nedenle , eğer tüm P_i ve Q_i ölçümleri kendi numaralarına göre numaralandırılırsa şunları bulabiliriz ;

* Blok-4 ve 6 sistem Y_{BARA} ' sı gibi tamamen aynı sıfır ve sıfır olmayan model takip eder. Bunun nedeni bu bloklardaki (i, j) ve (j, i) (sıra , kolon) adresleri sıfır olmayan girişlere sahipse Y_{ij} sıfır değildir. Bundan dolayı H_x ' de δ_i için hiçbir kolon yoktur. Ayrıca şunu söyleyebiliriz ki ,

* Blok-3 ve 5 , Y_{BARA} ilk kolonu ihmal edilirse onunla aynı sıfır ve sıfır olmayan modele sahiptir.

Tekrar tam bir ölçüm grubu varsayımıyla 7' den 14' e kadar olan blokları deneyelim. Bu bloklar P ve Q hat akışlarını ihtiva eder. Eğer $\{P_{ij}\}$, $\{P_{ji}\}$, $\{Q_{ij}\}$ ve $\{Q_{ji}\}$ alt gruplarının herbirindeki B (hat) ölçümleri şebeke dalları gibi tam olarak aynı sırada numaralandırılırsa ;

* Blok-8,10,12 ve 14 şebeke dalından baraya sonuç matrisi A gibi tam olarak aynı sıfır ve sıfır olamayan yapıya sahiptir. Bunun nedeni her bir hat akışı kendisinin iki terminal barasına gelir.

* Blok-7,9,11 ve 13 A' nın birinci kolunu ihmal edilirse , A ile aynı sıfır ve sıfır olmayan yapıya sahiptir.

Ölçüm grubu tam olmadığında eksik ölçümlere uygun düşen satırlar basitçe H_x tam jakobiyeninden silinir.

Bu elde edilenler basit bir tarzda tam jakobiyen matris H_x ' in yapısını verir. Çünkü H_x bir çok sıfıra sahiptir , kazanç matrisi $G_x = H_x^T R^{-1} H_x$ dahi bir çok sıfıra sahiptir ve daha ileriki konular ve kurallarda hesaplama verimini veya etkinliğini artırmak için G_x ' in sıfır olmayan elemanlarının (adreslerini) yerlerini ortaya çıkarmak için çeşitli yollar geliştirilebilir.

Gelecek örnekte partiküler (özel) bir durum için H_x ' in şeklini ve yapısını tanıtacağız. Burada sadece hat akışları ve bir tane bara-gerilim modülü ölçülüyor. En az bir gerilim ölçümünde daima sistemin gerilim seviyesini tesis etmeye ihtiyaç vardır.

Örnek 4.4 :

Şekil 4.5' deki sistemde P_{ij} ve Q_{ij} ölçümleri her bir hattın sonunda yapılır ve $|V_3|$ gerilim değeri de ölçülür. H_x ' in yapısını tanımlayalım , onun sıfır elemanlarının formunda kısmi türevleri yazalım ve doğru şekilde bunlardan herhangi dördünü ifade edelim.

Çözüm :

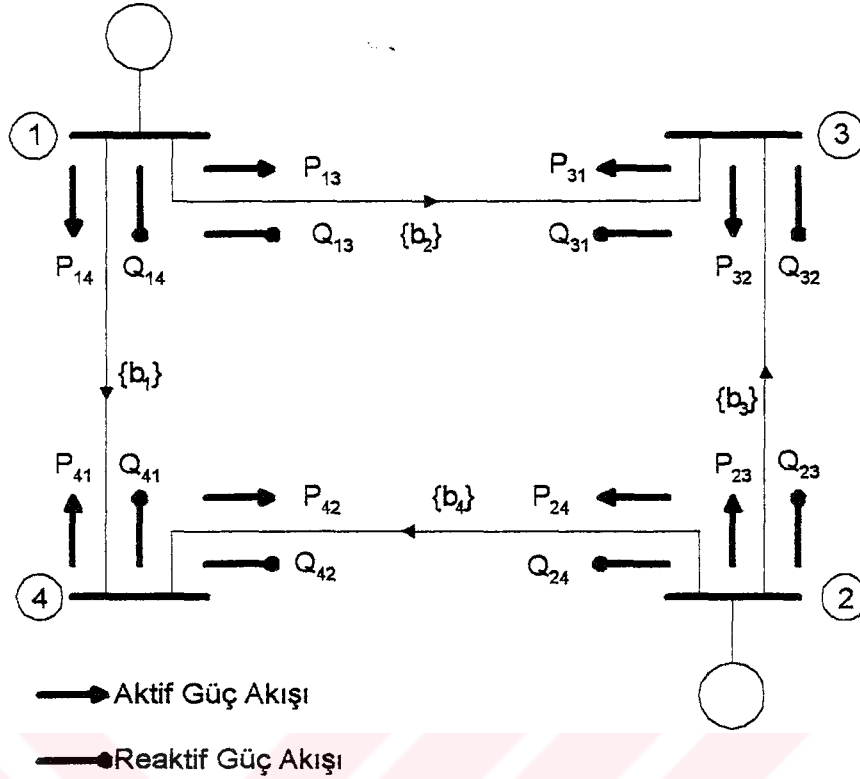
Şekil 4.5 N=4 bara ve B=4 dal (kol)' a sahiptir. $\delta_1 = 0^\circ$ referans açısı olarak seçilir. $\delta_2, \delta_3, \delta_4, |V_1|, |V_2|, |V_3|$ ve $|V_4|$ 7 durum değişkeni ($N_s = 2N - 1$) durum değişkeni

17(4B+1) ölçümden tahmin edilmek üzere durum değişkeni olarak seçilir. Çünkü $|V_3|$ sadece gerilim ölçümüdür ve ne P_i ve ne de Q_i ölçülemez, H_x genel durum tahmini jakobiyenin 1' den 6' ya kadar olan bloklardaki $\partial|V_3|/\partial|V_3|=1$ ' e göre sadece bir satıra sahiptir. b_1 ' den b_4 ' e kadar dalları işaretleyelim, Şekil 4.3' deki gibi ve sırasıyla hat-akış ölçümleri şu şekildedir :

b_1	: $P_{14} : P_{41} : Q_{14} : Q_{41}$
b_2	: $P_{13} : P_{31} : Q_{13} : Q_{31}$
b_3	: $P_{23} : P_{32} : Q_{23} : Q_{32}$
b_4	: $P_{24} : P_{42} : Q_{24} : Q_{42}$
Dallar	Ölçümler

Sonra daldan baraya şebeke için sonuç matrisi ,

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} (1) & (2) & (3) & (4) \end{matrix} \\ \begin{matrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$



Şekil 4.5 : Örnek 4.4 için tek hat diyagramı. P_{ij} ve Q_{ij} ölçümleri $\{b_1\}$ den $\{b_4\}$ ' e kadar olan hatlarda işaretlenmişlerdir.

Burada bu özel örnek için H_x ' in 7' den 14' e kadar olan bloklarının sıfır ve sıfır olmayan örneği gösteriliyor. Her bir durum değişkeni için bir kolon ile ve her bir ölçüm için bir satır ile , H_x şu şekilde alınabilir :

$H_x =$

δ_2	δ_3	δ_4	$ V_1 $	$ V_2 $	$ V_3 $	$ V_4 $
0	0	0	0	0	1	0
0	0	$\frac{\partial P_{14}}{\partial \delta_4}$	$\frac{\partial P_{14}}{\partial V_1 }$	0	0	$\frac{\partial P_{14}}{\partial V_4 }$
0	$\frac{\partial P_{13}}{\partial \delta_3}$	0	$\frac{\partial P_{13}}{\partial V_1 }$	0	$\frac{\partial P_{13}}{\partial V_3 }$	0
$\frac{\partial P_{23}}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial P_{23}}{\partial \delta_3}$	0	0	$\frac{\partial P_{23}}{\partial V_2 }$	$\frac{\partial P_{23}}{\partial V_3 }$	0
$\frac{\partial P_{24}}{\partial \delta_2}$	0	$\frac{\partial P_{24}}{\partial \delta_4}$	0	$\frac{\partial P_{24}}{\partial V_2 }$	0	$\frac{\partial P_{24}}{\partial V_4 }$
0	0	$\frac{\partial P_{41}}{\partial \delta_4}$	$\frac{\partial P_{41}}{\partial V_1 }$	0	0	$\frac{\partial P_{41}}{\partial V_4 }$
0	$\frac{\partial P_{31}}{\partial \delta_3}$	0	$\frac{\partial P_{31}}{\partial V_1 }$	0	$\frac{\partial P_{31}}{\partial V_3 }$	0
$\frac{\partial P_{32}}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial P_{32}}{\partial \delta_3}$	0	0	$\frac{\partial P_{32}}{\partial V_2 }$	$\frac{\partial P_{32}}{\partial V_3 }$	0
$\frac{\partial P_{42}}{\partial \delta_2}$	0	$\frac{\partial P_{42}}{\partial \delta_4}$	0	$\frac{\partial P_{42}}{\partial V_2 }$	0	$\frac{\partial P_{42}}{\partial V_4 }$
0	0	$\frac{\partial Q_{14}}{\partial \delta_4}$	$\frac{\partial Q_{14}}{\partial V_1 }$	0	0	$\frac{\partial Q_{14}}{\partial V_4 }$
0	$\frac{\partial Q_{13}}{\partial \delta_3}$	0	$\frac{\partial Q_{13}}{\partial V_1 }$	0	$\frac{\partial Q_{13}}{\partial V_3 }$	0
$\frac{\partial Q_{23}}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial Q_{23}}{\partial \delta_3}$	0	0	$\frac{\partial Q_{23}}{\partial V_2 }$	$\frac{\partial Q_{23}}{\partial V_3 }$	0
$\frac{\partial Q_{24}}{\partial \delta_2}$	0	$\frac{\partial Q_{24}}{\partial \delta_4}$	0	$\frac{\partial Q_{24}}{\partial V_2 }$	0	$\frac{\partial Q_{24}}{\partial V_4 }$
0	0	$\frac{\partial Q_{41}}{\partial \delta_4}$	$\frac{\partial Q_{41}}{\partial V_1 }$	0	0	$\frac{\partial Q_{41}}{\partial V_4 }$
0	$\frac{\partial Q_{31}}{\partial \delta_3}$	0	$\frac{\partial Q_{31}}{\partial V_1 }$	0	$\frac{\partial Q_{31}}{\partial V_3 }$	0
$\frac{\partial Q_{32}}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial Q_{32}}{\partial \delta_3}$	0	0	$\frac{\partial Q_{32}}{\partial V_2 }$	$\frac{\partial Q_{32}}{\partial V_3 }$	0
$\frac{\partial Q_{42}}{\partial \delta_2}$	0	$\frac{\partial Q_{42}}{\partial \delta_4}$	0	$\frac{\partial Q_{42}}{\partial V_2 }$	0	$\frac{\partial Q_{42}}{\partial V_4 }$

$\partial P_{23}/\partial \delta_3$, $\partial P_{23}/\partial |V_2|$, $\partial Q_{24}/\partial \delta_2$ ve $\partial Q_{24}/\partial |V_4|$ için ifadeler **Tablo 4.2** vasıtasıyla aşağıdaki gibi elde edilir ;

$$\begin{aligned}\frac{\partial P_{23}}{\partial \delta_3} &= \frac{\partial}{\partial \delta_3} \left[-|V_2|^2 G_{23} + |V_2 V_3 Y_{23}| \cos(\theta_{23} + \delta_3 - \delta_2) \right] \\ &= -|V_2 V_3 Y_{23}| \sin(\theta_{23} + \delta_3 - \delta_2) \\ \frac{\partial P_{23}}{\partial |V_2|} &= -2|V_2| G_{23} + |V_3 Y_{23}| \cos(\theta_{23} + \delta_3 - \delta_2) \\ \frac{\partial Q_{24}}{\partial \delta_2} &= \frac{\partial}{\partial \delta_2} \left[-|V_2|^2 \left(\frac{B_{24}^1}{2} - B_{24} \right) + |V_2 V_4 Y_{24}| \cos(\theta_{24} + \delta_4 - \delta_2) \right] \\ &= |V_2 V_4 Y_{24}| \cos(\theta_{24} + \delta_4 - \delta_2) \\ \frac{\partial Q_{24}}{\partial |V_4|} &= -|V_2 Y_{24}| \sin(\theta_{24} + \delta_4 - \delta_2)\end{aligned}$$

durum tahmini algoritması yalnızca hat akışı ölçümleri temeline dayandırılır ve ihtiyaç hissedilen bara-gerilim büyüklüğü literatürde tanımlanır ve daha ileri konular için (*Dopazo, J.F., October 1970*) isimli kaynağa müracaat edilebilir.

Çünkü H_x bir çok sıfıra sahiptir , kazanç matrisi $G_x = H_x^T R^{-1} H_x$ de aynı şekilde bir çok sıfırdan oluşur ve bu nedenle G_x in Denklem (4.11) vasıtasıyla açık bir şekilde tersi alınamaz (*Stevenson, D.W., chapter.15, Mc Graw-Hill 1994*).

5. BÖLÜM

GÜÇ SİSTEMİ DURUM TAHMİNİ KONUSUNDA İLERİ KONULAR

5.1 GÜÇ SİSTEMLERİNDE DURUM TAHMİNİ İÇİN ÖLÇME SİSTEMİ SEÇİMİ

Şu ana kadar güç sistemlerinde durum tahmini için elde edilen verilerin durum değişkenlerinden fazla olduğunu varsaydık. Ayrıca bunlar içinden kötü verileri yok etme yoluna gittik ve gördük ki elde edilen verilerin fazla olmasının yararı vardır. Bu fazla verileri elde ederken bazı önemli hususlar vardır. Ölçme sistemi seçimi başka bir tezin konusu olacak kadar geniş ve önemli bir konudur. Çünkü kontrol merkezleri için gerekli en güvenilir , en doğru ve en ekonomik veriyi elde etmenin yolunu bu konunun iyi araştırılmasına bağlıdır. Biz bu kısımda ölçme sistemi seçimi için gerekli bir kaç önemli kriterden bahsedeceğiz.

Ölçme sisteminin belirlenmesi açısından dört önemli konu vardır ;

- * Şebeke konfigürasyonunu belirleme ,
- * Güvenilirlik için fazlalık konusu ,
- * Parametre tahmini için fazlalık konusu ,
- * Tam doğruluk için fazlalık konusu.

5.1.1 ŞEBEKE KONFIGÜRASYONU (YAPISI)

Şebeke yapısı her bir tali istasyondaki (dağıtım postası) çeşitli kesici durumlarını ve bir kaç niceliği ekranlara aktarma yoluyla belirlenebilir. Koruma rölelerine ihtiyaçtan dolayı ve

bir tali istasyondaki değişik düzenlemelerden dolayı şebeke konfigürasyonu programı biraz karmaşıktır. En ciddi zorluk bir tali istasyon mini bilgisayar veya mikroişlemci sistemi vasıtasıyla tali istasyonlardaki tek hat diyagramı durumlarını şekillendirmek veya konfigüre etmektir. Bu kontrol merkezleri için mütemadiyen bütün durum niceliklerini (değişkenlerini) uzaktan ölçme gereksinimi azaltılabilir. Ancak denetleyici kontrolu ihtiyacı , bir anahtarlama işlemi için bütün tali istasyonlardaki durum nicelikleri (değişkenleri)' nin uzaktan ölçülmesini gerektirir. Çünkü herhangi bir kesicinin veya güç anahtarının konum değiştirmesi sistemin durumunu tamamen değiştirecektir.

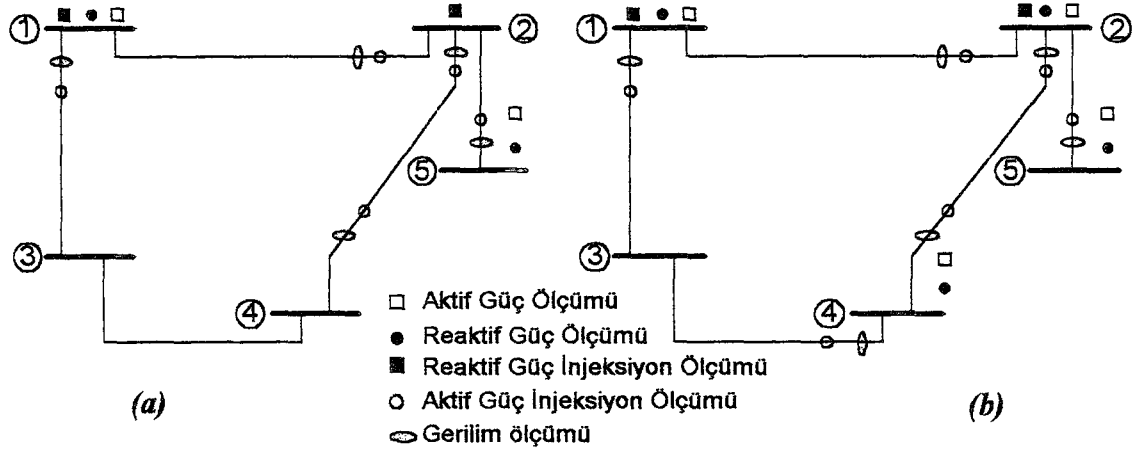
5.1.2 GÜVENİLİRLİK İÇİN FAZLALIK KONUSU

Her şebeke tali istasyonu SCADA (supervisory control and data acquisition-denetimsel kontrol ve veri kazanma) sistemi vasıtasıyla ekranlara aktarıldığında , bir sonraki verilecek karar hangi güç akışı , akım ve gerilimin uzaktan ölçülmesine ve görüntülenmesine ihtiyaç hissedileceğidir. Güvenilir bir bakış noktasından uygun niceliğin ölçülmesi vasıtasıyla fazlalığın (ve bundan dolayıda güvenilirliğin) maximum seviyesi elde edilir. Ancak bunu yapmanın maliyeti bir miktar yüksektir. Bundan dolayı güvenilirliği sağlamak amacıyla güvenilirlik konusunu yeterli ölçümleri uzaktan ölçme konusuna çevirmek uygundur :

- (a) Ölçme bilgisinin kayıplarının ölçümler arasına karışma olasılıklarının mümkün olması durumunda tüm sistem için durum tahmini yapma ,
- (b) Mevcut normal parametre hatalarındaki kötü verileri ortaya çıkarma kabiliyeti.

Yukardaki konuların her ikisinde aşağıdaki dizayn kuralları sayesinde makul karşılanabilir. Her bir güç akışı ve üretim (injeksiyon) ölçümü kararlılık analizi için temel S_i (MW ; MVA_r ; V ; A) seti için uygun olmalıdır. Bu kural kısmi fazlalığın minimum seviyesini temin edecektir ki bu durumda kötü veri tahmin analizi yapılabilir. *Şekil 5.1(a)*' da gösterilen ölçme sisteminde gerilim ölçümleri hariç her bir ölçüm için kararlılık testi

mümkündür. Sonuç olarak maliyet sorunundan dolayı uygun (optimum) ölçme sistemi sunmak önemlidir.



Şekil 5.1 : (a) Güvenilir ölçümler almak için bir ölçme sisteminin kuralları. (b) Parametre tahmini için ölçüm ekleme.

5.1.3 PARAMETRE TAHMİNİ İÇİN FAZLALIK

Parametre tahmini için gerekli olan tüm parametreler ölçme sistemi vasıtasıyla belirlenebilir (eğer belirli hatların veya transformatörlerin parametrelerinin doğruluğu uygun ise çünkü bu parametreleri tahmin etmeye ihtiyaç yoktur). Bu ihtiyaç doğrudan veya dolaylı ölçülen tüm hataları belirtir (injeksiyon ölçümleri vasıtasıyla). Daha ileri götürürsek , ihtiyacımız olan şey

$$N_m > N_s + 1$$

olur ki burada “1” parametrelerin sayısıdır. Bu parametreler ortaya çıkarılabilir. Parametrelerin ortaya çıkarılması için değişimler daha önce verilen sistemin çeşitli alanlardaki hali kullanılırsa geliştirilebilir. Bu , çeşitli anlarda sistem işletmesindeki geniş ölçüde olan değişimlerde alınmalıdır. **Şekil 5.1(a)**’daki örneğe geri dönersek 3-4 hatlarının ölçülemediğini görürüz. Bundan dolayı bu hattın parametreleri belirlenemezdirler. **Şekil 5.1**’deki bu durum daha fazla ölçüm eklenerek düzeltilebilir.

Farzedelim ki her hattaki sadece bir parametre tahmin ediliyor. Bundan sonra *Şekil 5.1(b)*’ den şu verileri elde ederiz ;

$N_m = 22$, $N_s = 9$, $l = 5$, bu $[(N_m=22) > (l + N_s)]$ olduğunu gösterir.

5.1.4 TAM DOĞRULUK İÇİN FAZLALIK

N baralı bir sistem $2N-1$ durum değişkeninden türeyen $2N$ güç akışı denklemine sahiptir. Şöyleki , $N-1$ “ θ ” açısı ve N sayıda $|V|$ gerilimi , $2N-1$ sayıdaki durum değişkenleri , $2N-1$ sayıdaki birincil ölçülen değişkenlerden hesaplanabilir , yani $N-1$ sayıda aktif güç üretim P_i ve N sayıda reaktif güç üretimi Q_i .

Uygulamada aktif ve reaktif hat güç akışı P_{ij} ve Q_{ij} gibi çok sayıda ikincil ölçülen değişken vardır. Bu ikincil nicelikler doğrudan durum değişkenlerinden elde edilebilir.

Yalnızca $2N-1$ değişken ölçüldüğünde , tahminci gerçek zaman güç akışı çözümünün önemini azaltır. Ancak kovaryans hesaplama hariç olmak üzere. $2N-1$ ’ den daha fazla ölçüm yapıldığında fazlalık konusu ölçüm gürültüsünün filtrelenmesine (süzülmesine veya düzeltilmesine) müsade eder ki bu tahmin hatalarını ve ortaya çıkacak uyuşmazlıkları azaltmak demektir. Bu uygulanan ölçümler ikincil nicelikler P_{ij} ve Q_{ij} içine alabilir. Eğer $2N-1$ ’ den daha az ölçüm yapılmışsa , bir matamatiksel çözüm yapmak mümkündür fakat bu bir çok şart altında mühendislik açısından anlamsız görülebilir. Çünkü haberalma merkezleri için uzaktan ölçülen ölçümlerin sayısı güç sistemlerinde $2N-1$ ’ den daha az olma ihtimali vardır , fazlalık yalancı ölçümler şekline sokulabilir..

Dizayn açısından bakılırsa çeşitli ölçü aletlerinin yerini ve doğruluğunu (çıkış değerlerinin belirli bir doğruluk seviyesi için) belirlemek gerekir. Bunu yapmanın bir yolu güvenilirlik ve parametre tahmini ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak , uygun bir ölçme sistemi

kullanılmasıyla modellemektir (simülasyon). Bu sonuçlar sistem işletmesi için ölçü aleteleri değerleri gibi analiz edilebilir.

Alternatif yol çeşitli çıkış nicelikleri arzulan bir doğruluk seviyesinde ve en az maliyetli sistem dizaynını göstermek bu konuyu başarıyla sonuçlandıracaktır. Bu kısımda , bu problem için alışılmışın dışında bir optimizasyon uygulayacağız. Şunu kabul etmeliyiz ki , bu konuda daha ileri bir çalışma ve araştırma gerekir.

İstenilen çıkışların vektörü olması için “ y “ çıkış vektörünü tanımlayalım. Normalde bu aktif ve reaktif güç akışları , bara gerilimleri , bara enjeksiyonlarından oluşur. “y“ vektörünü şu şekilde ifade edebiliriz ;

$$y=g(x) ; \dim(y)=g \quad (5.1)$$

İlk önce bütün mümkün hat akışı , enjeksiyon ve gerilim ölçmelerinden oluşan maximal bir ölçme sistemi varsayacağız. Böyle bir sistemi belirlemek için ,

$$w_i = \frac{1}{\sigma_i^2} \quad (5.2)$$

Kabul edelim ki ölçümlerin maliyeti “ z_i “ , “ w_i “ ile orantılıdır. Yani doğrulukla lineer bir şekilde artar. Buna göre ölçme sistemi maliyet fonksiyonu şu şekilde olur ;

$$c = \sum_{i=1}^{N_m} c_i w_i \quad (5.3)$$

y vektörünün kovaryans matrisi şu şekilde yazılırsa ,

$$L = \text{cov} (y) = G\Sigma G^T = G(H^TWH)^{-1}G^T$$

burada ,

$$H = \left. \frac{\partial h}{\partial \mathbf{x}} \right|_{\mathbf{x}^{est}}$$

$$G = \left. \frac{\partial g(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \right|_{est}$$

$$W = R^{-1} = \begin{bmatrix} w_1 & \cdots & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & w_{N_m} \end{bmatrix}$$

y_j^{est} 'in varyansı , $j=1, \dots, g$ için şu eşkildedir ;

$$\text{var}(y_j^{est}) = L_{jj} \quad (5.4)$$

Dizayn işlemlerinde L_{jj} 'nin verilen bir ε_j değerinden daha az değerde olmasına ihtiyaç hissedilir. Optimizasyon problemi şimdi aşağıdaki gibi belirenebilir.

w_i ' yi , $i=1, \dots, N_m$ seçersek ölçme sistemi maliyeti ;

$$c = \sum_{i=1}^{N_m} c_i w_i \quad \text{ve}$$

çıkış doğruluğundaki istenilen seviyeye göre minimize edilir ;

$$L_{jj} \leq \varepsilon_j \quad (5.5)$$

Bu nonlinear optimizasyon problemi optimal güç akışı problemlerindeki genel tekniklerle çözülebilir. Çözüm sistemdeki her bir mümkün ölçüm için ihtiyaç duyulan doğruluğun seviyesini gösterir. Bu bir tane çözümünden devam edilerek hangi ölçümün doğruluğunun yüksek olmasının gerekmediği belirlenebilir. Bunlar doğrulukta önemli bir kayıp olmaksızın ölçme sisteminden çıkarılabilir.

5.2 ÖLÇME SİSTEMİ PLANLAMA VE DİZAYNINDAKİ UYGULAMALAR

Ölçme sistemi (bilgi sistemi) planlama ve dizaynının amacı mümkün olan en ekonomik bir biçimde kontrol görüntüleme v.b. için ihtiyaç hissedilen bilgiyi vermektir. Durum tahminci sadece x^{est} ve z^{est} 'in en iyi tahminlerini vermekle kalmaz ayrıca sensör yerleşimi , doğruluk ve örnekleme oranları , bilgi alt sistemi alternatif konfigürasyonlarını araştırmada da kullanılabilir. Uygulamaların bazıları aşağıda kısaca anlatılmıştır.

5.2.1 ÖLÇÜ ALETİ YERLEŞİM PROBLEMİ

Bu problemde ölçümlerin hepsinin tek bir merkezi işlemcide toplandığı varsayılmıştır. İstenir ki durum değişkenlerinden bazılarının doğruluğunu düzeltmek için ihtiyaç hissedilen ilave donanımı en az maliyetle yerleştirilsin ve ihtiyaç hissedilen sensörlerin yerleri , doğrulukları ve örnekleme oranları bilinsin . Bu konuyla ilgili daha fazla bilgi için (*Larson, R.E., 1970*) isimli kaynağa bakınız.

5.2.2 HİYERARŞİK BİLGİ SİSTEMİ

Büyük güç sistemlerinde , bölge ve haber alma merkezlerinin hiyerarşik yapısı bilgi birikimi , işlenmesi ve kontrolden sorumludur. Bilgi sisteminin dizayn probleminden daha karmaşıktır. Mevcut hiyerarşik yapı bölgesel ve merkezi tahminciyi (yapılan çalışmalar sonucunda) kullanmayı gerektirir. Değişik haber alma merkezleri arasındaki bilgi değişiminin ekonomik ticaret ve organizasyonu devam eden çalışma konularıdır.

5.2.3 BİLGİ SİSTEMİ SİMÜLASYONU

Ölçme aleti yerleşimi problemi için geliştirilen , kovaryanslar ve durum tahminci arasındaki analitik dizayn ilişkisi oldukça karmaşık bir bilgi sistemine yayılır. Henüz bu

konudaki araştırmalar tamamlanmamış olsada dijital da simülasyon yoluyla yapılan bilgi sistemi dizayn parametrelerinin maliyeti ve performans ilişkisi için teknik sonuçlar ve mükemmel ekonomi vardır. Ek algılama , uzaktan ölçme ve işlemenin etkisi herhangi bir finansal taahhütten önce böyle bir simülatör ile araştırılmalıdır. Böyle bir simule edici muhtelif kontrol , display ve monitörlere aktarmanın analizi için kullanılabilir (*Johns,A.T.,Modern Power System Control and Operations,IEE Engineering Series 5*).



5.3 ÖLÇÜM SAYISINA GÖRE TAHMİN DENKLEMLERİNİN DEĞİŞİMİ

Güç sistemlerinde ölçüm sayısı genelde durum değişkenlerinden fazladır. Zaten bu durum kötü verilerin veya yalancı ölçümlerin yok edilmesi için gereklidir. Durum tahmini algoritmasında bu durum göz önüne alınarak geliştirilmiştir. Fakat gerek tahmin işlemi yapılırken kötü verilerin yok edilmesiyle gereksede ölçme ve teletre sistemindeki arızalardan dolayı ölçüm sayısı ile durum değişkenleri arasındaki oran değişebilir. Bu durumda tahmin denklemlerinde de değişmeler olacaktır. Ölçüm sayısının durum değişkenlerine göre değişimi dikkate alınırsa üç durum ile karşılaşılır ;

- 1) Belirlilik Üstü Durum ($N_m > N_s$) ,
- 2) Tam Belirli Durum ($N_m = N_s$) ,
- 3) Belirlilik Altı Durum ($N_m < N_s$) .

Şimdi bu durumları tek tek ele alalım.

5.3.1 BELİRLİLİK ÜSTÜ DURUM ($N_m > N_s$)

Bu durum zaten bizim istediğimiz durumdur. Bu durumda durum değişkenlerine nazaran daha çok ölçüm ve örnekler alırız ve böylece bilinmeyen " x_i " durumlarını kullanarak daha çok " $h_i(x_i)$ " denklemini yazabiliriz. Daha fazla ölçüme sahip olmanın faydası daha önceki konularda da bahsedildiği gibi durum tahmini algoritmasının seçiciliğini artırmak ve daha güvenilir bir durum tahmini yapmaktır. Yani fazla ölçüme sahip olarak eğer bu ölçümlerin sayısı yeterince fazla ise anlatılacak diğer iki duruma düşmeden durum tahminini başarılı bir şekilde sonuçlandırmak mümkündür. Çünkü diğer iki durum tahmin açısından istenmeyen durumlardır. Bunun nedeni ise bu durumlarda seçme imkanı kalktığı için güvenilir sonuçlar elde etmek mümkün değildir.

Bu durumda kullanılacak denklemler daha önceki kısımlarda (*Bölüm 3*) elde edilen denklemlerdir.

5.3.2 TAM BELİRLİ DURUM ($N_m = N_s$)

Bu durumda ölçümlerin sayısı (N_m) durum değişkenlerinin sayısına (N_s) eşittir. Eğer sistem hiç bir kötü veri içermiyorsa elde edilecek tahmin doğru ve güvenilir olacaktır aksi takdirde kötü verileri yok etme ihtiyacı ortaya çıkacak bu durumda ise belirlilik altı duruma düşülecek ve sistemin durumunu belirlemek zorlaşacak , hatta sistem belirsiz duruma düşecektir. Bu ise durum tahminini anlamsız kılacak ve amacından uzaklaştıracaktır. Fakat elde olmayan sebeplerle bu duruma düşülürse durum tahmini programı bu durum içinde hazırlıklı olmalı ve bir çıkış vermelidir. Bunu yaparken de Denklem (5.6)' i kullanması gerekir ;

$$x=[H]^{-1} \quad (5.6)$$

5.3.3 BELİRLİLİK ALTI DURUM ($N_m < N_s$)

Bu durumda durum değişkenlerinden daha az ölçüme sahibiz demektir. Bu durumda , bir çok x^{est} tahmini ortaya çıkabilir. Tahminleri bulmak için genel çözüm tekniği çözüm değerlerinin karelerinin toplamını minimize etmektir.

$$\sum_{i=1}^{N_s} x_i^2 \quad (5.7)$$

Bu minimizasyon problemini Lagrange Çarpımlarını kullanarak çözebiliriz (*Wood,Allen J.,1984*). Bunun için

$$z_i = \sum_{j=1}^{N_s} h_{ij} x_j \quad (i=1 \dots N_m) \quad (5.8)$$

Denklem (2) ve (3) vektör matris formuna sokulursa ;

$$\mathbf{x}^T \mathbf{x} \quad (5.9)$$

$$\mathbf{z} = [\mathbf{H}] \mathbf{x} \quad (5.10)$$

olur. Bu problem için Lagrange Dönüşümü ;

$$L = \mathbf{x}^T \mathbf{x} + \lambda^T (\mathbf{z} - [\mathbf{H}] \mathbf{x}) \quad (5.11)$$

$\mathbf{x}$ ve λ ile ilgili olarak L ' nin gradyanını bulmalıyız. Gradian Teoremi kullanılarak

$$\nabla_{\mathbf{x}} L = 2\mathbf{x} - [\mathbf{H}]^T \lambda = 0$$

bulunur ki bu ,

$$\mathbf{x} = \frac{1}{2} [\mathbf{H}]^T \lambda$$

eşitliğini verir ve

$$\nabla_{\lambda} L = \mathbf{z} - [\mathbf{H}] \mathbf{x} = 0$$

bundan da ,

$$\mathbf{z} = [\mathbf{H}] \mathbf{x}$$

bulunur. Buradan ,

$$z = \frac{1}{2} [H][H]^T \lambda \text{ veya}$$

$$\lambda = 2 [H][H]^T^{-1} z$$

bunlar kullanılarak ,

$$x = [H]^T [H][H]^T^{-1} z \quad (5.12)$$

olarak elde edilir.

Bilinmelidir ki Denklem (2.19) ,(5.6) ve (5.12)' deki matris tersi alma işlemleri bazen mümkün olmayabilir. Bunun anlamı $[H][H]^T$ matrisi singüler bir matris olabilir demektir. Bu durumlarda singüler matrislerin tersini alma yöntemlerine gidilmesi gerekir. Bazen de tersi alınamayacak matrisler çıkabilir ki bu durumda belirlenemeyen bir sistem oluşmuştur. Buradan ölçümlerin sistem durumunu belirlemek için yeterli bilgi sunmadığı sonucuna varırız. Singülerlik belirlilik altı durum için sistemin sadece tek bir çözümünün olmayacağı anlamına gelir ve tahminci gerçek durumla hiç ilgisi olmayan sonuçlar verebilir. Bu konuda daha fazla bilgi için (*Wood,A.J.,1984*) isimli kaynağa müracaat edilebilir.

6. BÖLÜM

6.1 ÖRNEK BİR GÜÇ SİSTEMİNE UYGULAMA

Bu bölümde , daha önce geliştirilen durum tahmini algoritması ve güç akışı denklemleri kullanılarak bir güç sistemi uygulaması yapılmıştır. Elimizde profesyonel bir durum tahmini programı olmadığı için özel bir program geliştirilmiştir. Yapılan program ve diğer yapılabilecek programlar için *Şekil 6.1'* de bir durum tahmini akış diyagramı verilmiştir. Bu diyagrama göre yapılan gelişmiş bir durum tahmini programının sistemin gerçek durumuna yakın doğru sonuçlar vermesi mümkündür. Bu diyagram ayrıca ki-kare (chi-square) testi kullanarak kötü verilerin bulunup yok edilmesi işlemini de gerçekleştirebilir.

Bizim tarafımızdan yapılan program da bu işlemlerin hepsini yapabilmektedir. Fakat durum denklemlerinin ve H_x matrisinin el ile girilmesi gerekmektedir. Bu durum çok baradan oluşan bir sistem çözülürken zorluk oluşturmaktadır. Çünkü denklemlerin el ile girilmesi oldukça zordur ve uzun zaman alır. Bu ise durum tahmini işi için uygun değildir çünkü daha öncede bahsedildiği gibi güç sisteminde veri alma işlemi bir kaç dakikada bir yapılmakta ve anında bu verilerin işlenip görüntülenmesi gerekmektedir. Bu nedenle programın görevini yerine getirmesi yetmemekte bu hıza ayak uydurabilmesi gerekmektedir. Bu yüzden programın büyük bir güç sitemine uygulanması mümkün olamamaktadır. Ancak durum tahmininin nasıl yapıldığı konusunda oldukça iyi bilgiler vermekte ve ileride yapılacak gelişmiş programlara ön ayak olabilecektir.

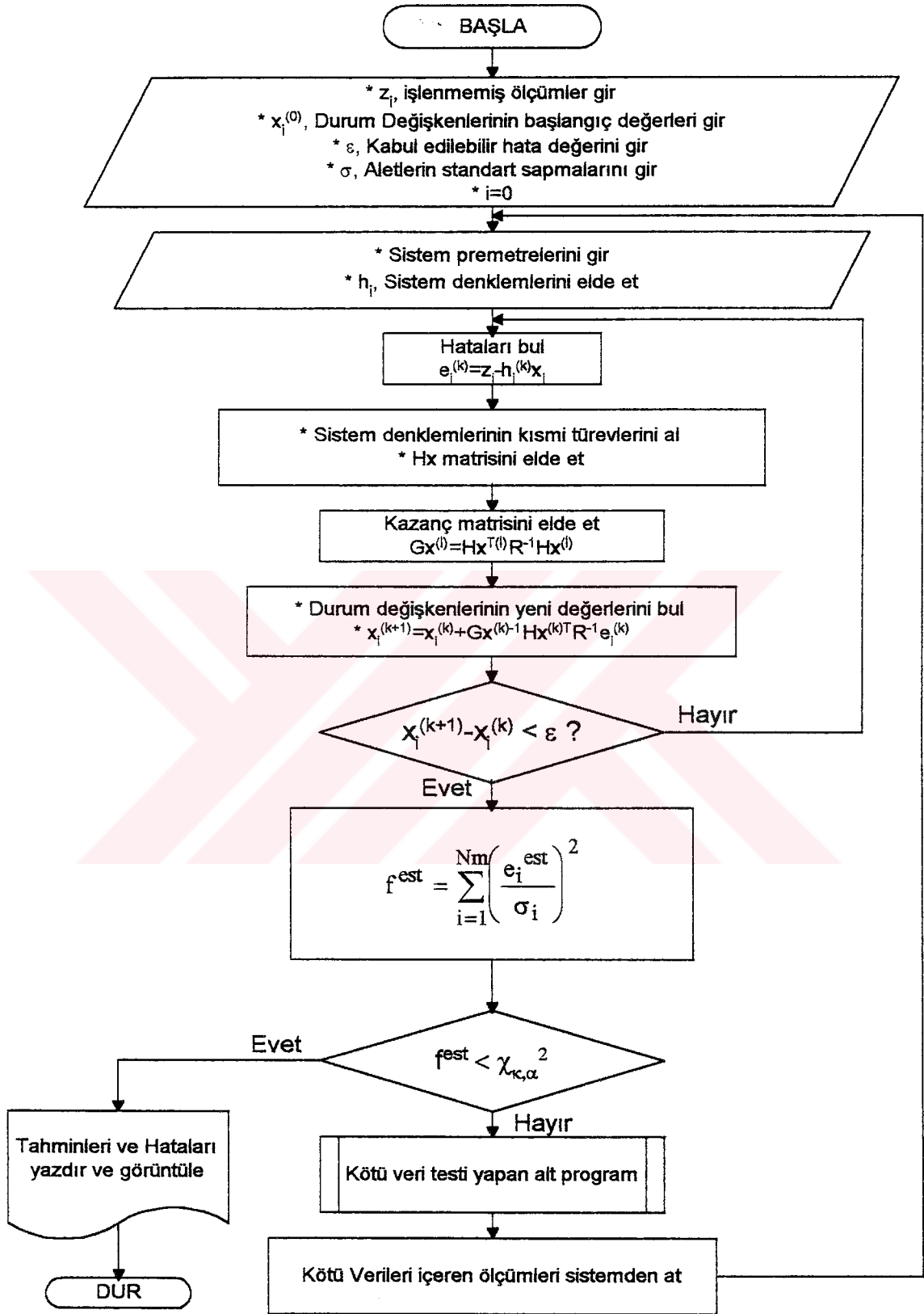
Geliştirilen program MATLAB programı kullanılarak geliştirilmiştir. Bunun nedeni ise çok güçlü bir matris işleme yeteneği olması ve bunun da durum tahmini için çok gerekli olmasıdır. Yani bu programın kullanılması ile başka programlama dilleri ile yapılması gereken matris alt programlarından kurtulunmuş olunur. Bu ise hem yapılan programı basitleştirmiş hemde kısa olmasını sağlamıştır. Tabi Matlab' de veri ve denklem girişide oldukça rahat yapılabilmektedir. Bu yüzden Matlab programının dili kullanılmıştır..

Ancak bir dezavantaj olarak , geliştiren program sadece Matlab editörü olan bilgisayarlar da çalıştırılabilmesi verilebilir. Yani bir “exe” dosyası yapılamamaktadır.

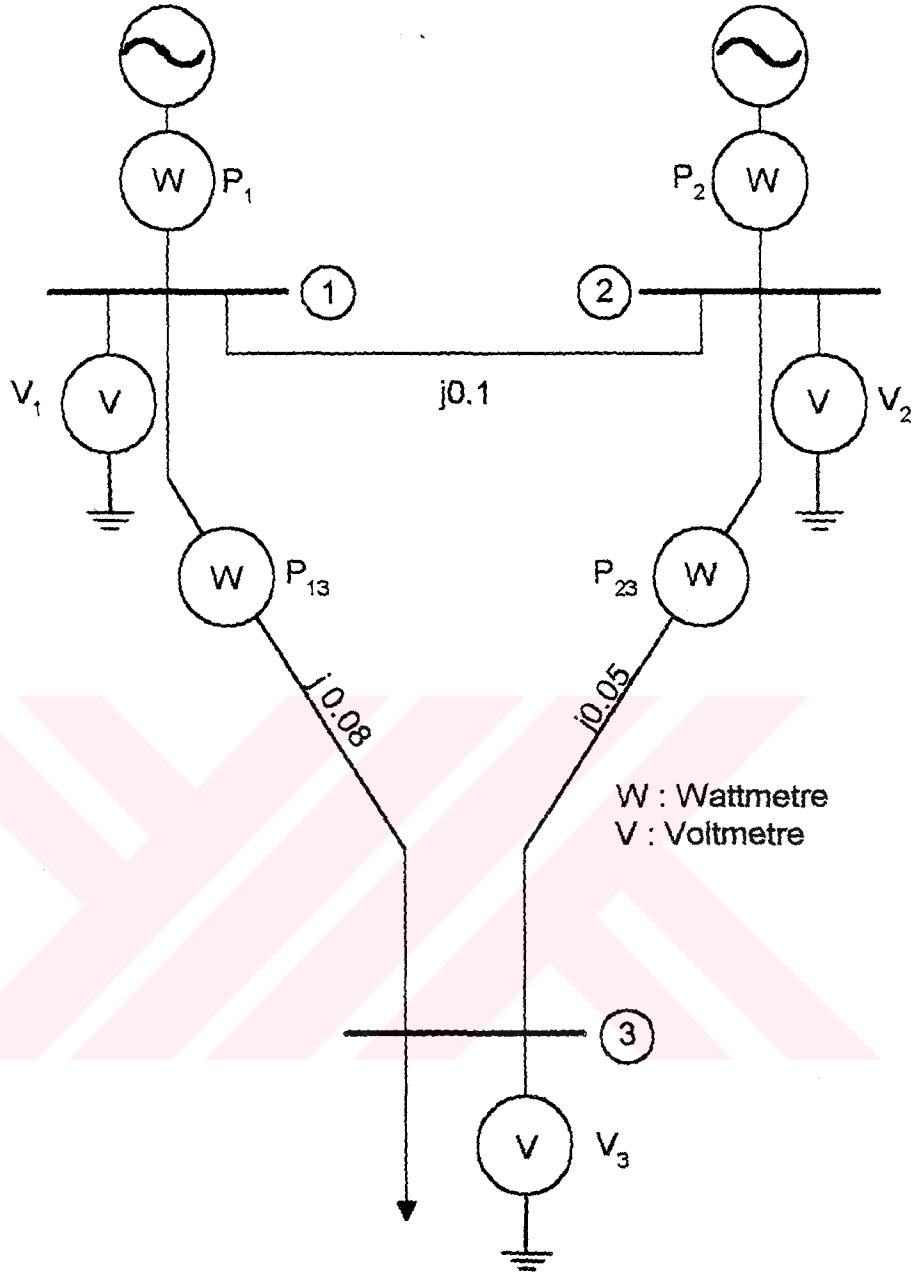
Kullanılan örnek üç baralı bir sistemdir. Daha fazla baralı bir örnek verilmemesinin sebebi yapılan programın yapısından dolayı denklemler , veriler ve türevler el ile giriliyor olmasındandır. Ancak örnek durum tahmininde karşılaşılabilecek tüm durumları içermektedir. Örnekte 3 bara , 3 hat , 5 wattmetre , 3 voltmetre vardır. **Şekil 6.2'** de bu sistemin tek hat diyagramı verilmiştir. Bu sistem için 1. bara referans seçilmiş ve bara geriliminin açısı $\delta_1=0^\circ$ kabul edilmiştir.

Şimdi bu sitem için eldeki verilere göre bir durum tahmini yapalım ve ölçümler arasında kötü veri olup olmadığına bakalım. Bunu yapacağımız durum tahmini programı **6.Bölümün** sonunda verilmiştir.





Şekil 6.1 : Durum Tahmini Akış Diyagramı



Şekil 6.2 : Yapılan uygulama için sistemi ve ölçümleri veren tek hat diyagramı

6.1.1 VERİLER

Ölçü Aletlerine Ait Standart Sapmalar :

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = (0.02)^2$$

$$\sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2 = \sigma_7^2 = (0.05)^2$$

Sistem Hatlarının Endüktif Reaktansları :

$$x_{12} = 0.1 \quad x_{13} = 0.08 \quad x_{23} = 0.05$$

Bunlara göre her zaman $\theta_{ij} = \pi/2$ değerini alır. Çünkü hatların dirençleri ihmal edilmiştir.

Ölçümler :

$$z_1 = |V_1| = 1.01 \text{ pu.} \quad z_2 = |V_2| = 1.02 \text{ pu.} \quad z_3 = |V_3| = 0.98 \text{ pu.}$$

$$z_4 = |P_1| = 0.48 \text{ pu.} \quad z_5 = |P_2| = 0.33 \text{ pu.}$$

$$z_6 = |P_{13}| = 0.41 \text{ pu.} \quad z_7 = |P_{23}| = 0.38 \text{ pu.}$$

Seçilen Durum Değişkenleri ve Başlangıç Değerleri :

$$x_1 = |V_1| = 1 \text{ pu.}$$

$$x_2 = |V_2| = 1 \text{ pu.}$$

$$x_3 = |V_3| = 1 \text{ pu.}$$

$$x_4 = \delta_2 = 0^\circ$$

$$x_5 = \delta_3 = 0^\circ$$

$$\delta_1 = 0^\circ$$

Bunlara Göre Diğer Parametreler :

$$k = N_m - N_s = 2 \quad \alpha = 0.01$$

Bara Sayısı : N=3

Dal (hat) Sayısı : B=3

Şekil 6.2' ye göre elde edilen Y_{BARA} (*Çakır, Hüseyin, 1986*)

$$Y_{BARA} = j \begin{bmatrix} -22.5 & 10 & 12.5 \\ 10 & -30 & 20 \\ 12.5 & 20 & -32.5 \end{bmatrix}$$

6.1.2 DENKLEMLERİN ELDE EDİLMESİ

$$P_i = |V_i|^2 G_{ii} + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |V_i V_n Y_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (4.17)$$

$$Q_i = - \left\{ |V_i|^2 B_{ii} + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |V_i V_n Y_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \right\} \quad (4.18)$$

$$P_{ij} = -|V_i|^2 G_{ij} + |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (4.19)$$

$$Q_{ij} = - \left\{ |V_i|^2 \left(\frac{B^1_{ij}}{2} - B_{ij} \right) + |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right\} \quad (4.20)$$

Denklemleri kullanılarak ;

$$P_1 = |V_1|^2 G_{11} + \{ |V_1 V_2 Y_{12}| \cos(\theta_{12} + \delta_2 - \delta_1) + |V_1 V_3 Y_{13}| \cos(\theta_{13} + \delta_3 - \delta_1) \}$$

$$P_2 = |V_2|^2 G_{22} + \{ |V_2 V_1 Y_{21}| \cos(\theta_{21} + \delta_1 - \delta_2) + |V_2 V_3 Y_{23}| \cos(\theta_{23} + \delta_3 - \delta_2) \}$$

$$P_{13} = -|V_1|^2 G_{13} + |V_1 V_3 Y_{13}| \cos(\theta_{13} + \delta_3 - \delta_1)$$

$$P_{23} = -|V_2|^2 G_{23} + |V_2 V_3 Y_{23}| \cos(\theta_{23} + \delta_3 - \delta_2)$$

Bilinenler yerine konulursa ;

$$h_1 = |V_1| = x_1$$

$$h_2 = |V_2| = x_2$$

$$h_3 = |V_3| = x_3$$

$$h_4 = 10x_1x_2\cos(\pi/2+x_4) + 12.5x_1x_3\cos(\pi/2+x_5)$$

$$h_5 = 10x_2x_1\cos(\pi/2-x_4) + 20x_2x_3\cos(\pi/2+x_5-x_4)$$

$$h_6 = 12.5x_1x_3\cos(\pi/2+x_5)$$

$$h_7 = 20x_2x_3\cos(\pi/2+x_5-x_4)$$

bulunur.

H_x Matrisinin Oluşturulması :

$$H_x = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial x_1} & \frac{\partial h_1}{\partial x_2} & \frac{\partial h_1}{\partial x_3} & \frac{\partial h_1}{\partial x_4} & \frac{\partial h_1}{\partial x_5} \\ \frac{\partial h_2}{\partial x_1} & \frac{\partial h_2}{\partial x_2} & \frac{\partial h_2}{\partial x_3} & \frac{\partial h_2}{\partial x_4} & \frac{\partial h_2}{\partial x_5} \\ \frac{\partial h_3}{\partial x_1} & \frac{\partial h_3}{\partial x_2} & \frac{\partial h_3}{\partial x_3} & \frac{\partial h_3}{\partial x_4} & \frac{\partial h_3}{\partial x_5} \\ \frac{\partial h_4}{\partial x_1} & \frac{\partial h_4}{\partial x_2} & \frac{\partial h_4}{\partial x_3} & \frac{\partial h_4}{\partial x_4} & \frac{\partial h_4}{\partial x_5} \\ \frac{\partial h_5}{\partial x_1} & \frac{\partial h_5}{\partial x_2} & \frac{\partial h_5}{\partial x_3} & \frac{\partial h_5}{\partial x_4} & \frac{\partial h_5}{\partial x_5} \\ \frac{\partial h_6}{\partial x_1} & \frac{\partial h_6}{\partial x_2} & \frac{\partial h_6}{\partial x_3} & \frac{\partial h_6}{\partial x_4} & \frac{\partial h_6}{\partial x_5} \\ \frac{\partial h_7}{\partial x_1} & \frac{\partial h_7}{\partial x_2} & \frac{\partial h_7}{\partial x_3} & \frac{\partial h_7}{\partial x_4} & \frac{\partial h_7}{\partial x_5} \end{bmatrix}$$

Şimdi bu kısmi türevleri elde edelim ;

$$\frac{\partial h_4}{\partial x_1} = 10x_2\cos(\pi/2+x_4) + 12.5x_3\cos(\pi/2+x_5)$$

$$\frac{\partial h_4}{\partial x_2} = 10x_1 \cos(\pi/2 + x_4)$$

$$\frac{\partial h_4}{\partial x_3} = 12.5x_1 \cos(\pi/2 + x_5)$$

$$\frac{\partial h_4}{\partial x_4} = -10x_1 \sin(\pi/2 + x_4)$$

$$\frac{\partial h_4}{\partial x_5} = -12.5x_1x_3 \sin(\pi/2 + x_5)$$

$$\frac{\partial h_5}{\partial x_1} = 10x_2 \cos(\pi/2 - x_4)$$

$$\frac{\partial h_5}{\partial x_2} = 10x_1 \cos(\pi/2 - x_4) + 20x_3 \cos(\pi/2 + x_5 - x_4)$$

$$\frac{\partial h_5}{\partial x_3} = 20x_2 \cos(\pi/2 + x_5 - x_4)$$

$$\frac{\partial h_5}{\partial x_4} = 10x_2x_1 \sin(\pi/2 - x_4) + 20x_2x_3 \sin(\pi/2 + x_5 - x_4)$$

$$\frac{\partial h_5}{\partial x_5} = -20x_2x_3 \sin(\pi/2 + x_5 - x_4)$$

$$\frac{\partial h_6}{\partial x_1} = 12.5x_3 \cos(\pi/2 + x_5)$$

$$\frac{\partial h_6}{\partial x_2} = 0$$

$$\frac{\partial h_6}{\partial x_3} = 12.5x_1 \cos(\pi/2 + x_5)$$

$$\frac{\partial h_6}{\partial x_4} = 0$$

$$\frac{\partial h_6}{\partial x_5} = -12.5x_1x_3 \sin(\pi/2 + x_5)$$

$$\frac{\partial h_7}{\partial x_1} = 0$$

$$\frac{\partial h_7}{\partial x_2} = 20x_3 \cos(\pi/2 + x_5 - x_4)$$

$$\frac{\partial h_7}{\partial x_3} = 20x_2 \cos(\pi/2 + x_5 - x_4)$$

$$\frac{\partial h_7}{\partial x_4} = 20x_2x_3 \sin(\pi/2 + x_5 - x_4)$$

$$\frac{\partial h_7}{\partial x_5} = -20x_2x_3 \sin(\pi/2 + x_5 - x_4)$$

6.1.3 DURUM TAHMİNİ PROGRAMI

ELDE EDİLEN DENKLEMLER VE VERİLERİN MATLAB PROGRAMINA GİRİLMESİ

Program :

% BU PROGRAM EN KÜÇÜK KARELER YÖNTEMİNE GÖRE DURUM
TAHMINI YAPAR VE ELDEKİ VERİLERİ KI-KARE TESTİNE TABİ TUTAR

clear

i=0;

b=9.21; % k=2 ve güvenilirlik derecesi=0.01 için tablodan alınan değer

R=[(1/0.02^2) 0 0 0 0 0;0 (1/0.02^2) 0 0 0 0;0 0 (1/0.05^2) 0 0 0;...

0 0 0 (1/0.05^2) 0 0 0;0 0 0 0 (1/0.05^2) 0 0;0 0 0 0 0 (1/0.05^2) 0;0 0 0 0 0 0
(1/0.05^2)];

W=[0.02;0.02;0.02;0.05;0.05;0.05;0.05];

a=[1e-10;1e-10;1e-10;1e-10;1e-10]; % doğruluk indeksi

x(1)=1;

x(2)=1;

```
x(3)=1;
```

```
x(4)=0;
```

```
x(5)=0;
```

```
z(1)=1.01;
```

```
z(2)=1.02;
```

```
z(3)=0.98;
```

```
z(4)=0.48;
```

```
z(5)=0.33;
```

```
z(6)=0.41;
```

```
z(7)=0.38;
```

```
p=[10;10;10;10;10]; % fark için başlangıç değeri
```

```
while p>=a
```

```
h(1)=x(1);
```

```
h(2)=x(2);
```

```
h(3)=x(3);
```

```
h(4)=(10*x(1)*x(2)*cos((pi/2)+x(4)))+(12.5*x(1)*x(3)*cos((pi/2)+x(5)));
```

```
h(5)=(10*x(2)*x(1)*cos((pi/2)-x(4)))+(20*x(2)*x(3)*cos((pi/2)+x(5)-x(4)));
```

```
h(6)=12.5*x(1)*x(3)*cos((pi/2)+x(5));
```

```
h(7)=20*x(2)*x(3)*cos((pi/2)+x(5)-x(4));
```

```
e(1)=z(1)-h(1);
```

```
e(2)=z(2)-h(2);
```

```
e(3)=z(3)-h(3);
```

```
e(4)=z(4)-h(4);
```

```
e(5)=z(5)-h(5);
```

```
e(6)=z(6)-h(6);
```

```

e(7)=z(7)-h(7);
hx(1,1)=1;
hx(1,2)=0;
hx(1,3)=0;
hx(1,4)=0;
hx(1,5)=0;
hx(2,1)=0;
hx(2,2)=1;
hx(2,3)=0;
hx(2,4)=0;
hx(2,5)=0;
hx(3,1)=0;
hx(3,2)=0;
hx(3,3)=1;
hx(3,4)=0;
hx(3,5)=0;
hx(4,1)=(10*x(2)*cos((pi/2)+x(4)))+(12.5*x(3)*cos((pi/2)+x(5)));
hx(4,2)=10*x(1)*cos((pi/2)+x(4));
hx(4,3)=12.5*x(1)*cos((pi/2)+x(5));
hx(4,4)=-10*x(1)*x(2)*sin((pi/2)+x(4));
hx(4,5)=-12.5*x(1)*x(3)*sin((pi/2)+x(5));
hx(5,1)=10*x(2)*cos((pi/2)-x(4));
hx(5,2)=(10*x(1)*cos((pi/2)-x(4)))+(20*x(3)*cos((pi/2)+x(5)-x(4)));
hx(5,3)=20*x(2)*cos((pi/2)+x(5)-x(4));
hx(5,4)=(10*x(2)*x(1)*sin((pi/2)-x(4)))+(20*x(2)*x(3)*cos((pi/2)+x(5)-x(4)));
hx(5,5)=-20*x(2)*x(3)*sin((pi/2)+x(5)-x(4));
hx(6,1)=12.5*x(3)*cos((pi/2)+x(5));
hx(6,2)=0;
hx(6,3)=12.5*x(1)*cos((pi/2)+x(5));
hx(6,4)=0;

```

```

hx(6,5)=-12.5*x(1)*x(3)*sin((pi/2)+x(5));
hx(7,1)=0
hx(7,2)=20*x(3)*cos((pi/2)+x(5)-x(4));
hx(7,3)=20*x(2)*cos((pi/2)+x(5)-x(4));
hx(7,4)=20*x(2)*x(3)*sin((pi/2)+x(5)-x(4));
hx(7,5)=-20*x(2)*x(3)*sin((pi/2)+x(5)-x(4));

```

```

G=hx'*R*hx;
c=inv(G)*hx'*R*e';
xn=x'+c;
eest=z'-h';
p=abs(xn-x');
i=i+1;
x=xn';
end

```

```

f=(eest.^2./W.^2);
top=sum(f);

```

```

if top<=b

```

```

fprintf('yapılan çevrim sayısı = %g \n',i)
fprintf('hatalarin agirlikli toplami = %g \n',top)
fprintf('x(j) Durum tahminleri = %g \n',x)
fprintf('Tahmini hatalar = %g \n',eest)
fprintf('Eldeki veriler yüzde 99 güvenle hatasizdir')

```

```

else

```

```

R1=inv(R)-hx*inv(G)*hx';

```

```

m(1)=eest(1)/R1(1,1)^(1/2);
m(2)=eest(2)/R1(2,2)^(1/2);
m(3)=eest(3)/R1(3,3)^(1/2);
m(4)=eest(4)/R1(4,4)^(1/2);
m(5)=eest(5)/R1(5,5)^(1/2);
m(6)=eest(6)/R1(6,6)^(1/2);
m(7)=eest(7)/R1(7,7)^(1/2);
d=abs(m);
fprintf('Ölçümlerin birinde hata var \n')
fprintf('En büyük hataya sahip ölçümü buradan seçiniz >>> %g\n',d)

end

```

Bu program çalıştırılırsa elde edilecek sonuçlar ;

hx =

```

1.0000    0    0    0    0
    0 1.0000    0    0    0
    0    0 1.0000    0    0
0.5000  0.1117  0.3988 -10.2792 -12.3414
-0.1128  0.2910  0.4191  10.6896 -19.9576
0.3872    0  0.3988    0 -12.3414
    0  0.4027  0.4191  19.9576 -19.9576

```

yapılan çevrim sayısı = 8

hataların ağırlıklı toplamı = 1.21172

x(j) Durum tahminleri = 1.00866

x(j) Durum tahminleri = 1.01916

x(j) Durum tahminleri = 0.979326

$x(j)$ Durum tahminleri = -0.0110707

$x(j)$ Durum tahminleri = -0.0316318

Tahmini hatalar = 0.00134068

Tahmini hatalar = 0.000838739

Tahmini hatalar = 0.000673724

Tahmini hatalar = -0.0243143

Tahmini hatalar = 0.0333935

Tahmini hatalar = 0.0194885

Tahmini hatalar = -0.0304093

Eldeki veriler yüzde 99 güvenle hatasızdır

Görüldüğü gibi eldeki ölçümler hatasız çıkmıştır. Yani kötü veri içermemektedir. Durum tahminleri

$x_1 = 1.00866$

$x_2 = 1.011916$

$x_3 = 0.979326$

$x_4 = -0.0110707$

$x_5 = -0.03166318$

bulunmuştur.

Şimdi $z_5 = 0.33$ yerine $z_5 = 0.5$ ölçüldüğünü varsayalım ve aynı programı bir daha çalıştıralım ;

$h_x =$

1.0000	0	0	0	0
0	1.0000	0	0	0
0	0	1.0000	0	0

```

0.5263  0.1053  0.4324 -10.2267 -12.1833
-0.1071  0.3613  0.4893  10.7024 -19.8227
0.4192    0  0.4324    0 -12.1833
0  0.4666  0.4893  19.8227 -19.8227

```

Ölçümlerin birinde hata var

En büyük hataya sahip ölçümü buradan seçiniz >>> 2.8549

En büyük hataya sahip ölçümü buradan seçiniz >>> 0.270056

En büyük hataya sahip ölçümü buradan seçiniz >>> 2.0181

En büyük hataya sahip ölçümü buradan seçiniz >>> 1.91832

En büyük hataya sahip ölçümü buradan seçiniz >>> 3.34955

En büyük hataya sahip ölçümü buradan seçiniz >>> 0.237376

En büyük hataya sahip ölçümü buradan seçiniz >>> 3.33713

Mutlak değeri alınmış hataların en büyüğü 5. sıradaki 3.34955 değeridir. Bunun anlamı z_5 ölçümü kötü veridir ve yok edilmesi gerekir. Bunun için programdaki "hx" isimli matristen z_5 ölçümüne ait satır silinir ve indeksler 6 tane ölçüme göre düzenlenirse programın yeni hali şu şekilde olur ;

**% BU PRORAM EN KÜÇÜK KARELER YÖNTEMINE GÖRE DURUM TAHMINI
YAPAR VE ELDEKİ VERİLERİ KI-KARE TESTINE TABİ TUTAR**

```
clear
```

```
i=0;
```

```
b=6.64;          % k=1 ve güvenilirlik dercesi=0.01 için tablodan alınan değer
```

```
R=[(1/0.02^2) 0 0 0 0 0;0 (1/0.02^2) 0 0 0 0;0 0 (1/0.05^2) 0 0 0;...
```

```
0 0 0 (1/0.05^2) 0 0;0 0 0 0 (1/0.05^2) 0;0 0 0 0 0 (1/0.05^2)];
```

```
T=[0.02;0.02;0.02;0.05;0.05;0.05];
```

```
a=[1e-10;1e-10;1e-10;1e-10;1e-10]; % Doğruluk indeksi
```

```
x(1)=1;
```

```
x(2)=1;
```

```
x(3)=1;
```

```
x(4)=0;
```

```
x(5)=0;
```

```
% z(5) ölçümü yok edildikten sonraki durum
```

```
z(1)=1.01;
```

```
z(2)=1.02;
```

```
z(3)=0.98;
```

```
z(4)=0.48;
```

```
z(5)=0.41;
```

```
z(6)=0.38;
```

```
p=[10;10;10;10;10];
```

```
while p>=a
```

```
h(1)=x(1);
```

```
h(2)=x(2);
```

```
h(3)=x(3);
```

```
h(4)=(10*x(1)*x(2)*cos((pi/2)+x(4)))+(12.5*x(1)*x(3)*cos((pi/2)+x(5)));
```

```
h(5)=12.5*x(1)*x(3)*cos((pi/2)+x(5));
```

```
h(6)=20*x(2)*x(3)*cos((pi/2)+x(5)-x(4));
```

```
e(1)=z(1)-h(1);
```

```
e(2)=z(2)-h(2);
```

```
e(3)=z(3)-h(3);
```

```
e(4)=z(4)-h(4);
```

```
e(5)=z(5)-h(5);
```

```
e(6)=z(6)-h(6);
```

```

hx(1,1)=1;
hx(1,2)=0;
hx(1,3)=0;
hx(1,4)=0;
hx(1,5)=0;
hx(2,1)=0;
hx(2,2)=1;
hx(2,3)=0;
hx(2,4)=0;
hx(2,5)=0;
hx(3,1)=0;
hx(3,2)=0;
hx(3,3)=1;
hx(3,4)=0;
hx(3,5)=0;
hx(4,1)=(10*x(2)*cos((pi/2)+x(4)))+(12.5*x(3)*cos((pi/2)+x(5)));
hx(4,2)=10*x(1)*cos((pi/2)+x(4));
hx(4,3)=12.5*x(1)*cos((pi/2)+x(5));
hx(4,4)=-10*x(1)*x(2)*sin((pi/2)+x(4));
hx(4,5)=-12.5*x(1)*x(3)*sin((pi/2)+x(5));
hx(5,1)=10*x(2)*cos((pi/2)-x(4));
hx(5,2)=(10*x(1)*cos((pi/2)-x(4)))+(20*x(3)*cos((pi/2)+x(5)-x(4)));
hx(5,3)=20*x(2)*cos((pi/2)+x(5)-x(4));
hx(5,4)=(10*x(2)*x(1)*sin((pi/2)-x(4)))+(20*x(2)*x(3)*cos((pi/2)+x(5)-x(4)));
hx(5,5)=-20*x(2)*x(3)*sin((pi/2)+x(5)-x(4));
hx(6,1)=12.5*x(3)*cos((pi/2)+x(5));
hx(6,2)=0;
hx(6,3)=12.5*x(1)*cos((pi/2)+x(5));
hx(6,4)=0;

```

```
hx(6,5)=-12.5*x(1)*x(3)*sin((pi/2)+x(5));
```

```
G=hx'*R*hx;
```

```
c=inv(G)*hx'*R*e';
```

```
xn=x'+c;
```

```
eest=z'-h';
```

```
p=abs(xn-x');
```

```
i=i+1;
```

```
x=xn';
```

```
end
```

```
f=(eest.^2./T.^2);
```

```
top=sum(f);
```

```
if top<=b
```

```
fprintf('yapılan çevrim sayısı = %g \n',i)
```

```
fprintf('hatalarin agirlikli toplami = %g \n',top)
```

```
fprintf('x(j) Durum tahminleri = %g \n',x)
```

```
fprintf('Tahmini hatalar = %g \n',eest)
```

```
fprintf('Eldeki veriler yüzde 99 güvenle hatasizdir')
```

```
else
```

```
R1=inv(R)-d*inv(G)*d';
```

```
m(1)=eest(1)/R1(1,1)^(1/2);
```

```
m(2)=eest(2)/R1(2,2)^(1/2);
```

```
m(3)=eest(3)/R1(3,3)^(1/2);
```

```
m(4)=eest(4)/R1(4,4)^(1/2);
```

```
m(5)=eest(5)/R1(5,5)^(1/2);
```

```
m(6)=eest(6)/R1(6,6)^(1/2);
```

```
d=abs(m);
```

```

fprintf('Ölçümlerin birinde hata var \n')-
fprintf('En büyük hataya sahip ölçümü buradan seçiniz >>> %g\n',d)

end

```

Bu program çalıştırılırsa elde edilecek sonuçlar şu şekilde olur ;

```

» yapılan çevrim sayisi = 27
hatalarin ağırlıklı toplamı = 4.85927
x(j) Durum tahminleri = 1.00655
x(j) Durum tahminleri = 1.02269
x(j) Durum tahminleri = 0.975127
x(j) Durum tahminleri = -0.00663915
x(j) Durum tahminleri = -0.0304991
Tahmini hatalar = 0.00345023
Tahmini hatalar = -0.00268785
Tahmini hatalar = 0.00487277
Tahmini hatalar = 0.0375247
Tahmini hatalar = 0.0358667
Tahmini hatalar = -0.0958421
Eldeki veriler yüzde 99 güvenle hatasızdır

```

Görüldüğü gibi veriler hatasız çıktı ve z₅ kötü verisi yok edildi.

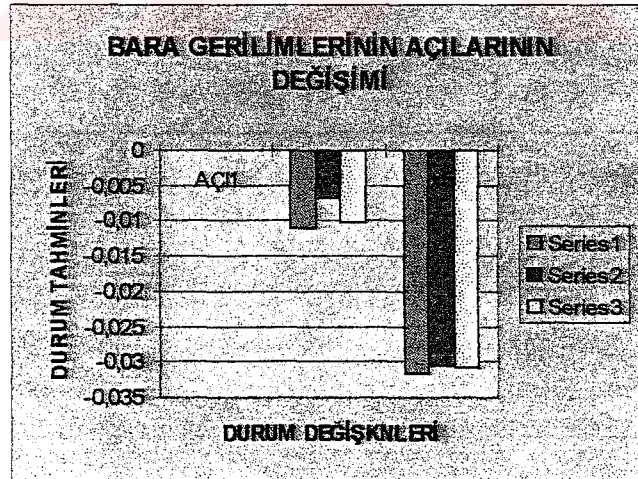
6.2 SONUÇLAR

Tablo 6.1 : Farklı programlardan elde edilen durum tahmini programı sonuçları.

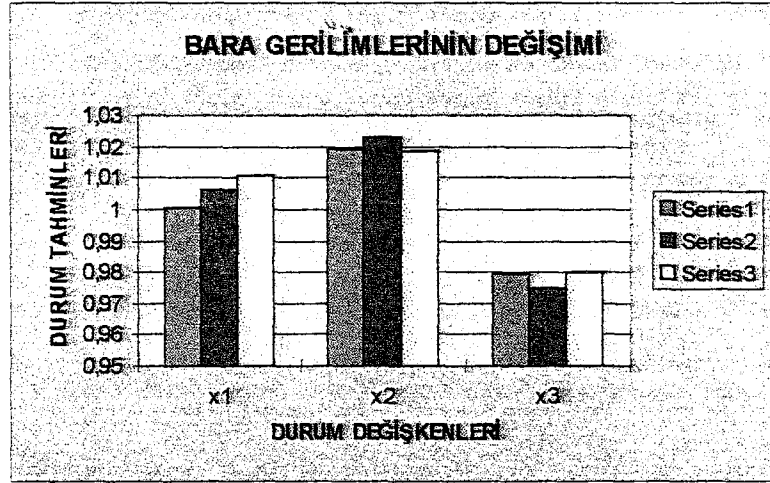
DURUM DEĞİŞKENLERİ	MATLAB PROGRAMINDAN ELDE EDİLEN (KÖTÜ VERİ YOK)	MATLAB PROGRAMINDAN ELDE EDİLEN (KÖTÜ VERİ VAR (x_5))	PROFESYONEL DURUM TAHMİN PROGRAMINDAN ELDE EDİLEN*** (KÖTÜ VERİ YOK)
x1	1.00866 pu	1.00655 pu	1.0109 pu
x2	1.01916 pu	1.02269 pu	1.0187 pu
x3	0.979326 pu	0.975127 pu	0.9804 pu
x4	-0.0110707 radyan	-0.00663915 radyan	-0.0101 radyan
x5	-0.0316318 radyan	-0.0304991 radyan	-0.0308 radyan

Görüldüğü gibi bütün durumlarda durum tahmini programı doğru sonuçlar vermiştir. *** işaretli program sonuçları (Stevenson,D.W.,Mc Graw-Hill Inc.,1994) isimli kaynaktan alınmıştır.

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4' de Tablo 6.1' de verilen üç durum için grafiksel olarak karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 6.3 : Bara gerilimi açılarının durum tahminleri. Burada Seri1 kötü veri olmadığı zamanki durumu , Seri2 kötü veri olduğu zamanki durumu , Seri3 kötü veri olmadan profesyonel programdan elde edilen durumu belirtmektedir.



Şekil 6.4 : Bara gerilimlerinin durum tahminleri. Burada Seri1 kötü veri olmadığı zamanki durumu , Seri2 kötü veri olduğu zamanki durumu , Seri3 kötü veri olmadan profesyonel programdan elde edilen durumu belirtmektedir.

Güç sistemi uygulamalarında gerilimlere ait ölçümler yok edilirken Hx matrisinin determinantı sıfır çıkabilir. Bu durumun nedeni gerilim ölçümlerinin kötü veri olması ve bunların yok edilmesidir. Bu durumda Hx matrisi singüler bir matris olacak ve tersi normal yollardan alınamayacaktır. Bu ise G kazanç matrisinin bulunamamasına neden olacak ve tahminler yapılamayacaktır. Ayrıca programlarda hatalar meydana gelecektir. Bu gibi durumlardan kaçınmak için Hx' in ilk önce determinantına bakılmalı ve determinant eğer sıfır değerine sahipse bu tip matrislerin tersini alabilen alt programlar kullanılarak durum tahmini programı devam ettirilmelidir. Bu gibi durumlardan kaçınmanın ikinci yolu ise mevcut ölçme grubunu bir kenara bırakıp yeni ölçümleri beklemek veya farklı bir ölçme sistemi kullanmaktır. Böylece Hx matrisinin kötü veri içermemesi veya kötü veriler yok edildikten sonra determinantının sıfır çıkmaması beklenebilir. Profesyonel yazılımlarda bunlara dikkat edilmelidir ve yazılım anlatılan hatayı bertaraf edebilmelidir.

7. KAYNAKLAR

- (1) Johns, A. T., Ratcliffe, Wright, A., Modern Power System Control and Operation, IEE Power Engineering Series 5, chapter 8.
- (2) Uçan, Bahadır, Bir SCADA/EMS Uygulaması : TEK Ulusal Yük Dağıtım Sistemi, TEK İletişim Kontrol ve Otomasyon Dairesi Başkanlığı Bahçelievler-Ankara, Elektrik mühendisliği 5. Ulusal Kongresi
- (3) Stevenson, William D., Jr. and Grainger, John J., Power System Analysis, Mc Graw-Hill, Inc.
- (4) Akdeniz, Fikri, "Olasılık ve İstatistik", A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, No.4, 1991.
- (5) Larson, R.E., Tinney, W.F. and Peschon, J., State Estimation in Power Systems, Part-I: theory and feasibility, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, March 1970.
- (6) Larson, R.E., Tinney, W.F., Hajdu, L.P. and Piercy, Dean S., State Estimation in Power Systems, Part-II: Implementation and Applications, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, March 1970.
- (7) Larson, R.E., Hajdu, L.P., Potential applications and on-line implementation of power systems state estimations, Wolf Management Services, Palo Alto, Calif., Contract 14-03-79378, Bonneville Power Administration, Portland, Ore., Final Rept., January 1969
- (8) Cohn, N., Control of Interconnected Power Systems, in Handbook of Automation, Computation and Control, Vol.3, New York: Wiley, 1961, ch.17.
- (9) Peschon, J., Piercy, D.S., Tinney, W.F., Tsviet, O.J., and Cuenod, M., "Optimal Control of Reactive Power Flow", IEEE Trans. Power Apparatus and systems, vol. Pas-87, pp.40-48, January 1968.
- (10) Dommel, H.W. and Tinney, W.F., "Optimal Power Flow Solutions", IEEE Trans. Power Apparatus and systems, vol. Pas-87, pp.1866-1876, October 1968.
- (11) Mochon, H.H., "System Security Applications for the New England Power Exchange", 1968 Minnesota Power Systems Conf., Minneapolis, Minn.

- (12) Wood,A.J.,Wollenberg,"Power Generation Operation and Control",chapter.12,John Willey & Sons Inc.,1984
- (13) Çakır,Hüseyin,Elektrik Güç Sistemleri Analizi,Yıldız-1986



ÖZGEÇMİŞ :

1972 Yılında Sivas' ta doğdu. İlk ve Orta Öğretimini aynı ilde tamamladıktan sonra 1987 yılında Sivas Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümünü kazandı. 1990 yılında Elektrik Bölümünden mezun oldu ve aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1994 yılında bu bölümden mezun oldu ve aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi elektrik Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Programını kazandı. Ocak 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak girdi ve halen bu bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

