

35127

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE DURUM KESTİRİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek. Müh. Yeşim NEMLİOĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Haziran 1993

Tezin Savunulduğu Tarih : 9 Temmuz 1993

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nesrin TARKAN

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Adnan KAYPMAZ

Yrd. Doç. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

TEMMUZ 1993

ÖNSÖZ

Elektrik güç sistemi durum kestirimi modern enerji yönetim sisteminin temel bir uygulamasıdır. Güç sistemi ile kontrol merkezi arasında önemli bir bağlantıdır. Çalışmamın ana konusunu durum kestirimi oluşturmaktadır. Ancak güvenilir sonuçlar elde etmek için, kestirim işleminden önce ve sonra incelenmesi gereken konuları da ele aldım.

Tez çalışmalarım sırasında beni yönlendiren ve her türlü desteği sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Nesrin TARKAN 'a, Yük. Elk. Müh. Alp BATMAN 'a tezimin yazımındaki katkılarından dolayı arkadaşlarım Elek. Müh. Doğan UÇAR 'a, Elekt. Müh. Funda ŞAHİNKAYA 'ya ve sevgili anneme teşekkür ederim.

İstanbul, 1993.

Yeşim NEMLIOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
SUMMARY	vi
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. KONTROL SİSTEMLERİ	3
2.1. Kontrol Sistemlerinin Özellikler	3
2.2. Kontrol Sistemi Tasarım İlkeleri	4
2.3. Kontrol Sistemlerinin Genel Yapısı	6
2.3.1. Kontrol Merkezi	8
2.3.2. Bilgisayar Sistemi	10
2.3.3. Ön - Son Sistemi	10
2.3.4. Uzak Uç Birimleri	11
2.4. Kontrol Sistemi İşlevleri	12
2.5. Veri Tabanı	14
2.5.1. Veri Tabanı Tasarımı	15
2.5.2. Veri Tabanı Özellikleri	16
BÖLÜM 3. DURUM KESTİRİMİ	17
3.1 Gerçek Zaman Kontrolünde Durum Kestirimi	17
3.2. Durum Kestirimi ve Sistem Yapısı Etkileşimi	19
3.3. Ölçü Düzeneklerinin Optimal Seçimi	22
3.4. Ölçüm Hataları ve Modellenmesi	25
BÖLÜM 4. DURUM KESTİRİMİ ALGORİTMALARI	28
4.1. Ağırlıklı En Küçük Kareler (AEKK) Yöntemi	28
4.2. AEKK Yönteminin Normal Denklemlerle Çözümü	33
4.3. Hızlı Ayırıştırıcı Durum Kestirimi Algoritması	35
4.4 Golub Yöntemi ile Çözüm	38
4.5. İki Aşamalı Durum Kestirimi	41
BÖLÜM 5. DURUM KESTİRİMİNDE KÖTÜ VERİ İNCELEMESİ	46
5.1. Kötü Verinin Öncel Filtrelerle Giderilmesi	47
5.2. Kalanlar ve Kalan Duyarlılığı İncelemesi	48
5.3. Kötü Veriyi Bulma	50
5.4. Kötü Veriyi Saptama	51

BÖLÜM 6.	52
6.1 Hızlı Ayrıştırıcı Durum Kestirimi Algoritması	52
6.2 Sayısal Uygulama	55
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	60
EK - 1	63
EK - 2	64
EK - 3	65
ÖZGEÇMİŞ	74



ÖZET

Güç sistemlerinin büyüklüğü ve karmaşıklığı nedeniyle kontrolün bir merkezden yapılması gerekmektedir. Böyle bir merkezin ilk hedefi sistemin güvenli çalışmasını sağlamaktır. Daha sonra ele alınması gereken hedef ise sistemin ekonomik işletimi olacaktır. Bu hedeflerin ışığında kontrol merkezinde gerçekleştirilen bilgisayar programları iki bölümde incelenebilir. Bir bölüm programlar ölçümleri doğrudan doğruya kullanarak, şebekenin durumu hakkında bilgi vermekte, diğer bölüm ise bu programların sonucunu veri olarak kullanmaktadır. İlk gruptaki yazılım programları genelde, incelenen sisteme ilişkin durum kestirimi adı altında toplanabilir.

Durum kestirimi, modern kontrol merkezinin bir parçasıdır ve güvenilir bir veri tabanı oluşturmak için gereklidir. Çok sayıdaki ölçümden sistem durumunun kestirimi, çevrim içi bilgisayar kontrolü ve bilgi işlemede geniş kapsamlı bir problemidir. Eğer durum kestirimi tutarlı, güvenilir, yeterli doğrulukta ve az bir gecikme ile şebeke durumunu yorumlama imkanı verirse, güvenlik gözlemlene ve kontrol daha iyi yapılabilir. Kestirim işleminde şebekeden alınan ölçü değerlerinin önemi büyüktür. Bu nedenle, daha güvenilir sonuçlar elde etmek için kötü veri incelemesi yapılmalıdır.

Bir durum kestirimi algoritmasında olması gereken özellikler güvenilirlik, hız ve hafızada az yer kaplamasıdır. Bu çalışmada belirtilen özellikleri sağlamaya çalışan çeşitli algoritmalar ele alınmış, üstünlük ve sakıncaları karşılaştırılarak hızlı ayrıştırıcı durum kestirimi yöntemini kullanan yeni bir bilgisayar programı gerçekleştirilmiştir. Program, bilinen bir test sistemine uygulanmıştır.

SUMMARY

ELECTRICAL POWER SYSTEM STATE ESTIMATION

The electrical power system, representing generation, transmission, distribution and consumption of electrical energy, is a very advanced and complex process in a modern society. The process is geographically distributed over large areas. The used control system is generally a full scale computerized control system. It consists of four parts :

- Control center : There are many equipment such as color cathode-ray tube, mimic diagram, typewriters, computers, etc. Dual ports connect all hardware to both computers. The ports are switched under software control.

- Computer system : Real time data acquisition and supervisory control require a computer with very fast context switching due to the frequent communication interruptions the application programs require computing power and efficient floating point arithmetic.

- Front - End (FE) system : The FE system unloads the computers by taking care of the process data communications. It also gives easy adaptation to different types of RTUs.

- Remote terminal units (RTUs) : A basic RTU provides data acquisition for status points, momentary and accumulated digital values cyclically.

The effectiveness of power system control and operation planning strongly depends on acquiring and securing the system data. In modern power control system, there are extremely large data volume and complex relationship among them. The complete and reliable knowledge of the system state during normal and disturbed operating conditions is an important prerequisite for the secure and economic supply of electrical energy. The large geographical size of most power systems makes the data acquisition dependent on communication links.

General structure of the central computer concept for system operations can be summarized as follows:

The information defining the present power system state is transmitted via-telemetry systems. The same system sends the control signals to the power system. The supervisory control and data acquisition (SCADA) is the link between the

incoming or outgoing informations and the data base. The operating personal has access to the control system through the man-machine communication.

Security monitoring which is the complete monitoring in real time of the operating conditions of the power system entails the gathering of system data every few seconds and the presentations of operating information to the human operator. These process transform these data into a set of realible data using the following four steps :

- The topology program,
- The observability program,
- The state estimation program,
- The limit check program.

The purpose of the topology program is to determine the actual network topology, on the basis of a static network connectivity description and a set of dynamic circuit breaker statues. The most common approach is to use a tree search algorithm, starting with the formation of the substation configuration and then proceed with the total network configuration.

The objective of the observability analysis is to determine whether a sufficient set of measurements are available to perform the SE. If the network is classified as unobservable, the observability analysis should determine the observable sub-networks and propose pseudo-measurements to re-establish overall observability.

The heart of the security monitoring functions is the state estimation program. It is the process of determining the bus voltage magnitudes and angles from a set of measurements which ordinarily consists of bus voltage magnitudes, real and reactive lineflow powers and real and reactive bus injection powers. If the state estimation can yield a consistent, reliable and sufficiently accurate on-line interpretation of network state within a reasonably short delay, security monitoring control dispatch can be considerably improved.

State estimation consists of three different parts :

- Calculation of state variables from on-line system measurement,
- Detection of bad data in the measurements,
- Indentification of bad data and model structure errors.

The essential qualities required of a state estimation algorithm are :

- Speed : to protect the real-time performance of the software,
- Reliability : aptitude to converge under all circumstances (state of load, topology of the system, configuration of measurements, etc.) towards a plausible solution,

- The accuracy of this solution with reference to the true state,
- The lowest possible memory occupation.

Besides this, it is desirable that the algorithm which process the data be insensitive to extraneous factors, such as rounding errors, resulting from the storage of system parameters and variables in a digital computers memory.

In this method, the non-linear equation relating the measurements are :

$$Z = f(x) + \eta \quad (1)$$

$$E[\eta \eta^T] = R \quad (2)$$

where

Z : vector of measurements,

x : state vector,

η : zero-mean random vector representing the measurement errors,

$f(.)$: non-linear vector function relating the measured quantities and the states,

$E[.]$: expectation operator,

R : covarians matrix of the measurements errors.

The WLS estimator finds the state estimate $\hat{x}$ based on the minimization of the cost function :

$$J = [Z - f(x)]^T R^{-1} [Z - f(x)] \quad (3)$$

To avoid the non-linear equation which results from the necessary condition for a minimum of J , Eq. (1) is linearized with respect to current estimate x_k . The cost function is also modified accordingly. The necessary condition for a minimum :

$$\frac{\partial J}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

yield the following well known normal equation :

$$[H^T R^{-1} H] \Delta x = H^T R^{-1} \Delta z \quad (5)$$

where

$$H = \left. \frac{\partial f(x)}{\partial x} \right|_{x=x_k} = \text{Jacobian matrix}$$

$$\Delta x = x - x_k$$

$$\Delta z = z - f(x_k)$$

These can be solved by Cholesky factorization of $G = H^T R^{-1} H$ and the solution of two triangular systems. But, the WLS algorithm is time consuming as regards computation for relatively large systems. To alleviate this potential problem, some promising methods have been proposed :

Fast decoupled state estimator (FDSE) : This method is a combination of a 'constant gain' and 'P- δ , Q-V decoupling' technique where furthermore, the solution is obtained by interlacing iterations for the active and reactive parts of the non-linear equations.

Golub's method : This method is based on applications of Householder orthogonal transformations on the overdetermined system of equations.

In such systems the quantity of data to be transmitted and the number of equations to be solved are such that processing them by a classic algorithm would oppose real time operation. The hierarchical state estimation method aims to avoid these problems. It consists of decomposing the system into subsystem and applying a two-level procedure them.

The presence of bad data among the measurements processed by a power system state estimator may severely degrade the final estimates. To prevent bad data from reaching the estimator, pre-filters can be used which, when working properly, will reject the most flagrantly erroneous data. Nevertheless, it is to expect that some gross measurements may pass through the pre-filter. The reliable performance of the estimator then requires the use of a technique (detection) to check whether any of such measurements have been processed; if so, an additional procedure (identification) is employed to determine which measurements are spurious. According to the usual bad data processing methods, these observations are removed from the measurement set and a new estimation has to be carried out.

In conclusion, the state estimator program supports the operator by giving a correct network image. The state estimator :

- Compensates the measurements and telemetry errors,
- Detects and marks rough errors,
- Eliminate rough errors,
- Gives hints on errors of topology telemetry,
- Gives warnings in case of flow threshold overflows,
- Complete the set of variables for non-measured values,
- Calculates the most likely power flow, mathematically based upon Newton's least square deviation method combined with a Gaussian elimination in optimized order sparsity technique,

- Calculates all losses,
- Thus creates a safe, complete and consistent data set for the operator's decisions.

The properties needed for a state estimation algorithm is given above. This thesis consists of a few algorithms which have these properties. These algorithms are compared by their advantage and disadvantage and a new computer program which uses fast decoupled state estimation method is written. It is applied to a known test system.



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Elektrik güç sistemleri üretim, iletim, dağıtım birimleri ve yüklerden oluşur. Sistemin en iyi şekilde işletilmesi ve tüketicilerin enerji ihtiyacının karşılanması temel amaçtır. Ayrıca sistemden tüm üretim ve tüketim koşullarına uyum sağlaması beklenmektedir. Güç sisteminin bu nitelikleri sağlaması da ancak bir merkezden kontrol ile mümkün olmaktadır.

Kontrol merkezindeki işletimcinin sorumlulukları üç bölümde toplanabilir :

- Sistem yönetimi ve işletim planlaması,
- Sistem kontrolü,
- Sistem gözlemlenmesi.

Bu işlemlerin yürütülmesi için, şebekenin işletilmesinden sorumlu kişilerin, şebeke hakkında sürekli ve doğru bilgi toplaması gerekir. Güç sisteminin durumu hakkında alınan bilginin nitelikleri kontrol merkezlerinin sahip olduğu olanaklarla orantılıdır. Sayısal elektronik ve yazılım alanındaki gelişmeler, bir taraftan bilgisayar kapasiteleri gittikçe artarken, diğer taraftan fiyatların ucuzlaması kontrol merkezlerinin gelişmesinde önemli rol oynamıştır. Haberleşme ve bilgisayar sistemlerindeki ilerlemeler de, iletişim hatları ile veri iletimine önemli katkılar yapmıştır. Güç sistemi kontrol merkezlerinin sayılarının artması gerçek zamanda veri tabanı oluşturulması için yapılan çalışmalara büyük hız kazandırmıştır. Veri tabanı kavramı ile, geleneksel dosyalama sistemini esas alarak, verinin ileri seviyede işlenmesi ve düzenlenmesi anlaşılmaktadır. Modern güç sistemlerinde veri hacmi ve veriler arasındaki etkileşim yüksek seviyelere ulaşabilmektedir.

Kontrol merkezlerinin yapısını incelerken, bu sistemlere ilişkin donanım ve yazılımın ele alınması gerekir. Yazılım, işletimciye karar vermesi için yardımcı olur ve sistemin gerçek zamandaki durumunu belirler. Yazılımın en önemli fonksiyonu durum kestirimidir. Karakteristikleri ve durumu belli olmayan bir sistemin kontrolü da olanak

dışı olduğundan, kestirim işlemleri kontrol sistemin temel unsurunu oluşturur. Kestirim işleminin görevi tam, tutarlı ve güvenilir verilerle sistemin gerçek durumunu tanımlamaktır.

Tez kapsamında ele alınan gerçek zaman kestirim yöntemleri, elektrik güç sistemlerinin kontrolü sırasında 20 - 30 saniyede bir, kontrol bilgisayarları tarafından görüntülenen programlar topluluğudur. Burada en büyük sorun, programların görüntülenme süresinin kısa olması zorunluluğudur. Diğer taraftan, kestirim programının görüntülenme zamanı, kullanılan bilgisayarın özelliklerinin yanı sıra, kontrol edilen şebekedeki bara ve hat sayıları ile orantılı olarak büyür. Bir güç sisteminin gerçek zaman kontrolüne bağlı olarak çalışacak olan en uygun kestirim yönteminin seçimi şebekelerin büyüklüğüne, ölçü noktalarının adedine, sistem yapısına ve bilgisayarın özelliklerine göre yapılmalıdır.

Kurulmuş ve gerçek zaman kontrolü yapılmakta olan bir şebeke genişletildikçe eklenecek olan yeni ölçü noktalarının seçimi, eski ölçü noktalarının optimal olarak yerlerinin değiştirilmesi, yeni ilavelerde bulunulması veya yeni kurulan bir sistemdeki ölçü noktalarının belirlenmesi bir planlama problemidir. Şebeke durumunun iyi bir kestirimini hesaplamak için, kestirim işleminden önce optimal ölçü takımını belirlemek gerekmektedir.

Sistem yapısının belirlenmesi de, durum kestirimi öncesinde yapılması gereken işlemlerden biridir. Şebekedeki hatların ve baraların serviste olup olmadıkları uzak ölçüm ile belirlenir ve değerlendirilmesi yapılır. Durum kestirimi, bu işlem sonucu bulunmuş sistem yapısını temel alarak, ölçü bilgilerini değerlendirip bara gerilimlerini ve açılarını hesaplar.

BÖLÜM 2

KONTROL SİSTEMLERİ

Elektrik enerjisinin üretimi, iletimi, dağıtımı ve tüketimi işlevlerini yerine getiren güç sistemleri, zaman içinde büyüklük ve karmaşıklık açısından önemli gelişmeler göstermiştir. Hat, alt istasyon, transformatör, anahtar (açıcı, kesici vb) sayısının artması, bunların birlikte çalışması ve birbiriyle olan etkileşimi sistemi daha da karmaşık hale getirmiştir. Güç üretim, iletim ve dağıtım yöntemlerindeki ilerlemeler ve kullanılan donanımın kalitesinin iyileşmesi ile de sistem güvenilirliği ve performansı artmıştır. Bu olumlu gelişmeler, tüm sistemin odaksal bir nokta olan enerji kontrol merkezinden sürekli olarak gözlenmesini zorunlu kılmıştır.

Ölçüm aletlerinin dağınık olması ve kontrol işlevlerinin örgütlenmesi geniş veri toplamayı gerektirmektedir. Eğer düşünülebilir her ölçüm ve kontrol noktası bir merkeze bağlı olsaydı masraf çok yüksek olurdu ve kontrol personeli bilgiyi yeterince değerlendiremezdi. Bu nedenle geniş bir enerji sisteminde işlem, herbiri kendi kontrol elemanına sahip aşamalı (hiyerarşik) kontrol merkezleri ile yönetilir.

2.1. Kontrol Sisteminin Özellikleri

Enerji sisteminin amacı elektrik enerjisini yüksek kaliteli, düşük fiyatlı ve sürekli olarak tüketiciye ulaştırmaktır. Elektrik enerjisinin kalitesi gerilim ve frekansının sabit kalarak kararlılık sağlanmasına bağlıdır. Güç sisteminin çalışma amaçları şu üç başlıkta özetlenebilir:

- Ekonomi,
- Güvenlik,
- Genişleme.

Bu amaçlara ulaşmak için kontrol sistemleri şu özelliklere sahip olmalıdır:

-Çok sayıda dinamik sistem verisi elde etmeli, bunları kontrol merkezine iletmeli, sapmaları bulmak için veriyi incelemeli ve gerekiyorsa işletimciyi uyarmalıdır;

-Güç sisteminin durumu, akım dağılımı ve güç akışı hakkında işletimciyi bilgilendirmelidir;

-Ölçülemeyen değerleri, diğer elde edilebilen ölçümlerden belirlemelidir;

-Üretim birimleri arasındaki dağıtımı hesap edip, ekonomik çözümü bulmalıdır

[1].

2.2 Kontrol Sistemi Tasarım İlkeleri

Standart bir kontrol sistemi ile çok sayıda fonksiyon yerine getirme en önemli işlemdir. Böyle bir sistemi oluşturan kaç adet kontrol seviyesi seçileceği ve yazılım-donanım için temel ilkelerin belirlenmesi en önemli sorundur.

Ekonomik unsurları da gözönünde tutan geniş kapsamlı fizibilite çalışmalarının yapılması kontrol sistemi tasarımında başlangıç noktasıdır. Bu çalışma sırasında güç sistemine ait şu veriler elde edilmelidir [2] :

- Yıllık enerji talebi (MWh), puant yük (MW) ve tüketici sayısı,
- Kurulu güç kapasitesi ile karşılaştırılmış puant güç (MW),
- Alt istasyonların, üretim birimlerinin ve gerilim kademelerinin sayısının belirlenmesi,
- Mevcut iletişim tekniklerinin incelenmesi,
- Yakıt tipleri, tüketimleri ve bağlı masrafları,
- Sistemin işletilmesi için gerekli personelin bilgisinin ve deneyiminin belirlenmesi,
- Güvenilirlik için ele alınan kriterlerin incelenmesi.

Fizibilite çalışmalarının sağladığı yararlar iki gruba ayrılabilir :

1- Ekonomik olarak ifade edilebilenler :

- Şebeke güvenilirliğinin artması,
- Personel masraflarının azalması,

- İşletim masraflarının azalması,
- Daha ekonomik üretim.

2- Somut olarak görülemeyenler :

- Daha iyi yönetim bilgisi,
- Güvenlik incelemesinin gelişmesi,
- Eleman kalitesinin yükselmesi,
- Organizasyonun gelişmesi.

Fizibilite çalışmalarının ikinci adımı bilgisayar yazılım ve donanımının tasarlanmasıdır.

Donanım : Sistemin hesaplama kapasitesi çok sayıda beklenmedik olayın aynı anda meydana gelmesi durumunda yetersiz kalmaktadır. Buna rağmen ekonomik koşullar gözönüne alındığında sistemin boyutu normal yük durumuna göre seçilir.

Her elemanda olduğu gibi bilgisayar sistemi de belirli bir ömüre sahiptir. Bu sürede, piyasadaki donanım gelişmeye devam eder. Yani donanım düzeni, temel kabullerde değişiklik yapmaksızın modern ve daha güçlü ekipman kullanımına izin vermelidir. Donanım elemanlarının seçiminde kıstas alınacak en önemli nokta budur.

Yazılım :Yazılımın tasarımında üretimin etkinliği ve programın bakımı kıstas alınır. Yazılımın bakımı, donanımın bakımından daha önemlidir. Özellikle veri tabanı ve kontrol sistemi uygulamalarının (durum kestirimi, yük tahmini vb.) yazılımı en fazla bakım gerektiren fonksiyonlar olarak kabul edilir. Bu nedenle veri tabanı derleyici, görüntü derleyici gibi kullanıcı programlara ihtiyaç vardır. Bunun yanısıra program sisteminin etkin yürütülebilmesi ve ek fonksiyonlar ile genişletme de çok önemlidir [1].

Programlama genelde yüksek seviyeli dillerde yapılır. Programlama dilinde olması gereken en önemli özellik, yazılımın taşınabilir olmasıdır. Yani program en az çevrim işlemi ile farklı bir donanım sistemine aktarılabilmelidir. Fortran ve Fortran 4 bu şartı sağlayan iki programlama dilidir. Çok önemli ve sık tekrarlanan, tüm sistem kapasitesine yönelik işler için ise makina dili kullanılır.

Bir kontrol sisteminin kullanılması ve programlarının gerçekleştirilmesinden önce maliyetlerin ele alınması gerekir. Maliyetler yatırım ve yıllık bakım masrafları iki başlıkta incelenir. Yatırım masrafları olarak tüm sistemlerin kurulması, bina maliyetleri, kesintisiz güç kaynakları, iletişim sistemi maliyetleri ele alınabilir. Bakım masraflarının ise sistemin toplam maliyetinin %10 ' u mertebesinde olması beklenir.

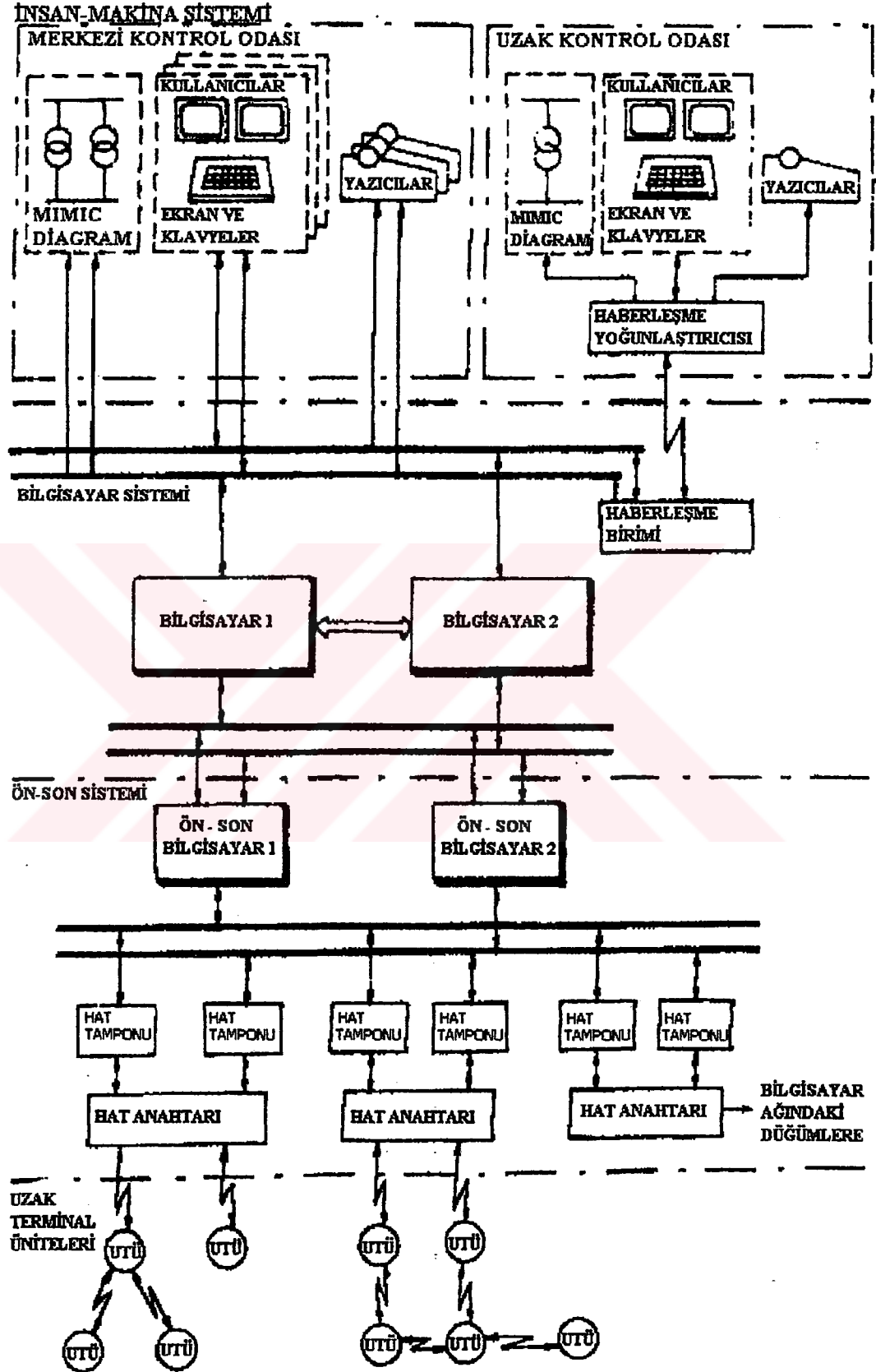
Sistemin ömrü hakkında bir fikre sahip olmadan ekonomik hesapların yapılması mümkün değildir. Sisteme ilişkin elemanların teknik ömürleri için şu değerler öngörülmüştür

- Binalar	40 Yıl
- Bilgisayar sistemi	10 Yıl
- Uzak uç birimleri	20 Yıl
- İletişim sistemi	20 Yıl
- Yazılım	10 Yıl

2.3 Kontrol Sistemlerinin Genel Yapısı

Kontrol sisteminin yapısı, kendi içinde birçok alt birimden oluşması ve bu birimlerin kendi aralarında bağlantılı olması nedeni ile oldukça karmaşıktır. Genelde sistemi dört ana bölümde incelemek mümkündür :

- Kontrol merkezi
- Bilgisayar sistemi
- Baş-son sistemi
- Uzak uç birimleri



Şekil 2.1 Kontrol Sistemlerinin Genel Yapısı

2.3.1 Kontrol Merkezi

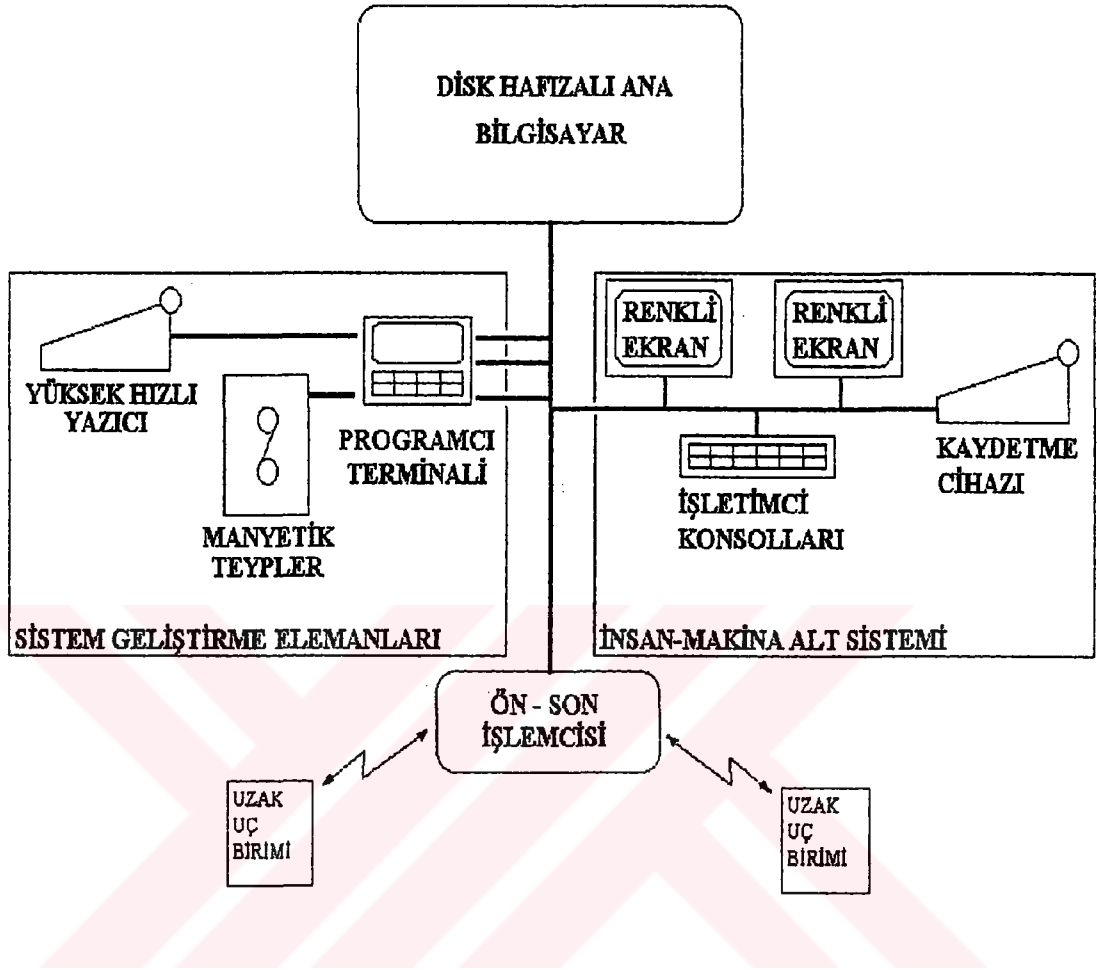
Sistemin aşamalı yapısı içinde kontrol merkezleri iki ana bölüme ayrılır. Ana kontrol merkezi tüm şebekenin işlemlerinden, yerel kontrol merkezi ise ait oldukları bölgedeki şebekenin işlemlerinden sorumludur. Merkezlerin görevleri hakkında ayrıntıya girmeden önce genelde bir kontrol odasında bulunan elemanlar tanıtılacaktır :

- Renkli katot-ışın tüpü (color cathode-ray tube) : Şebekeler, alt istasyonlar, veri özetleri CRT ile temsil edilir.
- Klavyeler : İşleme koşullarını veya sistem parametrelerini değiştirmek, dışarıdan sayısal değerleri girmek için kullanılır.
- Özel fonksiyon klavyeleri : Transformatör ayar uçlarındaki gerilimi yükseltmek veya alçaltmak, hat kapasitelerine bağlı olan anahtarlara kumanda etmek için kullanılır.
- Işıklı kalem kursor : Devre kesicileri ve anahtarlarının açma-kapama gibi işlemler doğrudan CRT ekranda kontrol edilir.
- Alarm lambaları, üretim istasyonları ile iletim istasyonları arasında tahsis edilmiş telefon iletişimi ve komşu kullanıcılara bağlayan genel telefon hatları merkezde kullanılan diğer elemanlardır [3].

Kontrol merkezinde, bu ekipman işletimciler tarafından yönlendirilir. Her işletimcinin masasında bir ile dört arasında ekran ve bir klavye seti bulunur. Bu birimde insan ve makine bir bütün olarak ele alındığı için insan-makine sistemi olarak adlandırılır.

Ana kontrol merkezi : Burada genelde tüm donanımlarıyla 32 bitlik ana bilgisayar ve bir de hatta bağlı olmayan bilgisayar sistemi bulunur. Hatta bağlı olmayan sistem veri tabanı değişikliklerinin ve yazılım gelişmelerinin yapılmasına olanak sağlar; hatta bağlı sistemin güvenliğini ve kullanılabilirliğini artırır. Ana kontrol merkezinin işlevleri şu başlıklarla özetlenebilir:

- Yerel kontrol merkezleri arasında uyumun sağlanması,
- Ekonomik yüklemenin gerçekleştirilmesi,
- Komşu ülkeler ile güç alışverişinin gerçekleştirilmesi,
- Enerjinin kesintisiz olarak sağlanması,



Şekil 2.2 Kontrol Merkezi Yapısı

- Güç sistemine ait tüm verilerin toplanması ve bu verilerin ileride değerlendirilmek üzere saklanması,

- Şebekenin emniyetli çalışıp, çalışmadığının gözlenmesi.

Yerel kontrol merkezleri : 16 bitlik iki bilgisayar bulunur; işlevleri şunlardır :

- Ana kontrol merkezinden gelen tüm isteklerin gerçekleştirilmesi,

- Bara gerilimlerinin kontrol edilmesi,

- Beklenmedik durumlarda gereken kararın verilmesi,

- Uzak uç birimlerinin kontrolü [4].

Modern kontrol sistemlerinde yerel kontrol merkezlerine bağılı olarak çalışan uzak kontrol merkezleri de bulunmaktadır. Bu birimlerin görevi güç istasyonlarından gerekli veriyi almak ve bir üst düzeydeki kontrol merkezinden gelen emirleri yerine getirmektir.

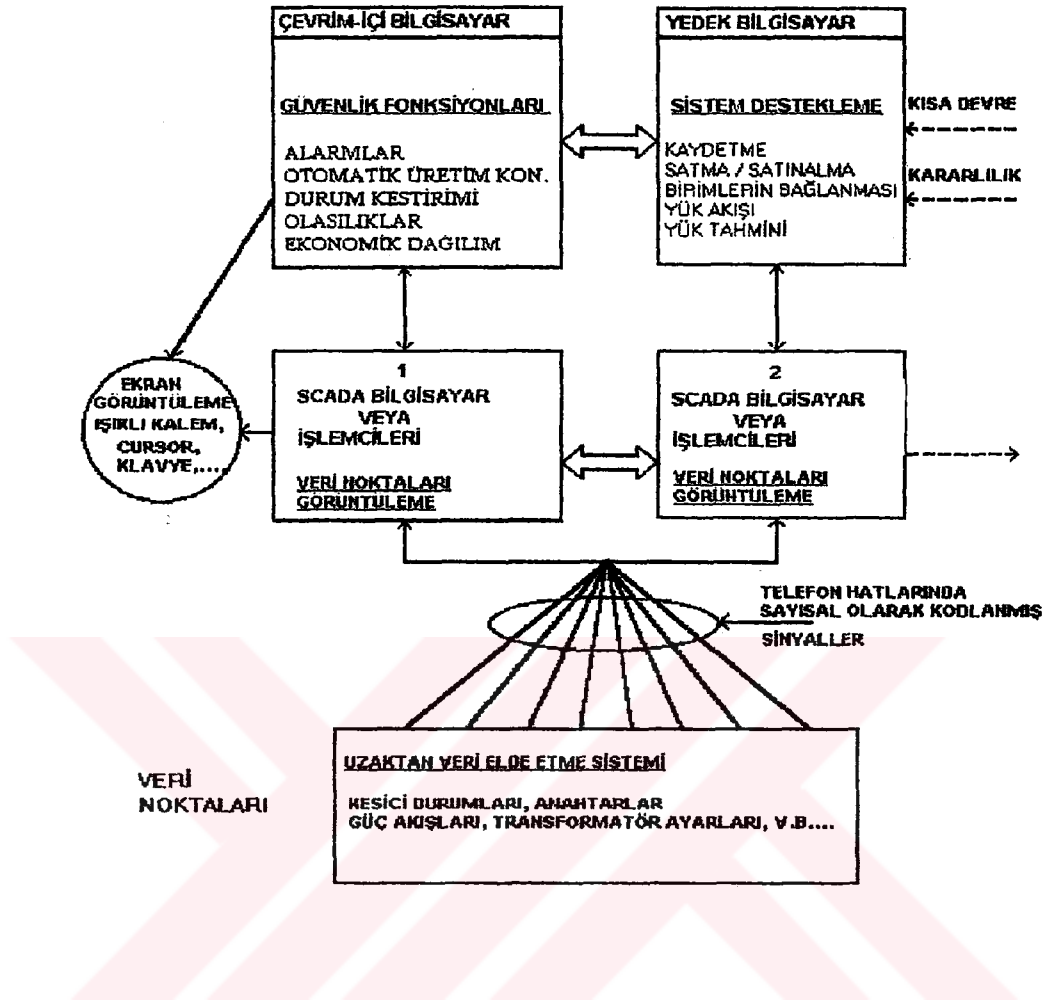
2.3.2 Bilgisayar Sistemi

Kontrol merkezlerinde birbirleriyle bağlantılı olarak çalışan çok sayıda bilgisayar bulunması gerekmektedir. Çok sayıda verinin hızlı olarak incelenmesi, işlenmesi ve gerektiğinde saklanması ancak hızlı çalışan ve yüksek hafızaya sahip bilgisayarlarla gerçekleştirilebilir. Sistemin kontrolü çift bilgisayar ile sağlanır. Her iki bilgisayarın da ayrı hafızası vardır ve çok sayıda yazıcı, teleks, magnetik teyp sürücüsü, disk gibi giriş, çıkış cihazlarını sürerler. Genelde bilgisayarlardan biri (on-line computer, çevrim içi bilgisayar) sistemin gözlemlenmesi ve kontrolünü yürütür. Yedekteki ise yük tahmini, hidro-termal dağıtım gibi işleri yerine getirir. Çevrim içi bilgisayar, iki bilgisayar tarafından paylaşılan disk hafızasını periyodik olarak yeniler. Dijital bilgisayarlar enerji kesilmesinde sabit devirli işlem modunda kullanılırlar. Çok önemli fonksiyonlar en hızlı ekran devrine sahiptir. Her iki dakikada bir şu noktalar görüntülenir:

- Tüm durum noktaları : anahtar durumları(açık veya kapalı), alt istasyon yükleri, gerilimleri, transformatör ayar durumları, kapasite grupları gibi,
- Hat güç akışları,
- Dijital bilgisayar ile uzak ekipman arasında iki taraflı iletişim hatlarındaki veri hatalarını incelemek için uzaktan ölçüm sisteminin (telemetry system) denetlenmesi [1], [3].

2.3.3 Ön-Son (FRONT-END) Sistemi

Ön-son sistemi, işlem veri iletişimini üstlenerek bilgisayarların yükünü hafifletir. Farklı türdeki uzak uç birimlerinin adaptasyonunu kolaylaştırır. Akım veri iletişim ağı, bilgisayar sistemi tarafından belirlenir ve uygun kontrol tabloları ön-son sistemine gönderilir. Seçilecek veri miktarına ve ön-son sisteminin fonksiyonlarına bağlı



Şekil 2.3 İkili Bilgisayar Sisteminin Blok Diyagramı

olarak ikili mini veya mikro bilgisayar kullanılabilir. Herbiri veri iletişim hat çifti için iki hat tamponu vardır. Tamponlar, farklı ön-son bilgisayara bağlıdır. Ön-son sistemi bilgisayarlarından biri veri ve bir hat tamponu arızalanırsa, etkilenen hat çiftteki diğer hat tamponuna geçirilir.

2.3.4 Uzak Uç Birimleri

Temel bir uzak uç birimi, durum ve analog değerlerin değişiminde, anlık ve biriktirilmiş dijital değerlerden durum noktaları için veri elde etmeyi sağlar. En gelişmiş uzak uç birimlerinin yapabildiği işlemlerden bazıları şunlardır:

- Analog değerler için ölü bant gözlemleme. Yalnızca değişiklikler ölü bantı aştığı zaman değerler iletilir. Bu işlem iletişim sisteminin yükünü azaltır.

- Bir yazıcıya yerel kaydetme,
- İletişim hattı yolu ile merkezi kontrol sistemi ile zaman senkronizasyonu,
- Gelişmiş mikrobilgisayar kontrolcöleri ile iletişim [1].

2.4 Kontrol Sistemi İşlevleri

Kontrol sistemi işlevleri yapısal olarak ikiye ayrılır. Bunlardan ilki kontrol merkezlerinin birbiri ile bağlantısını sağlayan iç işlevlerdir. Mesajların bir merkezden diğerine iletilmesi, hatların bu amaçla kullanılmasında izlenen protokol ilk gruba örnektir. İkinci grup ise uygulamaya yöneliktir. Bu grup şu başlıklarla özetlenebilir :

- Veri toplama, kaydetme ve hatalı veri önleme :

Her işlevin temeli, gerçek zamanda ölçüm yapan cihazlarla şebekedeki noktalardan okunan güvenilir bir veri tabanı elde edilmesine dayanır. Güç sisteminin durumunun izlenmesi ve yeni duruma göre kontrolün yapılması için verilerin belirli periyodlarla yenilenmesi gerekir. Beklenenden daha büyük ölçümler ve iletişim hataları, hatalı veri okunmasına yol açar. Bunların önlenmesi de kontrol sisteminin işlevidir.

- Durum Kestirimi :

Durum kestirimi, aktif ve reaktif hat güç akışları, yine aktif ve reaktif bara güçlerini içeren ölçüler topluluğundan bara gerilim genliklerinin ve açılarının belirlenmesi işlemidir. Durum kestirimi teknikleri en geniş kapsamlı statik ve dinamik olarak ikiye ayrılabilir. Statik yöntemde sistem sürekli durumda olmamasına rağmen, kısa zaman aralıklarında sürekli durumda olduğu kabul edilir. Bu yaklaşım, sistem düşük frekans bozulmalarına maruz kalıyorsa geçerlidir. Dinamik durum kestiriminde sistemdeki elemanların dinamiği gözönüne alınır.

- Yük Tahmini :

Uzun dönemde yeni yerleşim alanları ve şebeke genişlemesi tüketici isteğinin en büyük değerine bağlıdır. Kısa dönemde ise gerekli çıkış uyarılarının güç istasyonuna verilmesi için sistem yükünün değişimi bilinmelidir. İstasyonun ekonomik çalışma ve durma programı tahmini şebeke yüküne bağlıdır.

Tüketici yükü temelde kontrol edilemez. Ancak küçük değişimlere frekans kontrolü ile etki edilebilir. Yük değişimi günlük ve yıllık olarak belirli tekrarlar gösterir. Bundan yola çıkarak yük tahmin teknikleri geliştirilmiştir.

- Birimlerin Bağlanması :

Sistemdeki toplam yük, kullanılan endüstriyel ve aydınlatma yükleri nedeniyle gün boyu ve gecenin ilk saatlerinde yüksektir. Buna karşın gece geç ve sabah çok erken saatlerde yük azdır. Yine hafta sonu elektrik enerjisi kullanımı azalmaktadır. Yük talebinde görülen değişikliklere göre yeterli kapasitede üretim birimi şebekeye bağlanmalıdır. Böylece elektrik enerjisi üretiminde ekonomiklik sağlanır.

- Güvenilirlik İncelemesi ve Kontrol :

Güç sisteminde güvenilirlik incelemesinin amacı mümkün olan en düşük maliyetle, olabilecek bir tehlikeden kaçınmaktır. Kontrol merkezlerinin tasarımı sistem güvenilirliğinin gözönüne alınmasından büyük ölçüde etkilenir.

- Bakım Programı :

Sistemin güvenli ve sürekli çalışması için genelde elle yapılan bakımın periyodu bir hafta ile altı ay arasında değişmektedir[5].

- Frekans kontrolü, ekonomik iletim ve enerji değişimi :

Generatör regülatörleri yük ve üretim arasında temel dengeyi sağlar. Ancak üretim masraflarını en küçük değere düşürmek ve en azından en büyük birimin kayıplarını karşılayacak yedeği sağlamak için sistem koordinasyonu gereklidir. Çok küçük güç sistemlerinde, bir güç istasyonunun diğerleri ile bağlantısı telefon iletişimi ile sağlanır. Generatör sayısı artarsa iletişim zorlaşır. Sistemin gelişmesi ile telefon bağlantısı yetersiz kalır ve en azından üretim aşamasında uzaktan ölçüm (telemetry) gerekli olur. Enterkonnekte sistemlerde ise güç değişiminin boyutlarına bağlı olarak otomatik sistem kontrolü esastır. Tüm sistemlerde frekans en küçük dalgalanma ile en az değişimi göstermelidir.

- Sistem gerilim kontrolü

Generatör gerilimleri, transformatör ayarları ve her aşamada şebeke gerilimlerinin kesintisiz olması gereken reaktif yerler, tüketici gerilimini sürdürmek için ayarlanır. Bu düzenleme kesilmelere karşı koymak için yeterli yedeği sağlamalıdır. Aynı zamanda sistem kayıplarının en küçük değerde tutmayı amaçlar. Büyük enterkonnekte sistemlerde gerilim, en küçük dalgalanma ile hedef değerde tutulmalıdır [2].

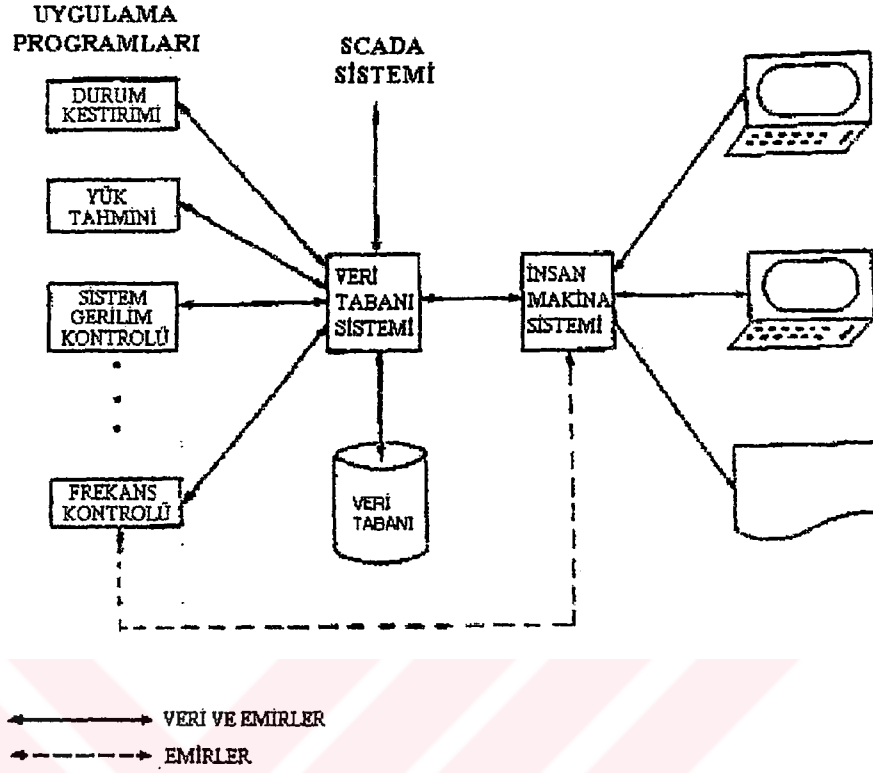
2.5. Veri Tabanı

Modern güç sistemlerinin kontrolünün ve çalışma planlamasının etkinliği büyük ölçüde sistem verilerinin elde edilmesi ve saklanmasıyla bağlıdır. Veri tabanı, bilgisayar sisteminde veri yönetimi ve organizasyonunun ileri bir aşamasıdır; çok bilinen dosya sistemine dayanmaktadır. Şekil 2.4' de bilgisayar sistemi ile veri tabanı bağlantısı görülmektedir. Güç sisteminden alınan bilgi iletişim sistemi ile kontrol merkezine iletilir. Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) - [Denetimsel kontrol ve veri elde etme] gelen veya giden bilgi ile veri tabanı arasındaki bağlantıdır. Kontrol sistemi uygulamaları işletimciye karar vermesi için yardımcı olur. Bu sistemin en önemli işlevi, güç sisteminin gerçek zamandaki durumunu belirlemesidir.

SCADA güç sisteminde elektrik enerjisinin üretiminin ve iletiminin kontrolü ve gözlemlenmesi işlemlerini kolaylaştırır. Güç sisteminin sınır değerlerine yakın çalışabilmesini sağlar. Uzak uç birimlerinde toplanan veri alt istasyonlara iletilir. Bu alt istasyonlara ilişkin veri tabanı, doğrudan hatta bağlı veri elde etme sistemi tarafından yenilenir [6].

SCADA sisteminin temel işlevleri :

- Gözlemlleme : Önemli kesicilerin durumları, yükleri ve şebeke gerilim yapısı gözlenerek kontrol merkezine iletilir.
- Kontrol : Bir işletimci uzaktan ekipmanı çalıştırabilir veya konumunu değiştirebilir.
- Hata Belirleme : Güç sisteminin kendindeki veya kontrol sistemindeki hatalar bulunabilir.
- Bozucu durumda sistem yeniden düzenlenebilir [2].



Şekil 2.4 Bilgisayar Sistemi - Veri Tabanı Bağlantısı

2.5.1 Veri Tabanı Tasarımı

Veri tabanı tasarımında kontrol sistemi yapısını göz önünde bulundurmak gerekir. Bu nedenle, farklı yazılım ve donanımlara sahip kullanıcılara uymak ve sistem genişlemesini sağlamak için veri tabanında düzey yapısı incelenmelidir. İkinci olarak, kontrol sistemi uygulama programları fonksiyonlarına ve programlar tarafından kullanılan veri sayısına göre bölümlere ayrılmalıdır.

Bir başka özellik de veri tabanını üç işlevsel parçaya ayırmaktır. Bunlar erişim, bakım ve ürettir. Erişim, veri tabanı tasarımı için en temel olandır. Kullanıcı programlar hızlı bir şekilde veriye ulaşmalıdır. Günlük ölçme, silme, listeleme vb. için gereken bakım genelde insan-makina sistemi tarafından gerçekleştirilir. Üretim, farklı kullanıcılar için tek olarak tasarlanabilir ve ortak mini bilgisayar kontrol sisteminde çevrim dışındaki çevrede oluşturulur.

2.5.2 Veri Tabanının Özellikleri

Ortak verileri kullanan birimlerin yönetimi için veri tabanı şu özelliklere sahip olmalıdır :

- Uygulama programları veri yapısından bağımsız olmalıdır. Her veri tabanında olan tüm verilere kullanıcı programlar tarafından doğrudan ulaşılamayabilir; ancak veri ilişkileri yolu ile dolaylı olarak erişilebilir. Veride yapılacak herhangi bir değişiklik kullanıcı programların değişmesine neden olmaz.

- Ölçüm fazlalığını azaltmalıdır. Sistemin fiziksel niteliklerini tanımlayan veriler, veri tabanında belirli aralıklarla düzenlenirler; dosya sisteminde olduğu gibi tekrarlanmazlar. Bu yöntem tekrarlanan verileri azaltır; veri yenilenmesini ve erişilmesini kolaylaştırır.

- Veriler yanlış yenilenmeye ve kaybolmaya karşı korunmalıdır.

- Gerçek zamanda çalışmada hızlı yanıt vermelidir. Veri tabanının karmaşık işlevi ve yapısı, fazla sistem gideri ve erişim zamanı gerektirir. Bu istenmeyen durum ortadan kaldırılmalıdır.

- Kolay genişlemeye olanak vermelidir. Bir taraftan yeni veriler ve bunlar arasındaki ilişkiler veri tabanına eklenirken, diğer taraftan gerçek zaman veri tabanının kendi içinde düzenlenmiş birçok alt sistemden oluşması gerekir [7].

BÖLÜM 3

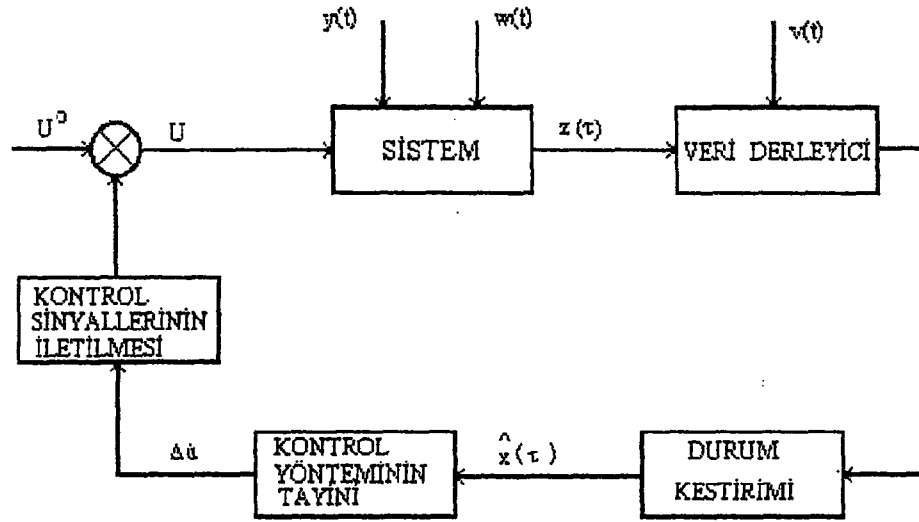
DURUM KESTİRİMİ

Durum kestirimi, modern enerji kontrol sisteminin temel bir işlevidir. Gerilim genlikleri, aktif ve reaktif hat ve bara güçlerinden oluşan ölçüm değerlerinden bara gerilim genlikleri ve açılarının hesaplanması işlemidir. Durum kestirimci gerçek zamanda birbirini tutan ve güvenilir bir veri tabanı oluşturur; uzak sinyallerin ve ölçümlerin tüm sistemi gözleyecek şekilde alınmasını sağlar. Veri göstericisi, dağıtım merkezleri ile veri değişimi, kısa dönem güvenlik hesapları gibi çevrim içi işlevlerin de çoğunun yeterli çalışması için temel tesisi oluşturur. Durum kestirimcinin sağladığı yararlar yalnızca gerçek zamanla sınırlanamaz. Yazılım alanında çevrim dışını belirler ve uzak ölçümleri gerçekleştirmek için belli bir yöntem oluşturur. Durum kestirimci olmazsa, yapılacak ölçüm sayısının seçimi, yerleşim ve uzak ölçümlerin yapısı sorumlu personelin deneyimi ile belirlenir.

Statik durum kestirimi, yaygın olarak yapılan güç akışı hesapları ile bağlantılıdır. Durum kestirimci gerçek zamanda uzak ölçümleri kullanarak gerçek sistem için çevrim içi güç akışı ile birlikte birçok belirsizliği elde etmek için tasarlanır. Ölçümleri etkileyen çeşitli unsurlar nedeni ile belirsizlikler artar. Bu belirsizlikler, sistem planlaması için planlama merkezinde yapılan genel güç akışı çalışmaları ile kontrol sisteminin bir bölümü olarak yapılan çevrim içi kestirim arasında büyük farklara yol açar [8].

3.1 Gerçek Zaman Kontrolünde Durum Kestirimi

Kestirim işleminin gerçek zaman kontrolündeki yerini saptamak ve diğer programlarla olan ilişkisini incelemek için örnek bir kontrol sistemi şekil 3.1' de verilmiştir. Gerçek zaman kontrol işlemleri, ölçüler almak, alınan ölçümleri değerlendirerek sistemin durumunu kestirmek, bu durumu göz önüne alarak kontrol yöntemini tayin etmek ve kontrol sinyallerini sisteme iletmek gibi dört ana bölümde toplanabilir. Elektrik enerji sistemleri için şekil 3.1' de :



Şekil 3-1 Kontrol İşlemleri

$y(t)$ sistemdeki yük değişmelerini,

$w(t)$ sistemin etkilendiği rastgele bozucuları,

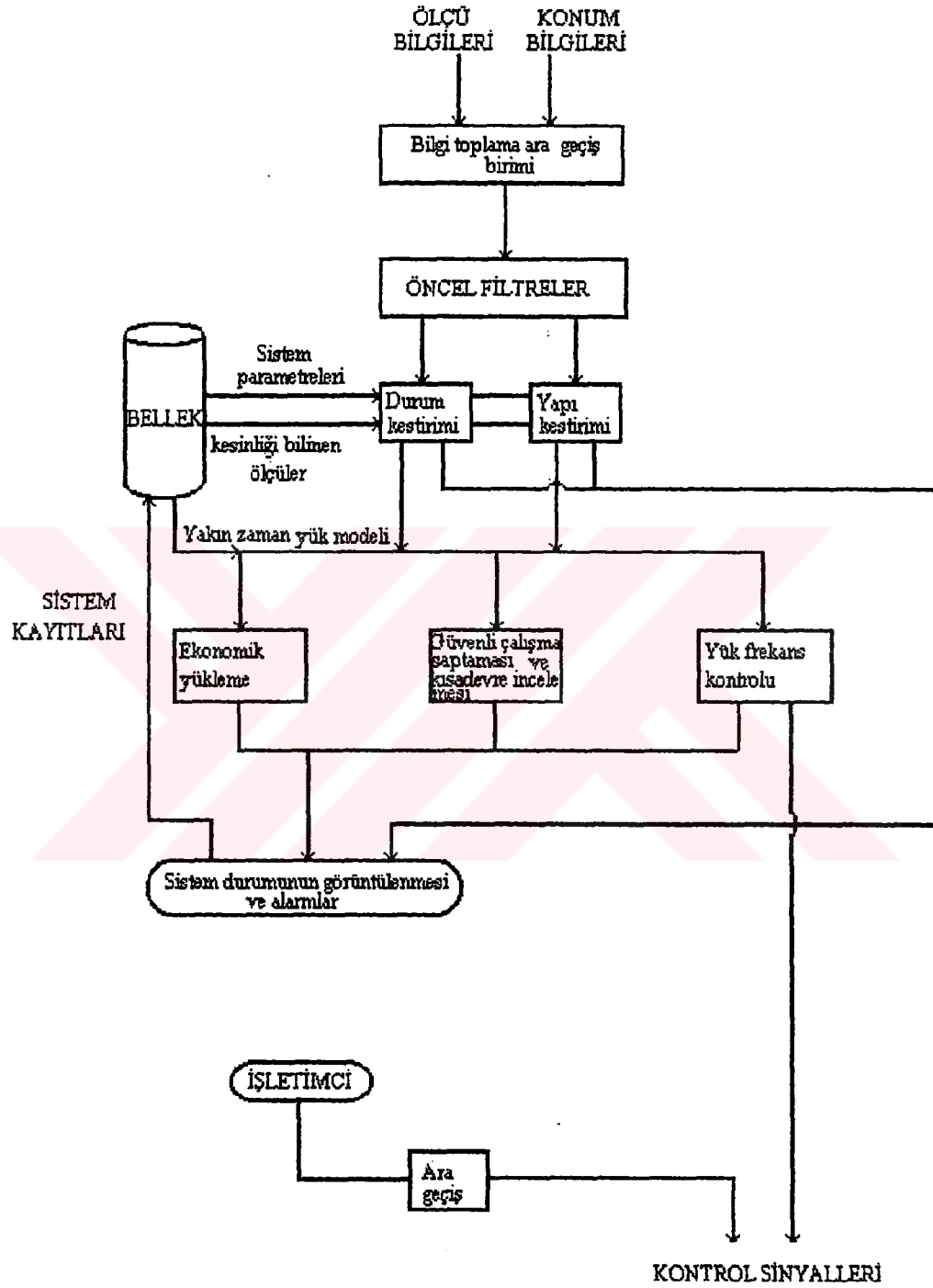
$z(\tau)$ toplana ölçü ve sinyallerin tümünü,

$v(t)$ veri derlenmesi ve iletimi süresinde ortaya çıkan hataları ve bozucuları,

$\hat{x}(\tau)$ sistemin kestirilmiş durumunu,

Δu sistemin kontrol edilebilen değişkenlerindeki, yeni duruma en iyi şekilde uyabilmek için gereken değişimleri gösterir.

Kontrol bilgisayarları ile durum kestirimi ve kontrol yönteminin seçimi şekil 3.2' de görülmektedir. Sistemden toplanan verilerden çok fazla hatalı olanlar öncel filtreler tarafından ayıklanır. Sonra geri kalanlar yardımı ile, kesinliği önceden bilinen değerleri de kullanarak sistem durumunun ve yapısının kestirimi yapılır. Bu kestirimin sonuçları hem kontrol programlarının hem de görüntüleme sisteminin verilerini oluşturur [9].



Şekil 3-2 Genel Bir Gerçek Zaman Kontrol Şeması

3.2 Durum Kestirimi ve Sistem Yapısı Etkileşimi

Gerçek zaman kontrolü içinde, şebeke yapısının tanımı kesici ve ayırıcılardan alınan konum bilgileri yardımı ile devamlı olarak yenilenir. Gerçek zamanda, sistem yapısı dinamiklidir. Anahtarlar herhangi bir zamanda çalışırlar ve şebeke yapısında şu değişiklikleri yaratabilirler:

- Kesiciler şebekeye bağlanmayabilir,
- Alt istasyonlar yeni düğümler oluşturacak şekilde ayrılabilirler. Böylece sistemdeki toplam düğüm sayısı değişir;
- Bir interkonekte sistem birkaç ayrı bölüme ayrılabilir.

Eğer hazırlıklar gerçek zamanda otomatik olarak yapılmazsa, kesicilerin çalışmasının sistem yapısı üzerine etkileri ve hatalı yapıya dayanan hesaplamaları tehlikeli olabilir. Durum kestiriminde, sistem yapısının tanımı temel olarak alındığından hatalı bir yapı sinyalinin kestirim üzerine olan kötü etkisi büyüktür. Bu nedenle, yapı sinyallerinin ölçülerle olan uygunluğunu kontrol eden bir takım yöntemler geliştirilmiştir [10].

Şebekedeki araçların yerleşimi ancak yenilenme ve ilavelerle çok seyrek olarak değişirken, şebeke yapısı çok hızlı değişmektedir. Hatların ve transformatörlerin statik ve dinamik yapısı temel yer verileri ile bilinmektedir. Ancak tek tek elmanların bağlantıları sabit değildir. Eğer tüm yapı değişiklikleri kaydedilirse varolan şebeke yapısı ile bağlantıda güçlük çıkar. Bilgisayar ile yapılan uzak ölçümler ve kontrol mekanizması şebekede oluşan hatalardan tümüyle bağımsızdır. Durum değişikliği ortadan kalktıktan sonra bilgisayar değişikliği algılar.

Şebeke yapısını belirlemek için, güç sistemi iletim elemanlarını, baraları, generatörleri ve yükleri modellemeyi amaçlayan algoritmalar geliştirilmiştir. Değişen ölçümleri alt programlara gecikmesiz iletmek için algoritmaların çalışması hızlı olmalıdır.

Alt istasyonlarda yapıyı belirlemek için, tek gerilim kademesinin olduğu ve transformatör ya da iletim hattının olmadığı kabul edilir. Sistemdeki tüm elemanlar isimlendirilir. Her alt istasyon için bir bağlantı vektörü tanımlanır. Sistemdeki her alt istasyonda yapı şu aşamalarla belirlenir :

- İşleme, alt istasyonlarda aynı sayıda sistem bağlantı vektörü ile başlanır, 1,2,...,Ns.

- Her hat için uç düğümleri belirlenir : i, j. m, en küçük numaralı düğüm saptanır ve bağlantı vektörüne atanır.

- Eğer her hat için bu işlem yapıldıktan sonra bağlantı vektörü değişir ise 2. adım tekrarlanır. Aksi halde bağlantı vektörü son durumu temsil ediyor demektir.

Yapı belirleme işleminin çıkışı, hat empedansları ile düğüm bağlantı bilgilerinden oluşur [5].

Aşağıda konu hakkında fikir vermek açısından bir yöntem tanıtılacaktır. Bu yöntem yanlış veri görünümünde olan ölçüleri ve yapı sinyallerini önceden belirler. Algoritma şu iki gerçeği temel alır :

1) Düğüm noktasına giren güçlerin toplamı sıfırdır.

2) Kayıpsız bir sistemde, şebekeye verilen net güç sıfırdır. (Yani şebekeyi temsil eden bütün düğüm noktalarına verilen güçlerin toplamı sıfırdır.)

Yöntemde üç adet kare matris belirlenir. n, sistemdeki düğüm (bara) sayısı olmak üzere, herbiri $n \times n$ boyutludur. F, simetrik olmayan akış matrisidir; şebekede yapılan ölçümler matrisin elemanlarını oluşturur.

$$f_{ij} = \begin{cases} \text{i. düğümden, j. düğüme} & \text{akan} & \text{toplamlıgüç,} & i \neq j \\ \text{i. düğümdeki} & \text{toplamlıgüç} & & i = j \\ 0 & & \text{diğer} & \text{durumlarda} \end{cases} \quad (3.1)$$

İkinci kare matris olan E matrisi hata gösterge matrisi olarak isimlendirilir. e_{ij} elemanları, f_{ij} ölçümlerindeki hata olasılığını gösterir. Başlangıçta tüm i, j'ler için $e_{ij} = \text{DOĞRU}$ kabul edilir. Yöntem sonra E matrisini yeniler.

$$e_{ij} = \begin{cases} \text{DOĞRU} & \text{ise } f_{ij} \text{ ölçümünde hata olabilir,} \\ \text{YANLIŞ} & \text{ise } f_{ij} \text{ hatasız kabul edilir.} \end{cases} \quad (3.2)$$

C matrisi ise bağlantı matrisidir; simetriktir.

$$C_{ij} = \begin{cases} \text{DOĞRU} & i = j \text{ veya } i \text{ ve } j \text{ düğümleri arasında bir dal varsa,} \\ \text{YANLIŞ} & \text{diğer durumlarda.} \end{cases} \quad (3.3)$$

j. düğüme net güç akışı $\sum_i f_{ij}$ ifadesi ile verilir. Bu durumda

$$\left| \sum_i f_{ij} \right| < d_j \quad (3.4)$$

testi yapılan, yapılan f_{ij} ölçümlerinin güvenilirliğini inceler. Burada d_j ölçü gürültülerine ve iletim kayıplarına tanınan toleransı temsil eden sıfırdan büyük bir sayıdır. Eğer tüm ölçümler kabul edilebilir ise E matrisinin tüm elemanları YANLIŞ değerini alır [11].

$$e_{ij} = e_{ji} = \text{YANLIŞ}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.5a)$$

$$e_{ii} = \text{YANLIŞ}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.5b)$$

3.3 Ölçü Düzeneginin Optimal Seçimi

Güç sistemi durum kestirimi hesaplarında genelde ölçüm sayısı, dolayısıyla ölçü aleti sayısı çok fazladır. Ölçü düzeneginin güvenilir tasarımı zaman alıcı bir sorundur. Ölçü düzenegi sayı, tip ve yerleşim olarak yetersizse tahminlerin doğruluğu azalır ve sistem gözlenemez olabilir. Kritik olarak gözlenebilse de, sistemin bazı bölümlerindeki ölçüm fazlalığı gittikçe azalır ve bu bölümler de gözlenemez olur. Diğer taraftan, çok aşırı sayıda ölçüm kullanılırsa, ölçü düzenegi ve iletişim sistemi için yapılan yatırım ile kestirim hesapları için geçen süre gereksizce artar [12].

Bir güç sisteminde durum kestirimi için iyi bir ölçü düzenegi seçilmesinin amaçları şunlardır :

- Sınırlı sayıda ölçümle şebeke durumunun iyi bir kestirimini hesaplamak,
- Ölçüm sisteminden gelen kötü verileri bulabilmek,
- Bazı ölçümler kaybolursa bile güvenilir bir durum kestirimi elde etmek,
- Ölçü ve iletişim sistemi için yapılan yatırım masraflarını incelemek.

Bugüne kadar konuyla ilgili birçok çözüm önerilmiştir. Bu algoritmalarda ölçü düzenegi tasarımı için kestirim kovariansı, durum numarası, güvenilirlik gibi farklı kriterler kullanılmıştır. Koglin teoride hem teknik, hem de ekonomiyi gözönünde

tutarak optimal çözümü bulmaya çalışan daha genel bir algoritma geliştirmiştir. Optimizasyon, şebekede mümkün olan ölçümlerin sistemli olarak yok edilmesine dayanır. Daha sonra Handschin, Bongers, Fetzer, Andersom vb. farklı kriterleri kullanan optimal çözüm yöntemleri geliştirmişlerdir. Ancak temel olması nedeniyle Koglin'nin algoritması burada ele alınacaktır.

Durum kestirimi problemi verilen bir ölçüm takımı için çözülür. Farklı ölçü değerlerine dayanarak yapılan kestirim sonuçlarını karşılaştırmak için, hangi ölçü değerlerinin daha iyi veya kötü olduğunu söyleyecek bir kriter gerektirir. Bu amaçla Koglin, durum vektörü x 'in bir fonksiyonu olan y vektörünü tanımlamıştır.

$$y=f(x) \quad (3.6)$$

Ölçü düzeninin optimizasyonu için kullanılan kriter, ilgili büyüklüklerin varsiansının ağırlıklı ortalama değeridir.

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^I \frac{\sigma_i^2}{\beta_i^2} \right\} \quad (3.7)$$

Burada :

σ_i^2 : y vektörünün i . elemanının kestirilmiş varsiansıdır.

β_i^2 : y vektörünün i . elemanı için sınır doğruluğunu belirler.

I : Kullanılan büyüklüklerin toplam sayısıdır.

(3.7) eşitliği, her bileşenin kestirilmiş varsiansı σ_i^2 ' nin belirlenen doğruluk β_i^2 ' den küçük veya eşit olması kısıtlaması altında minimize edilir.

$$\sigma_i^2 \leq \beta_i^2 \quad i=1,2,\dots,I \quad (3.8)$$

Optimizasyon, şebekede mümkün olan tüm durumlardaki ölçümlerden başlayarak, ölçümlerin sistemli olarak elenmesine dayanır. Algoritmanın verilen bir adımında, (3.7) kriteri hesaplanır ve kısıtlayıcı kriter (3.8) kontrol edilir. (3.7) kriterinde en az artmayı veren ve kısıtlayıcı denklemine uymayan ölçüm sistemden çıkarılır. Algoritmanın sonraki adımında bu ölçüm değeri hesaplara katılmaz. Kısıtlayıcı denklemine uymayan ölçümlerin optimal ölçü takımına ait olduğu kabul edilir. Eleme işlemi, tüm ölçümler kısıtlayıcı denkleme uymadığı zaman veya ölçüm sayısı belirlenen en az değere indiği zaman durdurulur.

Bu optimizasyon yönteminde hesaplamalar uzun zaman gerektirir ve küresel optimumu garanti etmez. Çünkü elenen ölçümler arasında mümkün olan etkileşimler ihmal edilmektedir. Optimizasyon, ekonomik kısıtlamaları da göz önüne almalıdır. Bu, (3.7) eşitliğindeki maliyet fonksiyonu ve (3.8) ifadesindeki teknik kısıtlamalar kullanılarak yapılır.

Ölçü kayıplarını, kötü verilerini bulmak ve hesaplama zamanını azaltmak için yöntemin geliştirilmesi gerekmektedir. Geliştirilmiş algoritmanın üç adımı vardır. Bunlardan ilki Koglin'in ilk algoritmasının uygulamasıdır. İkinci adımda belirli sayıdaki fazla ölçümler, aynı yoketme yöntemi kullanılarak, sistemden çıkarılır. Üçüncü adımda ise belirlenen fazla ölçümleri aşmaksızın yeni ölçümler sisteme katılır. Geliştirilen programın dört temel adımı vardır :

- 1- Yukarıda tanımlandığı gibi optimizasyon yapılması,
- 2- Verilen ölçüm sistemi ve şebeke yapısı için sistem matrislerinin oluşturulması,
- 3- Verilen ölçüm vektöründen durum kestiriminin yapılması. Bu aşamada, aynı zamanda y vektöründe hesaplanır.
- 4- Ölçüm vektörlerini oluşturan şebeke ve ölçüm modeli elde edilir.

Optimal ölçü düzeneğinin belirlenmesine etkiyen unsurlar aşağıda incelenecektir.

Farklı Kestirim Yöntemleri : Kestirim algoritmalarının etkisini incelemek için temel AEKK yöntemi ve dönüşüm yöntemi uygulanmıştır. Eğer bir iletim hattının başındaki ve sonundaki güç değerleri eşit alınırsa iki grup optimal ölçü değerleri arasında %5 - %10 fark vardır. Kullanılan kestirim yönteminin optimal ölçü düzeneği seçiminde belirleyici olduğu söylenebilir. Ancak yalnızca küçük farklar söz konusu ise düzenin tasarımında kestirim yöntemi temel değildir.

Yük Durumunun Etkisi : Güç sisteminin lineer olmayan karakteristikleri nedeni ile optimal ölçü düzeni seçiminin yük durumuna bağlı olması beklenir. Ancak farklı yüklerle yapılan değerler göstermiştir ki şebekenin yük durumundaki değişiklikler optimal seçime çok az etkimektedir.

Şebeke Yapısındaki Değişikliklerin Etkisi : Şebeke yapısındaki değişiklikler büyük ölçüde optimal seçime etkimektedir. Sık görülen yapı değişiklikleri hesaba katılmalıdır ve yeterli gözlenebilirliği sağlamak için bazı yeni ölçümler sisteme eklenmelidir.

Sonuç olarak denilebilir ki optimal ölçüm düzeni kullanımı ile durum kestiriminde bulunan güçlerin standart sapması yaklaşık %50 azalır [13]

3.4 Ölçüm Hataları ve Modellenmesi

Yapılan ölçümler merkezi kontrol sistemine gerçek zamanda iletilir. Zölçüm , bilgisayara girilen ölçüm değerlerinden oluşan vektörü, Z_{ideal} ise hiç hata olmadığı durumdaki ölçüm vektörünü belirtmek üzere ;

$$Z_{ölçüm} = Z_{ideal} + \eta \quad (3.9)$$

ifadesi yazılabilir. Ölçüm hata vektörü η ' yı oluşturan bozucu kaynakları üç ana bölümde toplanabilir :

- Ölçü alma anında oluşan hatalar :

a) Bozuk ölçü alma aletleri

b) Ayar bozuklukları : Ölçü aletinin yanlış ayarı veya zamanla ayarının bozulması sonucu ortaya çıkar.

- Bilgi toplama sisteminden kaynaklanan hatalar :

Analog ölçü bilgileri, taşıyıcılara sayısal olarak yüklendikten sonra iletilerek merkezde bazen tekrar analog bilgiye dönüştürülürler. Bu analog - sayısal çevrimleri, bilgi hassasiyetinin kaybına yol açar. Ayrıca eğer taşıma sırasında bit kaybolması gibi bir durum ortaya çıkmış ise bu ölçümün değeri yanlış iletilmiş olur.

- Kontrol merkezindeki olası hatalar :

a) İletilen sinyal ve ölçülerin yanlış adreslenmesi,

b) İşletimcinin planlanmış bir yapı değişmesini sisteme çok geç veya erken kaydetmesi,

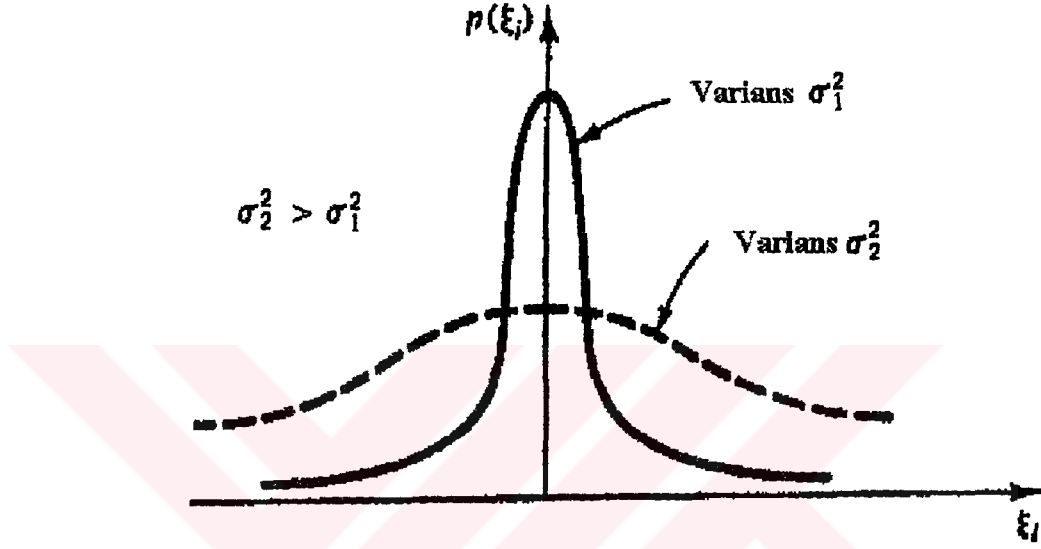
c) Sistemde oluşan, tahmin edilemeyen değişmeler.

Kestirim yöntemleri ile ayar hatalarının incelenmesi sırasında bazı noktalarda ayar bozuklukları belirlenmiştir. Ayar hatalarının durum kestirimine olan etkisinin, sistemden gereğinden fazla ölçü bilgileri alarak azaltıldığı saptanmıştır.

Eğer şebeke sürekli durumdaysa ve ölçümler çok sayıda tekrarlanırsa gürültü ortalama sıfır olacaktır.

$$E[\eta] = 0 \quad (3.10)$$

Bu ifadeden Zölçüm vektörünün gerçek değerinde olduğu sonucu çıkarılabilir. η 'nın olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF) genelde sıfır ortalama ile Normal Dağılım (Gaussian) olarak seçilir (Şekil 3.3)



Şekil 3.3 İki Varians Değeri İçin, Sıfır Ortalamalı OYF.

σ : Standart sapma

σ^2 : Varians olmak üzere

$$\text{OYF}(\eta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\eta^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.11)$$

Olasılık yoğunluk fonksiyonu η 'nın davranışını tanımlar. Standart sapma, rastlantısal ölçüm hatasını modellemek için bir yol sağlar. Eğer standart sapma büyük ise ölçüm göreceli olarak doğru değildir; yani kalitesiz ölçüm aracı kullanılmış demektir. Buna karşın küçük standart sapma değerinde ise küçük hata demektir. Bu da yüksek kaliteli ölçüm aracı ile ölçüm yapıldığını belirtir.

Bir periyodik ölçüm birçok kez yapıldığı zaman, önceki ve sonraki zamanlarda yapılan örneklemelerdeki gürültü ile t_k zamanında yapılan örneklemedeki gürültü arasında korelasyon ortalama olarak şu formülle ifade edilir :

$$R_i = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \eta_i(t_k) \eta_i(t_k - m\Delta t) = \begin{cases} 0, & m \neq 0 \\ \sigma_{ii}^2, & m = 0 \end{cases} \quad (3.12)$$

Görülüyor ki bir ölçüm anında hesaplanan hata, diğer ölçüm anındaki hatayı etkilememektedir. Yani gürültüde korelasyon yoktur. Bu sonuç fiziksel bir gerçekten çok matematiksel olarak doğrudur [3], [14].

BÖLÜM 4

DURUM KESTİRİMİ ALGORİTMALARI

Durum kestirimi algoritmasının girişini oluşturan ölçümler (veriler), bilgisayar kontrol sistemine iletişim hatları ile iletilir. Bu ölçümler, rastlantısal gürültüye, ölçüm ve iletişim hatalarına, tamamlanmamış ölçümlere, matematik model hatalarına ve beklenmeyen sistem değişikliklerine uğrar. Bu nedenle ölçülen değerler hesaplanan değerlerden sapabilir. Tüm kestirim algoritmalarının temel amacı bu hataları en küçük değere düşürerek, en uygun güç sistemi durum değişkenlerini elde etmektir. Böyle bir algoritmada olması istenen özellikler şunlardır:

- Hız : Yazılımın gerçek zaman performansını korumak için hızının yüksek olması istenir;
- Güvenilirlik : Sistem her durumda kabul edilebilir çözüme ulaşmalıdır;
- Çözümün doğruluğu : Hesaplanan durum değişkenleri, önceden belirlenen hata ile referans değerlere yaklaşmalıdır.
- Kullanılan algoritma bilgisayar hafızasında mümkün olan en az yeri kaplamalıdır.

Yukarıda sayılan maddelere ilave olarak, veriyi işleyen algoritmanın sistem parametrelerinin depolanmasından kalan yuvarlatma hataları ve sayısal bilgisayarın hafızasındaki değişkenler gibi dış unsurlara karşı duyarsız olması istenir. Algoritmanın sayısal özelliklerine bağlı olarak yuvarlatma hatalarının etkisi tahminleri etkiler ve güç sisteminin akım durumu hakkında yanlış sonuçlara götürebilir.

4.1. Ağırlıklı En Küçük Kareler(AEKK) Yöntemi

En yaygın olarak kullanılan durum kestirimi yöntemi ağırlıklı en küçük kareler yöntemidir. Bu yaklaşımın uygulamaları güç sisteminde yaygındır. Düğüm büyüklükleri ve hat ölçümleri gibi çok sayıda veri ile iyi sonuç verir. Ancak bu yaklaşım çok fazla hesap yapmayı gerektirir. Bu nedenle genelde diğer yöntemlerle çalışırken referans olarak başvurulur.

Referans barası hariç, tüm şebeke baralarının gerçel değerli faz açıları ve gerilim genliklerinden oluşan durum vektörü $2(n-1)$ eleman içerir. Referans barasının gerilimini doğrudan ölçmek mümkündür. Böylece durum vektörünün boyutu $2n-1$ 'e yükselir. Buna göre durum vektörü şu şekilde ifade edilir :

$$X = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_{n-1} \\ v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_{n-1} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Gerçel değerli m adet ölçümün (Z_m), güç sistemi durum vektörüne bağılılığı doğrusal değildir. Gürültü unsuru da göz önüne alındığında :

$$Z_m = f(X) + \eta \quad (4.2)$$

şeklinde olabilir. Burada :

$f(X)$: x 'in nonlinear durum fonksiyonu,

η : Ölçüm hatalarını temsil eden sıfır ortalamalı rastlantı vektörü,

Z_m : MVar, amper, volt vb. ölçümleri kapsayan ölçüm vektörü.

Bir güç sisteminde gürültü bozucu ölçümlerin tanımlanması ile, Z_m ölçümlerinin en iyi durum tahminini hesaplayarak, en küçük değerini bulan amaç fonksiyonu

$$J(x) = [Z_m - f(x)]^T R^{-1} [Z_m - f(x)] \quad (4.3)$$

şeklinde verilir. R^{-1} , her bir m ölçümü için variansların ağırlıklı matrisidir ve sadece köşegen elemanları vardır. Ölçüm hatalarının kovarians matrisi olarak isimlendirilir.

N_s : Tahmini yapılacak bilinmeyen parametre sayısı olmak üzere,

$$[R] = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & & \theta \\ & \sigma_2^2 & \\ \theta & & \sigma_{N_s}^2 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

$f(x)$ 'in x 'in nonlinear bir fonksiyonu olması nedeniyle $J(x)$, x ' e göre kapalı formda yazılı iken minimize edilemez. Bu nedenle x için bir x_0 başlangıç değeri kabul edilir ve $f(x)$ bu değer etrafında Taylor serisine açılarak,

$$f(x) = f(x_0) + F(x_0) \Delta x + \dots \quad (4.5)$$

elde edilir. Burada ;

$$\Delta x = x - x_0$$

$$F(x_0) = \frac{\partial f_{k1}(x)}{\partial x_{k2}}, \quad x = x_0 \text{ Jacobian matrisidir.}$$

Taylor serisindeki yüksek dereceli terimler ihmal edilerek :

$$J(x) = [\Delta z - F(x_0)\Delta x]^T R^{-1} [\Delta z - F(x_0)\Delta x] \quad (4.6)$$

$$\Delta z = z_m - f(x_0) \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned} J(x) = \Delta z^T & \left\{ R^{-1} - R^{-1} F(x_0) [F^T(x_0) R^{-1} F(x_0)]^{-1} F^T(x_0) R^{-1} \right\} \Delta z + \\ & \left\{ \Delta x - [F^T(x_0) R^{-1} F(x_0)]^{-1} F^T(x_0) R^{-1} \Delta z \right\}^T \{ F^T(x_0) R^{-1} F(x_0) \}^* \\ & \left\{ \Delta x - [F^T(x_0) R^{-1} F(x_0)]^{-1} F^T(x_0) R^{-1} \Delta z \right\} \end{aligned} \quad (4.8)$$

yazılabilir. Bir performans indeksin en küçük değerini bulmada yeter koşul

olan gradyانتının sıfıra eşit olma $\nabla_{\mathbf{x}} J(\mathbf{x}) = \frac{\partial J(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} = 0$ koşulunu kullanarak :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial J(\mathbf{x})}{\partial x_1} \\ \frac{\partial J(\mathbf{x})}{\partial x_2} \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} = -2 \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_3}{\partial x_1} & \dots \\ \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_3}{\partial x_2} & \dots \\ \frac{\partial f_1}{\partial x_3} & \frac{\partial f_2}{\partial x_3} & \frac{\partial f_3}{\partial x_3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} & 0 & \dots \\ 0 & \frac{1}{\sigma_2^2} & \dots \\ 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 - f_1(\mathbf{x}) \\ z_2 - f_2(\mathbf{x}) \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

denklem takımı bulunur.

$$[\mathbf{H}] = \frac{\partial^2 J}{\partial \mathbf{x}^2} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f_1}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f_1}{\partial x_1 \partial x_2} & \frac{\partial^2 f_1}{\partial x_1 \partial x_3} & \dots \\ \frac{\partial^2 f_2}{\partial x_1 \partial x_2} & \frac{\partial^2 f_2}{\partial x_2^2} & \frac{\partial^2 f_2}{\partial x_2 \partial x_3} & \dots \\ \frac{\partial^2 f_3}{\partial x_1 \partial x_3} & \frac{\partial^2 f_3}{\partial x_2 \partial x_3} & \frac{\partial^2 f_3}{\partial x_3^2} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \theta & \theta \\ \theta & \sigma_2^2 & \theta \\ \theta & \theta & \sigma_3^2 \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

yazılırsa

$$\nabla_{\mathbf{x}} J(\mathbf{x}) = -2 [\mathbf{H}]^T [\mathbf{R}]^{-1} \Delta z \quad (4.12)$$

çıkar. $\nabla_{\mathbf{x}} J(\mathbf{x})$ 'i sıfır yapmak için Newton -Raphson Yöntemi uygulanırsa :

$$\Delta \mathbf{x} := \left[\frac{\partial \nabla_{\mathbf{x}} J(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \right]^{-1} [-\nabla_{\mathbf{x}} J(\mathbf{x})] \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \nabla_{\mathbf{x}} J(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} &= \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} \left\{ -2 [\mathbf{H}]^T [\mathbf{R}]^{-1} \Delta \mathbf{z} \right\} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} \left\{ -2 [\mathbf{H}]^T [\mathbf{R}]^{-1} \begin{bmatrix} z_1 - f_1(\mathbf{x}) \\ z_2 - f_2(\mathbf{x}) \\ \vdots \end{bmatrix} \right\} \\ &= -2 [\mathbf{H}]^T [\mathbf{R}]^{-1} [-\mathbf{H}] = 2 [\mathbf{H}]^T [\mathbf{R}]^{-1} [\mathbf{H}] \end{aligned} \quad (4.14)$$

elde edilir. Bu işlemlerde H sabit matris kabul edilmektedir. Büyüklükler yerlerine yazılırsa :

$$\Delta \mathbf{x} = \frac{1}{2} \left\{ [\mathbf{H}]^T [\mathbf{R}]^{-1} [\mathbf{H}] \right\}^{-1} \left\{ 2 [\mathbf{H}]^T [\mathbf{R}]^{-1} \begin{bmatrix} z_1 - f_1(\mathbf{x}) \\ z_2 - f_2(\mathbf{x}) \\ \vdots \end{bmatrix} \right\} \quad (4.15)$$

$$\Delta \mathbf{x} = \left\{ [\mathbf{H}]^T [\mathbf{R}]^{-1} [\mathbf{H}] \right\}^{-1} [\mathbf{H}]^T [\mathbf{R}]^{-1} \begin{bmatrix} z_1 - f_1(\mathbf{x}) \\ z_2 - f_2(\mathbf{x}) \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

$$\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{x}^k + \left\{ [\mathbf{H}]^T [\mathbf{R}]^{-1} [\mathbf{H}] \right\}^{-1} [\mathbf{H}]^T [\mathbf{R}]^{-1} \begin{bmatrix} z_1 - f_1(\mathbf{x}) \\ z_2 - f_2(\mathbf{x}) \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

sonucuna varılır. Amaç fonksiyonun son durumu da şöyledir :

$$J(x) = [\Delta z - H\Delta x]^T R^{-1} [\Delta z - H\Delta x] \quad (4.18)$$

İterasyona $J(x^k)$ en küçük değeri alıncaya kadar devam edilir. Diğer bir deyişle $|J(x^k) - J(x^{k+1})|$ veya $x^{k+1} - x^k$ önceden belirlenen değere istenilen ölçüde yakın olmalıdır.

Elde edilen (4.9) numaralı denklem takımını çözmek için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bunlardan kullanımı yaygın olanlar ele alınacaktır [8], [14].

4.2. AEKK Yönteminin Normal Denklemlerle Çözümü

Ağırlıklı en küçük kareler(AEKK) yönteminin normal denklemler yaklaşımı ile çözümünde üç farklı akış diyagramı vardır.

1- Temel AEKK Yöntemi : Normal denklemler her iterasyonda çözülür; bu da her iterasyonda Jakobian matrisi H ve kazanç matrisi G ' nin tekrar hesaplanması ve G ' nin çarpanlara ayrılması demektir.

2- Parçalı - Sabit G Yöntemi : Tekrar hesap yapılmadan önce, birkaç iterasyon boyunca aynı H matrisi kullanılır.

3- Ayrıştırma Yöntemi : Aktif ve reaktif güç ölçümleri gerilimler tarafından bölündükten sonra, ayrıştırılmış sabit H matrisi iterasyonlarda kullanılır. Çünkü ayrıştırılmış kazanç matrisinin üçgen alt matrisleri sabittir ve normal denklemlerin çözümündeki ağır hesap yükü Δz ' nin kendisinin hesaplanmasına dönüşür.

Üç yöntemin de dayandığı ortak teoriyi incelemek için, AEKK yöntemi ile elde edilen son eşitlik tekrar ele alındığında :

$$H^T R^{-1} H \Delta x = H^T R^{-1} \Delta z \quad (4.19)$$

$$G = H^T R^{-1} H \quad (4.20)$$

Şeklinde tanımlanıp (4.19) denkleminde G matrisi yerine yazılırsa

$$G \Delta x = H^T R^{-1} \Delta z \quad (4.21)$$

elde edilir. (4.21) denklem takımına normal denklemler denir; G kazanç matrisidir. Normal denklemler, kazanç matrisini üçgen matrislere ayırarak çözülür. Çarpanlara ayırma genelde Cholesky Yöntemi ile yapılır. Bu yöntemde kazanç matrisi aşağıdaki gibi çarpanlara ayrılır :

$$G = U U^T \quad (4.22)$$

$$G = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & \cdot & \cdot \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & \cdot & \cdot \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & 0 & 0 & 0 & \cdot \\ u_{21} & u_{22} & 0 & 0 & \cdot \\ u_{31} & u_{32} & u_{33} & 0 & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \quad U^T = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{21} & u_{31} & \cdot & \cdot \\ 0 & u_{22} & u_{32} & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & u_{33} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

U ve U^T matrisleri (4.22) eşitliğinde yazılarak, elemanları G matrisinin elemanları cinsinden elde edilir:

$$g_{11} = (u_{11})^2 \rightarrow u_{11} = \sqrt{g_{11}} \quad (4.25)$$

$$g_{12} = u_{11} \cdot u_{21} \rightarrow u_{21} = \frac{g_{12}}{u_{11}} \quad (4.26)$$

(.....)

(.....)

İşlemlere devam edilerek aşağıdaki genel ifadelere ulaşılır:

$$g_{ii} = u_{i1} \cdot u_{i1} + \dots + u_{ii} \cdot u_{ii} \rightarrow u_{ii} = \sqrt{g_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} u_{ik}^2} \quad (4.27a)$$

$$g_{ji} = u_{j1} \cdot u_{i1} + \dots + u_{ji} \cdot u_{ii} \rightarrow u_{ji} = \frac{g_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} u_{ik} \cdot u_{jk}}{u_{ii}} \quad (4.27b)$$

Kestirimin amacı olan x durum vektörünün belirlenmesi problemine dönülürse, (4.21) denklemini normal denklemlerin genel şekliyle şöyle yazılır :

$$G \Delta x = Z \quad (4.28)$$

Burada, $Z = H^T R^{-1} \Delta z$ olarak tanımlıdır ve tüm elemanları bilinmektedir. Cholesky ayrıştırma yöntemini kullanarak (4.22) denkleminde G ' nin çarpanları yazılarak

$$U U^T \Delta x = Z \quad (4.29)$$

elde edilir.

$$U w = Z \quad (4.30)$$

$$U^T \Delta x = w \quad (4.31)$$

Lineer sistemin Cholesky yöntemi ile çözümü U matrisinin hesaplanmasına ve son iki denklem sisteminin çözülmesine dayanır [15].

4.3 Hızlı Ayrıştıran Durum Kestirimi Algoritması

Yeni algoritma AEKK yönteminin bilgisayarda kapladığı hacmi azaltan ve hızını arttıran yeni bir yöntemdir. Geniş ölçekli güç sistemlerinde AEKK problemine bir çözüm oluşturur. Çözüm, P-δ ve Q-V ayrıştırması, aktif ve reaktif eşitliklerin sabit kabul edilmesi, kazanç matrisinin alt matrislerinin basitleştirilmesi aşamalarından sonra yapılan iterasyonlarla elde edilir.

Yöntemi tanımlamak için $N+1$ adet düğüm noktası ele alınır. Bu noktaların gerilim genlik ve açı vektörleri şöyledir :

$$X^T = [\delta^T, V^T] \quad (4.32)$$

$$\delta^T = [\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_N] \quad (4.33)$$

$$V^T = [V_1, V_2, \dots, V_N] \quad (4.34)$$

N+1 düğüm referanstır. Bu nedenle $\delta_{N+1} = 0$ ve V_{N+1} gerilim genliğinin bilindiği kabul edilir. Ölçüm vektörü Z_M ve lineer olmayan durum fonksiyonu $h(x)$ aktif ve reaktif bileşenlerine ayrılırsa :

Burada

Z_a : Bara ve hat aktif güç değerleri,

Z_r : Bara ve hat reaktif güç akışları ve gerilim genlik ölçümleridir.

Yukarıda belirlenen büyüklükleri kullanarak Jakobian matrisi ve kovarians matrisi şu şekilde yazılır :

$$H(\delta, V) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial \delta} & \frac{\partial f}{\partial V} \\ \frac{\partial g}{\partial \delta} & \frac{\partial g}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (4.35)$$

$$R^{-1} = \begin{bmatrix} R_a^{-1} & 0 \\ 0 & R_r^{-1} \end{bmatrix} \quad (4.36)$$

(4.35) ve (4.36) eşitliklerini kullanarak kazanç matrisi hesaplanırsa :

$$G(x) = H^T R^{-1} H$$

$$G(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f^T}{\partial \delta} R_a^{-1} \frac{\partial f}{\partial \delta} + \frac{\partial g^T}{\partial \delta} R_r^{-1} \frac{\partial g}{\partial \delta} & \frac{\partial f^T}{\partial \delta} R_a^{-1} \frac{\partial f}{\partial V} + \frac{\partial g^T}{\partial \delta} R_r^{-1} \frac{\partial g}{\partial V} \\ \frac{\partial f^T}{\partial V} R_a^{-1} \frac{\partial f}{\partial \delta} + \frac{\partial g^T}{\partial V} R_r^{-1} \frac{\partial g}{\partial \delta} & \frac{\partial f^T}{\partial V} R_a^{-1} \frac{\partial f}{\partial V} + \frac{\partial g^T}{\partial V} R_r^{-1} \frac{\partial g}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (4.37)$$

$$G(x) = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix} \quad (4.38)$$

Doğrudan bağlı baralar arasındaki faz açılarının farkı yaklaşık olarak sıfır ve tüm bara gerilimleri yaklaşık olarak 1.0 b. değerinde olduğu zaman Jacobian matrisi sabittir; iterasyonlarda değişmez. Yine güç sistemlerinde iletim hattı reaktansları direnç değerlerinden, bara ve toprak arasındaki paralel reaktanslardan çok büyüktür. Pratikte yüksek gerilim iletim sistemlerinde, H_{11} ve H_{22} elemanları, H_{12} ve H_{21} elemanlarından çok büyüktür. Bu nedenle kazanç matrisinde H_{12} ve H_{21} ihmal edilebilir. Yani aktif güçlerin gerilimlere ve reaktif güçlerin faz açılara göre kısmi türevleri ihmal edilmektedir. Bu durumda yeni oluşan matris :

$$G_{FD} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f^T}{\partial \delta} R_a^{-1} \frac{\partial f}{\partial \delta} & 0 \\ 0 & \frac{\partial g^T}{\partial V} R_r^{-1} \frac{\partial g}{\partial V} \end{bmatrix} = \text{sabit} \quad (4.39)$$

$$G_{FD} \approx \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & B \end{bmatrix}_{\substack{\delta=0 \\ V=[1,1,\dots,1]^T}} \quad (4.40)$$

Yapılan son yaklaşımlar pratikteki gerilim genliklerinin 1.0 b. ve ardarda düğümler arasındaki açı farklarının $(\delta_k - \delta_j)$ küçük olduğu gerçeklerini de doğrulamaktadır. (4.40) eşitliğini kullanarak, iki ayrıştırılmış denklem elde edilir :

$$A (\delta_{i+1} - \delta_i) = a_i \quad (4.41)$$

$$B (V_{i+1} - V_i) = b_i \quad (4.42)$$

Burada :

$$a_i = \begin{bmatrix} H_{11}^T & H_{21}^T \end{bmatrix} R^{-1} [Z_m - \eta(\delta, V)] \quad \left| \quad V = V_i = \frac{\partial f^T}{\partial \delta} R_a^{-1} [f_m - f(x_i)] \right. \quad (4.43)$$

$$b_i = \begin{bmatrix} H_{12}^T & H_{22}^T \end{bmatrix} R^{-1} [Z_m - \eta(\delta, V)] \quad \left| \quad V = V_i = \frac{\partial g^T}{\partial V} R_r^{-1} [g_m - g(x_i)] \right. \quad (4.44)$$

değerlerini almaktadır. Tahmini durum vektörü $(\hat{\delta}, \hat{V})$ (4.43) ve (4.44) eşitliklerinin iterasyonla çözümüyle bulunur. A ve B matrislerinin sabit ve aynı yapıda olması nedeniyle bu basit bir işlemdir [16], [17].

4.4 Golub Yöntemi İle Çözüm

Durum kestiriminde tahmini durum vektörünün hesabı için kullanılan normal denklemler genelde güvenilir sonuçlar verir. Ancak, seyrekte olsa hatalı sonuçlar çıkabilir. Normal denklemlerde $H^T R^{-1} H$ teriminin hesaplanması gerekir. Sayısal analizden bilindiği gibi bu şekilde bir matris kötü koşulda (ill-conditioned)¹ olabilir ve bunun sonucu olarak, çözüm yuvarlatma hataları nedeniyle küçülebilir. Fiziksel olarak, şebekede uzun bir hat ile çok kısa bir hat bağlantısı normal denklemlerin kötü koşulda olmasına yol açmaktadır.

Durum kestiriminde normal denklemlerin kötü koşulda olma sorununu ortadan kaldıran yeni bir algoritma G.H. GOLUB tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde kazanç matrisini çarpanlara ayırma yerine, Jakobian matrisine ortogonal dönüşüm uygulanarak, çarpanlara ayrılır. GOLUB yaklaşımını ele almadan önce, yöntemde kullanılan ortogonal dönüşüm tanıtılacaktır. Bu dönüşüm, bir birim kovarians ile ölçüm hata vektörünü elde etmek için kullanılan lineerleştirilmiş bir dönüşümdür. AEKK yönteminde kullanılan lineerleştirilmiş maliyet fonksiyonu ve ölçüm modeli tekrar ele alınırsa :

¹ Ayrıntılı bilgi için Ek 1 ' e bakınız.

$$J(x) = [\Delta z - H\Delta x]^T R^{-1} [\Delta z - H\Delta x] \quad (4.45)$$

$$\Delta z = F(x_0)\Delta x + \eta \quad (4.46)$$

$$E[\eta\eta^T] = R \quad (4.47a)$$

eşitlikleri yazılabilir. R , singüler olmayan kovarians matrisidir. En küçük üçgen matrislere, kareköküne ayrıştırılabilir ve devriği alınabilir. Pratikte sadece köşegen elemanları vardır. $R^{\frac{1}{2}}$, R 'nin karekökü olmak üzere :

$$E[\eta\eta^T] = R = R^{\frac{1}{2}} R^{\frac{T}{2}} \quad (4.47b)$$

ya da

$$E\left[\left(R^{-\frac{1}{2}}\eta\right)\left(R^{-\frac{1}{2}}\eta\right)^T\right] = I \quad (4.47c)$$

yazılabilir. Değiştirilmiş ölçüm vektörü $R^{-\frac{1}{2}}\eta$ birim kovariansa sahiptir (4.45)

denklemini $R^{-\frac{1}{2}}$ ile soldan çarpılırsa şu büyüklükler elde edilir :

$$\Delta y = G(x)\Delta x + v \quad (4.48)$$

$$E[vv^T] = I \quad (4.49)$$

(4.48) ve (4.49) eşitliklerindeki yeni büyüklükler şöyle tanımlıdır :

$$\begin{aligned} \Delta y &= R^{-\frac{1}{2}}\Delta z \\ G(x) &= R^{-\frac{1}{2}}H \\ v &= R^{-\frac{1}{2}}\eta \end{aligned} \quad (4.50)$$

Amaç fonksiyonu yeniden düzenlenirse :

$$J(\Delta x) = [\Delta y - G\Delta x]^T [\Delta y - G\Delta x] \quad (4.51)$$

Yeni modele Golub algoritması uygulamak için $QQ^T = Q^TQ$ ortogonalite şartını sağlayan bir Q matrisi seçilir.

$$QG = \begin{bmatrix} W \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.52)$$

Burada W üst üçgen matristir. Ortogonal işlemci Q , Δy vektörüne de uygulanırsa :

$$Q\Delta y = \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} \quad (4.53)$$

sonucu bulunur. Durum kestiriminde hesaplanması istenen Δx vektörü aşağıdaki sistemin çözülmesi ile bulunur:

$$W\Delta x = c \quad (4.54)$$

Yeni durumda amaç fonksiyonu :

$$J(\Delta x) = \|\Delta y - G\Delta x\|^2 = \|Q\Delta y - QG\Delta x\|^2 \quad (4.55)$$

$$J(\Delta x) = \left\| \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} W \\ 0 \end{bmatrix} \Delta x \right\|^2 = \|d\|^2 \quad (4.56)$$

$$J(\Delta x) = \sum_{i=1}^{m-n} d_i^2 \quad (4.57)$$

(4.57) Eşitliğinde Euclidean normun ortogonal dönüşüm altında değişmediği şartı kullanılmıştır.

Ortogonal matris Q , genelde ortogonal dönüşümün ürünleri olan $P_1, P_2, \dots, P_n$ matrislerinden biridir. Her ortogonal dönüşüm P_i , G matrisinin ana köşegeninin altındaki i. sütun elemanları yok edilerek belirlenir. P_i dönüşümü önceden işlem yapılmış sütunları etkilememelidir. Pratikte P_i ve Q matrislerinin açıkça hesaplanmasına gerek yoktur. Ortogonal $P_1, P_2, \dots, P_n$ dönüşümlerini hesaplamak için birkaç yol

vardır. Bunlardan güvenilir olması nedeni ile Householder dönüşümü² sıkça kullanılmaktadır. Golub yöntemini kullanarak yapılan durum kestiriminde üç önemli adım vardır :

1- Sütunların düzenlenmesi : Amaç, Jakobian matrisi Householder dönüşümünü uygulayarak, sütunlardaki sıfırdan farklı eleman sayısını azaltmaktır.

2- Jakobian matrisin üst üçgen matrise ayrıştırılması : Householder ortogonal dönüşümü kullanılarak, Jakobian matrisi üst üçgen matrise ayrıştırılır. Burada ikinci bir sütun düzenlemesine gerek vardır. Ancak bu durumda değeri sıfır olan yeni köşegen elemanları oluşur. Gereksiz sütun doldurma işlemi bu sonucu doğurur. Sıfır elemanları önlemek için sütun permütasyonları kullanılır.

Azaltma işlemi sonunda üst üçgen matrisin köşegen dışı sıfır olmayan elemanları ve dönüşüm sonucu belirlenen W vektörünün sıfır olmayan elemanları bağlantılı olarak saklanır. Üst üçgen matrisin köşegen elemanları ise ayrı olarak saklanır.

3- Sistemin geriye doğru yerine koyarak çözümü : Değiştirilmiş ölçüm vektörü Δy ye de Householder dönüşümü uygulanır ve $W\Delta x = c$ sistemi geriye doğru yerine koyarak çözülür [18], [19].

4.5 İki Aşamalı Durum Kestirimi

Buraya kadar incelenen algoritmalarda sistemi temsil eden durum vektörü tek aşamada elde edilmektedir. Orta büyüklükteki sistemler için iyi sonuçlar alınmaktadır. Ancak büyük sistemler söz konusu olursa aşamalı kestirim tercih edilir. Bu yöntemde sistem alt sistemlere ayrıştırılır ve iki aşamalı hesap yapılır. İlk aşamada tüm alt sistemlerde şimdiye kadar görülen algoritmalarından biriyle durum vektörü hesaplanır. Ancak her alt sistemde yapılan hesaplamalar diğerinden bağımsızdır. İkinci aşamada ise bu yerel kestirimler düzenlenir ve az sayıda veri işlenir.

Aşamalı durum kestiriminde önce sistem bağlantı hatları ile bağlı, birbirini kesmeyen alt sistemlere $(A_1, A_2, \dots, A_k)$ ayrılır. Ayırma işleminde şu unsurlar belirleyici olabilir :

²Ayrıntılı bilgi için Ek 2 'ye bakınız.

- Gerilim kademeleri,
- Coğrafya,
- Politik etkenler,
- Ekonomi.

i. alt sistemde ($i=1,2,\dots,k$) şu büyüklükler tanımlıdır :

X_c^i : Sınır düğümlerinin gerilim genlikleri ve açılarından oluşan alt vektör,

X_r^i : İç düğümlerin gerilim genlikleri ve açılarından oluşan altvektör,

N_i : Alt sistemdeki düğüm sayısı.

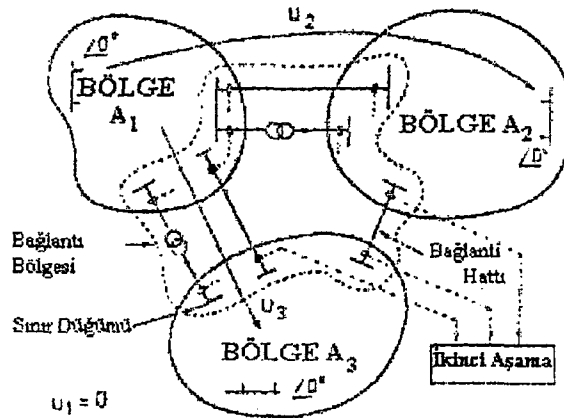
A_i bölgesinin durum vektörü bu iki vektörün bileşiminden oluşur :

$$x_i = \begin{bmatrix} i^T & i^T \\ x_c & x_r \end{bmatrix}^T \quad (4.58)$$

Sistemin durumunu tümüyle belirlemek için bölgeler arasındaki açısal farkları belirten u vektörü hesaba katılmalıdır.

$$u = [u_2, u_3, \dots, u_k]^T \quad (4.59)$$

u_i , A_1 bölgesine göre A_i bölgesinin referans düğümünün fazını temsil etmektedir. Tüm sistem için genel referans olan A_1 bölgesinin açısı sonsuz küçük seçilir ($u_1 = 0$). Şekil (4.1) buraya kadar yapılan tanımlamaları $k = 3$ durumu için göstermektedir.

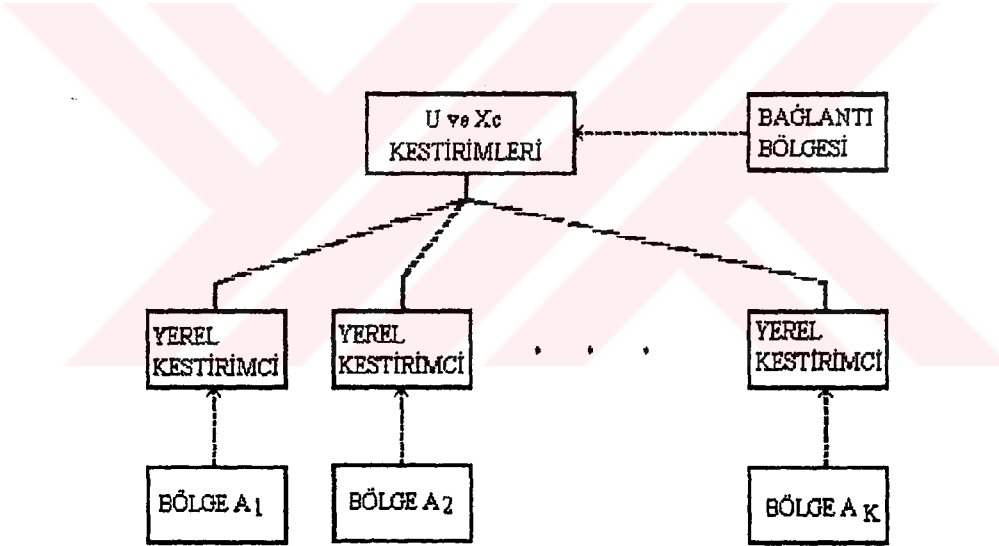


Şekil 4.1 Sistem Bölünmesinin Temeli ($k = 3$ için)

Aşamalı durum kestiriminin yapısı içinde ölçüm vektörü Z aşağıdaki gibi ayrıştırılır:

$$Z = \left[Z_1^T, Z_2^T, \dots, Z_k^T, Z_u^T \right]^T \quad (4.60)$$

İki aşamalı kestirim işleminin genel yapısı Şekil 4.3 'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi k adet bölgede durum kestirimi birbirinden bağımsız olarak yapılır. Bağımsızlık bazı ölçümlerin ihmal edilmesiyle sağlanır. İhmal edilen ölçümler bu aşamada incelenmeyen Z_u vektörünün incelenmesi ve enterkonneksiyonu sağlayan bağlantı hatlarındaki güç akışlarının eldesi u vektörünün hesaplanması anlamına gelmektedir ve ikinci aşamanın işlevidir.



Şekil 4.2 İki Aşamalı Kestirim

Birinci Aşama : k alt sistemi için kestirim algoritmasının seçimi isteğe bağlıdır ve hepsi için farklı seçimler yapılabilir. Burada yapılacak incelemede AEKK yöntemi uygulanacaktır. Yöntem 4.1 başlığında açıklanmıştır. İşlem sonunda her alt sistem için x_i kestirim vektörü hesaplanır. Sınır düğümlere ilişkin (x_c^i) ikinci aşamaya gönderilir.

İkinci Aşama :Bu aşamada, Z_u enterkonneksiyon ölçümlerinden (bağlantı hatlarındaki güç akışları) ve x_c vektörünün bileşenlerinden (sahte ölçümler) elde edilen bilgilerle

$$X_s = [u^T, x_c^T]^T \quad (4.61)$$

vektörü hesaplanır. Genel bağıntılar bu aşama için uygulanırsa :

$$Z_s = f_s(x_s) + \eta_s \quad (4.62)$$

$$\begin{bmatrix} Z_u \\ \hat{x}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_s(u, x_c) \\ x_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_u \\ h_c \end{bmatrix} \quad (4.63)$$

Tüm ikinci aşama için kovarians matrisi :

$$R = \begin{bmatrix} R_u & 0 \\ 0 & R_c \end{bmatrix} \quad (4.64)$$

Yukarıda belirlenen büyüklükler ile :

$$J_s(x_s) = [Z_s - f_s(x_s)]^T R_s^{-1} [Z_s - f_s(x_s)] \quad (4.65)$$

amaç fonksiyonunun en küçük değeri bulunur.

$$\left. \frac{\partial J_s}{\partial x_s} \right|_{x_s = \hat{x}_s} = 0 \quad (4.66)$$

Lineerleştirme yapıldıktan sonra aşağıdaki iteratif denklem elde edilir :

$$x_s(1+1) = x_s(1) + G_s^{-1}(1) H_s^T R_s^{-1} [Z_s - f_s(x_s)] \quad (4.67)$$

Burada :

$$G_s = H_s^T R_s^{-1} [Z_s - f_s(x_s)] \quad (4.68)$$

kazanç matrisidir. Aşamalı kestirimin sağladığı yararlar şu başlıklarla özetlenebilir:

Birinci Aşamada :

- Veri işleme maliyeti düşüktür. Çünkü veri tek bir merkez yerine yerel merkezlere gönderilir.
- Tüm sisteme göre alt sistemler daha küçük olduğu için yerel bilgisayar hafızası daha boştur.
- Daha sık aralıklarla veri elde edilir.
- Sistemin güvenilirliği yüksektir.

İkinci Aşamada :

- Önceki aşamadan alınan ve incelenen bilgi hacmi daha azdır.
- İkinci aşama işlemleri daha hızlı yürütür.

Genel Yararlar :

- Veri elde etme ve işleme maliyeti, yaygın olarak kullanılan tek aşamalı kestirim yöntemlerine göre daha azdır.
- Hesaplama zamanı daha kısadır[20], [21].

BÖLÜM 5

DURUM KESTİRİMİNDE KÖTÜ VERİ İNCELEMESİ

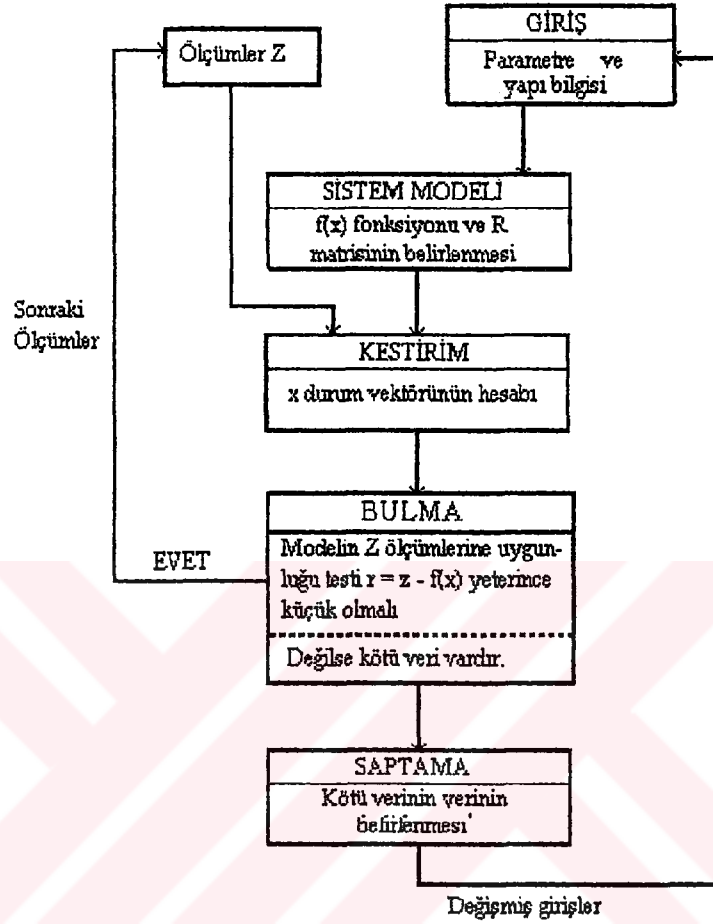
Güç sistemlerinde durum kestirimi dört temel çalışmadan oluşur :

- Sistem yapısının modellenmesi,
- Durum kestirimi,
- Kötü veriyi bulma,
- Kötü veri saptama.

Şekil 5.1 'deki blok diyagram bu aşamaları göstermektedir. Z ölçümleri anlık olarak yapılır. Pratikte ise tek tek ölçümlerden giderek zaman serilerine eğri uydurma kullanımı istenir. Bu yeni bölümde kötü veriyi bulma ve saptama şeklinde tanımlanan son iki işlem ele alınmaktadır.

Durum kestirimcisi tarafından işlenecek ölçümler arasında kötü verinin varlığı kestirim sonuçlarını küçültür. Kötü veriyi kestirimciye ulaşmadan durdurmak için öncel filtreler kullanılır. Ancak bazı büyük ölçümler öncel filtrelerden geçebilir. Kestirimcinin güvenilir çalışması için ölçümlerin işlenip, işlenmediğini kontrol edecek bir yöntem, eğer işlenmemiş ise hangi ölçümün hatalı olduğunu belirleyecek ilave bir işlem uygulanır. Genelde uygulanan kötü veri yöntemlerinde hatalı ölçümler ölçü takımından çıkarılır ve yeni kestirim işlemi yapılır. Bu durumda Jacobian matrisi elemanları değişir. Eğer normal denklemler yaklaşımı ile çözüm yapılıyorsa kazanç matrisinin de yapısı değişir. Sonuç olarak kazanç matrisinin düzenlenmesi ve üçgen alt matrislere ayrıştırılması işlemleri yeniden hesaplanır ve yeni ölçü takımıyla çözüm yapılır. Kötü veri inceleme yöntemlerinin şu iki özelliği gerçekleştirilmesi istenir :

- Kötü verinin genişlemesinin etkilerini değerlendirme,
- Kötü veri bulma ve yanlış alarm olasılığını hesaplama.



Şekil 5.1 Durum Kestiriminin Aşamaları

5.1 Kötü Verinin Öncel Filtrelerle Giderilmesi

Esas kestirim işlemine geçmeden önce zaman kaybına yol açmayacak kadar basit bir takım işlemlerle kötü olduğu çok belli olan veriler tesbit edilip, kestirim işlemine katılmayabilirler. Yaygın olarak kullanılan bir öncel filtre örneği Şekil 5.2 'de verilmiştir. Fiziksel sistemin çalışma özellikleri ve ölçü aletlerinin ölçüm sınırlarını gözönüne alarak her ölçü değerinin içinde bulunması gereken çalışma bantları önceden belirlenir. Bu durumda :

- Eğer herhangi bir ölçüm değeri kendi çalışma bantının dışına düşüyor ise bu ölçü kötü veri olarak kabul edilir.

- Yine bu ölçünün değeri aynı ölçünün bir önceki değerinden çok fazla farklılık gösteriyorsa bu ölçü kötü veri olarak kabul edilir.

- Yapı değişmesi olmadığı sürece, birbirini takip eden ölçüler arasındaki ortalama fark sistem yükünün kısa zamanda değişme özelliği ve ölçü periyoduna bağlıdır. Ölçü periyodu 5 ile 10 saniye arasında ise ve ardarda iki ölçü arasındaki fark % 10 'u aşarsa bu ölçü kötü veri olarak kabul edilir.

5.2 Kalanlar ve Kalan Duyarlılığı İncelemesi

n baralı, m adet ölçüm yapılabilen bir sistem ele alınsın. Lineerleştirme yapıldıktan sonraki ölçüm modeli aşağıdaki gibidir :

$$\Delta z = F(x_k) + \eta \quad (5.1)$$

Burada

$$\Delta z = z - f(x_k) \quad (5.2)$$

$$F(x_k) = H = \frac{\partial f(x)}{\partial x} \quad (5.3)$$

$$\Delta x = x - \hat{x}_k \quad (5.4)$$

şeklinde tanımlıdır. $N_m \times 1$ boyutlu kalan vektörü ise $r = z - f(\hat{x})$ ifadesi ile verilir. i. kalan, i. ölçüm ve ölçülmüş büyüklüğün kestirilmiş değeri arasındaki uyumsuzluktur. Kalan vektörü için şu yaklaşım yapılabilir :

$$r = \Delta z - H\Delta x \quad (5.5)$$

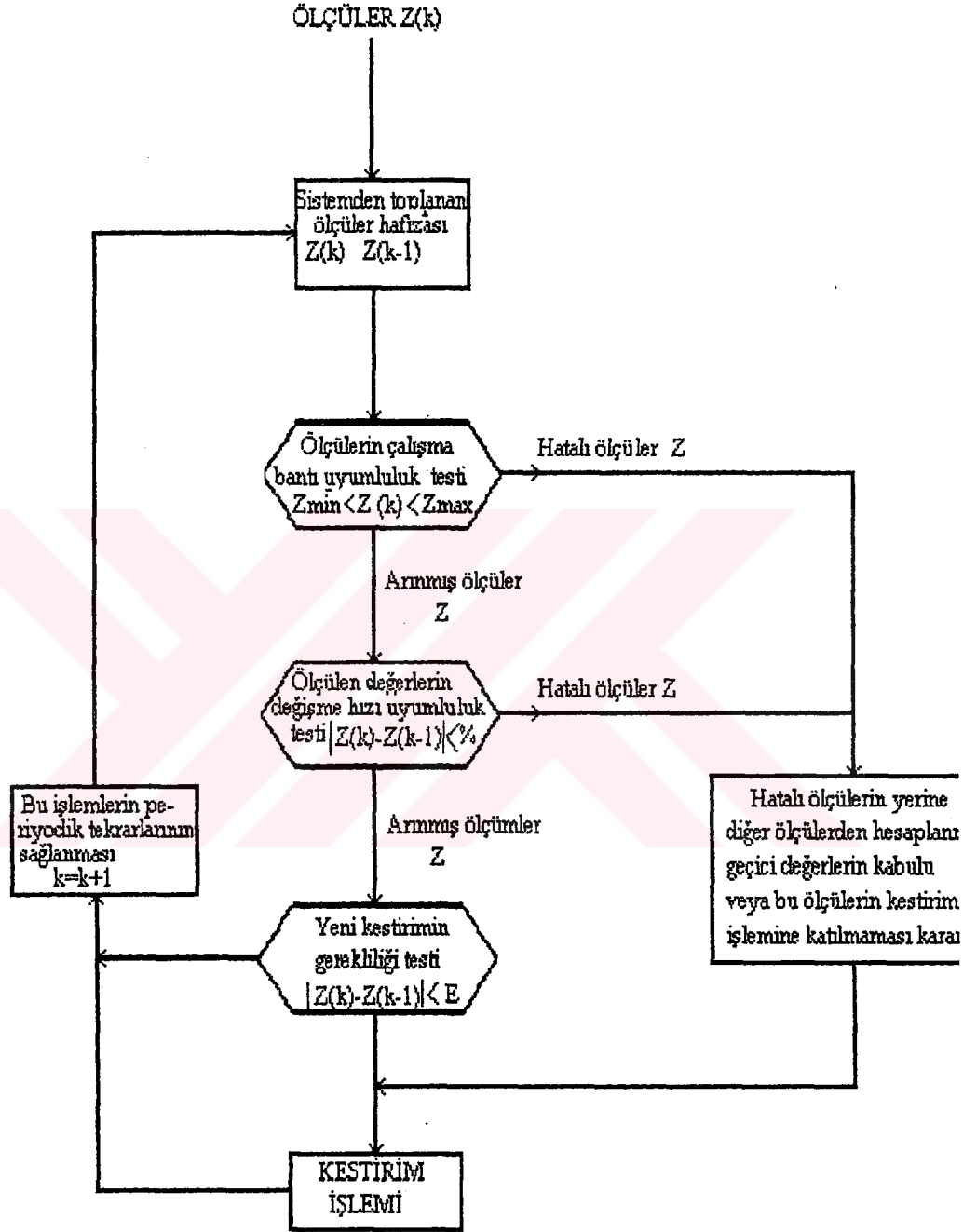
Kalan kovarians matrisi ise şöyle verilir :

$$W = E[r r^T] = R - H (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T \quad (5.6)$$

Bunun yanı sıra kalan vektörü yalnızca Δz vektörü ile de yazılabilir. Bu durumda S, $N_m \times n$ boyutlu kalan duyarlık matrisi olmak üzere :

$$r = S\Delta z \quad (5.7)$$

$$S = I - H (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} = W R^{-1} \quad (5.8)$$



Şekil 5.2 Öncel Filtre Akış Diyagramı

Uygun şekilde kötü veriyi saptamak için S matrisinin köşegen elemanlarının, köşegen dışı elemanlarından daha büyük olması istenir. Böylece büyük ölçümler kendileri ortaya çıkar. S matrisinde köşegen elemanların baskınlığı yerel ölçü fazlalığını artırır [22].

5.3 Kötü Veriyi Bulma

Kötü veriyi bulmak için kullanılan genel yöntem, ağırlıklı kalanların karelerinin toplamını hesaplamaktır. Burada ağırlık katsayıları ölçü varianslarının tersleridir.

Kötü veri bulma problemi bir varsayım testidir. H_0 , kötü veri yoktur ve H_1 , H_0 doğru değildir, şeklinde ifade edilen iki varsayımdır. P_e yanlış alarm olasılığını, P_d de kötü veri bulma olasılığını temsil etmektedir. Bu varsayımları kullanan testlerden biri $J(\hat{x})$ testidir.

Eğer tüm hatalar normal olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanırsa, $J(x)$ ' in de ki-kare dağılımı olarak bilinen $(\chi^2(k))$ olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahip olduğu söylenebilir. K, ki-kare fonksiyonunun serbestlik derecesidir.

$$K = N_m - N_s \quad (5.9)$$

Burada

N_m : Ölçüm sayısı,

N_s : Durum sayısı,

n : Şebekedeki bara sayısıdır.

$J(x)$ ' in ortalama değeri K, standart sapması $\sigma = \sqrt{2K}$ 'dır.

Bir veya daha fazla sayıda ölçüm hatalı ise, bunların hataları, normal durumda hata sınırı olarak kabul edilen $\pm 3\sigma$ ' dan daha büyüktür. t_j , $J(x)$ için başlangıç değeri olmak üzere

$$J(x) > t_j \quad (5.10)$$

şartı sağlanıyorsa kötü ölçüm vardır. Bu başlangıç testi ancak iki durumda hatalı olabilir :

- Eğer t_j küçük bir değer seçilirse, birçok yanlış alarm olur.

- Eğer t_j büyük bir değer seçilirse, gerçekte hatalı ölçüm olduğu halde tümü hatasız görünür.

Buraya kadar ifade edilenlerle şu eşitlik yazılabilir :

$$P(J(x) > t_j \mid J(x) \text{ ki-kare dağılımı}) = \alpha$$

Bu tür testler varsayım testleri olarak bilinir. α büyüklüğüne de testin anlamlı seviyesi denir. Anlamlı seviye α için bir değer seçildiğinde, testte t_j başlangıç değeri doğrudan bilinir. Buradan yola çıkarak, yanlış alarm olasılığı α 'ya eşittir.

5.4 Kötü Veri Saptama

Ölçü takımında öncelikle kötü veri varsa bulunur. Ancak daha sonraki adımda bu veri veya verilerin saptanması gerekir. Bu amaçla normalize ölçü kalanı tanımlanır :

$$r_{n,i} = \frac{r_i}{\sqrt{W_{ii}}} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, N_m. \quad (5.11)$$

Burada :

r_i : i.kalan,

W_{ii} : W matrisinin i. köşegen elemanı, yani i. kalanın variansıdır.

Normalize ölçü kalanının OYF da normal dağılımdır ve standart sapması 1 'dir. Uygulanan test en büyük normalize kalanın aranmasına dayanır. En büyük kalan ölçü takımından çıkarılır. Azaltılmış Z_r ölçüm vektörü ile yapılan, takip eden kestirim sonucu kötü veri bulma işlemi tekrarlanır. Eğer hala kötü veri varsa, kestirim ikinci en büyük kalan, ölçü takımından çıkarılır. Bu şekilde teste devam edilir.

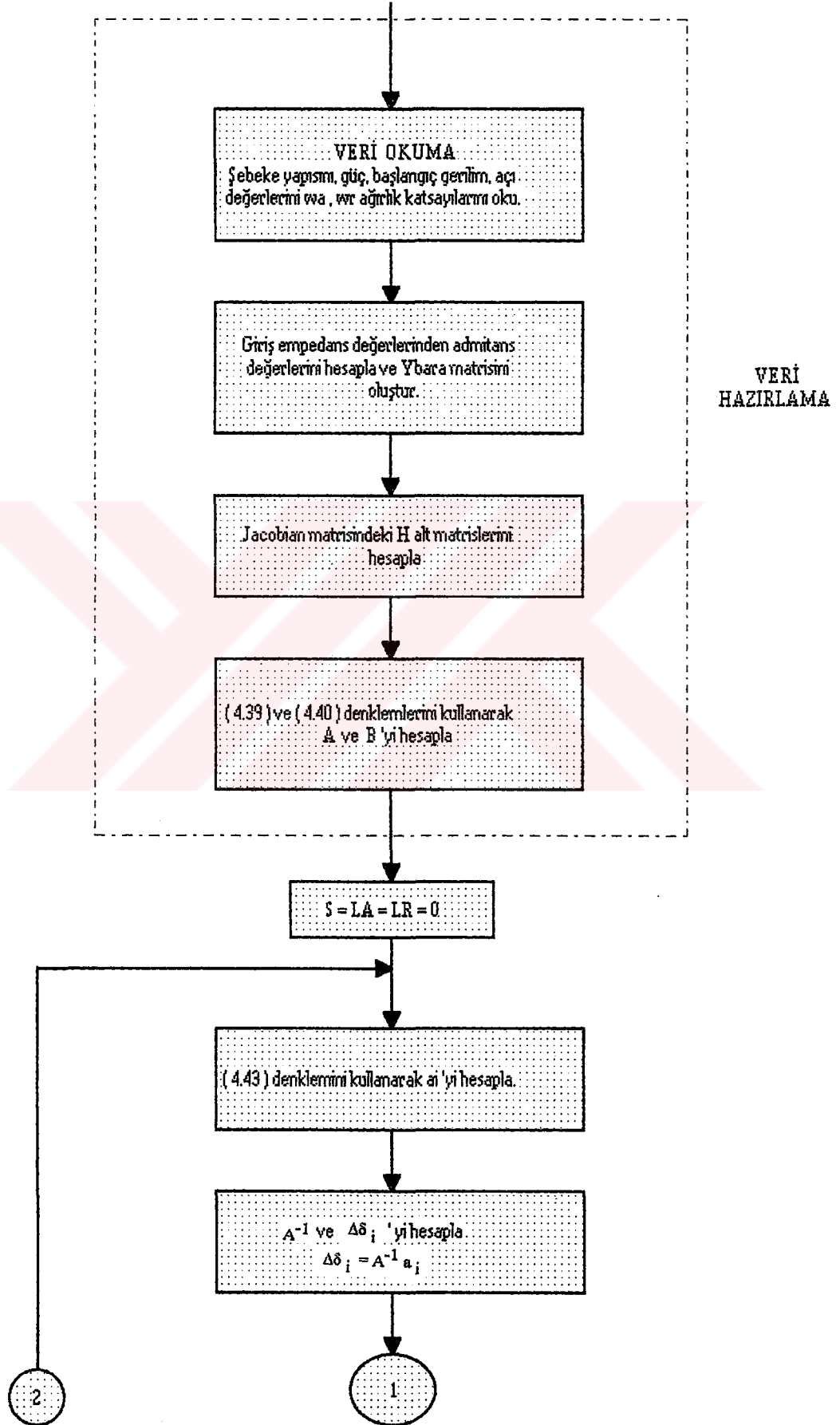
Eğer 'gruplanmış kalan araştırması ' yapılacak ise, p en büyük kalanları ölçü takımından aynı anda çıkarılır ve kötü veri bulunana kadar bir ölçüm diğerinden sonra ölçü takımına geri konur. Bu işlem özellikle çok sayıda ve etkileşimsiz kötü veri olması durumunda uygulanır [22], [23].

BÖLÜM 6

6.1 Hızlı Ayırıştırılan Durum Kestirimi Algoritması

Hızlı ayırıştırılan durum kestirimi yöntemi (4.2) başlığında ayrıntılı olarak incelenmiştir. Şekil 6.1 ' de bu yöntemi kullanan ve tarafımdan geliştirilen bir akış diyagramı görülmektedir. Bu diyagramda durum kestirimine hazırlık olarak sistemden okunan verilerle bara admitans matrisi ve Jacobian matrisi hesaplanmaktadır. Ölçümler aktif ve reaktif güç değerleridir. Aktif ve reaktif büyüklükler için iki ayrı döngü vardır. Her ikisinde de seçilen hassaslık katsayısı mertebesinde değişimler başlayınca program durur. (İlgili program Ek - 3 ' te verilmiştir.)

İfadelerdeki R , kovarians matrisidir. Görevi her ölçü gözleminin güvenilirliğini gözönüne alarak, hata farklarının ağırlıklı değerlendirmesini yapmaktır. Ölçme hatalarının birbirinden bağımsız kaynaklı olduğu kabul edildiği için R matrisi σ_i^2 varianslarından oluşan köşegen bir matristir.



6.2 Sayısal Uygulama

Hazırlanan program [3, pp. 362] ' de belirtilen örnek sisteme uygulanmıştır. Programın giriş ve çıkış dosyaları aşağıdaki gibidir.

Giriş Dosyası :

Bara Sayısı : 3

Hat Sayısı : 3

Hatno	Bara-Bara		Hat empedansı (Re, Im)		Y/2
1	1	2	0.00	0.03	0.00
2	1	3	0.00	0.01	0.00
3	2	3	0.00	0.02	0.00

Bara gerilimleri (pu)		
1	1.05	0
2	1.00	0
3	1.00	0

wa	wf
3	3
5	5
2	2

P	Q
0.12	-0.24
0.21	-0.24
-0.30	0.50

<u>delg</u>	<u>deld</u>
0.0001	0.0001

Çıkış Dosyası

0 . iterasyon için

n.	gerilimin genligi	gerilimin acisi (rad)
2	1.048753E+00	1.4917E-03
3	1.052851E+00	-1.1612E-03

1 . iterasyon için

n.	gerilimin genligi	gerilimin acisi (rad)
2	1.048774E+00	1.1355E-03
3	1.052759E+00	-1.4342E-03

2 . iterasyon için

n.	gerilimin genligi	gerilimin acisi (rad)
2	1.048771E+00	1.1375E-03
3	1.052763E+00	-1.4487E-03

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde elektrik güç sistemlerinin gelişmesine paralel olarak bu sistemlerin bir merkezden bilgisayar ile kontrolü zorunlu olmaktadır. Tüm sistemi kapsayan geniş ve güvenilir bir kontrol düzeninin çalışmasında en önemli adım durum kestirimidir. Sisteme ait verilerin elde edilmesi, saklanması ve hiçbir kayba uğramaksızın kontrol merkezlerine ulaştırılması, kestirim işlemi sonunda sağlanabilir. Enerji sistemleri planlama ve işletilmesinde, böylece çok önemli bir konu olan durum kestirimi ve bununla doğrudan ilgili, veri tabanı, devre yapısının belirlenmesi, hatalı verilerin ayıklanması konuları bu tez kapsamında ele alınmaktadır

Durum kestiriminde incelenen şebeke bölümüne ait bir modelin elde edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilen algoritmalar genelde kişisel deneyimlere, tahminlere ve yapılan ölçümlere dayanmaktadır.

Bir kestirim işleminden beklenen sonuç durum vektörünün z ölçümleri ile $\hat{z}$ kestirilmiş ölçü değerleri arasındaki farkın belli bir kritere göre en küçük olacak şekilde hesaplanmasıdır. AEKK (Ağırlıklı En Küçük Kareler) yönteminin normal denklemler ile çözümü genelde güvenilirdir. Ancak her iterasyonda $H^T R^{-1} H$ ifadesinin tersinin hesaplanması uzun süre alabilir. Yine bu yaklaşım bilgisayar hafızasında büyük yer tutar. Sayılan olumsuzlukları gidermeye çalışan alternatif bir algoritma Golub tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde $H^T R^{-1} H$ değerinin açıkça hesabı yerine, sistem eşitliklerine Householder ortogonal dönüşümü uygulanır. Hızlı ayrıştıran durum kestiriminde H , Jacobian elemanları, transformatör ayarları değişse bile değişmez. Bilgisayar hafızasında az yer tutar. İterasyonlarda hesaplama zamanı kısadır.

Bu çalışmada ağırlıklı en küçük kareler yönteminin normal denklemler ile çözümü, hızlı ayrıştıran durum kestirimi ve Golub (ortogonal dönüşüm ile) yöntemleri ele alınmıştır. Ayrıca tez kapsamında hızlı ayrıştıran durum kestirimi yöntemini kullanan yeni bir program hazırlanmıştır. Program genel çözüme cevap verecek niteliktedir. Veri olarak şebeke elemanlarının baralarla olan bağlantıları ve sistemden okunan aktif ve reaktif güç değerleri kullanılmaktadır. Program

sonucunda, bu değerlerden bara gerilim genlikleri ve açıları hesaplanmaktadır. Durum kestirimine hazırlık aşamasında birçok kompleks işlem yapılmaktadır. Bu nedenle kompleks işlemleri yapacak bir kütüphane alt programı hazırlanmıştır.

Yapılan araştırma ve incelemeler ve geliştirilen program gözönüne alındığında şu sonuçlara varılmıştır:

1) Enerji sisteminin gerçek zaman kontrolünde uygulanacak olan kestirim yönteminin seçimi farklı unsurların birlikte gözönüne alınmasını gerektirir. Yukarıda sayılan kestirim yöntemlerinden birinin diğerine tercihi bilgi toplama sisteminin, kontrol bilgisayarlarının ve kontrol işlemlerinin birlikte değerlendirilmesi ile yapılabilir. Ölçü değerlerinin aynı anda veya sıralı alınması kestirim algoritmasının seçiminde büyük rol oynar.

2) Diğer önemli bir unsur da kestirim işleminin kaç saniyede bir tekrar edilmesi gerektiğinin saptanmasıdır. Düzenli yük değişimlerinin hızlı olduğu bir sistemde kestirim tekrar hızının da yüksek olması gerekir. Kestirim işlemlerinin tekrar hızı ile çözüm zamanı arasındaki dengeyi, bilgi-işlem sisteminin optimal kullanımı yönünden iyi kurmak gerekir.

3) Normal bir gerçek zaman kontrol merkezinde bilgisayar işlem zamanının %10 kadar bir bölümü kestirim işlemlerine ayrılmıştır. Aşırı zaman alan kestirimler kontrol ve güvenilirlik hesaplarını aksatacağından verimsiz bir çalışmaya neden olabilir. Sistem durumunun yavaş değişimleri sırasında aşırı sayıda kestirimler ile zaman kaybetmemek için öncel filtreleme sırasında yeni bir kestirimin gerekip gerekmediği test edilebilir. Bu testler sonunda eğer sistem durumunda yeni bir kestirimi gerektirmeyecek kadar az bir sapma olduğu belirlenirse kestirim işlemi bir sonraki bilgi toplama periyoduna kadar ertelenebilir.

Ölçümlerin şebeke modelinin kurulmasında önemli yeri vardır. Yapılan ölçümlerin yeterli sayıda olması ve tüm şebeke geneline yayılması gerekir. Bu ölçümlere güç akışı ölçümlerinden elde edilen değerler eklenmelidir. Ölçümlerin her baranın bağlı bulunduğu hatlardan en az birine ait güç akışı değerlerini sağladığı doğrulanmalıdır. Gerilim problemi olan yerlerde en az bir ölçüm değeri alınmalıdır. Eğer kontrol sistemi ilk kez kuruluyor ise var olan güç sistemi üzerinde ölçü alma noktalarının seçimi, ölçü aletlerinin duyarlılıklarının ve ölçü toplama işleminin hızının belirlenmesi ekonomik bir değerlendirmenin kapsamında düşünülmelidir.

Kurulmuş ve çalışmakta olan bir kontrol sisteminin genişletilmesi sırasında eklenecek yeni ölçüm noktalarının seçimi ise ayrı bir planlama çalışmasını gerektirir.

Ölçü değerlerinin kestirim sonucundan olan uzaklıkları arttıkça amaç fonksiyonuna olan etkileri de hızla artacaktır. Böylece kestirim sonuçları hatalı olan ölçülerden aşırı derecede etkilenecektir. Bunu önlemek için ölçümler arasında kötü verinin olup olmadığı saptanmalı, eğer varsa hangi ölçümün hatalı olduğu tespit edilmelidir.

Hazırlanan program, bara net güçlerini ve hatlardaki güçleri de hesaplayacak şekilde kapsamı genişletilebilecek niteliktedir.



KAYNAKLAR

- [1] CEGRELL T., EKLUND U., MANSON M. - ' A Modern Approach To Energy Management Systems '. CIGRE, Symposium 32 - 01, 1980.
- [2] LINDSTRÖM K. - ' Justification of Control Centres in Developing Countries '. CIGRE, Symposium 39 - 89, 310 - 05, Bangkok, 1989.
- [3] KUSIC G.L. - ' Computer-Aided Power Systems Analysis '. Prentice - Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- [4] CIGRE, Study Committee 35. - ' Structure of Telecontrol System and Overall System '. WG01, 1987
- [5] STERLING M.J.H. - 'Power System Control '. IEE Control Engineering Series 6, Peter Peregrinus Ltd. London, UK, 1978.
- [6] HANDSCHIN E. - ' Acquiring and Securing Data '. CIGRE, Symposium 39 - 83, Florence, 1983
- [7] FU HONG - CANG - ' Data Base For Power Security Control System '. CIGRE, Symposium 38 - 83, 101 - 02, Florence, 1983.
- [8] SCHWEPPE F.C. - ' Power System Static- State Estimation, Part I : Exact Model'. IEEE Trans. Power App. and Syst., Vol.PAS - 89, No.1, Jan. 1970.
- [9] SAVAŞ D., UYAR N. - 'Elektrik Sistemlerinde Durum Kestirimi Yöntemlerinin Uygulanması'. TEK İletim Şebeke İşletmeleri Dairesi Başkanlığı, SA-77 /2.
- [10] SASSON A.M., EHRMANN S.T., LYNCH P., VAN SLYCK L.S. - 'Automatic Power System Network Topology Determination '. IEEE Trans. Power App. and Syst., Vol.PAS - 92, March / Apr. 1973.
- [11] FARMER E. D., JERVIS P., LAING W.D., PREWETT J.T. - ' Power System State Estimation For Load Dispatching '. CIGRE, Symposium 32 - 01, Florence, 1974.

- [12] SEVAİOĞLU O., ESKİCİOĞLU A.M., LEBLEBİCİOĞLU K., - Optimal Ranking of Measurements For State Estimation By Gradient Projection method '. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Butterworth - Heinemann UK. ' da yayınlanacaktır.
- [13] AAM S., HOLTEN L., GJERDE O. - ' Design of The Measurements For State Estimation In The Norwegian High - Voltage Transmisson Network '. IEEE Trans. Power App. and Syst., Vol.PAS - 102, No. 12,Dec. 1983.
- [14] WOOD A.J., WOLLENBERG B. F. - ' Power Generation, Operation, and Control '. John Wiley & Sons, Canada, 1984.
- [15] TARANTOLA A.- ' Inverse Problem Theory '. Amsterdam, Elsevier, 1987.
- [16] HORISBERGER H.P., RICHARD J.C., ROSSIER C. - ' A Fast Decoupled Static - State Estimator For Electric Power Systems '. IEEE Trans. Power App. and Syst., Vol.PAS - 95, No. 1,Jan. / Feb. 1976.
- [17] GARCIA A., MONTICELLI A., ABREU P. - ' Fast Decoupled State Estimation and Bad Data Processing '. IEEE Trans. Power App. and Syst., Vol.PAS - 98, No. 5, Sept. / Oct.1979.
- [18] MONTICELLI A., MURARI C.A.F., WU F.F. - 'A Hybrid State Estimator : Solving Normal Equations By Orthogonal Transformations '. IEEE Trans. Power App.and Syst., Vol.PAS - 104, No. 12, Dec. 1985.
- [19] SIMOES - COSTA A., QUINTANA V.H. - ' A Robust Numerical Technique For Power Systems State Estimation '. IEEE Trans. Power App.and Syst., Vol.PAS - 100, No.2, Feb. 1981.
- [20] CUTSEM V., RIBBENS-PAVELLA M., VANDELOISE Y.H., - ' Single - Level and Two - Level State Estimation. Principle and Applications '. CIGRE, Symposium 32 -10.
- [21] CUTSEM V., HORWARD, RIBBENS-PAVELLA M. - ' A Two Level Static - State Estimation For Electric Power Systems '. IEEE Trans. Power App.and Syst., Vol.PAS - 100, No.8, Aug. 1981.
- [22] SIMOES - COSTA A., SALGADO R. - 'Bad Data Recovery For Orthogonal Row Processing State Estimator '. CIGRE, Symposium 39 - 83, 101 - 02, Florence, 1983.

- [23] HANDSCHIN E., SCHWEPPE F.C., KOHLAS J., KOHLAS J., FIECTER A., - Bad Data Analysis For Power System State Estimation '. IEEE Trans. Power App.and Syst., Vol.PAS - 94, No.2, March / Apr. 1975.



EK - 1

NORMAL DENKLEMLERİN KÖTÜ KOŞULDA (ILL - CONDITIONED) OLMASI

$Ax = b$ şeklinde tanımlanan normal denklemlerin çözümü sırasında A matrisi ve b vektöründe hatalar oluşmaktadır. E matrisi ve ε vektörü hataları temsil etmek üzere, $(A + E)^{-1}b$ ve $A^{-1}(b + \varepsilon)$ sonuçlarının gerçek çözüm olan $A^{-1}b$ ' den ne kadar farklı olduğu önemlidir. Eğer fark büyükse ' A matrisi kötü koşuldadır ' denir. A veya b ' deki bağıl hata, çözüme geçişte A matrisinin durum sayısını (condition number) mümkün olduğu kadar büyütebilir. Böylece durum sayısı kötü koşulun derecesini veren bir ölçüt olarak kullanılır.

Bir matrisin durum sayısı :

σ_M^2 : $A^T A$ ' nın en büyük özdeğeri,

σ_m^2 : $A^T A$ ' nın en küçük özdeğeri olmak üzere

$$\text{cond} (A) = \sigma_M / \sigma_m \quad (1)$$

olarak tanımlanır [18].

HOUSEHOLDER YÖNTEMİ

Householder Yöntemi $n \times n$ boyutlu, simetrik bir matrisi $n - 2$ ortogonal dönüşümle üçgen köşegen (tridiagonal) şekle indirger. Bu yöntemi uygulamak için w vektörü tanımlanır.

$$w^T = [w_1, w_2, \dots, w_n] \quad (1)$$

Her dönüşüm tüm sütunların ve satırların istenen bölümlerini yok eder. Yöntemin temel unsuru olan P matrisi aşağıdaki gibidir :

$$P = I - \beta w w^T \quad (2)$$

$$\beta = \frac{2}{\|w\|^2} \quad (3)$$

Burada w elemanları reel olan vektördür. Bu nedenle

$$\|w\|^2 = 1 \quad (4)$$

$$\beta = 2$$

$$P = I - 2 w w^T \quad (5)$$

yazılabilir. P matrisinin diğer bir özelliği de ortogonal olmasıdır ve ortogonalite özelliklerini sağlar.

$$P = P^{-1}, \quad P^T = P, \quad P^T = P^{-1} \quad (6)$$

P matrisi yeniden şu şekilde yazılabilir :

$$P = I - \frac{uu^T}{H} \quad (7)$$

$$H \equiv \frac{1}{2} \|u\|^2 \quad (8)$$

H skalar bir matris ve u herhangi bir vektördür.

$$u = x \pm |x| e_1 \quad (9)$$

şeklinde seçilebilir. Burada e_1 birim vektördür.

$$P x = \pm |x| e_1 \quad (10)$$

Bu ifadeden P Householder matrisinin verilen herhangi bir x vektörünün ilk elemanı hariç tüm elemanlarını 0 yaptığı sonucu çıkarılır.

$$A' = A - q u^T - u q^T \quad (11)$$

şeklinde hesaplamalar için çok uygun bir denklem elde edilir [19].

EK - 3

Hızlı Ayrıştırılan Durum Kestirimi Programı

```
DECLARE SUB cikis (s!, vcd$, jb!, vh!(), dh!())
DECLARE SUB kuc (xxxx!(), jb!, ku!)
DECLARE SUB mt (pa!(), pn!)
DECLARE SUB mc (pa!(), pb!(), pc!(), pcsa1!, pcsu1!, pcsa2!,
pcsu2!)
DECLARE SUB prn (a!(), x!, Y!)
DECLARE SUB yoku (vod$, bs!, hs!, delg!, deld!, gr!(), z!(),
y2!(), e!(), f!(), wa!(), wr!(), p(), q())
DECLARE SUB prnc (a!(), x!, Y!)
DECLARE FUNCTION deg# (a!)
DECLARE FUNCTION rad# (a!)
DECLARE FUNCTION complexaci (a!())
DECLARE FUNCTION complexgenlik (a!())
```

REM \$DYNAMIC

```
' ----- veri okuma-----
      CLS
      vod$ = "ykus.dos"
      vcd$ = "ykus.dod"
      REDIM gr(0, 2), z(0, 2), y2(0, 2)
      REDIM e(0), f(0), wa(0), wr(0), p(0), q(0)
      CALL yoku(vod$, bs, hs, delg, deld, gr(), z(), y2(),
e(), f(), wa(), wr(), p(), q())
      CLS : PRINT
      IF bs > hs + 1 THEN BEEP: PRINT "***HATALI VERI**":
END
```

'-----Giris emp degerlerinden adm degerlerinin hesabi-----

```
      REDIM Y(hs, 2), aa(2), bb(2), cc(2)
      aa(1) = 1
      FOR i = 1 TO hs
      bb(1) = z(i, 1): bb(2) = z(i, 2)
      CALL comp(aa(), "/", bb(), cc())
      Y(i, 1) = cc(1): Y(i, 2) = cc(2)
      NEXT i
```

'-----Yb nin kosegenlerinin hesabi-----

```
      REDIM yb(bs, bs, 2)
      REDIM ptop(2), yx(2)

      FOR k = 1 TO 2
      FOR i = 1 TO bs
      ptop(1) = 0: ptop(2) = 0
      FOR j = 1 TO hs
```

```

      IF i = gr(j, k) THEN
        yx(1) = Y(j, 1): yx(2) = Y(j, 2)
        CALL comp(ptop(), "+", yx(), ptop())
      END IF
    NEXT j
    yb(i, i, 1) = yb(i, i, 1) + ptop(1): yb(i, i, 2) =
yb(i, i, 2) + ptop(2)
  NEXT i
NEXT k
ERASE ptop, yx

'----- y/2 'lerin Yb'nin ana kosegenine eklenmesi-----

      FOR i = 1 TO hs
        yb(gr(i, 1), gr(i, 1), 2) = y2(i, 2) + yb(gr(i,
1), gr(i, 1), 2)
        yb(gr(i, 2), gr(i, 2), 2) = y2(i, 2) + yb(gr(i,
2), gr(i, 2), 2)
      NEXT i

'---Yb 'nin kosegen disi elemanlarinin olusturulmasi-----

      FOR i = 1 TO hs
        yb(gr(i, 1), gr(i, 2), 1) = -Y(i, 1)
        yb(gr(i, 1), gr(i, 2), 2) = -Y(i, 2)
        yb(gr(i, 2), gr(i, 1), 1) = -Y(i, 1)
        yb(gr(i, 2), gr(i, 1), 2) = -Y(i, 2)
      NEXT i

' CALL prnc(yb(), bs, bs)

'-----jakobian 'in hesabi-----

      jb = bs - 1
      REDIM h11(bs, jb), h12(bs, jb), h21(bs, jb), h22(bs,
jb)

      REDIM yg(bs, bs), yd(bs, bs)          'yb nin genligi yg
acisi yd
      FOR i = 1 TO bs
        FOR j = 1 TO bs
          aa(1) = yb(i, j, 1): aa(2) = yb(i, j, 2)
          CALL comp(aa(), "p", aa(), bb())
          yg(i, j) = bb(1): yd(i, j) = rad(bb(2))
        NEXT j, i

      REDIM v(bs), d(bs)          'gerilimin genligi v acisi d
      FOR i = 1 TO bs
        aa(1) = e(i): aa(2) = f(i)
        CALL comp(aa(), "p", aa(), bb())
        v(i) = bb(1): d(i) = rad(bb(2))
      NEXT i

```

```

'H11'in hesabi
  FOR i = 1 TO bs
  FOR m = 2 TO bs
  IF i <> m THEN
    h11(i, m - 1) = -v(i) * yg(i, m) * v(m) * SIN(d(i) -
d(m) - yd(i, m))
  ELSE
    top = 0
    FOR k = 1 TO bs
      IF k = i THEN GOTO y10
      top = top + yg(i, k) * v(k) * SIN(d(i) - d(k) -
yd(i, k))
y10:
      NEXT k
      h11(i, m - 1) = v(i) * top
    END IF
  NEXT m, i
'H12'in hesabi
  FOR i = 1 TO bs
  FOR m = 2 TO bs
  IF i <> m THEN
    h12(i, m - 1) = -v(i) * yg(i, m) * COS(d(i) - d(m)
- yd(i, m))
  ELSE
    top = 0
    FOR k = 1 TO bs
      IF k = i THEN GOTO y11
      top = top + yg(i, k) * (2 * v(i) * COS(yd(i, k)) -
v(k) * COS(d(i) - d(k) - yd(i, k)))
y11:
      NEXT k
      h12(i, m - 1) = 2 * v(i) * yb(i, i, 1) + top
    END IF
  NEXT m, i
'H21'in hesabi
  FOR i = 1 TO bs
  FOR m = 2 TO bs
  IF i <> m THEN
    h21(i, m - 1) = v(i) * yg(i, m) * v(m) * COS(d(i) -
d(m) - yd(i, m))
  ELSE
    top = 0
    FOR k = 1 TO bs
      IF k = i THEN GOTO y12
      top = top + yg(i, k) * v(k) * COS(d(i) - d(k) - yd(i,
k))
y12:
      NEXT k
      h21(i, m - 1) = -v(i) * top
    END IF
  NEXT m, i
'H22'in hesabi
  FOR i = 1 TO bs

```

```

      FOR m = 2 TO bs
      IF i <> m THEN
        h22(i, m - 1) = -v(i) * yg(i, m) * SIN(d(i) - d(m) -
yd(i, m))
      ELSE
        top = 0
        FOR k = 1 TO bs
        IF k = i THEN GOTO y13
        top = top + yg(i, k) * (2 * v(i) * SIN(yd(i, k)) +
v(k) * SIN(d(i) - d(k) - yd(i, k)))
y13:
        NEXT k
        h22(i, m - 1) = -2 * v(i) * yb(i, i, 2) - top
      END IF
    NEXT m, i

```

'-----A,B'nin hesabi-----

```

      REDIM h11t(jb, bs), h22t(jb, bs), wam(bs, bs),
wrm(bs, bs)
      REDIM tt(jb, bs), ttt(jb, bs), a(jb, jb), b(jb, jb)
      REDIM at(jb, jb), bt(jb, jb)

```

'devrik alma ve agirlik matrisini olusturma

```

      FOR i = 1 TO bs
      FOR j = 1 TO jb
        h11t(j, i) = h11(i, j)
        h22t(j, i) = h22(i, j)
      NEXT j
      wam(i, i) = wa(i)
      wrm(i, i) = wr(i)
    NEXT i
    CALL mc(h11t(), wam(), tt(), jb, bs, bs, bs)
    CALL mc(h22t(), wrm(), ttt(), jb, bs, bs, bs)
    CALL mc(tt(), h11(), a(), jb, bs, bs, jb)
    CALL mc(ttt(), h22(), b(), jb, bs, bs, jb)
    FOR i = 1 TO jb
    FOR j = 1 TO jb
      at(i, j) = a(i, j)
      bt(i, j) = b(i, j)
    NEXT j, i
    CALL mt(at(), jb)
    CALL mt(bt(), jb)

```

s = 0: la = 0: lr = 0

'-----dongu baslangici-----

```

      REDIM vh(bs), dh(bs), cac(bs), crc(bs)
      REDIM fa(bs, 1), ga(bs, 1)
      REDIM ath11t(jb, bs), bth22t(jb, bs)

```

```

REDIM ath11twam(jb, bs), bth22twrm(jb, bs)
REDIM faci(jb, 1), fgen(jb, 1)

FOR i = 1 TO bs
    vh(i) = v(i): dh(i) = d(i)
NEXT i

don:
' aktif guc hesabi

top = 0
FOR i = 1 TO bs
    FOR k = 1 TO bs
        IF k = i THEN GOTO y21
        top = top + yg(i, k) * (vh(i) * COS(yd(i, k)) -
vh(k) * COS(dh(i) - dh(k) - yd(i, k)))
y21:
    NEXT k
    cac(i) = vh(i) ^ 2 * yb(i, i, 1) + vh(i) * top
NEXT i

'reaktif guc hesabi
top = 0
FOR i = 1 TO bs
    FOR k = 1 TO bs
        IF k = i THEN GOTO y22
        top = top + yg(i, k) * (-vh(i) * SIN(yd(i, k)) -
vh(k) * SIN(dh(i) - dh(k) - yd(i, k)))
y22:
    NEXT k
    crc(i) = -vh(i) ^ 2 * yb(i, i, 2) + vh(i) * top
NEXT i
FOR i = 1 TO bs
    fa(i, 1) = p(i) - cac(i)
NEXT i

CALL mc(at(), h11t(), ath11t(), jb, jb, jb, bs)
CALL mc(ath11t(), wam(), ath11twam(), jb, bs, bs, bs)
CALL mc(ath11twam(), fa(), faci(), jb, bs, bs, 1)

'aci farklarinin hesabi

CALL kuc(faci(), jb, ku)
IF ku <= deld THEN
    la = 1
    IF lr = 1 THEN GOTO e1 ELSE GOTO e2
ELSE
    la = 0
END IF

e2:
FOR i = 1 TO jb
    dh(i) = dh(i) + faci(i, 1)
NEXT i
FOR i = 1 TO bs

```

```

    ga(i, 1) = q(i) - crc(i)
NEXT i

CALL mc(bt(), h22t(), bth22t(), jb, jb, jb, bs)
CALL mc(bth22t(), wrm(), bth22twrm(), jb, bs, bs, bs)
CALL mc(bth22twrm(), ga(), fgen(), jb, bs, bs, 1)

'genlik farklarının hesabi
CALL kuc(fgen(), jb, ku)
IF ku <= delg THEN
    la = 1
    IF lr = 1 THEN GOTO e1 ELSE GOTO e3
ELSE
    la = 0
END IF

e3:
    FOR i = 1 TO jb
        vh(i) = vh(i) + fgen(i, 1)
    NEXT i
    CALL cikis(s, vcd$, jb, vh(), dh())
    s = s + 1
    GOTO don:

e1:
    END

REM $STATIC
SUB cikis (s, vcd$, jb, vh(), dh())
    IF s = 0 THEN
        OPEN vcd$ FOR OUTPUT AS #1
        PRINT #1, s; ". iterasyon icin "
        PRINT #1, "n.                gerilimin genligi
gerilimin acisi (rad)"
        PRINT #1, "----"
        -----
        FOR i = 1 TO jb
            PRINT #1, i + 1,
            PRINT #1, USING "  ##.####^ ^ ^ ^"      "; vh(i); dh(i)
        NEXT i
        PRINT #1, ""
        CLOSE #1
    ELSE
        OPEN vcd$ FOR APPEND AS #1
        PRINT #1, s; ". iterasyon icin "
        PRINT #1, "n.                gerilimin genligi
gerilimin acisi (rad)"
        PRINT #1, "----"
        -----
        FOR i = 1 TO jb
            PRINT #1, i + 1,
            PRINT #1, USING "  ##.####^ ^ ^ ^"      "; vh(i); dh(i)
        NEXT i
        PRINT #1, ""
        CLOSE #1
    
```

```

      END IF
END SUB

```

```

REM $STATIC
FUNCTION complexaci (a())

      a = a(1): b = a(2)
      IF a = 0 AND b = 0 THEN x = 0: GOTO dvm1
      IF a = 0 THEN x = 90: GOTO dvm1
      IF b = 0 THEN x = 0: GOTO dvm1
      IF a > 0 AND b > 0 THEN x = deg(ATN(b / a)): GOTO
dvm1
      IF a < 0 AND b > 0 THEN x = deg(ATN(b / a)) + 180:
GOTO dvm1
      IF a > 0 AND b < 0 THEN x = deg(ATN(b / a)) + 360:
GOTO dvm1
      IF a < 0 AND b < 0 THEN x = deg(ATN(b / a)) + 180:
GOTO dvm1
dvm1:
      IF x > 360 THEN x = x - 360
      complexaci = x

```

```

END FUNCTION

```

```

FUNCTION complexgenlik (a())
complexgenlik = SQR(a(1) * a(1) + a(2) * a(2))
END FUNCTION

```

```

FUNCTION deg# (a)
deg# = a * 180 / (ATN(1) * 4)
END FUNCTION

```

```

SUB kuc (xxxx(), jb, ku)
      ku = 1E+30
      FOR i = 1 TO jb
      xx = ABS(xxxx(i, 1))
      IF xx < ku THEN ku = xx
      NEXT i
END SUB

```

```

SUB mc (pa(), pb(), pc(), pcsa1, pcsu1, pcsa2, pcsu2)
      PCSA3 = pcsa1: PCSU3 = pcsu2
      FOR PL = 1 TO PCSA3: FOR PJ = 1 TO PCSU3
      pc = 0
      FOR PK = 1 TO pcsu1
      pc = pa(PL, PK) * pb(PK, PJ) + pc
      NEXT PK
      pc(PL, PJ) = pc
      NEXT PJ, PL

```

```

END SUB

```

```

REM $STATIC
    SUB mt (pa(), pn)
        FOR PK = 1 TO pn: FOR PL = 1 TO pn: FOR PJ = 1 TO pn
            IF PL = PK OR PJ = PK THEN 12040
            pa(PL, PJ) = pa(PL, PJ) - pa(PL, PK) * pa(PK, PJ) /
pa(PK, PK)
12040 NEXT PJ
        NEXT PL
        pa(PK, PK) = -1 / pa(PK, PK)
        FOR PL = 1 TO pn
            IF PL = PK THEN 12100
            pa(PL, PK) = pa(PL, PK) * pa(PK, PK)
12100 NEXT PL
        FOR PJ = 1 TO pn
            IF PJ = PK THEN 12140
            pa(PK, PJ) = pa(PK, PJ) * pa(PK, PK)
12140 NEXT PJ
        NEXT PK
        FOR PL = 1 TO pn: FOR PJ = 1 TO pn
            pa(PL, PJ) = -pa(PL, PJ)
        NEXT PJ, PL

    END SUB

    SUB prn (a(), x, Y)

        FOR i = 1 TO x
            FOR j = 1 TO Y
                PRINT USING "#####.#### " ; a(i, j);
            NEXT j
            PRINT
        NEXT i
        PRINT

    END SUB

    SUB prnc (a(), x, Y)

        FOR i = 1 TO x
            FOR j = 1 TO Y
                PRINT USING "#####.#### " ; a(i, j, 1);
            NEXT j
            PRINT
        NEXT i
        PRINT
        FOR i = 1 TO x
            FOR j = 1 TO Y
                PRINT USING "#####.#### " ; a(i, j, 2);
            NEXT j
            PRINT
        NEXT i
        PRINT
    END SUB

```

PRINT

END SUB

```

FUNCTION rad# (a)
rad# = a * ATN(1) * 4 / 180
END FUNCTION

```

```

SUB yoku (vod$, bs, hs, delg, deld, gr(), z(), y2(), e(),
f(), wa(), wr(), p(), q())
OPEN vod$ FOR INPUT AS #1
INPUT #1, bs, bs, hs, hs
REDIM gr(hs, 2), z(hs, 2), y2(hs, 2), e(bs), f(bs),
wa(bs), wr(bs), p(bs), q(bs)
INPUT #1, ww$, ww$, ww$
FOR i = 1 TO hs
INPUT #1, hn, gr(i, 1), gr(i, 2), z(i, 1), z(i, 2),
y2(i, 2)
NEXT i:
INPUT #1, ww$, ww$
FOR i = 1 TO bs
INPUT #1, bn, e(i), f(i)
NEXT i
INPUT #1, ww$, ww$
FOR i = 1 TO bs
INPUT #1, wa(i), wr(i)
NEXT i
INPUT #1, ww$, ww$
FOR i = 1 TO bs
INPUT #1, p(i), q(i)
NEXT i
INPUT #1, ww$, ww$
INPUT #1, delg, deld

CLOSE #1

```

END SUB

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

ÖZGEÇMİŞ

Yeşim Nemlioğlu 1970 yılında Kırklareli ' de doğdu. Lise öğrenimini Üsküdar Kız Lisesi 'nde tamamladı. 1987 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik - Elektronik Fakültesine girdi. 1991 yılında üniversiteyi bölüm birincisi olarak bitirdi ve aynı üniversitede Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı Elektrik Ana Bilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.

