

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

139765

139765

**GÜÇ SİSTEMLERİNDE DURUM KESTİRİMİNE
YENİ BİR YAKLAŞIM**

Elektrik Yük. Müh. Nurten ERMİŞ

**F.B.E Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi:

Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

: Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR (YTÜ)

: Prof.Dr. Neriman ŞERİFOĞLU (İÜ)

: Doç.Dr. Osman KILIÇ (YTÜ)

: Doç.Dr. Nurettin UMURKAN (YTÜ)

: Doç.Dr. Sermin ONAYGİL (İTÜ)

İSTANBUL, 2003

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI
DOKTORA TEZİ
NURTEN ERMİŞ
139765

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
1 GİRİŞ	1
1.1 Güç Sistemlerinde Durum Kestirimi	2
2 GÜÇSİSTEMLERİNDEKİ L_p NORMLARI	5
2.1 Vektör ve Matris Normları	5
2.1.a Vektör Normu	5
2.1.b Matris Normu	6
2.2 Güç Sistemlerinde L_p Normları	7
2.2.a En Küçük Mutlak Değer Kestirimcisi (L_1 normu)	8
2.2.b En Küçük Kareler Kestirimcisi (L_2 normu)	9
2.2.c Ağırlıklı En Küçük Kareler Kestirimcisi (WLS)	10
2.2.d Maksimum Mutlak Sapma Kestirimcisi (L_∞ normu)	10
3 GÜÇ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ	11
3.1 Güç Sisteminin Modellenmesi.....	12
3.2 Güç Sisteminin İteratif Jacobian Formülasyonu.....	14
4 A.A. GÜÇ SİSTEM KESTİRİMİNİN SİMÜLASYONU ve SONUÇLARI	19
4.1 Güç Akışı Durum Kestirimi Algoritması	19
4.2 IEEE Test Sistemleri	20
4.2.a IEEE Altı Baralı Test Sistemi	21
4.2.b IEEE Otuz Baralı Test Sistemi	28
4.3 Farklı L_p Kestirimcilerini Kombinasyonu	32
5 SONUÇLAR ve ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR	50

EKLER	53
Ek 1 IEEE Altı Baralı Test Sisteminin Durum Değişkenlerinin Kestirimi İçin Matlab Kodları	54
Ek 2 IEEE Altı Baralı Test Sisteminin Ölçüm Kümeleri	59
Ek 3 IEEE Otuz Baralı Test Sisteminin Parametreleri ve Ölçüm Kümeleri	61
ÖZGEÇMİŞ	76



SİMGE LİSTESİ

A^T	A matrisinin yada vektörünün transpozese
a_{ij}	A matrisinin i .ci satır ve j .ci kolonundaki eleman
B	Hat admitansının imajiner bileşeni
b	Şebeke kollarının yada hatlarının sayısı
$diag(.)$	Diagonal matris
G	Hat admitansının reel bileşeni
H	Jacobian süreç matrisi
H^+	Jacobian süreç matrisinin gerçek olmayan tersi (Pseudoinverse)
I	Akım, Birim matris
j	$\sqrt{-1}$
$J(x)$	Durum kestiriminde kullanılan amaç fonksiyonu
K	Serbestlik derecesi
k	İterasyon sayısı
$L_p, \ x\ _p$	L_p -normu, Hölder normu
m	Gözlem veya ölçüm sayısı
n	Sistem baralarının sayısı
N	Bilinmeyenlerin sayısı
O	Sıfır vektörü
P_i	i . sistem barasında enjekte edilen aktif güç
P_{ij}	i barasından j barasına akan aktif güç
Q_i	i . sistem barasında enjekte edilen reaktif güç
Q_{ij}	i barasından j barasına akan reaktif güç
r	Fark vektörü
R	Resistans, ağırlık matrisi, kovaryans matrisi
R^n	m satırlı gerçel sayının vektör uzayı
$R^{m \times n}$	m satırlı ve n kolonlu gerçel sayının dikdörtgen matrisinin vektör uzayı
$A \in R^{m \times n}$	m satırlı ve n kolonlu A gerçel matrisi
S_{bara}	Enjekte edilen bara kompleks gücü
S_i	i barasındaki toplam kompleks güç enjeksiyonu
sup	Supremum fonksiyonu
$ V $	Bara geriliminin genliği
V	Efektif gerilimi
X	Reaktans
$x \in R^n$	n boyutlu gerçel kolon vektörü
$x, x(t)$	Sistem durum değişkenleri, bilinmeyen katsayılar
$\hat{x}$	Sistem durum değişkenlerinin kestirilen büyüklükleri
Y_{bara}	Bara admitans matrisi
Y_{st}	Şönt admitans matrisi
Y_{ij}	i barasını j barasına bağlayan hattaki şönt admitans matris elemanı
Z	Ölçüm vektörü, hat empedansı

δ	Bara geriliminin faz açısı
μ	Ölçülen büyüklüklerin ortalama değeri
θ_{ij}	Z_{ij} hat empedansının açısı
σ	Standard sapma
$\ \cdot\ $	Vektör normu
$\ x\ _F$	Frobenius normu
$(\cdot)^T$	Transpoze
$*$	Kompleks konjüge operatörü



KISALTMA LİSTESİ

EMS	Energy Management System
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LAV	Least Absolute Value
LS	Least Squares
MAV	Maximum Absolute Value
WLAV	Weighted Least Absolute Value
WLS	Weighted Least Squares



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Tek fazlı iletim hattı devre modeli.....	12
Şekil 4.1 Güç akışı durum kestirimi.....	21
Şekil 4.2 IEEE altı baralı test devresi.....	22
Şekil 4.3 IEEE altı baralı test sistemi için L_p kestirimcilerinin hesaplama süresi A analizi.....	27
Şekil 4.4 IEEE altı baralı test sistemi için L_p kestirimcilerinin hata analizi.....	27
Şekil 4.5 IEEE otuz baralı test sistemi.....	28
Şekil 4.6 IEEE otuz baralı test sistemi için L_p kestirimcilerinin hesaplama süresi analizi.....	31
Şekil 4.7 IEEE otuz baralı test sistemi için L_p kestirimcilerinin hata analizi.....	31
Şekil 4.8 IEEE altı baralı sistemi için L_1 kestirimcisi ve (L_2+L_1) kombinasyonunun hesaplama süresi analizi.....	35
Şekil 4.9 IEEE altı baralı sistemi için L_∞ kestirimcisi ve (L_2+L_∞) kombinasyonunun hesaplama süresi analizi.....	36
Şekil 4.10 IEEE otuz baralı sistemi için L_1 kestirimcisi ve (L_2+L_1) kombinasyonunun hesaplama süresi analizi.....	43
Şekil 4.11 IEEE otuz baralı sistemi için L_∞ kestirimcisi ve (L_2+L_∞) kombinasyonunun hesaplama süresi analizi.....	44

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Güç sistemindeki ölçüm kümesi.....	16
Çizelge 4.1 IEEE altı baralı test sisteminin hat verileri.....	22
Çizelge 4.2 IEEE altı baralı test sisteminin baz değerli ölçüm kümesi.....	23
Çizelge 4.3 Kestirilen gerilim genliği ve gerilim faz açıları – Durum 1.....	24
Çizelge 4.4 Kestirilen gerilim genliği ve gerilim faz açıları – Durum 2.....	24
Çizelge 4.5 Kestirilen gerilim genliği ve gerilim faz açıları – Durum 3.....	25
Çizelge 4.6 Kestirilen gerilim genliği ve gerilim faz açıları – Durum 4.....	25
Çizelge 4.7 IEEE altı baralı test sistemi için kestirilen farklar ve hesaplama süreleri.....	26
Çizelge 4.8 1-20 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları - Durum 5.	29
Çizelge 4.9 21-30 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları- Durum 5.....	30
Çizelge 4.10 IEEE otuz baralı test sistemi için kestirilen farklar ve hesaplama süreleri.....	30
Çizelge 4.11 Kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları - Durum 9-1.....	33
Çizelge 4.12 Kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 9-2.....	33
Çizelge 4.13 Kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 9-3.....	34
Çizelge 4.14 Kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 9-4.....	34
Çizelge 4.15 IEEE altı baralı test sistemi için kestirilen farklar ve hesaplama süreleri	35
Çizelge 4.16 1-24 nolu baraların kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 10-1.....	37
Çizelge 4.17 25-30 nolu baraların kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 10-1.....	38
Çizelge 4.18 1-12 nolu baraların kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 10-2.....	38
Çizelge 4.19 13-30 nolu baraların kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 10-2.....	39
Çizelge 4.20 1-24 nolu baraların kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 10-3.....	40
Çizelge 4.21 25-30 nolu baraların kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 10-3.....	41
Çizelge 4.22 1-12 nolu baraların kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 10-4.....	41
Çizelge 4.23 13-30 nolu baraların kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 10-4.....	42
Çizelge 4.24 IEEE otuz baralı test sistemi için kestirilen farklar ve hesaplama süreleri	43

	Sayfa
Çizelge EK2.1	Durum 1 için aktif ve reaktif güç ölçümleri..... 59
Çizelge EK2.2	Durum 2 için aktif ve reaktif güç ölçümleri..... 59
Çizelge EK2.3	Durum 3 için aktif ve reaktif güç ölçümleri..... 60
Çizelge EK2.4	Durum 4 için aktif ve reaktif güç ölçümleri..... 60
Çizelge EK3.1	Standard IEEE otuz baralı test sisteminin 1-20 nolu kolları için hat verileri..... 61
Çizelge EK3.2	Standard IEEE otuz baralı test sisteminin 21-41 nolu kolları için hat verileri..... 62
Çizelge EK3.3	Statik kapasitör verileri..... 63
Çizelge EK3.4	Transformatör verileri..... 63
Çizelge EK3.5	1-12 nolu baralar için sistem yükleri ve üretimleri-Baz değerli..... 63
Çizelge EK3.6	13-30 nolu baralar için sistem yükleri ve üretimleri-Baz değerli.... 64
Çizelge EK3.7	Durum 5 için 1-24 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri..... 65
Çizelge EK3.8	Durum 5 için 25-30 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri..... 66
Çizelge EK3.9	Durum 6 için 1-14 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri.....66
Çizelge EK3.10	Durum 6 için 15-30 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri..... 67
Çizelge EK3.11	Durum 6 için 1-19 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları..... 68
Çizelge EK3.12	Durum 6 için 20-30 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları..... 69
Çizelge EK3.13	Durum 7 için 1-10 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri..... 69
Çizelge EK3.14	Durum 7 için 11-30 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri..... 70
Çizelge EK3.15	Durum 7 için 1-22 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları..... 71
Çizelge EK3.16	Durum 7 için 23-30 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları..... 72
Çizelge EK3.17	Durum 8 için 1-14 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri..... 72
Çizelge EK3.18	Durum 8 için 15-30 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri.... 73
Çizelge EK3.19	Durum 8 için 1-22 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları..... 74
Çizelge EK3.20	Durum 8 için 23-30 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları..... 75

ÖNSÖZ

Güç sistemi durum kestirimi, verilen ölçüm kümeleri ile güç sistem durumunun en iyi kestirimini elde edecek algoritma olarak tanımlanabilir. Bu ölçümler, gerilim genliklerini, hat güç akışlarını ve/veya düğüm enjeksiyonlarını kapsar. Güç sisteminin genişlemesi ile, yüksek dereceli durum kestirim problemi daha düşük dereceli alt problemlere bölerek kompleksliği azaltmak için bir çok teknik ve algoritma geliştirilmiştir. Çünkü, güç sistemi güvenlik analizi gibi enerji yönetim sistemlerinde kullanılan yazılımlar, durum kestiriminden elde edilecek doğru gerçek zaman veri tabanını gerektirir. Ayrıca, bu doğru verinin de en kısa sürede elde edilmesi önem taşımaktadır.

Bu tezde, IEEE altı ve otuz baralı test sistemlerinde, bara gerilim genliklerini ve faz açılarını en az hata ile en kısa sürede kestirmek için farklı L_p kestirimcilerinin kombinasyonu kullanılmıştır. Bu çalışmanın, özellikle, çok baralı büyük elektrik güç sistemlerinin kontrol sistemi için gerekli verinin kestiriminin ve değerlendirilmesinin büyük ölçüde hızlanmasında katkıda bulunacağına inanıyorum.

Bu çalışmada yapmış olduğu katkılardan dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin Çakır'a, yönlendirici çabalarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Aslan İnan'a ve Arizona State Üniversitesindeki işbirliğinden dolayı Sayın Maher Bokroun'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu süre boyunca bana gösterdikleri sabırdan dolayı anneme, babama, eşime ve kızlarım Elif, Zeynep ve Fatma'ya teşekkür ederim.

ÖZET

1960'ların sonlarından günümüze kadar incelenmeye devam eden güç sistemi durum kestirimi, karmaşık bara gerilimlerinin güvenilir ve doğru kestirimini hesaplamak için kullanılan bir tekniktir. Durum kestirimcisinin girişleri, çoğunlukla, bara gerilim genliklerinin, hat güç akışlarının ve bara güç enjeksiyonlarının az güvenilir ve hatalı ölçümleridir. Güç sistemlerinin durum kestirimi, güç sistemi değişkenlerinin kullanışlı ve doğru izlenmesini ve kontrolünü sağlayan ekonomik bir araçtır.

Bu tezde, sürekli durum koşullarında, L_p ($p = 1, 2$ ve ∞) durum kestirimcilerinin ve kombinasyonlarının üç fazlı dengeli güç sistemine uygulandığında ki davranışları karşılaştırılmaktadır. Durum kestiriminde genel yaklaşım, ölçüm denklemlerinin farkını minimum yapmaktır. Kestirim, bu farkı ölçmek için kullanılan norma bağlıdır. L_p kestirimcilerinin performansı, hem normal hem kötü verinin olduğu koşullarda karşılaştırıldı. Sonuçlar, Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) 6 baralı ve 30 baralı test sistemlerinden elde edilmiştir. Bulgular; doğruluk ve hesaplama süresi açılarından karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın en önemli sonucu şudur: gerilim genliklerinin ve gerilim faz açılarının kestiriminde farklı L_p durum kestirimcileri tek olarak uygulandığında, oldukça kötü ölçüm verileri kullanıldığı durumlarda dahi, L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisi en küçük hataya, L_2 en küçük kareler kestirimcisi ise en küçük hesaplama süresine sahip iken, L_2 kestirimcisinin L_1 ve L_∞ kestirimcileri ile kombinasyonu kullanıldığında, hem L_1 hem de L_∞ kestirimcisi için gerekli hesaplama süresi dolayısıyla da iterasyon sayısı azalmıştır. Bu kombinasyon metodunda, ilk iterasyonda L_2 en küçük kareler kestirimcisi, daha sonra yakınsama sağlanıncaya kadar da L_1 ve L_∞ kestirimcileri kullanılır. Uygun filtreleme tekniği ve ağırlıklı faktörler kullanılarak, kestirimcinin çıkışı daha da iyileştirilebilir. Bu tezde, sınırlı sayıdaki örnek sistem ile sınırlı sayıdaki ölçüm kümesi kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güç sistem durum kestirimi, L_1 en küçük mutlak değer, L_2 en küçük kareler, L_∞ maksimum mutlak değer kestirimcisi, L_p kestirimcilerinin kombinasyonu.

ABSTRACT

State estimation was introduced to power systems and implemented in the late sixties, and it continues to be used today. Power system state estimation is a technique used for calculating reliable and accurate estimates for complex bus voltages. The inputs to the state estimator are often potentially unreliable and inaccurate measurements of bus voltage magnitudes, line power flows and bus power injections. State estimation of power systems is an economic tool that provides useful and accurate monitoring and control of the power system variables.

In this thesis, the objective is to compare the behavior of the L_p ($p = 1, 2$ and ∞) state estimators and their combinations when applied to a three phase balanced power system under steady state conditions. The general approach in state estimation is to minimize a residual of measurement equations. The estimate is dependent on the norm used to measure this residual. The performance of the L_p estimators is compared under both normal and bad data conditions. The results are illustrated using two Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) test systems – the IEEE 6-bus and IEEE 30-bus systems. The comparison is conducted based on accuracy and computational time.

The main conclusion of this work is that when the various L_p state estimators are used to estimate the voltage magnitude and voltage phase angles, the least absolute value estimator L_1 produces minimum errors and the least square estimator L_2 produces the minimum computational time, especially under highly distorted measurements. However, the computational time and the number of iterations required for L_1 and L_∞ estimators to converge substantially reduced using a combination of the L_2 estimator with the L_1 or the L_∞ estimator. In the combined method, the least square estimator L_2 is executed for one iteration, and then the L_1 or the L_∞ estimator is applied. The use of a suitable filtering technique and weighting factors may enhance the estimator output. The foregoing conclusions are drawn from a limited number of experiments with a limited number of sample systems.

Keywords: Power system state estimation, the least absolute value L_1 , the least square estimator L_2 , the maximum absolute estimator L_∞ and the combined L_p estimators.

1. GİRİŞ

Geleneksel sistemlerde, sistemleri izlemek için çok az gerçek zaman verisi olduğu için, modern bilgisayar destekli dağıtım ve iletim sistemleri, elektrik şebekelerinin çalışmasını ve beslemenin kalitesinin iyileştirebilmektedir (Barab ve Kelly ,1994 ve Li, 1995). 1960'ların sonlarından bu yana bir çok çalışmanın konusu olan güç sistemlerinde durum kestirimi (Guangyi vd., 1998); fiziksel sistemdeki mevcut gerilim, akım ve diğer parametreleri hesaplamak için, ölçüm ve belli diğer fiziksel verilerin kullanıldığı verimli ve ekonomik matematiksel bir araçtır. Diğer bir tanımda ise, güç sistem durum kestirimi, enerji yönetim sisteminin temel bileşeni olarak tanımlanmaktadır (Pandian v.d., 1998). Habiballah ve arkadaşları ise, güç sistemi durum kestirimini, verilen ölçüm kümeleri ile, güç sistem durumunun en iyi kestirimini elde edecek algoritma olarak tanımlamaktadır (Habiballah vd., 1998). Güç sistemi güvenlik analizi gibi enerji yönetim sistemlerinde kullanılan yazılımlar, durum kestiriminden elde edilecek doğru bir gerçek zaman veri tabanını gerektirmektedir (Guangyi vd, 1998). Güç sisteminin izlenmesi ve kontrolü için durum kestiriminin kullanılması fikri ilk defa Schweppe tarafından önerildi ve geliştirildi. 1969 ve 1970'de , Schweppe, durum kestirimi için, lineer regresyon tabanına dayalı klasik kuadratik ağırlıklı en küçük kareler (WLS - Weighted Least Squares) kestirimcisini önerdi. Aynı zamanda, kötü veriyi teşhis etmek için metotları araştırdı. Schweppe ve Merrill (1971), WLS'nin kötü veriye karşı dezavantajını ortadan kaldırmak için WLS amaç fonksiyonu modifikasyonunu (Merril-Schweppe kestirimcisini) önerdiler. Bundan sonra, ağırlıklı en küçük kareler kestirimcileri, yoğun olarak araştırıldı ve hesaplama süresi gibi nümerik kararlılığı, çeşitli tekniklerle büyük oranda iyileştirildi (Handschin vd., 1975). Önerilen bazı yaklaşım tekniklerinin karşılaştırılması, Holten'in çalışmasında yer almaktadır (Holten vd., 1988).

Orjinal olarak, güç sistemi durum kestirimi problemi ağırlıklı en küçük kareler kestirimcisi (WLS- Weighted Least Squares) ile çözülmesine karşın, modelleme, hata analizi ve bilgisayar verimliliği gibi konuları araştırılmaya devam etti. Ağırlıklı en küçük mutlak değer kestirimcisini kullanarak lineer programlamanın nasıl bir alternatif çözüm olacağı araştırıldı (Irving v.d., 1978, Kotiuga ve Vidyasagar, 1982, Abur ve Çelik, 1991, ve Falcao ve De Assis, 1988) ve ağırlıklı en küçük mutlak değer kestirimcileri (WLAV – Weighted Least Absolute Value), güç sistem durum kestirimi için önerildi (Irving vd., 1978). WLAV kestirimcileri, WLS kestirimcileri karşılaştırıldığında, daha tutarlı bulundu. Ancak WLS kestirimcilerine benzer

olarak, WLAV kestirimcileri de belli ölçüm konfigürasyonları için leverage noktalarında çevresinden çabuk etkilenmektedir (Pires vd., 1999). WLAV kestirimcisinin önemli dezavantajı, büyük sistemlerdeki düşük bilgisayar verimliliğidir. 1984'de, büyük bir güç sisteminde, WLAV kestirimcisinin lineer uygulama metodunun uygulanabilirliği tartışılmıştır (U.S. Department of Energy Report).

1.1 Güç Sistemlerinde Durum Kestirimi

Elektrik güç üretim, dağıtım ve iletim sistemlerinde; aktif güç, reaktif güç, gerilim ve akımı ölçmek için wattmetre, voltmetre ve ampermetre gibi çeşitli analog ve/veya dijital ölçme cihazları kullanılmaktadır. Bu sürekli analog büyüklükler; transdüserler, akım ve gerilim transformatörleriyle izlenir. Analog büyüklükler, transdüserlerden ve analog dönüştürücülerden dijital dönüştürücülere geçerler ve dijital çıkış, çeşitli iletişim hatları ile telemetrik olarak ölçülür (Do Coutto Filho vd., 1990). Enerji kontrol merkezi tarafından alınan veriler, sistemin o andaki durumunu sistem operatörüne bildirmek üzere, bilgisayar tarafından analiz edilir ve logaritmik veri olarak işlenir. Fiziksel ölçümler genellikle, hem sabit hem rastlantısal gürültü ile kirlenir. Gürültü, elde edilen verilerin kaçınılmaz hataları içerdiği gerçeğidir. Bu hatalar ve yanlışlıklar, istatistiki olarak değerlendirilebilir. Ölçülen büyüklüklerin kestirilen değerleri, eğer belli bir doğruluk seviyesinde ise, ya makul veri olarak kabul edilir yada reddedilir (Falcao ve DeAssis, 1998 ve Moghavvemi ve Faruque, 1998). Çünkü, herhangi bir güç sisteminin güvenliğini izleme veya kontrol şemasının ilk gerekliliği, güvenilir ve doğru veridir. Güç sisteminde, tüm baralardaki gerilim genlikleri V_k ($k=1, \dots, N$) ve gerilim faz açıları δ_k ($k=2, \dots, N$)'nı içeren $2N-1$ bağımsız değişken, N -baralı güç sisteminin statik durumunu belirlemek için yeterlidir. Referans barada δ sıfır derece kabul edilir. Ancak, güç sistem durum değişkenlerinin ölçümü, ölçüm hatalarının ve gerçek zaman veri toplama cihazlarının olası hatalarının olması durumunda, dinamik çalışma için yeterli değildir. Bilinmeyen durum değişkeni sayısından daha fazla ölçüme ihtiyaç vardır. Bu ölçüm tekrarının (redundancy) kullanılması, güç sisteminin izlenmesi ve kontrolünde, farklı alanlarda uygulamaları olan çeşitli durum kestirim tekniklerinin kullanılmasını gerektirir (Bagchi vd., 1994).

Güç mühendisliği uygulamalarında, durum kestirim teknikleri temelde iki kategoriye ayrılır: *statik* ve *dinamik* kestirim. Statik kestirim, kısa zaman periyotlu sürekli durum yaklaşımının yeterli olmadığı elektrik şebekelerindeki yük akışlarının tayininde uygulanır (Shih ve Huang, 2002). Sürekli durum varsayımı, sistem kısmi olarak düşük frekans distürbansına maruz kaldığında veya sistem alternatif akım sürekli durumunda geçerlidir. Ayrıca, statik durum kestiriminin belli güç büyüklüklerinin kestiriminde içeren başka uygulamalarıda mevcuttur. Diğer taraftan, dinamik kestirim, normalde, sistem elemanlarının dinamiklerinin göz önüne alınması gereken geçici yada dinamik kararlılık problemleri ile ilgilidir. Milisaniyeler mertebesinde çalışılması gereken durumlarda, veri hızlı toplanmalı ve işlenmelidir. Dinamik kestirimcilere örnek olarak Kalman filtreleri verilebilir (Chan vd., 2000). Kalman filtresi, aslında, güç sistemindeki dinamik gerilim ve akımı belirlemek için kullanılan dinamik en küçük kareler hata kestirimcisidir. Kalman filtesinin uygulamalarına örnek, Trudnowski (2001)'nin makalesinde mevcuttur. Ancak, hem statik hem dinamik kestirim, ölçümler sadece istatistiki olarak anlamlı ise uygulanır. Örneğin limitlerden birisi, transdüser ve telemetrik ölçüm sisteminin standard sapmasıdır. Sonuçta, ilk olarak, ham veriler, kestirimcisinin en küçük gecikme ile yakınsamasında ve en kötü durumda da, geçerli ama kötü ölçüm verilerindeki büyük hataları ortadan kaldırmak için analiz edilmelidir. Ham verinin bu işlemi, kötü verinin bastırılması olarak bilinir.

Güç mühendisliğinde, statik kestirim dinamik kestirimden daha fazla ilgi görmüştür. Günümüzde, dinamik durum kestiriminin hesaplama süresinin yüksek olmasından dolayı, statik durum kestirimi, bir çok kontrol merkezinin ihtiyacını karşılamaktadır. Güç sisteminin lineer olmayan doğası, dinamik güç sisteminin güvenilir modelinin tanımlanmasını zorlaştırır (Falcao ve DeAssis, 1988). Verilen bir güç sistem yapısı ve belli bir parametre kümesi için statik kestirim şemasının amacı, şebeke çalışma verisinin hesaplanmasıdır. Sistem durum değişkenlerinin hesaplanması, genellikle, ölçüm hatalarının kompanzasyonu, eksik ölçümlerin tamamlanması ve kötü verinin ve yapısal hataların belirlenmesi ile devam eder. Durum kestirimi, temelde, tam ve güvenilir veri tabanını oluşturmak için kullanılır. Kestirim şemasının bilinmeyen bağımsız değişkenleri, doğru düğüm enjeksiyonu, doğru yapı ve doğru parametrelerdir (Filho vd., 1990 ve Falcao ve DeAssis, 1988). Doğru yapı, iletim hatlarının, transformatörlerin ve jeneratörlerin

birbiriyle bağlarını tanımlar. Doğru parametreler, hatların, transformatörlerin ve ölçü aletlerinin karakteristikleridir.

Tezin amacı, güç sistemlerindeki farklı L_p ($p = 1, 2, \infty$) kestirimcilerinin davranışlarını karşılaştırmaktır. Çalışmada, L_p kestirimcileri, doğruluk (hesaplanan ve ölçüm verileri arasındaki fark) ve hesaplama süresi açılarından karşılaştırılmaktadır.

Tez beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm, genel tanımlar ve literatür taramasını içermektedir. İkinci bölümde, güç sistemlerindeki L_p normları detaylı olarak gösterilmiştir. Üçüncü bölüm ise, yük akışının temelini ve elektrik sistemi modelini verir. Bu bölümde, durum kestirimi için gereken iteratif Jacobian matrisinin oluşturulması ve yük akışı ile ilgili denklemlerin türetilmesi gösterilmiştir. Dördüncü bölümde, IEEE altı baralı ve otuz baralı test sistemlerinden oluşan iki örnek sistem mevcuttur. L_p ($p = 1, 2$ ve ∞) durum kestirimcilerinin tek ve kombinasyon olarak kullanılması ile elde edilen sonuçlar tablo halinde sunulmuştur. Durum kestirimcilerinin davranışları, %0 - %10 arasındaki farklı gürültü seviyelerinde test edilmiştir. Beşinci ve son bölüm ise, sonuçların yorumlarını ve ileriki çalışmalar için önerileri içermektedir.

2. GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ L_p NORMLARI

2.1 Vektör ve Matris Normları

Normlar genellikle, vektörlerin ve matrislerin ölçüsünü ve modülünü tanımlamak için kullanılır. Hatalar genellikle vektör normunda gösterilir. Aşağıdakiler temel tanımlardır:

2.1.a Vektör Normu

R^n uzayındaki vektör normu, aşağıdaki özelliklere sahip $f : R^n \rightarrow R$ fonksiyonudur:

$$f(x) \geq 0 \quad (\text{sadece ve sadece } x = 0 \text{ koşuluyla) tüm } x \in R^n \text{ için}$$

$$f(x+y) \leq f(x) + f(y) \quad \text{tüm } x, y \in R^n \text{ için}$$

$$f(\alpha x) = |\alpha| f(x) \quad \text{tüm } \alpha \in R, x \in R^n \text{ için.}$$

x ve y herhangi iki kolon vektörüdür ve α bir skalerdir. $f(x)$ fonksiyonu ise, $\|x\|$ genellikle farklı normlardan ayırt etmek için iki çizgisi ve indisi olan vektör normu olmak üzere, $f(x) = \|x\|$ şeklindedir. Hölder normu veya p -normu, Golub ve Van Loan tarafından tanımlanmıştır (1984),

$$\|x\|_p = (|x_1|^p + \dots + |x_n|^p)^{1/p} \quad p \geq 1 \quad (2.1)$$

Burada,

$$\|x\|_1 = |x_1| + \dots + |x_n|$$

$$\|x\|_2 = (|x_1|^2 + \dots + |x_n|^2)^{1/2} = (x^T x)^{1/2}$$

ve

$$\|x\|_\infty = \max_i |x_i|$$

şeklindedir. $\|x\|_1$, $\|x\|_2$ ve $\|x\|_\infty$ ise, sırasıyla, L_1 , L_2 ve L_∞ normlarıdır.

p normları ($p = 1, 2$ ve ∞)'nın birbirleri ile ilişkileri aşağıdaki gibidir:

$$\|x\|_2 \leq \|x\|_1 \leq \sqrt{n} \|x\|_2$$

$$\|x\|_\infty \leq \|x\|_2 \leq \sqrt{n} \|x\|_\infty$$

$$\|x\|_{\infty} \leq \|x\|_l \leq \sqrt{n} \|x\|_{\infty}$$

Burada n , x 'in boyutudur (Golub ve Van Loan, 1984). Mutlak değer reel ekseninde olduğu için, normlar, vektör uzayında da aynı işlevi görür. Metrik uzayını tanımlayan R^n , normuyla birlikte uzaklık kavramına imkan verir (Zhong ve Abur, 2002).

2.1.b Matris Normu

Matris formu notasyonu, sistem analizinde kullanılan matrisin ölçülerini hesaplamada çok kullanışlıdır. Matrisin norm tanımı, aşağıdaki koşullarda vektör norm tanımına eşdeğerdir:

$$f(A) \geq 0 \quad (\text{sadece ve sadece } A = 0 \text{ koşuluyla}) \text{ tüm } A \in R^{m \times n} \text{ için}$$

$$f(A+B) \leq f(A) + f(B) \quad \text{tüm } A, B \in R^{m \times n} \text{ için}$$

$$f(\alpha A) = |\alpha| f(A) \quad \text{tüm } \alpha \in R, x \in R^{m \times n} \text{ için}$$

Yukarıdaki kriterleri sağlayan herhangi bir fonksiyon, bir matris normu olarak düşünülebilir ve çift çizgi notasyonu ile gösterilebilir. Yaygın olarak kullanılan matris normları, F normu veya Frobenius normu ve p normudur. F normu aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\|A\|_F = \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |A_{ij}|^2 \right]^{1/2}$$

p normu ise,

$$\|A\|_p = \sup_{x \neq 0} \frac{\|Ax\|_p}{\|x\|_p}$$

şeklindedir. Burada, $\|x\|_p$ denklem (1.1)'de tanımlanmış p vektör normudur. $A \in R^{m \times n}$ matrisi için, Frobenius normu ile çeşitli p normları ($p = 1, 2$ ve ∞) arasındaki ilişki, aşağıda halinde verilmiştir (Golub ve Van Loan, 1984),

$$\|A\|_2 \leq \|A\|_F \leq \sqrt{n} \|A\|_2$$

$$\max_i |A_{ij}| \leq \|A\|_2 \leq \sqrt{mn} \max_i |A_{ij}|$$

$$\|A\|_2 \leq \sqrt{\|A\|_1 \|A\|_{\infty}}$$

$$\|A\|_1 = \max_j \sum_{i=1}^m |A_{ij}|$$

$$\|A\|_{\infty} = \max_i \sum_{j=1}^n |A_{ij}|$$

$$\frac{1}{\sqrt{n}} \|A\|_{\infty} \leq \|A\|_2 \leq \sqrt{m} \|A\|_{\infty}$$

$$\frac{1}{\sqrt{m}} \|A\|_1 \leq \|A\|_2 \leq \sqrt{n} \|A\|_1$$

2.2 Güç Sistemlerindeki L_p Normları

Elektrik güç sistemi uygulamalarında, devre büyüklüklerinin ölçümü genellikle önemlidir. Fiziksel modelden elde edilen lineer denklem sisteminin; ölçüm sayısının bilinmeyen durum değişkenleri sayısından daha fazla olan bir sistem olması gerekir. Lineer denklemin, böyle bir güç sistemi için, farklı lineer L_p yaklaşımı aşağıdaki gibidir (Spath, 1992):

$$r = Hx - z \quad (2.2)$$

Burada r fark vektörü, $H \in R^{m \times n}$ süreç matrisi, $z \in R^m$ ölçüm vektörü, m ölçüm sayısı ve n bilinmeyen sayısıdır. (2.2) denkleminde, H , elektrik devresinin lineer sürecinin öngörülen modelidir ve x durum vektörüdür. L_p normu, r vektörü için tanımlanan Hölder normudur ve,

$$\|r\|_p = \left(\sum_{i=1}^m |r_i|^p \right)^{1/p} \quad (1 \leq p \leq \infty)$$

$$\|r\|_p = \min_{x \in R^n} \|Hx - z\|_p \quad (2.3)$$

şeklindeir. r vektörünün elemanları, indisle ve mutlak değeri ifade eden $|\cdot|$ notasyonu ile gösterilir. Bu varsayım $p \geq 1$ içindir. Hölder normlarının popüleritesi, kısmen, Euclidean mesafesiyle ($p = 2$), kümenin maksimum değerleriyle ($p = \infty$) ve basit ortalama değerlerle ($p = 1$) bağlantılı olmasına dayanır. Sonuçta, L_p kestirimcisi, öngörülen model ve gerçek ölçüm arasındaki hatanın L_p normunu minimum yapar. p normunu minimum yapacak olan en iyi çözümü elde edecek şekilde $\hat{x}$ durum değişkeninin kestirilen değeri için, (2.3) denklemi aşağıdaki gibi yazılır:

$$\|\hat{Hx} - z\|_p = \min_x \|Hx - z\|_p. \quad (2.4)$$

(2.4) denklemi; z vektörüne, Hx vektörüyle L_p normunda yaklaşmak için kullanılır. Burada Hx vektörü, z ölçüm vektörünün x durum değişkenleri vektörüne bağlantısını sağlayan m boyutlu vektördür (Els vd., 1999 ve Abur ve Çelik, 1993).

2.2.a En Küçük Mutlak Değer Kestirimcisi (L_1 normu)

$p = 1$ değeri için en küçük mutlak değer kestirimcisi elde edilir:

$$\|r\|_1 = \|Hx - z\|_1$$

$$\|r\|_1 = \sum_{i=1}^m |r_i| = \sum_{i=1}^m |\text{row}_i(Hx - z)| \rightarrow \min. \quad (2.5)$$

r_i ya pozitif yada negatif olduğu için,

$$r_i^+ - r_i^- \geq 0, \quad r_i^+ = -r_i^- \geq 0$$

$$r_i = r_i^+ - r_i^-, \quad r_i^+ r_i^- = 0$$

$$|r_i| = |r_i^+ - r_i^-| = r_i^+ - r_i^-, \quad \sum_{i=1}^m r_i^+ + r_i^- \rightarrow \min$$

Benzer şekilde, eğer x 'in pozitif ve negatif kısımları birbirinden ayrılırsa,

$$x_i = x_i^+ - x_i^-, \quad x_i^+ x_i^- = 0$$

elde edilir. (2.5) nolu denklem, aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$(E^T E^T, 0^T, 0^T) \begin{pmatrix} r^+ \\ r^- \\ x^+ \\ x^- \end{pmatrix} \leq 0 \quad (2.6)$$

Ancak, aşağıdaki sınırlama vardır:

$$(I, -I, H, -H) \begin{pmatrix} r^+ \\ r^- \\ x^+ \\ x^- \end{pmatrix} = z$$

$$(r_i^+, r_i^-, x_i^+, x_i^-) \geq 0 \quad (2.7)$$

Burada $E \in R^m$, m bileşenleri bir olan vektördür. (E^T, E^T, O^T, O^T) , $2n+2m$ boyutlu kolon vektörü ve O^T ise m boyutlu sıfır vektörüdür. $I \in R^{m \times m}$ birim matris ve $H \in R^{m \times n}$ süreç matrisidir.

En küçük mutlak değer veya L_1 normu kestirimi, kötü veriyi teşhis etmede, ağırlıklı en küçük kareler metodundan daha iyidir (Bagchi vd., 1994 ve Habiballah ve Irving, 2001). (2.6) ve (2.7) denklemlerini çözmek için Dantzig tarafından geliştirilen (Dantzig, 1982) simplex lineer programlama metodu kullanılmaktadır. Sınırlar, eski değerlere yeni değerlerin atandığı çalışma noktasında lineer hale getirilir ve bu işlem, yakınsama sağlanıncaya kadar tekrar edilir (Spath, 1992 ve Abur ve Çelik, 1991). Bu metot özellikle, sapma oluşturabilecek ağır titreşimler için çok uygundur.

2.2.b En küçük Kareler Kestirimcisi (L_2 normu)

En küçük kareler çözümü (LS – Least Squares), $p = 2$ olduğunda elde edilir. Bu metot, güç sistem uygulamalarında sıkça uygulanır. Bu metot, ölçüm sayısının bilinmeyen durum değişkenleri sayısından daha fazla olduğu bir sistem için çözüm sağlar. En küçük kareler metodunda, istenilen parametrelerin belirlenmesi matematiksel olarak kolay olduğu için büyük ölçüde tercih edilir (Holten vd. 1988). Ölçümlerdeki r hatasının bağımsız olduğu ve normal olarak dağıldığı varsayımına dayanarak, (2.2) nolu denklem aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir:

$$\|Hx - z\|_2^2 = (\|Hx - z\|^T \|Hx - z\|) \rightarrow \min$$

$$H^T Hx = H^T z$$

$$\hat{x} = (H^T H)^{-1} H^T z. \quad (2.8)$$

$(H^T H)^{-1} H^T$ terimi, H matrisinin pseudoinverse'dir.

2.2.c Ağırlıklı En Küçük Kareler Kestirimcisi (WLS)

Denklem (2.2)'nin verilen regresyon modeli, σ_i i .ci ölçüm cihazının standard sapması olmak üzere, $R = \text{diag}(\sigma_1^2, \dots, \sigma_m^2)$ ile verilen R matrisinin, e hata matrisinin kovaryans matrisidir. $J(x)$ fonksiyonu aşağıdaki gibi verilir:

$$J(x) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \left(\frac{r_j}{\sigma_j} \right)^2 = \frac{1}{2} r^T R^{-1} r = (z - Hx)^T R^{-1} (z - Hx)$$

Bu durumda, $(1/\sigma_i)$ büyüklüğü, ağırlık görevini görür. $J(x)$ matrisini minimum yaparken aşağıdaki kabul yapılır:

$$\frac{\partial J(x)}{\partial x} = 0 = -H^T R^{-1} (z - Hx)$$

Yukarıdaki denklemden, kestirilen $\hat{x}$ değerleri, aşağıdaki gibi bulunur,

$$\hat{x} = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} z \quad (2.9)$$

2.2.d En Küçük Maksimum Mutlak Sapma Kestirimcisi (L^∞ normu)

$p \rightarrow \infty$ için, en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisi, aşağıdaki denklemden elde edilir:

$$\|r\|_\infty = \max_i |r_i| = \max_i |\text{row}_i (Hx - z)| \rightarrow \min \quad (2.10)$$

Minimum yapılacak f fonksiyonu $f \in R$ olmak üzere, (2.10) nolu denklem lineer programlama formuna aktarılır ve,

$$f \rightarrow \min, \quad -f \leq r_i \leq f \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$\begin{pmatrix} H & E \\ -H & E \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ f \end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix} z \\ -z \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

olacak şekilde simplex metodu kullanılarak çözülür (Do Coutto Filho vd., 1990). Burada $E \in R^m$, m bileşeni bir olan vektördür.

3. GÜÇ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

Alternatif akım güç sistemlerinin durumu, sistem baralarındaki gerilim genlikleri ve faz açıları ile ifade edilir. Gerilim faz açılarının doğrudan ölçümleri, genellikle, gerçek zaman verileri kullanılarak yapılan kestirimlere nazaran daha maliyetlidir. Veriler, sistem baralarının gerilimlerini ve faz açılarını hesaplamak için durum kestirimcileri tarafından işlenir. Giriş verileri ve hesaplama süreçleri oldukça farklı olmasına rağmen, durum kestirimcileri, geleneksel güç akışının sonuçlarına benzer sonuçlar verir (IEC Standard 61000-2-3, 1994). Modern güç sistemleri, ideal olarak, aynı frekans ve genlikte olan ve her bir faz arasındaki faz farkının $\pm 120^\circ$ olduğu dengeli üç fazlı sinusoidal gerilimde çalıştırılır. Üç fazın dengesi, faz transpozisyonu kullanıldığında ve güç sistemi normal çalışma durumunda iken geçerli olan yaklaşımdır. Basitleştirilmiş güç sistem şebeke modelleri, öncelikle, kollarla yada hatlarla enterkonnekte olan düğümleri yada baraları kapsar. Her bir barada, bara güç enjeksiyonu olarak bilinen, net güç üretimi ve/veya tüketimi vardır. Bir koldaki güç akışı, kolun bara gerilimleriyle yada empedansı ile açıklanabilir.

Bilinmeyen bağımlı durum vektörü $\hat{x}$, V kompleks gerilimlerinden oluşur. V vektörü; N , sistemin bara sayısı olmak üzere $n = 2N - 1$ boyutludur. Bilinen büyüklükler, telemetrik olarak ölçülen hat akışları, bara enjeksiyonları ve bara gerilimlerinden oluşan $z(t)$ ölçümleridir. Belli bir anda ölçümler, bilinmeyen değişkenlere aşağıdaki bağıntı ile bağlıdır;

$$Z = Hx + e$$

Ölçüm hatası e ; gerçek gözlem z ile $H\hat{x}$ vektörünün kestirilen değeri arasındaki normal farkı gösteren rastlantısal vektördür. H matrisi ise, ölçüm vektörü z ile sistem durum değişkenleri x 'i birbirine bağlayan süreç matrisidir. e vektörünün mevcudiyetinden dolayı, genellikle, z ölçüm vektörünün boyutu, x bilinmeyen durum değişkenleri vektörünün boyutundan daha büyük seçilir. Tekrarın olasılığı; m gözlem sayısı ve n bilinmeyen sistem durum değişkenlerinin sayısı olmak üzere (m/n) oranıdır. İkinci ölçüt $K = n - m$ olarak tanımlanan "serbestlik derecesi"dir. Ki-kare testini kullanarak en küçük kareler kestirimcisi için durum kestirim doğruluğunu hesaplamak için K 'nın kullanılması, Wood ve Wollenberg'in makalesinde görülmektedir (1996). e hatası, genellikle, gürültülü ölçümden, modelleme hatasından, iletişim hatalarından ve kodlama hatalarından oluşmaktadır.

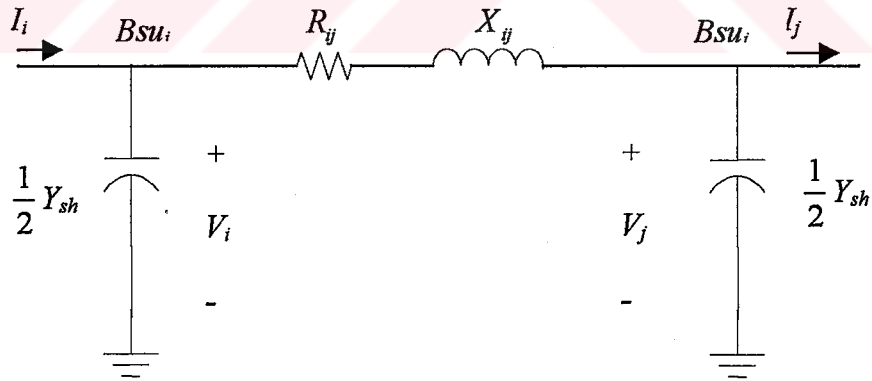
3.1 Güç Sisteminin Modellenmesi

Elektrik güç şebekesinin durumu, şebeke kollarından akan kompleks güç akışı ve her bir baradaki kompleks gücün net enjeksiyonu olarak tanımlanabilir. Herhangi bir andaki şebekenin durumu, tüm kompleks bara gerilimlerinin bir kümesi tarafından tam olarak tanımlanabilir:

$$|V_1| (\cos \delta_1 + j \sin \delta_1), \dots, |V_N| (\cos \delta_N + j \sin \delta_N).$$

Bu kabul yapıldığında, kolların düğümleri ve parametreleri arasındaki bağlantı, tam olarak bilinebilir. N baralı bir sistemde, bir referans faz açısı seçilirse, sistemin durumunu belirlemek için hesaplanacak bilinmeyen durum değişken sayısı $2N-1$ olacaktır (Freris ve Sasson, 1968). Ölçüm vektörü z , güç sisteminden elde edilen m ölçümle oluşturulabilir. Bu ölçümler, aktif ve reaktif güç hat akışlarını ve bara enjeksiyonlarını, baralardaki gerilimin genliklerini, transformatörlerin ayar oranlarını ve bazen de faz açısı ölçümlerini içerir (Wood ve Wollenberg, 1996 ve Habiballah ve Irving, 2001).

Küçük ve orta uzunluktaki iletim hatları, tüm parametreleri Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, bir rezistansa seri bağlı endüktans ve paralel bağlı kapasitans olarak gösterilebilir:



Şekil 3.1 Tek fazlı iletim hattı devre modeli

Hattın şönt kapasitansı, iki eşit parçaya ayrılır ve baradan toprağa giden hattın iki ucuna bağlanır. Model devreden görüldüğü gibi, i barasından j barasına giden güç, $S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i I_i^*$ gücüdür. * indisi, kompleks konjüge operator indisi. P_{ij} ve Q_{ij} ise, i barasından j barasına akan aktif ve reaktif güçlerdir. V_i ve I_i , i barasındaki fazör gerilim ve fazör akımıdır. Verilen Z_{ij} ve Y_{sh} parametreleri, sırasıyla, ohm birimli hat empedansı ve siemens birimli hat admitansdır. P_{ij} ve Q_{ij} , aşağıdaki gibi hesaplanır (Habiballah ve Irving, 2001 ve Heydt, 1996),

$$Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij} = \frac{I}{R_{ij} + jX_{ij}} = \frac{I}{Z_{ij}}$$

$$S_{ij} = V_i I_i^*$$

$$S_{ij} = V_i [(V_j^* - V_i^*)(G_{ij} - jB_{ij})]$$

$$S_{ij} = V_i V_j^* (G_{ij} - jB_{ij}) - V_i^* V_i (G_{ij} - jB_{ij}) \quad (3.1)$$

G_{ij} , Y_{sh} hat admitansının reel bileşenidir. B_{ij} ise, Y_{sh} hat admitansının imajiner bileşenidir. P_{ij} ve Q_{ij} , (3.1) denklemi kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$P_{ij} = -|V_i V_i Y_{ij}| \cos(-\theta_{ij}) - |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (3.2)$$

$$Q_{ij} = -|V_i V_i Y_{ij}| \sin(-\theta_{ij}) + |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}). \quad (3.3)$$

δ_i ve δ_j , i ve j baralarındaki gerilimin faz açılarıdır. θ_{ij} ise, Z_{ij} hat empedansının açısıdır. Verilen bir baradaki toplam güç enjeksiyonu, komşu hatlardan aynı baraya güç akışının toplamıdır. Böylece, i barasındaki toplam kompleks güç enjeksiyonu, S_i olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibidir:

$$S_i = \sum_{j=1}^N S_{ij} = \sum_{j=1}^N (P_{ij} + jQ_{ij}) = P_i + jQ_i \quad (3.4)$$

Burada,

$$P_i = -\sum_{j=1}^N |V_i V_j Y_{ij}| \cos(-\theta_{ij} - \delta_j + \delta_i) \quad (3.5)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^N |V_i V_j Y_{ij}| \sin(-\theta_{ij} - \delta_j + \delta_i) \quad (3.6)$$

şeklindedir. Aktif ve/veya reaktif güç akışları, iletim hattının bir veya her iki ucunda da bağımsız olarak ölçülebilir. Benzer şekilde, verilen bir barada, aktif ve/veya reaktif net güç enjeksiyonu da bağımsız olarak ölçülebilir. Böylece, ölçüm konfigürasyonu çok değişebilir.

3.2 Güç Sisteminin İteratif Jacobian Formülasyonu

Hem gerilim genliklerini hem de faz açılarını kestirmek için, baralardan birisi, açısı 0 derece olacak şekilde referans bara olarak seçilir. Bu ise, hesaplanacak açı sayısının $N-1$ adet ve gerilim büyüklüğünde N adet olduğu anlamına gelmektedir (Maiyuran ve Kashyap, 1994). N baralı bir sistemin x durum vektörü şu şekildedir:

$$x = [\delta_2, \dots, \delta_N, |V_1|, \dots, |V_N|]^T \quad (3.7)$$

Durum kestirim Jacobian'ı H , geleneksel güç akışının kare Jacobian matrisinden farklıdır. PV baralarının olmaması durumunda, H matrisi, daima, $(2N-1)$ kolon ve bu kolon sayısından daha fazla sayıda satırdan oluşur.

H matrisinin her bir satırı, i barasındaki gerilim büyüklükleri $|V_i|$, enjekte edilen aktif ve reaktif güçler, i barasını j barasına bağlayan hatlardaki i .ci veya j .ci baradaki aktif ve reaktif güç akışlarından oluşan ölçüm büyüklüklerinden her birine karşılık gelir. H Jacobian matrisinin sembolik şekli aşağıdaki gibidir:

$$H = \begin{pmatrix} \frac{\partial V}{\partial \theta} & \frac{\partial V}{\partial V} \\ \frac{\partial P_{akış}}{\partial \theta} & \frac{\partial P_{akış}}{\partial V} \\ \frac{\partial P_{enj}}{\partial \theta} & \frac{\partial P_{enj}}{\partial V} \\ \frac{\partial Q_{akış}}{\partial \theta} & \frac{\partial Q_{akış}}{\partial V} \\ \frac{\partial Q_{enj}}{\partial \theta} & \frac{\partial Q_{enj}}{\partial V} \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

$|V_i|$, P_i ve Q_i 'nin her barada; P_{ij} , P_{ji} , Q_{ij} , ve Q_{ji} 'nin de her bir hatta ölçüldüğünü varsayarsak, ölçüm kümesi tamamlanmış olur. b şebeke kollarının yada hatlarının sayısı olmak üzere, H Jacobian matrisinin toplam $(3N+4b)$ satırı vardır. H matrisinin satırlarının kolonlarına oranına ölçüm tekrarı (redundancy) faktörü denir ve bu oran $(\frac{3N+4b}{2N-1})$ 'e eşittir (Freris ve Sasson, 1968). İkinci ölçüt, $K = N+4b+1$ serbestlik derecesidir. Wood ve Wollenberg tarafından, durum kestiriminin doğruluğu değerlendirilirken, en küçük kareler kestirimcileri için K 'nin kullanımı ortaya atılmıştır (1996). Ölçümlerin sayısı, durum değişkenleri sayısına eşit olduğunda, ölçüm tekrarına gerek yoktur ve H kare matristir. Bu durumda, tüm ham ölçümler, hatalı dahi olsa, doğrudan kullanılmalıdır. Eğer eksik ölçüm varsa, sistem çözülemez.

Ölçüm kümesi, aynı tip olanları gruplandırarak şekilde numaralandırılmalıdır. Bu durumda, ölçüm vektörü Çizelge 3.1'deki formu alacaktır:

Çizelge 3.1 Güç sistemindeki ölçüm kümesi.

z_1 $\vdots$ z_n	$ V_1 $ $\vdots$ $ V_N $	N gerilim genlikleri $ V_i $
z_{n+1} $\vdots$ z_{2n}	P_1 $\vdots$ P_N	N bara enjeksiyonları (P_i)
z_{2n+1} $\vdots$ z_{3n}	Q_1 $\vdots$ Q_N	N bara enjeksiyonları (Q_i)
z_{3n+1} $\vdots$ z_{3n+b}	$\vdots$ P_{ij} $\vdots$	b hat akışları (P_{ij})
z_{3n+b+1} $\vdots$ z_{3n+2b}	$\vdots$ P_{ji} $\vdots$	b hat akışları (P_{ji})
$z_{3n+2b+1}$ $\vdots$ z_{3n+3b}	$\vdots$ Q_{ij} $\vdots$	b hat akışları (Q_{ij})
$z_{3n+3b+1}$ $\vdots$ z_{3n+4b}	$\vdots$ Q_{ji} $\vdots$	b hat akışları (Q_{ji})

Jacobian'i oluşturan farklı elemanlar, (3.2) ve (3.3) nolu denklemlerin kısmi türevleri alınarak kolaylıkla elde edilebilir. i barasından j barasına güç akışı için (Wood ve Wollenberg, 1969),

$$\frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_j} = |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})$$

$$\frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_i} = - \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_j}$$

$$\frac{\partial P_{ij}}{\partial V_j} = |V_i Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})$$

$$\frac{\partial P_{ij}}{\partial V_i} = -2 |V_i Y_{ij}| \cos(-\theta_{ij}) + |V_j Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}). \quad (3.9)$$

ve

$$\frac{\partial Q_{ij}}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})$$

$$\frac{\partial Q_{ij}}{\partial \delta_i} = -\frac{\partial Q_{ij}}{\partial \delta_j}$$

$$\frac{\partial Q_{ij}}{\partial V_j} = |V_i Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})$$

$$\frac{\partial Q_{ij}}{\partial V_i} = -2 |V_i Y_{ij}| \sin(-\theta_{ij}) + |V_j Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}). \quad (3.10)$$

şeklinde. Aktif ve reaktif güç akışının türevlerini içeren Jacobian'ın sıfır olan ve olmayan elemanların yapısı, birinci kolon atılırsa, şebeke kollarından baralara gelen elemanların oluşturduğu matrisin sıfır olan ve olmayan elemanlarının yapısı ile aynıdır. Bunun nedeni, her bir yük akışının iki uç barasına gelmesidir.

Komşu baraları $j = 1, \dots, k$ olan i barasındaki enjekte edilen aktif ve reaktif güce karşılık gelen Jacobian elemanları, (3.5) ve (3.6) nolu denklemlerin kısmi türevleri alınarak elde edilebilir;

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad \text{for } j \neq i$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_j} = -|V_i Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad \text{for } j \neq i$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_i} = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N |V_j Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) - 2 |V_i Y_{ii}| \cos(-\theta_{ii}). \quad (3.11)$$

ve,

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad \text{for } j \neq I$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_j} = - |V_i Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad \text{for } j \neq I$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N |V_j Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) - 2 |V_i Y_{ii}| \sin(-\theta_{ii}) \quad (3.12)$$

Komşu bara numaraları, aktif ve reaktif güç ölçümleri için aynı olmalıdır (Holten et al., 1998 ve Heydt, 1996). Benzer şekilde, aktif ve reaktif güç enjeksiyonlarının türevlerini içeren H 'nin sıfır olan ve olmayan elemanlarının yapısı, sistemin Y_{bara} admitans matrisinin sıfır olan ve olmayan elemanlarının yapısı ile tam olarak aynı olmalıdır. Bunun sebebi, sadece Y_{ij} sıfırdan farklı iken, bu elemanların sıfırdan farklı değer alabilmeleridir. Benzer şekilde, V gerilim ölçüm vektörünün kısmi türevleri aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial V_i}{\partial \theta_j} = 0 \quad j' \text{nin tüm değerleri için}$$

ve,

$$\frac{\partial V_i}{\partial V_j} = \begin{cases} 0 & i \neq j \\ 1 & i = j \end{cases} \quad (3.13)$$

Ölçüm kümesi tam olmadığında, eksik ölçümlere karşılık gelen bu satırlar, H Jacobian matrisinden kolaylıkla tesbit edilebilir. Jacobian matrisi, x 'in bir fonksiyonudur. $x^{(k)}$ çözüme yaklaşıırken, eski ve yeni değer arasındaki fark (değişim) çok küçüktür. Böylece iterasyonun belli değerlerinden sonra, Jacobian matrisinin eski değerlerine yeni değerlerin atanmasına devam edilmez.

4. A.A. GÜÇ SİSTEM KESTİRİMİNİN SİMÜLASYONU ve SONUÇLARI

Bu bölüm, alternatif akım güç sistemi kestirimi ile ilgilidir ve çeşitli L_p kestirimcilerini kullanarak güç sistemi durum değişkenlerinin kestirilmesinde kullanılan algoritmayı içermektedir. Altı ve otuz baralı iki IEEE test sistemi, L_p durum kestirimcilerinin performansını ve davranışlarını test etmek için kullanılmıştır (Moghavvemi ve Faruque, 1998 ve Freris ve Sasson, 1968). Test sistemleri ile ilgili veriler, hem ölçüm kümelerini hem de durum kestirimcilerinin çıkış sonuçlarını da içermektedir.

4.1 Güç Akışı Durum Kestirimi Algoritması

Bu bölümde, L_p durum kestirimcilerini kullanarak bara gerilimlerini ve bara faz açılarını bulmak için kullanılan algoritma verilmektedir. Bu algoritma, Newton-Raphson iteratif metoduna dayanmaktadır. Şekil 4.1, güç akışı durum kestirim algoritmasının akış şemasını göstermektedir.

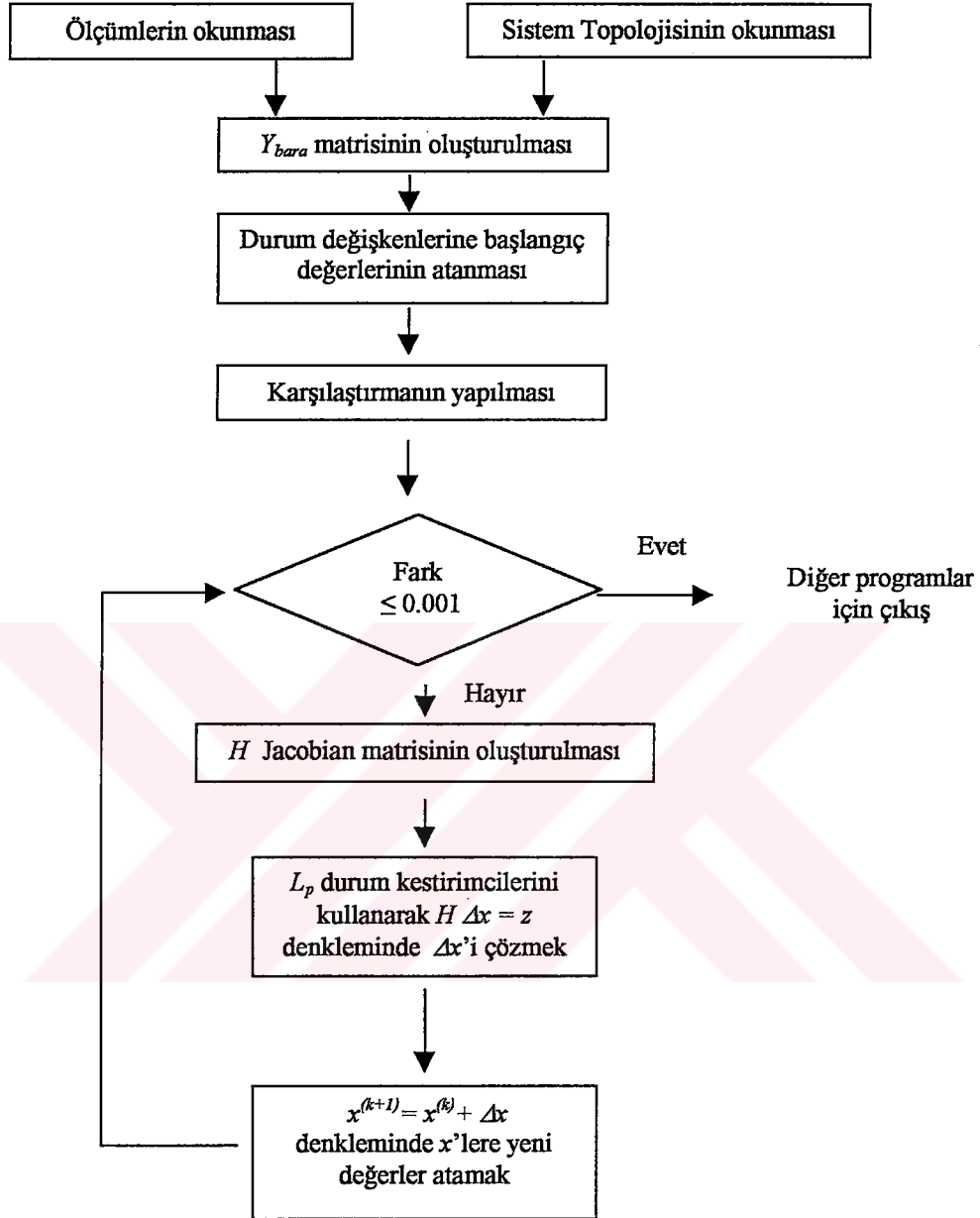
Aşağıdaki adımlar, önerilen algoritmayı açıklamaktadır:

1. Hat parametreleri, aktif güç, reaktif güç, bara gerilimleri ve gerilim faz açıları vb sistem verilerinin okunması.
2. Hat parametreleri, transformatör ayar değerleri ve sistem topolojisinden yararlanarak Y_{bara} matrisinin oluşturulması (Tüm parametreler per unit değerlidir).
3. Bara gerilimleri ve faz açılarının bilinmediği durumda, bir başlangıç kabulü yapılabilir. Bu başlangıçta, tüm bara gerilimleri 1 per unit değerinde, açılar da 0 derece kabul edilir.
4. (3.2) - (3.6) denklemleri kullanılarak hesaplanan ve ölçülen aktif güç, reaktif güç ve yük akışı büyüklükleri arasındaki farkları hesaplamak. Bu durumda, hesaplanan farklar, $z = [\Delta P_i \ \Delta Q_i]^T$ matrisini verir.

5. (3.8) nolu denklemi kullanarak H Jacobian matrisini hesaplamak (Jacobian matrisindeki her bir eleman ayrı ayrı hesaplanmalıdır).
6. (3.7) nolu $\Delta x = [\Delta \delta \ \Delta v]^T$ denklemi kullanılarak, L_p durum kestirimcisi yardımıyla Δx 'i bulmak.
7. $x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x$ denklemini kullanılarak bara gerilimine ve gerilim faz açılarına yeni değerlerini atamak.
8. Yakınsama oluncaya kadar, 5-7 adımlarını tekrar etmek. Yakınsama, z fark matrisinin herhangi bir elemanının maksimum değeri, önceden belirlenen belli bir fark değerine eşit veya küçük olduğunda elde edilmiş demektir. Bu fark genellikle 0.001 per unit değerine ayarlanır.
9. Elde edilen sonuç, bara gerilimlerinin ve gerilim faz açılarının gerçek değerlerini ifade eder. Bu büyüklükler kullanılarak, hat akışları ve eksik parametreler hesaplanabilir.

4.2 IEEE Test Sistemleri

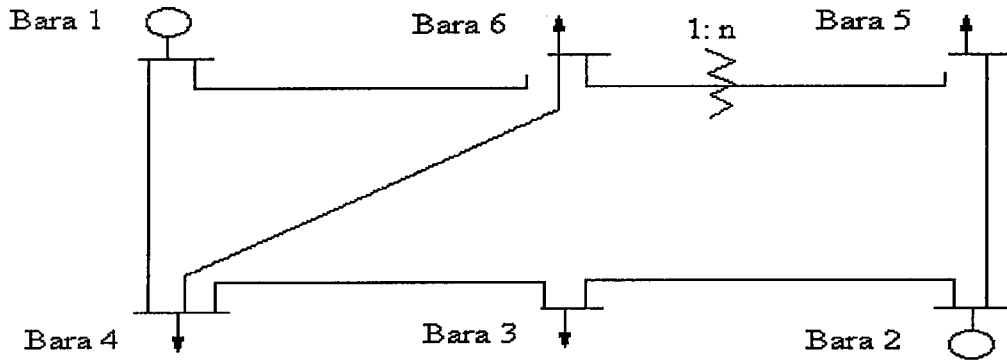
L_p kestirimcilerinin ($p = 1, 2$ ve ∞) performansını ve davranışlarını test etmek için, IEEE 6 baralı ve 30 baralı test sistemleri kullanılmıştır. Simülasyon için 128 MB RAM'e sahip Pentium III-600 MHz bilgisayar, test programı için de MATLAB yazılımı kullanılmıştır. IEEE altı baralı test sistemine ait test programı Ek 1'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve çizelge haline getirilmiştir. Tüm simülasyonlarda, sistemler, %0 - %10 arasında rastlantısal gürültülü verilerle test edilmiştir.



Şekil 4.1 Güç akışı durum kestirimi (Handschin vd., 1975)

4.2.a IEEE Altı Baralı Test Sistemi

Test sisteminin topolojisi Şekil 4.2'de verilmiştir. Sistem parametreleri ve baz değerli ölçüm kümesi, Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de görülmektedir. Tüm per unit değerler, 100 MVA baz değerindeki per unit değerleridir.



Şekil 4.2 IEEE altı baralı test sistemi (Moghavvemi ve Faruque, 1998)

Çizelge 4.1 IEEE altı baralı test sisteminin hat verileri

Hat No	Baralar Arası	Seri Empedans (pu)	Şönt Admitans (pu)
1	1-6	$0.102+0.413j$	0.0
2	1-4	$0.110+0.480j$	0.0
3	4-6	$0.120+0.516j$	0.0
4	6-5	$0.190+0.820j$	0.0
5	2-5	$0.368+1.490j$	0.0
6	2-3	$0.115+0.510j$	0.0
7	4-3	$0.080+0.360j$	0.0

Çizelge 4.2 IEEE altı baralı test sisteminin baz değerli ölçüm kümesi

Bara No	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Yük		Üretim	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	1.000	0.000	0.000	0.000	106.008	92.564
2	1.000	-13.921	0.000	0.000	40.00	62.380
3	0.7959	-19.159	32.00	20.00	0.000	0.000
4	0.7800	-14.762	35.00	20.00	0.000	0.000
5	0.5618	-31.076	30.00	20.00	0.000	0.000
6	0.7456	-13.598	30.00	15.00	0.000	0.000

Önerilen algoritma, ölçüm kümesinin farklı seviyelerde gürültü ile kirlenmiş olduğu kabulüyle, dört farklı durum için test edilmiştir. Gürültü seviyesi %0 - %10 arasında değişmektedir. Gürültü hem aktif hem reaktif güç ölçümlerinde mevcuttur. Tüm durumlar için ölçüm kümeleri Ek 2’de görülmektedir. Dört çalışma durumu, özdeş yüklere ve akım topolojisine sahiptir.

Her durum için elde edilen sonuçlar çizelge haline getirilmiş ve durum numarası verilmiştir. Birinci durumda gürültü en düşük, dördüncü durumda gürültü en yüksektir. Her durumun çıkışı, gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açılarından oluşmaktadır. Tüm durumlar için ölçülen ve hesaplanan büyüklükler arasındaki fark hesaplanmış ve grafik halinde gösterilmiştir. Ayrıca, her durum kestirimcisi için gerekli hesaplama süresi ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Tüm durumlara ait çıkış sonuçları Çizelge 4.3- Çizelge 4.7’de görülmektedir.

Çizelge 4.3 Kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 1

Bara no	L_1		L_2		L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
2	1.0000	-14.0625	1.0000	-13.9796	1.0000	-13.9978
3	0.7968	-19.1907	0.7960	-19.1798	0.7958	-19.1934
4	0.7810	-14.7887	0.7802	-14.7872	0.7799	-14.8013
5	0.5238	-31.5288	0.5204	-31.6309	0.5202	-31.6320
6	0.7475	-13.6998	0.7463	-13.7013	0.7460	-13.7166

Çizelge 4.4 Kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 2

Bara no	L_1		L_2		L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
2	1.0000	-14.0811	1.0000	-14.0707	1.0000	-14.0678
3	0.7960	-19.3020	0.7959	-19.2643	0.7957	-19.2521
4	0.7803	-14.8436	0.7800	-14.8317	0.7798	-14.8384
5	0.5232	-31.6380	0.5201	-31.6789	0.5199	-31.6715
6	0.7473	-13.7250	0.7460	-13.7179	0.7457	-13.7270

Çizelge 4.5 Kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 3

Bara no	L_1		L_2		L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
2	1.0000	-14.1167	1.0000	-14.0577	1.0000	-14.0462
3	0.7968	-19.2656	0.7961	-19.2602	0.7961	-19.2408
4	0.7812	-14.8298	0.7803	-14.8299	0.7803	-14.8272
5	0.5273	-31.3859	0.5224	-31.6198	0.5228	-31.5848
6	0.7485	-13.7051	0.7468	-13.7236	0.7469	-13.7261

Çizelge 4.6 Kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 4

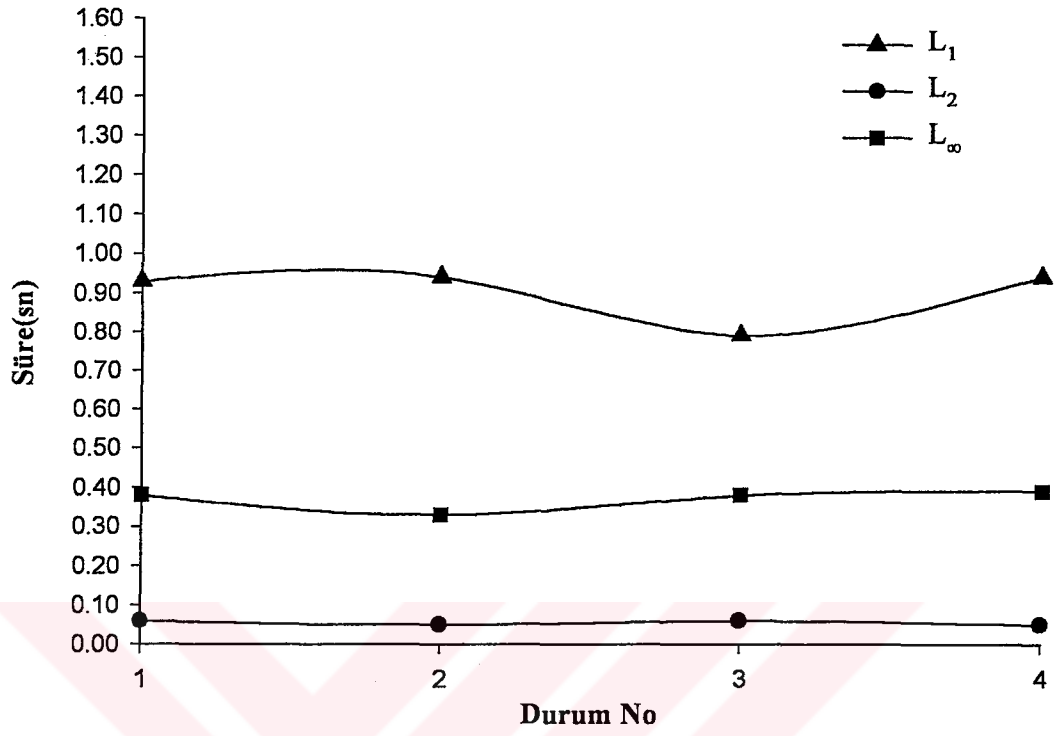
Bara no	L_1		L_2		L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
2	1.0000	-14.0514	1.0000	-14.1113	1.0000	-14.0877
3	0.7965	-19.2466	0.7958	-19.3003	0.7959	-19.2801
4	0.7807	-14.8190	0.7799	-14.8541	0.7800	-14.8492
5	0.5226	-31.5886	0.5192	-31.7752	0.5212	-31.6625
6	0.7472	-13.7051	0.7460	-13.7366	0.7465	-13.7361

Çizelge 4.7’de, tüm durumlar için, her bir L_p ($p = 1, 2$ ve ∞) kestirimcisine ait farklar ve hesaplama süreleri görülmektedir.

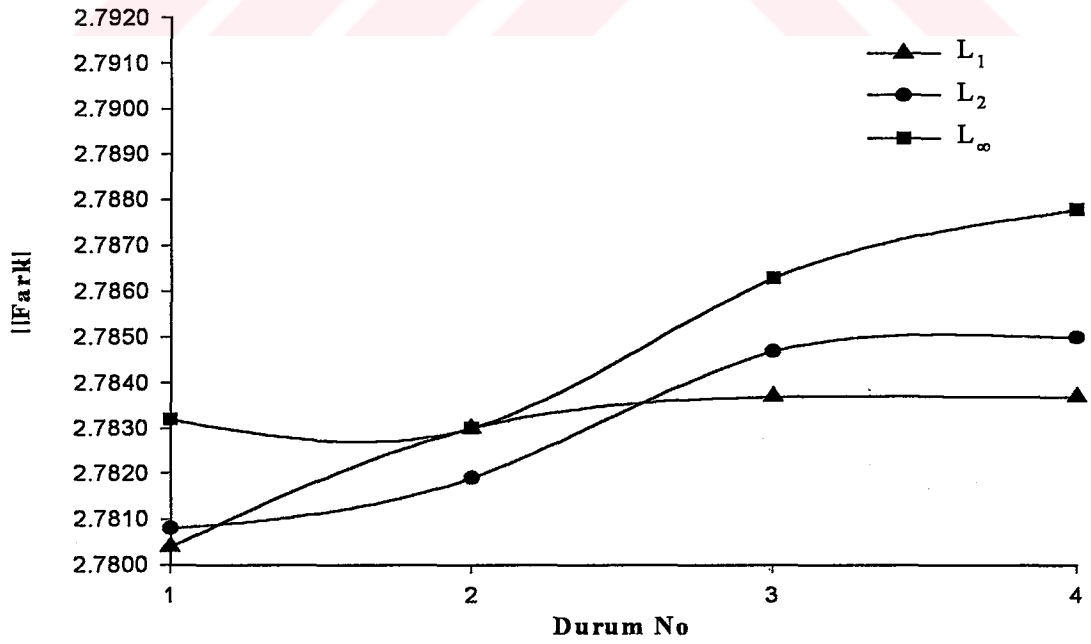
Çizelge 4.7 IEEE altı baralı test sistemi için kestirilen farklar ve hesaplama süreleri

L_p normu	Fark/Süre	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
L_1	Fark	2.7804	2.7830	2.7837	2.7837
	Süre (sn)	0.9300	0.9400	0.7900	0.9400
L_2	Fark	2.7808	2.7819	2.7847	2.7850
	Süre (sn)	0.0600	0.0500	0.0600	0.0500
L_∞	Fark	2.7832	2.7830	2.7863	2.7878
	Süre (sn)	0.3800	0.3300	0.3800	0.3900

Şekil 4.3’de, durum 1,2,3 ve 4’de L_p kestirimcileri kullanıldığında, ölçüm değerleri ile kestirilen değerler arasındaki farkları gösteren grafik görülmektedir. Bu örnekte, L_1 normu kestirimcisinden kaynaklanan farkın en küçük olduğu gözlenmektedir. Ancak, bu sistemin örnek bir sistem olduğu gözönünde bulundurulmalıdır.



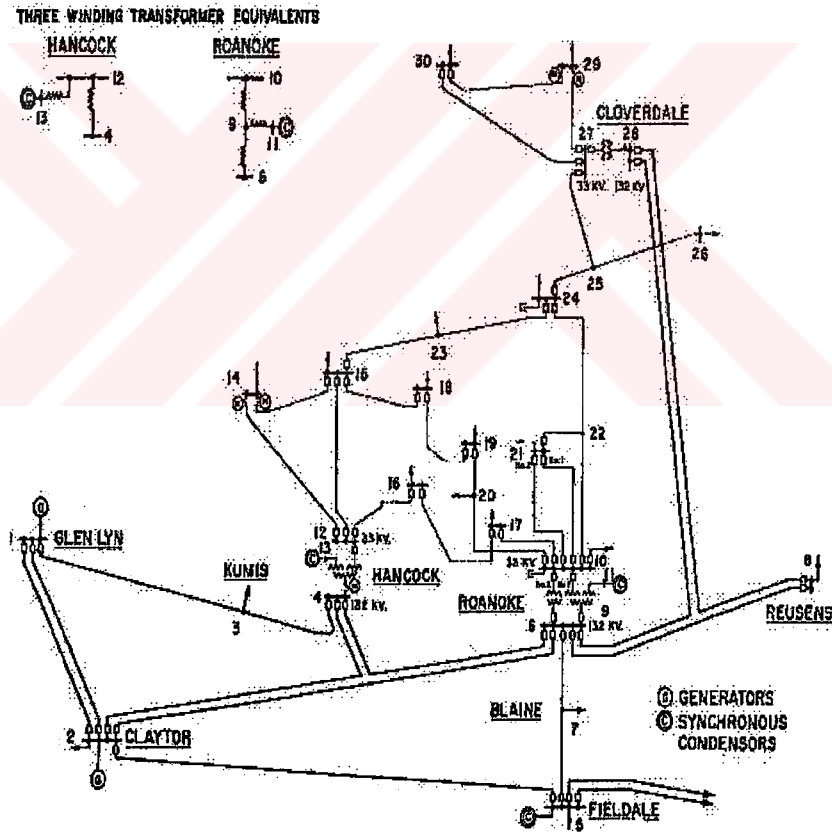
Şekil 4.3 IEEE altı baralı sistemi için L_p kestirimcilerinin hesaplama süresi analizi



Şekil 4.4 IEEE altı baralı sistemi için L_p kestirimcilerinin hata analizi

4.2.b IEEE Otuz Baralı Test Sistemi

L_p durum kestirimcilerinin performansını ve davranışlarını test etmek için ikinci örnek olarak IEEE otuz baralı test sistemi kullanılmıştır. Test sisteminin topolojisi Şekil 4.5’de verilmiştir. Ele alınan çalışma koşullarındaki sistem parametreleri, ölçüm kümeleri ve kestirilen durum değişkenleri Ek 3’de verilmiştir. Aktif ve reaktif güç ölçümlerinde, %0 - %10 arasında rastlantısal gürültü mevcuttur. Beşinci durumda gürültü en düşük, sekizinci durumda gürültü en yüksektir. Dört farklı durum için kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları, Çizelge 4.10’da verilmiştir. Altı baralı test sistemine benzer olarak, otuz baralı test sisteminde, çalışma koşullarında özdeş yükleri ve devre topolojisi vardır.



Şekil 4.5 IEEE otuz baralı test sistemi (Freris ve Sasson, 1968)

Çizelge 4.8 1-20 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları - Durum 5

Bara No.	L_1		L_2		L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0600	0.0000	1.0600	0.0000	1.0600	0.0000
2	1.0430	-5.6943	1.0430	-5.6953	1.0430	-5.6675
3	1.0022	-8.0598	1.0032	-8.0676	1.0042	-8.0438
4	0.9900	-9.7366	0.9912	-9.7432	0.9925	-9.7110
5	0.9995	-14.7191	0.9984	-14.7378	0.9990	-14.7065
6	0.9852	-11.5107	0.9865	-11.5251	0.9880	-11.4854
7	0.9826	-13.3920	0.9830	-13.3989	0.9842	-13.3649
8	0.9847	-12.2639	0.9858	-12.3226	0.9873	-12.2809
9	0.9991	-15.3071	1.0022	-15.1931	1.0054	-15.0931
10	0.9786	-17.2819	0.9823	-17.1341	0.9860	-16.9973
11	1.0327	-15.3071	1.0359	-15.1600	1.0393	-15.0612
12	1.0045	-17.0019	1.0081	-16.8621	1.0121	-16.6895
13	1.0199	-17.0019	1.0236	-16.8571	1.0278	-16.6675
14	0.9844	-18.0093	0.9886	-17.8492	0.9933	-17.6634
15	0.9782	-17.9931	0.9825	-17.8278	0.9870	-17.6499
16	0.9844	-17.4680	0.9882	-17.3176	0.9919	-17.1345
17	0.9744	-17.5784	0.9782	-17.4286	0.9820	-17.2772
18	0.9635	-18.5995	0.9683	-18.4062	0.9734	-18.2345
19	0.9586	-18.7212	0.9635	-18.5226	0.9685	-18.3584
20	0.9622	-18.4453	0.9668	-18.2533	0.9716	-18.0959

Çizelge 4.9 21-30 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları – Durum 5

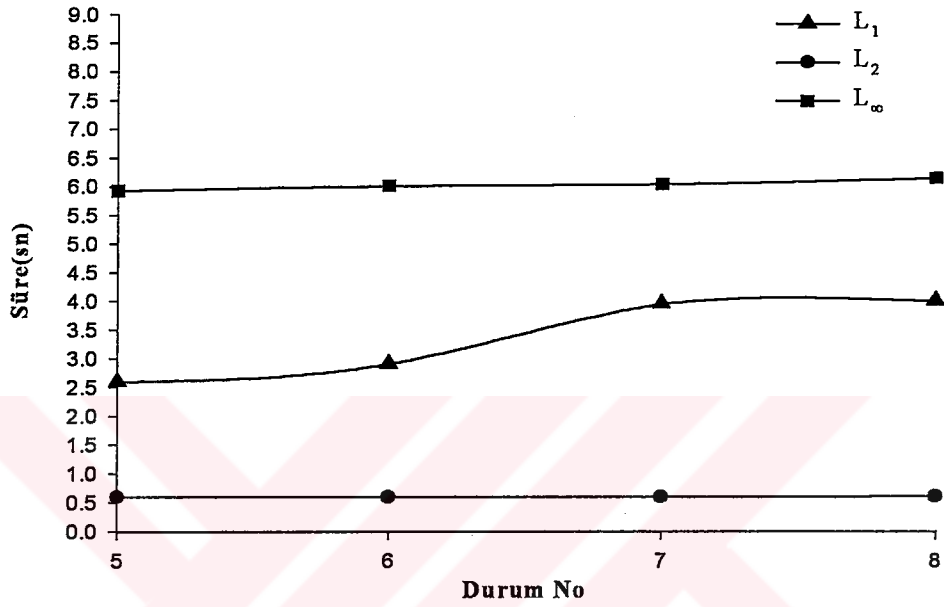
21	0.9650	-17.7846	0.9688	-17.6365	0.9727	-17.4966
22	0.9655	-17.7622	0.9693	-17.6104	0.9733	-17.4706
23	0.9620	-18.2020	0.9665	-18.0290	0.9709	-17.8592
24	0.9519	-18.1130	0.9562	-17.9506	0.9597	-17.8004
25	0.9582	-17.6540	0.9623	-17.5220	0.9628	-17.3725
26	0.9348	-18.0653	0.9401	-17.8813	0.9414	-17.7573
27	0.9736	-17.0885	0.9766	-17.0313	0.9754	-16.8997
28	0.9789	-12.1713	0.9805	-12.1838	0.9817	-12.1313
29	0.9501	-18.5014	0.9527	-18.4899	0.9496	-18.3145
30	0.9384	-19.3230	0.9396	-19.4353	0.9362	-19.2606

Çizelge 4.10’de, incelenen dört çalışma durumuna ait farklı L_p normlarının kestirilen farkları ve hesaplama süreleri görülmektedir.

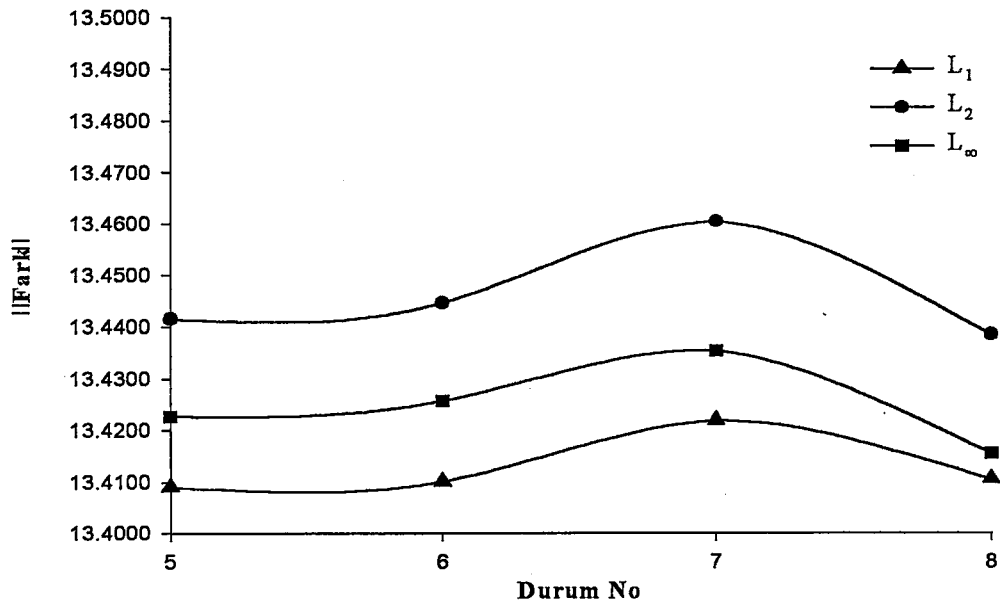
Çizelge 4.10 IEEE otuz baralı test sisteminin kestirilen farkları ve hesaplama süreleri

Kestirimci türü	Fark/Süre	Durum 5	Durum 6	Durum 7	Durum 8
L_1	Fark	13.4091	13.4101	13.4219	13.4105
	Süre (sn)	2.600	2.910	3.950	4.010
L_2	Fark	13.4416	13.4446	13.4604	13.4385
	Süre (sn)	0.600	0.600	0.600	0.610
L_∞	Fark	13.4227	13.4257	13.4354	13.4155
	Süre (sn)	5.930	6.010	6.040	6.150

Şekil 4.7’de, otuz baralı test sistemi için farklı gürültü seviyelerinde L_p kestirimcileri kullanıldığında, ölçüm değerleri ile kestirilen değerler arasındaki farkları gösteren grafik görülmektedir. Bu örnekte, L_1 normu kestirimcisinden kaynaklanan farkın en küçük olduğu gözlenmektedir. Ancak, bu sistemin de örnek bir sistem olduğu gözönünde bulundurulmalıdır.



Şekil 4.6 IEEE otuz baralı test sistemi için L_p kestirimcilerinin hesaplama süresi analizi



Şekil 4.7 IEEE otuz baralı test sistemi için L_p kestirimcilerinin hata analizi

Çizelge 4.7 ve 4.10'a dayanarak, IEEE altı ve otuz baralı test sistemleri için, L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinin en az hataya sahip olduğu yorumu yapılabilir. Ayrıca, yine aynı çizelgelerden, L_2 en küçük kareler kestirimcisinin en az hesaplama süresine sahip olduğu görülmektedir. Ancak, farklı L_p normlarından elde edilen doğruluklar arasındaki farkın çok küçük olduğu söylenebilir.

Yukarıdaki örnekler gözönüne alınarak, %0 - %10 arasında gürültülü veriler kullanıldığında dahi, en küçük mutlak değer kestirimcisi, diğer iki kestirimciye göre en küçük farkı vermektedir. Uygun filtreleme tekniğinin ve ağırlık faktörlerinin kullanılması ile, kestirimci çıkışı iyileştirilebilir. Büyük güç sistemleri için, L_1 ve L_∞ kestirimcilerinin yakınsaması için gerekli süre, L_2 kestirimcisi için gerekli süreden daha yüksektir. Bu nedenle, en küçük mutlak değer ve en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcileri, genellikle, statik kestirim için daha uygun olduğu yorumu yapılabilir.

4.3 Farklı L_p Kestirimcilerinin Kombinasyonu

L_2 kestirimcisinin L_1 veya L_∞ kestirimcileri ile kombinasyonu kullanılarak, hesaplama süresi dolayısıyla da iterasyon sayısı düşürülebilir. Bu kombinasyon metodunda, ilk iterasyonda L_2 kestirimcisi, daha sonraki iterasyonlarda L_1 ve L_∞ kestirimcileri kullanılır.

İlk olarak standard IEEE altı baralı test sisteminde bu kombinasyon metodu uygulanmıştır. Altı baralı sisteme ait Ek 2'de verilen durum 1,2,3 ve 4'deki ölçüm verilerinin kullanıldığı 9-1,9-2,9-3 ve 9-4 nolu durumlarda, önce ilk iterasyonda L_2 kestirimcisi, daha sonra L_1 kestirimcisi uygulanmıştır. Daha sonra, aynı test sisteminde, ilk iterasyonda L_2 kestirimcisi, daha sonra L_∞ kestirimcisi uygulanmıştır. Sonuçlar, Çizelge 4.11-Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 9-1

Bara no	L_2+L_1		L_2+L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
2	1.0000	-13.8812	1.0000	-14.0196
3	0.7957	-19.1035	0.7956	-19.1896
4	0.7797	-14.7280	0.7796	-14.8045
5	0.5174	-31.6877	0.5188	-31.6898
6	0.7455	-13.6492	0.7455	-13.7157

Çizelge 4.12 Kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 9-2

Bara no	L_2+L_1		L_2+L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
2	1.0000	-14.1619	1.0000	-14.1131
3	0.7956	-19.2871	0.7953	-19.2655
4	0.7795	-14.8556	0.7792	-14.8551
5	0.5184	-31.7721	0.5175	-31.7855
6	0.7453	-13.7377	0.7448	-13.7502

Çizelge 4.13 Kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 9-3

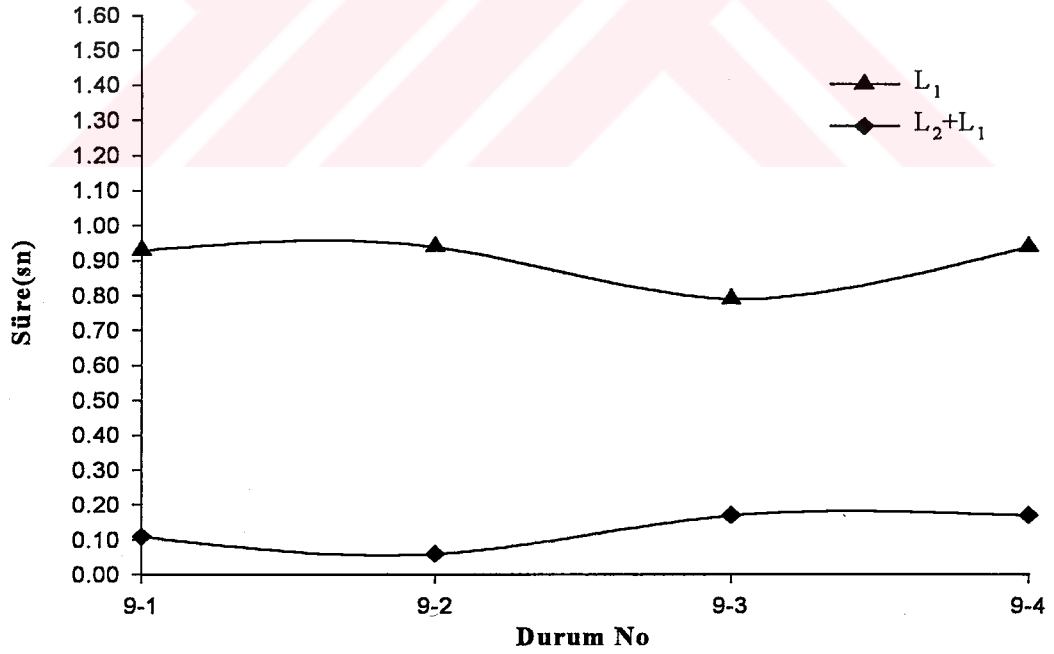
Bara no	L_2+L_1		L_2+L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
2	1.0000	-14.1224	1.0000	-14.0730
3	0.7969	-19.2225	0.7958	-19.2486
4	0.7810	-14.8064	0.7799	-14.8379
5	0.5245	-31.5622	0.5214	-31.6493
6	0.7477	-13.7123	0.7463	-13.7412

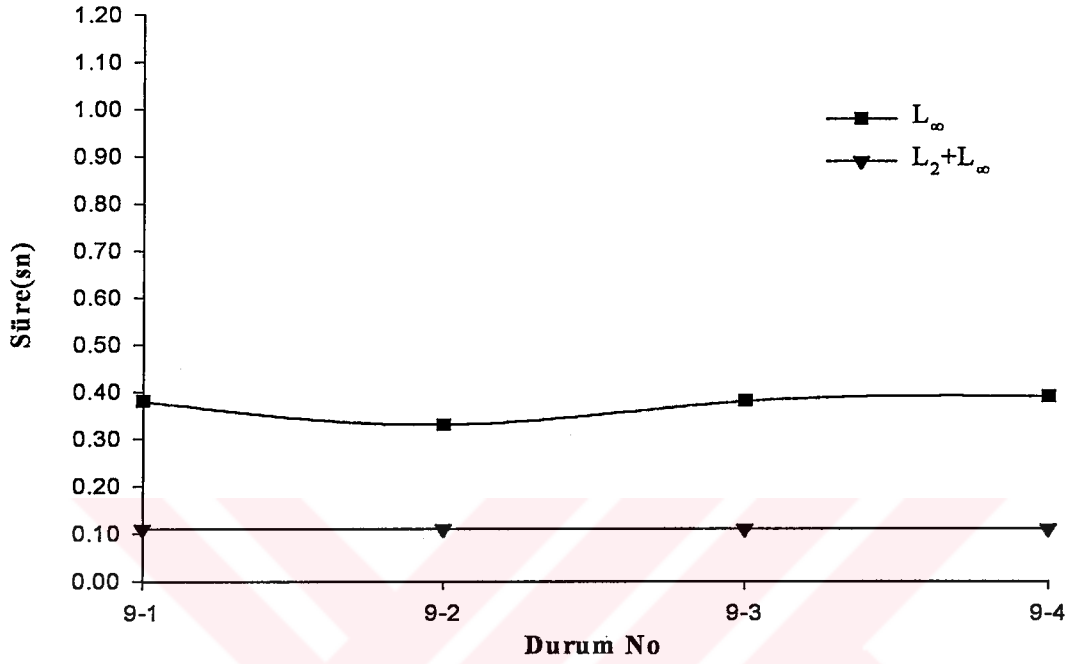
Çizelge 4.14 Kestirilen gerilim büyüklükleri ve gerilim faz açıları- Durum 9-4

Bara no	L_2+L_1		L_2+L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
2	1.0000	-14.2020	1.0000	-14.0868
3	0.7956	-19.3664	0.7958	-19.2613
4	0.7796	-14.9099	0.7798	-14.8467
5	0.5146	-31.9895	0.5204	-31.6889
6	0.7448	-13.7704	0.7461	-13.7426

Çizelge 4.15 IEEE altı baralı test sistemi için kestirilen farklar ve hesaplama süreleri

L_p normu	Fark/Süre	Durum 9-1	Durum 9-2	Durum 9-3	Durum 9-4
$L_2 + L_1$	Fark	2.7801	2.7832	2.7838	2.7836
	Süre (sn)	0.110	0.060	0.170	0.170
$L_2 + L_\infty$	Fark	2.7834	2.7826	2.7864	2.7869
	Süre (sn)	0.110	0.110	0.110	0.110

Şekil 4.8 IEEE altı baralı sistemi için L_1 kestirimcisi ve (L_2+L_1) kombinasyonunun hesaplama süresi analizi



Şekil 4.9 IEEE altı baralı sistemi için L_{∞} kestirimcisi ve $(L_2 + L_{\infty})$ kombinasyonunun hesaplama süresi analizi

İkinci olarak standard IEEE otuz baralı test sisteminde bu kombinasyon metodu uygulanmıştır. Otuz baralı sisteme ait Ek 3’de verilen durum 5,6,7 ve 8’deki ölçüm verilerinin kullanıldığı 10-1,10-2,10-3 ve 10-4 nolu durumlarda, önce ilk iterasyonda L_2 kestirimcisi, daha sonra L_1 kestirimcisi uygulanmıştır. Daha sonra yine aynı sistemde, ilk iterasyonda L_2 kestirimcisi, daha sonra L_{∞} kestirimcisi uygulanmıştır. Sonuçlar, Çizelge 4.16-Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.16 1-24 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları - Durum 10-1

Bara No.	$L_2 + L_1$		$L_2 + L_\infty$	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0600	0	1.0600	0
2	1.0430	-5.6865	1.0430	-5.6693
3	1.0027	-8.0519	1.0042	-8.0476
4	0.9906	-9.7264	0.9926	-9.7156
5	0.9995	-14.7112	0.9990	-14.7094
6	0.9861	-11.5008	0.9879	-11.4888
7	0.9840	-13.3382	0.9841	-13.3682
8	0.9853	-12.3004	0.9872	-12.2844
9	1.0000	-15.2707	1.0052	-15.0969
10	0.9795	-17.2320	0.9857	-17.0015
11	1.0335	-15.2703	1.0391	-15.0653
12	1.0053	-16.9494	1.0123	-16.7023
13	1.0208	-16.9496	1.0280	-16.6809
14	0.9853	-17.9494	0.9934	-17.6756
15	0.9791	-17.9277	0.9871	-17.6606
16	0.9852	-17.4130	0.9925	-17.1594
17	0.9752	-17.5231	0.9820	-17.2874
18	0.9645	-18.5390	0.9733	-18.2434
19	0.9596	-18.6635	0.9683	-18.3661
20	0.9631	-18.3896	0.9714	-18.1028
21	0.9658	-17.7316	0.9724	-17.5015
22	0.9663	-17.7013	0.9730	-17.4757
23	0.9632	-18.1067	0.9709	-17.8686
24	0.9534	-17.9763	0.9595	-17.8078

Çizelge 4.17 25-30 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları -Durum 10-1

Bara No.	$L_2 + L_1$		$L_2 + L_\infty$	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
25	0.9609	-17.3279	0.9626	-17.3799
26	0.9377	-17.7423	0.9412	-17.7652
27	0.9770	-16.6443	0.9753	-16.9080
28	0.9802	-12.1330	0.9817	-12.1351
29	0.9560	-17.7976	0.9494	-18.3245
30	0.9469	-18.3193	0.9361	-19.2710

Çizelge 4.18 1-12 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları - Durum 10-2

Bara No.	$L_2 + L_1$		$L_2 + L_\infty$	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0600	0	1.0600	0
2	1.0430	-5.6679	1.0430	-5.6754
3	1.0036	-7.9935	1.0051	-8.0336
4	0.9914	-9.6609	0.9931	-9.7125
5	0.9994	-14.6930	0.9988	-14.7059
6	0.9868	-11.4303	0.9885	-11.4824
7	0.9834	-13.3258	0.9844	-13.3564
8	0.9863	-12.1895	0.9878	-12.2641
9	1.0019	-15.0887	1.0066	-15.1253
10	0.9816	-16.9895	0.9877	-17.0428
11	1.0360	-15.0884	1.0411	-15.0960
12	1.0070	-16.7624	1.0130	-16.8776

Çizelge 4.19 13-30 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları-Durum 10-2

Bara No.	$L_2 + L_1$		$L_2 + L_\infty$	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
13	1.0228	-16.7626	1.0290	-16.8974
14	0.9867	-17.7626	0.9932	-17.9048
15	0.9803	-17.7206	0.9871	-17.8487
16	0.9881	-17.1516	0.9944	-17.2658
17	0.9778	-17.2701	0.9841	-17.3446
18	0.9656	-18.2869	0.9730	-18.3934
19	0.9614	-18.3814	0.9691	-18.4503
20	0.9653	-18.1034	0.9728	-18.1629
21	0.9681	-17.4723	0.9744	-17.5507
22	0.9686	-17.4623	0.9749	-17.5325
23	0.9642	-18.0086	0.9712	-18.1247
24	0.9547	-17.9038	0.9616	-17.9477
25	0.9625	-17.4960	0.9688	-17.4259
26	0.9426	-17.9897	0.9506	-17.8864
27	0.9770	-16.9281	0.9815	-16.7873
28	0.9807	-12.0884	0.9826	-12.1229
29	0.9538	-18.2449	0.9585	-17.9961
30	0.9413	-19.2173	0.9466	-18.9678
23	0.9632	-18.1067	0.9709	-17.8686
24	0.9534	-17.9763	0.9595	-17.8078
25	0.9609	-17.3279	0.9626	-17.3799
26	0.9377	-17.7423	0.9412	-17.7652
27	0.9770	-16.6443	0.9753	-16.9080
28	0.9802	-12.1330	0.9817	-12.1351
29	0.9560	-17.7976	0.9494	-18.3245

30	0.9469	-18.3193	0.9361	-19.2710
----	--------	----------	--------	----------

Çizelge 4.20 1-24 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları - Durum 10-3

Bara No.	$L_2 + L_1$		$L_2 + L_\infty$	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0600	0	1.0600	0
2	1.0430	-5.6578	1.0430	-5.5979
3	1.0038	-8.0318	1.0061	-7.9148
4	0.9916	-9.6954	0.9942	-9.5547
5	1.0001	-14.6075	0.9997	-14.5786
6	0.9872	-11.4751	0.9898	-11.3223
7	0.9852	-13.3345	0.9857	-13.2062
8	0.9866	-12.2691	0.9894	-12.1106
9	1.0009	-15.1866	1.0066	-14.8260
10	0.9797	-17.1193	0.9863	-16.6810
11	1.0352	-15.1863	1.0413	-14.7926
12	1.0052	-16.8161	1.0114	-16.3659
13	1.0210	-16.8163	1.0267	-16.3432
14	0.9844	-17.7625	0.9921	-17.2808
15	0.9781	-17.7705	0.9859	-17.2964
16	0.9859	-17.2338	0.9922	-16.7654
17	0.9755	-17.3912	0.9822	-16.9392
18	0.9624	-18.3515	0.9714	-17.8473
19	0.9578	-18.4818	0.9668	-17.9752
20	0.9620	-18.2295	0.9706	-17.7334
21	0.9660	-17.6284	0.9728	-17.1710
22	0.9664	-17.6050	0.9735	-17.1528

23	0.9620	-18.0601	0.9707	-17.6025
24	0.9519	-17.9486	0.9603	-17.5474

Çizelge 4.21 25-30 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları -Durum 10-3

Bara No.	$L_2 + L_1$		$L_2 + L_\infty$	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
25	0.9581	-17.4906	0.9667	-17.2850
26	0.9333	-18.0815	0.9440	-17.8360
27	0.9741	-16.8325	0.9808	-16.7894
28	0.9809	-12.1190	0.9839	-11.9787
29	0.9503	-18.0038	0.9564	-18.1721
30	0.9402	-18.7467	0.9438	-19.2079

Çizelge 4.22 1-12 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları - Durum 10-4

Bara No.	$L_2 + L_1$		$L_2 + L_\infty$	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0600	0	1.0600	0
2	1.0430	-5.7472	1.0430	-5.6598
3	1.0024	-8.1792	1.0061	-8.0213
4	0.9900	-9.8767	0.9943	-9.6859
5	0.9994	-14.6768	0.9986	-14.6286
6	0.9853	-11.6675	0.9897	-11.4541
7	0.9826	-13.4507	0.9850	-13.2926
8	0.9846	-12.4771	0.9890	-12.2568
9	0.9999	-15.4904	1.0084	-15.0253
10	0.9799	-17.4770	0.9895	-16.9196

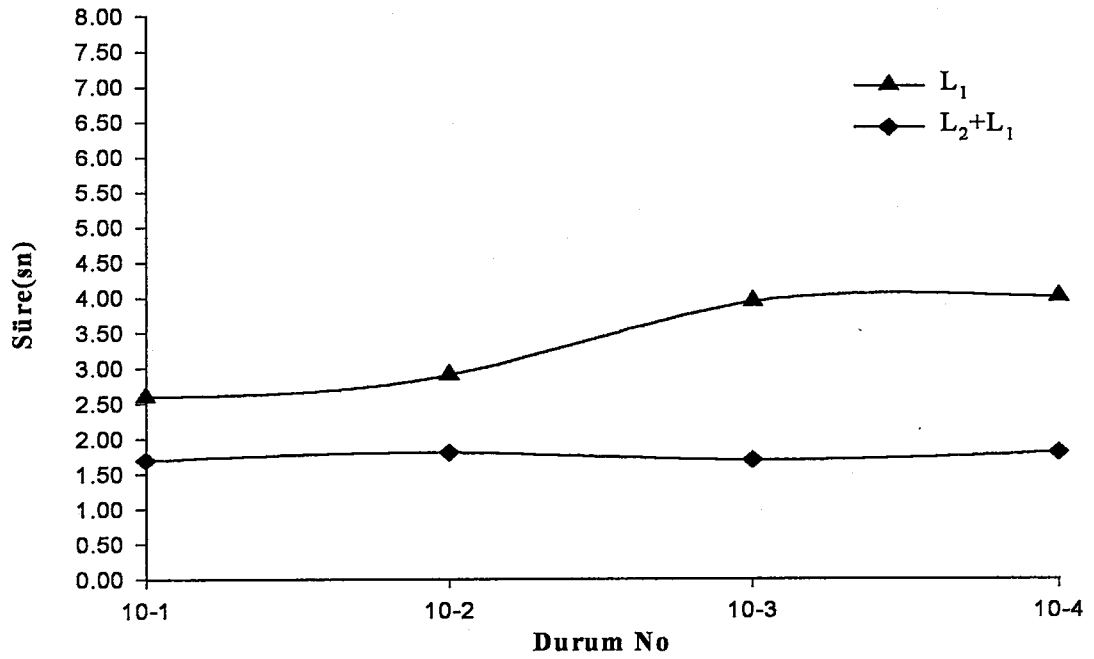
11	1.0334	-15.4901	1.0423	-14.9825
12	1.0049	-17.2016	1.0141	-16.6185

Çizelge 4.23 13-30 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları -Durum 10-4

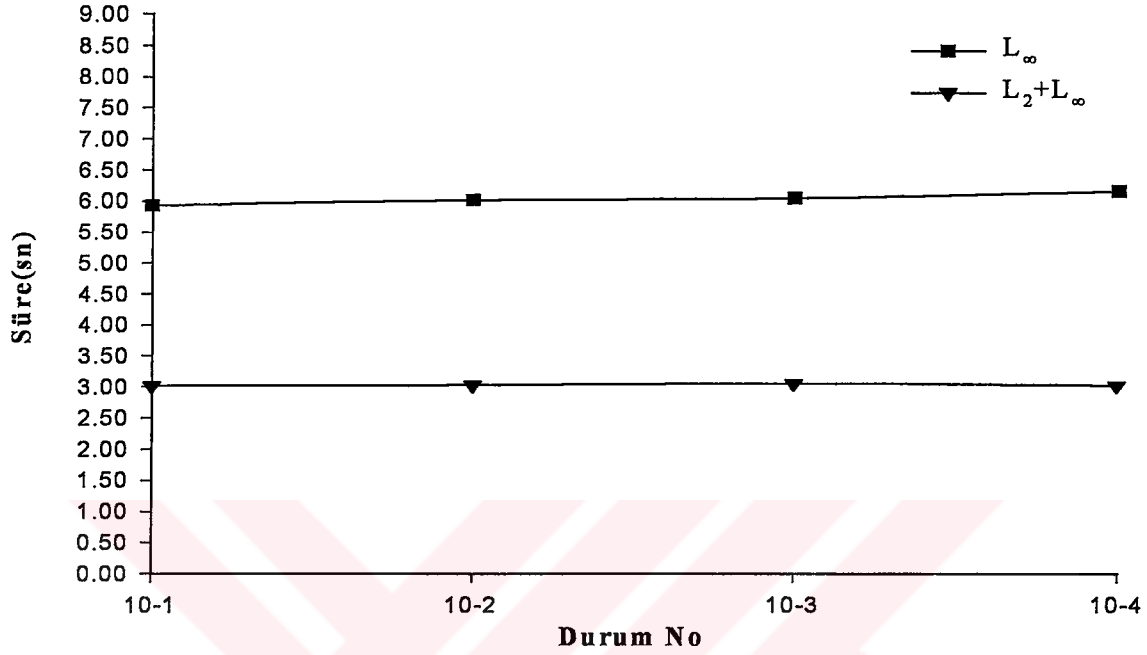
Bara No.	$L_2 + L_I$		$L_2 + L_\infty$	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
13	1.0200	-17.2017	1.0285	-16.5895
14	0.9842	-18.1755	0.9952	-17.5353
15	0.9780	-18.1813	0.9895	-17.5483
16	0.9855	-17.6719	0.9953	-17.1314
17	0.9753	-17.7807	0.9853	-17.2268
18	0.9625	-18.7961	0.9753	-18.1319
19	0.9585	-18.9069	0.9713	-18.2454
20	0.9625	-18.6388	0.9748	-17.9948
21	0.9665	-17.9991	0.9763	-17.4174
22	0.9670	-17.9736	0.9771	-17.3882
23	0.9627	-18.4035	0.9754	-17.7522
24	0.9537	-18.3211	0.9664	-17.6865
25	0.9625	-17.9133	0.9770	-17.2550
26	0.9429	-18.4225	0.9601	-17.7132
27	0.9774	-17.3376	0.9905	-16.7201
28	0.9793	-12.3569	0.9847	-12.1070
29	0.9553	-18.7756	0.9715	-18.0627
30	0.9430	-19.7180	0.9597	-18.9680

Çizelge 4.24 IEEE otuz baralı test sistemi için kestirilen farklar ve hesaplama süreleri

L_p normu	Fark/Süre	Durum 10-1	Durum 10-2	Durum 10-3	Durum 10-4
$L_2 + L_1$	Fark	13.4093	13.4098	13.4205	13.4100
	Süre (sn)	1.7000	1.8100	1.7000	1.8100
$L_2 + L_\infty$	Fark	13.4228	13.4255	13.4350	13.4158
	Süre (sn)	3.0230	3.0310	3.0570	3.0260



Şekil 4.10 IEEE otuz baralı sistemi için L_1 kestirimcisi ve (L_2+L_1) kombinasyonunun hesaplama süresi analizi



Şekil 4.11 IEEE otuz baralı sistemi için L_∞ kestirimcisi ve (L_2+L_∞) kombinasyonunun hesaplama süresi analizi

Bu bölümde, IEEE altı ve otuz baralı test sistemleri baralarındaki gerilim genlikleri ve faz açılarının kestiriminde, L_p ($p = 1, 2$ ve ∞) kestirimcileri tek olarak ve kombinasyon olarak uygulanmıştır. Kestirimcilerin tek olarak uygulanmasından, L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinin en küçük hataya, L_2 en küçük kareler kestirimcisinin en küçük hesaplama süresine sahip olduğu görülmektedir. L_1 ve L_∞ kestirimcilerinin yakınsama sürelerinin kısaltmak için, bu kestirimcilerin L_2 kestirimcisi ile kombinasyonu kullanılmış ve her iki kestirimci için hesaplama süresi kısalmıştır. Hesaplama süresindeki kısalma, bara sayısı arttıkça artmaktadır. Hesaplama süresi, özellikle, büyük elektrik güç sistemleri için sistemin güvenlik ve kontrolünde önem taşımaktadır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Modern elektrik güç sistemleri çok büyük ölçeklidir ve milyonlarca müşteriye hizmet vermektedir. Bu sistemler, iletim hatları ve transformatörler gibi yüksek gerilim cihazlarının yanı sıra, çeşitli tip jeneratörler ve müşterileri de içeren büyük enterkonnekte şebekelerden oluşmaktadır. Böyle büyük güç sistemleri, bilgisayar destekli kontrol sistemleri ile kontrol edilmekte ve izlenmektedir. Elektrik güç sistemlerinde, aktif güç, reaktif güç, akım ve gerilimi ölçmek için kullanılan farklı tipte analog ve/veya dijital ölçüm cihazları vardır. Hatlara ve transformatörlere yerleştirilen akım ve gerilim transformatörleri tarafından izlenen bu sürekli veya analog büyüklükler, telemetrik ölçümlerle, çeşitli iletim kanallarından kontrol merkezlerine bildirilir. Kontrol merkezlerinde analiz edilen bu verilerle, sistemin o andaki durumu kestirilir. Güç sistemlerindeki durum kestirimi, ölçümleri ve fiziksel verileri kullanarak, fiziksel sistemin o andaki akım, gerilim ve diğer parametrelerini hesaplamak için kullanılan ekonomik bir araçtır.

Matematiksel (Hölder) L_p normlarının özelliklerine bağlı olan L_p kestirimcileri, çoğunlukla, en küçük mutlak değer kestirimcisi (L_1 normu), en küçük kareler kestirimcisi (L_2 normu) ve en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisi (L_∞ normu) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Bu L_p normlarının güç sistemi baralarındaki gerilim genliklerinin ve gerilim faz açılarının kestiriminde kullanılmasını araştırmaya yönelik bu çalışma, tanıtıcı Giriş bölümünün yanı sıra dört bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde genel tanıtım dışında mevcut çalışmaları içeren literatür araştırmasına da yer verilmiştir. İkinci bölümde ise, güç sistemlerinde L_p normları detaylı olarak gösterilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, yük akışının temeli ve elektrik sistemi modeli verilmektedir. Durum kestirimi için gereken iteratif Jacobian matrisinin oluşturulması ve yük akışı ile ilgili denklemlerin türetilmesi gösterilmiştir. Dördüncü bölümde ise, IEEE altı baralı ve otuz baralı test sistemlerinden oluşan iki örnek sistem mevcuttur. L_p ($p = 1, 2$ ve ∞) durum kestirimcilerinin tek tek ve kombinasyon olarak kullanılması ile elde edilen sonuçlar çizelgeler halinde sunulmuştur. Durum kestirimcilerinin davranışları, %0 - %10 arasındaki farklı gürültü seviyelerinde test edilmiştir.

Bu çalışma ile yapılan başlıca yenilikler ve elde edilen sonuçlar şunlardır:

Güç sistem baralarındaki gerilim genliklerini ve gerilim faz açılarını daha kısa sürede bulmak için, farklı durum kestirimcilerinin kombinasyonu ilk defa kullanılmıştır. Bu kombinasyon metodunda, ilk iterasyonda yakınsama süresi çok küçük olan L_2 en küçük kareler kestirimcisi, daha sonraki iterasyonlarda L_1 ve L_∞ kestirimcileri kullanılmıştır.

Çizelge 4.7, IEEE altı baralı test sisteminde, L_p ($p = 1, 2$ ve ∞) durum kestirimcilerinin tek tek uygulandığında sonuçları göstermektedir. Bu çizelgeden, 1,2,3 ve 4 nolu durumlardaki ölçüm kümeleri kullanıldığında, L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinden elde edilen farkların (ölçüm değerleri ile hesaplanan değerler arasındaki farklar); L_2 en küçük kareler kestirimcisi ve L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisinden elde edilen farklardan küçük olduğu görülmektedir. Örneğin 1 nolu durumda, L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinden elde edilen fark değeri 2,7804 iken, L_2 en küçük kareler kestirimcisinden 2,7808 ve L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisinden de 2.7832 değeri elde edilmiştir. Benzer olarak, 4 nolu durumda da, L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinden elde edilen fark değeri 2,7837 iken, L_2 en küçük kareler kestirimcisinden 2,7850 ve L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisinden de 2.7878 değeri elde edilmiştir. Ancak, yine aynı çizelgeden, tüm bu 4 durum içinde, en küçük yakınsama süresi dolayısıyla da hesaplama süresi L_2 en küçük kareler kestirimcisi ile elde edilmiştir. Örnek olarak yine 1 ve 4 nolu durumları incelersek, L_2 en küçük kareler kestirimcisinin hesaplama süreleri 0.06 ve 0.05 sn iken, L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinin hesaplama süreleri 0.93 sn ve 0.94 sn, L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisinin hesaplama süreleri 0.38 sn ve 0.39 sn'dir.

Çizelge 4.15'de ise, yine aynı test sisteminde, aynı ölçüm verileri ile, ilk iterasyonda L_2 kestirimcisi daha sonra yakınsama sağlanıncaya kadar L_1 kestirimcisi ve L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcilerinin uygulandığı durumdaki sonuçlar görülmektedir. Tüm 4 durum içinde, kombinasyonların kullanılmasında gerekli hesaplama sürelerinin, tek tek durum kestirimcilerinin kullanılmasında gerekli hesaplama sürelerinden daha kısa olduğu görülmektedir. Örneğin, 1 ve 4 nolu durumdaki ölçüm kümeleri ve L_2 ile L_1 kestirimcilerinin kombinasyonu kullanılarak elde edilen sonuçlara (9-1 ve 9-4 nolu durumlar) bakıldığında, hesaplama süreleri, tek olarak L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinin

kullanıldığı durumdan daha kısadır. Çizelge 4.7'den, tek olarak L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinin kullanıldığı durumdaki hesaplama süreleri 0.93 sn ve 0.94 sn iken, L_2 ile L_1 kestirimcilerinin kombinasyonu kullanıldığında ise 0.11 sn ve 0.17 sn'dir. Benzer olarak, 1 ve 4 nolu durumdaki ölçüm kümeleri ve L_2 ile L_∞ kestirimcilerinin kombinasyonu kullanılarak elde edilen sonuçlara (9-1 ve 9-4 nolu durumlar) bakıldığında, hesaplama süreleri, tek olarak L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisinin kullanıldığı durumdan daha kısadır. Çizelge 4.7'den, tek olarak L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisinin kullanıldığı durumdaki hesaplama süreleri 0.38 sn ve 0.39 sn iken, L_2 ile L_∞ kestirimcilerinin kombinasyonu kullanıldığında ise 0.11 sn ve 0.11 sn'dir.

Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.15 ortak olarak değerlendirildiğinde, IEEE altı baralı test sisteminde, L_p durum kestirimcilerinin kombinasyonlarının kullanıldığı durumlardaki gerekli hesaplama süreleri, L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinin tek olarak kullanıldığı durumdaki gerekli hesaplama süresinden yaklaşık 0,82 sn, L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisinin tek olarak kullanıldığı durumdaki gerekli hesaplama süresinden yaklaşık 0,27 sn daha kısadır.

Benzer sonuçlar IEEE otuz baralı test sistemi içinde elde edilmiştir. Çizelge 4.10, IEEE otuz baralı test sisteminde, L_p ($p = 1, 2$ ve ∞) durum kestirimcilerinin tek tek uygulandığında sonuçları göstermektedir. Bu çizelgeden, %10 gürültülü verileri içeren 5,6,7 ve 8 nolu durumlardaki ölçüm kümeleri kullanıldığında, L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinden elde edilen farkların (ölçüm değerleri ile hesaplanan değerler arasındaki farklar); L_2 en küçük kareler kestirimcisi ve L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisinden elde edilen farklardan küçük olduğu görülmektedir. Örneğin 5 nolu durumda, L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinden elde edilen fark değeri 13,4091 iken, L_2 en küçük kareler kestirimcisinden 13,4416 ve L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisinden de 13,4227 değeri elde edilmiştir. Benzer olarak, 4 nolu durumda da, L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinden elde edilen fark değeri 13,4105 iken, L_2 en küçük kareler kestirimcisinden 13,4385 ve L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisinden de 13,4155 değeri elde edilmiştir. Ancak, yine aynı çizelgeden, tüm bu 4 durum içinde, en küçük yakınsama süresi dolayısıyla hesaplama süresi L_2 en küçük kareler kestirimcisi ile elde edilmiştir. Örnek olarak yine 1 ve 4 nolu durumları incelersek, L_2 en küçük kareler kestirimcisinin hesaplama süreleri 0,6 ve 0,6 sn iken, L_1 en küçük mutlak değer

kestirimcisinin hesaplama süreleri 2,60 sn ve 4,01 sn, L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisinin hesaplama süreleri 5,93 sn ve 6,15 sn'dir.

Çizelge 4.20'de ise, yine aynı test sisteminde, aynı ölçüm verileri ile, ilk iterasyonda L_2 kestirimcisi daha sonra yakınsama sağlanıncaya kadar L_1 kestirimcisi ve L_∞ maksimum mutlak değer kestirimcilerinin uygulandığı durumdaki sonuçlar görülmektedir. Tüm 4 durum içinde, kombinasyonların kullanılmasında gerekli hesaplama sürelerinin, tek tek durum kestirimcilerinin kullanılmasında gerekli hesaplama sürelerinden daha kısa olduğu görülmektedir. Örneğin, 5 ve 8 nolu durumdaki ölçüm kümeleri ve L_2 ile L_1 kestirimcilerinin kombinasyonu kullanılarak elde edilen sonuçlara (10-1 ve 10-4 nolu durumlar) bakıldığında, hesaplama süreleri, tek olarak L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinin kullanıldığı durumdan daha kısadır. Çizelge 4.10'den, tek olarak L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinin kullanıldığı durumdaki hesaplama süreleri 2,60 sn ve 4,01 sn iken, L_2 ile L_1 kestirimcilerinin kombinasyonu kullanıldığında ise 1,70 sn ve 1,81 sn'dir. Benzer olarak, 5 ve 8 nolu durumdaki ölçüm kümeleri ve L_2 ile L_∞ kestirimcilerinin kombinasyonu kullanılarak elde edilen sonuçlara (10-1 ve 10-4 nolu durumlar) bakıldığında, hesaplama süreleri, tek olarak L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisinin kullanıldığı durumdan daha kısadır. Çizelge 4.10'da, tek olarak L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisinin kullanıldığı durumdaki hesaplama süreleri 5,93 sn ve 6,15 sn iken, L_2 ile L_∞ kestirimcilerinin kombinasyonu kullanıldığında ise 3,023 sn ve 3,025 sn'dir.

Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.20 ortak olarak değerlendirildiğinde, IEEE otuz baralı test sisteminde, L_p durum kestirimcilerinin kombinasyonlarının kullanıldığı durumlardaki gerekli hesaplama süreleri, L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisinin tek olarak kullanıldığı durumdaki gerekli hesaplama süresinden yaklaşık 2,29 sn, L_∞ en küçük maksimum mutlak sapma kestirimcisinin tek olarak kullanıldığı durumdaki gerekli hesaplama süresinden yaklaşık 3,125 sn daha kısadır.

Hem IEEE altı baralı hem de otuz baralı test sisteminde, L_2 kestirimcisinin L_1 ve L_∞ kestirimcileri ile kombinasyonu kullanıldığında, hem L_1 hem de L_∞ kestirimcisi için gerekli hesaplama süreleri azalmıştır. Bu nedenle, L_1 ve L_∞ kestirimcilerinin, genellikle statik kestirim için daha uygun olduğu yorumu yapılabilir.

Daha önceki çalışmalarda (Bagchi vd., 1994 ve Habiballah ve Irving, 2001) ifade edilen, en küçük mutlak değer kestirimcisinin kötü veriyi teşhis etmede en küçük kareler metodundan daha iyi olduğu sonucu, Çizelge 4.7, 4.10, 4.15 ve 4.20 ile bir kez daha görülmektedir.

2. ve 3. maddelerinden de görüldüğü gibi, bara sayısı arttıkça, hesaplama sürelerindeki azalma miktarı giderek artacaktır. Bu da, çok büyük elektrik şebekelerinin kontrol ve koruma merkezleri için büyük faydalar sağlayacaktır.

L_p normlarına dayalı durum kestirim tekniği, çok etkin bir araçtır ve güç sistemlerinde çeşitli alanlarda uygulanabilir. Günümüzdeki uygulama alanlarından bazıları şunlardır:

- Güç sisteminin dinamik kestirimi
- Dengeli ve dengesiz güç sistem harmoniklerinin kestirimi
- Anahtarlama geçici ve kısa süreli durumların kestirimi vb.

Güç sistem baralarındaki gerilim genliklerini ve gerilim faz açılarını bulmak için, farklı durum kestirimcilerinin ve kombinasyonlarının analizini ortaya koyan bu çalışma sonucunda, gelecekte benzer çalışmalara yönelik olarak aşağıdaki öneriler sunulabilir:

Birincisi, kestirim hatası için kesin bir matematiksel yaklaşımın geliştirilmesidir. Bu yaklaşım, çeşitli L_p norm yaklaşımlarının üstünlüğü hakkındaki kesin sonuçları verebilir.

İkincisi, bu çalışmada, sınırlı sayıdaki örnek test sistemi ile sınırlı sayıdaki ölçüm kümesinden elde edilen sonuçlar incelendiği için gerçek verilerle yapılan testler, gerçek problemlerin ve farklı L_p yaklaşımlarının gerçek performanslarının belirlenmesinde yardımcı olacaktır. Ancak elde edilen sonuçlar, tipik sonuçlar olarak kabul edilebilir.

Üçüncüsü ise, hesaplama süresini kısaltmak için daha farklı L_p kombinasyonları uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- Abur, A. ve Celik, M.K., (1991), "A Fast Algorithm for the Weighed Least Absolute Value State Estimation," IEEE Transactions on Power Systems, 6: 1-6.
- Abur, A. ve Celik, M.K., (1993), "Least Absolute State Estimation with Equality and Inequality Constrains," IEEE Transactions on Power Systems, 8: 680-686.
- Bagchi, A., Clements, K.A., Davis, P.W. ve Muraish, F.H., (1994), "A comparison of Algorithms for Least Absolute State Estimation in Electric Power Networks," IEEE International Symposium on Circuit and Systems (ISCAS'94), 6: 53-56.
- Baran, M.E. ve Kelly, A.W., (1994), "State Estimation for real-time monitoring of distrubution systems", IEEE Transactions on Power Systems, 9: 1601-1609.
- Chan, Z.S.H., Ngan, H.W., Fung, Y.F. ve Rad, A.B., (2000), "An Advanced Evolutionary Algorithm for Load Forecasting with the Kalman Filter," International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, 1: 134-138.
- Chang, W.N. ve Wu, C.J., (1998), "A Flexible Voltage Flicker Teaching Facility for Electric Power Quality Education," IEEE Transactions on Power Systems, 13: 27-33.
- Dantzig, G.B., (1982), Reminiscences About the Origins of Linear Programming, Operations Research Letters, 1(2): 43-48.
- Do Coutto Filho, M.B., Leite Da Silva, A.M. ve Falcão, D.M., (1990), "Bibliography on Power System State Estimation (1968-1989)," IEEE Transactions on Power Systems, 5:950-961.
- Els, S.L., Els, A.D., Jordan, J.A., ve Zivanovic, R., (1999), "Projection Statistics for Power System State Estimation," IEEE Africon'99, 2: 783 -786.
- Falcão, D.M. ve DeAssis, S.M., (1988), "Linear Programming State Estimation: Error Analysis and Gross Error Identification", IEEE Transactions on Power Systems, 3: 809-815.
- Freris, L.L. ve Sasson, A.M., (1968), "Investigation of Load Flow Problem," IEE Proceedings, 115: 1459-1470.
- Golub, G.H. ve Van Loan, J.F., (1984), Matrix Computations, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.
- Guangyi, L., Erkeng, Y. Ve Song, Y.H., (1998), "Novel Algorithm to Estimate and Adaptively Update Measurement Error Variance Using Power System State Estimation Results", Electric Power Systems Research, 47:57-64.
-
- Habiballah, I.O, Ghosh-Roy, R ve Irving, M.R., (1998), "Markov chains for multipartitioning large power system state estimation Networks", Electric Power Systems Research, 45:135-140.

- Habiballah, I.O. ve Irving, M.R., (2001), "Observability Analysis for State Estimation using Linear Programming," IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, 148: 142-145.
- Handschin, E., Schweppe, F.C., Kohlas, J. ve Fiechter, A., (1975), "Bad Data Analysis for Power Systems State Estimation," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-94: 329-337.
- Heydt, G.T., (1996), Computer Analysis Methods for Power Systems, Stars in a Circle Publications, Scottsdale.
- Holten, L., Gjelwsvik, S., Wu, F.F. ve Liu, W.H.E., (1988), "Comparison of Different Methods for State Estimation," IEEE Transactions on Power Systems, 3:1798-1706.
- IEC Standard 61000-3-3, (1994), "Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 3-3: Limits - Limitation of Voltage Changes, Voltage Fluctuations and Flicker in Public Low-Voltage Supply Systems, for Equipment with Rated Current ≤ 16 A Per Phase," International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland.
- Irving, M.R., Owen, R.C. ve Sterling, M.J., (1978), "Power System State Estimation Using Linear Programming," IEEE Transactions on Power Systems, 125: 829-885.
- Li, K., (1995), "State Estimation for Power Distribution System and Measurement Impact", IEEE Transactions, 11: 911-916.
- Maiyuran, S. ve Kashyap, R.L., (1994), "A Cluster Based Approach to Robust Regression and Outlier Detection," IEEE International Conference on Information and Technology, 3: 2561-2565.
- Merril, H.M. ve Schweppe, F.C., (1971), "Bad Data Suppression in Power System Static Estimation," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-90: 2718-2725.
- Moghavvemi, M. ve Faruque, O., (1998), "Real-time Contingency Evaluation and Ranking Technique, Generation, Transmission and Distribution," IEEE Proceedings, 145: 517-524.
- Montgomery, D.C. ve Runger, G.C., (1999), Applied Statistics and Probability for Engineers, Second edition, New York.
- Nash, S.G. ve Sofer, A., (1996), Linear and Nonlinear Programming, McGraw Hill, New York.
- Pandian, A., Parthasarathy, K., Thukaram, D. Ve Soman, S.A., (1998), "A Numerical Stable Decomposition Based Power System state Estimation Algorithm", Electrical Power & Energy Systems, 20:17-23.
- Pires, R.C., Simoes Costa, A. ve Mili, L., (1999), "Iteratively Reweighted Least-squares State Estimation Through Givens Rotations," IEEE Transactions on Power Systems, 14:1499-1507.

Shih, K. ve Huang, S., (2002), "Application of a Robust Algorithm for Dynamic State Estimation of a Power system," IEEE Transactions on Power Systems, 17:141 –147.

Spath, H., (1992), Mathematical Algorithms for Linear Regression, Academic Press, UK.

Schweppe, F.C., Wildes, D.B. ve Rom, D.B., (1970), "Power System Static State Estimaiton", IEEE Transactions on Power Aparatus and Systems, 89: 120-135.

Trudnowski, D.J., McReynolds, W.L. ve Johnson, J.M., (2001), "Real-time Very Short Term Load Prediction for Power System Automatic Generation Control," IEEE Transactions on Control Systems Technology, 9: 254-260.

U.S. Department of Energy Report, (1984), "Contribution to Power System State Estimation and Transient Stability Analysis", DOE/ET/29362-1: 26.

Wood, A. ve Wollenberg, B., (1996), Power Generation, Operation and Control, John Wiley & Sons, New York.

Zhong, S., Abur, A., (2002), "Effects of Non-transposed Lines and Unbalanced Loads on State Estimation," Proceedings of the Power Engineering Society Winter Meeting, 2: 975-979.



EKLER

	Sayfa
Ek 1 IEEE Altı Baralı Test Sisteminin Durum Değişkenlerinin Kestirimi İçin Matlab Kodları...	54
Ek 2 IEEE Altı Baralı Test Sisteminin Ölçüm Kümeleri.....	59
Ek 3 IEEE Otuz Baralı Test Sisteminin Parametreleri ve Ölçüm Kümeleri	61



EK 1 IEEE Altı Baralı Test Sisteminin Durum Değişkenlerinin Kestirimi İçin

MATLAB Kodları

```
clc
Clear

nb=6;           % Sistem bara sayısı
nbvolt=2;       % Gerilim bara sayısı
N=17;          % Sistem durum değişkenlerini sayısı

%Sistem parametrelerini okunması
a=1/(0.1020 + 0.4130i);
b=1/(0.1900 + 0.8200i);
c=1/(0.3680 + 1.4900i);
d=1/(0.1150 + 0.5100i);
e=1/(0.0800 + 0.3600i);
f=1/(0.1100 + 0.4800i);
g =1/(0.1200 + 0.5160i);

y=[a+f  0  0  -f  0  -a;  0  c+d  -d  0  -c  0;  0  -d  d+e  -e  0  0;  -f  0  -e  f+e+g
  0  -g;  0  -c  0  0  b+c  -b;  -a  0  0  -g  -b  a+b+g];

% Ybara Matrisini hesaplanması
yabs=abs(y);
yang=angle(y);
yangd=yang*(360/(2*pi));
nv=nbvolt+1;      % Gerilim bara sayısının başlangıcı
nd=2;            % Delta sayısının başlangıcı
co=0;            % İterasyon Sayıcısı

% Sistem Bilgilerini Okunması
mw=[1.06008 ; 0.4000 ; -0.3200 ; -0.3500 ; -0.3000 ; -0.3000];
mvar=[0.92564 ; 0.62360 ; -0.2000 ; -0.2000 ; -0.2000 ; -0.1500];
pij=-[0.2218 ; -0.1184 ; -0.0094 ; -0.1649]; %Yük Akış Ölçümleri
qij=-[0.3562 ; 0.0664 ; 0.0533 ; -0.0819];

vabs=[ 1.0  1.0  1.0  1.0  1.0  .0]; % Başlangıç Degerleri
delta=[0  0  0  0  0  0];
z=ones(N,1);

while max(z) > 0.001 % Karşılaştırma için test
    for i=1:nb
        for j=1:nb
            deltp(i,j)=yabs(i,j)*vabs(1,j)*vabs(1,i)
                *cos(-yang(i,j)-delta(1,j)+delta(1,i));
            deltq(i,j)=yabs(i,j)*vabs(1,j)*vabs(1,i)
                *sin(-yang(i,j)-delta(1,j)+delta(1,i));
        end
        ddq(1,i)=-vabs(1,i)*vabs(1,i)*imag(y(i,i))-sum(deltq(i,:))
            -deltq(i,i)+mvar(i,:);
    end
    ddp=ddp(:,nd:nb);
    ddq=ddq(:,nv:nb);
    z1=[ddp ddq]';
```

```
%Karşılaştırma
```

```

dplf1=pij(1,1)-((vabs(1,2))^2)*yabs(2,3)
        *cos(-yang(2,3))+vabs(1,2)*vabs(1,3)*yabs(2,3)
        *cos(delta(1,2)-delta(1,3)-yang(2,3));
dplf2=pij(2,1)-((vabs(1,3))^2)*yabs(3,4)
        *cos(-yang(3,4))+vabs(1,3)*vabs(1,4)
        *yabs(3,4)*cos(delta(1,3)-delta(1,4)-yang(3,4));
dplf4=pij(4,1)-((vabs(1,5))^2)*yabs(5,6)
        *cos(-yang(5,6))+vabs(1,5)*vabs(1,6)*yabs(5,6)
        *cos(delta(1,5)-delta(1,6)-yang(5,6));

dqlf1=qij(1,1)-((vabs(1,2))^2)*yabs(2,3)
        *sin(-yang(2,3))+vabs(1,2)*vabs(1,3)*yabs(2,3)
        *sin(delta(1,2)-delta(1,3)-yang(2,3));
dqlf2=qij(2,1)-((vabs(1,3))^2)*yabs(3,4)
        *sin(-yang(3,4))+vabs(1,3)*vabs(1,4)
        *yabs(3,4)*sin(delta(1,3)-delta(1,4)-yang(3,4));
dqlf3=qij(3,1)-((vabs(1,4))^2)*yabs(4,6)
        *sin(-yang(4,6))+vabs(1,4)*vabs(1,6)*yabs(4,6)
        *sin(delta(1,4)-delta(1,6)-yang(4,6));

dplf=[dplf1 ; dplf2 ; dplf3 ; dplf4];
z=[z1 ; dplf ; dqlf];

% P & Q Delta Delta //
for i=1:nb
    for j=1:nb
        pdlt(i,j)=-vabs(1,i)*vabs(1,j)*yabs(i,j)
                *sin(delta(1,i)-delta(1,j)-yang(i,j));
                *cos(delta(1,i)-delta(1,j)-yang(i,j));
    end
end

%% P & Q Delta Delta // Diagonal elemanlar //
for i=1:nb
    pdlt(i,i)=-(sum(pdlt(i,:))-pdlt(i,i));
    qdlt(i,i)=-(sum(qdlt(i,:))-qdlt(i,i));
end
pdlt=pdlt(nd:nb,nd:nb);
qdlt=qdlt(nv:nb,nd:nb);
% P & Q Delta V//

for i=1:nb
    for j=1:nb
        pvolt(i,j)=-vabs(1,i)*yabs(i,j)*cos(delta(1,i)
                -delta(1,j)-yang(i,j));
        qvolt(i,j)=-vabs(1,i)*yabs(i,j)*sin(delta(1,i)
                -delta(1,j)-yang(i,j));
    end
end
pvolt;

%% P & Q delta V // Diagonal elemanlar //
for i=1:nb

```

```

pvolt(i,i)= -(sum(pvoltd(i,:))-pvolt(i,i))
              -2*vabs(1,i)*yabs(i,i)*cos(-yang(i,i));
qvolt(i,i)= -(sum(qvoltd(i,:))-qvolt(i,i))
              -2*vabs(1,i)*yabs(i,i)*sin(-yang(i,i));
end
pvolt=pvolt(nd:nb,nv:nb);
qvolt=qvolt(nv:nb,nv:nb);

pdj1=vabs(1,2)*vabs(1,3)*yabs(2,3)*sin(delta(1,2)
      -delta(1,3)-yang(2,3));
pdj2=vabs(1,3)*vabs(1,4)*yabs(3,4)*sin(delta(1,3)
      -delta(1,4)-yang(3,4));
pdj3=vabs(1,4)*vabs(1,6)*yabs(4,6)*sin(delta(1,4)
      -delta(1,6)-yang(4,6));
pdj4=vabs(1,5)*vabs(1,6)*yabs(5,6)*sin(delta(1,5)
      -delta(1,6)-yang(5,6));
qdj1=-vabs(1,2)*vabs(1,3)*yabs(2,3)*cos(delta(1,2)
      -delta(1,3)-yang(2,3));
qdj2=-vabs(1,3)*vabs(1,4)*yabs(3,4)*cos(delta(1,3)
      -delta(1,4)-yang(3,4));
qdj3=-vabs(1,4)*vabs(1,6)*yabs(4,6)*cos(delta(1,4)
      -delta(1,6)-yang(4,6));
qdj4=-vabs(1,5)*vabs(1,6)*yabs(5,6)*cos(delta(1,5)
      -delta(1,6)-yang(5,6));

pdijj=[0 0 pdj1 0 0 0 ;0 0 0 pdj2 0 0 ; 0 0 0 0 0 pdj3 ; 0 0 0
      0 0 pdj4 ];
qdiijj=[0 0 qdj1 0 0 0 ;0 0 0 qdj2 0 0 ; 0 0 0 0 0 qdj3 ; 0 0 0
      0 0 qdj4 ];
pdiji=[0 -pdj1 0 0 0 0 ;0 0 -pdj2 0 0 0; 0 0 0 -pdj3 0 0 ; 0 0
      0 0 -pdj4 0 ];
qdiiji=[0 -qdj1 0 0 0 0 ;0 0 -qdj2 0 0 0; 0 0 0 -qdj3 0 0 ; 0 0
      0 0 -qdj4 0 ];
pd= pdijj+pdiji;
qd= qdiijj+qdiiji;

pdlf=pd(:,nd:nb);
qdlf=qd(:,nd:nb);

pvj1=vabs(1,2)*yabs(2,3)*cos(delta(1,2)-delta(1,3)-yang(2,3));
pvj3=vabs(1,4)*yabs(4,6)*cos(delta(1,4)-delta(1,6)-yang(4,6));
pvj4=vabs(1,5)*yabs(5,6)*cos(delta(1,5)-delta(1,6)-yang(5,6));
qvj2=vabs(1,3)*yabs(3,4)*sin(delta(1,3)-delta(1,4)-yang(3,4));
qvj3=vabs(1,4)*yabs(4,6)*sin(delta(1,4)-delta(1,6)-yang(4,6));
qvj4=vabs(1,5)*yabs(5,6)*sin(delta(1,5)-delta(1,6)-yang(5,6));

pvijj=[0 0 pvj1 0 0 0 ;0 0 0 pvj2 0 0 ; 0 0 0 0 0 pvj3 ; 0 0 0 0
      0 pvj4 ];
qvijj=[0 0 qvj1 0 0 0 ;0 0 0 qvj2 0 0 ; 0 0 0 0 0 qvj3 ; 0 0 0 0
      0 qvj4 ];

pvi1=-2*vabs(1,2)*yabs(2,3)*cos(-yang(2,3))+vabs(1,3)
      *yabs(2,3)*cos(delta(1,2)-delta(1,3)-yang(2,3));
pvi3=-2*vabs(1,4)*yabs(4,6)*cos(-yang(4,6))+vabs(1,6)
      *yabs(4,6)*cos(delta(1,4)-delta(1,6)-yang(4,6));
pvi4=-2*vabs(1,5)*yabs(5,6)*cos(-yang(5,6))+vabs(1,6)
      *yabs(5,6)*cos(delta(1,5)-delta(1,6)-yang(5,6));
qvi1=-2*vabs(1,2)*yabs(2,3)*sin(-yang(2,3))+vabs(1,3)

```

```

        *yabs(2,3)*sin(delta(1,2)-delta(1,3)-yang(2,3));
qvi2=-2*vabs(1,3)*yabs(3,4)*sin(-yang(3,4))+vabs(1,4)
        *yabs(3,4)*sin(delta(1,3)-delta(1,4)-yang(3,4));
qvi3=-2*vabs(1,4)*yabs(4,6)*sin(-yang(4,6))+vabs(1,6)
        *yabs(4,6)*sin(delta(1,4)-delta(1,6)-yang(4,6));
qvi4=-2*vabs(1,5)*yabs(5,6)*sin(-yang(5,6))+vabs(1,6)
        *yabs(5,6)*sin(delta(1,5)-delta(1,6)-yang(5,6));

pvi4i=[0 pvi1 0 0 0 0 ;0 0 pvi2 0 0 0; 0 0 0 pvi3 0 0 ; 0 0 0 0
        pvi4 0 ];
qvi4i=[0 qvi1 0 0 0 0 ;0 0 qvi2 0 0 0; 0 0 0 qvi3 0 0 ; 0 0 0 0
        qvi4 0 ];

pv=pvijj + pvi4i;
qv=qvijj + qvi4i;

pvlf=pv(:,nv:nb);
qvlf=qv(:,nv:nb);

j=[pdlt pvolt ; qdlt qvolt ; pdlf pvlf ;qdlf qvlf ];

for i=1:(nb+nv)
    f(:,i)=sum(j(:,i));
end
% Kestirilen Parametreler

% ***** L1 Durum Kestirimcisi*****
f;
f=f';
j=-j;
z=-z;
x=linprog(f,j,z);

% ***** L2 Durum kestirimcisi *****

% x= pinv(j)*z;

% ***** Linf Durum kestirimcisi *****

% jf=j;

% % delta delta ve delta volt
% finf=-ones(17,1);
% z=[-z ; z];
% j=[-j finf ; j finf];
% f=[0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;1];
% x=linprog(f,j,z);

% *****

ddelta=x(1:(nb-1),:);
ddvabs=x(nb:(2*nb-nv),:);
vabs(:,nv:nb)=vabs(:,nv:nb)-ddvabs;
co=co+1;

end
j;

```

```

deltadegp1=delta*180/(pi)
deltap1=delta      % Gerilim Faz Açıları
vabsp1=vabs        % Gerilim Genlikleri
%Residual(Fark)
x=[deltap1(:,nd:nb)  vabsp1(:,nv:nb)]';
z=[mw(nd:nb,:) ; mvar(nv:nb,:) ; pij;qij];
Fark=norm(j*x - z)

```

EK 2 IEEE Altı Baralı Test Sisteminin Ölçüm Kümeleri

Çizelge EK2.1 Aktif ve Reaktif güç ölçümleri - Durum 1

Bara no	Aktif güç (pu)	Reaktif güç (pu)
1	1.0600	0.9260
2	0.4009	0.6232
3	-0.3182	-0.2000
4	-0.3492	-0.1999
5	-0.2992	-0.1996
6	-0.2999	-0.1499
2-3	-0.2220	-0.3567
3-4	0.1179	-0.0663
4-6	0.0092	-0.0532
5-6	0.1649	0.0817

Çizelge EK2.2 Aktif ve reaktif güç ölçümleri - Durum 2

Bara no	Aktif güç (pu)	Reaktif güç (pu)
1	1.0603	0.9254
2	0.4005	0.6234
3	-0.3184	-0.1999
4	-0.3499	-0.1995
5	-0.2990	-0.1997
6	-0.2995	-0.1503
2-3	-0.2211	-0.3570
3-4	0.1185	-0.0665
4-6	-0.0089	-0.0534
5-6	0.1647	0.0815

Çizelge EK2.3 Aktif ve reaktif güç ölçümleri - Durum 3

Bara no	Aktif güç (pu)	Reaktif güç (pu)
1	1.0602	0.9260
2	0.4002	0.6239
3	-0.3199	-0.1998
4	-0.3498	-0.1999
5	-0.2996	-0.1994
6	-0.2999	-0.1496
2-3	-0.2219	-0.3566
3-4	0.1185	-0.0668
4-6	0.0093	-0.0526
5-6	0.1651	0.0813

Çizelge EK2.4 Aktif ve reaktif güç ölçümleri - Durum 4

Bara no	Aktif güç (pu)	Reaktif güç (pu)
1	1.0606	0.9361
2	0.4005	0.6232
3	-0.3198	-0.1996
4	-0.3499	-0.1998
5	-0.2994	-0.1995
6	-0.2995	-0.1489
2-3	-0.2215	-0.3573
3-4	0.1187	-0.0669
4-6	0.0097	-0.0535
5-6	0.1653	0.0814

EK 3 IEEE Otuz Baralı Test Sisteminin Parametreleri ve Ölçüm Kümeleri

Çizelge EK3.1 Standard IEEE otuz baralı test sisteminin 1-20 nolu kolları için hat verileri

Hat no.	Baralar Arası	Seri Empedans (p.u.)	Şönt Admitans (p.u.)
1	1-2	$0.0192+0.0575j$	0.0528
2	1-3	$0.0452+0.1652j$	0.0408
3	2-4	$0.0570+0.1737j$	0.0368
4	3-4	$0.0132+0.0379j$	0.0084
5	2-5	$0.0472+0.1983j$	0.0418
6	2-6	$0.0581+0.1763j$	0.0374
7	4-6	$0.0119+0.0414j$	0.0090
8	5-7	$0.0460+0.1160j$	0.0204
9	6-7	$0.0267+0.0820j$	0.0170
10	6-8	$0.0120+0.0420j$	0.0090
11	6-9	$0.0000+0.2080j$	0.0000
12	6-10	$0.0000+0.5560j$	0.0000
13	9-11	$0.0000+0.2080j$	0.0000
14	9-10	$0.0000+0.1100j$	0.0000
15	4-12	$0.0000+0.2560j$	0.0000
16	12-13	$0.0000+0.1400j$	0.0000
17	12-14	$0.1231+0.2559j$	0.0000
18	12-15	$0.0662+0.1304j$	0.0000
19	12-16	$0.0945+0.1987j$	0.0000
20	14-15	$0.2210+0.1997j$	0.0000

Çizelge EK3.2 Standard IEEE otuz baralı test sisteminin 21-41 nolu kolları için hat verileri

Hat no.	Baralar Arası	Seri Empedans (p.u.)	Şönt Admitans (p.u.)
21	16-17	0.0524+0.1923j	0.0000
22	15-18	0.1073+0.2185j	0.0000
23	18-19	0.0639+0.1292j	0.0000
24	19-20	0.0340+0.0680j	0.0000
25	10-20	0.0936+0.2090j	0.0000
26	10-17	0.0324+0.0845j	0.0000
27	10-21	0.0348+0.0749j	0.0000
28	10-22	0.0727+0.1499j	0.0000
29	21-22	0.0116+0.0236j	0.0000
30	15-23	0.1000+0.2020j	0.0000
31	22-24	0.1150+0.1790j	0.0000
32	23-24	0.1320+0.2700j	0.0000
33	24-25	0.1885+0.3292j	0.0000
34	25-26	0.2544+0.3800j	0.0000
35	25-27	0.1093+0.2087j	0.0000
36	28-27	0.0000+0.3960j	0.0000
37	27-29	0.2198+0.4153j	0.0000
38	27-30	0.3202+0.6027j	0.0000
39	29-30	0.2399+0.4533j	0.0000
40	8-28	0.0636+0.2000j	0.0428
41	6-28	0.0169+0.0599j	0.0130

Tüm per unit değerler, 100 MVA baz değerine göre verilmiştir. Baz gerilimleri 33kV ve 132kV'dur.

Çizelge EK3.3 Statik kapasitör verileri

Bara no	Şönt Admitans (p.u.)
10	0.1900
24	0.0430

Çizelge EK3.4 Transformatör verileri

Transformatör dizaynı	Ayar değerleri
6-9	0.9780
6-10	0.9690
4-12	0.9320
28-27	0.9680

Çizelge EK3.5 1-12 nolu baralar için sistem yükleri ve üretimleri- Baz değerli

Bara no.	Gerilim (p.u)	Açı (derece)	Yük		Üretim	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	1.0600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-16.1000
2	1.0430	-5.4800	21.7000	12.7000	40.0000	50.0000
3	1.0210	-7.9600	2.4000	1.2000	0.0000	0.0000
4	1.0120	-9.6200	7.6000	1.6000	0.0000	0.0000
5	1.0100	-14.3700	94.2000	19.0000	0.0000	37.0000
6	1.0100	-11.3400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	1.0020	-13.1200	22.8000	10.9000	0.0000	0.0000
8	1.0100	-12.1000	30.0000	30.0000	0.0000	37.3000
9	1.0510	-14.3800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	1.0450	-15.9700	5.8000	2.0000	0.0000	0.0000
11	1.0820	-14.3900	0.0000	0.0000	0.0000	16.2000
12	1.0570	-15.2400	11.2000	7.5000	0.0000	0.0000

Çizelge EK3.6 13-30 nolu baralar için sistem yükleri ve üretimleri- Baz değerli

Bara no.	Gerilim (p.u)	Açı (derece)	Yük		Üretim	
			MW	MVAR	MW	MVAR
13	1.0710	-15.2400	0.0000	0.0000	0.0000	10.6000
14	1.0420	-16.1300	6.2000	1.6000	0.0000	0.0000
15	1.0380	-16.2200	8.2000	2.5000	0.0000	0.0000
16	1.0450	-15.8300	3.5000	1.8000	0.0000	0.0000
17	1.0400	-16.1400	9.0000	5.8000	0.0000	0.0000
18	1.0280	-16.8200	3.2000	0.9000	0.0000	0.0000
19	1.0260	-17.0000	9.5000	3.4000	0.0000	0.0000
20	1.0300	-16.8000	2.2000	0.7000	0.0000	0.0000
21	1.0330	-16.4200	17.5000	11.2000	0.0000	0.0000
22	1.0330	-16.4100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	1.0270	-16.6100	3.2000	1.6000	0.0000	0.0000
24	1.0210	-16.7800	8.7000	6.7000	0.0000	0.0000
25	1.0170	-16.3500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26	1.0000	-16.7700	3.5000	2.3000	0.0000	0.0000
27	1.0230	-15.8200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
28	1.0070	-11.9700	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
29	1.0030	-17.0600	2.4000	0.9000	0.0000	0.0000
30	0.9920	-17.9400	10.6000	1.9000	0.0000	0.0000

Çizelge EK3.7 Durum 5 için 1-24 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri

Bara no.	Yük		Üretim	
	MW	MVAR	MW	MVAR
1	0.0000	0.0000	0.0000	-15.1386
2	22.3264	13.1729	40.9536	50.5766
3	3.1330	2.1674	0.0000	0.0000
4	7.7493	2.0988	0.0000	0.0000
5	94.6146	19.3971	0.0000	37.8642
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	23.6842	11.6683	0.0000	0.0000
8	30.8320	30.9831	0.0000	38.1988
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	6.6981	2.4665	0.0000	0.0000
11	0.0000	0.0000	0.0000	16.6596
12	11.3525	8.2371	0.0000	0.0000
13	0.0000	0.0000	0.0000	11.2690
14	7.0416	2.1167	0.0000	0.0000
15	8.9835	2.6436	0.0000	0.0000
16	4.4978	2.5770	0.0000	0.0000
17	9.5861	6.2475	0.0000	0.0000
18	3.5608	1.0655	0.0000	0.0000
19	9.8739	3.6566	0.0000	0.0000
20	3.1872	1.4293	0.0000	0.0000
21	18.3872	11.2613	0.0000	0.0000
22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	3.4441	2.4146	0.0000	0.0000
24	8.9469	7.1615	0.0000	0.0000

Çizelge EK3.8 Durum 5 için 25-30 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri

Bara no.	Yük		Üretim	
	MW	MVAR	MW	MVAR
25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26	3.8343	3.1963	0.0000	0.0000
27	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
28	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
29	3.2980	1.1373	0.0000	0.0000
30	11.2792	2.5843	0.0000	0.0000
2-5	0.8466	0.0920	0.0000	0.0000
17-16	-0.0263	-0.0380	0.0000	0.0000
4-6	0.7066	-0.0828	0.0000	0.0000
10-21	0.1592	0.1043	0.0000	0.0000

Çizelge EK3.9 Durum 6 için 1-14 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri

Bara no.	Yük		Üretim	
	MW	MVAR	MW	MVAR
1	0.0000	0.0000	0.0000	-15.7784
2	21.9885	13.5652	40.0338	50.8179
3	2.6527	1.6142	0.0000	0.0000
4	7.8402	2.3919	0.0000	0.0000
5	94.7515	19.8164	0.0000	37.9283
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	23.4655	11.7259	0.0000	0.0000
8	30.3089	30.3376	0.0000	37.7860
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	6.3058	2.5101	0.0000	0.0000
11	0.0000	0.0000	0.0000	16.9950
12	11.3929	8.0800	0.0000	0.0000
13	0.0000	0.0000	0.0000	11.5567
14	7.1263	2.0671	0.0000	0.0000

Çizelge EK3.10 Durum 6 için 15-30 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri

Bara no.	Yük		Üretim	
	MW	MVAR	MW	MVAR
15	8.4347	3.3021	0.0000	0.0000
16	3.6280	2.2329	0.0000	0.0000
17	9.4126	6.0412	0.0000	0.0000
18	3.8347	1.5346	0.0000	0.0000
19	9.6815	3.7672	0.0000	0.0000
20	2.6032	1.1315	0.0000	0.0000
21	18.1888	11.5019	0.0000	0.0000
22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	4.1233	2.2905	0.0000	0.0000
24	9.4571	7.2123	0.0000	0.0000
25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26	3.6961	2.4841	0.0000	0.0000
27	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
28	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
29	2.4646	1.2975	0.0000	0.0000
30	10.7203	2.3928	0.0000	0.0000
2-5	0.8467	0.0932	0.0000	-15.7784
17-16	-0.0223	-0.0395	0.0000	50.8179
4-6	0.7062	-0.0792	0.0000	0.0000
10-21	0.1636	0.0993	0.0000	0.0000

Çizelge EK3.11 Durum 6 için 1-19 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları

Bara No.	L_1		L_2		L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0600	0.0000	1.0600	0.0000	1.0600	0.0000
2	1.0430	-5.6834	1.0430	-5.6814	1.0430	-5.6661
3	1.0035	-8.0242	1.0040	-8.0222	1.0051	-8.0178
4	0.9913	-9.6986	0.9918	-9.6944	0.9932	-9.6933
5	0.9994	-14.7086	0.9981	-14.7105	0.9989	-14.6908
6	0.9867	-11.4685	0.9872	-11.4700	0.9885	-11.4621
7	0.9834	-13.3553	0.9832	-13.3517	0.9844	-13.3380
8	0.9863	-12.2121	0.9865	-12.2582	0.9878	-12.2443
9	1.0018	-15.2122	1.0031	-15.1035	1.0066	-15.0804
10	0.9816	-17.1569	0.9832	-17.0151	0.9878	-16.9860
11	1.0359	-15.2122	1.0373	-15.0802	1.0411	-15.0501
12	1.0074	-16.8752	1.0087	-16.7787	1.0132	-16.8195
13	1.0232	-16.8752	1.0246	-16.7809	1.0293	-16.8399
14	0.9871	-17.8812	0.9887	-17.7736	0.9936	-17.8392
15	0.9806	-17.8447	0.9824	-17.7257	0.9875	-17.7747
16	0.9889	-17.3084	0.9898	-17.1848	0.9947	-17.2088
17	0.9779	-17.4450	0.9795	-17.2996	0.9843	-17.2874
18	0.9657	-18.4249	0.9679	-18.2766	0.9738	-18.2820
19	0.9615	-18.5284	0.9637	-18.3687	0.9697	-18.3556

Çizelge EK3.12 Durum 6 için 20-30 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları

Bara No.	L_1		L_2		L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
20	0.9653	-18.2554	0.9675	-18.0956	0.9733	-18.0774
21	0.9677	-17.6750	0.9697	-17.5238	0.9745	-17.4937
22	0.9682	-17.6560	0.9703	-17.5035	0.9751	-17.4756
23	0.9642	-18.1452	0.9665	-18.0054	0.9716	-18.0504
24	0.9546	-18.0592	0.9570	-17.8978	0.9618	-17.8918
25	0.9623	-17.6072	0.9650	-17.4202	0.9684	-17.4056
26	0.9423	-18.0948	0.9457	-17.8827	0.9504	-17.8658
27	0.9769	-17.0164	0.9790	-16.8420	0.9804	-16.8295
28	0.9805	-12.1278	0.9813	-12.1200	0.9825	-12.1067
29	0.9537	-18.3319	0.9564	-18.1123	0.9557	-18.1107
30	0.9411	-19.3092	0.9439	-19.0747	0.9426	-19.1110

Çizelge EK3.13 Durum 7 için 1-10 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri

Bara no.	Yük		Üretim	
	MW	MVAR	MW	MVAR
1	0.0000	0.0000	0.0000	-15.3058
2	21.7714	13.3682	40.2751	50.0673
3	3.1182	1.3467	0.0000	0.0000
4	7.7404	2.0051	0.0000	0.0000
5	94.8157	19.1421	0.0000	37.8168
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	23.3104	11.4499	0.0000	0.0000
8	30.3450	30.0424	0.0000	37.9134
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	6.0558	2.3988	0.0000	0.0000

Çizelge EK3.14 Durum 7 için 11-30 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri

Bara no.	Yük		Üretim	
	MW	MVAR	MW	MVAR
11	0.0000	0.0000	0.0000	17.0951
12	11.3405	7.9426	0.0000	0.0000
13	0.0000	0.0000	0.0000	11.5218
14	6.7027	2.5966	0.0000	0.0000
15	8.4859	3.1944	0.0000	0.0000
16	3.6120	2.4150	0.0000	0.0000
17	9.5000	6.4172	0.0000	0.0000
18	3.5779	1.7297	0.0000	0.0000
19	9.7706	4.3793	0.0000	0.0000
20	3.1567	1.1374	0.0000	0.0000
21	17.9581	12.0462	0.0000	0.0000
22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	4.0305	2.0204	0.0000	0.0000
24	9.0032	7.5920	0.0000	0.0000
25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26	4.4876	3.1084	0.0000	0.0000
27	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
28	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
29	2.9162	1.7518	0.0000	0.0000
30	11.5773	2.5606	0.0000	0.0000
2-5	0.8397	0.0895	0.0000	-15.3058
17-16	-0.0282	-0.0352	0.0000	50.0673
4-6	0.7092	-0.0863	0.0000	0.0000
10-21	0.1612	0.1056	0.0000	0.0000

Çizelge EK3.15 Durum 7 için 1-22 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları

Bara No.	L_1		L_2		L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0600	0.0000	1.0600	0.0000	1.0600	0.0000
2	1.0430	-5.6484	1.0430	-5.6520	1.0430	-5.5981
3	1.0039	-8.0143	1.0042	-8.0002	1.0056	-7.9049
4	0.9917	-9.6738	0.9921	-9.6570	0.9936	-9.5432
5	1.0002	-14.5984	0.9992	-14.6639	0.9995	-14.5796
6	0.9873	-11.4520	0.9875	-11.4325	0.9891	-11.3139
7	0.9853	-13.3189	0.9841	-13.3054	0.9853	-13.2019
8	0.9868	-12.2481	0.9871	-12.2263	0.9888	-12.1029
9	1.0014	-15.1180	1.0029	-15.0281	1.0052	-14.8303
10	0.9805	-17.0262	0.9822	-16.9291	0.9846	-16.6956
11	1.0358	-15.1180	1.0376	-14.9991	1.0400	-14.7953
12	1.0058	-16.7449	1.0077	-16.6589	1.0086	-16.3638
13	1.0216	-16.7449	1.0235	-16.6557	1.0240	-16.3395
14	0.9850	-17.6892	0.9873	-17.5901	0.9883	-17.2454
15	0.9787	-17.6974	0.9812	-17.5967	0.9827	-17.2823
16	0.9867	-17.1351	0.9884	-17.0620	0.9897	-16.7882
17	0.9765	-17.2654	0.9782	-17.2025	0.9803	-16.9573
18	0.9631	-18.2699	0.9661	-18.1430	0.9687	-17.8464
19	0.9586	-18.3957	0.9616	-18.2623	0.9645	-17.9812
20	0.9628	-18.1415	0.9656	-18.0120	0.9684	-17.7419
21	0.9669	-17.5381	0.9684	-17.4269	0.9710	-17.1859
22	0.9674	-17.5170	0.9690	-17.4099	0.9717	-17.1667

Çizelge EK3.16 Durum 7 için 23-30 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları

Bara No.	L_1		L_2		L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
23	0.9630	-17.9917	0.9665	-17.8972	0.9680	-17.5968
24	0.9532	-17.8881	0.9570	-17.8177	0.9584	-17.5520
25	0.9604	-17.4923	0.9650	-17.5352	0.9654	-17.2883
26	0.9355	-18.0755	0.9457	-18.0939	0.9427	-17.8398
27	0.9770	-16.8759	0.9790	-17.0193	0.9797	-16.7922
28	0.9812	-12.1085	0.9813	-12.0980	0.9833	-11.9705
29	0.9547	-18.1250	0.9564	-18.4150	0.9555	-18.1760
30	0.9463	-18.9610	0.9439	-19.4609	0.9428	-19.2136

Çizelge EK3.17 Durum 8 için 1-14 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri

Bara no.	Yük		Üretim	
	MW	MVAR	MW	MVAR
1	0.0000	0.0000	0.0000	-15.3498
2	22.0065	13.4544	40.0569	50.4689
3	3.1789	1.4806	0.0000	0.0000
4	8.4953	2.1272	0.0000	0.0000
5	94.4537	19.3124	0.0000	37.0542
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	23.1415	11.6793	0.0000	0.0000
8	30.7331	30.8095	0.0000	38.2310
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	6.3442	2.0453	0.0000	0.0000
11	0.0000	0.0000	0.0000	16.6245
12	11.8697	7.8352	0.0000	0.4159
13	0.0000	0.0000	0.0000	10.9882
14	6.8859	2.5132	0.0000	0.0000

Çizelge EK3.18 Durum 8 için 15-30 nolu baraların sistem yükleri ve üretimleri

Bara no.	Yük		Üretim	
	MW	MVAR	MW	MVAR
15	8.9660	3.0013	0.0000	0.0000
16	4.3977	2.2175	0.0000	0.0000
17	9.9668	6.5995	0.0000	0.0000
18	4.1058	1.7906	0.0000	0.0000
19	9.6786	3.9134	0.0000	0.0000
20	3.1785	1.0897	0.0000	0.0000
21	18.3980	12.1306	0.0000	0.0000
22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	3.4820	2.3699	0.0000	0.0000
24	8.8879	7.4276	0.0000	0.0000
25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26	3.7094	2.4061	0.0000	0.0000
27	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
28	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
29	2.8396	0.9121	0.0000	0.0000
30	10.7484	2.1383	0.0000	0.0000
2-5	0.8382	0.0934	0.0000	-15.3058
17-16	-0.0218	-0.0361	0.0000	50.0673
4-6	0.7130	-0.0804	0.0000	0.0000
10-21	0.1628	0.1024	0.0000	0.0000

Çizelge EK3.19 Durum 8 için 1-22 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları

Bara No.	L_1		L_2		L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
1	1.0600	0.0000	1.0600	0.0000	1.0600	0.0000
2	1.0430	-5.7515	1.0430	-5.7338	1.0430	-5.6585
3	1.0021	-8.1832	1.0034	-8.1285	1.0057	-8.0125
4	0.9897	-9.8818	0.9912	-9.8161	0.9938	-9.6755
5	0.9994	-14.6813	0.9979	-14.7504	0.9986	-14.6275
6	0.9850	-11.6732	0.9865	-11.6006	0.9893	-11.4451
7	0.9824	-13.4561	0.9829	-13.4343	0.9850	-13.2908
8	0.9842	-12.4835	0.9859	-12.4042	0.9886	-12.2469
9	0.9991	-15.5118	1.0017	-15.3109	1.0073	-15.0194
10	0.9788	-17.5085	0.9816	-17.2636	0.9880	-16.9177
11	1.0326	-15.5118	1.0353	-15.2881	1.0412	-14.9762
12	1.0040	-17.2329	1.0070	-17.0197	1.0123	-16.6088
13	1.0191	-17.2329	1.0221	-17.0151	1.0268	-16.5784
14	0.9833	-18.2084	0.9867	-17.9728	0.9933	-17.5221
15	0.9771	-18.2130	0.9807	-17.9712	0.9878	-17.5405
16	0.9844	-17.7105	0.9874	-17.4854	0.9928	-17.1029
17	0.9741	-17.8263	0.9772	-17.5765	0.9835	-17.2181
18	0.9615	-18.8292	0.9655	-18.5557	0.9737	-18.1287
19	0.9574	-18.9407	0.9614	-18.6587	0.9696	-18.2441
20	0.9614	-18.6722	0.9653	-18.3939	0.9733	-17.9936
21	0.9653	-18.0233	0.9679	-17.7633	0.9747	-17.4161
22	0.9658	-17.9989	0.9686	-17.7398	0.9756	-17.3863

Çizelge EK3.20 Durum 8 için 23-30 nolu baraların kestirilen gerilim genlikleri ve gerilim faz açıları

Bara No.	L_1		L_2		L_∞	
	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Gerilim (pu)	Açı (derece)
23	0.9617	-18.4331	0.9656	-18.1789	0.9738	-17.7411
24	0.9525	-18.3481	0.9564	-18.0890	0.9648	-17.6685
25	0.9614	-17.9380	0.9660	-17.6811	0.9755	-17.1971
26	0.9416	-18.4428	0.9472	-18.1743	0.9586	-17.6563
27	0.9764	-17.3641	0.9807	-17.1222	0.9891	-16.6366
28	0.9788	-12.3628	0.9808	-12.2755	0.9842	-12.0889
29	0.9541	-18.8015	0.9594	-18.5297	0.9702	-17.9773
30	0.9417	-19.7468	0.9472	-19.4618	0.9584	-18.8831

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 24.10.1970

Doğum yeri Muş

Lise 1984-1987 Isparta ŞAİK Lisesi

Lisans 1988-1992 Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fak.
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1992-1994 Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Müh. Anabilim Dalı, Elektrik Müh. Programı

Doktora 1995-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Müh. Anabilim Dalı, Elektrik Müh. Programı

Çalıştığı kurum(lar)

1992-1997 Kocaeli Üniversitesi Araştırma Görevlisi
1999-Devam ediyor TSE Kalite Kampüsü