

GÜÇ SİSTEMLERİNDE GÜRÜLTÜLÜ DURUMDA L_p DURUM KESTİRİMCİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Nurten Ermiş, Hüseyin Çakır

I. GİRİŞ

Özet- Güç sistemlerindeki durum kestirimi, ölçümleri ve fiziksel verilerin, fiziksel sistemin o andaki akım, gerilim ve diğer parametrelerini hesaplamak için kullanıldığı etkin ve ekonomik matematiksel bir araçtır. Bu çalışmanın amacı, sürekli hal ve çok gürültülü durumda, farklı L_p normlarının güç sistemi barolarındaki gerilim genliklerinin ve gerilim faz açılarının kestiriminde kullanılmasını araştırmaya yöneliktir. IEEE altı baralı ve otuz baralı örnek test sistemleri için L_p ($p = 1, 2, \infty$) durum kestirimcilerinin uygulanmasından elde edilen sonuçlar, doğruluk ve hesaplama süresi açılarından karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler- Hata analizi, süre analizi, en küçük mutlak değer, en küçük kareler, maksimum mutlak sapma kestirimcileri, güç sistemi durum kestirimi.

Abstract- State estimation in power engineering is an efficient and economic mathematical tool in which measurements and certain other physical data are used to calculate voltages, currents and other parameters present in a physical system. The objective of this paper is to search the behaviors of the L_p ($p = 1, 2, \text{ and } \infty$) state estimators using to estimate voltage magnitudes and their phase angles in power system's uses when applied to a three phase balanced power system under steady and high noisy state conditions. The results obtained from application L_p ($p = 1, 2, \text{ and } \infty$) state estimators for IEEE 6-bus and IEEE 30-bus test systems were compared based on accuracy and computational time.

Keywords- Error analysis, time analysis, least absolute value, least squares, maximum absolute deviation estimators, power system state estimation.

Kısmen matematiksel (Hölder) L_p normlarının özelliklerine bağlı olan ve çoğunlukla, en küçük mutlak değer kestirimcisi (L_1 normu), en küçük kareler kestirimcisi (L_2 normu) ve maksimum mutlak sapma kestirimcisi (L_∞ normu) olmak üzere üç gruba ayrılan L_p kestirimcilerinin kullanıldığı güç sistemlerindeki durum kestirimi; fiziksel sistemdeki mevcut gerilim, akım ve diğer parametreleri hesaplamak için, ölçüm ve belli diğer fiziksel verilerin kullanıldığı verimli ve ekonomik bir matematiksel araçtır ve 1960'ların sonlarından bu yana bir çok çalışmanın konusu olmuştur. Güç sisteminin izlemesi 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. Daha sonra, ağırlıklı en küçük kareler kestirimcileri yoğun olarak araştırıldı ve hesaplama süresi gibi nümerik kararlılığı, çeşitli tekniklerle büyük oranda iyileştirildi [1]. 1978'de, ağırlıklı en küçük mutlak değer kestirimcilerini (WLAV - Weighted Least Absolute Value), güç sistem durum kestirimi için önerildi [2]. WLAV kestirimcileri, WLS kestirimcileri ile karşılaştırıldığında, daha tutarlı bulundu. Ancak WLS kestirimcilerine benzer olarak, WLAV kestirimcilerinde belli ölçüm konfigürasyonları için leverage noktalarında çevresinden çabuk etkilenmektedir [3].

WLAV kestirimcisinin önemli dezavantajı, büyük sistemlerdeki düşük bilgisayar verimliliğidir. 1984'de, böyle bir güç sisteminde, büyük ölçekli bir problem için özelleştirilmiş WLAV kestirimcisinin lineer uygulama metodunun uygulanabilirliği tartışılmıştır [4]. LAV ve WLAV kestirimcileri karşılaştırıldığında, maksimum mutlak değer kestirimcisi MAV, büyük hesaplama süresine sahip olduğu için, diğer kestirimciler kadar ilgi görmemiştir.

Bu çalışmada, L_p (L_1, L_2, L_∞) durum kestirimcileri, çok gürültülü ölçüm verileri kullanıldığında, doğruluk ve hesaplama süresi özelliklerine göre karşılaştırılmaktadır.

II. GÜÇ SİSTEMLERİNDE DURUM KESTİRİMİ

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 [5]. 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 gerçektir. 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 [6,7].

Güç sistem 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 [8]. 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 kestirimini de içeren başka uygulamaları da 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 kestirimcilerde örnek olarak Kalman filtreleri verilebilir [9]. Kalman filtresi, aslında, güç sistemindeki dinamik gerilim ve akımı belirlemek için kullanılan dinamik en küçük kareler hata kestirimcisidir. Kalman filtresinin uygulamalarına örnek, Trudnowski'nin makalesinde mevcuttur [10]. Ancak, hem statik hem dinamik kestirim, ölçümler sadece istatistiki olarak anlamlı ise uygulanır. Örneğin istatistiki anlamlılık için limitlerden birisi, transdüser ve telemetrik ölçüm sisteminin standard sapmasıdır. Ayrıca, ham veriler, kestirimciyi en küçük gecikme ile yakınsatmak ve geçerli fakat 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 [6]. Verilen bir güç sistemi yapısı ve belli bir parametre kümesi için statik

kestirimin amacı, şebeke çalışma verisinin hesaplanmasıdır. Sistem durum değişkenlerinin hesaplanması, genellikle, ölçüm hatalarının kompanzasyonu, eksik ölçümlerin tamamlanması ve kötü verinin ve yapısal hataların teşhisi 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 [5,6]. Doğru yapı, iletim hatlarının, transformatörlerin ve jeneratörlerin birbiriyle bağlarını tanımlar. Doğru parametreler, hatların, transformatörlerin ve ölçü aletlerinin karakteristikleridir. 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;

$$Z = Hx + e. \quad (1)$$

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. Ölçüm tekrarının olasılığı, m gözlem sayısı ve n bilinmeyen sistem durum değişkenlerinin sayısı olmak üzere (m/n) 'dir. İkinci ölçüt $K = n - m$ olarak tanımlanan "serbestlik derecesi"dir. Ki-kare testini kullanarak en küçük kareler kestirimcisi için durum kestirim doğruluğunu hesaplama da K 'nın kullanılması, Wood ve Wollenberg'in makalesinde görülmektedir [11]. e hatası, genellikle, gürültülü ölçümden, modelleme, iletişim ve kodlama hatalarından oluşmaktadır.

III. GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ L_p NÖRMLERİ

Elektrik güç sistemi uygulamalarında, devre büyüklüklerinin ölçümü genellikle önemlidir. Fiziksel modelden elde edilen lineer denklem sisteminin; ölçüm sayısı bilinmeyen durum değişkenleri sayısından daha fazla olan bir sistem olması gerekir [12]. Lineer denklemlerle ifade edilen bir güç sistemi için, ayrışık lineer L_p yaklaşımı aşağıdaki gibidir:

$$r = Hx - z \quad (2)$$

Burada r fark vektörü, $H \in R^{m \times n}$ süreç matrisi, $z \in R^n$ ölçüm vektörü, m ölçüm sayısı ve n bilinmeyen sayısıdır. (2) denkleminde, H , elektrik devresinin lineer sürecinin varsayılan modelidir ve x durum vektörüdür. L_p normu, r vektörü için tanımlanan Hölder normudur ve,

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

$$\|r\|_p = \min_{x \in R^n} \|Hx - z\|_p \quad (3)$$

şeklindedir. r vektörünün elemanları, indisle ve mutlak değeri ifade eden $|\cdot|$ notasyonu ile gösterilir. Bu varsayım $p = 1$ içindir. Hölder normlarının popüleritesi, kısmen, Euclidean uzaklığıyla ($p = 2$), kümenin maksimum değerleriyle ($p = \infty$) ve basit ortalama değerlerle ($p = 1$) bağlantılı olmasına dayanır. Sonuçta, L_p kestirimcisi, varsayılan model ve gerçek ölçüm arasındaki hatanın L_p normunu minimum yapar. p normunu minimum yapacak en iyi çözümü elde edecek şekilde \hat{x} durum değişkeninin kestirilen değeri için, (3) denklemi aşağıdaki gibi yazılır:

$$\|H\hat{x} - z\|_p = \min_x \|Hx - z\|_p \quad (4)$$

(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 [13].

III.1. En Küçük Mutlak Değer Kestirimcisi (L₁ normu)

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

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

$$\|r\|_1 = \sum_{i=1}^m |r_i| = \sum_{i=1}^m |\text{row}_i(Hx - z)| \rightarrow \min \quad (5)$$

r_i ya pozitif yada negatif olduğu için,

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

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

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. (5) nolu denklem, aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$(E^T E^T, 0^T, 0^T) \begin{pmatrix} r^+ \\ r^- \\ x^+ \\ x^- \end{pmatrix} = 0 \quad (6)$$

Burada, aşağıdaki sınırlama vardır:

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

$$(r_i^+, r_i^-, x_i^+, x_i^-) \geq 0 \quad (7)$$

Burada $E \in R^m$, m bileşenleri bir olan vektördür ($E^T, E^T, 0^T, 0^T$), $2n+2m$ boyutlu kolon vektörü ve 0^T ise m boyutlu sıfır vektörüdür. $I \in R^{m \times m}$ birim matris ve $H \in R^{m \times n}$ süreç matrisidir.

(6) ve (7) denklemlerini çözmek için simplex lineer programlama metodu kullanılmaktadır. Sınırlar, eski değerlere yeni değerlerin atandığı çalışma noktasında lineer hale getirilir ve bu işlem, yakınsama sağlanıncaya kadar tekrar edilir [12,14]. Bu metot özellikle, sapma oluşturabilecek ağır titreşimler için çok uygundur.

III.2. En Küçük Kareler Kestirimcisi (L₂ normu)

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

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

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

$$\hat{x} = (H^T H)^{-1} H^T z \quad (8)$$

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

III.3. Maksimum Mutlak Sapma Kestirimcisi (L_∞ normu)

$p = \infty$ için, maksimum mutlak sapma metodu, aşağıdaki denklemden elde edilir:

$$\|r\|_\infty = \max_i |r_i| = \max_i |\text{row}_i(Hx - z)| \rightarrow \min \quad (9)$$

Minimum yapılacak f fonksiyonu $f \in R$ olmak üzere, (9) nolu denklem lineer programlama formuna aktarılır ve,

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

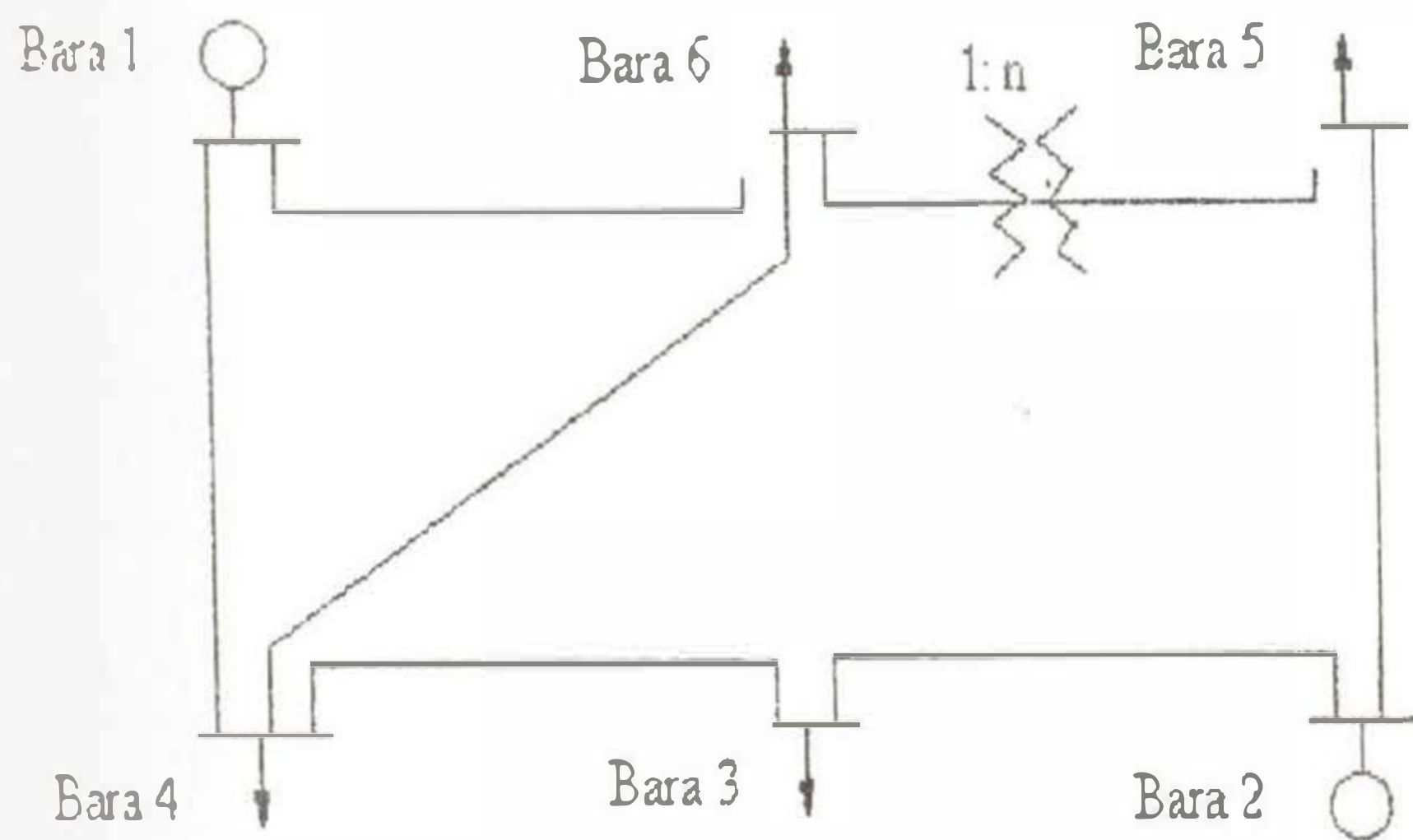
$$\begin{pmatrix} H & E \\ -H & E \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ f \end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix} z \\ -z \end{pmatrix} \quad (10)$$

olacak şekilde simplex metodu kullanılarak çözülmüştür [5]. Burada $E \in R^m$, m bileşeni bir olan bir vektördür.

IV. SİMÜLASYON SONUÇLARI

IV.1. IEEE Standard 6 Baralı Test Sistemi

L_p kestirimcilerinin karşılaştırmasını değerlendirmek üzere IEEE 6 ve 30 baralı test sistemleri kullanılmıştır. IEEE 6 baralı test sisteminin topolojisi Şekil 1'de verilmiştir[7].



Şekil 1 - IEEE 6 Baralı Test Sistemi [7]

Tablo 1. IEEE 6 Baralı Test Sisteminin Aktif ve Reaktif Güç Ölçümleri

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

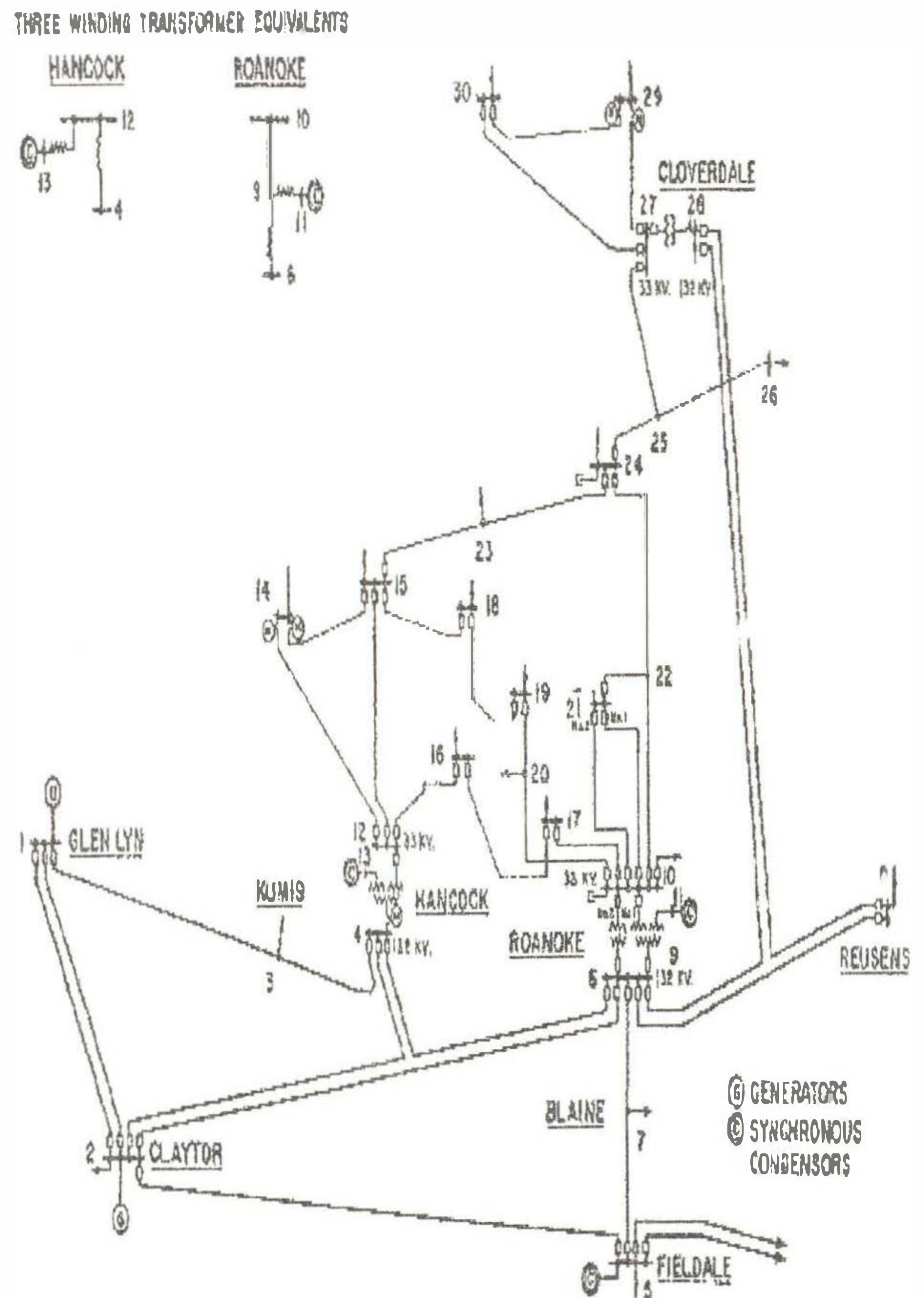
Tablo 2. IEEE 6 Baralı Test Sistemi İçin Kestirilen Gerilim Büyüklükleri ve Gerilim Faz Açılımları

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

Tablo 2'de, IEEE 6 baralı test sistemi için farklı L_p ($p = 1, 2, \infty$) durum kestirimcilerinden elde edilen gerilim genlikleri ve faz açıları görülmektedir.

IV.2. IEEE Standard 30 Baralı Test Sistemi

IEEE 30 baralı test sisteminin topolojisi Şekil 2'de verilmiştir[16].



Şekil 2 - IEEE 30 Baralı Test Sistemi [16]

Tablo 3. IEEE 30 Baralı Test Siseminin Aktif ve Reaktif Güç Ölçümleri

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
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

Tablo 4. IEEE 6 Baralı Test Sistemi İçin 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
23	0.9617	-18.4331	0.9656	-18.1785	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

Tablo 4'de, IEEE 30 baralı test sistemi için farklı L_p ($p = 1, 2, \infty$) durum kestirimcilerinden elde edilen gerilim genlikleri ve faz açıları görülmektedir.

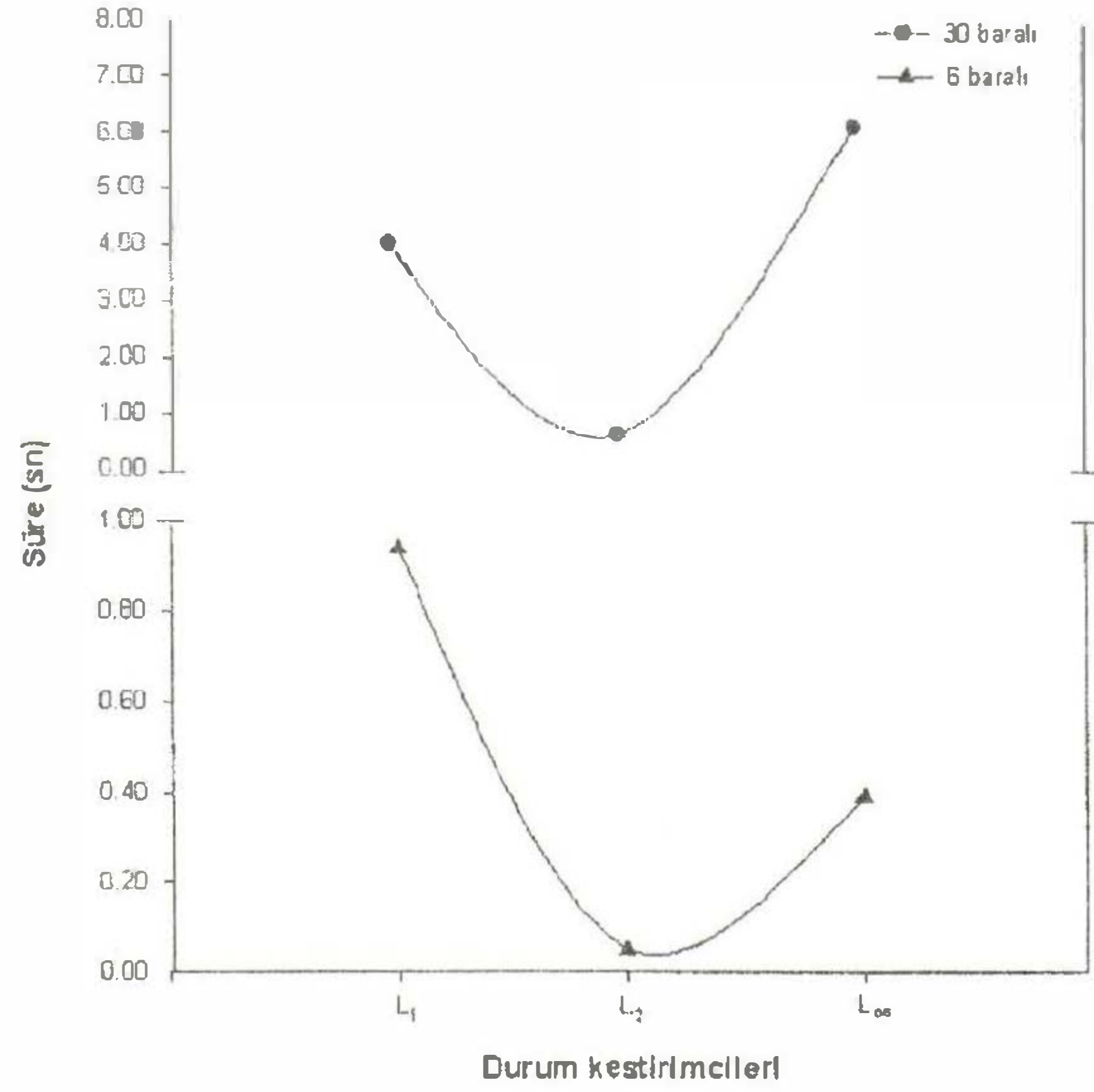
IV.3. Sonuçların Grafik Olarak Gösterilmesi

Tablo 5. IEEE 6 Baralı Test Sistemi İçin
 L_p Kestirimcilerinin Karşılaştırılması

L_p normu	Fark/Süre	Sonuç
L_1	Fark	2.7837
	Süre (sn)	0.9400
L_2	Fark	2.7850
	Süre (sn)	0.0500
L_∞	Fark	2.7878
	Süre (sn)	0.3900

Tablo 6. IEEE 30 Baralı Test Sistemi İçin
 L_p Kestirimcilerinin Karşılaştırılması

L_p normu	Fark/Süre	Sonuç
L_1	Fark	13.4105
	Süre (sn)	4.010
L_2	Fark	13.4385
	Süre (sn)	0.610
L_∞	Fark	13.4251
	Süre (sn)	6.150

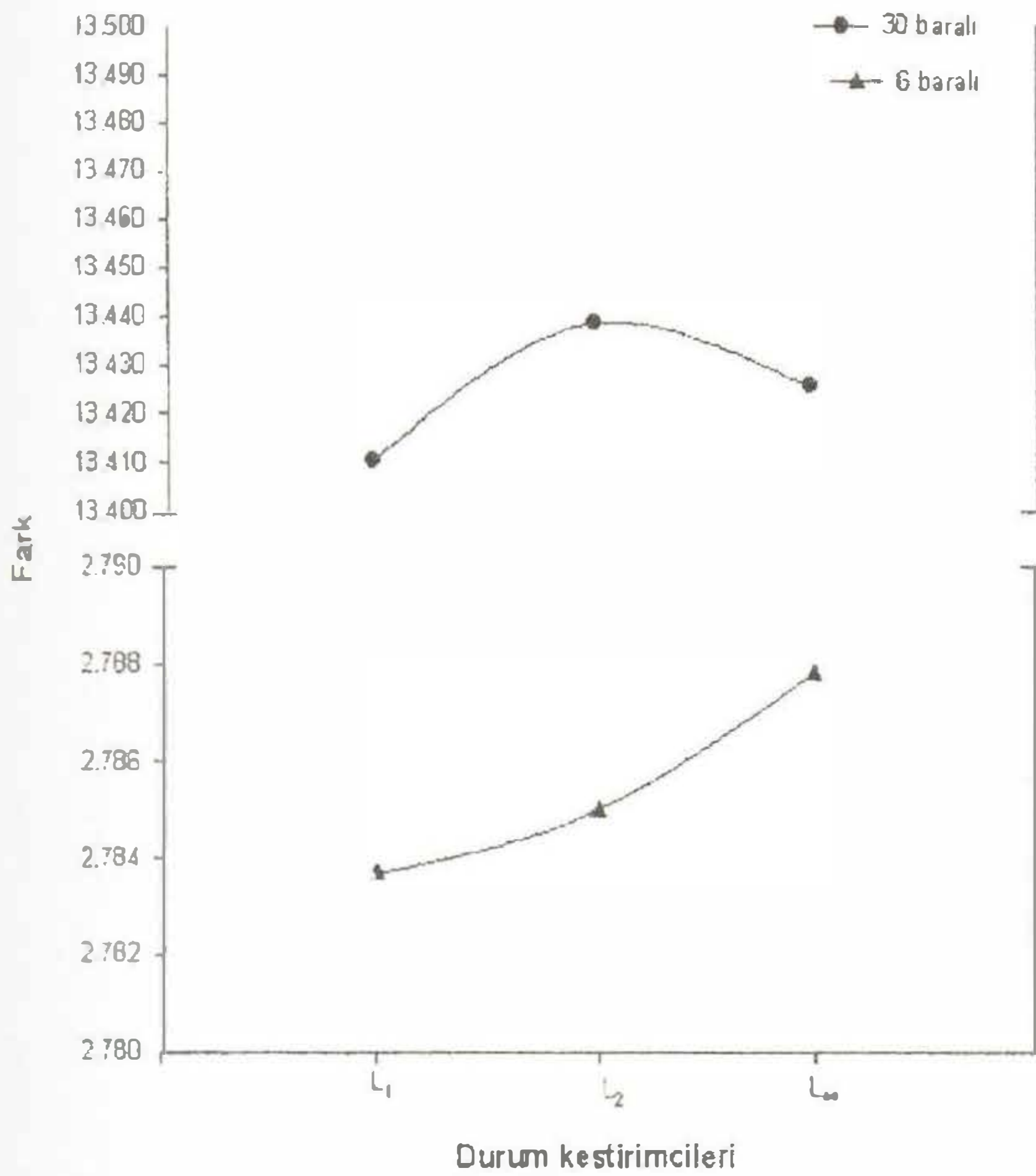


Şekil 4. L_p kestirimcilerinin süre analizi

V. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

L_p ($p = 1, 2, \infty$) normlarının çok gürültülü durumda güç sistemi baralarındaki gerilim genliklerinin ve gerilim faz açılarının kestiriminde kullanılmasını araştırmaya yönelik bu çalışmada, IEEE altı baralı ve otuz baralı test sistemlerinden oluşan iki örnek sistem için, durum kestirimcilerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Genel olarak, farklı L_p durum kestirimcileri birbirlerine yakın ve iyi sonuç vermişlerdir. Fakat, Şekil 3'den görüldüğü gibi, her iki test sisteminde de, oldukça kötü ölçüm verileri kullanıldığında dahi, L_1 en küçük mutlak değer kestirimcisi, L_2 en küçük kareler ve L_∞ maksimum mutlak değer kestirimcilerine göre daha küçük hataya sahiptir. Ayrıca, Şekil 4'den, L_2 kestirimcisinin yakınsaması için gerekli hesaplama süresi, L_1 ve L_∞ kestirimcileri için gerekli süreden oldukça kısadır. L_1 ve L_∞ kestirimcileri, genellikle statik kestirim için daha uygundur. Ancak, bilgisayar teknolojisindeki son gelişmeler, bu iki kestirimciyi, dinamik kestirim için de kullanılabilir hale getirecektir.

Gelecekte yapılacak benzer çalışmalara şu öneri yapılabilir: gerilim genlikleri ve gerilim faz açılarının kestirilmesinde, durum kestirimcilerinin kombinasyonu kullanılarak hem daha az hataya hem de daha kısa yakınsama süresine sahip kestirim metodları geliştirilebilir. Ayrıca, burada sınırlı sayıda sistem ve veri kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada, daha çok sayıda sistem ve verinin kullanılması matematiksel desteği artıracaktır.



Şekil 3. L_p kestirimcilerinin hata analizi

KAYNAKLAR

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Pires, R.C., Simoes Costa, A. ve Mili, L., (1999), "Iteratively Reweighed Least-squares State Estimation Through Givens Rotations," IEEE Transactions on Power Systems, 14:1499-1507.
- [4] U.S. Department of Energy Report, (1984), "Contribution to Power System State Estimation and Transient Stability Analysis", DOE/ET/29362-1: 26.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Moghavvemi, M. ve Faruque, O., (1998), "Real-time Contingency Evaluation and Ranking Technique, Generation, Transmission and Distribution," IEEE Proceedings, 145: 517-524.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Wood, A. ve Wollenberg, B., (1996), Power Generation, Operation and Control, John Wiley & Sons, New York.
- [12] Spath, H., (1987), Mathematical Algorithms for Linear Regression, Academic Press, UK.
- [13] Els, S.L., Els, A.D., Jordaan, J.A., ve Zivanovic, R., (1999), "Projection Statistics for Power System State Estimation," IEEE Africon'99, 2: 783-786.
- [14] Abur, A. ve Celik, M.K., (1991), "A Fast Algorithm the Weighed Least Absolute Value State Estimation," IEEE Transactions on Power Systems, 6: 1-6.
- [15] Holten et al., L., (1988), "Comparison of Different Methods for State Estimation," IEEE Transactions on Power Systems, 3:1798-1706.
- [16] Freris, L.L. and Sasson, A.M., (1968), "Investigation of Load Flow Problem," IEEE Proceedings, 115-10:1459-1470.