

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE YÜK ARTIŞLARININ  
GERİLİM KARARLILIĞINA ETKİLERİ**

78680

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik Müh. Hakan ATABEK**

78680

**Anabilim Dalı : ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Bilim Dalı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ**

**HAZİRAN 1998**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE YÜK ARTIŞLARININ  
GERİLİM KARARLILIĞINA ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Müh. Hakan ATABEK

Anabilim Dalı : ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Bilim Dalı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez .. / .. / 19.. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından  
Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Doç.Dr. M.Ali YALÇIN  
Jüri Başkanı



Doç.Dr. Ertan YANIKOĞLU  
Jüri Üyesi



Yrd.Doç.Dr. Ethem KÖKLÜKAYA  
Jüri Üyesi

## ÖNSÖZ

Günümüzde bir enerji sisteminin planlanması, işletilmesi ve kontrolü önemli ölçüde kararlılık kavramıyla yönlendirilmektedir. Son yıllarda enerji iletim sistemlerinde gerilim kararlılığı en önemli konulardan biri haline gelmiştir. Bu sorun IEEE raporlarında da açıklanan bir çok gerilim çökmesi olayları üzerine gündeme gelmiştir.

Transmisyon (iletim) şebekesinin amacı, gerekli güvenlikte ve maksimum verimde ki yükü daha ucuz fiyata beslemek için güç santrallerini ve yük merkezlerini bir araya toplamaktır. Ancak çeşitli faktörler nedeniyle yük merkezleriyle, güç santrallerini bir araya toplamak olanaklı değildir. Bunun sonucunda da büyük miktardaki enerjiyi uzak mesafeye taşıma zorunluğu ortaya çıkmakta, dolayısıyla güç sisteminin işletilmesi zorlaşmakta ve en önemlisi “ Kararlılık ” sorununu da gündeme getirmektedir.

Sistemdeki ( $\cos\phi$ , gerilim, hat uzunluğu.. v.b.) bazı parametreler değişirken, özellikle sistem yükü değişirken, gerilim büyüklüğü yavaşça düşer. Bu durumdan hat sonu gerilimi oldukça etkilenir. Bu etkilenme kademeli veya ani gerilim düşümleri şeklinde ortaya çıkabilir ve bu olay diğer yük baralarına da yayılarak, tüm sistemi etkilemesine, hatta çökmesine yol açabilir. Bu ardışık bir biçimde diğer sistem yük baralarına da yayılmasıyla karakterize edilen ve gerilim çökmesi şeklinde anılan “ Gerilim Kararlılığı ” nı ortaya çıkarmıştır.

Bu tez çalışmasında, sistem yükünün periyodik olarak artması sonucunun, gerilim kararlılığına olan etkisinin, yük analizi yöntemleri göz önüne alınarak incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarım sırasında yakın ilgilerini gördüğüm danışman hocam, sayın **Doç. Dr. Mehmet Ali YALÇIN** ' a, teşekkürü bir borç bilirim.

# İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 ELEKTRİKSEL YÜKLER VE İLETİM HATLARI.....	5
2.1 Elektriksel Yükler.....	5
2.1.1 Sabit empedans yükleri.....	5
2.1.2 Sabit akım yükleri.....	7
2.1.3 Sabit güç yükleri.....	7
2.2 İletim Hatları.....	9
2.2.1 Orta uzunluktaki hatlar.....	9
2.2.2 Uzun iletim hatları .....	10
BÖLÜM 3 SÜREKLİ HAL GERİLİM KARARLILIĞI.....	13
3.1 P-V Eğrilerinin Elde Edilmesi.....	14
3.2 P-V Eğrileri Yardımıyla Çeşitli Etki Benzetimleri .....	18
3.2.1 Hat uzunluğunun etkileri .....	18
3.2.2 Hat başı geriliminin etkileri .....	20
3.2.3 Güç faktörünün etkileri .....	21
3.2.4 Kullanılan paralel hat sayısının etkisi .....	21
3.2.5 Hat sonunda kullanılan şönt kapasitenin etkisi .....	24
3.2.6 Seri kompanzasyonun etkileri .....	25

3.2.7 Şönt kompanzasyonun etkileri .....	27
3.2.8 Seri ve şönt kompanzasyonun birlikte kullanımının etkileri.....	30
3.3 Kritik değerlerin belirlenmesi .....	31
<b>BÖLÜM 4 ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE GERİLİM KARARLILIĞI.....</b>	<b>35</b>
4.1 Sistemde Kullanılan Baralar .....	38
4.2 Newton-Raphson Yük Akışı Yöntemi .....	40
4.3 Decoupled (Ayrık) Yük Akışı .....	41
4.4 Yük Akışının Çözümü .....	42
4.5 Decoupled Metodunun Uygulanması .....	45
4.6 Decoupled Metodunun Avantajları .....	47
<b>BÖLÜM 5 İNDİRGENMİŞ KUZEY BATI ANADOLU ( KBA ) ENERJİ İLETİM SİSTEMİNİN İNCELENMESİ.....</b>	<b>49</b>
5.1 Kuzey Batı Anadolu Sistemi Enerji Talebi.....	49
5.2 İndirgenmiş N-Baralı Sistemimin Genel Akış Şeması.....	51
5.3 İndirgenmiş Kuzey Batı Anadolu (KBA) Sistemi .....	54
5.4 Kuzey Batı Anadolu Sistemi İçin İncelenen Durumlar .....	56
5.5.1 Mevcut sistemde sadece yüklerin yıllık %10 artışı.....	57
5.5.2 Yükler ile üretim baralarının yıllık %10 artışı .....	68
5.5.3 Yükler ile doğu üretim baralarının yıllık %10 artışı .....	79
5.5.4 Yükler ile batı üretim baralarının yıllık %10 artışı .....	90
5.5.5 Hat taşıma kapasitesinin iki katına çıkartılması ile yüklerin yıllık %10 artışı.....	100
<b>SONUÇLAR .....</b>	<b>111</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>114</b>
EK A P-V Eğrilerinin Elde Edilmesi .....	117
EK B $V_{crit}$ , $P_{crit}$ , $\delta_{crit}$ İfadelerinin Çıkarılması .....	119
EK C Hesaplama Kullanılan Programlar .....	123
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>131</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

V	: Gerilim
S	: Görünür Güç
P	: Aktif Güç
Q	: Reaktif Güç
$\delta$	: Yük Açısı
$\cos\phi$	: Güç Faktörü
A B C D	: Hat Sabitleri
Z	: Empedans
R	: Omik Direnç
$X_L$ , $X_C$	: Endüktif ve Kapasitif Reaktans
$V_r$	: Alıcı Uç Gerilimi
$I_r$	: Alıcı Uç Akımı
$V_s$	: Gönderici Uç Gerilimi
$I_s$	: Gönderici Uç Akımı
f	: Frekans
$\omega$	: Açısal Frekans
$V_{crit}$	: Kritik Gerilim
$I_{crit}$	: Kritik Akım
$\delta_{crit}$	: Kritik Yük Açısı
$Y_{BARA}$	: Bara Admitans Matrisi
$Q_{mak}$	: Generatör Baralarından Çekilebilecek Maksimum Reaktif Güç Sınırı
$Q_{min}$	: Generatör Baralarından Çekilebilecek Minimum Reaktif Güç Sınırı
$\epsilon$	: İterasyon Sonuçlandırma Kriteri
KBA	: Kuzey Batı Anadolu
TEAŞ	: Türkiye Elektrik Üretim-İletim A.Ş.

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Klasik anlamda gerilim kararlılığı.....	2
Şekil 2.1	Sabit empedanslı yükün uç gerilim değişimine karşı cevabı.....	6
Şekil 2.2	Sabit akımlı yükün uç gerilimi değişimine olan etkileri .....	7
Şekil 2.3	Sabit güç yükünün değişimine karşılık aktif ve reaktif güç cevabı .....	8
Şekil 2.4	Orta uzunlukla bir hattının $\pi$ devresi yardımıyla eşdeğer gösterimi .....	9
Şekil 2.5	Uzun iletim hattında dağıtılmış parametrelerin olduğu $\pi$ devresi.....	10
Şekil 2.6	Uzun bir iletim hattının eşdeğer $\pi$ devresi yardımıyla gösterimi.....	12
Şekil 3.1	İletim hattının iki kapılı devre olarak gösterimi .....	14
Şekil 3.2	İncelenen örnek iletim hattının modellenmesi .....	17
Şekil 3.3	Keban-Kayseri-Gölbaşı örnek iletim hattının P-V eğrisi.....	17
Şekil 3.4	Farklı hat uzunlukları için P-V eğrileri .....	19
Şekil 3.5	Farklı hat başı gerilimleri için P-V eğrileri.....	20
Şekil 3.6	Farklı güç katsayıları için P-V eğrileri .....	21
Şekil 3.7	Paralel hat sayısı iki olan yeni devremizin yeni modeli .....	22
Şekil 3.8	Paralel çalışan hatlar için P-V eğrileri.....	23
Şekil 3.9	Şönt kapasitenin hat sonuna eklenmesi .....	24
Şekil 3.10	Farklı reaktif güç kompanzasyon seviyeleri için P-V eğrileri .....	25
Şekil 3.11	İletim hatlarına seri kompanzasyon yapılıp yapılmaması durumu .....	27
Şekil 3.12	Farklı yüzdeleri seri kompanzasyon yapılması durumunda elde edilen P-V eğrileri.....	28
Şekil 3.13	Uzun bir iletim hattının eşdeğer ve çeşitli yük durumlarında gerilim dağılımı.....	29
Şekil 3.14	Gönderi ve alıcı uçları şönt reaktörle kompanzasyon yapılması .....	29

Şekil 3.15	Farklı yüzdelerde şönt kompanzasyon yapılması durumunda elde edilen P-V eğrileri.....	30
Şekil 3.16	Seri ve Şönt kompanzasyonun birlikte uygulanması durumlarında elde edilen P-V eğrileri.....	31
Şekil 4.1	Decoupled yük akışının şeması.....	48
Şekil 5.1	İndirgenmiş Kuzey Batı Anadolu (KBA) sistemi.....	54
Şekil 5.2a...e	Yük baralarının kritik güç ve gerilim değişimleri .....	61
Şekil 5.3	Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik gerilim değişimi....	66
Şekil 5.4	Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik güç değişimi.....	67
Şekil 5.5a...e	Yük baralarında, yük ve kaynakların yıllık % 10' luk artışlarında kritik gerilim ve güç değişimi.....	72
Şekil 5.6	Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik gerilim değişimi....	77
Şekil 5.7	Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik güç değişimi.....	78
Şekil 5.8a...e	Yük baralarında, yük ve doğu kaynakların yıllık % 10' luk artışlarında kritik gerilim ve güç değişimi.....	83
Şekil 5.9	Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik gerilim değişimi...	88
Şekil 5.10	Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik güç değişimi.....	89
Şekil 5.11a...e	Yük baralarında, yük ve batı kaynakların yıllık % 10' luk artışlarında kritik gerilim ve güç değişimi.....	93
Şekil 5.12	Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik gerilim değişimi....	98
Şekil 5.13	Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik güç değişimi.....	99
Şekil 5.14a...e	Yük baralarında, hat kapasitesinin iki katına çıkartılmasıyla,yükün % 10' luk artışlarında kritik gerilim ve güç değişimi.....	104
Şekil 5.15	Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik gerilim değişimi..	109
Şekil 5.16	Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik güç değişimi.....	110



## TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	Keban-Kayseri-Gölbası hattının dataları.....	16
Tablo 4.1	Gerilim kararlılığı metodlarının genel sınıflandırılması.....	36
Tablo 4.2	Bara tipleri.....	39
Tablo 4.3	Durum ve kontrol değişimleri tablosu.....	44
Tablo 5.1	Kuzey Batı Anadolu sistemin baraları.....	55
Tablo 5.2	İndirgenmiş KBA sistemine ait hat verileri.....	55
Tablo 5.3	İndirgenmiş KBA sistemine ait yük ve üretim bara verileri .....	56
Tablo 5.4	Mevcut sistemle yük akışı ve kritik değerler.....	57
Tablo 5.5a..j	Mevcut sistemle sadece yüklerin yıllık % 10 arttırılması sonucu elde edilen kritik değerler.....	59
Tablo 5.6a..j	Yüklerin ve üretim baralarının yıllık % 10 arttırılması sonucu elde edilen kritik değerler.....	70
Tablo 5.7a..j	Yüklerin ve doğu üretim baralarının yıllık % 10 arttırılması sonucu elde edilen kritik değerler.....	81
Tablo 5.8a..j	Yüklerin ve batı üretim baralarının yıllık % 10 arttırılması sonucu elde edilen kritik değerler.....	91
Tablo 5.9a..j	Hat taşıma kapasitesinin iki katına çıkartılması ile yükün yıllık % 10 arttırılması sonucu elde edilen kritik değerler.....	102

## ÖZET

Gerçekleştirilen bu çalışmada, sistem yükünün on yıllık bir periyot için de Ülkemizin yıllık % 10' luk bir enerji artış talebi göz önüne alınarak, yük artışının gerilim kararlılığına olan etkileri, N baralı sistem üzerinde yük analizi uygulamalarına dayalı olarak incelenmiştir.

Öncelikle ilk grupta, gerilim kararlılığını inceleye bilmemiz için gerekli, yük akışını yapabilmemizi sağlayacak gerekli yük ve iletim hatlarının sınıflandırılması yapılmıştır.

İkinci grupta çalışmada ise statik anlamda incelemeler yapılmıştır. Önce iki bara arasına bağlı paralel hatlar için, statik gerilim kararlığı için çok önemli bir etken olan ve hat sonu gerilim genliği ile hat sonundan çekilen güç değişimini gösteren P-V eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra ise P-V eğrilerinin elde edildiği analitik ifadeler yardımıyla; paralel hat sayısının (hat kapasitesinin), hat başı geriliminin, güç katsayısının, hat uzunluğunun gibi sistem parametrelerinin değişmesi durumunda, P-V eğrilerini nasıl etkilediği incelenmiştir.

Üçüncü grup çalışmada ise statik gerilim kararlığı açısından N-baralı sistemlerin incelenmesi için Newton Yük Akışı ve Decoupled Yük Akışı yöntemleri incelenmiş. Bu yöntemler yardımıyla özellikle, sistem yükünün artmasından doğan problemler tespit edilmiştir. Buna göre, Newton yöntemi ile sistemin herhangi bir yük durumu için yük akışı yapılarak, sistemin tüm yükü sabit tutularak sadece ilgilenilen barada her adımda yük arttırılarak kritik noktalara ulaşılmıştır. Yöntemin nümerik kararlılığını arttırmak amacıyla, Decoupled metoduna dayalı, matris parçalama teknikleri kullanılmıştır.

Son grup çalışmada ise ; üçüncü grupta elde edilen yöntem yardımıyla, N baralı sisteme örnek teşkil etmesi amacıyla ülkemizin en yoğun enerji iletim sistemi olan Kuzey Batı Anadolu (KBA) sisteminin indirgenmiş modeli üzerinde yük akışı yöntemiyle gerilim kararlılığı incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken Ülkemizin yıllık % 10 ' luk enerji artışı talebi göz önüne alınarak 10 yıllık bir periyot içinde mevcut sistem üzerinde yük artışlarındaki gerilim kararlılığı incelenmiştir. Daha sonra sırasıyla aynı süre içinde; üretimin ve yüklerin artışı ile hat kapasitelerinin ve yüklerin artışı göz önünde bulundurularak gerilim kararlılığı incelenmiştir.

# EFFECTS OF LOAD INCREASE ON VOLTAGE STABILITY IN POWER TRANSMISSION SYSTEMS

## SUMMARY

Over the last ten to fifteen years, the electric power industry has become increasingly concerned with voltage instability incidents as described in an IEEE report. The following are some examples;

- ◆ New York Power Pool disturbances of September 22, 1970
- ◆ Florida system disturbances of December 28, 1982
- ◆ Northern Belgium system disturbances of August 4, 1982
- ◆ Swedish system disturbances of December 27, 1983
- ◆ French system disturbances of January 12, 1987
- ◆ Japanese system disturbances of July 23, 1987

As a consequence, the terms “voltage instability” and “voltage collapse” are appearing more frequently in the literature and discussions of system planning and operation.

Today power systems are large and widely interconnected, probably the most complex man-built systems. The purpose of the transmission network is to pool power plants and load centers in order to supply the load at required reliability and maximum efficiency at a lower cost. However, because of various factors, it is not possible to pool plants and load centers. Because of this, it is necessary to transmit energy to big consumers and the most important point appears as a stability problem.

As some parameters in the system change, in particular the system load, the voltage magnitudes slowly decline. As some devices reach their limits, the ability of controlling the voltages is lost. Furthermore, at a certain loading of the system one type of instability that may occur is voltage collapse. This phenomenon is characterized by a sharp and fast decrease in voltage magnitude at some or all buses. This is now a major concern in planning and operation of electric power systems and this exposed voltage stability concept was exposed by this.

It is well known that there is strong relations between true power ( $P$ ) and load angle ( $\delta$ ), reactive power ( $Q$ ) and load voltage magnitude ( $|V|$ ). In this context classical stability analysis can be based on the investigation of  $P - \delta$  relation, and the voltage

stability analysis on the investigation of  $Q - |V|$  relation. The voltage stability can be defined as the ability of the system to maintain the bus voltage magnitudes within the specified limits whether under the steady-state or the transient conditions.

The main factor causing voltage collapse is the inability of the power system to meet the demand for power. Because of this reason, in this thesis effects of system load increase stability are studied with load analysis methods.

The first study is performed on a two-bus system. Primarily P-V curves showing the receiving end voltage magnitude with the true power at the receiving end for the parallel lines between two buses. On these curves two different voltage values are observed to correspond to a same power value. The higher-value one of the two points imply the steady-state and other one is the instability points.

The most interesting point on the curves is the singularity point for which there exists only one voltage value versus power. The voltage at this particular point is referred to as "Critical Voltage,  $V_{crit}$ ", and the power as "Critical Power,  $P_{crit}$ ", these values define the boundaries of steady-state voltage stability.

In the second group of the study, N-bus system is studied with Newton-Raphson load flowing and Decoupled Methods, considering static voltage stability.

At the end of thesis, the critical power and voltage values by result of load increase are observed with applying load flow on actual example (system from North-West Anatolia ( KBA) from Türkiye) energy transmission system.

As a general result :

- ◆ With increasing the load; critical power is decreased and critical voltage is increased.
- ◆ With increasing production with the load; improvement is not seen on the critical data.
- ◆ With increasing in line load capacity; the critical power is increasing with the same rate of capacity.

Suggestion : because the biggest factors on the critical values are production, transmission and load, to improve these values it is necessary to study on transmission lines.

## BÖLÜM 1 GİRİŞ

Voltaj kontrol ve kararlılık problemleri elektrik enerji iletim sistemlerinde yeni görülmemektedir fakat şimdi çoğu sistemde özel dikkat gösterilmektedir. Öncelikle zayıf sistemlerde ve uzun hatlarda alakalı olduğundan, voltaj problemleri daha ağır yüklenmelerin bir sonucu olarak ileri düzeyde gelişmiş sistem ağlarının (enterkonnette sistem) bir ilgi kaynağı teşkil etmektedir. Son yıllarda, voltaj değişkenliği çoğu enerji sistem ağının çökmesine sebep olmuştur.

Bunlardan bazı örnekler [2][3],

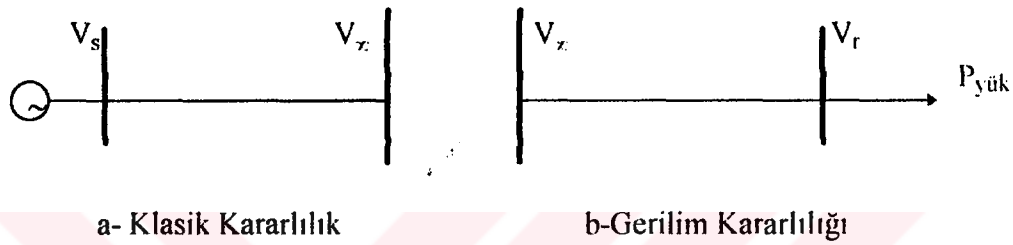
- New York Güç Havuzu arızaları, 22 Eylül 1970
- Florida sistem arızası, 28 Aralık 1982
- Fransa sistem arızaları, 15 Aralık 1978 ve 12 Ocak 1987
- Kuzey Belçika sistem arızası, 4 Ağustos 1982
- İsveç sistem arızaları, 27 Aralık 1983
- Japon sistem bozuklukları, 23 Temmuz 1987

Sonuç olarak “ Voltaj değişkenliği ” ve “ Voltaj düşmesi ” terimleri sistem planlama ve işletme tartışmalarında “ Gerilim Kararlılığı ” olarak inceleme alanı olarak ortaya çıkmış ve konuda kapsamlı araştırmalar başlatılmıştır.

Klasik anlamda kararlılık, bir bozucu etkiye ( kısa devre, açma-kapama, hatların devre dışı kalması, yük artışı v.b. ) maruz kalan sistemin, bu etki kalktıktan sonra tekrar bozucu etki öncesi çalışma koşullarına dönebilmesi yeteneği olarak tanımlanmaktadır [4][5].

Gerilim Kararlılığı ise, bir güç (enerji) sisteminin yük baralarının gerilimlerinin genliklerini, gerek sürekli halde gerekse geçici olaylar esnasında, belirli işletme

limitleri içinde tutabilme yeteneği olarak tanımlanabilir [6]. Gerilim kararsızlığına neden olan ana faktör güç sisteminin gerekli gerekli gücü karşılamadaki yetersizliktir. Yani normal olmayan sistem çalışmaları veya kontrolör davranışları altında, yük taleplerini karşılamaya çalışan belirli sistem baralarına yeterli reaktif gücün verilemeyeşidi [6]. Bu durumda bir bölgedeki gerilimin, ardışık olarak gerilim çığı yaratması ve sonunda da sistemin tümünde gerilim çökmesine sebep olması olarak niteleyebiliriz.



Şekil 1.1 İletim sistemlerinde: a- Klasik kararlılık b- Gerilim kararlılığı

Bilinen klasik anlamdaki kararlılık incelemeleri, aktif güç - yük açısı (  $P-\delta$  ) ilişkisinin önemine karşılık, gerilim kararlılığı açısından, reaktif güç - gerilim genliği (  $Q-V$  ) ilişkisi ön plana çıkmaktadır [7]. Uzun mesafelerde büyük miktarda güç iletimi gerçekleştirildiğinden bu ilişkinin (  $Q-V$  ) yönünden ayrıntılı olarak incelenmesi ihtiyacını doğurmuştur.

Gerilim kararlılığının incelenmesinin ilk yolu sürekli hal gerilim kararlılığına, yani statik yük akışı analizlerine dayanmaktadır. Elde edilen değerler genellikle, aktif güç - gerilim ordinatlarında  $P-V$  eğrileri ile gösterilmektedir.  $P-V$  eğrisi üzerinde gerilimin kararsızlık noktası, kritik güç değerleri rahatlıkla incelenebildiğinden, statik analizlerde gerilim çökmesinden korunmak için faydalı olmaktadır. Ancak statik yük akışı, gerilim kararlılığının dinamik davranışı hakkında yeterli bilgi veremeyeceğinden, dinamik yük akışında göz önüne alınması gerekmektedir.

Yük akışı denklemleri çoklu çözümlere sahiptir ve gerilim bu çoklu çözümlerle yakından ilgilidir. Herbir gerilim çözümü için kararlılık, generatörlerin ve yüklerin

dinamikleri göz önüne alınıp, özdeğer metodu kullanılarak dinamik olarak analiz edilebilir[8]. Sonuçta küçük bozucu etkiler açısından, gerilim kararlılığı konusuna uygulanabilmesine rağmen örneğin en basit durum olarak paralel hatlarla birbirine bağlı iki baralı bir güç sistemi, bir bozucu etki sonucu paralel hatlardan birinin ani olarak açılması durumuna maruz kalmışsa, yüklere ve kontrol dinamiklerine bağlı olarak gerilim çok hızla değişebilir ve lineerlik bozulduğundan özdeğer metodu uygulanamaz. Bu nedenle böyle bir durumda, dinamik simülasyon metodu yararlı görülmektedir[9].

Bu çalışmada sadece sürekli hal gerilim kararlılığında, sistem yüklerinin periyodik bir şekilde arttırılması sonucunda oluşan statik yük akışı incelendiğinden dinamik simülasyon metodu inceleme kapsamına alınmamıştır.

Nüfus artışı, ekonomik gelişmeler, gelişen teknoloji sonucu olarak ülkemizde elektrik enerji talebi hızla yükselmektedir. Yıllık olarak yaklaşık % 10' luk bir enerji artış talebi bulunduğu ülkemizde bu artışın yakalanarak önüne geçilmesi en önemli hedeflerden biridir[1].

Ancak ülkemizin en önemli ihtiyacı olan enerjinin % 45' i kendi Milli kaynaklarımızdan, % 55' şini ise dışarıdan ithal etmek zorunda bulunmaktayız. Ülkemizde 21164 MW olan kurulu güç karşılığında kişi başına 1520 KWh olan tüketimin, 2020 yıllarında 5500 KWh' a yükseltilmesine hedeflenmesi, gelişmişliğin bir göstergesi olan kişi başına tüketilen elektrik enerjisi dünyanın gelişmiş ülkeleriyle, OECD ülkelerindeki 7508 KWh' lık düzeyin gerisinde kalacağı açıktır[1].

Hedeflenen artış düzeylerine ulaşılabilmesi için ülkemizin ekonomisi açısından en düşük maliyet çözümünün elde edildiği üretim-yatırım planlaması sonuçlarına göre, yaklaşık 99 Milyar \$' lık bir yatırıma ihtiyaç duyulmaktadır ki bu sorunun olumsuz tarafını göstermektedir[1].



Kişi başına tüketilen elektrik enerjisinde, yıllık % 10' luk enerji artış talepleriyle OECD ülkelerini yakalayamamamıza rağmen yatırım ve iyileştirme çalışmalarının yapılması zorunlu kılınmaktadır. Özellikle mevcut iletim hatlarının iyileştirilmesi ve yeni iletim hatları yatırımlarına hız verilmesi ayrı bir zorunluluktur.

Yukarıdaki açıklamaların ışığında, bu çalışmada , yıllık % 10 ' luk enerji artışı talebini 10 yıllık bir periyot içinde gerilim kararlılığı yönünden statik yük akışı incelemeleri yapılmıştır. Bu incelemede çeşitli kombinasyonlar denenmiştir. İlk önce ; mevcut sistemde bu süre zarfında hiç bir iyileştirme yapılmadığı kabul edilerek yük akışı yapılmış ve gerilim kararlılığı incelenmiş. Daha sonra ise; yük artışına cevap verecek şekilde çeşitli üretim artışları gerçekleştirilerek yük akışı yapılmış ve gerilim kararlılığı incelenmiş. En son olarak ise iletim hatlarının taşıma kapasitelerinin % 100 arttırıldığı kabulü ile yine yıllık % 10'luk enerji artışı talebi 10 yıllık bir periyot içinde incelenerek yük akışı yapılmış ve gerilim kararlılığı incelenmiştir.

Gerilim kararlılığını etkileyen faktörlerin başında sırasıyla ;

- 1- İletim hatlarının aşırı yüklenmesi ve elektriksel yüklerin yapısı,
- 2- Üretim kaynaklarının yük merkezlerinden çok uzakta olması,
- 3- Kaynak gerilimlerinin çok düşük olması (senkron generatörler),
- 4- İletim hatlarının işletilme biçimleri,
- 5- Kontrol cihazlarının dinamik cevapları,
- 6- Yetersiz reaktif yük dengelenmesi .

gelmektedir[6].

## BÖLÜM 2 ELEKTRİKSEL YÜKLER VE İLETİM HATLARI

### 2.1 Elektriksel Yükler

Gerilim kararlılığı açısından elektriksel yükler aynı senkron generatörlerin önem derecesine sahiptir. Gerilim değişimine karşı davranışları bakımından yükleri üç ana gruba ayırabiliriz [10].

- 1- Sabit empedans yükleri,
- 2- Sabit akım yükleri,
- 3- Sabit güç yükleri.

Bu ana grupların dışında yük karakteristiğine bağlı olarak, gerilim değişimlerine karşı zaman için de farklı davranan yük gruplarında bulunabilir. Örnek olarak asenkron makinelerini verebiliriz. Esas karakteristiği sabit güç grubuna giren asenkron makineler, ani gerilim değişimlerine karşı ilk anda sabit empedans karakteristiği gibi davranabilir. Bu durum özellikle dinamik davranışlar bakımından önemli bir özelliktir [6].

#### 2.1.1 Sabit empedans yükleri

Sabit empedans yüklerinin başında aydınlatma, ısıtma, ark ocakları gelmektedir. Ağırlıklı olarak omik karakterlidirler ve tamamen gerilime bağlı olarak değişirler [11]. Hat sonundaki bir sabit empedans yükünün çektiği güç :

$$S = P + jQ = \dot{V} \cdot \dot{I}^* = \dot{V} \cdot \left( \frac{\dot{V}}{\dot{Z}} \right)^* = \frac{|\dot{V}|^2}{|\dot{Z}|} = \frac{|\dot{V}|^2}{(R - jX)} = |\dot{V}|^2 \cdot \frac{R + jX}{R^2 + X^2} \quad (2.1)$$

sonucunu buluruz. Buradan,

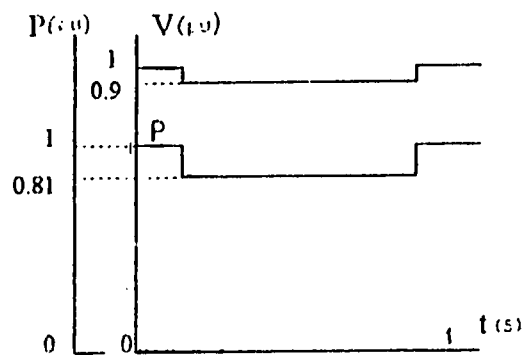
$$P = |V|^2 \cdot \frac{R}{R^2 + X^2} \quad \text{ve} \quad Q = |V|^2 \cdot \frac{X}{R^2 + X^2} \quad \text{şeklinde aktif ve}$$

reaktif güçler çekilir. Gerilimdeki küçük bir değişim ( $\Delta|V|$ ) için aktif güçteki değişim şu şekilde belirlenir;

$$\frac{\Delta P}{\Delta|V|} \cong \frac{\partial P}{\partial|V|} = 2V \cdot \frac{R}{R^2 + X^2} = \frac{2}{|V|} P \quad \text{ifadesi düzenlenirse ;}$$

$$\frac{\Delta P}{P} \cong 2 \cdot \frac{\Delta|V|}{|V|} \quad \text{bulunur.} \quad (2.2)$$

Gerilimdeki küçük değişimler için güç değişimi, (2.2) ifadesine göre, yaklaşık iki kat olmaktadır. Gerilim kararlılığı açısından bu tür yüklerin etkilerinin olumlu olacağı bu sonuçla ifade edilmektedir.



Şekil 2.1 Sabit empedanslı yükün uç gerilimi değişimine karşılık, çektiği gücün değişimi  
(  $Z = R = 1$  birim, sabit saf omik yük )

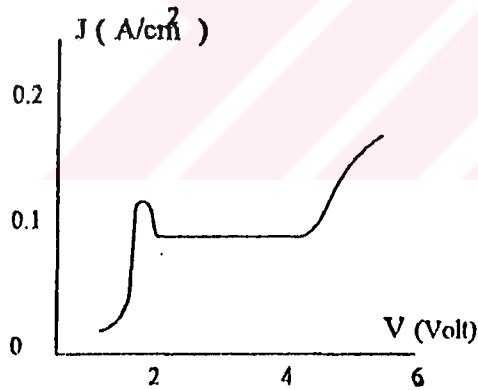
### 2.1.2 Sabit akım yükleri

Metalürji ve elektrokimya alanlarında, metal parlatma, metal kaplama, elektroliz uygulamalarında kullanılan tekniğin esası sabit akım çekmeye dayalıdır. Akım sabit koşulu ile yukarıdaki ifadelerle benzer şekilde,  $P=V.I.\cos\phi$  güç ifadesini kullanarak gerilimdeki küçük değişimler için ;

$$\frac{\Delta P}{\Delta V} = \frac{\partial P}{\partial V} = I \cdot \cos\phi = \frac{P}{V} \quad , \text{ ifadesini düzenlersek ;}$$

$$\frac{\Delta P}{P} \cong \frac{\Delta V}{V} \quad (2.3)$$

sonucu bulunur. Bu ifadeye göre, gerilimlerdeki küçük değişimler için güç yaklaşık olarak aynı oranda değişmektedir.



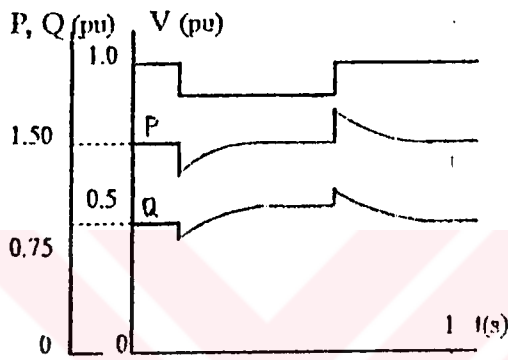
Şekil 2.2 Sabit akımlı yükün uç gerilimi değişimiyle olan değişimi

### 2.1.3 Sabit güç yükleri

Kontrollü empedans yükleri ve asenkron motorlar bu gruba girmektedir. Özellikle asenkron motorlar günümüzde çok geniş kullanım alanına yayılmıştır. Büyük ve küçük ev aletlerinden, değişik güçlerdeki endüstriyel kullanımlara kadar asenkron motorlar tahrik mekanizması olarak kullanılmaktadır.

Bu asenkron motorların maliyetinin diğer elektrik makinalarına göre düşük, bakımının az olması, kolay temin edilebilmesi, kontrolünün kolay olması gibi ana unsurlara sahip olmasındandır.

Asenkron motorların yüklerinin gerilim değişimine karşı verdikleri cevapları, çektikleri aktif gücün gerilim değişimini adım artımı (veya azalması) ile izleyip daha sonra başlangıç değerine dönmeye çalışması şeklinde olacaktır.



Şekil 2.3 Sabit güç yükünün uç gerilimi değişimine karşılık, aktif ve reaktif güç cevabı  
( $S_{baz} = 100$  MVA)

Gerilimdeki küçük değişimler için asenkron motorun verdiği cevap şekil 2.3 te gösterilmeye çalışılmıştır. Grafığe göre, gerilimin ani olarak azalmasıyla aktif güç ve reaktif güçte meydana gelen ani azalmalardan sonra, aktif güç nominal değerine dönmeye çalışırken, reaktif güç nominal değerinin üstüne çıkmakta, eğer nominal gerilim değerine geri dönülürse, her iki gücünde nominal değerlerine döndüğü gözlenmektedir. Burada aktif gücün sabit değerine dönmeye çalışması, asenkron makinenin lineer bölgedeki ifadeleri yardımıyla açıklanabilir [13]. Fakat, sürekli değişimi izlemek için ve özellikle büyük bir bozucu etkiye kalması durumunda mesela ; paralel hatlardan birinin kopması, dinamik simülasyon gerekli olmaktadır. Böylece, uç geriliminin değişimiyle, makinenin aktif güç, reaktif güç, mekanik mil gücü ve kayma gibi çeşitli büyüklüklerinin değişimlerini izlemek ve bu değişimlerin, iletim sisteminde ardışık bir gerilim düşümüne neden olarak sistemde gerilim çökmesi sürecini nasıl tetiklediğini gözlemek mümkün olacaktır [6].

## 2.2 İletim Hatları

İletim hatları, enerji iletim sistemlerinde kararlılık ve gerilim kararlılığı açısından büyük önem taşımaktadırlar. İncelediğimiz sürekli hal kararlılığı kısmında ve yük akışı çalışmalarında bu durum ortaya daha iyi çıkacaktır. Bu çalışmalarda kullanılacak olan hat modeli tanıtılacaktır.

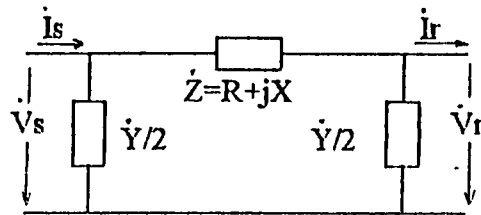
İletim hatlarını genel olarak üç gruba ayırabiliriz,

- 1- Kısa hatlar ( 80 km kadar ),
- 2- Orta uzunlukta hatlar ( 80 - 250 km arası ),
- 3- Uzun hatlar ( 250 km üstü )

İletim sistemleri açısından orta uzunluktaki hatlar ve özellikle gerilim kararlılığı bakımından uzun hatlar büyük önem arz etmektedir. Gözönüne alınan her iki sınıf hat için ( $\pi$ ) devresi kullanılacaktır. Orta uzunluktaki bir hat için toplu parametrelerin kullanıldığı nominal  $\pi$  devresi gözönüne alınırken, uzun iletim hatlarında dağıtılmış parametrelerin geçerli olduğu eşdeğer  $\pi$  devresi kullanılacaktır. Bu nedenle bu devrelerin elektriksel büyüklükler açısından bağıntılarını belirlemek gereklidir [6].

### 2.2.1 Orta uzunluktaki hatlar

Nominal  $\pi$  devresiyle göz önüne alınan orta uzunluktaki hatlar, hattın toplam şönt kapasitesi yarıya bölünerek modelin iki ucuna konulmaktadır.



Şekil 2.4 Orta uzunluktaki bir hattın nominal  $\pi$  devresi yardımıyla eşdeğer gösterimi

$\pi$  nominal devresinde;  $R$  : hattın omik direnci  
 $X$  : hattın endüktif direnci  
 $Z$  : hattın empedansı  
 $Y$  : hattın toplam şönt kapasitesini ,

gösterdiğine göre, hat başı ve hat sonu gerilim ve akım değerleri arasında ;

$$\dot{V}_s = \left(1 + \dot{Z} \cdot \frac{\dot{Y}}{2}\right) \dot{V}_r + \dot{Z} \cdot \dot{I}_r \quad \dot{I}_s = \dot{Y} \cdot \left(1 + \dot{Z} \cdot \frac{\dot{Y}}{4}\right) \dot{V}_r + \left(1 + \dot{Z} \cdot \frac{\dot{Y}}{2}\right) \dot{I}_r \quad (2.4)$$

bağıntıları elde edilir. Bu bağıntıları genel formda ifade edersek ;

$$\begin{aligned} \dot{V}_s &= \dot{A} \cdot \dot{V}_r + \dot{B} \cdot \dot{I}_r \\ \dot{I}_s &= \dot{C} \cdot \dot{V}_r + \dot{D} \cdot \dot{I}_r \end{aligned} \quad (2.5)$$

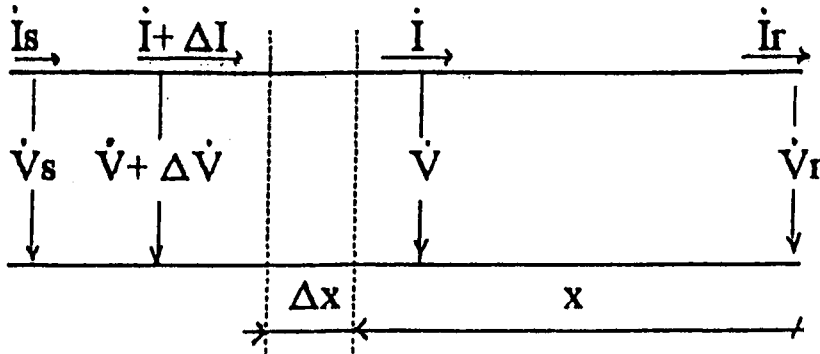
şekline dönüşür ve genelleştirilmiş devre sabitleri adı verilen  $A, B, C, D$ , sabitleri yardımıyla gösterilir. Böylece orta uzunlukta ve simetrik yapıda bir hat için bu sabitler;

$$\dot{A} = \dot{D} = 1 + \dot{Z} \cdot \frac{\dot{Y}}{2} \quad , \quad \dot{B} = \dot{Z} \quad , \quad \dot{C} = \dot{Y} \cdot \left(1 + \dot{Z} \cdot \frac{\dot{Y}}{4}\right)$$

olarak belirlenmektedirler.

## 2.2.2 Uzun iletim hatları

Burada iletim hattının parametrelerinin toplu değil, hat boyunca düzgün olarak dağıldığı kabul edilerek tam çözüm yapılır. Dağıtılmış parametreleri içeren eşdeğer  $\pi$  devresi şekil 2.5' de verilmiştir.



Şekil 2.5 Uzun iletim hattında dağıtılmış parametrelerin geçerli olduğu eşdeğer  $\pi$  devresi

Burada :

$z$  : birim uzunluktaki hattın seri empedansını,

$y$  : birim uzunluktaki hattın şönt admitansını,

$l$  : hattın toplam uzunluğunu,

$Z = z \cdot l$  : toplam seri empedansı,

$Y = y \cdot l$  : toplam şönt admitansı,

$Z_0 = \sqrt{\frac{z}{y}}$  : karakteristik empedans

$g = \sqrt{z \cdot y} = \alpha + \beta$  propagasyon sabiti (  $\alpha$  : zayıflama sabiti,  $\beta$  : faz sabiti )

Şekil 2.5' e göre, hat sonundan  $x$  mesafesi uzaklıktaki akım  $I$ , gerilim  $V$  ise,  $x + \Delta x$  mesafesinde akım  $I + \Delta I$  gerilim ise  $V + \Delta V$  olmaktadır. Buna göre  $x$  mesafesi için gerilim (  $V_x$  ) ve akım (  $I_x$  ) çözümleri ilişkin ifadeleri elde edilir. Bu ifadeler,  $L=x$  için  $V_s = V_x$  ve  $I_s = I_x$  yeniden oluşturulursa ;

$$\begin{aligned} V_s &= \cosh(\gamma \cdot L) \cdot V_r + \sinh(\gamma \cdot L) \cdot Z_0 \cdot I_r \\ I_s &= \left( \frac{1}{Z_0} \right) \cdot \sinh(\gamma \cdot L) \cdot V_r + \cosh(\gamma \cdot L) \cdot I_r \end{aligned} \quad (2.6)$$

elde edilir. Bu denklemler uzun bir hat için hat başı gerilim ve akımını hat sonu gerilim ve akımına bağlayan ifadelerdir. Orta uzunluktaki hatlar için belirtildiği gibi, bu denklemler genel denklemler halinde,

$$V_s = A \cdot V_r + B \cdot I_r$$

$$I_s = C \cdot V_r + D \cdot I_r$$

gösterilebilirler. Böylece uzun iletim hatları için bu sabitler ,

$$A = \cosh(\gamma \cdot L)$$

$$B = \sinh(\gamma \cdot L) \cdot Z_0$$

$$C = \left( \frac{1}{Z_0} \right) \cdot \sinh(\gamma \cdot L)$$

$$D = A$$



değerlerini alırlar. Orta uzunluktaki hatlarda, hat büyüklükleri için toplu parametreler kullanıldığından, nominal  $\pi$  devresi, hattı tam olarak temsil edemez. Uzun iletim hatlarında ise düzgün dağıtılmış parametreler kullanıldığından, devre orta uzunlukta hatlar için kullanılan benzer bir eşdeğer  $\pi$  devresi yardımıyla daha doğru bir biçimde modellenir. Şekil 2.4' e benzer olarak devredeki seri empedansa ( $Z'$ ) ve şönt admitansa da ( $Y'$ ) denilirse simetrik bir devre için geçerli olan (2.4) denkleminin benzeri olarak ;

$$\dot{V}_s = \left( 1 + Z' \cdot \frac{Y'}{2} \right) \cdot \dot{V}_r + Z' \cdot \dot{I}_r \quad (2.7)$$

elde edilir. Uzun iletim hattının eşdeğer devresini elde etmek için (2.7) ile (2.6) denklemlerinin özdeş olması gerekir. Buna göre ,

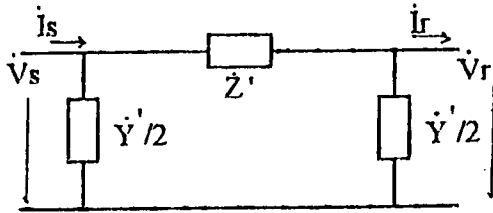
$$Z' = \sinh(\gamma \cdot L) \cdot Z_0 = \frac{Z_0 \cdot \sinh(\gamma \cdot L)}{(\gamma \cdot L)} \quad (2.8)$$

Şönt elemanı temsil eden ( $Y'$ )' ü bulmak için yine aynı şekilde denklemlerin özdeşliğinden ;

$$\left( 1 + Z' \cdot \frac{Y'}{2} \right) = \cosh(\gamma \cdot L) \quad \text{denklemini (2.8)'de yerine koyarsak,}$$

$$\frac{Y'}{2} = \left( \frac{1}{Z_0} \right) \cdot \tanh\left(\frac{\gamma L}{2}\right) = \left( \frac{Y_0}{2} \right) \cdot \tanh\left(\frac{\gamma L}{2}\right) / \left(\frac{\gamma L}{2}\right) \quad (2.9)$$

bulunur. Buna göre uzun iletim hattının eşdeğer  $\pi$  devresi şu şekildedir.



Şekil 2.6 Uzun bir iletim hattının eşdeğer  $\pi$  devresi yardımıyla gösterimi

### BÖLÜM 3 SÜREKLİ HAL GERİLİM KARARLILIĞI

Beklenen yük değişimleri ya da küçük bozucu etkilere karşı sistemin cevabı “ sürekli hal kararlılığı ” olarak adlandırılır. Bir enerji sistemi, sistemde bulunan senkron makinalardan birinin üretim programında olabilecek küçük bir değişim ya da sistem kapasitesinin yaklaşık  $1/100$  ü değerinde küçük bir yük ilavesi gibi küçük bozucu etkilere maruz kalabilir. Bu nedenle sürekli hal kararlılık analizi, sistemin uygun şekilde işleyiş açısından gereklidir. Enerji sisteminin planlanması ve tasarımında, sisteme yeni ilavelerin yapılması ve otomatik kontrol cihazlarının belirlenmesi açısından da sürekli hal kararlılığı bir öneme sahiptir. Başka bir deyişle sürekli hal kararlılık analizi, sistemin hem analizi, hem de sentezi açısından bir öneme sahiptir. Küçük bozucu etkiler kalıcı olabilecekleri gibi geçici de olabilirler. Eğer sistem kararlı ise, geçici bir etki sonrası sistemin başlangıç işletme koşullarına dönerek çalışmasını sürdürmesi, kalıcı bir etki sonrası ise geçici bir süre sonra yine işletme koşullarında çalışmasını sürdürmesi beklenir. Her iki durumda da senkronizme kaybolmamıştır [5].

Statik yaklaşım, yer-zaman yörüngesi boyunca çeşitli zaman çerçevelerinde sistem şartlarının görüntüsünü verir. Bu zaman dilimlerinin her birinde, durum değişkenlerinin zaman türevlerinin  $(x') \neq 0$  olduğu kabul edilir ve durum değişkenleri özel zaman dilimlerine uygun değerler alırlar. Sonuç olarak, bütün sistem denklemleri statik analiz tekniklerinin kullanımına izin vererek saf cebirsel denklemlere indirgerler [2].

Sürekli hal kararlılık simülasyon yöntemleri ; sisteme ilişkin tüm durum değişkenleri ya da sistem parametrelerinin bozucu etki önce ve sonrası arasındaki fark değerler çok küçükse, sistem başlangıç çalışma durumu civarında çalışmaktadır.

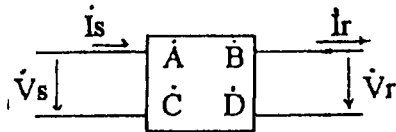
Böylece başlangıç çalışma durumu sürekli hal çalışma durumu olarak alınır ve gerçekte lineer olmayan sistemin davranışı lineer bir matematiksel model yardımıyla incelenir. Diğer bir deyişle, küçük bir bozucu etkiye maruz kalan bir sistemin belli bir bölgedeki davranışı birinci dereceden diferansiyel denklemlerle oluşturulan matematiksel modellerle incelenir.

Gerilim kararlılığının statik yönden incelenmesinde, öncelikle iki baralı bir sistem için, alıcı uç geriliminin genliği  $|V_r|$  ile bu uçtan çekilen aktif güç  $P_r$  arasındaki ilişkiyi ; gönderici uç geriliminin genliği, iletim hattının sabitleri ve hat sonundan çekilen güce ilişkin güç katsayı cinsinden analitik olarak ifade etmek ve bu ifade yardımıyla hat sonu için P-V eğrilerini elde etmek mümkündür[6].

P-V eğrileri üzerinde, sistemin alıcı ucundaki gerilim-güç profili izlenebilir ve kritik noktalar tespit edilebilir. Ayrıca çeşitli simülasyonlar gerçekleştirilerek, mesela; iletim hattında değişik yüzdelerde seri veya şönt kompanzasyon yapılması, kaynak geriliminin değişik değerlerde sabit tutulması, iletim hattının tek ya da çok hattan oluşması gibi sistem parametrelerinin değişimi ile çeşitli işletim durumlarının yanı sıra, yük altında kademe değişiminin etkisi ve kısmen yüklerin dinamik davranışlarının etkilerini incelemek mümkün olmaktadır [6].

### 3.1 P - V Eğrilerinin Elde Edilmesi

İletim hattını, A - B - C - D devre sabitlerinden oluşan iki kapılı bir devre olarak göz önüne alalım. Bu devre yardımıyla; gönderici uç gerilimi ve alıcı uç güç faktörü cinsinden hat sonu gerilimi ile aktif güç arasındaki ifade elde edilir



Şekil 3.1 İletim hattının iki kapılı devre olarak gösterimi

$\hat{V}_s, \hat{I}_s$  : gönderici uç gerilimi ve akımı,

$\hat{V}_r, \hat{I}_r$  : alıcı uç gerilimi ve akımı,

$\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}, \hat{D}$  : iletim hattının sabitleri ise,

$$\hat{A} = a_1 + ja_2$$

$$\mathbf{V}_r = V_{r1} + jV_{r2}$$

$$\hat{B} = b_1 + jb_2$$

$$\mathbf{V}_r^* = V_{r1} - jV_{r2}$$

$$\hat{C} = c_1 + jc_2$$

$$|\mathbf{V}_r|^2 = V_{r1}^2 + V_{r2}^2$$

$$\hat{D} = d_1 + jd_2$$

$$\mathbf{S}_r = P_r + jQ_r = \hat{V}_r \cdot \hat{I}_r^*$$

bilinen matematiksel modellemeler yapılarak ve

$$\mathbf{V}_s = \hat{A} \cdot \mathbf{V}_r + \hat{B} \cdot \mathbf{I}_r \quad (3.1)$$

ifadesi kullanılarak gerekli işlemler ve düzenlemeler yapılırsa aşağıdaki analitik ifade elde edilir. Yapılan tüm ara işlemler EK-A' da verilmiştir.

$$|\mathbf{A}|^2 \cdot |\mathbf{V}_r|^4 + \left[ 2 \cdot P_r \cdot (A_1 \cdot B_1 + A_2 \cdot B_2) + 2 \cdot Q_r \cdot (A_1 \cdot B_2 - A_2 \cdot B_1) - |\mathbf{V}_s|^2 \right] \cdot |\mathbf{V}_r|^2 + |\mathbf{B}|^2 \cdot (P_r^2 + Q_r^2) = 0$$

$x = |\mathbf{V}_r|^2$  dönüşümü yapılarak (3.2) ifadesi,

$$a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0 \quad (3.3)$$

şeklinde 2. Dereceden bir denkleme dönüştürülür. Denklem köklerini bulursak denklemi çözmüş oluruz. 2. Dereceden bir denklemin kökleri ;

$$x_{1,2} = \frac{-b \mp \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} \quad (3.4)$$

şeklinde bilinen ifadedir. Tekrar dönüşüm uygularsak, gerilime ilişkin gerçek kök  $|V_r|_{1,2} = \mp \sqrt{x_{1,2}}$  belirlenirken, (+) kök kullanılmalıdır.

Bu analitik ifadenin çözümü ile, hat başı gerilimi belirli bir değerde tutulurken, sabit bir güç katsayısı altında hat sonundan çekilen gücün sıfırdan itibaren arttırılarak sürekli değişimine karşılık, hat sonu geriliminin genliğinin değişiminin gözlemlendiği P-V eğrisi olarak adlandırılan eğri elde edilir.

Sistem parametrelerinin değiştirilmesiyle oluşacak yeni P-V eğrilerini inceleyebilmemiz ve gerçek değerler ile analiz yapabilmemiz için gerekli sayısal veriler Keban-Kayseri-Gölbaşı hattı için Türkiye Elektrik Anonim Şirketi' den (TEAŞ) alınmıştır [14].

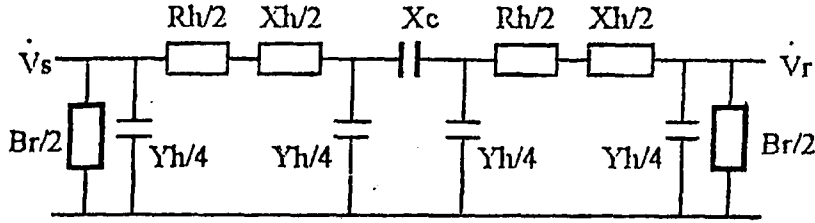
Örnek iletim hattına ait datalar şu şekildedir ;

Tablo 3.1 Keban-Kayseri-Gölbaşı hattının dataları

Uzunluk	L ( km )	550
Gerilim	$U_{FF}$ ( Kv )	380
Frekans	f ( Hz )	50
Omik Direnç	r ( $\Omega$ /km )	0.0173
Reaktans ( $\omega L$ )	x ( $\Omega$ /km )	0.157
Şönt Kapasite ( $\omega C$ )	y ( 1/ $\Omega$ km )	$6.9 \times 10^{-6}$
Seri Kompanzasyon	$K_s (X_c/\omega L)$	0.0 - 0.25 - 0.5 - 0.75 - 0.95
Şönt Kompanzasyon	$K_d (B_r/\omega C)$	0.0 - 0.25 - 0.5 - 0.75 - 0.95
Baz Güç	$S_{baz}$ (MVA)	100

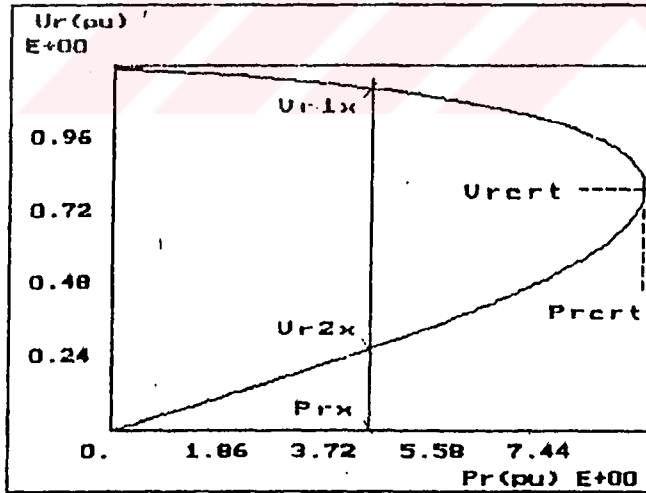
$X_c$  : Seri kompanzatorün reaktansı

$B_r$  : Şönt reaktörün admitansı



Şekil 3.2 İncelenen örnek iletim hattının modellenmesi

Yukarıda ki örnek iletim hattının verilen dataları ile yapılan hesaplamalarda ( hat başı gerilimi sabit tutularak, çekilen gücün sıfırdan itibaren artırılarak, hat sonu geriliminin değişimi ) Şekil 3.3' deki P-V eğrisi elde edilir.



Şekil 3.3 Keban-Kayseri - Gölbaşı örnek iletim hattının P-V eğrisi (  $\cos\phi=1$  )

Yukarıda ki P-V eğrisini incelediğimizde; Eğri üzerinde her bir güç (  $P_r$  ) değerine karşılık iki gerilim değeri (  $V_{r1}$  ,  $V_{r2}$  ) bulunmaktadır. Bu duruma örnek olarak ,

şekil 3.3' te herhangi bir  $P_{rx}$  gücüne karşılık bir üst  $V_{r1x}$  ve bir alt  $V_{r2x}$  gibi iki hat sonu gerilimi gösterilmektedir. Burada, üst bölge normal çalışma bölgesini yansıtmakta, alt bölge ise, bir sistem için yük akışı analizlerin nümerik kararsızlığı nedeniyle yada sistemde gerçekten bir gerilim kararsızlığı nedeniyle gerilim çökmesi sonucu, aynı güce yani seçilen güce karşı gerilimin normal değer yerine alt değere ulaştığı bölgedir. Alt gerilim değerinde çalışma durumu; aynı gücü düşük bir gerilimle sağlama çalışmak şüphesiz normal olmayan bir çalışma şeklidir. Yükün gerilim değişimine olan duyarlılığına bağlı olarak, dinamik davranışları sonucu sistemden ya aşırı akımlar çekilecektir ya da gerilim dalgalanmaları oluşacaktır.

Eğri üzerindeki diğer önemli nokta; aynı güce karşılık sadece bir tek gerilim değerinin bulunduğu, başka bir değişle üst ve alt gerilim değerinin birbirine eşit olduğu, kritik uç noktasıdır. Bu noktada kesişen, gerilim  $V_{rcrit}$  ve güç  $P_{rcrit}$ , teorik olarak ulaşılabilecek en uç değerleridir. Bu kritik değerler, gerilim kararlılığı açısından taşınabilecek maksimum güç sınırını belirler. Kritik güce karşılık gelen kritik hat sonu gerilimi civarında bölge, kararsızlığa en yakın noktaları içerdiğinden incelemeler açısından en az kritik nokta kadar önemle göz önüne alınması gerekir.

### 3.2 P-V Eğrileri Yardımıyla Çeşitli Etki Benzetimleri

P-V eğrilerini elde ettiğimiz analitik ifade içindeki, sabit biçimde duran bazı sistem parametreleri değiştikçe bu büyüklüklerin etkisi yine bu eğriler üzerinde açıkça görmemiz mümkündür. Bu etkileri yapan sistem parametrelerini; hat uzunluğu etkisi, paralel hat sayısı etkisi, güç faktörü etkisi, seri ve şönt kompanzasyon tesislerinin etkisi gibi ana gruplarda toplayabiliriz [6].

#### 3.2.1 Hat uzunluğunun etkileri

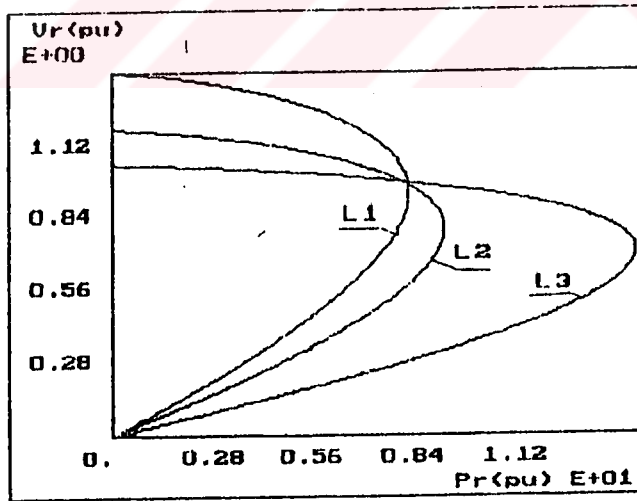
Bir iletim hattını iki kapılı ve A - B - C - D sabitlerinden oluşan bir devre olarak tasarlamıştık. A-B-C-D sabitlerini, hattın omik direnci ( $r$  [ $\Omega$ /km]), hattın reaktansı ( $x$  [ $\Omega$ /km]) ve hattın toprak kapasitesi ( $y$  [ $1 / \Omega$ .km]) yardımıyla

hesaplanmaktaydı. Bu büyüklükler hat uzunluğuna bağlı olarak değiştiğinden, hat sabitleri de, aynı  $r$ ,  $x$ ,  $y$  birim değerleri için farklı uzunluklarda farklı değerler alacaktır. P-V eğrilerini oluşturan analitik ifadede hat sabitleri ( A-B-C-D) de yer aldığından, eğriler değişik hat uzunlukları için farklılıklar gösterecektir.

Örnek olarak aldığımız sistem datalarını kullanarak;  $r$ ,  $x$ ,  $y$  değerleri aynı kalmak kaydı ile,  $L_1 > L_2 > L_3$  ( $L_1=750$  km,  $L_2=550$  km,  $L_3=250$  km ) olacak şekilde üç farklı hat uzunlukları için hatların P-V eğrileri şekil 3.4'teki gibi elde edilmiştir. Eğrilerin kesişme noktası, hatların kilometre olarak mesafeleri aynı ve  $\cos\phi = 1$  olduğundan her üç hattın doğal yüküne karşılık gelmektedir.

Eğri incelendiğinde; hat mesafesi arttıkça kritik güçlerin arttığı, bu karşın hatların kritik gerilim değerlerinin düştüğü görülmektedir. ( $L_1 > L_2 > L_3$ )

$P_{rcrit1} < P_{rcrit2} < P_{rcrit3}$  ve  $V_{rcrit1} > V_{rcrit2} > V_{rcrit3}$  olmaktadır.

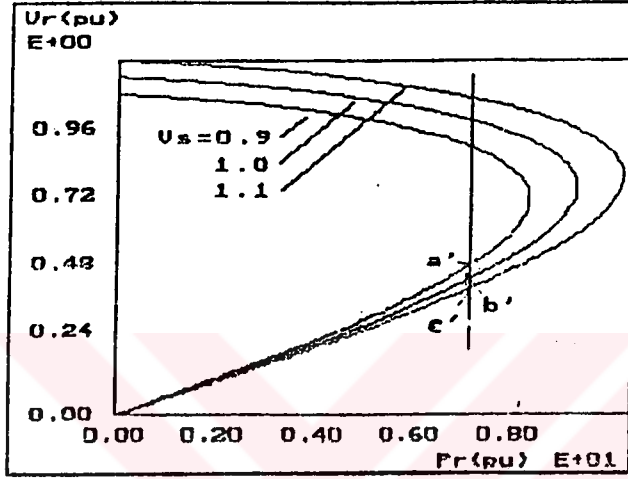


Şekil 3.4 Farklı hat uzunlukları için P-V eğrileri,  $L_1=750$  km,  $L_2=550$  km,  $L_3=250$  km, ( $\cos\phi=1$ )



### 3.2.2 Hat başı geriliminin etkileri

P-V eğrilerini elde ettiğimiz analitik çözümden görüleceği gibi, hat başı geriliminin genliğini değiştirirsek P-V eğrilerinin de değiştiği görülecektir.

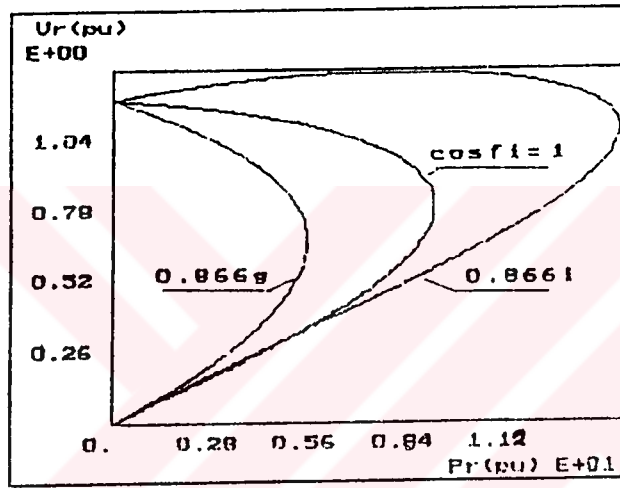


Şekil 3.5 Farklı hat başı gerilimleri için P-V eğrileri, ( $\cos\phi=1$ )

İncelediğimiz örnek iletim hattının hat başı geriliminin artırılması ile kritik gerilim ve güç değerlerinin de arttığı şekil 3.5'de görülmektedir. Bu eğrileri başka bir açıdan da yorumlayabiliriz; Eğer hat başı geriliminin genliği  $V_s=0.9$  pu iken herhangi bir nedenle sistem kararsızlığı oluşarak gerilim çökmüş ve sistem aynı Pr gücü için, eğri üzerinde (a') noktasındaki gerilime gelmiş olsun. Eğer hat sonu gerilimini büyütme istersek, hat başı geriliminin artırılması halinde, şekil 3.5'te görüleceği üzere, hat sonu gerilimi daha düşük değerlere (b' ve c' noktaları) indiği görülmektedir. Bu bize, özellikle yük altında kademe değiştiren trafoların, gerilimin azalması halinde kademelerinin artırılması durumunda, hat sonu geriliminin daha da azalacağını göstermektedir [6].

### 3.2.3 Güç faktörünün etkileri

Hat sonunda belirli bir güç faktörü ( $\cos\phi=1$ ) ile yük çekilirken, bu güç faktörü sabit tutularak çekilen gücün değeri sıfırdan kritik değerine kadar sürekli artırılmasıyla P-V eğrisi elde edilmiştir.  $\cos\phi = 1$  baz alınarak, farklı güç faktörleri için yeni P-V eğrileri şekil 3.6' da elde edilmiştir. Burada güç faktörü endüktif (geri) ve kapasitif (ileri) durum olarak alınmıştır.



Şekil 3.6 Farklı güç katsayıları için P-V eğrileri

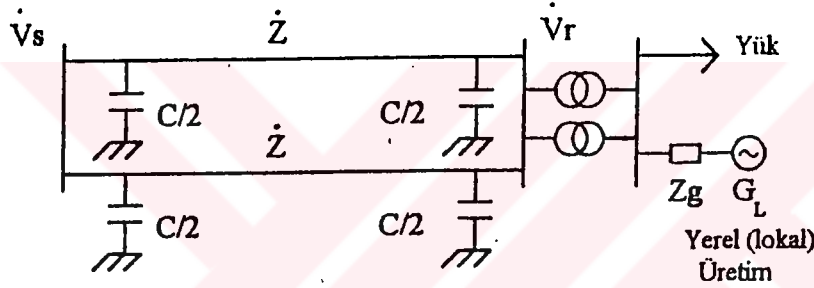
Eğriden de görüleceği gibi endüktif durumdan, kapasitif duruma geçtikçe, gerilim kararlılığı açısından kritik güç sınırının arttığı gözlenmektedir. Bu sonuç ise, enerji iletiminde güç faktörünün birim değere ( $\cos\phi=1$ ) yakın olmasının gerekliliğini açıkça göstermektedir.

### 3.2.4 Kullanılan paralel hat sayısının etkisi

Enerji iletim merkezlerinin yerleşim bölgelerinden çeşitli nedenle uzak mesafelerde kurulma gerekliliği, oldukça uzun yüksek gerilim iletim hatlarının kullanılmasını doğurmaktadır. Buda dağıtımın büyümesi, önemli işletme ve kontrol

sorunlarını birlikte getirmektedir. Kararlılık, güvenilirlik, işletme zorunlulukları gibi çeşitli fak faktörler nedeniyle, üretim ve tüketim arasına iki yada daha fazla paralel hat tesis zorunlu olmaktadır. Gerilim kararlılığı açısından da, paralel hatların gerilim kararlılığı üzerine etkisi P-V eğrisi üzerinde açıkta gözlenmektedir. Bu nedenle, paralel işleyen hatlardan birinin devre dışı olması gerilim kararlılığı açısından kritik durumlar sergileyebilmektedir.

İncelediğimiz örnek iletim hattının hat sayısını ikiye çıkardığımız durumdaki yeni modeli şekil 3.7'deki gibi olacaktır.

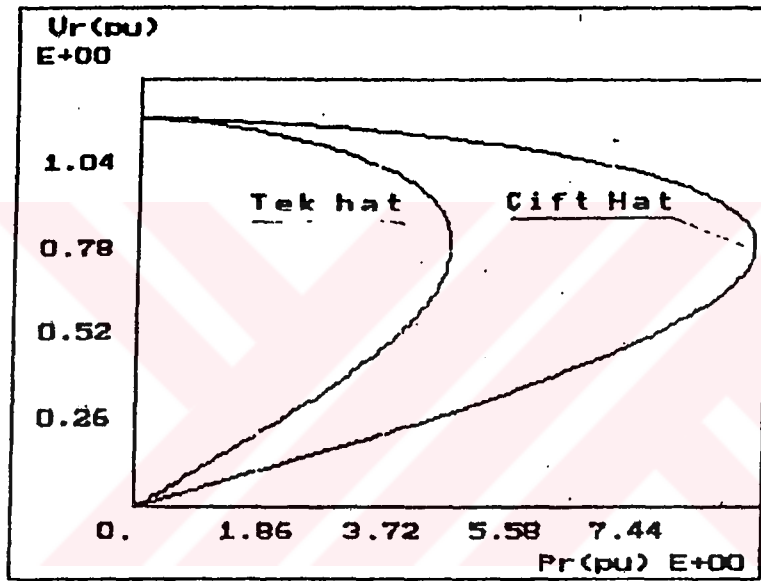


Şekil 3.7 Paralel hat sayısı iki olan yeni devremizin yeni modeli

Paralel çalışan iki uzun iletim hattının birinin devre dışı kalması ile, sistemin toplam reaktansı,  $Z/2$ ' den  $Z$ ' e çıkar, normal olarak güç faktörünü iyileştiren kapasite  $2C$ 'den  $C$ ' ye düşer. Bu değişimle, hat kayıpları artacak ( $R.I^2$ ,  $X.I^2$ ) ve şönt kapasitelerin ürettiği reaktif gücün azalması sonucunda, toplam gerilim düşümü önemli ölçüde artacak ve gerilim kararsızlığı oluşma riski büyüyecektir.

Şekil3.8' yi incelediğimizde, paralel hatlardan birinin devre dışı kalması durumunda, hat sonu kritik geriliminin  $V_{rcrit}$  değeri pek fazla değişmezken, kritik gücün ( $P_{crit}$ ) değeri ise yaklaşık yarıya düşmektedir. Yükün yapısına bağlı olarak; iki durum söz konusu olabilir;

- 1- Tek hatlı işletme durumunda, bu yükü karşılayacak gerilim değeri kritik değere düşebilir
- 2- Yeni  $P_{crit}$  değerinin yükün talep ettiği gücün altında olması durumunda doğrudan gerilim kararsızlığı oluşabilir, başka bir ifadeyle sistem çöker.



Şekil 3.8 Paralel çalışan hatlar için P-V eğrileri ( $\cos \phi = 1$ )

Paralel hatlardan birinin devre dışı kalmasıyla kapasite  $2C'$  den  $C'$  ye düşmekteydi bu ise reaktif gücü azaltıp, gerilim düşümünü arttırmaktaydı. Bu sorun yük baralarına yakın, empedansı  $Z_g'$  si düşük olan yerel üretimlerle karşılanabilir. Fakat yerel üretimler genelde düşük gerilimli şebekelere daha yakın olduklarından, çıkışlarındaki VAR değeri çok az değişecektir, yani  $Z_g'$  leri büyüktür. Dolayısıyla yüklere yakın yerlerde şönt kapasiteler kullanılarak VAR temini ile gerilimin kararlı kalması sağlanabilir [6].

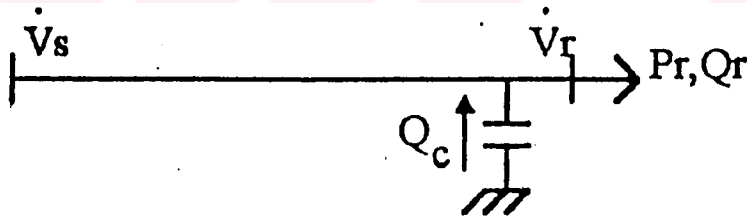
### 3.2.5 Hat sonunda kullanılan şönt kapasitenin etkileri

Enerji iletim hatlarının hat sonlarında veya yük uçlarına yakın yerlerde şönt kompanzasyonlar bilinen etkilerinden dolayı yapılmaktadır, bunlar ;

- 1- Güç faktörünün iyileştirilmesi,
- 2- Gerilim ayarlaması,
- 3- Yük dengelenmesi.

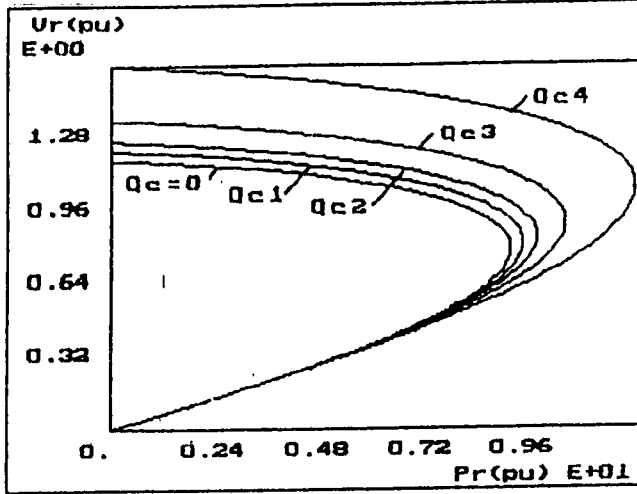
Çeşitli grup yüklerin gerilim değişimlerine karşı reaktif güç ihtiyaçları farklı şekilde olacaktır. Bu reaktif güç değerleri karşılanamazsa, özellikle sabit güç grubuna giren yükler, gerilim değişimleri karşısındaki etkilenmeleri en fazla olacaktır.

Bu sebeple, hat sonunda kullanılan şönt kapasiteler, yukarıda sayılan yararlı etkilerinin yanında, gerilim kararlılığı bakımından da iyileştirici bir rol oynamaktadırlar [3][26].



Şekil 3.9 Şönt kapasitenin hat sonuna eklenmesi

Farklı kompanzasyon değerlerini örnek iletim hattımıza uyguladığımızda şekil 3.10' daki P-V eğrileri elde edilmiştir.  $Q_{c1}=0.5$  pu,  $Q_{c2}=1.0$  pu,  $Q_{c3}=2.0$  pu,  $Q_{c4}=4.0$  pu . P-V eğrisinde görüldüğü gibi şönt kapasite etkisi arttıkça kritik güç ve özellikle kritik gerilim değeri artmaktadır.



Şekil 3.10 Farklı reaktif güç kompanzasyon seviyeleri için P-V eğrileri  $Q_{c1}=0.5$  pu,  $Q_{c2}=1.0$  pu,  $Q_{c3}=2.0$  pu,  $Q_{c4}=4.0$  pu .

### 3.2.6 Seri kompanzasyonun etkileri

Enerji iletim hatlarının endüktif reaktansının hat gerilimine etkisi, hatta seri bağlanacak bir kondansatörle kompanze edilebilir. Bunu alternatif akım devrelerindeki bir kondansatörün uçlarındaki gerilimin, içinden akan akımdan  $90^\circ$  geri fazda, aynı şekilde bir endüktif reaktans uçlarındaki gerilimin ise, içinden akan akımdan  $90^\circ$  ileri fazda olacağı temel elektroteknik kuralı ile açıklayabiliriz. İletim sistemlerinde bu özellikten yararlanılarak, enerji iletim hatlarının seri reaktanslarının kompanzasyonu gerçekleştirilmektedir [26].

Seri kompanzasyon ile;

- 1- Taşınacak maksimum güç artırılır,
- 2- Belli bir güç transferi ile iletim açısı  $\delta$  küçültülebilir,
- 3- Hattın doğal yükü artar,

- 4- Hat reaktansı etkili bir biçimde azaltıldığından, hat aynı sistem yükünde daha az kapasitif reaktif güç çekecektir,
- 5- Daha az kapasitif reaktif güç çekimi ile boş çalışmada ihtiyaç duyulan şönt indüktif kompanzasyon değeri azaltılacaktır.

Hattın iki ucu arasındaki seri empedansa B sabiti karşılık gelirse, hattın seri direnci ihmalî ile taşınacak güç basitçe;

$$P = \frac{V_s \cdot V_r}{B} \cdot \sin \delta \quad , \quad (3.5)$$

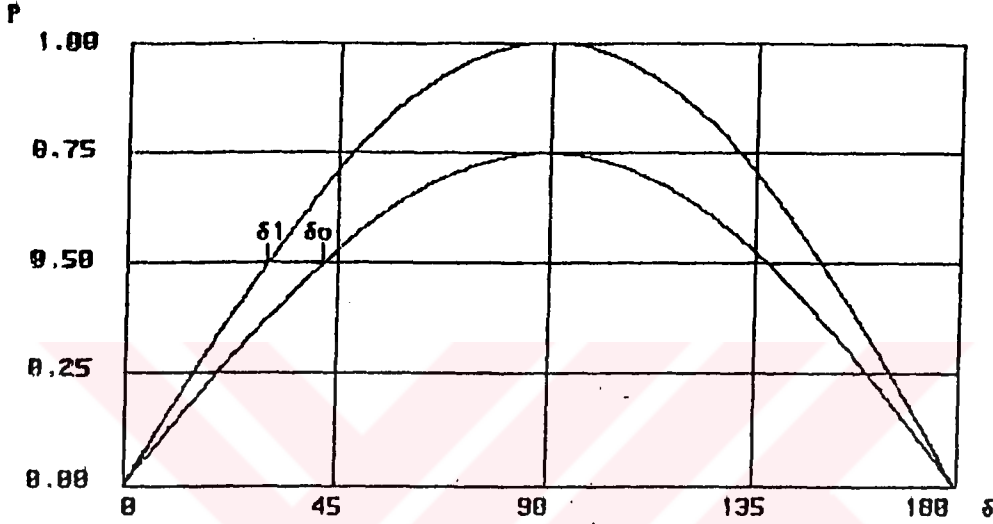
şeklinde ifade edilebilir. Böylece , seri kompanzasyon yüzdesi arttıkça B azalacak ve hattın güç transferi artacaktır.

Seri kompanzasyon yapılmamış durumda  $P_o$  ve güç açısı  $\delta_o$  iken, kompanzasyon sonrası güç  $P_1$  yükselmekte veya  $P_o$  gücü  $\delta_1$  gibi daha küçük bir açıyla taşınmakta olduğunu şekil 3.12' den açıkça görülmektedir. Böylece nominal işletmede taşınacak güç seri kompanzasyonla artacağı sonucu çıkmaktadır. Fakat seri kompanzasyon derecesi pratik üst limiti olarak % 80 alınmaktadır[6]. Çünkü; % 100 seri kompanzasyon yapılması durumunda, en küçük bir bozucu etki durumunda çok büyük genlikli arıza akımı akabilecek, bunun yanında devre temel frekansta seri rezonansa da girebileceğinden, transiyet gerilim ve akımları kontrol etmek güç olacaktır.

Seri kompanzasyonun temel etkilerinin yanında, diğer etki ve kullanım alanlarını şöyle özetleyebiliriz:

- 1- Değişen büyük güçlerin sebep olduğu gerilim dalgalanmalarının azaltılması,
- 2- Paralel çalışan iletim hatlarında yük taksiminin dengelenmesi,

3- Paralel bağılı kondasatörlere (şönt) oranla daha düşük bir oranda da olsa güç katsayısının düzeltilmesi.



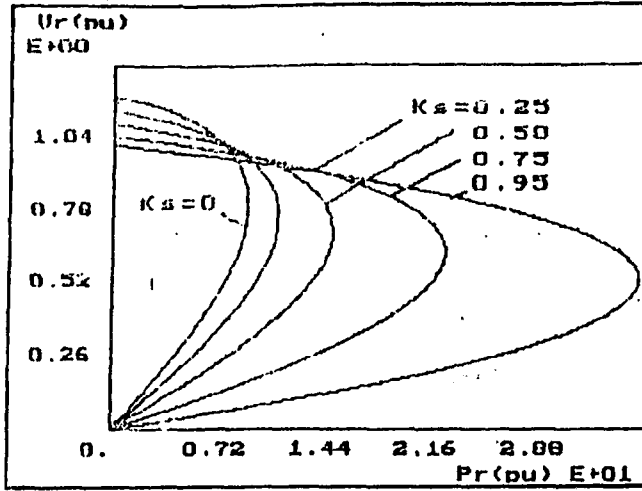
Şekil 3.12 Enerji iletim hatlarına seri kompanzasyon yapıp yapılmaması durumu

Bu etkilerinin yanında, seri kompanzasyon yüzdesinin artırılması ile gerilim kararlılığının sınırlarının da arttığı gözlenmektedir[6][2]. Bu etkiyi, yine incelediğimiz örnek sistem üzerinde farklı kompanzasyon yüzdeleri ( $K_s = 0 - 0.25 - 0.50 - 0.75 - 0.95$ ) için P-V eğrileri yardımıyla incelemek mümkündür. (Şekil 3.13)

### 3.2.7 Şönt kompanzasyonun etkileri

İletim hatlarının toprak kapasiteleri nedeniyle akacak olan kapasitif akımlar, dolayısıyla reaktif güç, taşıma gerilimi ve hat uzunluğu ile orantılı olduğundan,



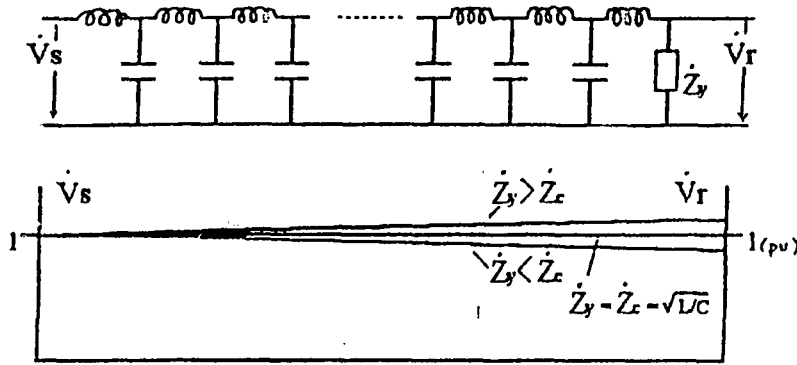


Şekil 3.13 Farklı yüzdelerde seri kompanzasyon yapılmaması durumunda elde edilen P-V eğrileri (  $K_s = 0 - 0.25 - 0.50 - 0.75 - 0.95$  )

endüktif karakterli olan seri hat empedansı nedeni ile gerilim yükselmesine neden olacaktır. Eğer iletim hattının ucu karakteristik bir empedansa bağlanırsa, hat endüktansındaki reaktif kayıplar, hat kapasitesinin ürettiği reaktif güç ile tam olarak karşılanır ve bu durumda hat reaktif güç alışverişi yapmaz. Hat başı ve hat sonu gerilimlerinin genlikleri eşit olur, fakat aralarında bir faz farkı vardır. Yük, karakteristik empedans yükünden küçükse (  $Z_y > Z_c$  ), hat bir kondansatör gibi sisteme güç verir ve hat sonu gerilimi kararlı bir halde en yüksek değerine çıkar, eğer büyükse (  $Z_y < Z_c$  ) hat sistemden reaktif güç alır. ( Şekil 3.14 )

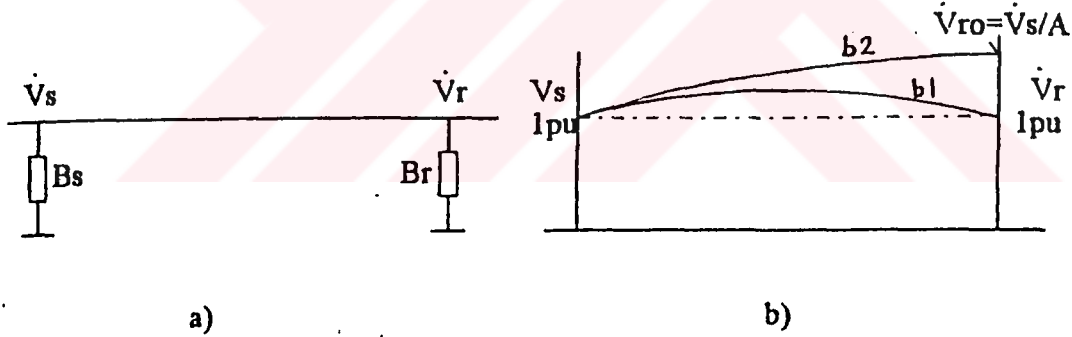
Yeterli kompanzasyon yapılmaması durumunda :

- 1- Hat ve sistemden akacak olan kapasitif akımlar, sisteme bağlı cihazlar üzerinde sınır değerleri üzerinde aşırı gerilimler meydana getirirler,
- 2- Kapasitif akımlar ilave aktif kayıplar oluştururlar,
- 3- Yüksek gerilimli iletim hatlarının şönt kapasiteleri, geçici rejimlerde büyük aşırı gerilimlerin meydana gelmesine neden olabilir.



Şekil 3.14 Uzun bir iletim hattının eşdeğeri ve çeşitli yük durumlarındaki gerilim dağılımı

Bu nedenlerle ihtiyacı fazla reaktif enerjiyi mümkün olduğunca meydana geldiği noktada sarf etmek gerekir. Bunu sağlamak amacıyla uygun yerlere şönt reaktörler konur. Bu reaktörler, genellikle uzun ve yüksek gerilimli iletim hatlarının uçlarına ve doğrudan faz-nötr arasına bağlanır[6]. ( Şekil 3.15 )

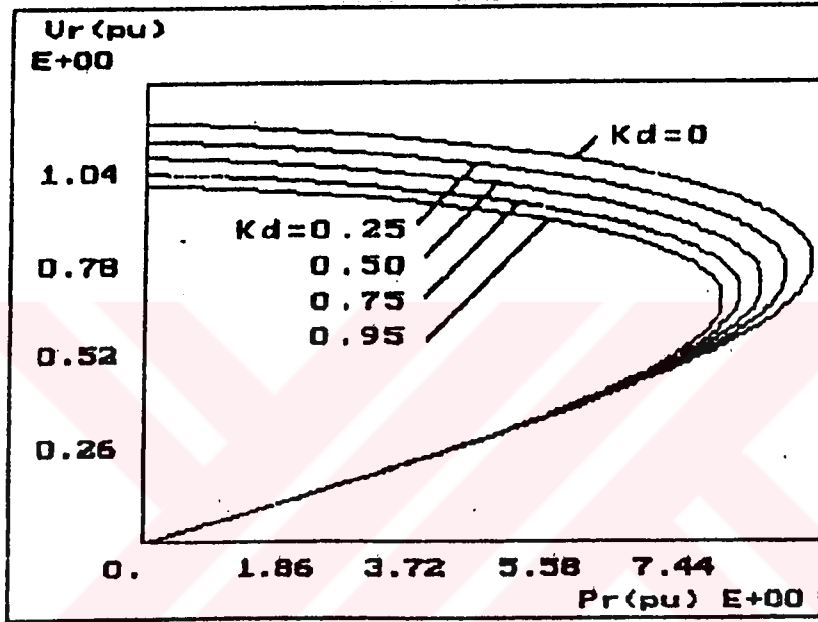


Şekil 3.15 a) Gönderici (Bs) ve alıcı (Br) uçlara şönt reaktör konarak kompanzasyon yapılması,  
b) Yüksüz durumdaki bir hatta, şönt kompanzasyon yapılması (b1) veya yapılmaması  
(b2) durumları için gerilim değişimi

Şönt reaktörlerin genellikle bağlı buldukları hattın kapasitif reaktif gücünün %10-40'ını sarf edecek şekilde seçilir. Bu reaktörlerin içinden geçen akım, üzerindeki gerilimden  $90^\circ$  ileride olduğundan devre dışı bırakma ve devreye alma akımları ve gerilimleri yüksek değerlerde olduğundan kumanda ve kontrolleri masraflı ve zor olmaktadır. Bu sebepten dolayı şönt reaktörler sürekli hatta bağlı tutulur, ve hatla

birlikte servise alınır ve çıkarılabilir. Bu durum ise gerilim kararlılığı açısından sakıncalar içermektedir.

P-V eğrileri yardımıyla görüleceği gibi, şönt kompanzasyon yapılması ile gerilim kararlılığı sınırları küçülmektedir. (Şekil 3.16) ( $K_d = 0 - 0.25 - 0.50 - 0.75 - 0.95$ )

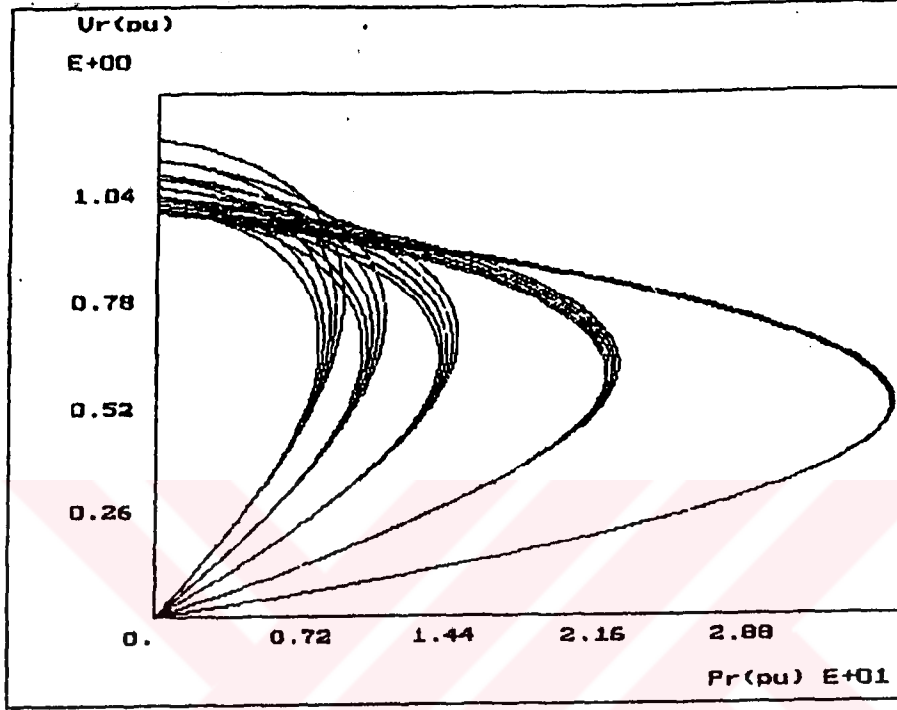


Şekil 3.16 Farklı yüzdelerde şönt kompanzasyon yapılması durumunda elde edilen P-V eğrileri ( $K_d = 0 - 0.25 - 0.50 - 0.75 - 0.95$ )

### 3.2.8 Seri ve şönt kompanzasyonların birlikte kullanım etkileri

Uzun enerji iletim hatlarında, ayrı ayrı izah ettiğimiz seri ve şönt kompanzasyonların birlikte kullanımı da söz konusudur. Bu bağlantı şekliyle; seri kompanzasyonla kritik değerler iyileştirilir iken, aynı zamanda mevcut kompanzasyonla ise bu iyileştirme zayıflatılmaktadır. Bu durumu, örnek iletim hattında, seri kompanzasyon yüzdesinin  $K_s = 0 - 0.25 - 0.50 - 0.75 - 0.95$  oranlarında artırılırken, her artış kademesinde de şönt kompanzasyonun da  $K_d = 0 - 0.25 - 0.50 - 0.75 - 0.95$  şeklinde artırılmasıyla elde edilen P-V eğrileri

üzerinde görmek mümkündür. Bu durumda her seri kompanzasyon yüzdesi de her bir grubun alt gruplarını oluşturduğu görülmektedir. ( Şekil 3.17 )



Şekil 3.17 Seri ve şönt kompanzasyonun birlikte uygulanması durumlarında elde edilen P-V eğrileri

### 3.3 Kritik Değerlerin Belirlenmesi

P-V eğrilerini hat sonunda çekilen gücün sıfırdan itibaren artırılarak sürekli değişimine karşılık, hat sonu geriliminin genliğinin değişimi olarak elde etmiştik. P-V eğrileri üzerindeki kritik noktaya ilişkin değerler 3.4 ifadesinde  $P_r$  gücünün sonlu değer artımlarıyla, bu ifade için negatif köklerin olduğu noktaya ulaşılmasıyla elde edilmektedir. Bu kritik nokta, iletim hattı üzerinde Newton metotları ile yük akışı yapılırken, yük akışının Jakobiyen matrisinin tekillığe ulaştığı noktadır[5]. Bu özelliğinden faydalanılarak, çeşitli durumlar için kritik değerler doğrudan hızlı bir şekilde belirlenebilir.

Enerji iletim sistemlerinin karmaşık yapısı nedeniyle tüm olayları P-V eğrileriyle analiz etmek gerçekçi olmamaktadır. Bu nedenle, bu bölümde kritik değerlerin doğrudan belirlenmeye çalışacağız.

Kritik değerler belirlenirken, öncelikle iki baralı bir sistem için hat sabitleri kullanılarak, hat sonundan çekilen güçlere ait ifadelerin elde edilmesi gerekir. Ayrıntıları EK-B' de verilen bu analiz özetle şu şekildedir :

$$A = a_1 + ja_2 \quad , \quad B = b_1 + jb_2 \quad , \quad V_S = A \cdot V_r + B \cdot I_r$$

$$S_r = V_r \cdot I_r^* \quad ,$$

$$P_r = \text{Re}\{V_r \cdot I_r^*\} \quad , \quad Q_r = \text{Im}\{V_r \cdot I_r^*\} \quad ,$$

bilinen eşitlikler ve ifadeler kullanılarak alıcı ucundaki aktif ve reaktif güçleri hesaplayabiliriz. ;

$$P_r = \frac{V_S \cdot V_r \cdot (b_1 \cdot \cos \delta + b_2 \cdot \sin \delta) - (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2) \cdot V_r^2}{(b_1^2 + b_2^2)} \quad (3.6)$$

$$Q_r = \frac{-V_S \cdot V_r \cdot (b_1 \cdot \sin \delta + b_2 \cdot \cos \delta) + (a_2 \cdot b_1 + a_1 \cdot b_2) \cdot V_r^2}{(b_1^2 + b_2^2)} \quad (3.7)$$

Bu ifadeler yardımıyla alıcı ucu için denge denklemleri yazılabilir :

$$f_1(V_S, V_r, \delta) = 0 \quad , \quad f_2(V_S, V_r, \delta) = 0 \quad (3.8)$$

İşletme noktasının, aktif ve reaktif güçlerde veya her ikisinde birden olarak değişimlerden etkilendiği kabul edilerek, nominal işletme noktası civarında şu ifadeleri yazabiliriz:

$$\Delta f_1 = \frac{\partial f_1}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial f_1}{\partial V_r} \Delta V_r \quad (3.9)$$

$$\Delta f_2 = \frac{\partial f_2}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial f_2}{\partial V_r} \Delta V_r \quad (3.10)$$

Maksimum güç transferi kriteri de, (3.9) ve (3.10) jakobiyen denklemlerinin tekiliği göz önüne alınarak hesaplanabilir :

$$\frac{\partial f_1}{\partial \delta} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial V_r} - \frac{\partial f_2}{\partial \delta} \cdot \frac{\partial f_1}{\partial V_r} = 0 \quad (3.11)$$

(3.6), (3.7), (3.8), ve (3.11) bağıntısı yardımıyla :

$$V_s - 2 \cdot V_r \cdot (a_2 \cos \delta + a_2 \sin \delta) = 0 \quad (3.12)$$

ifadesi bulunur. Bu ifade gerilim kararlılığı sınırı civarında hat başı gerilimine ve yük açısına bağlı olarak hat sonu geriliminin değerinin tespitini sağlamaktadır. Bu değer kritik değer ( $V_{crit}$ ) olarak ele alınabilmesi için, (3.6), (3.7), (3.12) ifadeleri ve  $\varphi$  güç faktörü olmak üzere  $Q_r = P_r \cdot \tan \varphi$ , ifadesi yardımıyla kritik yük açısı ( $\delta_{crit}$ ) belirlenir.

$$K_1 = a_1 \cdot (b_2 - b_1 \cdot \tan \varphi) + a_2 \cdot (b_1 + b_2 \cdot \tan \varphi)$$

$$K_2 = a_1 \cdot (b_1 + b_2 \cdot \tan \varphi) + a_2 \cdot (-b_2 + b_1 \cdot \tan \varphi)$$

olmak üzere,

$$\delta_{crit} = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{K_2}{-K_1} \right) \quad (3.13)$$

kritik yük açısı bulunur. Bu ifadeyi (3.12)'de yerine konularak ;

$$V_{rcrit} = \frac{V_s}{2(a_1 \cdot \cos \delta_{rcrit} + a_2 \cdot \sin \delta_{rcrit})} \quad (3.14)$$

hat sonu gerilimin kritik değeri belirlenir. 3.6 ve 3.7 ifadelerinde Vr yerine 3.14 ' deki  $V_{rcrit}$  bağıntısını ve yük açısı  $\delta$  yerine  $\delta_{rcrit}$  bağıntısı kullanılırsa ;

$$K_3 = b_1 \cdot \cos \delta_{rcrit} + b_2 \cdot \sin \delta_{rcrit}$$

$$K_4 = a_1 \cdot \cos \delta_{rcrit} + a_2 \cdot \sin \delta_{rcrit}$$

olmak üzere,

$$P_{rcrit} = \frac{V_s^2 \cdot [2 \cdot K_3 \cdot K_4 - (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2)]}{(b_1^2 + b_2^2) \cdot 4 \cdot K_4^2} \quad (3.15)$$

ifadesi ile hat sonunda çekilebilecek gücün kritik değeri belirlenmiş olur.

## **BÖLÜM 4 ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE GERİLİM KARARLILIĞI**

Gerim kararlılığı incelemelerini, iki baralı sisteme dayalı olarak yapılmıştır. Bu incelemenin, ülkeler arasındaki ve ülke içindeki ağ şebekeyi oluşturan çoklu bara sistemi olan enterkonnekte sistemi üzerinde gerçekleştirilmesi gereklidir. Çünkü, gerilimin, kritik bölge civarında ani olarak çökmesi nedeniyle, bozucu etkenlerin sistemin planlama ve işletme safhalarında ele alınması zorunludur. Bu nedenle, çeşitli işletme durumlarını göz önüne alarak, gerilim kararlılığı bakımından kritik değerlerin belirlenmesi gerekir.

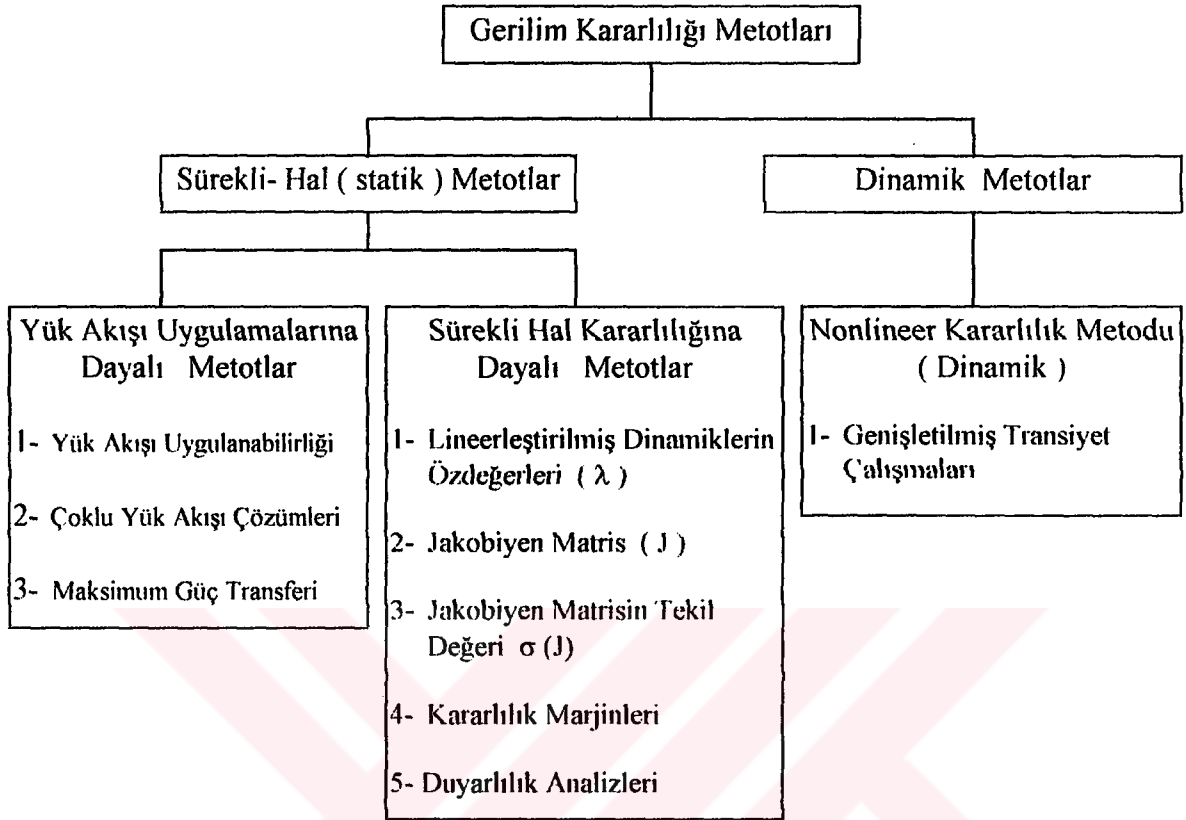
Çalışmanın bu aşamasında çok generatörlü ve çok yüklü sistemlerin enterkonnekte yapı içersinde iken gerilim kararlılığı açısından incelenmesi yapılacaktır. Ancak son yıllarda, kararlılık yönünden yapılan incelemeleri belirli bir grupta toplamak mümkündür [22]. Bu grupların genel sınıflandırılması tablo 4.1' de gösterilmiştir.

Bu gruplar, sürekli hal (statik) kararlılık metotları ve dinamik kararlılık metotları olmak üzere iki ana başlık altında toplanmıştır. İncelemesini yaptığımız, sürekli hal kararlılığı aşağıdaki çalışma grubu içinde incelenmiştir.

Statik metotlar içinde ilk olarak Newton-Raphson yük akışı analizleri yer almaktadır. Bu analizle, kararlı bir çalışma noktasından itibaren, yük sonlu adımlarla arttırılmış ve her noktada sistemin durumu yük akışı çözümü ile belirlenmiştir.



Tablo 4.1 Gerilim kararlılığı metodlarının genel sınıflandırılması



Arttırma işlemi Newton-Raphson metodunun ıraksadığı noktaya kadar sürdürülmüştür. İraksamadan bir önceki nokta sistemin kritik değerleri olan kritik gerilim ve kritik güç değerleri olarak tespit edilmiştir. İraksamanın nedeni ya kritik gerilim noktasına yaklaşıldığı için veya nümerik problemler nedeniyle olmaktadır.

Yük akışına dayalı diğer metotlar, yük akışının çoklu çözümlerine ve denge noktalarına ait analizler ve maksimum güç teoremi uygulamaları olarak ele alınmaktadır. Benzer olarak yükün artırılması ve generatör gerilimlerinin ayarlanması ile ilgili kriterler belirleyen çalışmalar da vardır. Bazı metotlar ise,  $(V_L - V_L^+)$  yük gerilimi kararlılık marjini ya da yük reaktif marjini  $(Q_L - Q_L^+)$  indeks olarak kullanılmıştır.  $V_L^+$ ,  $Q_L^+$  değerler kaynaktan yüke aktarılabilecek maksimum güce karşılık gelen değerleri temsil etmektedir [6].

Bu metotların hesaplamaları bilgisayarda yapıldığı göz önüne alınırsa, genel olarak bu metotların aşağıdaki bir kaç dezavantajları içerdiği görülebilmektedir.

- Bazı metotlar sadece iki baralı sistem çözümlerini kullanmışlardır ki bu çok baralı ve çok generatörlü devreler açısından sakıncalıdır.
- Bazı metotlarda ise, reaktif güç üretim limitleri hesaba katılmamıştır. Bu gerilim çökmesini hızlandıran en önemli faktördür.
- Bazı çalışmalar ise, yük-akışı sonlu adımlarla tekrar edilerek kritik noktaya ulaşmak istenmektedir. Bu olay Newton-Raphson yük akışı yönteminde kritik gerilim noktasında bazı önlemler alınmadıkça güvenli olmayan sonuçlar verecektir. Bunun nedeni ise, çoklu yük akışı çözümlerinin kritik nokta civarında birbirine yakın olmasıdır [6][18].

Bu tez çalışmasında, statik yük analizlerine dayalı gerilim kararlılığı incelenerek, yukarıda bahsedilen metotlardan sürekli yük akışı metodu uygulanacaktır. Buna göre sistemin yükü sabit tutularak sadece ilgililenilen barada her adımda yük artırılarak yük akışı (sonlu adımlarla) tekrar edilerek kritik noktaya ulaşılmıştır.

Statik gerilim kararlılığında kullanılan Newton - Raphson metodunun, incelenilen sistemin stabil çalışma koşullarının dışında, aşağıda sıralanan başlıca üç koşul durumlarında bazen yakınsama ile ilgili problemler çıkardığı bilinmektedir. Bu koşullar;

- a - Sistem yükünün fazla olması,
- b - Enerji iletim hattının düzenlenmesi, (Uzun iletim hatlarının çokluğu, hatların  $R_h / X_h$  oranının yüksek olması v.b. )
- c - Yük akış koşulları ( P-Q / P-V bara oranının yüksek olması, salınım barasının seçimi, başlangıç koşullarının seçimi v.b. )

şeklinde sıralanabilir. Bunların dışında reaktif güç kompanzasyonun fazla olmasının ve büyük yüzdeli seri ve şönt kompanzasyonların da yakınsama problemleride çıkarabilmektedir [6].

Bu çalışmada, özellikle, sistem yükünün artmasından doğan problemler incelenmektedir. İki baralı sistemde bilinen P-V eğrilerinde kritik noktaya (uç nokta) yaklaşılması halinde, bu nokta civarındaki teğetlerin eğimleri (türevler) arttığı göz önüne alınırsa; yapılan çalışma, sistemin incelenilen bara ile salınım barası arasında indirgemeye dayalı olduğundan, Newton-Raphson metodunu bazı nümerik önlemler alınmadan kullanmak, metodun ya ıraksama yada alt bölgedeki düşük gerilim değerine yakınsamasına neden olabilecektir. Newton - Raphson metodundaki Jakobiyen matris bütün türevleri içerdiğinden, teğet düzlemlerin çokluğu metodun, bahsedilen bu tür sakıncalar doğurmasına sebep olmaktadır [6].

Bu nedenle, yöntemin nümerik kararlılığını arttırmak amacıyla matris parçalaması teknikleri uygulanır [23]. Bu çalışmada ise, doğal kararlı yapısı nedeniyle yük akışı analizleri Decoupled Metodu' na dayalı olarak yapılmıştır.

#### 4.1 Sistemde Kullanılan Baralar

Yük akışında kullanılan baraları üç ana grupta toplayabiliriz [6].

##### 1- Yük Baraları (P-Q barası )

Bu baralarda, sistemden çekilen aktif ve reaktif güçler ( $P_y$ ,  $Q_y$ ) belli olup, gerilimler ve yük açıları ( $V_y$ ,  $\delta_y$ ) hesaplanır.

##### 2- Üretim Baraları (P-V baraları )

Bu tip baralarda ise, üretilen aktif güç ve bara geriliminin genliği ( $P_o$ ,  $|V_o|$ ) bellidir. Fakat reaktif güç üretiminde ise kısıtlamalar vardır. Üretim, reaktif gücün minimum ve maksimum sınırları ( $Q_{min} \leq Q_o \leq Q_{max}$ ) arasında, bara geriliminin genliği sabit bir değerde tutulur. Reaktif güç üretimi çeşitli zorunluklar nedeniyle

bu limitlerin dışına çıktığı zaman , bu güç  $Q_o = Q_{\min}$  veya  $Q_o = Q_{\max}$  olarak sabit bir üretim olarak ele alınır ve bu bara, bir yük barasına dönüştürülür. Böylece bara gerilimi değişecektir. Bu işlem, yapılan inceleme bakımından gereklidir zira baraların kritik değerlerinin hesaplanmasında yüklenmeler her zaman maksimum değerlere çıkacağından, generatörlerin reaktif güç sınırlarına ulaştığında P-V bara P-Q baraya dönüştürüldüğü gibi, işlemler sırasında reaktif güç sınırlarının altına inilirse ilgili bara tekrar P-V baraya dönüştürülmesi gereklidir. Bu çalışmada kullanılan yük akışı yönteminde bu özellik dikkate alınmıştır.

### 3- Salınım Barası

İletim sistemlerinde, hat kayıplarının önceden bilinmemesi nedeniyle, yük akışı sonunda belirlen kayıplar, genellikle bir üretim barasının güçlerine eklenir. Dolayısıyla bu baranın sadece  $(V_o, \delta_o)$  bara gerilimi ve açısı belli ve sabittir. Sistemin çeşitli yük ve üretim durumları için, bu baradan sisteme gönderilen güçler farklı olacaktır. Bunun nedeni de yukarda açıklandığı gibi bu baranın güçlerinin yük akışı sonunda belirlenmesidir.

Yukarda belirtilen bara tipleri ve özellikleri dikkate alınarak aşağıdaki tablo 4.2 verilmiştir.

Tablo 4.2 Bara tipleri

BARA TİPİ	KONTROL DEĞİŞKENLERİ	DURUM DEĞİŞKENLERİ
YÜK BARASI P - Q	$P_y, Q_y$	$V_y, \delta_y$
ÜRETİM BARASI P - V	$P_o,  V_o , Q_{\min}, Q_{\max}$	$Q_o, \delta_o$
SALINIM BARASI	$\delta_o,  V_o $	$P_o, Q_o$

## 4.2 Newton-Raphson Yük Akışı Yöntemi

Newton yönteminin temeli, gerçekte lineer olmayan sistemin davranışı lineer bir matematiksel model yardımıyla incelenmesidir. Diğer bir deyişle, küçük bir bozucu etkiye maruz kalan bir sistemin belli bir bölgedeki davranışı birinci dereceden denklemlerle oluşturulan matematiksel modelle incelenir[5].  $f(x)=0$  nonlineer denkleminin süreklilik koşullarını sağladıklarını düşünerek  $x(0)$  civarında Taylor serisi açılarak :

$$f(x^{(0)}) + (x - x^{(0)}) \cdot f'(x^{(0)}) + \left(\frac{1}{2!}\right)(x - x^{(0)})^2 \cdot f''(x^{(0)}) + \dots = 0 \quad (4.1)$$

ifadesi elde edilir. Burada ikinci ve daha yüksek mertebedeki ifadeler edilerek ;

$$f(x^{(0)}) + (x - x^{(0)}) \cdot f'(x^{(0)}) = 0 \quad (4.2)$$

denklemini elde edilir. (4.2) denklemini çözülerek iyileştirilmiş yaklaşım  $x^{(1)}$  bulunur:

$$x^{(1)} = x^{(0)} - \left( \frac{f(x^{(0)})}{f'(x^{(0)})} \right) \quad \text{elde edilir.} \quad (4.3)$$

Aynı yolla  $(k+1)$ . iterasyona gelindiğinde ;

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - \left( \frac{f(x^{(k)})}{f'(x^{(k)})} \right) \quad \text{denklemini elde edilir.} \quad (4.4)$$

N boyutlu durum için nonlineer denklem seti şu şekildedir :  $F(X)=0$

$f_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0$  ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  için

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} - \left( \frac{F(X^{(k)})}{F'(X^{(k)})} \right) \quad (4.5)$$

$F'(X)$  ,  $F(X)$  in Jakobiyenidir ve aşağıdaki gibi matrissel olarak gösterilir :

$$F'(X) = \left[ \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right] = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_{n-1}}{\partial x_1} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \dots & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_{n-1}} & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Oluşturulan lineer Jakobiyen matris matematiksel model aracılığı ile sistemin küçük bir bozucu etkiye maruz kalması halindeki davranışı, kontrol teorisinden de bilindiği gibi özdeğerleri ile incelenebilecektir.

$J^{(k)} = F'(X^{(k)})$  tanımı ile (4.5) denklemini iki parçaya ayrılarak çözülebilir :

$$\begin{aligned} (i) \quad F'(X^{(k)}) &= -J^{(k)} \cdot \Delta X^{(k)} \\ (ii) \quad X^{(k+1)} &= X^{(k)} + \Delta X^{(k)} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Newton metotları, Gauss, Gauss-Seidel gibi iteratif metotlara göre kuadratik yakınsama karakteristiğine sahiptir [19]. Özellikle çalışan sistem hakkında bilgi sahibi olmak ve bunun sonucunda iyi başlangıç tahminleri yapmak, daha iyi sonuç vermesini sağlar.

### 4.3 Decoupled ( Ayrık ) Yük Akışı

Decoupled yük akışı doğal kararlı yapısı ve karesel yakınsama özellikleriyle, Newton yöntemleri arasında yer almaktadır [22][24]. Bu özelliklerinden dolayı, bu çalışmada, bara admitans matrisi kullanılarak, Decoupled yük akışı yöntemi ile gerilim kararlılığı açısından kritik değerlerin belirlenmesine çalışılacaktır.

Öncelikle yük akışı yapabilmemiz için, bölüm 4.1 kısaca tanıttığımız bara tiplerinin, bara admitans matrislerinin elde edilmesi gereklidir. Genellikle, enerji iletim sistemleri dengeli üç fazlı sistemler olarak ele alınarak, iletim hatları ' pozitif

dizi' ile gösterilir. Bu diziyi oluşturan elemanlar, yük akışında kullanılmak amacıyla, doğrudan bara admitans matrisi (  $Y_{\text{bara}}$  ) oluşturmada kullanılır. Bara admitans matrisinin oluşturulmasında izlenen temel algoritma şöyledir :

a- Matrisin, her bir barayı temsil eden köşegen elemanına, o baraya bağlanan tüm elemanların admitansları katılır,

b- Köşegen elemanlarının dışında kalan diğer satır elemanları da, o satır numarasındaki bara ile köşegende temsil edilen bara arasındaki elemanı, varsa (-) işaretiyle gösterilir, eleman yoksa sıfır değer alır.

c- Baralara bağlı generatör ve yükler de sisteme akım enjekte eden elemanlar olarak ele alınır ve akım enjeksiyonunda yönün sisteme doğru pozitif (+) olarak kabul edilir.

d- İletim hatları ve hatların şönt kapasiteleri, kullanılan bara admitans matrisinin temel elemanlarıdır. Fakat, özellikle uzun hatlarda işletim zorunlulukları nedeniyle seri ve şönt kompanzasyon yapılması halinde, bu elemanların admitanslarının da bara admitans matrisine katılması gerekir.

e- Yük akışının kullanım amacına göre baralara bağlı diğer elemanlar da bu matrise katılabilirler. ( yükler gibi.)

#### 4.4 Yük Akışının Çözümü

Baralardan sisteme gönderilen akımların genel formülü;

$$I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} \cdot V_p \quad p=1,2,3,\dots,n \quad (4.8)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem kullanılarak aktif ve reaktif güçler belirlenir;

$$\begin{aligned}
S_p &= V_p \cdot I_p^* = V_p \cdot \sum_{q=1}^n Y_{pq}^* \cdot V_q^* , \quad p = 1, 2, 3, \dots, n \\
P_p &= \text{Re}\{V_p \cdot I_p^*\} , \quad \text{Aktif güç} \\
Q_p &= \text{Im}\{V_p \cdot I_p^*\} , \quad \text{Reaktif güç}
\end{aligned} \tag{4.9}$$

Newton metotlarında, kutupsal koordinatlar yaygın biçimde kullanıldığından, bu çalışmada da aynı yol izlenmektedir.

$$\text{Gerilimler} : V_p = |V_p| \angle \delta_p , \quad \text{Yük açılarının farkları} : \delta_{pq} = \delta_p - \delta_q$$

Admitanslar :  $Y_{pq} = G_{pq} + jB_{pq}$  , şeklinde gösterilirse, 4.9 denklemleri buna göre düzenlenirse;

$$P_p - |V_p| \cdot \sum_{q=1}^n \left[ (G_{pq} \cdot \cos \delta_{pq} + B_{pq} \cdot \sin \delta_{pq}) \cdot |V_q| \right] = 0 \quad p = 1, 2, 3, \dots, n \tag{4.10}$$

$$Q_q - |V_p| \cdot \sum_{q=1}^n \left[ (G_{pq} \cdot \sin \delta_{pq} - B_{pq} \cdot \cos \delta_{pq}) \cdot |V_q| \right] = 0 \quad p = 1, 2, 3, \dots, n \tag{4.11}$$

Bir iletim sistemi P-Q, P-V ve salınım baralarından oluştuğuna göre; n baralı sistemde  $n_1$  adet P-Q barası,  $n_2$  adet P-V barası ve bir adet salınım barası olacaktır. Bara sayısı  $n = n_1 + n_2 + 1$  olacaktır. Çözüm, P-Q baralarındaki gerilimlerin ( $n_1$  adet) genliklerini ve P-Q ve P-V baralarındaki ( $n_1 + n_2$  adet) yük açılarını belirlemekle gerçekleşecektir. (Tablo 4.3)

X : durum değişkenlerini ( bilinmeyenleri ) içeren vektör,

Y : kontrol değişkenleri ( bilinenleri ) içeren vektör, olarak tanımlanırsa,

$X = 2n_1 + n_2$  boyutlu ,

$Y = 2n_1 + 2n_2 + 2$  boyutlu vektörler olacaktır.



Tablo 4.3 Durum ve kontrol değişkenlerinin tablosu

<i>X vektörü</i>	$n_1$	$ V $	P-Q Bara	<i>Y vektörü</i>	$n_1$	P	P-Q Bara
	$n_1$	$\delta$	P-Q Bara		$n_1$	Q	P-Q Bara
	$n_2$	$\delta$	P-V Bara		$n_2$	P	P-V Bara
Toplam	$2 n_1 + n_2$				$n_2$	$ V $	P-V Bara
					1	$ V $	Salınım
					1	$\delta$	Salınım
Toplam	$2 n_1 + 2 n_2 + 2$						

4.10 ve 4.11 denklemlerinden X boyutunda  $(2n_1 + n_2)$  denklem takımı seçilerek nonlineer yük akışı denklemleri  $F(X, Y) = 0$  oluşturulur. Y'den salınım barasına ait bilinenler ( $|V|, \delta : 2$  adet) ile P-V baralarına ait bilinenler ( $|V| : n_2$  adet) çözüme katılmaz.

$F(X)$  şöyle oluşturulur :

$$F(X) = \begin{bmatrix} \text{P-V ve P-Q baralarda (4.12)'de } P_p = P_p^{sp} \text{ alınır.} \\ \text{P-Q baralarda (4.13)'de } Q_p = Q_p^{sp} \text{ alınır.} \end{bmatrix} = 0 \quad (4.12)$$

ve X bilinmeyenlerine eşit sayıda  $(2n_1 + n_2)$  denklem elde edilmektedir. Bu denklemler farklı bir rotasyonla şöyle yazılabilir :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = 0 \quad (4.13)$$

Bu matriste;

$$\Delta P_p = P_p^{sp} - |V_p| \cdot \sum_{q=1}^n [(G_{pq} \cdot \cos \delta_{pq} + B_{pq} \cdot \sin \delta_{pq}) \cdot |V_q|] = 0 \quad (4.14)$$

$$\Delta Q_p = Q_p^{sp} - \left| V_p \right| \cdot \sum_{q=1}^n [(G_{pq} \cdot \sin \delta_{pq} - B_{pq} \cdot \cos \delta_{pq}) \cdot \left| V_q \right|] = 0$$

$$p = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$(4.15)$$

$$p \neq s, \quad p \neq P - V \text{ bara}$$

4.7' deki lineer Newton metodu ile şu şekilde gelir :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}_{(k)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial |V|} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial |V|} \end{bmatrix}_{(k)} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}_{(k)} = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix}_{(k)} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}_{(k)} \quad (4.16)$$

Bu ifadelerde :

$P_p^{sp}, Q_p^{sp}$  : baralardaki sayısal değeri belli olan ( bilinen) güçleri,

$$H = \frac{\partial P}{\partial \delta}, \quad N = \frac{\partial P}{\partial |V|} \quad (4.17)$$

$$M = \frac{\partial Q}{\partial \delta}, \quad L = \frac{\partial Q}{\partial |V|}, \quad \text{Jakobiyenin kısmı türevlerini,}$$

k : iterasyon sayısını, göstermektedir.

$\Delta P$  ve  $\Delta Q$  nun gerçek değerlerinin sıfır olması gerektiği halde, iteratif işlemler sırasında, kesme ve yuvarlatma hataları nedeniyle bunu gerçekleştirmek zordur. Bunun için,  $\Delta P \leq \epsilon$  ve  $\Delta Q \leq \epsilon$  şeklinde bir ( $\epsilon$ ) yakınsama kriteri seçilir. Bu kriterde  $\epsilon = 0.1$  ile  $0.0001$  arasında seçilir ki 100 MVA bazında bu 10 MW / MVar ile 0.01 MW / MVar olarak gözükür. Yapılan bu çalışmada  $\epsilon = 0.0001$  seçilmiştir.

#### 4.5 Decoupled Metodunun Uygulanması

Enerji iletim sistemlerinin , normal sürekli hal çalışma koşulları altında, aktif güç ile gerilim açısı ( P- $\delta$  ) arasında ve reaktif güçle gerilimin genliği arasında ( Q- $|V|$  ) kuvvetli bir ilişkinin olmasıdır. Buna karşılık aktif güçle ile gerilimin genliği ( P- $|V|$  ) ve reaktif güçle gerilim açısı ( Q- $\delta$  ) arasındaki ilişki ise çok

zayıftır. Bu özellikten yararlanılarak Jakobiyen matrisindeki M ve N alt matrisleri ihmal edilerek yeni denklem elde edilir :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}_{(k)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & 0 \\ 0 & \frac{\partial Q}{\partial |V|} \end{bmatrix}_{(k)} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}_{(k)} = \begin{bmatrix} H & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix}_{(k)} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}_{(k)} \quad (4.18)$$

$$\begin{aligned} |\Delta P| &= |H| \cdot |\Delta \delta| \\ |\Delta Q| &= |L| \cdot |\Delta |V|| \end{aligned} \quad (4.19)$$

şeklinde ayrı ayrı çözülebilir. Burada L ve H matrislerinin köşegen elemanları ( $p=q$ );

$$H_{pp} = -B_{pp} \cdot |V_p|^2 - Q_p, \quad L_{pp} = -B_{pp} \cdot |V_{pp}|^2 + Q_p$$

köşegen dışı elemanları ( $p \neq q$ ); (4.20)

$$H_{pq} = L_{pq} = |V_p| \cdot |V_q| \cdot (G_{pq} \cdot \sin \delta_{pq} - B_{pq} \cdot \cos \delta_{pq})$$

şeklinde dir. 4.18 ve 4.19 denklemlerinin çözülmesi ile (k). adımın sonunda, elde edilen  $\Delta \delta$  ve  $\Delta |V|$  değerleri,  $\delta$  ve  $|V|$  'ya katılırlar ;

$$\delta_p^{k+1} = \delta_p^k + \Delta \delta_p^k \quad , \quad p = P - Q \text{ ve } P - V \text{ baraları (salınım barası hariç )} \quad (4.21)$$

$$|V_q|^{k+1} = |V_q|^k + \Delta |V_q|^k \quad , \quad q = P - Q \text{ baraları}$$

$\delta_p^{(k+1)}$ ,  $|V_q|^{(k+1)}$  değerlerinin yerine konmasıyla hesaplanan  $\Delta P^{(k+1)}$  ve  $\Delta Q^{(k+1)}$

değerleri yakınsama kriteri ( $\epsilon$ )' dan küçükse iterasyon durdurulur ve hat akışları hesaplanır, aksi halde (k+1). adımdan iterasyona devam edilir.

Metodun uygulanmasıyla ilgili akış şeması şekil 4.1' de verilmiştir.

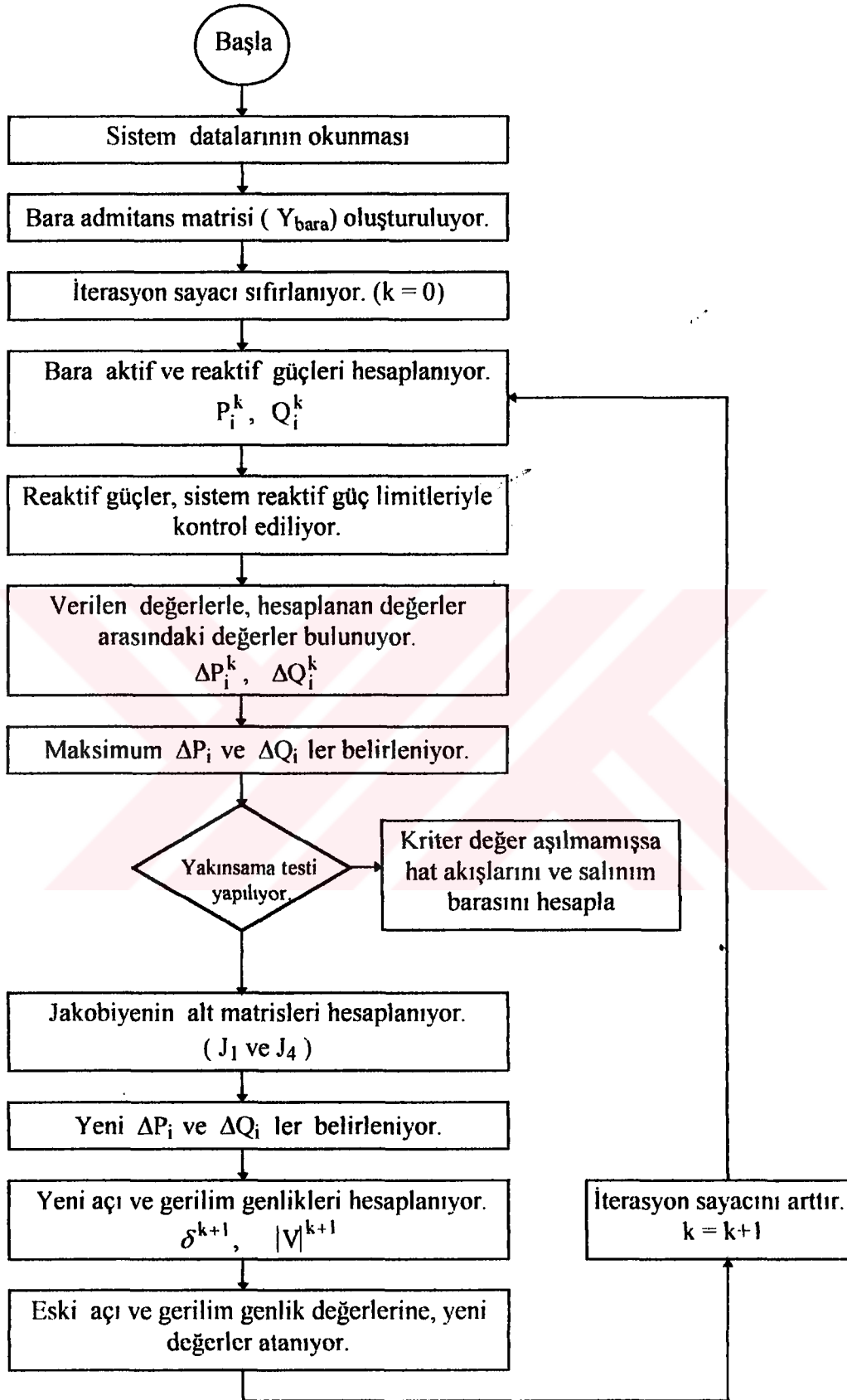
#### 4.6 Decoupled Metodunun Avantajları

Decoupled metodunun yakınması, Newton metodlarının yakınması gibi güvenilir bir tarzda gerçekleşir. Decoupled metodunun avantajları;

a- M ve N matrislerinin kaldırılmasıyla, bilgisayar hesaplamalarında hafızadan, işlem sayısından, işlem süresinden kazanç sağlar. Newton metodlarında ise, hafızadan kazanç sağlamak için, jakobiyen matrisin seyrekliğini kullanan seyrek matris tekniklerinden yararlanılmaktadır.

b- Decoupled metodunun en önemli özelliği, aşırı yüklü sistemlerin incelenmesinde ortaya çıkmaktadır. Gerilim kararlılığı açısından incelenen sistemlerde, sistem yüklenmesi sürekli arttırılarak maksimum yüklenme sınırlarında çalışılmakta ve P-V eğrileri incelendiğinde, kritik nokta civarında eğim büyük olmaktadır.

c- Daha fazla türev içeren Newton metodlarının kritik nokta civarında nümerik kararlılığını koruyamayarak gerilimler açısından kararsız bölge olan alt bölgedeki (küçük gerilim ve büyük akım) değerlere yakınsama olasılığı vardır. Bunu önlemek için, Newton metodlarının kararlılığını artırıcı tekniklerinin uygulanması gerekecektir. Bu açıdan, Decoupled metodunun kritik çalışma bölgesinde güvenilir bir şekilde kullanılabilceği, yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla gösterilmiştir [6].



Şekil 4.1 Decoupled yük akışının akış şeması

## **BÖLÜM 5 İNDİRGENMİŞ KUZEY BATI ANADOLU (KBA) ENERJİ İLETİM SİSTEMİNİN İNCELENMESİ**

1997 yılı istatistiklerine göre, Ülkemizin elektrik enerjisi üretimi açısından kurulu gücü 21.164 MW olup. Bu gücün yaklaşık olarak 6.000 - 7.000 MW' i sanayinin çok yoğun olduğu ve nüfusun büyük kesiminin yaşadığı Marmara ve Trakya bölgesinde tüketilmektedir [25]. Bu sebepten ulusal şebekenin önemli dağıtım bölümleri bu bölgedeki Kuzey Batı Anadolu (KBA) şebekesi ile gerçekleştirilmektedir. 1997 yılı verilerine göre, kurulu gücün % 47'si hidrolik santrallerle üretilmesi ve bu üretim merkezlerinin çoğunun, ülkemizin coğrafi yapısı nedeniyle doğu bölgesinde bulunması, tüketimin büyük bir bölümünün batı bölgelerinde gerçekleşmesi, ulusal ağ şebekemizin planlanması, işletilmesi ve kontrolü büyük önem arz etmektedir [1].

Kuzey Batı Anadolu (KBA) şebekesi doğu kaynakları ile beslendiği gibi, doğu kaynaklarına olan uzaklığı nedeniyle batı kaynakları (Ambarlı santrali, Hamitabad santrali, Bulgaristan v.b.) ile de beslenmektedir.

Bu sebeplerden dolayı, ulusal şebekenin önemli iletim ve dağıtım bölümlerinden olan KBA şebekesinin TEAŞ' dan alınan verilerine dayanarak kısmen indirgenmiş modeliyle bu tezde çalışma yapılmış ve sistem üzerinde gerilim kararlılığının incelemeleri yapılmıştır.

Önce, indirgenmiş KBA şebekesinin gerilim ve güç profili çıkarılıp , bara admitans matrisi elde edilir. Admitans matrisi ( $Y_{\text{bara}}$ ) ile elde edilen lineer jakobiyen matrisin sistemin bozucu etkiye maruz kalması halindeki davranışı matrisin öz değerleri ile incelenecektir.

Buna göre herhangi bir yük durumu için yük akışı yapılarak, salınım barası ve gerilim kararlılığı açısından incelenilen baranın dışındaki tüm baraların tüm güçleri eşdeğer admitansa çevrilmiş, tüm yük sabit tutularak sadece ilgilenilen barada her adımda yük artırılarak yük akışı ıraksayana kadar kritik değerlerin hesaplanmasına devam edilmiştir ve kritik noktaya ulaşılmıştır. Newton-Rapson metodundaki jakobiyen matris bütün türevleri içerdiğinden, kritik noktaya yaklaşılması halinde, bu noktadaki teğetlerin (türevler) eğimleri arttığı göz önüne alınır, metodun ya ıraksama yada alt bölgedeki düşük gerilim değerine yakınsaması olacağından, nümerik kararlılığı arttırmak için Decoupled metoduna dayalı yük akışları yapılmıştır.

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi, gerilim kararlılığını etkileyen en önemli etkenlerin başında yük artışları gelmektedir. Ülkemizdeki yıllık enerji talebi artışı % 10 düzeyinde olduğu göz önüne alınarak [1], incelenen KBA sisteminin 10 yıllık bir periyot içinde mevcut sistem üzerinde yük artışlarındaki gerilim kararlılığı incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken mevcut sistem korunmuş yani sistemde hiçbir iyileştirme (yeni iletim hattı, yeni üretim baraları, v.b.) yapılmadığı kabul edilmiştir.

Daha sonraki incelemelerde ise, sisteme 10 yıllık periyot içinde çeşitli iyileştirmeler yapılarak % 10' luk enerji talebi artışının, gerilim kararlığına olan etkileri yük akışları yapılarak incelenmiştir. Bu bazda ilk önce, incelenen KBA sisteminin yıllık enerji talebi artışlarına, üretim baralarında aynı oranda arttırıldığı kabul edilerek gerilim kararlılığı incelenmiş, daha sonra ise, KBA sisteminin özelliği olan doğu ve batı kaynaklarının sırasıyla yüklerle birlikte aynı oranda arttırıldığı kabulü ile sistem gerilim kararlılığı incelenmiş ve en son olarak, KBA sisteminin iletim hattının taşıma kapasitesi iki katına çıkartıldığı kabulü ile, mevcut üretim baraları ile yıllık yük artışı talebiyle gerilim kararlılığının yük artışlarındaki değişimi incelenmiştir.

## 5.2 N - Baralı Sistemin Yük Akışı Şeması

N - Baralı sistemin, yük akışı yapılırken aşağıdaki adımlar uygulanmıştır ;

1- Sistemin mevcut işletme durumu için yük akışı analizi yapılarak, sistem baralarına ilişkin gerilim ve güç değerleri belirlenir, bu yapılırken analizlerde kullanılacak olan bara admitans matrisi  $Y_{\text{baralı}}$ 'nin elde edilmesi, sisteme enjekte edilen akım yönleri dikkate alınarak yapılır.

$$Y_{\text{BARA}} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdot & \cdot & Y_{1n} \\ \cdot & Y_{22} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{n1} & \cdot & \cdot & Y_{nn} \end{bmatrix}, \quad I_n = Y_{\text{BARA}} \cdot V_n$$

2- İterasyon sayacı  $k$  sıfırlanır. ( $k = 0$ )

3- Elde edilen admitans matrisi yardımıyla bara aktif ve reaktif güçleri hesaplanır.

$$P_p = |V_p| \cdot \sum_{q=1}^n \left[ \left( G_{pq} \cdot \cos \delta_{pq} + B_{pq} \cdot \sin \delta_{pq} \right) \cdot |V_q| \right] = 0 \quad p = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$Q_q = |V_p| \cdot \sum_{q=1}^n \left[ \left( G_{pq} \cdot \sin \delta_{pq} - B_{pq} \cdot \cos \delta_{pq} \right) \cdot |V_q| \right] = 0 \quad p = 1, 2, 3, \dots, n$$

4- P-V baralarında, Elde edilen reaktif güçler, reaktif güç limit yönünden kontrol edilir.

$$\begin{aligned} Q_p > Q_{p\max} & \text{ ise } Q_p = Q_{p\max} \\ Q_p < Q_{p\min} & \text{ ise } Q_p = Q_{p\min} \end{aligned} \quad \text{alınır.}$$



5- Hesaplanan değerler ile verilen değerler arasındaki farklar bulunarak, maksimum  $\Delta P_p^k$ ,  $\Delta Q_p^k$  değerleri belirlenir.

$$\Delta P_p = P_p^{sp} - |V_p| \cdot \sum_{q=1}^n [(G_{pq} \cdot \cos \delta_{pq} + B_{pq} \cdot \sin \delta_{pq}) \cdot |V_q|] = 0$$

$$\Delta Q_p = Q_p^{sp} - |V_p| \cdot \sum_{q=1}^n [(G_{pq} \cdot \sin \delta_{pq} - B_{pq} \cdot \cos \delta_{pq}) \cdot |V_q|] = 0$$

$$p = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$p \neq s, \quad p \neq P - V \text{ bara}$$

5- Maksimum değerler  $\Delta P$  ve  $\Delta Q$ ' nun gerçek değerlerinin sıfır olması gerektiği halde, iteratif işlemler sırasında, kesme ve yuvarlatma hataları nedeniyle bunu gerçekleştirmek zordur. Bunun için,  $\Delta P \leq \epsilon$  ve  $\Delta Q \leq \epsilon$  şeklinde bir ( $\epsilon$ ) yakınsama kriteri seçilir. Bu kriter  $\epsilon = 0.1$  ile  $0.0001$  arasında seçilir ki 100 MVA bazında bu 10 MW / MVar ile 0.01 MW / MVar olarak gözükür. Yapılan bu çalışmada  $\epsilon = 0.0001$  seçilmiştir.

$$\max \Delta P \leq \epsilon \quad \text{ve} \quad \max \Delta Q \leq \epsilon$$

Eğer, kriter değer aşılmamışsa hat akışı ve salınım baraları güçleri hesaplanır. Aşılmışsa, aşağıdaki işlemlere devam edilir ;

6- Jakobiyenin alt matrisleri H ve L hesaplanır. (Decoupled metodu ile, M=0 N=0 alınmıştır.)

$$\begin{aligned} |\Delta P|^k &= |H|^k \cdot |\Delta \delta|^k \\ |\Delta Q|^k &= |L|^k \cdot |\Delta |V||^k \end{aligned}$$

elde edilir.

7- ( k ). adımın sonunda, elde edilen  $\Delta\delta$  ve  $\Delta|V|$  değerleri,  $\delta$  ve  $|V|$ 'ya katılırlar ;

$$\delta_p^{k+1} = \delta_p^k + \Delta\delta_p^k \quad , \quad p = P - Q \text{ ve } P - V \text{ baraları (salınım barası hariç)}$$

$$|V_q|^{k+1} = |V_q|^k + \Delta|V_q|^k \quad . \quad q = P - Q \text{ baraları}$$

8- Elde edilen eski değerler yeni sonuçlara atanır.

$$\begin{aligned} \delta_p^{(k+1)} &\rightarrow \delta_p^{(k)} \\ |V_q|^{(k+1)} &\rightarrow |V_q|^{(k)} \end{aligned}$$

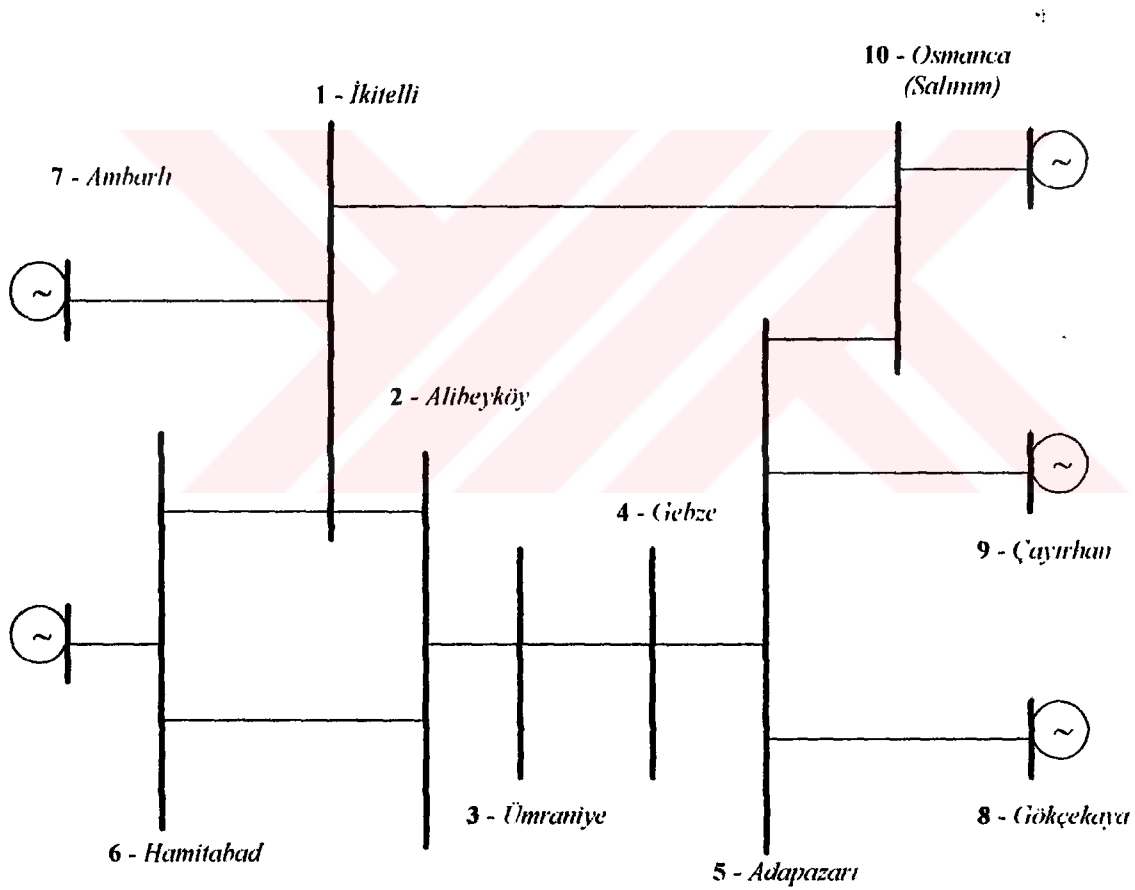
9-  $\delta_p^{(k+1)}$ ,  $|V_q|^{(k+1)}$  değerleri yardımıyla tekrar 3. adıma gidilerek  $\Delta P^{(k+1)}$  ve  $\Delta Q^{(k+1)}$  değerleri hesaplanır, yakınsama kriteri ( $\epsilon$ )'dan küçükse iterasyon durdurularak, hat akışları hesaplanır, aksi halde (k+1). adımdan iterasyona devam edilir.

10- Yukarıda yapılan adımlarla, yakınsama kriterine kadar hesaplamalar yapılarak baraların belirlenen güçlerindeki hat akışları bulunur. Bulunan değerler sistemin kararlı çalışma değerleridir.

11- Bundan sonraki adımlarda ise; sistemin mevcut yükü sabit tutularak sadece ilgilenilen barada yük artırılarak yük akışı (sonlu adımlarla) tekrar edilerek, ıraksama noktasının elde edildiği yük değerinin bir evvelki değeri kritik değerler kabul edilir.

### 5.3 İndirgenmiş Kuzey Batı Anadolu Sistemi

Kuzey Batı Anadolu (KBA) enerji dağıtım şebekesi, enerji talebinin en yoğun olduğu ve ulusal ağ şebekesinin önemli bölümlerinden olan Marmara-Trakya bölgesinde yer almaktadır. N-baralı sisteme örnek teşkil eden, KBA şebekesi, TEAŞ`dan alınan veriler yardımıyla kısmen indirgenmiş ve bu sistemi teşkil eden 5'i üretim (generatör) olmak üzere, 10 baralı ve 11 elemanlı bir sisteme çevrilmiştir [14]. ( Şekil 5.1)



Şekil 5.1 İndirgenmiş Kuzey Batı Anadolu (KBA) sistemi

İndirgenmiş Kuzey Batı Anadolu ( KBA ) enerji iletim sisteminin baraları :

Tablo 5.1 Kuzey Batı Anadolu sisteminin baraları

PQ ( YÜK) BARALARI	PV ( ÜRETİM) BARALARI	SALININ BARASI
İkitelli	Hamitabad	Osmanca
Alibeyköy	Ambarlı	
Ümraniye	Göçekaya	
Adapazarı	Çayırhan	
Gebze		

Tablo 5.2 İndirgenmiş KBA sistemine ait hat verileri

Hat No	Baradan-Baraya ( p-q )	(Zpq) Hat Empedansı		Hattın Şönt
		Omik Direnç (R)	Endüktans (X)	Admitansı Ypq ( G,B )
1	1-2	0.000180	0.002142	0 , 0.131028
2	1-6	0.003540	0.032713	0 , 0.363255
3	1-7	0.000550	0.005089	0 , 0.056193
4	1-10	0.003670	0.042188	0 , 0.692991
5	2-3	0.000310	0.003692	0 , 0.225897
6	2-6	0.002405	0.027634	0 , 0.453925
7	3-4	0.000385	0.003560	0 , 0.157459
8	4-5	0.001049	0.009710	0 , 0.429503
9	5-8	0.002405	0.022275	0 , 0.246284
10	5-9	0.003265	0.029887	0 , 0.338289
11	5-10	0.001588	0.014463	0 , 0.168657

Tablo 5.3 İndirgenmiş KBA sistemine ait yük ve üretim bara verileri ( Baz güç  $S_{baz}=100MVA$  )

Bara No	Bara Tipi	ÜRETİM		YÜK		GERİLİMİN GENLİĞİ $ V $	REAKTİF GÜÇ LİMİTLERİ	
		P ( MW )	Q (MVAr)	P ( MW )	Q (MVAr)		Qmin	Qmax
1	P-Q			391.6	241.5			
2	P-Q			319.4	193.6			
3	P-Q			321.4	190.8			
4	P-Q			356.5	198.2			
5	P-Q			432.1	59.4			
6	P-V	713.0				1.051	-400	600
7	P-V	357.6				1.014	-230	230
8	P-V	161.5				1.036	-100	100
9	P-V	297.5				1.032	-100	200
10	Salınım					1.030		

#### 5.4 Kuzey Batı Anadolu Sistemi İçin İncelenilen Durumlar

N-baralı sisteme örnek teşkil etmesi için incelenilen Kuzey Batı Anadolu ( KBA) enerji iletim sistemi, hat ve generatör değerlerinden görüleceği gibi oldukça büyük kapasiteli bir sistemdir.

Öncelikle, mevcut hat ve generatör değerlerine göre sistemin yük akışı yapılarak nominal değerlerindeki gerilim , güç ve yük açısı değerleri ve her yük barası tek tek yüklenerek, her yük barası için kritik değerler olan kritik güç ( $P_{rcrt}$ ), kritik gerilim ( $V_{rcrt}$ ) ve kritik yük açısı ( $\delta_{rcrt}$ ), hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5.4' de verilmiştir.

Tablo 5.4 Mevcut hat ve generatör değerleri ile yük akışı ve kritik değerler (Baz güç  $S_{\text{baz}}=100\text{MVA}$ )

bara no	Güç (P) (pu)	Gerilim (V) (pu)	Açı $\delta$ (derece)	Kritik Gerilim ( $V_{\text{krt}}$ ) (pu)	Kritik Yük Açısı ( $\delta_{\text{krt}}$ ) (derece)	Kritik Güç ( $P_{\text{krt}}$ ) (pu)
1	3,9160	1,0072	1,5873	0,6178	28,2770	19,2340
2	3,1940	1,0042	1,9992	0,7580	23,1213	17,0130
3	3,2140	0,9980	2,8714	0,8565	21,8200	15,0360
4	3,5650	1,0000	3,0880	0,7449	21,0170	23,4540
5	4,3210	1,0209	1,8053	0,8019	34,0322	48,5220

İncelenilen KBA sisteminin, ülkemizin sosyo-ekonomik şartlarından doğan % 10' luk yıllık enerji (yük) artışı talebi göz önüne alınarak, belli bir süre (10 yıl) içinde yük artışlarının gerilim kararlılığına etkileri incelenmiştir. Bu inceleme gerçekleştirilirken beş adet işletme şartları denenmiştir. Bunlar :

- 1- Mevcut sistemle sadece yüklerin yıllık % 10 artışı,
- 2- Yükler ile üretimin yıllık % 10 artışı,
- 3- Yükler ile doğu üretim kaynaklarının yıllık % 10 artışı,
- 4- Yükler ile batı üretim kaynaklarının yıllık % 10 artışı,
- 5- Hat taşıma kapasitesinin iki katına çıkartılmasıyla, yüklerin yıllık % 10 artışı.

#### 5.4.1 Mevcut sistemle sadece yüklerin yıllık % 10 artışı

Bu ilk incelemede mevcut iletim sistemi üzerinde hiç bir iyileştirme yapılmadığı kabulü ile, yük yıllık % 10' luk bir artış talebi ile 10 yıllık bir süre, içerisinde arttırılmış, yük artışlarına karşı kritik değerler olan; kritik açı ( $\delta_{\text{rcrt}}$ ), kritik gerilim ( $V_{\text{rcrt}}$ ), kritik güç ( $P_{\text{rcrt}}$ ), değişimleri incelenmiştir. Elde edilen sayısal değerler düzenlenerek Tablo 5.5a...j verilmiştir. Elde edilen değerlerden görüleceği gibi; sistem yükü arttırıldıkça, yük baralarının kritik güçleri azalmakta, kritik gerilimler ise belli bir oranda artmaktadır.

Kritik güç değerleri bakımından sistemi incelediğimizde; yük baralarını kritik güç bakımından büyükten küçüğe doğru sıralamak gerekirse, nominal değerlerde elde edilen kritik güçlere göre yük baraları 5-4-1-2-3 şeklinde sıralanmakta, bu sıralama yük artışlarının % 40 kadar korunmakta, % 40' lık artışta sıralama 5-1-4-2-3 olmakta, % 70' lık yük artışında bu sıralama 5-1-4-2-3 olmakta, % 100' luk artışta ise 5-1-4-2-3 şeklinde sıralanmaktadır. Kritik güç düşüş değerleri ise nominal kritik güç değerlerine göre, % 30' luk yük artışında; en çok 4. Barada , en az 2. Barada meydana gelmekte, % 50' lık yük artışında; en çok 4. Barada, en az ise 3. Barada, % 80' lık yük artışında ise, yine en çok 4. barada, en az ise 3. Barada güç değişimleri gerçekleşmektedir. % 100' luk yük artışında ise kritik güç değerleri nominal kritik güç değerlerinin, 1 nolu barada % 50.28' i, 2 nolu barada % 47.97' si, 3 nolu barada % 43.39' u, 4 nolu barada % 38.76' si ve 5 nolu barada % 34 ' ü olarak meydana gelmektedir. En çok kritik güç düşüşü 5 nolu barada, en az 1 nolu barada gerçekleşmektedir. Bu kritik güç değerlerinin düşüş oranlarını, hattın özelliği, yükün büyüklüğü, yük barasının üretim barasına yakınlığı, şönt ve seri kompanzasyon değerleri gibi faktörler etkilemektedir.

Kritik gerilim değerleri ise, tüm yük baralarında, kritik güçlerin düşüşü sebebiyle yükselmektedir. Bu yükselme genelde ve yük artışına göre % 10 ile % 20 arasında değişmektedir. Bazı baralarda ise belli yük artışlarında kritik güç azalmayıp yükseldiği durumlarda ise o bara ile ilgili kritik gerilim değerleri düşmektedir bu değerlerde % 15 geçmemektedir. Bu bize en açık şekilde kritik gücün düşüşü ile kritik gerilimin yükseldiğini göstermektedir.

Elde edilen verileri daha iyi analiz edebilmemiz için, her yük barasının sistem yükü değişimlerindeki kritik güç ve kritik gerilim değişimleri grafikleştirilmiş ve yan yana verilmiştir. ( Şekil 5.2 a...e) Böylece her bara için kritik güç değişimi ile kritik gerilim değişimi aynı anda izlenebilecektir. Ayrıca, yıllık % 10 'luk yük artışlarındaki, tüm yük baralarındaki kritik güç değişimlerinin aynı anda görülebilmesi için şekil 5.4' teki grafiği oluşturulmuş. Aynı şekilde gene yük artışlarındaki, kritik gerilim değişimlerini tüm yük baralarında görebilmemiz için şekil 5.3 oluşturulmuştur.

Tablo 5.5a...j Mevcut sistemle sadece yüklerin yıllık % 10 arttırılması

Tablo 5.5 Mevcut sistemle yük akışı ve kritik değerler

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (Vkrt)	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (Pkrt)
1	3,9160	1,0072	1,5873	0,6178	28,2770	19,2340
2	3,1940	1,0042	1,9992	0,7580	23,1213	17,0130
3	3,2140	0,9980	2,8714	0,8565	21,8200	15,0360
4	3,5650	1,0000	3,0880	0,7449	21,0170	23,4540
5	4,3210	1,0209	1,8053	0,8019	34,0322	48,5220

Tablo 5.5a Mevcut sistemle sadece yüklerin yıllık % 10 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (Vkrt)	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (Pkrt)
1	4,3076	1,0044	3,0480	0,6795	25,8550	18,6940
2	3,5134	1,0006	3,4800	0,7077	24,7227	17,6090
3	3,5354	0,9942	4,3400	0,8571	22,0526	14,2350
4	3,9215	0,9953	4,4700	0,7494	21,0900	22,0660
5	4,3210	1,0185	2,7600	0,8043	33,3330	46,3480

Tablo 5.5b Mevcut sistemle sadece yüklerin yıllık % 20 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (Vkrt)	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (Pkrt)
1	4,6992	1,0016	4,5260	0,6486	27,3520	17,8150
2	3,8328	0,9969	4,9905	0,6979	25,3696	16,6960
3	3,8568	0,9895	5,8278	0,7562	22,7669	16,0170
4	4,2780	0,9904	5,8726	0,7560	21,6530	20,5380
5	5,1852	1,0159	3,7333	0,8066	32,5766	44,1370

Tablo 5.5c Mevcut sistemle sadece yüklerin yıllık % 30 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (Vkrt)	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (Pkrt)
1	5,0908	0,9955	6,0171	0,6556	27,2321	16,9580
2	4,1522	0,9905	6,5130	0,6308	28,4565	15,7120
3	4,1782	0,9822	7,3378	0,8585	22,5740	12,6130
4	4,6345	0,9834	7,2953	0,7555	21,3005	19,5270
5	5,6173	1,0122	4,7130	0,8100	31,6799	41,7310

Tablo 5.5d Mevcut sistemle sadece yüklerin yıllık % 40 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (Vkrt)	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (Pkrt)
1	5,4824	0,9870	7,5352	0,6561	27,3615	16,0580
2	4,4716	0,9170	8,0668	0,6438	28,0363	14,8180
3	4,4996	0,9730	8,8823	0,7592	23,1551	14,0520
4	4,9910	0,9746	8,7501	0,8511	23,4880	13,5860
5	6,0494	1,0078	5,7092	0,8158	30,5464	38,9850



Tablo 5.5e Mevcut sistemle sadece yüklerin yıllık % 50 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	5,8740	0,9777	9,0955	0,5805	30,9140	14,8210
2	4,7910	0,9722	9,6648	0,6489	28,0834	13,8220
3	4,8210	0,9628	10,4712	0,7537	23,6587	13,1400
4	5,3475	0,9647	10,2440	0,8534	23,2908	12,6930
5	6,4815	1,0021	1,0021	0,7959	33,4201	34,4070

Tablo 5.5f Mevcut sistemle sadece yüklerin yıllık % 60 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	6,2656	0,9674	10,7072	0,6250	28,9257	14,0430
2	5,1104	0,9617	11,3167	0,5113	29,7457	13,3880
3	5,1424	0,9515	12,1143	0,7575	23,7152	12,1020
4	5,7040	0,9537	11,7873	0,8556	23,3490	11,8200
5	6,9136	0,9952	7,7549	0,8116	31,0145	31,5610

Tablo 5.5g Mevcut sistemle sadece yüklerin yıllık % 70 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	6,6572	0,9597	12,3747	0,6255	28,9468	13,0890
2	5,4298	0,9506	13,0268	0,5372	32,6600	11,5730
3	5,4638	0,9395	13,8155	0,7526	24,1707	11,1602
4	6,0605	0,9419	13,3823	0,7498	24,2863	12,5150
5	7,3457	0,9878	8,8138	0,8993	27,2840	27,0840

Tablo 5.5h Mevcut sistemle sadece yüklerin yıllık % 80 arttırılması

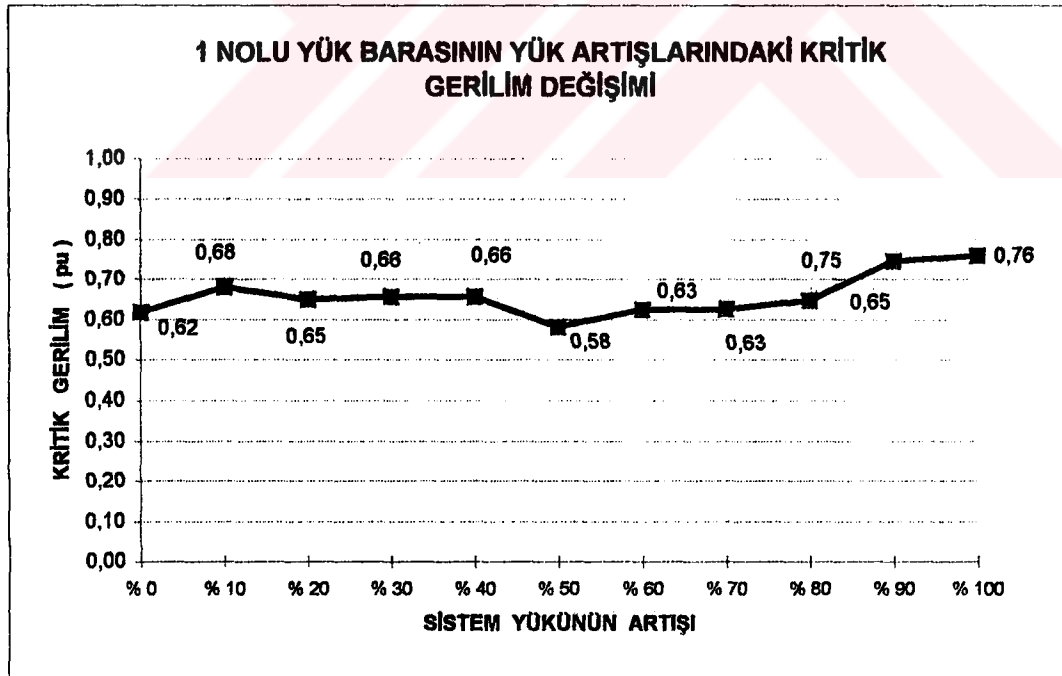
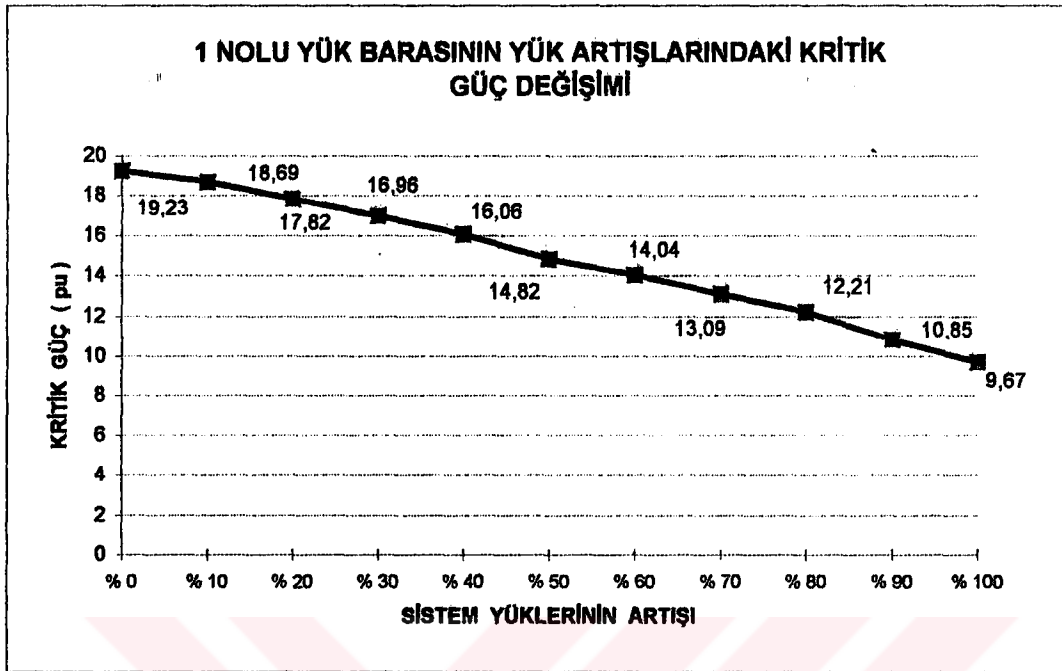
bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	7,0490	0,9368	14,1547	0,6467	28,0314	12,2130
2	5,7490	0,9306	14,8628	0,7337	25,3710	10,5500
3	5,7850	0,9195	15,6580	0,7539	24,3208	10,1300
4	6,4170	0,9231	15,1073	0,8578	22,9871	9,9220
5	7,7780	0,9765	9,9301	0,9054	25,0463	24,1140

Tablo 5.5ı Mevcut sistemle sadece yüklerin yıllık % 90 arttırılması

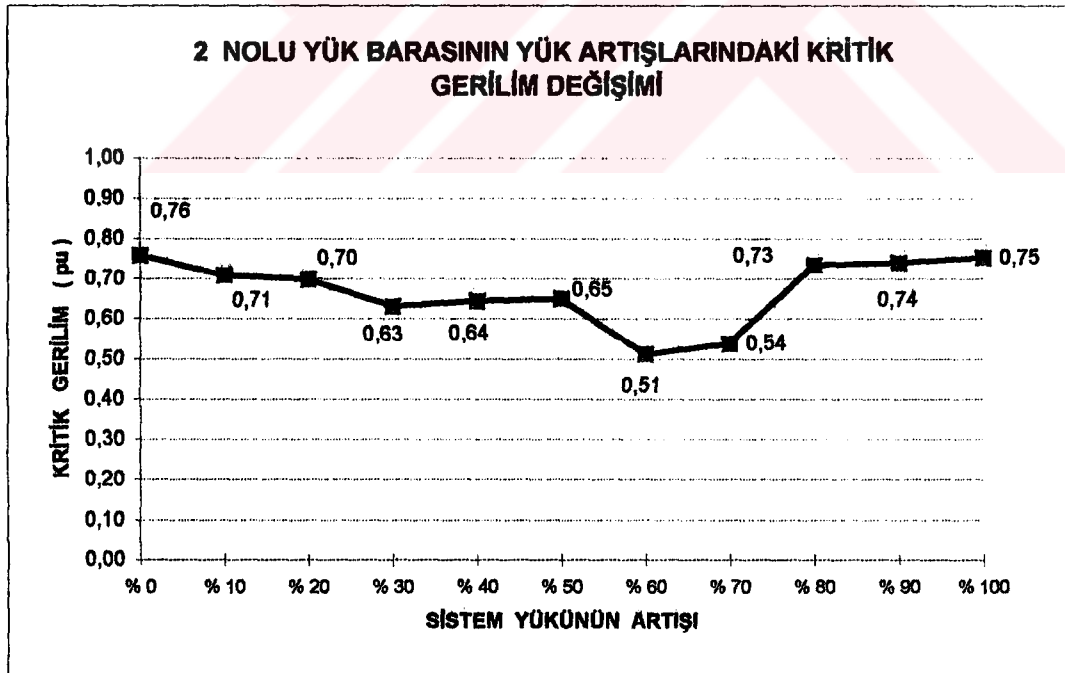
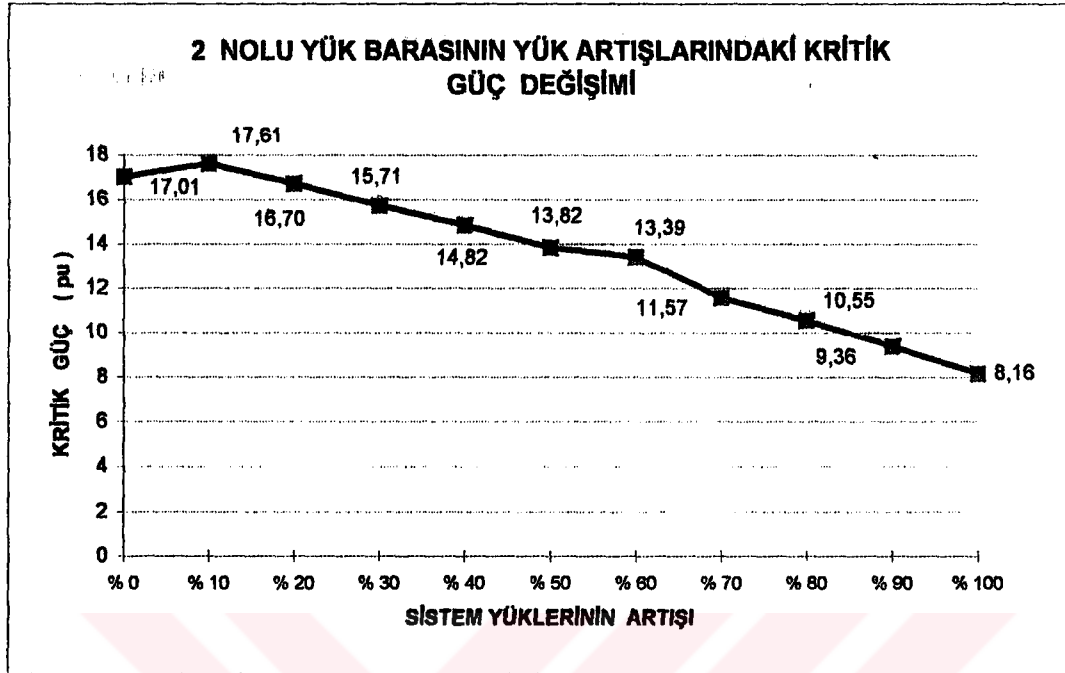
bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	7,4400	0,9052	16,1372	0,7455	23,8818	10,8470
2	6,0690	0,8987	16,9231	0,7388	24,7409	9,3640
3	6,1070	0,8886	17,7459	0,8236	23,2630	7,5580
4	6,7730	0,8946	17,0549	0,7614	23,8860	10,1670
5	8,2100	0,9600	11,1428	0,8558	22,4983	20,4970

Tablo 5.5j Mevcut sistemle sadece yüklerin yıllık %100 arttırılması

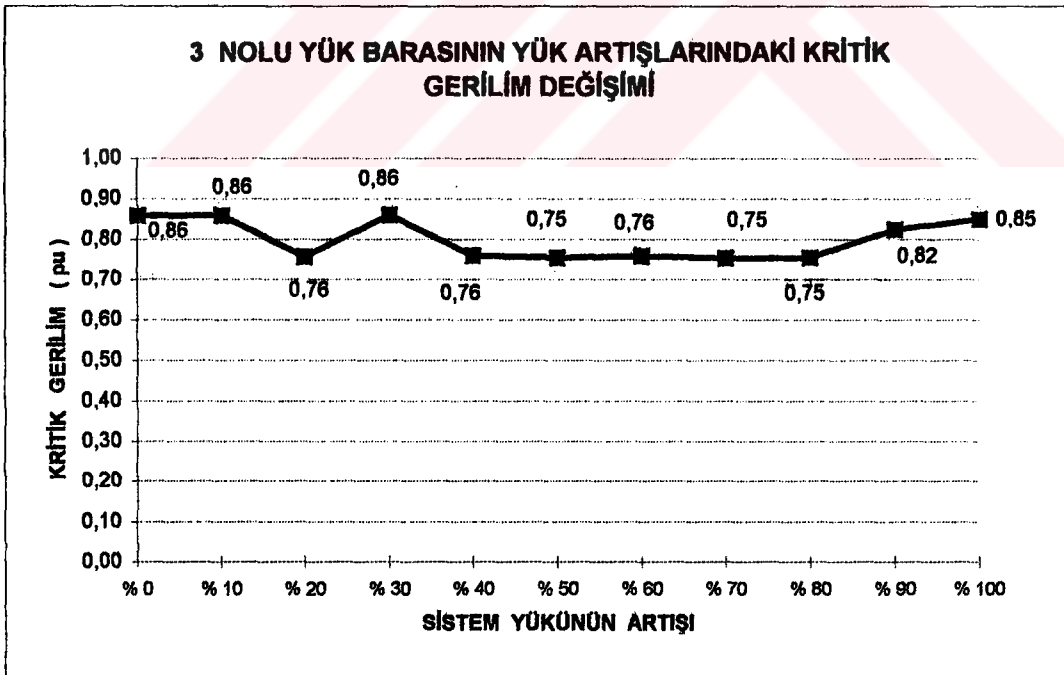
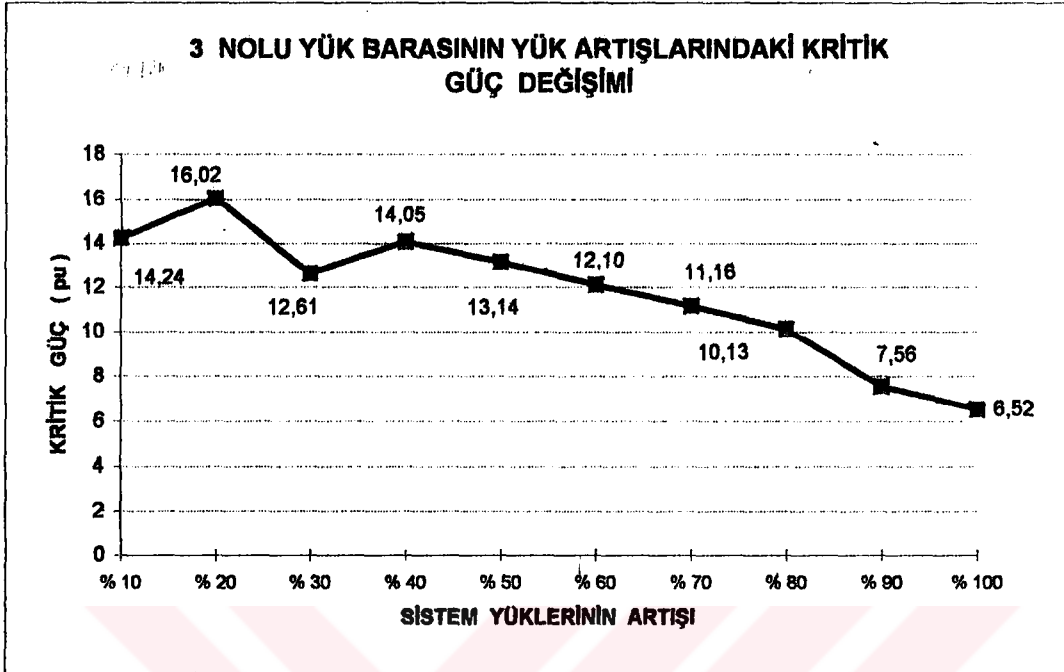
bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	7,8320	0,8586	18,5661	0,7598	23,2374	9,6730
2	6,3880	0,8516	19,4683	0,7525	24,2196	8,1640
3	6,4280	0,8422	20,3487	0,8483	23,1844	6,5220
4	7,1300	0,8509	19,4649	0,7571	24,1253	9,0910
5	8,6420	0,9310	12,5289	0,8486	20,5790	16,9210



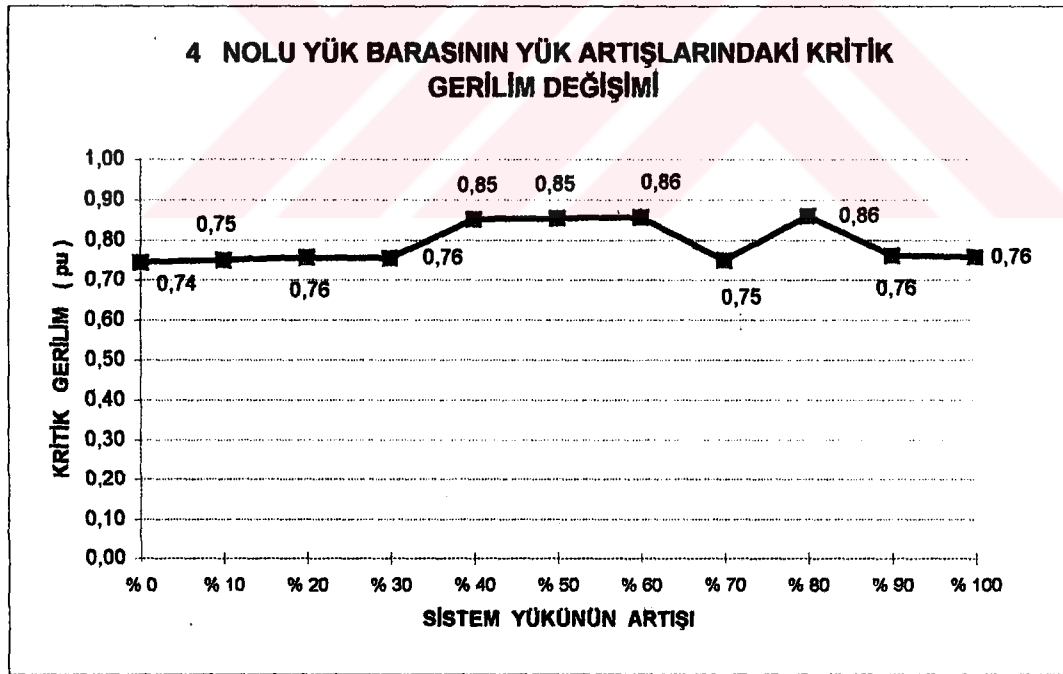
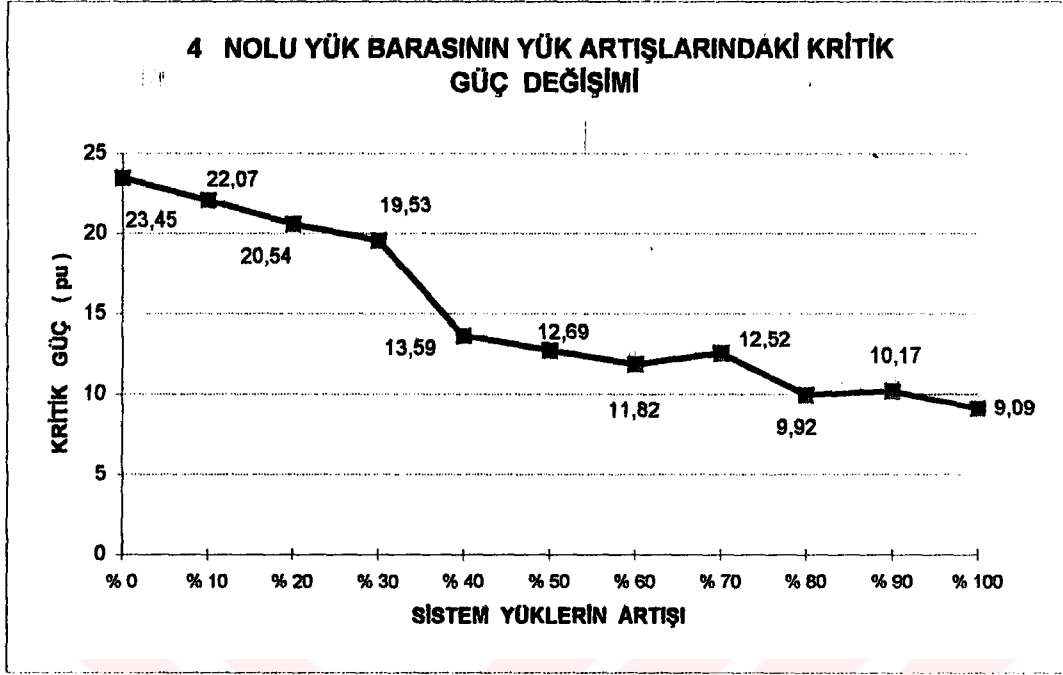
Şekil 5.2a 1Nolu yük barasının kritik güç ve gerilim değişimi



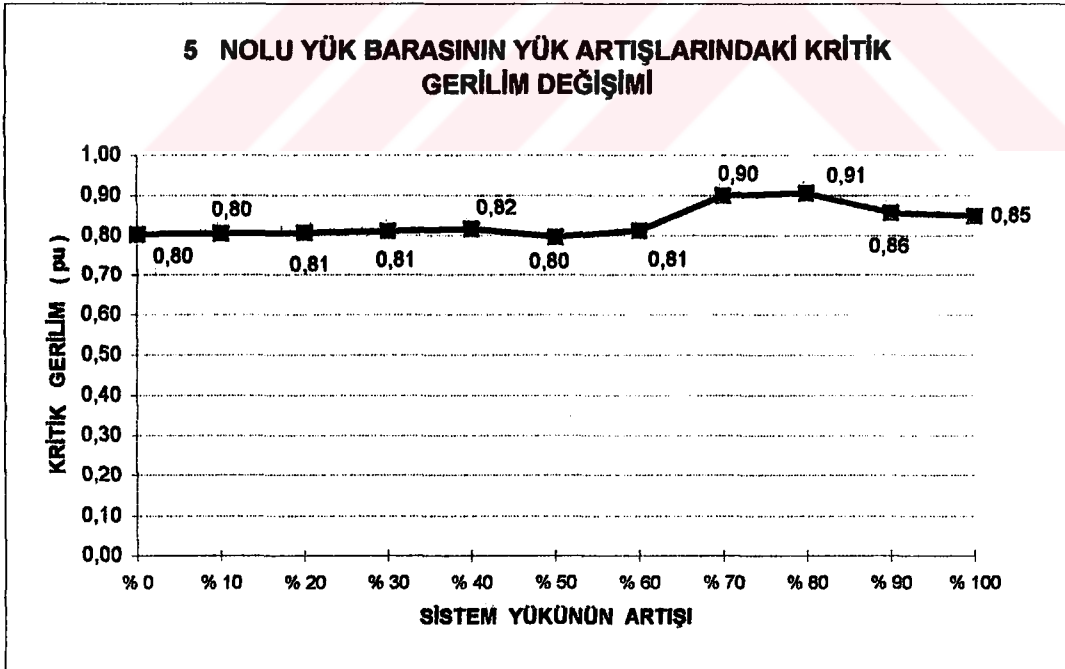
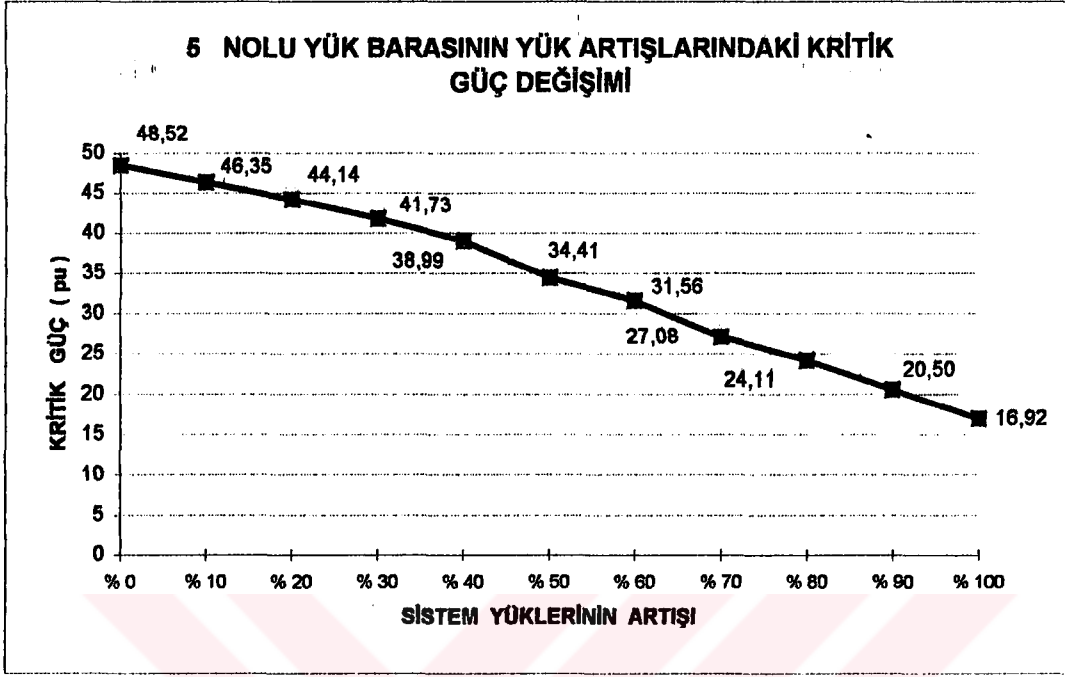
Şekil 5.2b 2 Nolu yük barasının kritik güç ve gerilim değişimi



Şekil 5.2c 3 Nolu yük barasının kritik güç ve gerilim değişimi

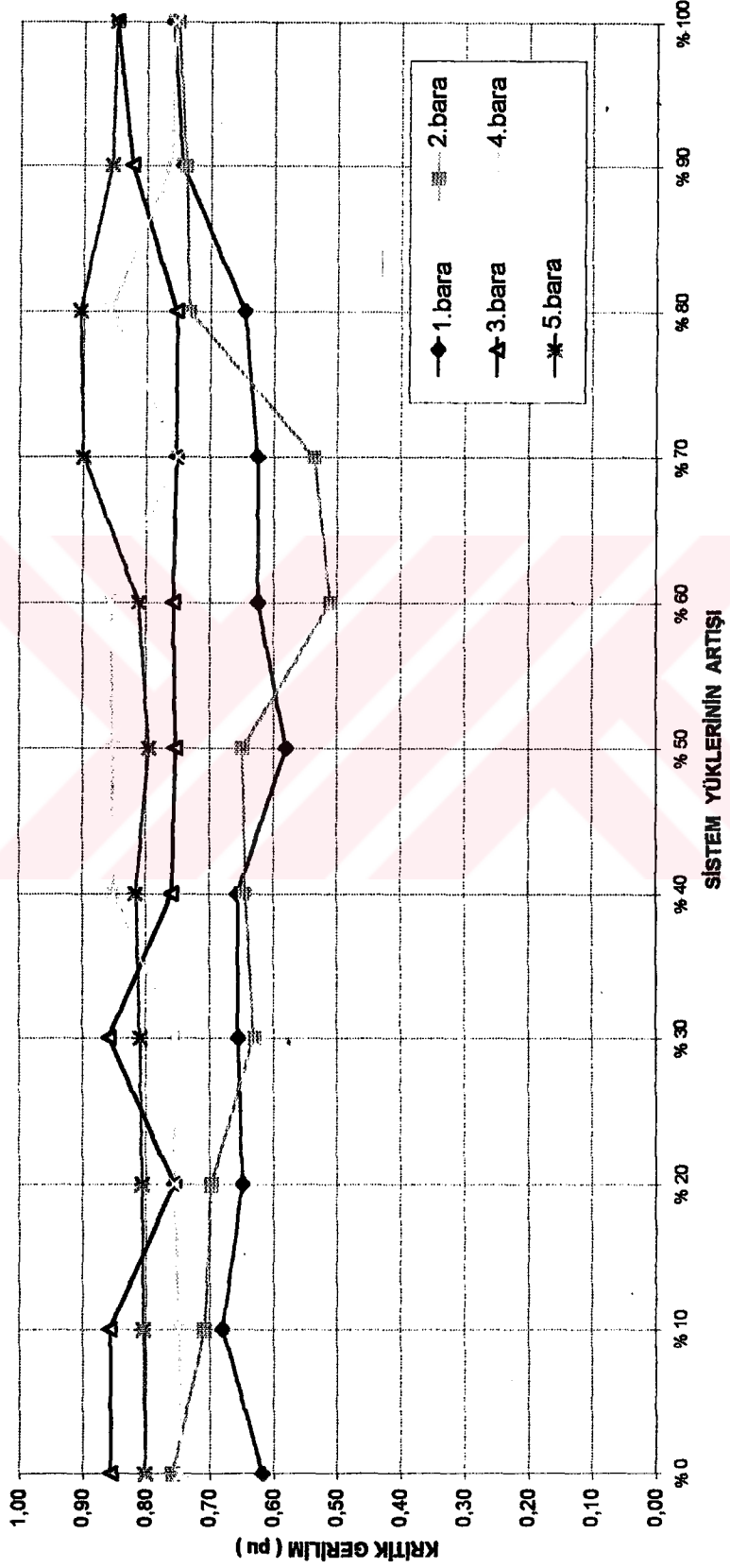


Şekil 5.2d 4 Nolu yük barasının kritik güç ve gerilim değişimi



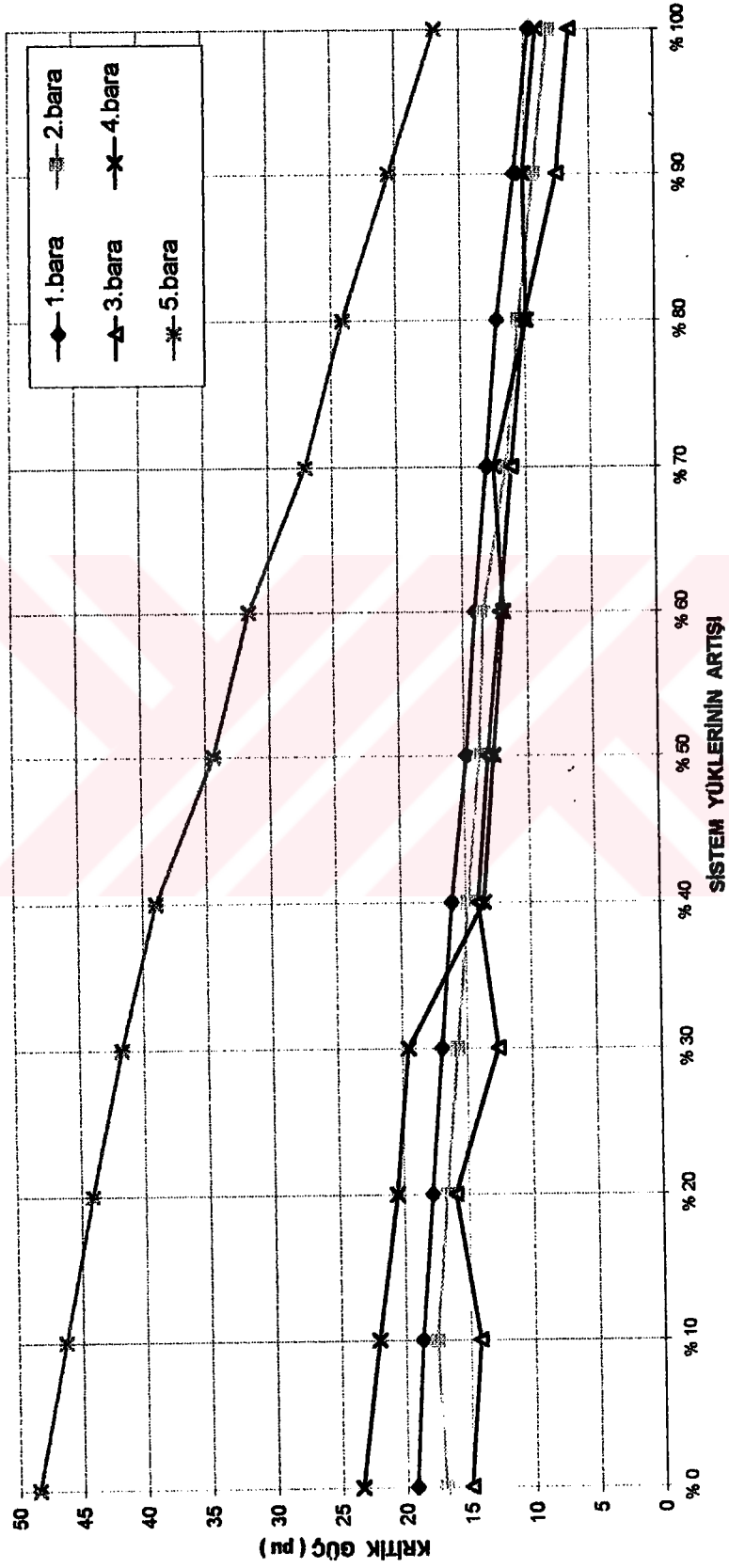
Şekil 5.2e 5 Nolu yük barasının kritik güç ve gerilim değişimi

**TÜM YÜK BARALARININ YÜK DEĞİŞİMİNDEKİ KRİTİK GERİLİM DEĞİŞİMİ**



Şekil 5.3 Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik gerilim değişimi

**TÜM YÜK BARALARININ YÜK DEĞİŞİMİNDEKİ KRİTİK GÜÇ DEĞİŞİMİ**



Şekil 5.4 Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik güç değişimi



#### 5.4.2 Yükler ile üretim baralarının yıllık % 10 artışı

Bu incelemede mevcut sistem üzerindeki yıllık % 10 yük artışlarıyla birlikte, sistemde iyileştirme yapıldığı kabulü ile üretim baralarında da aynı oranda yani yıllık % 10 artırılmasıyla , kritik gerilim ve kritik güç değerlerinin bu artışlarındaki değişimleri incelenmiştir.

Bu incelemeyle elde edilen değerler her yük artışı için ayrı ayrı tablo oluşturularak Tablo 5.6 a...j verilmiştir. Elde edilen değerlerden görüleceği gibi, sistemin yıllık % 10 yük artışlarına karşılık, üretim baralarında yıllık aynı artış oranında arttırılmasına rağmen kritik güç değerleri düşmektedir. Yani üretimdeki artış, yük artışları ile aynı oranlarda olmalarına rağmen artan yükü karşılayamamaktadır. Kritik güç değerlerindeki düşüş bir önceki incelemede olan sadece yük artışlarındaki kritik güç değerlerinde olmayıp, onlara yakındır. Bu değerler bu incelemede yaklaşık olarak % 10 daha iyidir.

Kritik güç değerleri bakımından sistemi incelediğimizde ; yük baralarını kritik güç bakımından büyükten küçüğe doğru sıralamak gerekirse, nominal değerlerde elde edilen kritik güçlere göre yük baraları 5-4-1-2-3 şeklinde sıralanmaktadır. Yük baralarına ve üretim baralarına yıllık % 10 bazında artış yaptığımızda, bu sıralama yük artışlarının % 40'na kadar korunmakta, % 40'lık artışta sıralama 5-1-4-2-3 olmakta, % 70'lık yük artışında bu sıralama 5-4-1-2-3 olmakta, % 100'lük artışta ise 5-1-4-3-2 şeklinde sıralanmaktadır. Kritik güç düşüş değerleri ise nominal kritik güç değerlerine göre, % 30'luk yük ve üretim artışında; en çok 5.barada , en az 3.barada meydana gelmekte, % 50'lık yük ve üretim artışında; en çok 4.barada, en az ise 3.barada, % 80'lık yük ve üretim artışında ise, yine en çok 4.barada, en az ise 3.barada güç değişleri gerçekleşmektedir. % 100'lük yük ve üretim artışında ise kritik güç değerleri nominal kritik güç değerlerinin 1 nolu barada %50.77' si, 2 nolu barada % 46.64' ü, 3 nolu barada % 53.77' si, 4 nolu barada % 33.44' ü ve 5 nolu barada % 37.96'si olarak meydana gelmektedir. En çok kritik güç düşüşü 5 nolu barada, en az 3 nolu barada gerçekleşmektedir.

Kritik gerilimler ise, elde edilen değerlerden sistem yükü ve üretim değerlerindeki yıllık % 10 artışlarla 10 yıllık bir süre içinde, yük ve üretim artışlarındaki değere göre orantısal şekilde % 10-30 arasında azalma olduğu görülmektedir. Sadece 1 ve 5 nolu baralarda tüm yük ve üretim artışları boyunca bir düşüş olmamakta, mevcut değerlerinin koruyabilmektedirler. Bu kritik güç değerlerinin düşüş ve artış oranlarını, hattın özelliği, yükün büyüklüğü, yük barasının üretim barasına yakınlığı, şönt ve seri kompanzasyon değerleri gibi faktörler etkilemektedir.

Elde edilen verileri daha iyi analiz edebilmemiz için, her yük barasının sistem yükü ve sistem üretiminin değişimlerindeki kritik güç ve kritik gerilim değişimleri grafikleştirilmiş ve yan yana verilmiştir. ( Şekil 5.5 a...e) Böylece her bara için kritik güç değişimi ile kritik gerilim değişimi aynı anda izlenebilecektir.

Ayrıca, yıllık % 10 ' luk yük ve üretim artışlarındaki, tüm yük baralarındaki kritik güç değişimlerinin aynı anda görülebilmesi için Şekil 5.7' teki grafiği oluşturulmuş. Aynı şekilde yine yük ve üretim artışlarındaki, kritik gerilim değişimlerini tüm yük baralarında görebilmemiz için şekil 5.6 oluşturulmuştur.

Bu bölümdeki incelemeden çıkan sonuç; sistemdeki belli orandaki yük artışlarının meydana getireceği kritik güç düşüşlerinin, sistemdeki üretim baralarında aynı oranda arttırılmasıyla kritik değerler üzerinde bir iyileşmenin sağlanamadığıdır.

Tablo 5.6a...j Yüklerin ve üretim baralarının yıllık % 10 arttırılması

Tablo 5.6 Mevcut sistemle yük akışı ve kritik değerler

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	3,9160	1,0072	1,5873	0,6178	28,2770	19,2340
2	3,1940	1,0042	1,9992	0,7580	23,1213	17,0130
3	3,2140	0,9980	2,8714	0,8565	21,8200	15,0360
4	3,5650	1,0000	3,0880	0,7449	21,0170	23,4540
5	4,3210	1,0209	1,8053	0,8019	34,0322	48,5220

Tablo 5.6a Yüklerin ve üretim baralarının yıllık % 10 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	4,3076	1,0042	1,7588	0,6329	26,1216	18,8360
2	3,5133	1,0004	2,2123	0,6896	23,9378	17,9360
3	3,5353	0,9941	3,1770	0,7052	23,3673	17,5890
4	3,9214	0,9953	3,4152	0,7481	20,1249	22,4300
5	4,7531	1,0186	1,9990	0,8060	32,8858	47,0690

Tablo 5.6b Yüklerin ve üretim baralarının yıllık % 20 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	4,6990	1,0012	1,9337	0,6845	22,6510	18,3270
2	3,8320	0,9965	2,4294	0,6884	22,5985	17,1890
3	3,8560	0,9893	3,4881	0,7208	21,6386	16,7190
4	4,2770	0,9904	3,7479	0,7536	19,1035	21,2010
5	5,1850	1,0162	2,1804	0,8083	31,7551	45,7990

Tablo 5.6c Yüklerin ve üretim baralarının yıllık % 30 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	5,0907	0,9952	2,0988	0,6758	21,3990	17,6390
2	4,1522	0,9900	2,6419	0,6186	23,5300	16,0290
3	4,1782	0,9822	3,8027	0,6953	21,4511	16,0230
4	4,6345	0,9836	4,0872	0,7569	18,4511	20,1240
5	5,6173	1,0129	2,3727	0,7853	34,9070	41,0060

Tablo 5.6d Yüklerin ve üretim baralarının yıllık % 40 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	5,4823	0,9868	2,2581	0,6565	20,2780	16,8210
2	4,4716	0,9814	2,8535	0,7027	19,0969	15,4490
3	4,4996	0,9732	4,1246	0,6990	20,0563	15,1240
4	4,9910	0,9753	4,4363	0,6499	22,8785	16,6840
5	6,0493	1,0090	2,5697	0,7606	34,9001	39,7110

Tablo 5.6e Yüklerin ve üretim baralarının yıllık % 50 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	5,8740	0,9782	2,4215	0,6444	18,6896	15,8520
2	4,7910	0,9725	3,0712	0,7030	17,4466	14,4930
3	4,8210	0,9400	4,4568	0,6734	19,5240	14,2000
4	5,3470	0,9667	4,7962	0,6624	21,0900	15,6850
5	6,4810	1,0050	2,7717	0,6898	37,2067	37,5810

Tablo 5.6f Yüklerin ve üretim baralarının yıllık % 60 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	6,2660	0,9687	2,5902	0,5706	18,5050	13,8960
2	5,1100	0,9628	3,2970	0,5936	18,2180	13,7040
3	5,1420	0,9538	4,8027	0,6752	17,9637	13,1620
4	5,7040	0,9570	4,1703	0,6726	19,3131	14,5960
5	6,9140	0,9970	2,9747	0,7573	30,9421	35,6810

Tablo 5.6g Yüklerin ve üretim baralarının yıllık % 70 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	6,6657	0,9588	2,7647	0,7018	13,2563	13,8780
2	5,4300	0,9525	3,5313	0,6730	14,3914	12,3020
3	5,4640	0,9430	5,1628	0,6955	15,8145	12,0500
4	6,0610	0,9468	5,5593	0,6855	17,3886	13,3760
5	7,3460	0,9939	3,1832	0,7899	26,7250	32,8730

Tablo 5.6h Yüklerin ve üretim baralarının yıllık % 80 arttırılması

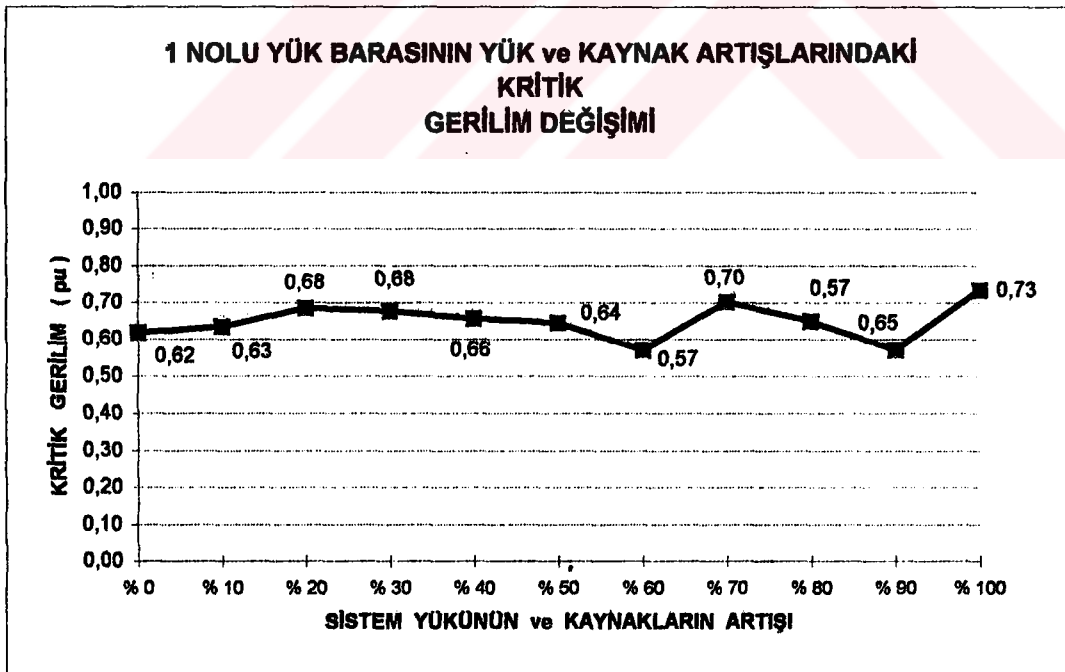
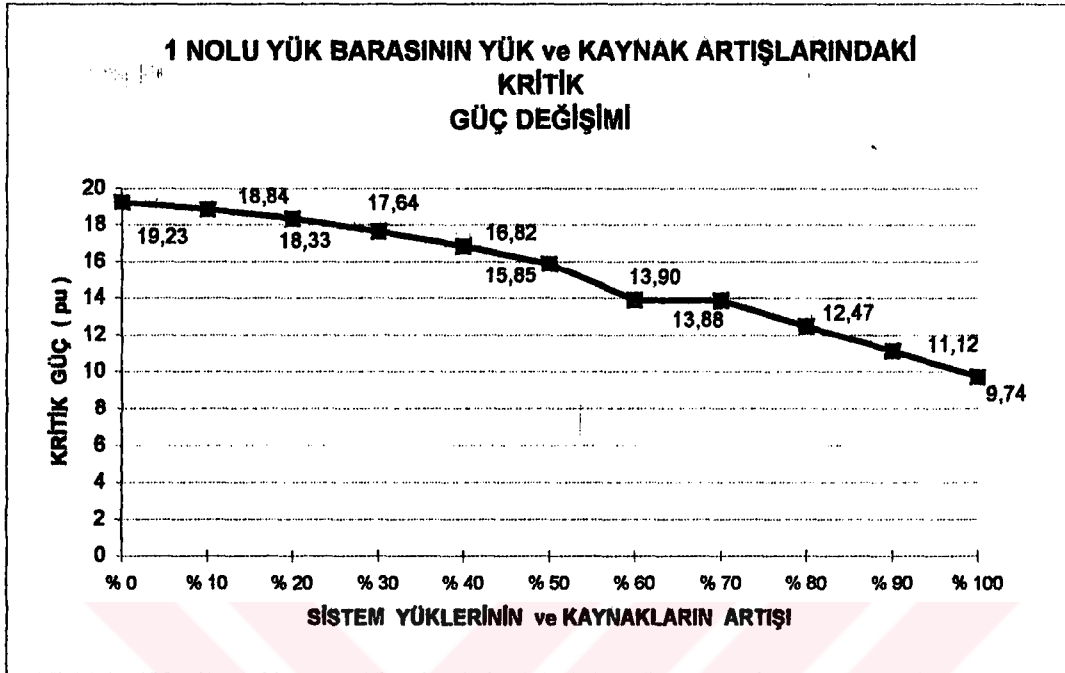
bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	7,0490	0,9387	2,9028	0,6488	11,7382	12,4650
2	5,7490	0,9321	3,7482	0,6031	13,3292	11,1850
3	5,7850	0,9231	5,5501	0,6749	14,5643	10,8640
4	6,4170	0,9287	5,9887	0,5200	20,8430	10,9370
5	7,7780	0,9841	3,4047	0,7901	23,4774	29,3950

Tablo 5.6i Yüklerin ve üretim baralarının yıllık % 90 arttırılması

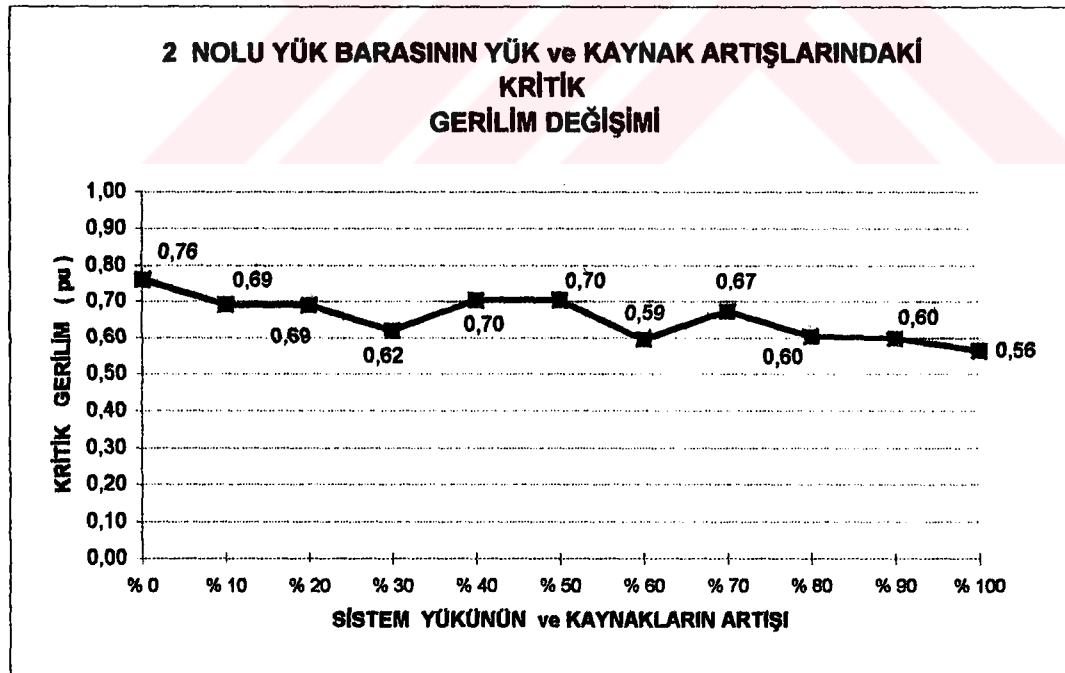
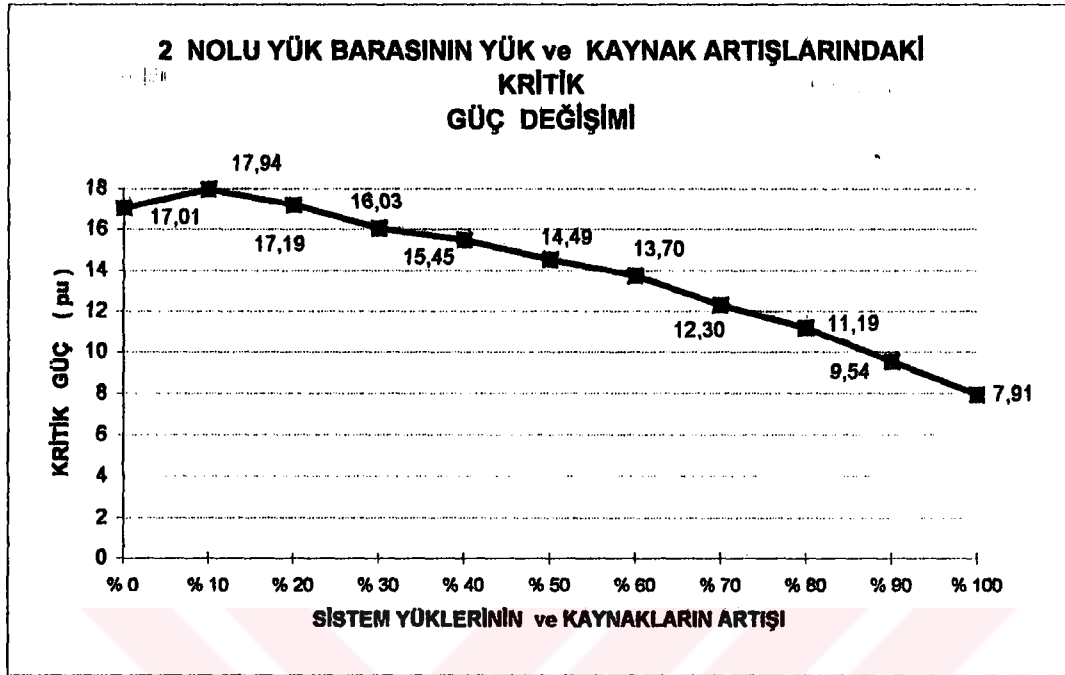
bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	7,4400	0,9058	3,0014	0,5708	9,6621	11,1170
2	6,0690	0,8988	3,9562	0,5972	10,7895	9,5350
3	6,1070	0,8916	5,9976	0,5326	15,6394	9,6790
4	6,7730	0,9004	6,4961	0,6823	13,9920	10,5510
5	8,2100	0,9691	3,6540	0,7919	19,1796	24,7590

Tablo 5.6j Yüklerin ve üretim baralarının yıllık % 100 arttırılması

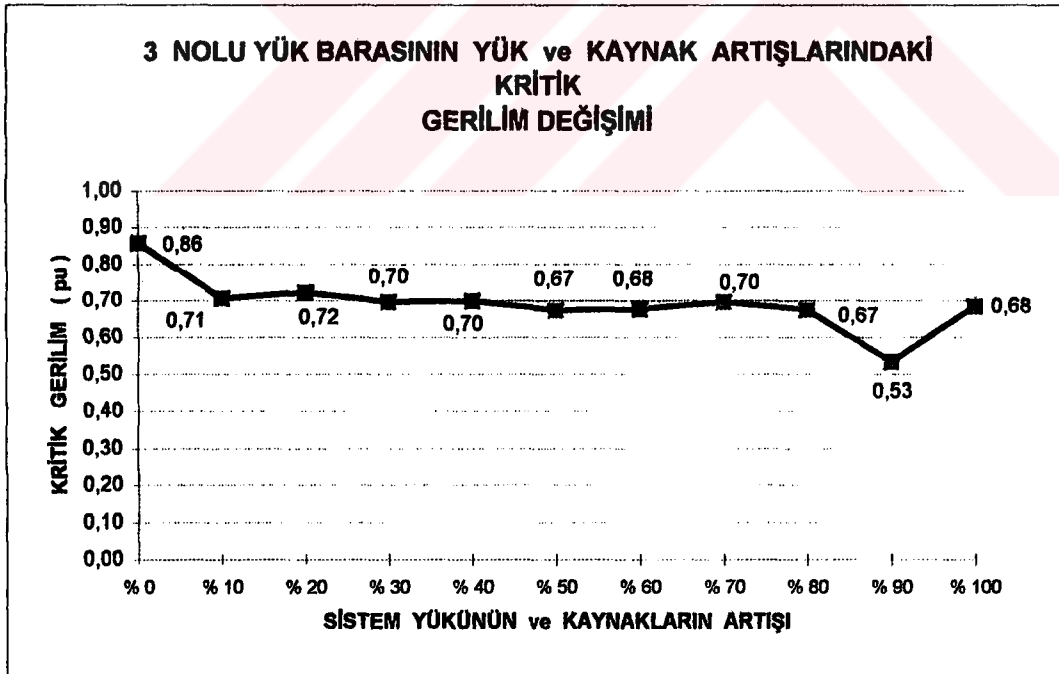
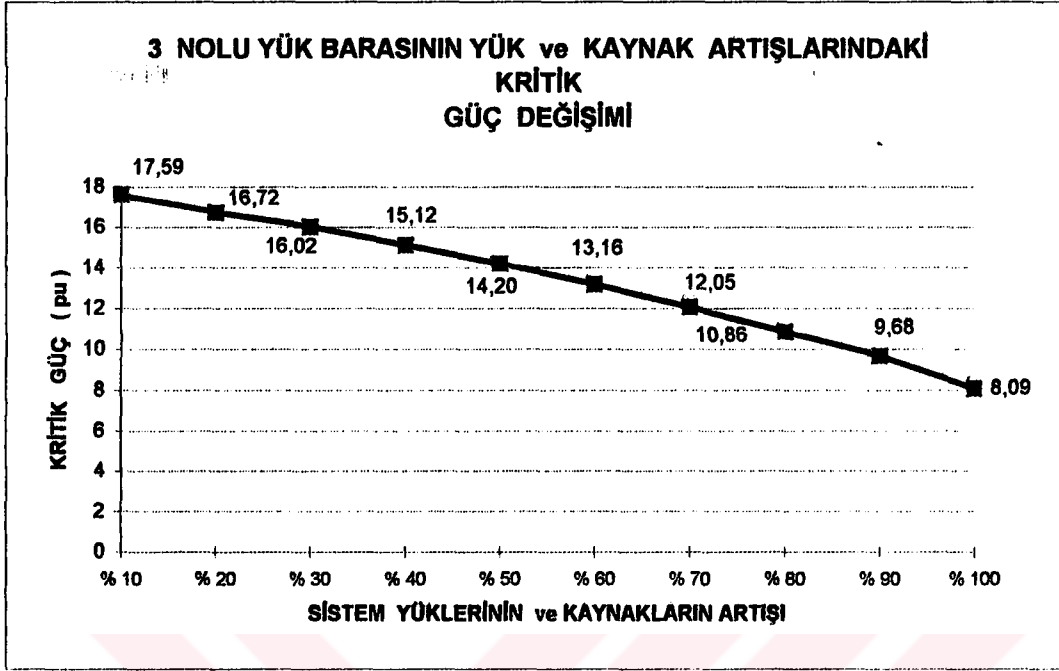
bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	7,8320	0,8585	3,0846	0,7333	5,6529	9,7390
2	6,3880	0,8510	4,1962	0,5626	8,4173	7,9110
3	6,4280	0,8461	6,5804	0,6835	10,5268	8,0860
4	7,1300	0,8592	7,1589	0,7474	10,6101	9,0170
5	8,6420	0,9451	3,9455	0,8440	12,4619	18,4200



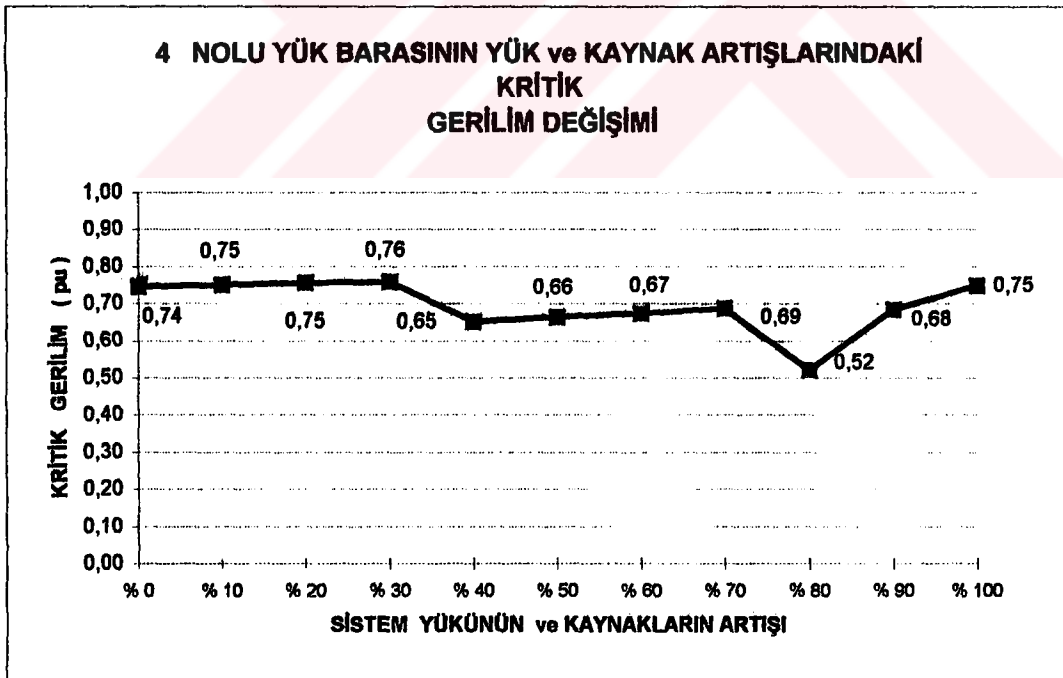
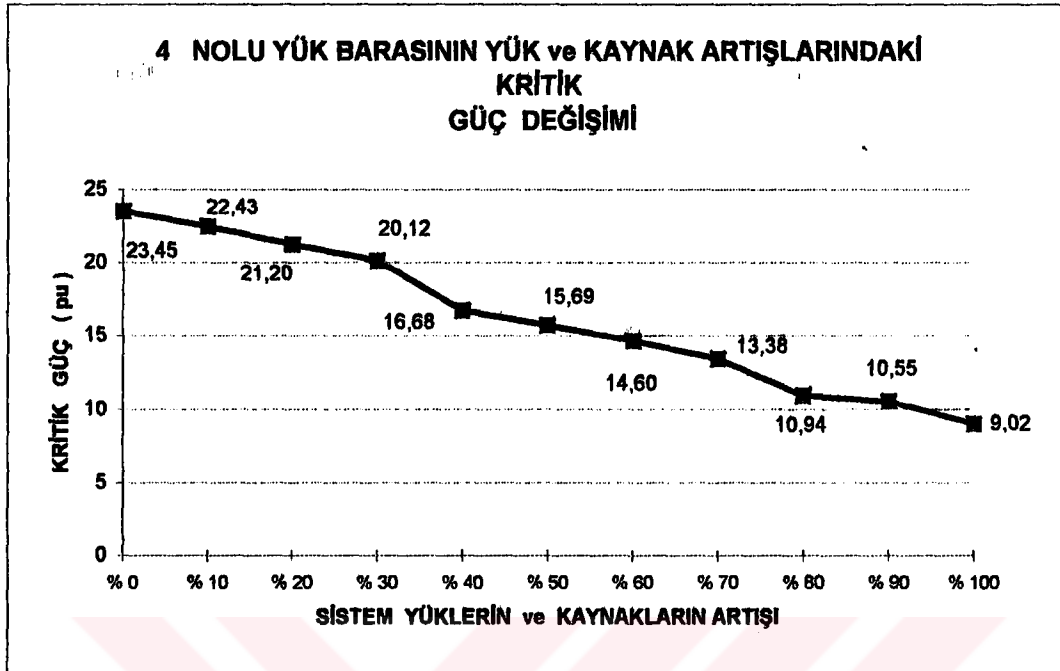
Şekil 5.5a 1 Nolu yük barasının yük ve kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi



Şekil 5.5b 2 Nolu yük barasının yük ve kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi

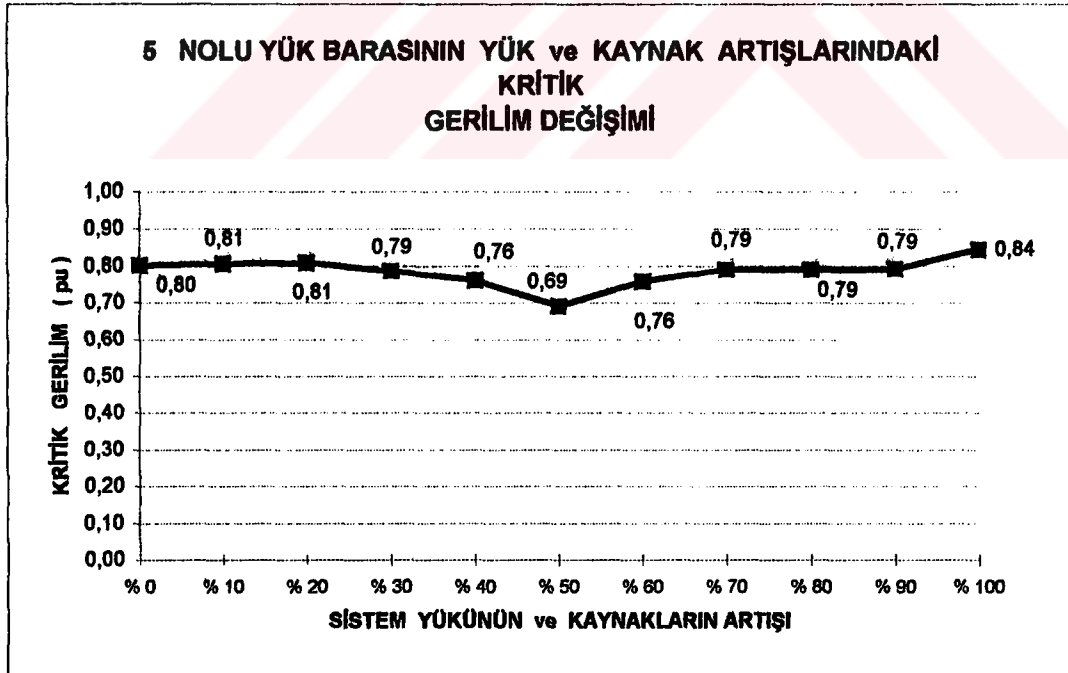
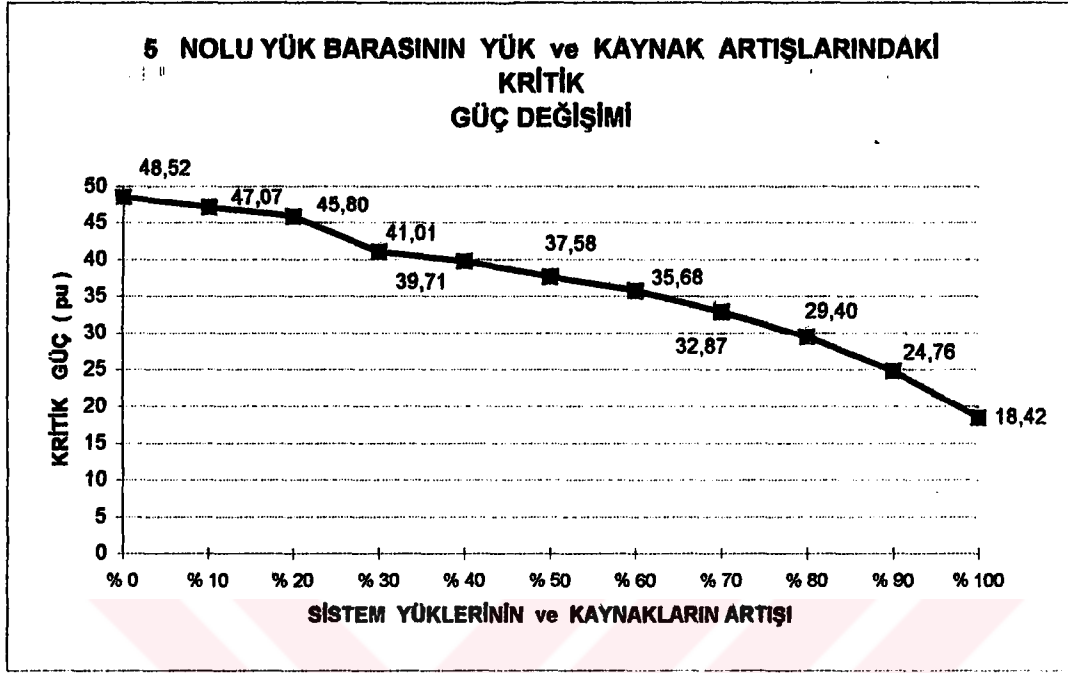


Şekil 5.5c 3 Nolu yük barasının yük ve kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi



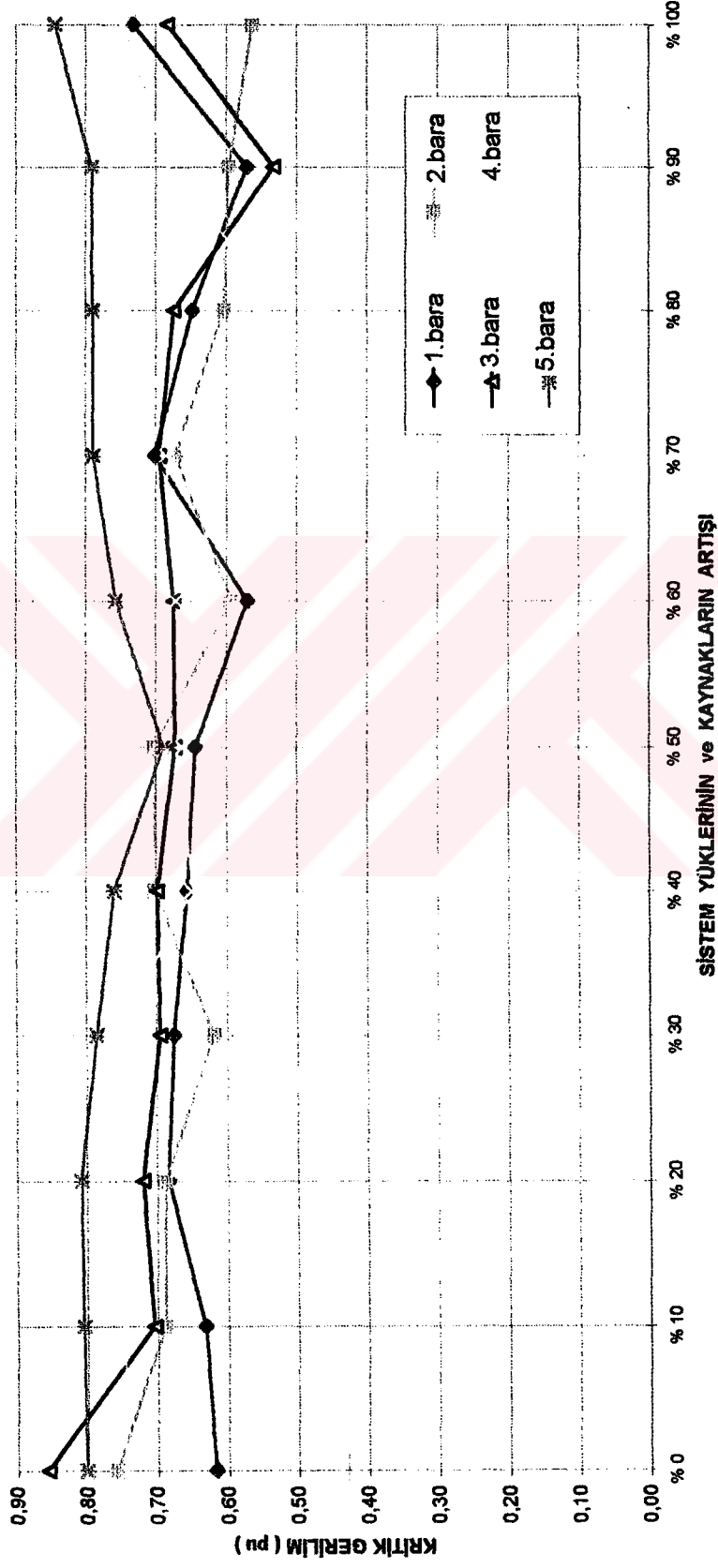
Şekil 5.5d 4 Nolu yük barasının yük ve kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi





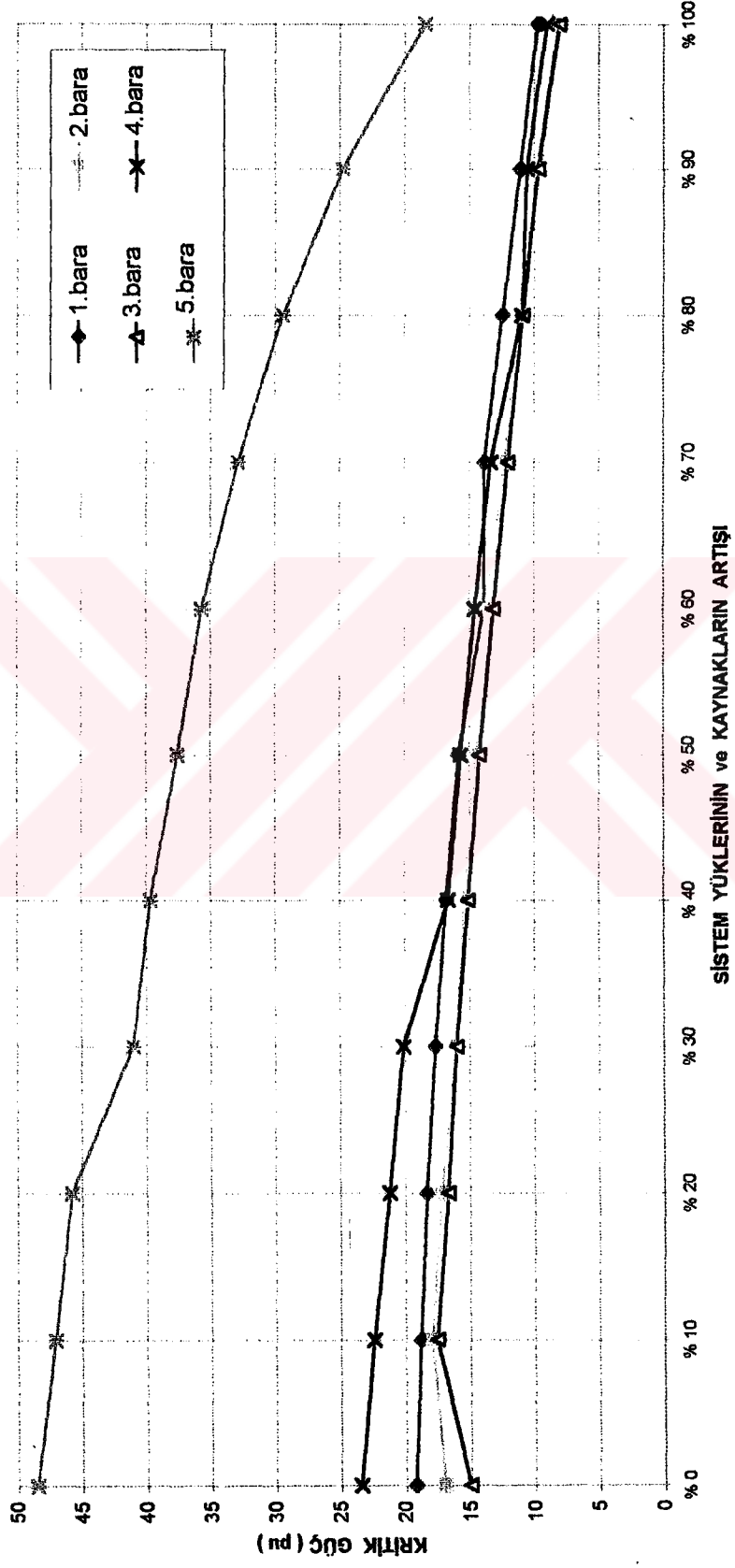
Şekil 5.5e 5 Nolu yük barasının yük ve kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi

**TÜM YÜK BARALARININ YÜK ve KAYNAK DEĞİŞİMİNDEKİ KRİTİK GERİLİM DEĞİŞİMİ**



Şekil 5.6 Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik gerilim değişimi

**TÜM YÜK BARALARININ YÜK ve KAYNAK DEĞİŞİMİNDEKİ KRİTİK GÜÇ DEĞİŞİMİ**



Şekil 5.7 Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik güç değişimi

### 5.4.3 Yükler ile doğu üretim baralarının yıllık % 10 artışı

Kuzey Batı Anadolu (KBA) enerji iletim sisteminin özelliği olarak, üretim kaynakları sistemin doğu ve batı bölgelerinde toplanmışlardır. Sistemin bu özelliğinden yararlanılarak bu incelemede, yıllık bazda sistem yükünün % 10' luk artışına karşılık, aynı oranda doğu üretim kaynaklarının da (üretim baraları) aynı oranda arttırıldığı kabulü ile gerilim kararlılığı bakımından, kritik güç ve kritik gerilim değişimleri incelenmiştir.

Hesaplanan değerler tüm yük baraları için ve her artış oranı için ayrı ayrı düzenlenerek Tablo 5.7a...j verilmiştir. Bu tablolardaki veriler incelendiğinde, yüklerle birlikte doğu üretim kaynaklarında yıllık bazda % 10 olarak arttırıldığında kritik güç değerleri düşmekte, kritik gerilim değerleri ise belli bir oranda artmaktadır.

Kritik gerilim değerleri bakımından sistemi incelediğimizde ; yük ve üretim artışlarında yük baralarının kritik güç değerleri düşükçe, kritik gerilim değerleri % 0-10 düzeyinde artmaktadır. Sadece 2 nolu yük barasında başlangıçta % 15 düşüş olmakta daha sonra yük arttıkça bu düşüş azalmakta ve artma yapmaktadır. 3 ve 4 nolu yük baralarında ise, % 70-100 yük artışları arasında yaklaşık % 10' luk bir kritik gerilim düşümü meydana gelmektedir.

Kritik güçler bakımından inceleme yapılırsa, kritik güçlerin yük ve doğu kaynaklarının aynı oranda artmasına rağmen düşmekte olduğudur. Bu düşüş oranı, sadece yüklerin artışlarının yapıldığı 1. İnceleme ile hem yük hem de üretim baralarının arttırılması ile yapılan 2. İnceleme değerlerinin arasında çıkmaktadır. Daha çok sadece yüklerin arttırıldığı incelemeye daha yakındır. Çünkü doğu üretim kaynakları sistem içinde düşük kapasiteye sahip olmalarındandır. Sistem yükündeki artışların, doğu üretim kaynakları aynı oranlarda arttırılmasıyla karşılanması mümkün değildir. Yük baralarını kritik güç bakımından büyükten küçüğe doğru sıralamak gerekirse, nominal değerlerde elde edilen kritik güçlere göre yük baraları

5-4-1-2-3 şeklinde sıralanmaktadır. Yük baralarına ve doğu üretim baralarına yıllık % 10 bazında artış yaptığımızda, bu sıralama yük artışlarının % 40 kadar korunmakta, % 40' lık artışta sıralama 5-1-2-4-3 olmakta, % 70' lık yük artışında bu sıralama 5-4-1-2-3 olmakta, % 80' luk artışta ise 5-1-4-2-3 şeklinde, % 90' luk artışta ise 5-4-1-3-2 şeklinde, % 100' luk artışta ise 5-1-4-3-2 şeklinde sıralanmaktadır. Kritik güç düşüş değerleri ise nominal kritik güç değerlerine göre, % 30' luk yük ve doğu üretimi artışında en çok 4.barada, en az 2.barada meydana gelmekte, % 50' lık yük ve doğu üretimi artışında en çok 4.barada, en az ise 2.barada, % 80' lık yük ve doğu üretimi artışında ise, yine en çok 4.barada, en az ise 3.barada güç değişleri gerçekleşmektedir. % 100' luk yük ve doğu üretimi artışında ise kritik güç değerleri nominal kritik güç değerlerinin 1 nolu barada % 51.16' si, 2 nolu barada % 48.85' i, 3 nolu barada % 56.34' ü, 4 nolu barada % 41.34' ü ve 5 nolu barada % 41.99'su olarak meydana gelmektedir. En çok kritik güç düşüşü 4 nolu barada, en az 3 nolu barada gerçekleşmektedir.

Elde edilen verileri daha iyi analiz edebilmemiz için, her yük barasının sistem yükü ve sistem üretiminin değişimlerindeki kritik güç ve kritik gerilim değişimleri grafikleştirilmiş ve birlikte verilmiştir. ( Şekil 5.8 a...e) Böylece her bara için kritik güç değişimi ile kritik gerilim değişimi aynı anda izlenebilecektir.

Ayrıca, yıllık % 10 ' luk yük ve doğu üretim artışlarındaki, tüm yük baralarındaki kritik güç değişimlerinin aynı anda görülebilmesi için Şekil 5.10' teki grafiği oluşturulmuş. Aynı şekilde gene yük ve doğu üretim artışlarındaki, kritik gerilim değişimlerini, tüm yük baralarında görebilmemiz için şekil 5.9 oluşturulmuştur.

Bu bölümdeki incelemeden çıkan sonuç; sistemdeki belli orandaki yük artışlarının meydana getireceği kritik güç düşüşlerinin, sistemdeki üretim kaynaklarından, kapasitesi düşük doğu üretim kaynaklarının aynı oranda artırılmasıyla değişmeyeceğidir. Ancak bu kaynaklara yakın yük baralarında çok az iyileşme olmaktadır

Tablo 5.7a...j Yüklerin ve doğu üretim baralarının yıllık % 10 arttırılması

Tablo 5.7 Mevcut sistemle yük akışı ve kritik değerler

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	3,9160	1,0072	1,5873	0,6178	28,2770	19,2340
2	3,1940	1,0042	1,9992	0,7580	23,1213	17,0130
3	3,2140	0,9980	2,8714	0,8565	21,8200	15,0360
4	3,5650	1,0000	3,0880	0,7449	21,0170	23,4540
5	4,3210	1,0209	1,8053	0,8019	34,0322	48,5220

Tablo 5.7a Yüklerin ve doğu üretim baralarının yıllık % 10 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	4,3076	1,0044	2,8470	0,6778	25,7106	18,7190
2	3,5133	1,0006	3,2749	0,6079	28,7964	17,6620
3	3,5353	0,9942	4,1115	0,8568	22,1420	14,2580
4	3,9214	0,9953	4,2252	0,7488	20,8766	22,1460
5	4,7531	1,0184	2,4701	0,8051	33,2079	46,6070

Tablo 5.7b Yüklerin ve doğu üretim baralarının yıllık % 20 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	4,6992	1,0016	4,1217	0,6551	27,1032	17,8300
2	3,8327	0,9969	4,5659	0,6561	26,6526	16,8000
3	3,8567	0,9894	5,3665	0,8575	21,9918	13,4830
4	4,2779	0,9903	5,3754	0,7555	20,6011	20,6240
5	5,1852	1,0157	3,1402	0,8106	32,1727	44,3620

Tablo 5.7c Yüklerin ve doğu üretim baralarının yıllık % 30 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	5,0907	0,9957	5,5079	0,6724	25,8874	17,0260
2	4,1522	0,9905	5,8729	0,6618	26,4083	15,8530
3	4,1782	0,9822	6,6419	0,8582	21,8231	12,6910
4	4,6345	0,9833	6,5451	0,7554	20,5722	19,6030
5	5,6172	1,0121	3,8182	0,8161	31,0236	42,0630

Tablo 5.7d Yüklerin ve doğu üretim baralarının yıllık % 40 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	5,4823	0,9873	6,7173	0,6774	25,6130	16,1390
2	4,4716	0,9819	7,2072	0,6926	25,1059	14,8550
3	4,4996	0,9731	7,9474	0,8597	22,1627	11,9240
4	4,9910	0,9746	7,7420	0,9505	22,2440	13,7100
5	6,0493	1,0077	4,5072	0,8187	29,9261	39,9890

Tablo 5.7e Yüklerin ve doğu üretim baralarının yıllık % 50 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	5,8739	0,9783	8,0622	0,6448	26,8722	15,1960
2	4,7910	0,9727	8,5785	0,6885	25,2364	13,8950
3	4,8210	0,9632	9,2893	0,8595	21,8107	11,0890
4	5,3475	0,9650	8,9701	0,8518	22,4173	12,9440
5	6,4814	1,0025	5,2064	0,8873	30,9925	33,8370

Tablo 5.7f Yüklerin ve doğu üretim baralarının yıllık % 60 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	6,2660	0,9683	9,4535	0,6901	24,8725	14,2860
2	5,1100	0,9625	9,9982	0,6653	26,1299	12,9340
3	5,1420	0,9522	10,6792	0,8599	21,7264	10,2700
4	5,7040	0,9542	10,2398	0,8545	21,6802	12,0090
5	6,9140	0,9958	5,9167	0,8095	30,2382	33,4200

Tablo 5.7g Yüklerin ve doğu üretim baralarının yıllık % 70 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	6,6570	0,9578	10,8931	0,6982	24,3876	13,3140
2	5,4300	0,9517	11,4681	0,7267	23,4664	11,7040
3	5,4640	0,9405	12,1185	0,7320	23,3819	11,5410
4	6,0600	0,9427	11,5523	0,7723	19,5507	14,1790
5	7,3460	0,9886	6,6431	0,8418	24,7399	31,1240

Tablo 5.7h Yüklerin ve doğu üretim baralarının yıllık % 80 arttırılması

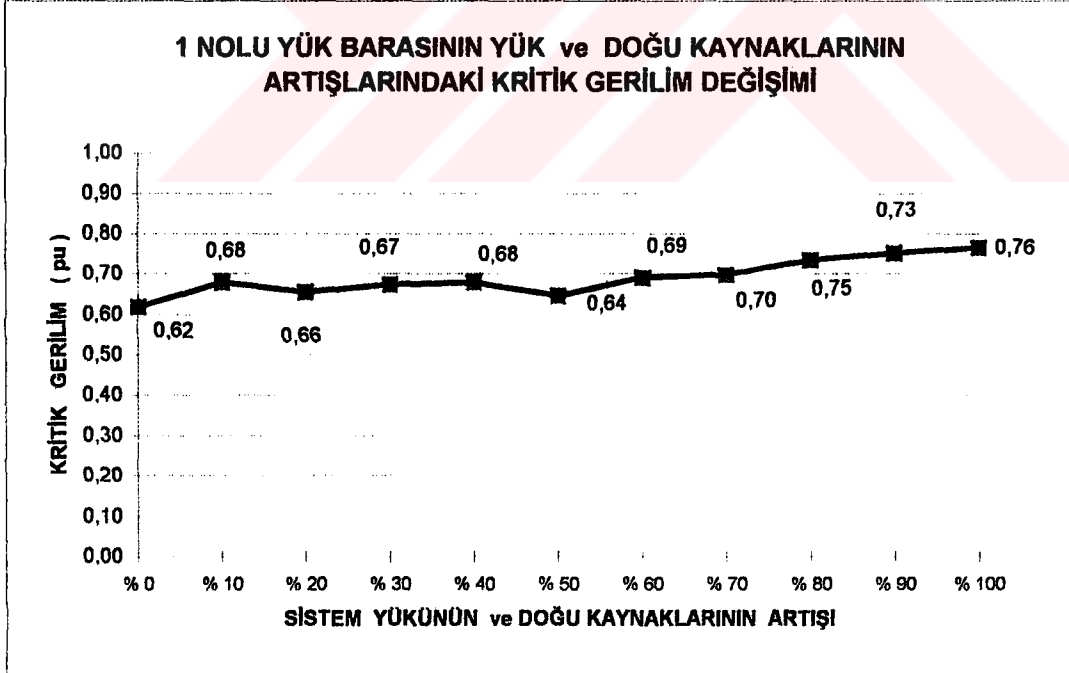
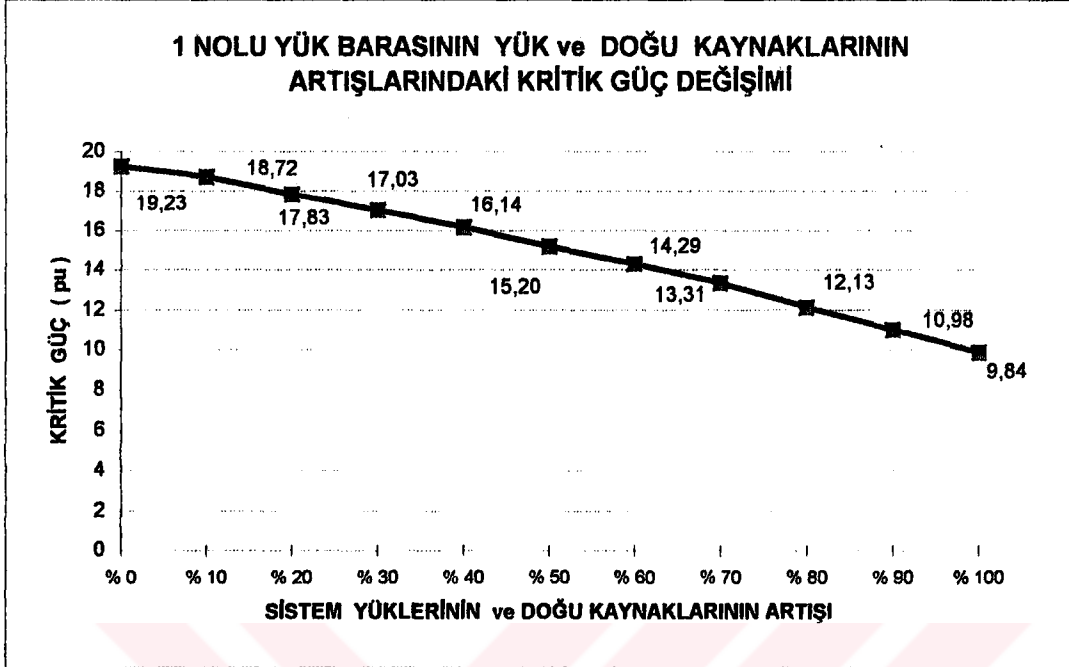
bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	7,0490	0,9408	12,4181	0,7343	22,6954	12,1280
2	5,7490	0,9344	13,0325	0,7540	22,1730	10,4320
3	5,7850	0,9228	13,6610	0,7423	21,9926	10,0604
4	6,4170	0,9259	12,9564	0,7623	21,5843	11,4740
5	7,7780	0,9787	7,3994	0,9030	23,8433	26,2250

Tablo 5.7i Yüklerin ve doğu üretim baralarının yıllık % 90 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	7,4400	0,9108	14,1200	0,7518	21,7497	10,9820
2	6,0690	0,9041	14,7933	0,7622	21,6923	9,3060
3	6,1070	0,8933	15,4185	0,7218	23,7219	9,6180
4	6,7730	0,8987	14,5501	0,6865	24,6355	10,9970
5	8,2100	0,9631	8,2151	0,9149	19,6052	21,6270

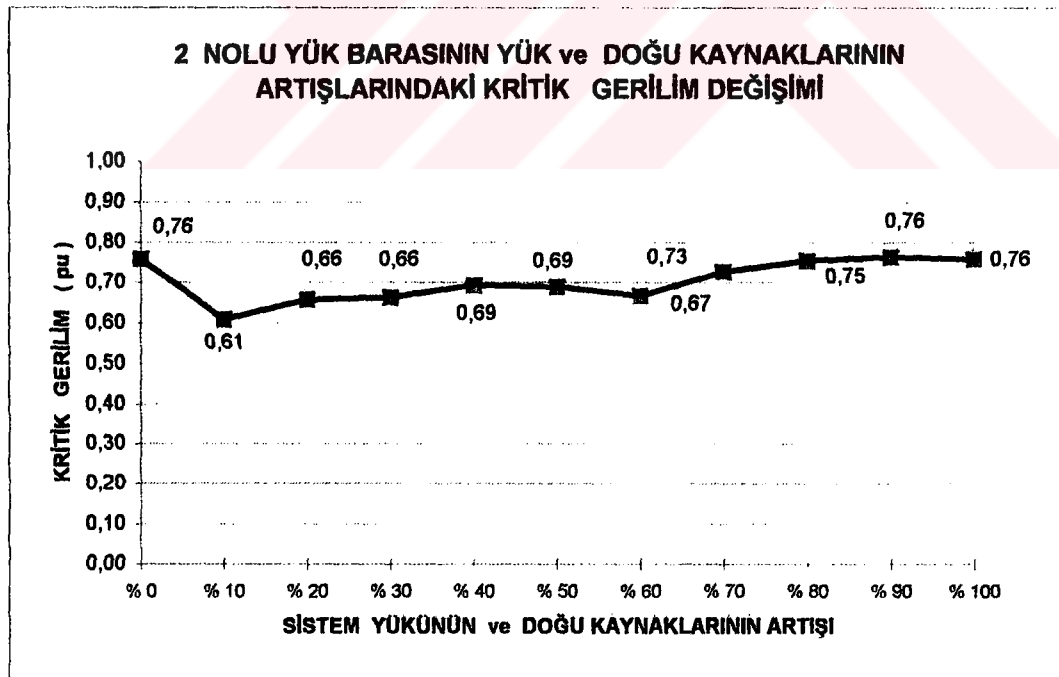
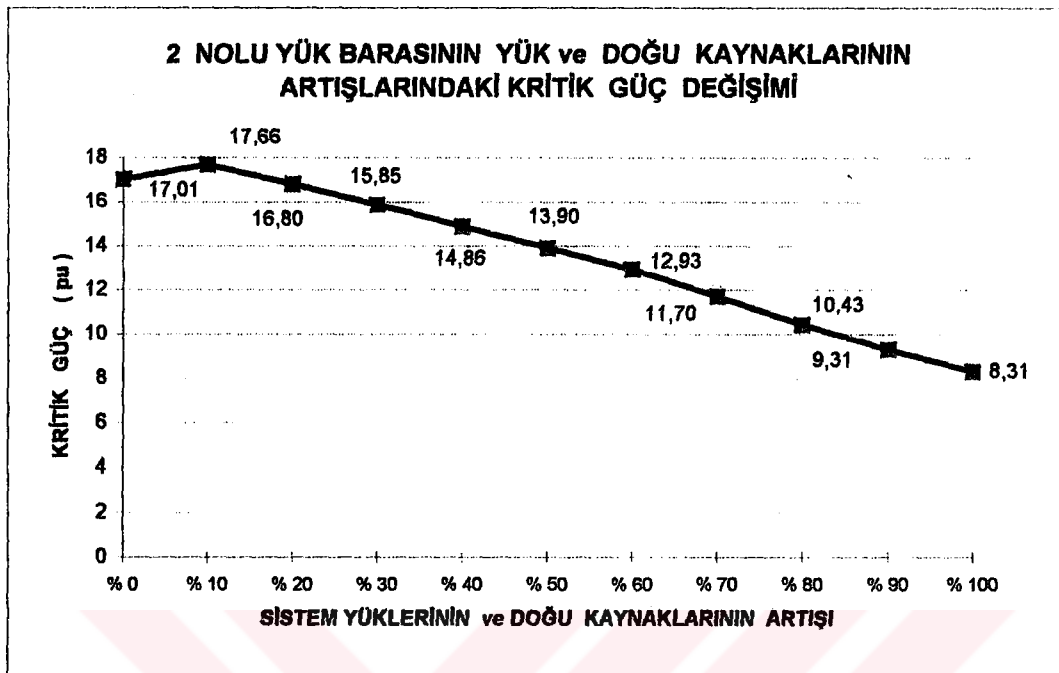
Tablo 5.7j Yüklerin ve doğu üretim baralarının yıllık % 100 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	7,8320	0,8632	16,1846	0,7643	20,9915	9,8410
2	6,3880	0,8606	16,9462	0,7581	21,7468	8,3110
3	6,4280	0,8504	17,5859	0,7354	23,0277	8,4720
4	7,1300	0,8583	16,5005	0,7194	22,9535	9,6970
5	8,6420	0,9366	98,1218	0,8149	20,4558	20,3760

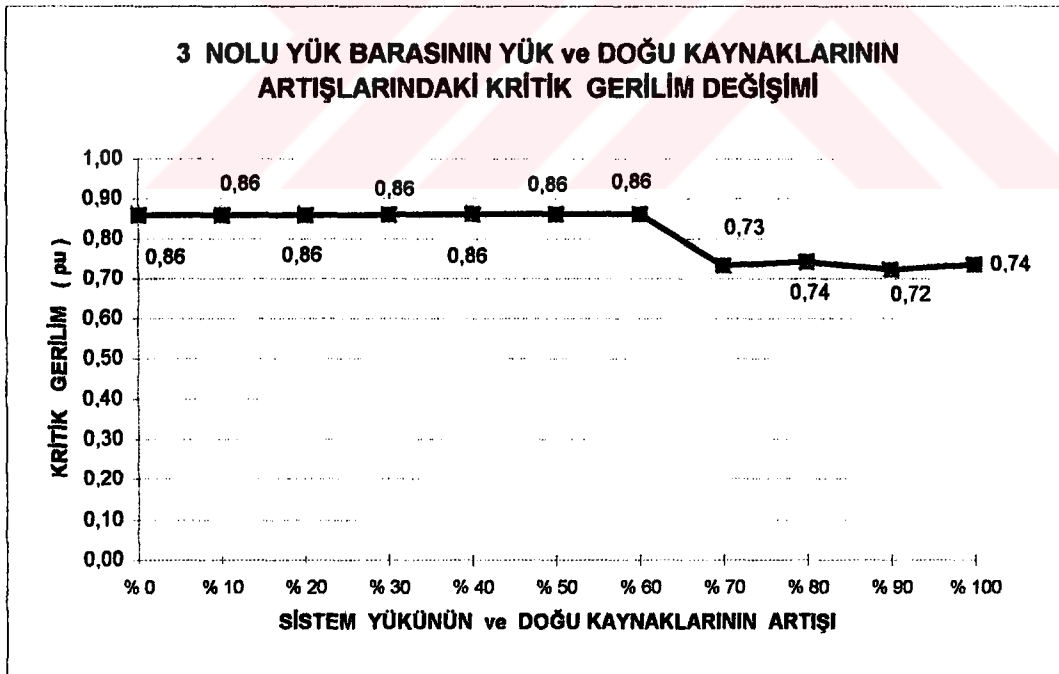
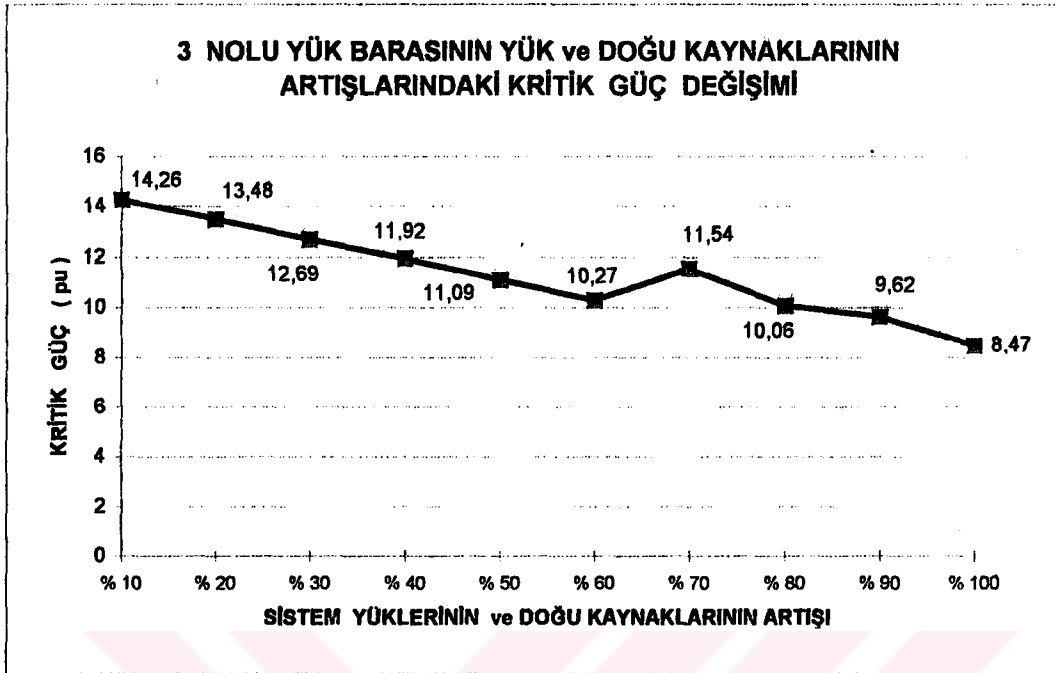


Şekil 5.8a 1 Nolu yük barasının yük ve doğu kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi

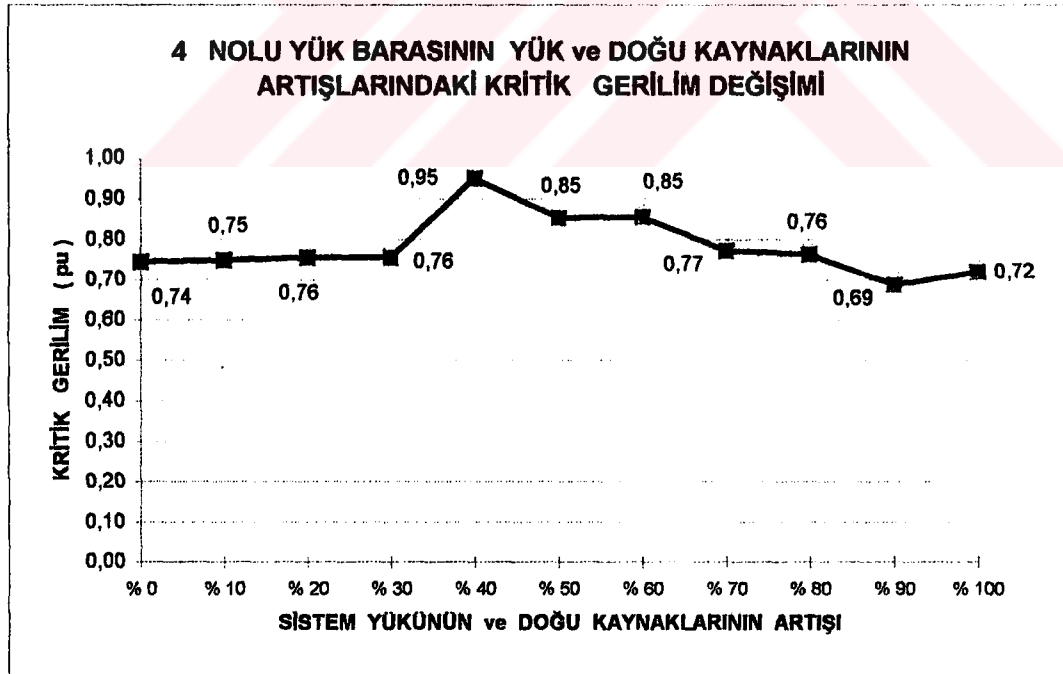
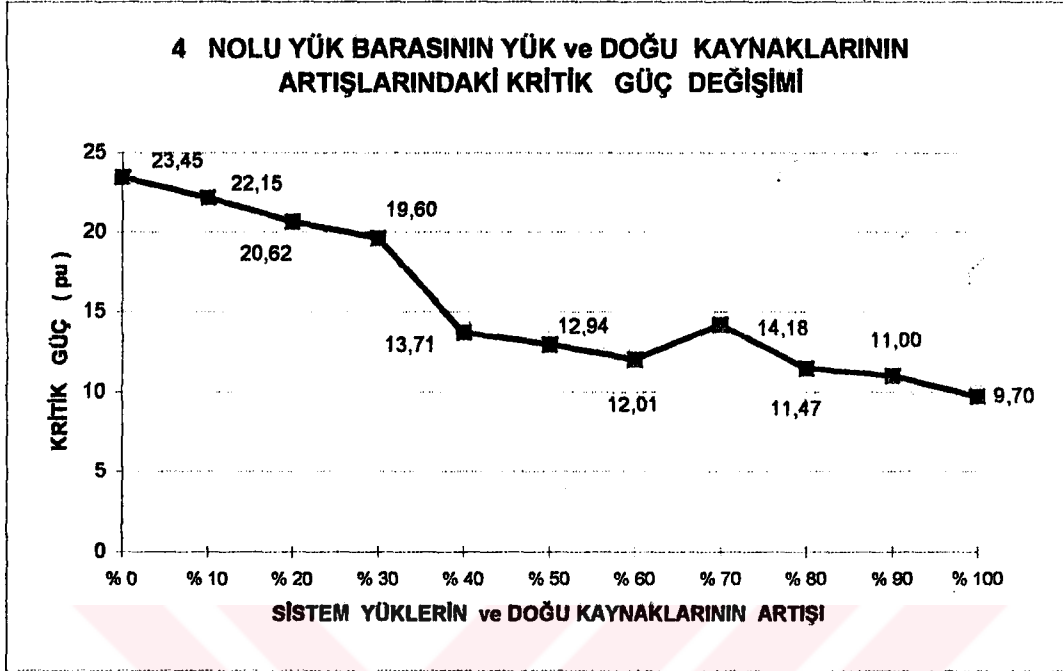




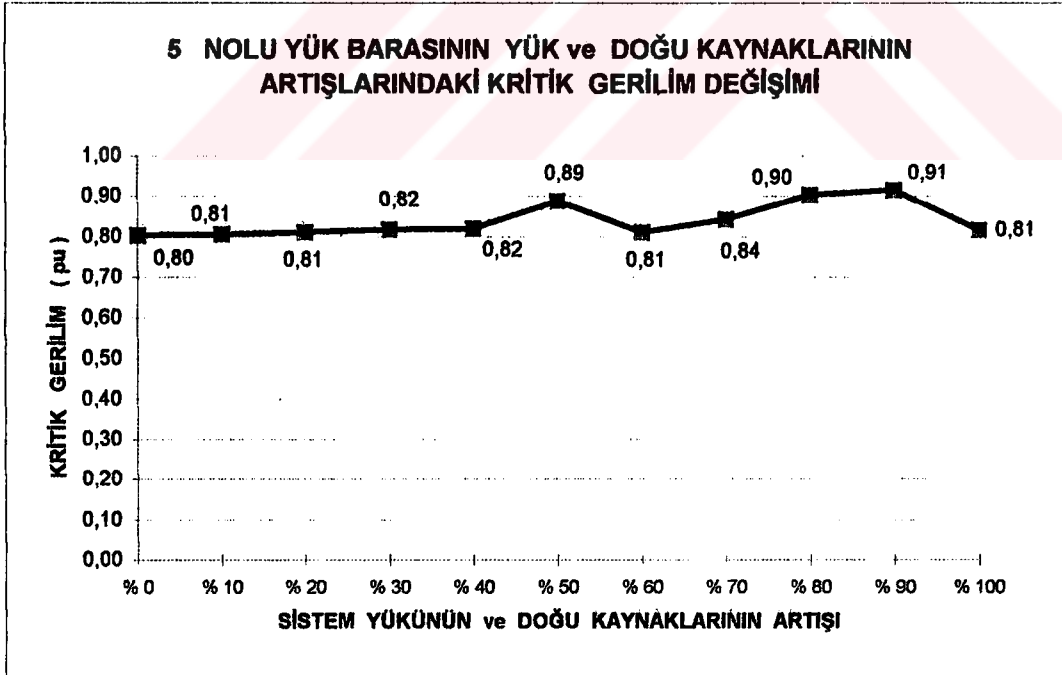
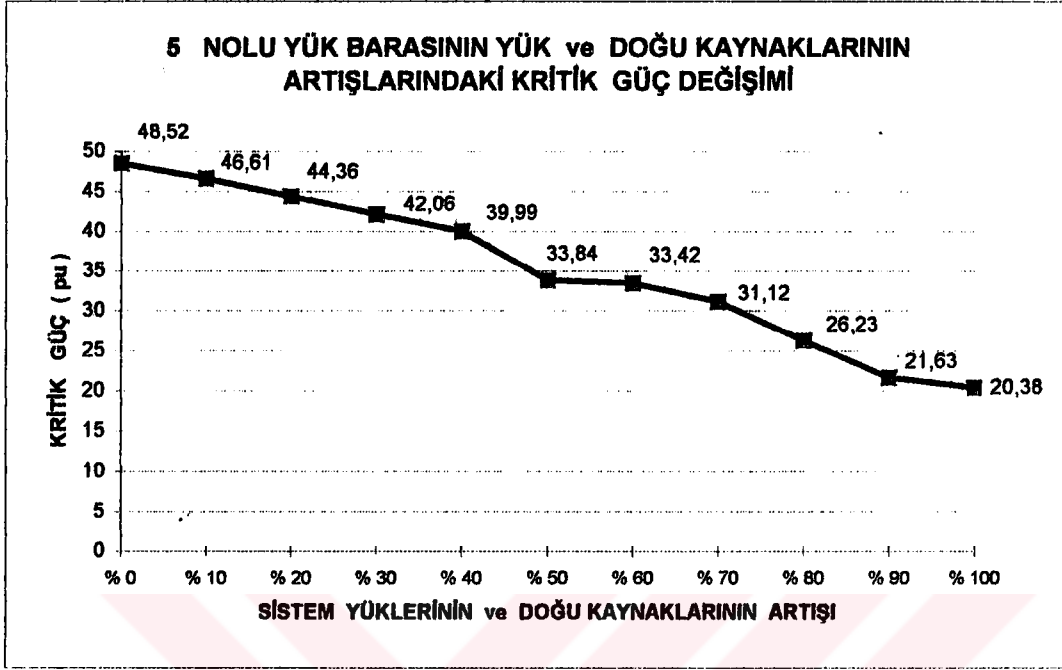
Şekil 5.8b 2 Nolu yük barasının yük ve doğü kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değışimi



Şekil 5.8c 3 Nolu yük barasının yük ve doğü kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değışimi

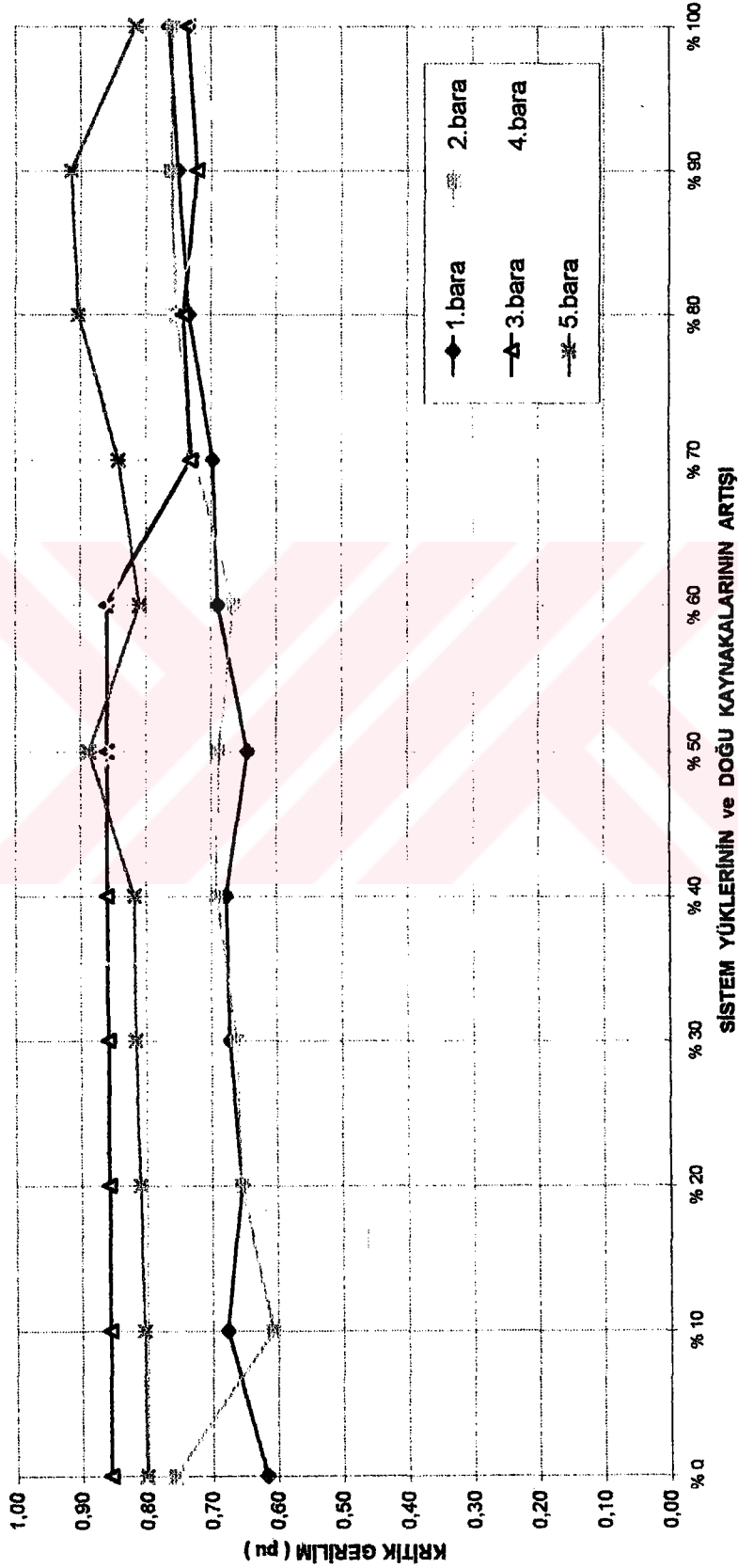


Şekil 5.8d 4 Nolu yük barasının yük ve doğu kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi



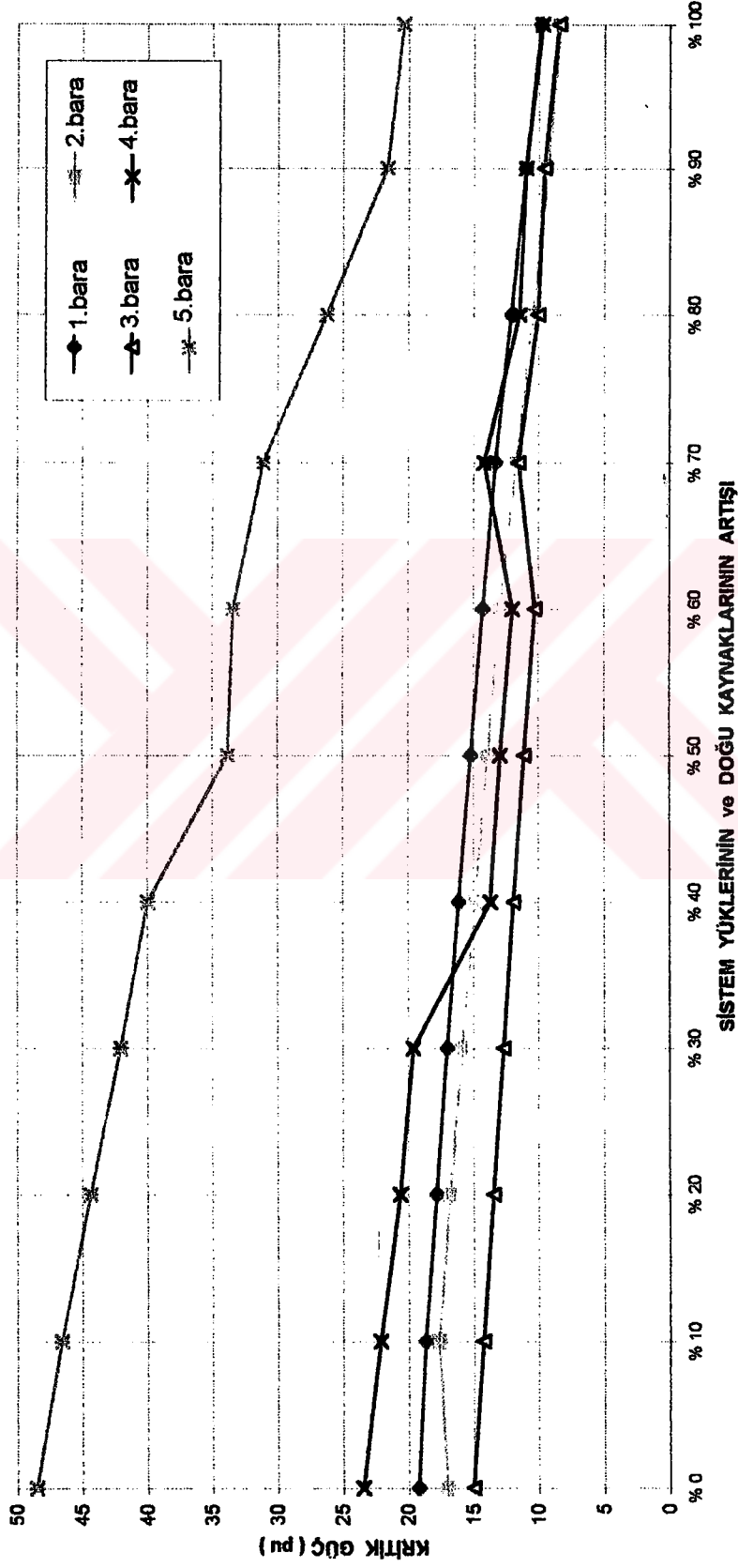
Şekil 5.8e 5 Nolu yük barasının yük ve doğu kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi

**TÜM YÜK BARALARININ YÜK ve DOĞU KAYNAKALRININ DEĞİŞİMİNDEKİ  
KRİTİK GERİLİM DEĞİŞİMİ**



**Şekil 5.9 Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik gerilim değişimi**

**TÜM YÜK BARALARININ YÜK ve DOĞU KAYNAKLARININ DEĞİŞİMİNDEKİ KRİTİK GÜÇ DEĞİŞİMİ**



Şekil 5.10 Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik güç değişimi

#### 5.4.4 Yükler ile batı üretim baralarının yıllık % 10 artışı

Bu incelemede ise, yıllık bazda sistem yüküyle, sistemi besleyen batı üretim kaynaklarının da % 10 oranında artırılması sonucunda 10 yıllık süre içinde kritik güç ve kritik gerilimdeki değişim incelenmiştir.

Hesaplanan değerler tüm yük baraları için ve her artış oranı için ayrı ayrı düzenlenerek Tablo 5.8 a...j verilmiştir. Bu tablolardaki veriler incelendiğinde, yüklerle birlikte batı üretim kaynaklarında yıllık bazda % 10 olarak arttırıldığında, kritik güç değerleri düşmekte, kritik gerilim değerleri ise bazı baralar dışında % 10-20 değerleri arasında artmaktadır. 2 ve 3 nolu yük baralarındaki kritik gerilim değerleri yük artışlarına bağlı olarak % 10-15 düzeyinde azalmakta veya değerlerini korumaktadırlar.

Kritik güçler bakımından inceleme yapılırsa, kritik güçlerin, yük ve kapasitesi yüksek batı kaynaklarının aynı oranda artmasına rağmen düşmekte olduğudur. Yük baralarını kritik güç bakımından büyükten küçüğe doğru sıralamak gere-kirse, nominal değerlerde elde edilen kritik güçlere göre yük baraları 5-4-1-2-3 şeklinde sıralanmaktadır. Yük baralarına ve batı üretim baralarına yıllık % 10 bazında artış yaptığımızda, bu sıralama yük artışlarının % 30 kadar korunmakta, % 30' lık artışta sıralama 5-4-1-2-3 olmakta, % 70' lik yük artışında bu sıralama 5-1-2-3-4 olmaktadır. % 100' luk yük ve batı üretimi artışında ise kritik güç değerleri nominal kritik güç değerlerinin 1 nolu barada % 49.77' si, 2 nolu barada % 47.18' i, 3 nolu barada % 52.22' si, 4 nolu barada % 37.47' si ve 5 nolu barada % 32.39' ü olarak meydana gelmektedir. En çok kritik güç düşüşü 5 nolu barada, en az 3 nolu barada gerçekleşmektedir.

Elde edilen verileri daha iyi analiz edebilmemiz için, her yük barasının sistem yükü ve sistem üretiminin değişimlerindeki kritik güç ve kritik gerilim değişimleri grafikleştirilmiş ve birlikte verilmiştir.( Şekil 5.11 a...e) Ayrıca, yıllık % 10' luk yük ve batı üretim artışlarındaki, tüm yük baralarındaki kritik güç ve gerilim değişimlerinin aynı anda görülebilmesi için şekil 5.12 ve şekil 5.13'teki grafikler oluşturulmuş.

Tablo 5.8a...j Yüklerin ve batı üretim baralarının yıllık % 10 arttırılması

Tablo 5.8 Mevcut sistemle yük akışı ve kritik değerler

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	3,9160	1,0072	1,5873	0,6178	28,2770	19,2340
2	3,1940	1,0042	1,9992	0,7580	23,1213	17,0130
3	3,2140	0,9980	2,8714	0,8565	21,8200	15,0360
4	3,5650	1,0000	3,0880	0,7449	21,0170	23,4540
5	4,3210	1,0209	1,8053	0,8019	34,0322	48,5220

Tablo 5.8a Yüklerin ve batı üretim baralarının yıllık % 10 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	4,3076	1,0042	1,9600	0,6606	25,2315	18,9600
2	3,5133	1,0004	2,4230	0,6875	24,2423	17,9180
3	3,5353	0,9941	3,4060	0,7026	23,7204	17,5740
4	3,9214	0,9953	3,6620	0,7529	11,3150	22,0210
5	4,7531	1,0187	2,2860	0,8125	32,6523	45,9170

Tablo 5.8b Yüklerin ve batı üretim baralarının yıllık % 20 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	4,6992	1,0012	2,3360	0,6579	24,0466	18,3010
2	3,8327	0,9965	2,8520	0,6503	24,4394	17,1070
3	3,8567	0,9894	3,9480	0,7129	22,4432	16,7190
4	4,2779	0,9905	4,2430	0,7546	19,5481	21,0810
5	5,1852	1,0163	2,7720	0,8118	31,7580	44,6730

Tablo 5.8c Yüklerin ve batı üretim baralarının yıllık % 30 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	5,0907	0,9952	2,7047	0,6835	21,7826	17,5690
2	4,1522	0,9900	3,2786	0,7071	21,1419	16,2450
3	4,1782	0,9822	4,4952	0,7109	21,6058	15,8820
4	4,6345	0,9838	4,8340	0,8483	20,7682	14,7430
5	5,6170	1,0132	3,2641	0,7893	35,0238	39,9500

Tablo 5.8d Yüklerin ve batı üretim baralarının yıllık % 40 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	5,4823	0,9868	3,0686	0,6788	20,4753	16,7790
2	4,4716	0,9814	3,7056	0,7229	19,3088	15,2570
3	4,4996	0,9733	5,0520	0,6969	21,1258	15,0430
4	4,9910	0,9755	5,4369	0,7629	17,9857	18,7510
5	6,0494	1,0094	3,7643	0,8124	32,1120	37,7180



Tablo 5.8d Yüklerin ve batı üretim baralarının yıllık % 50 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (Vkrt)	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (Pkrt)
1	5,8740	0,9780	3,4381	0,6361	20,0117	15,7200
2	4,7910	0,9720	4,1405	0,6951	18,7896	14,4260
3	4,8210	0,9640	5,6215	0,6962	20,0558	14,0810
4	5,3470	0,9669	6,0536	0,7341	19,9051	15,2940
5	6,4810	1,0054	4,2729	0,7812	32,6045	36,2310

Tablo 5.8e Yüklerin ve batı üretim baralarının yıllık % 60 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (Vkrt)	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (Pkrt)
1	6,2660	0,9684	3,8158	0,6505	17,7490	14,8000
2	5,1100	0,9625	4,5860	0,7069	16,9314	13,3380
3	5,1420	0,9536	6,2090	0,6870	19,1462	13,0600
4	5,7040	0,9570	6,6897	0,7209	19,4085	14,3300
5	6,9140	0,9998	4,7880	0,7703	31,2722	33,8640

Tablo 5.8f Yüklerin ve batı üretim baralarının yıllık % 70 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (Vkrt)	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (Pkrt)
1	6,6570	0,9584	4,2013	0,7605	13,3060	13,3630
2	5,4300	0,9521	5,0442	0,6981	15,4753	12,2200
3	5,4640	0,9427	6,8143	0,6835	17,9256	11,9380
4	6,0610	0,9467	7,3446	0,8584	16,3101	11,1730
5	7,3460	0,9941	5,3146	0,8121	26,7786	30,6680

Tablo 5.8g Yüklerin ve batı üretim baralarının yıllık % 80 arttırılması

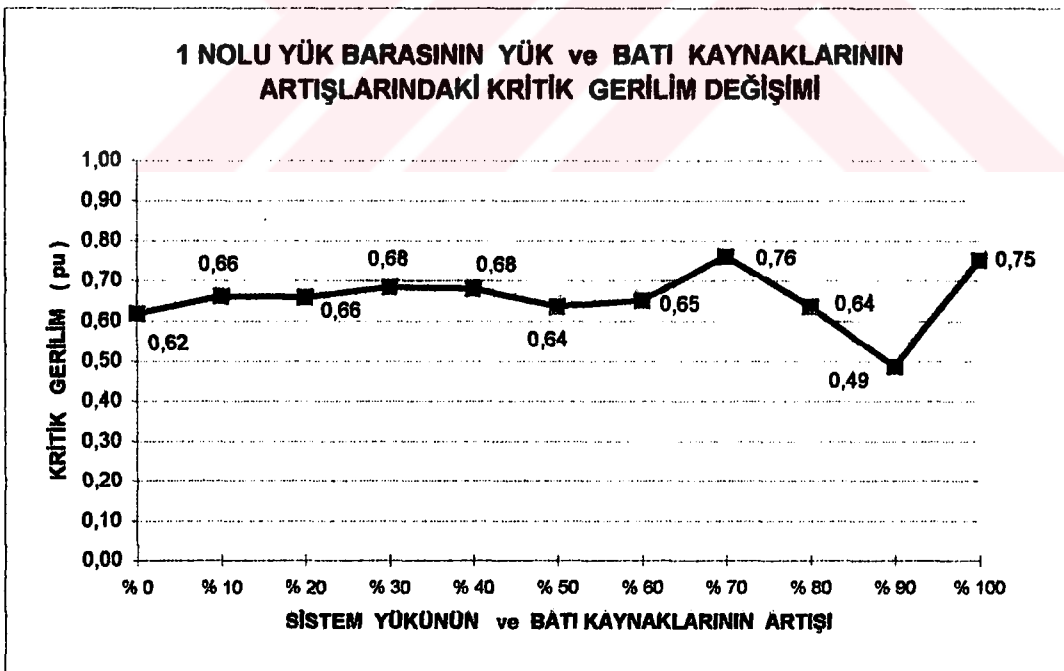
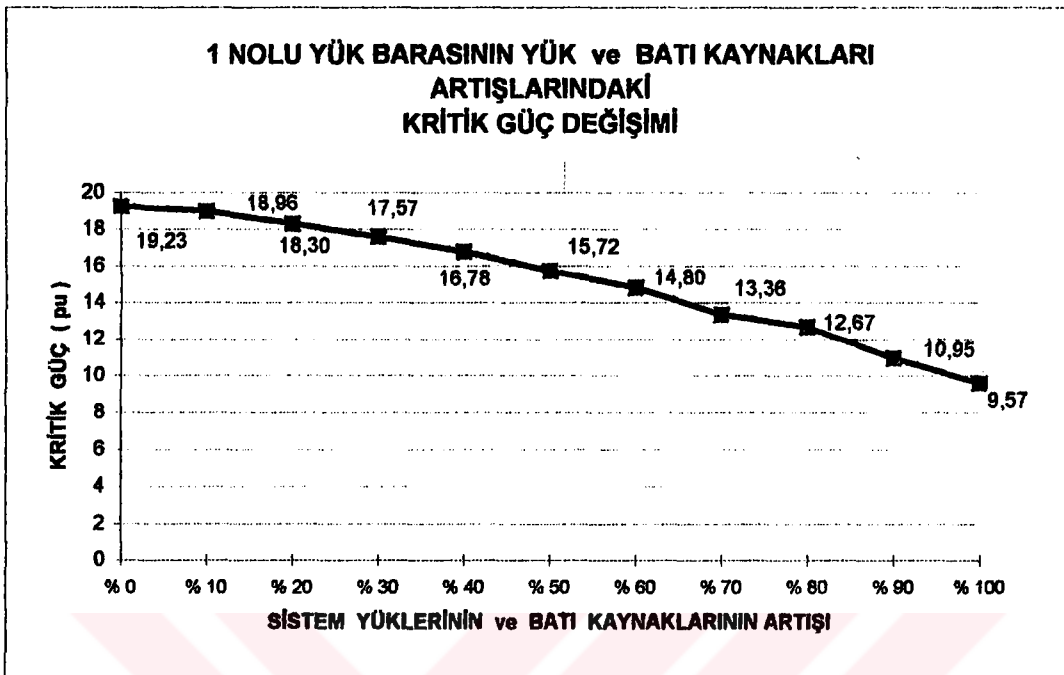
bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (Vkrt)	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (Pkrt)
1	7,0490	0,9371	4,5520	0,6365	13,6333	12,6680
2	5,7490	0,9305	5,5926	0,7204	13,2390	10,9170
3	5,7850	0,9218	7,4624	0,7350	15,1615	10,6040
4	6,4170	0,9277	8,0597	0,7610	15,7804	11,6290
5	7,7780	0,9838	5,8753	0,9157	21,1199	25,1200

Tablo 5.8i Yüklerin ve batı üretim baralarının yıllık % 90 arttırılması

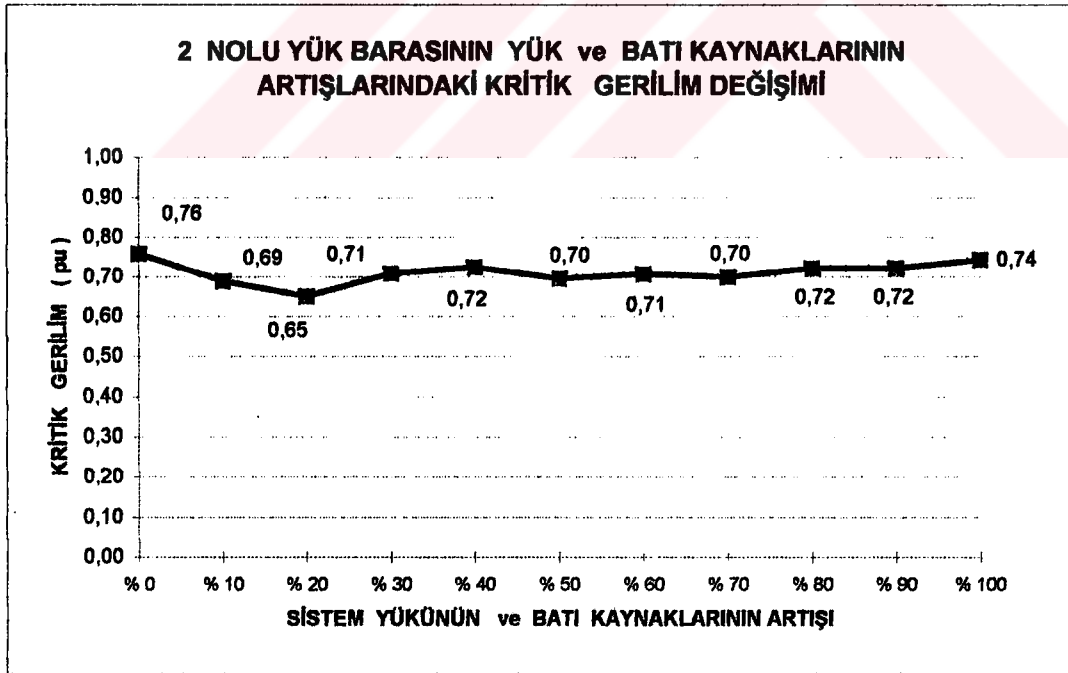
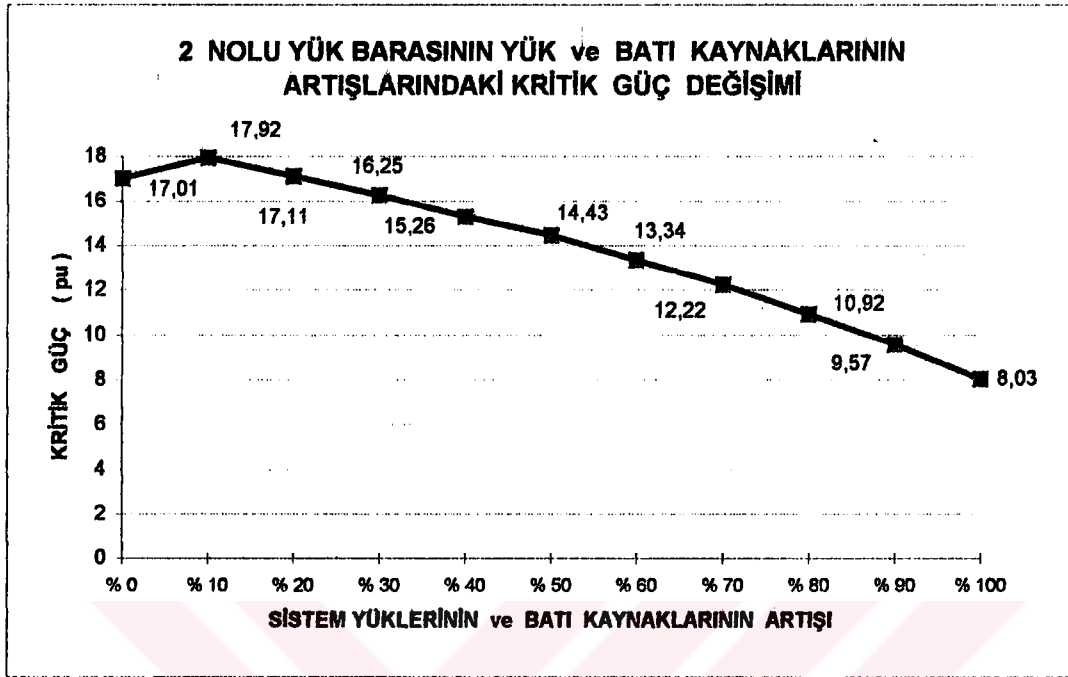
bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (Vkrt)	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (Pkrt)
1	7,4400	0,9033	4,8852	0,4865	12,7806	10,9460
2	6,0690	0,8964	5,9503	0,7206	11,3424	9,5740
3	6,1070	0,8896	8,1930	0,7314	13,8559	9,3730
4	6,7730	0,8988	8,8790	0,7520	14,8076	10,3840
5	8,2100	0,9686	6,4940	0,8562	18,7103	22,1580

Tablo 5.8j Yüklerin ve batı üretim baralarının yıllık % 100 arttırılması

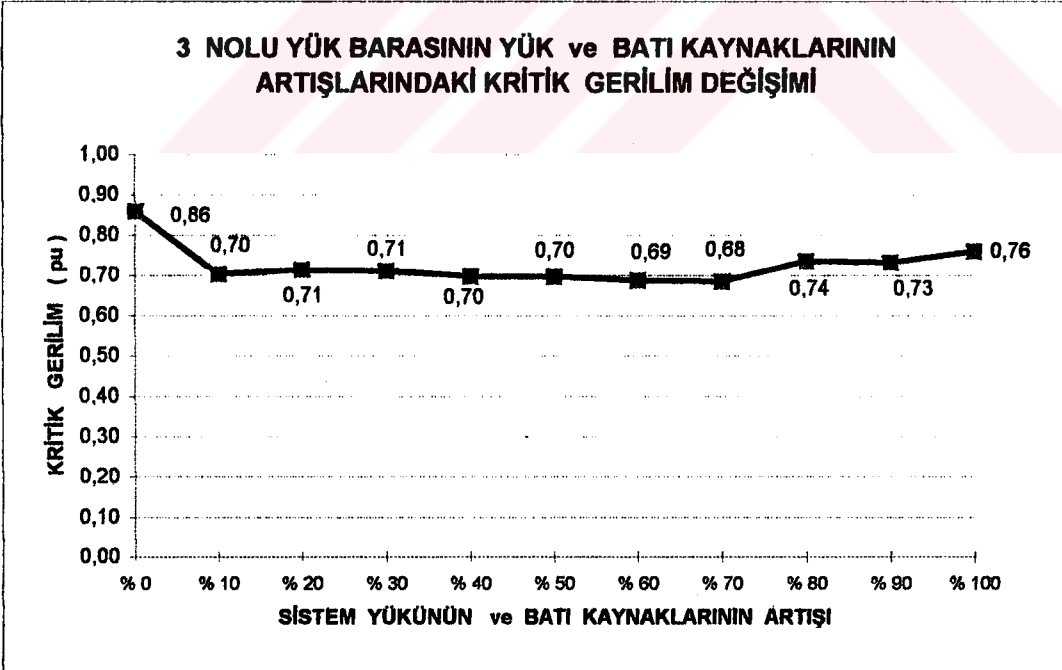
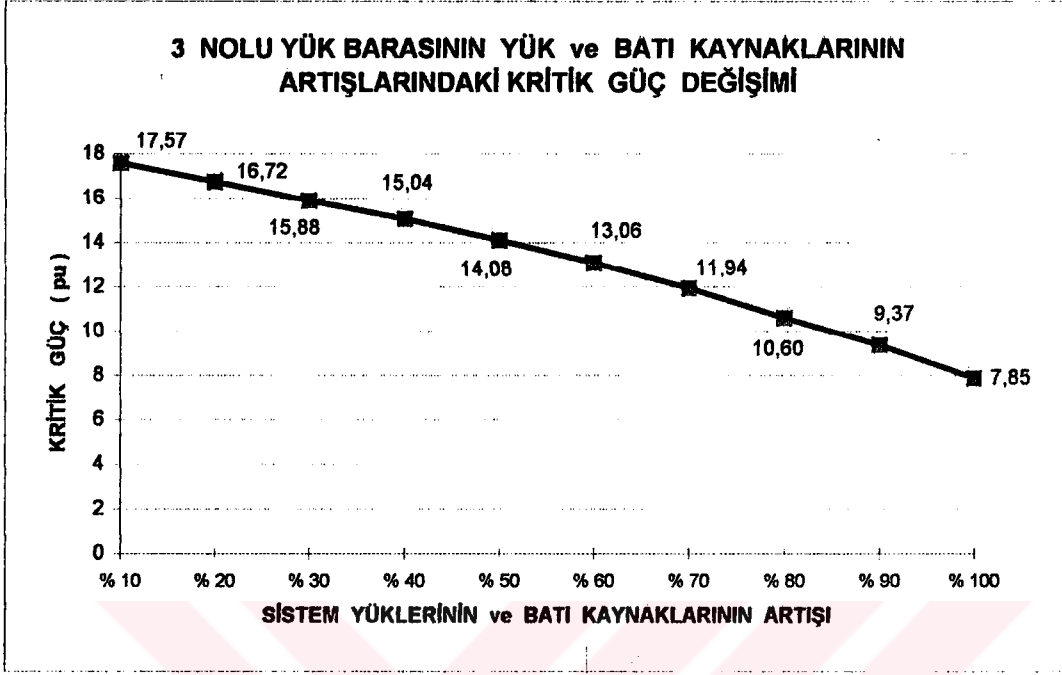
bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (Vkrt)	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (Pkrt)
1	7,8320	0,8552	5,2198	0,7519	7,6139	9,5730
2	6,3880	0,8477	6,4659	0,7421	9,0114	8,0270
3	6,4280	0,8434	9,0959	0,7589	11,7008	7,8500
4	7,1300	0,8571	9,8972	0,7699	12,9048	8,7870
5	8,6420	0,9446	7,2101	0,9380	13,1827	15,7240



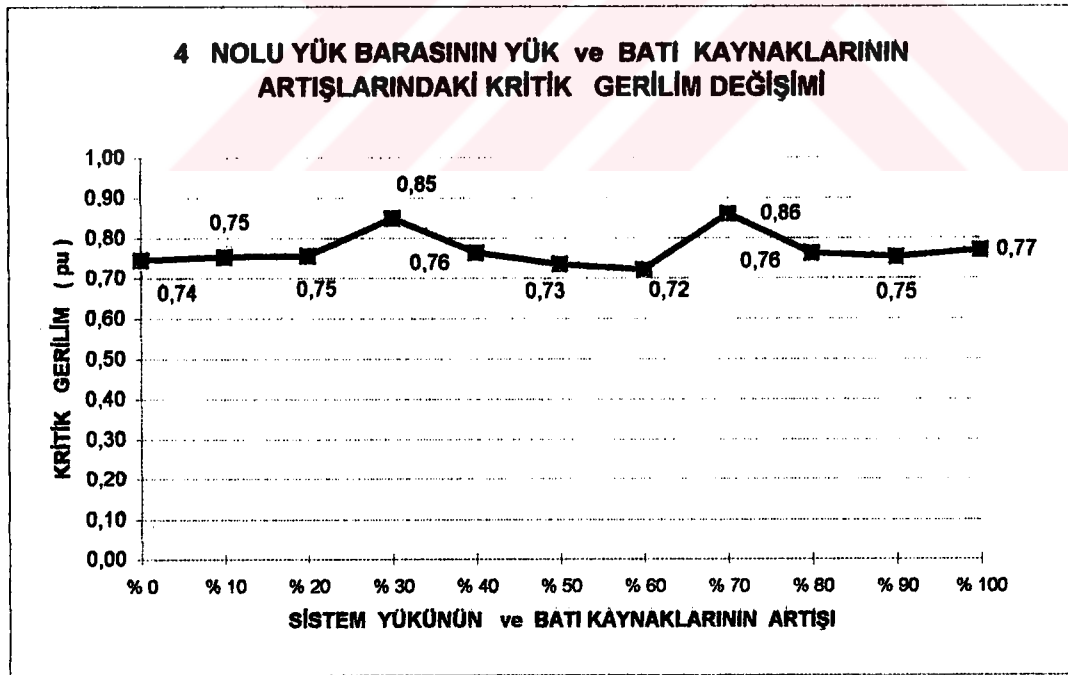
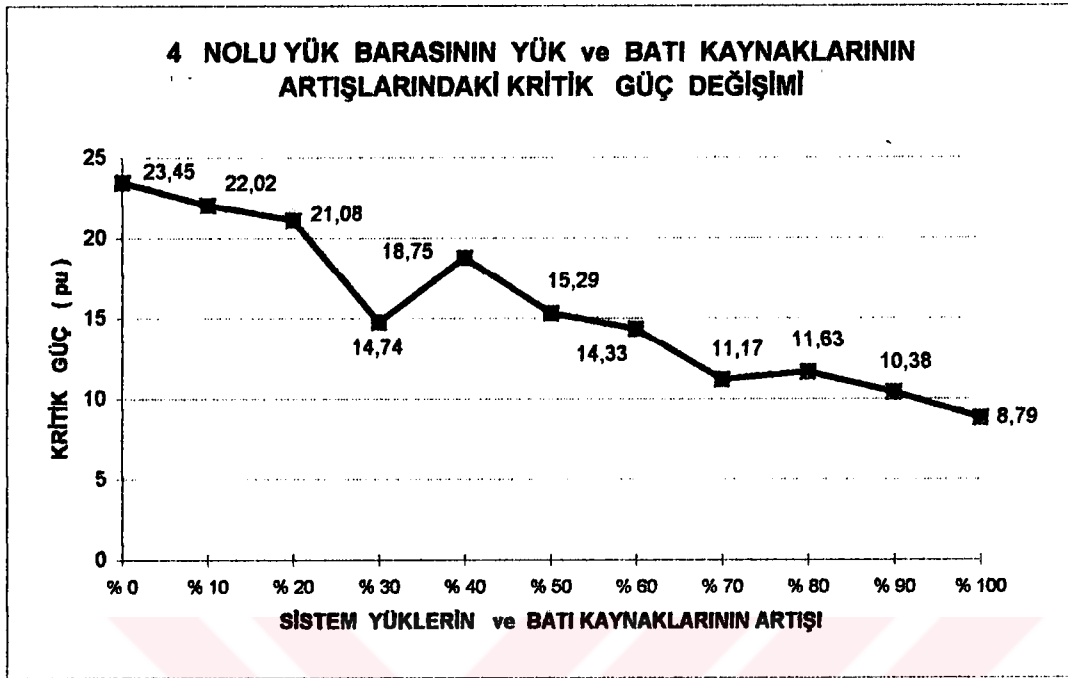
Şekil 5.11a 1 Nolu yük barasının yük ve batı kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi



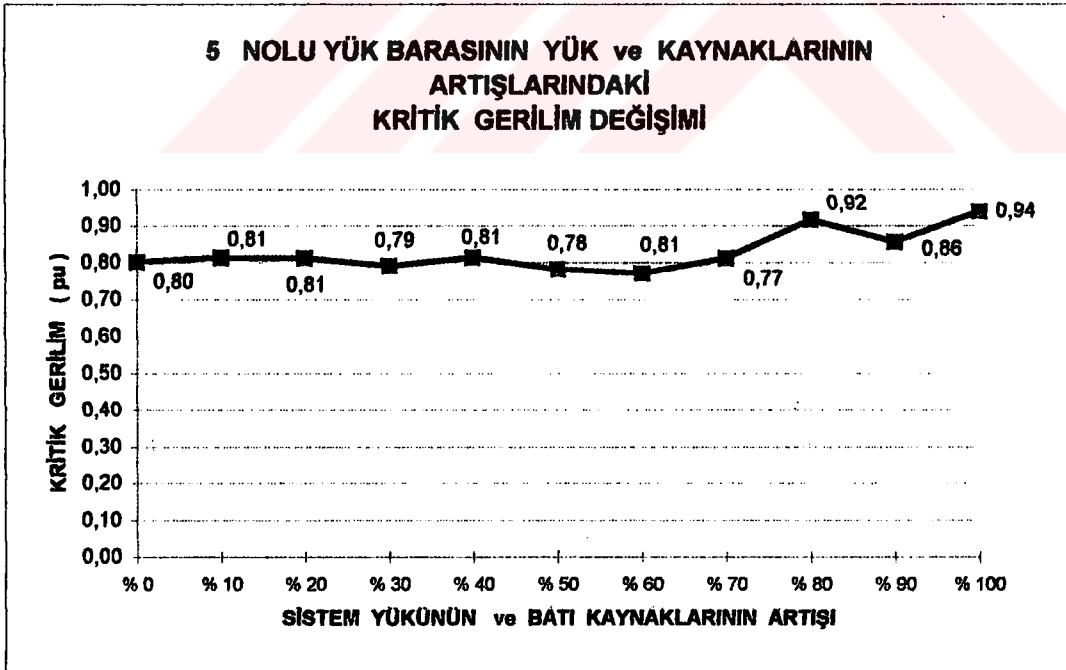
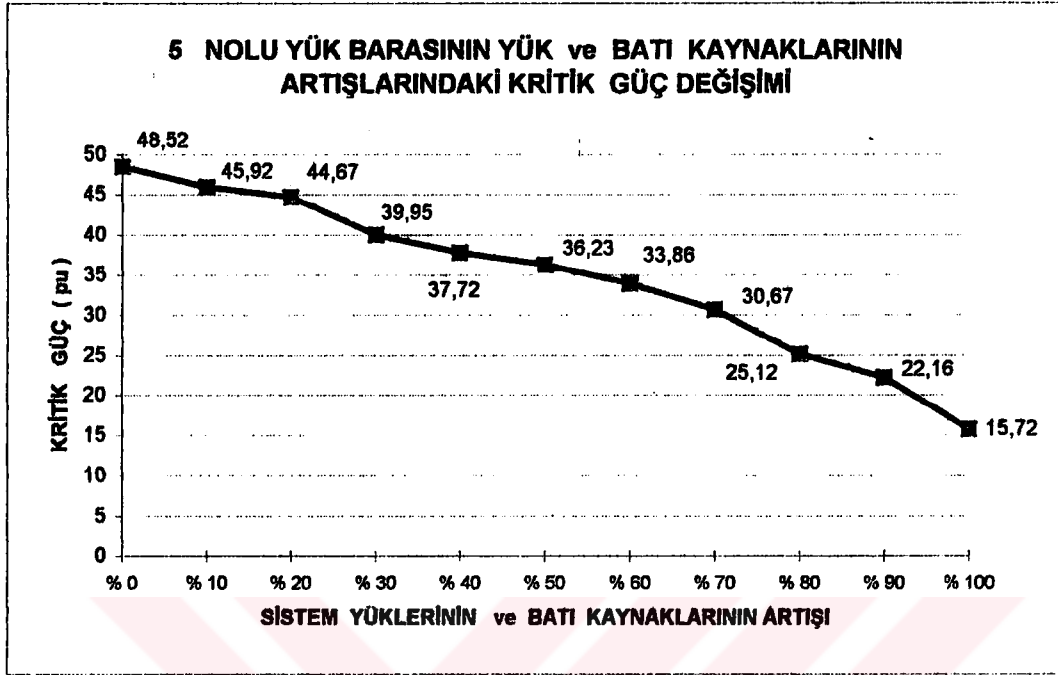
Şekil 5.11b 2 Nolu yük barasının yük ve batı kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi



Şekil 5.11c 3 Nolu yük barasının yük ve batı kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi

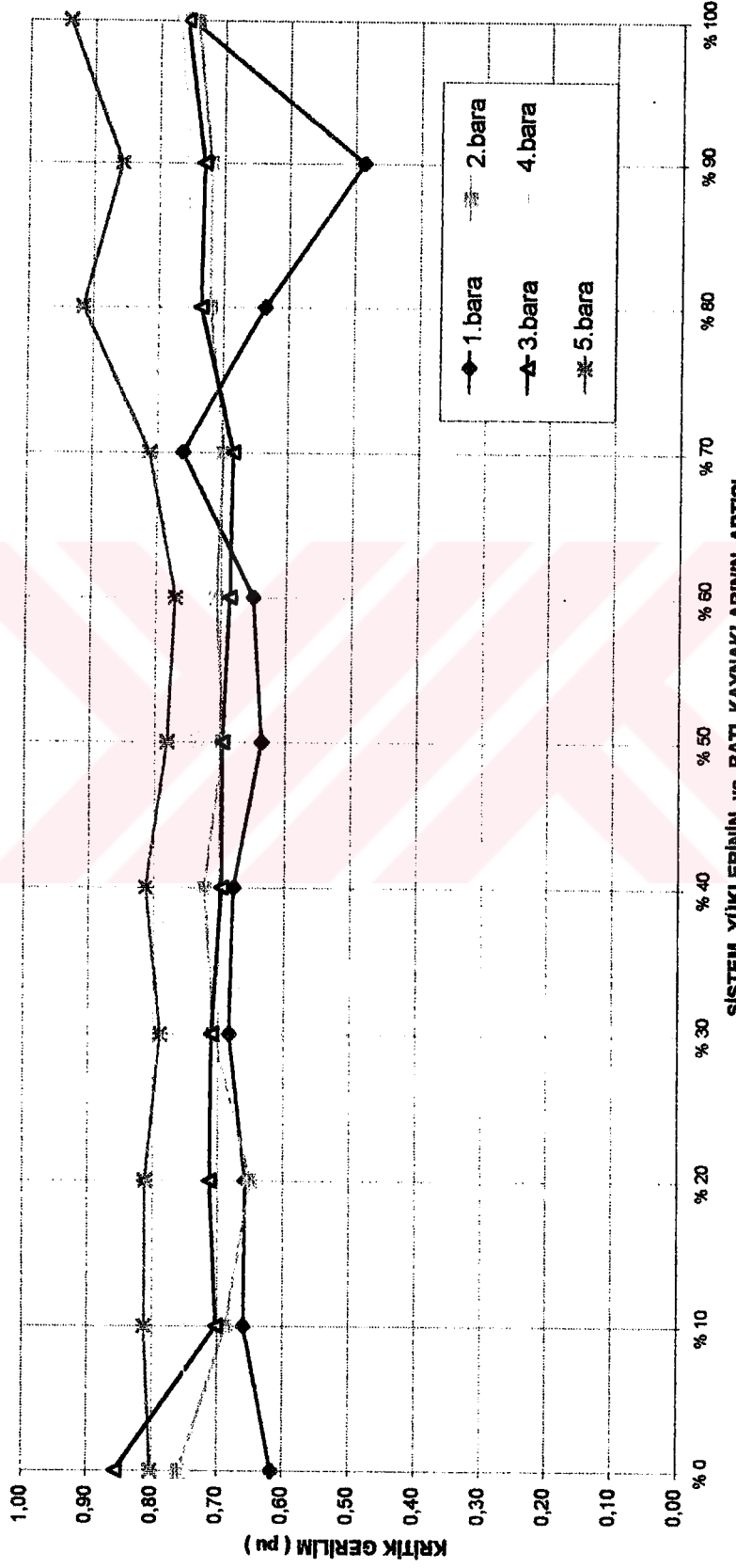


Şekil 5.11d 4 Nolu yük barasının yük ve batı kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi



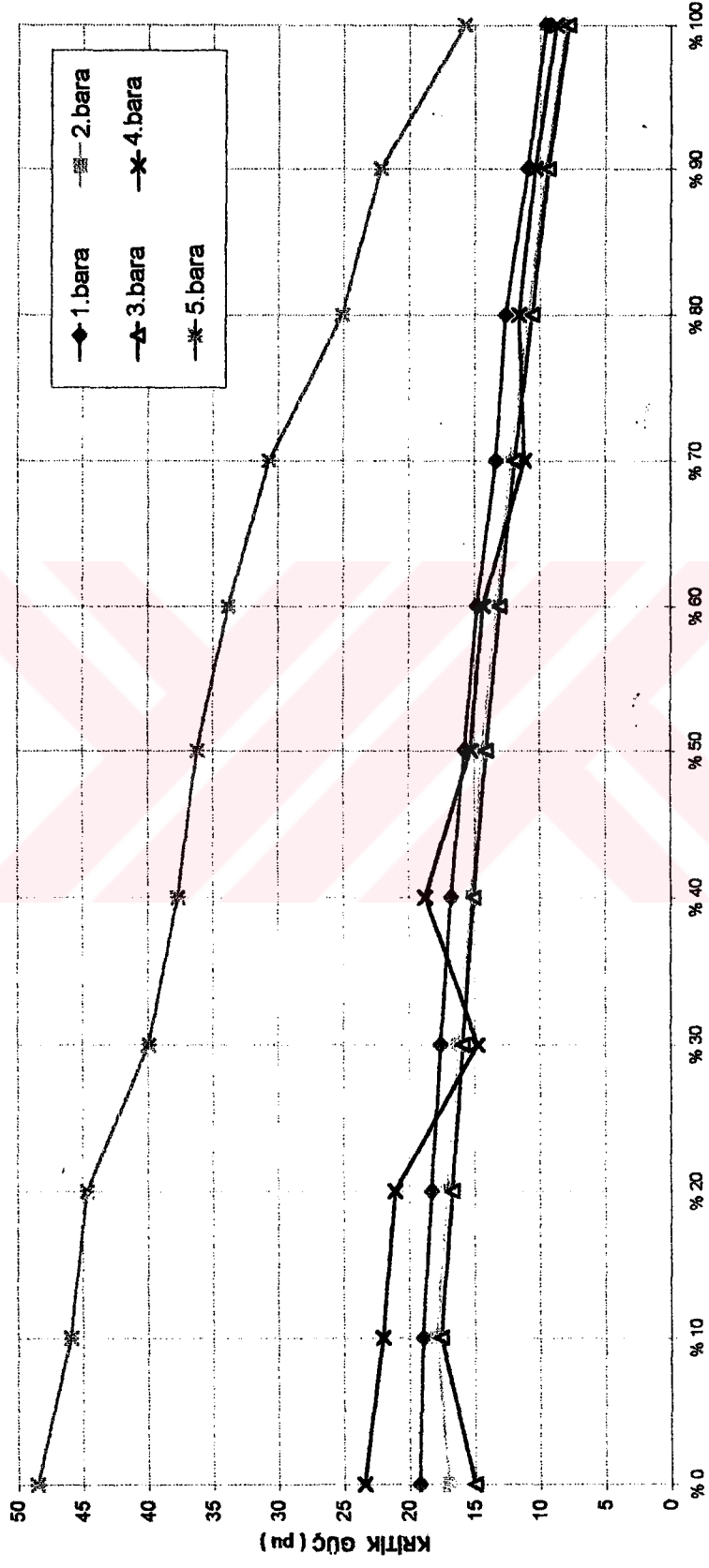
Şekil 5.11e 5 Nolu yük barasının yük ve batı kaynakların yıllık % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi

**TÜM YÜK BARALARININ YÜK ve BATI KAYNAKLARININ DEĞİŞİMİNDEKİ  
KRİTİK GERİLİM DEĞİŞİMİ**



Şekil 5.12 Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik gerilim değişimi

**TÜM YÜK BARALARININ YÜK ve BATI KAYNAKLARININ DEĞİŞİMİNDEKİ KRİTİK GÜÇ DEĞİŞİMİ**



Şekil 5.13 Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik güç değişimi



#### 5.4.5 Hat taşıma kapasitesinin iki katına çıkartılması ile yüklerin yıllık % 10 artışı

Bu son incelemede mevcut sistem üzerinde yıllık % 10 yük artışlarıyla birlikte, KBA sisteminin iletim hatlarında iyileştirme yapıldığı kabulüyle, hat taşıma kapasitesinin iki katına çıkartılmasıyla birlikte yük artışlarıyla kritik güç ve gerilim değişimleri incelenmiştir.

Hesaplanan değerler tüm yük baraları için ve her artış oranı için ayrı ayrı düzenlenerek Tablo 5.9 a...j verilmiştir. Bu tablolardaki veriler incelendiğinde çıkan sonuç; hat taşıma kapasitesinin iki katına çıkartılmasıyla, yük baralarındaki kritik güç değerleri yaklaşık % 75-85 oranında artmıştır. Ayrıca, kritik güçlerin, yüklerin yıllık bazda % 10' luk artışları karşısında düşüş oranları en fazla % 25-30 düzeylerinde kalarak azalmıştır. Kritik gerilimler ise kritik güçlerdeki düşüşlerin az olmasından dolayı çok az değişmişler ve değerlerini korumuşlardır.

Kritik güç değerleri bakımından sistemi incelediğimizde; yük baralarını kritik güç bakımından büyükten küçüğe doğru sıralamak gerekirse, hat kapasitesinin iki katına çıkartılmasıyla nominal değerlerde elde edilen kritik güçlere göre yük baraları 5-4-1-2-3 ekinde sıralanmakta, bu sıralama yük artışlarının % 30 kadar korunmakta, % 30' luk artışta sıralama 5-2-1-4-3 olmakta, % 50' lik yük artışında bu sıralama 5-2-3-1-4 olmakta, % 70' lik artışta sıralama 5-2-1-4-3 olmakta % 100' luk artışta ise 5-2-1-4-3 şeklinde sıralanmaktadır. Kritik güç düşüş değerleri ise nominal kritik güç değerlerine göre, % 30' luk yük artışında en çok 3. Barada , en az 2.barada meydana gelmekte, % 50' lik yük artışında en çok 4. Barada, en a z ise 2.barada, % 80' lik yük artışında ise, yine en çok 3.barada, en az ise 1.barada güç değişimleri gerçekleşmektedir. % 100' luk yük artışında ise kritik güç değerleri nominal kritik güç değerlerinin 1 nolu barada % 76.87' si, 2 nolu barada % 84.01' i, 3 nolu barada % 69.9' u, 4 nolu barada % 72.14' ü ve 5 nolu barada % 77.44' ü olarak meydana gelmektedir. En çok kritik güç düşüşü 3 nolu barada, en az 5 nolu barada gerçekleşmektedir. Bu kritik güç değerlerinin düşüş oranlarını, hattın

özelliği, yükün büyüklüğü, yük barasının üretim barasına yakınlığı, şönt ve seri kompanzasyon değerleri ile bu bölümde incelediğimiz paralel hat sayısı gibi faktörler etkilemektedir.

Kritik gerilimler ise, hat taşıma kapasitesinin iki katına çıkartılmasıyla yük değişimlerine karşın kararlılığını korumuş, genelde aynı düzeyde kalmakla birlikte bazı baralarda kritik gerilim % 1-3 oranında artmıştır. Tablo 5.9' da görüleceği gibi mesele; % 70 yük artışında kritik gerilimler; 1 nolu bara % -0.1, 2 nolu bara % -7, 3 nolu bara % 0.4, 4 nolu bara % 0.85, 5 nolu bara % 0.52 değişmekte, % 100 yük artışında; 1 nolu bara % -0.04, 2 nolu bara % 1.7, 3 nolu bara % 0.64, 4 nolu bara % 1.37 ve 5 nolu bara % 1.23 oranlarında değişmiştir.

Elde edilen verileri daha iyi analiz edebilmemiz için, her yük barasının sistem yükü değişimlerindeki kritik güç ve kritik gerilim değişimleri grafikleştirilmiş ve birlikte verilmiştir. (Şekil 5.14 a...e) Böylece her bara için kritik güç değişimi ile kritik gerilim değişimi aynı anda izlenebilecektir.

Ayrıca, yıllık %10 'luk yük artışlarındaki, tüm yük baralarında ki kritik güç değişimlerinin aynı anda görülebilmesi için şekil 5.16' teki grafiği oluşturulmuş. Aynı şekilde gene yük artışlarındaki, kritik gerilim değişimlerini, tüm yük baralarında görebilmemiz için şekil 5.15 oluşturulmuştur.

Bu bölümdeki incelemeden çıkan sonuç; hat taşıma kapasitesinin arttırılmasıyla sistemdeki yük baralarının kritik değerleri artmaktadır. Kritik güç yaklaşık olarak hat kapasitesinin artış oranında artmakta, kritik gerilim ise çok az artma göstermekte genelde mevcut değerini korumaktadır. Kritik güç yükseldiği gibi, yük artışların sebep olduğu kritik güç düşüşleri oranları azalmakta, bu oranda yaklaşık olarak % 80-90 iyileşmektedir. Ayrıca iletim sisteminin kararlılığı da artmaktadır.

Tablo 5.9a...j Hat taşıma kapasitesinin iki katına çıkartılması, yükün yıllık % 10 arttırılması

Tablo 5.9 İki kat hat kapasitesi ile mevcut yükte yük akışı ve kritik değerler

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	3,9160	1,0248	0,7953	0,8822	18,6638	32,7360
2	3,1940	1,0252	1,0025	0,7877	21,8722	30,9360
3	3,2139	1,0234	1,4267	0,8563	20,3245	29,3390
4	3,5650	1,0241	1,5336	0,8425	21,7502	32,9340
5	4,3209	1,0314	0,9061	0,8592	33,3889	71,4210

Tablo 5.9a İki kat hat kapasitesi ile yüklerin yıllık % 10 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	4,3076	1,0211	1,4970	0,7214	22,6859	33,5350
2	3,5134	1,0213	1,7182	0,7931	21,1103	33,3202
3	3,5353	1,0193	2,1348	0,8567	20,4424	28,4840
4	3,9215	1,0200	2,2022	0,8433	21,7409	32,0850
5	4,7530	1,0292	1,3737	0,8601	33,4589	70,2100

Tablo 5.9b İki kat hat kapasitesi ile yüklerin yıllık % 20 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	4,6992	1,0173	2,2048	0,7969	20,2164	32,3160
2	3,8328	1,0174	2,4403	0,7488	21,7347	32,2700
3	3,8567	1,0152	2,8491	0,8572	20,4815	27,6250
4	4,2780	1,0162	2,8764	0,8443	21,6425	31,2170
5	5,1852	1,0269	1,8441	0,7769	29,5802	81,2840

Tablo 5.9c İki kat hat kapasitesi ile yüklerin yıllık % 30 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	5,0908	1,0140	2,9183	0,7514	20,6069	31,7940
2	4,1521	1,0141	3,1683	0,7399	21,1860	34,5210
3	4,1781	1,0118	3,5693	0,8576	20,6017	26,7630
4	4,6344	1,0131	3,5567	0,8452	21,7048	30,3450
5	5,6173	1,0261	2,3234	0,7845	29,0292	77,9900

Tablo 5.9d İki kat hat kapasitesi ile yüklerin yıllık % 40 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	5,4820	1,0102	3,6379	0,8819	19,0574	29,7800
2	4,4720	1,0103	3,9026	0,7447	21,1347	32,8970
3	4,5000	1,0077	4,2956	0,8582	20,6478	25,8920
4	4,9910	1,0930	4,2417	0,8463	21,6385	29,4490
5	6,0490	1,0241	2,8010	0,7874	28,6707	75,7590

Tablo 5.9e İki kat hat kapasitesi ile yüklerin yıllık % 50 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	5,8740	1,0141	4,3802	0,8818	19,1476	29,0270
2	4,7910	1,0130	4,6517	0,7394	21,3925	32,5170
3	4,8210	1,0092	5,0291	0,7172	23,1234	29,1460
4	5,3470	1,0100	4,9300	0,8474	21,6484	28,5510
5	6,4820	1,0241	3,3787	0,7928	28,1690	73,0090

Tablo 5.9f İki kat hat kapasitesi ile yüklerin yıllık % 60 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	6,2660	1,0127	5,1130	0,8820	19,1372	28,1680
2	5,1100	1,0112	5,3968	0,8759	19,7857	23,7840
3	5,1420	1,0069	5,7637	0,8593	20,7363	24,1280
4	5,7040	1,0076	5,6216	0,8486	21,5901	27,6280
5	6,9140	1,0226	3,7594	0,8620	30,3520	62,7790

Tablo 5.9g İki kat hat kapasitesi ile yüklerin yıllık % 70 arttırılması

bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	6,6570	1,0112	5,8504	0,8818	19,3142	27,5040
2	5,4300	1,0093	6,1466	0,8007	18,8261	29,5180
3	5,4640	1,0044	5,5300	0,8598	20,7925	23,2400
4	6,0600	1,0051	6,3174	0,8497	21,5958	26,7090
5	7,3460	1,0211	4,2423	0,8637	29,3205	60,8320

Tablo 5.9h İki kat hat kapasitesi ile yüklerin yıllık % 80 arttırılması

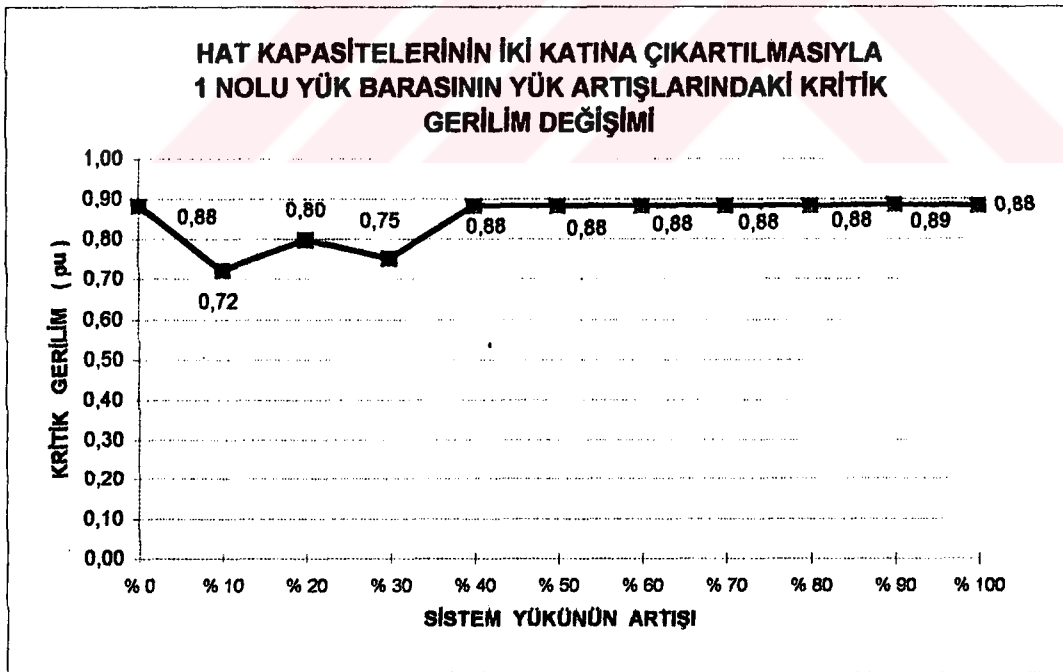
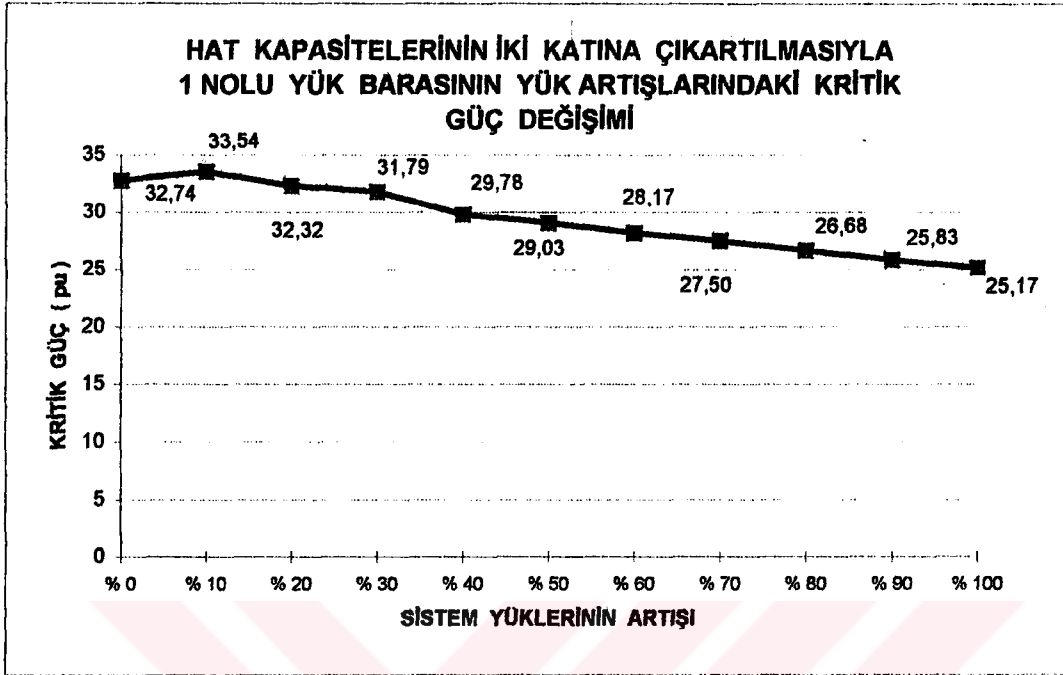
bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	7,0490	1,0097	6,5925	0,8819	19,3419	26,6800
2	5,7490	1,0074	6,9014	0,8166	19,9363	24,9200
3	5,7850	1,0020	7,2471	0,8605	20,7916	22,3320
4	6,4170	1,0025	7,0174	0,8511	21,4668	25,7390
5	7,7780	1,0196	4,7276	0,8653	28,9071	59,1840

Tablo 5.9i İki kat hat kapasitesi ile yüklerin yıllık % 90 arttırılması

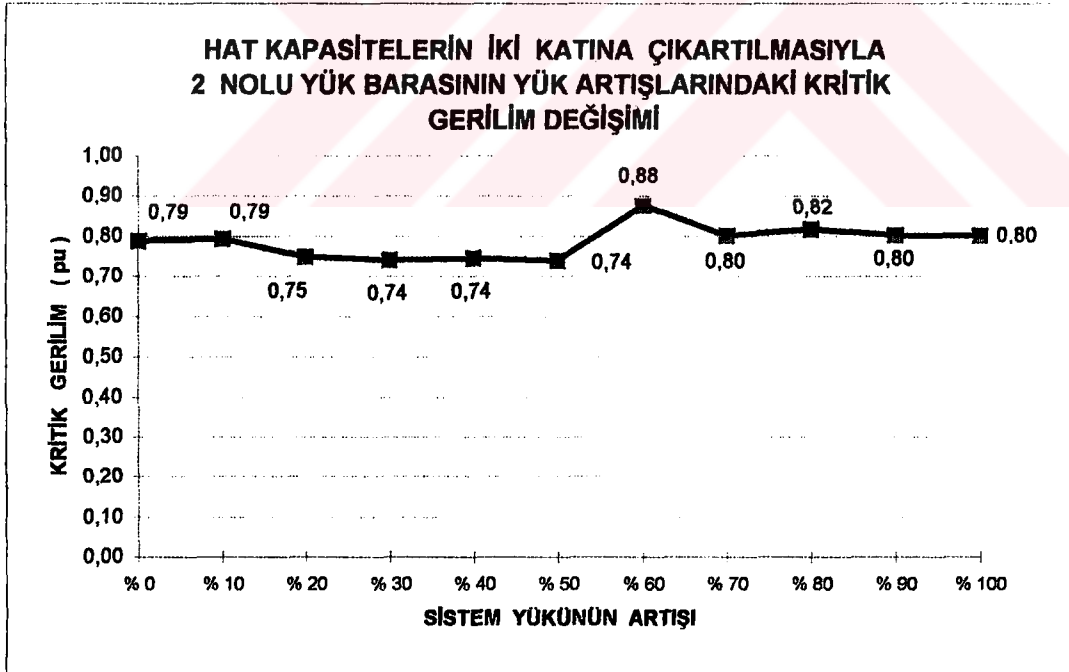
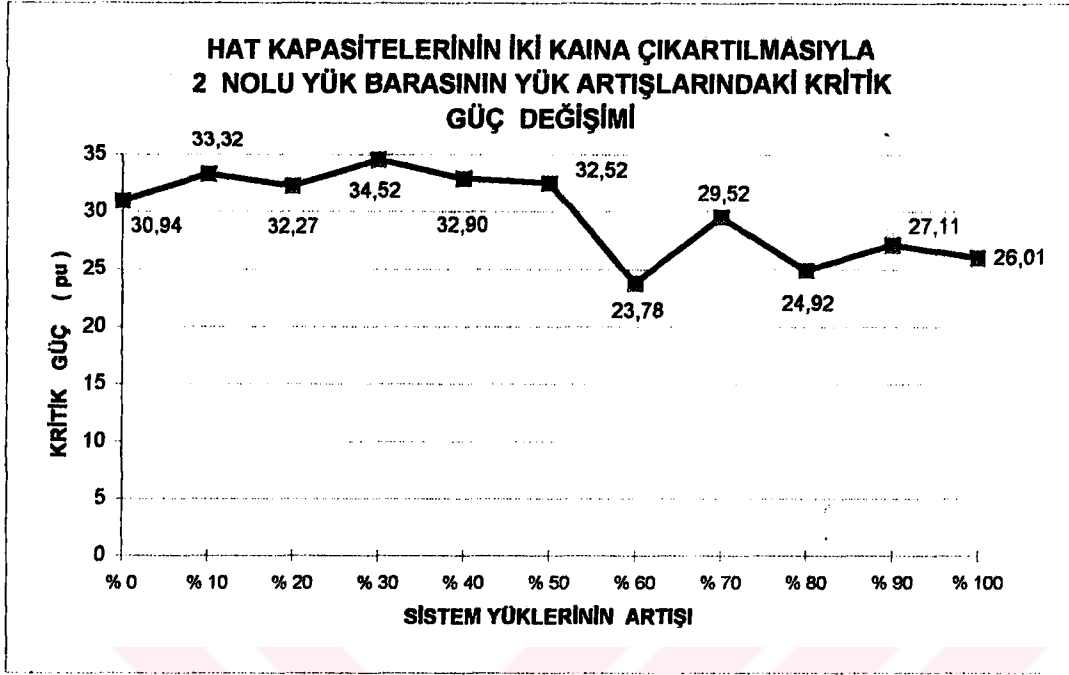
bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	7,4400	1,0082	7,3397	0,8851	19,3535	25,8340
2	6,0690	1,0054	7,6619	0,8016	18,9547	27,1110
3	6,1070	0,9994	7,9962	0,8612	20,8100	21,4220
4	6,7730	0,9998	7,7221	0,8525	21,4037	24,7740
5	8,2100	1,0180	5,2154	0,8673	28,2602	57,3260

Tablo 5.9j İki kat hat kapasitesi ile yüklerin yıllık % 100 arttırılması

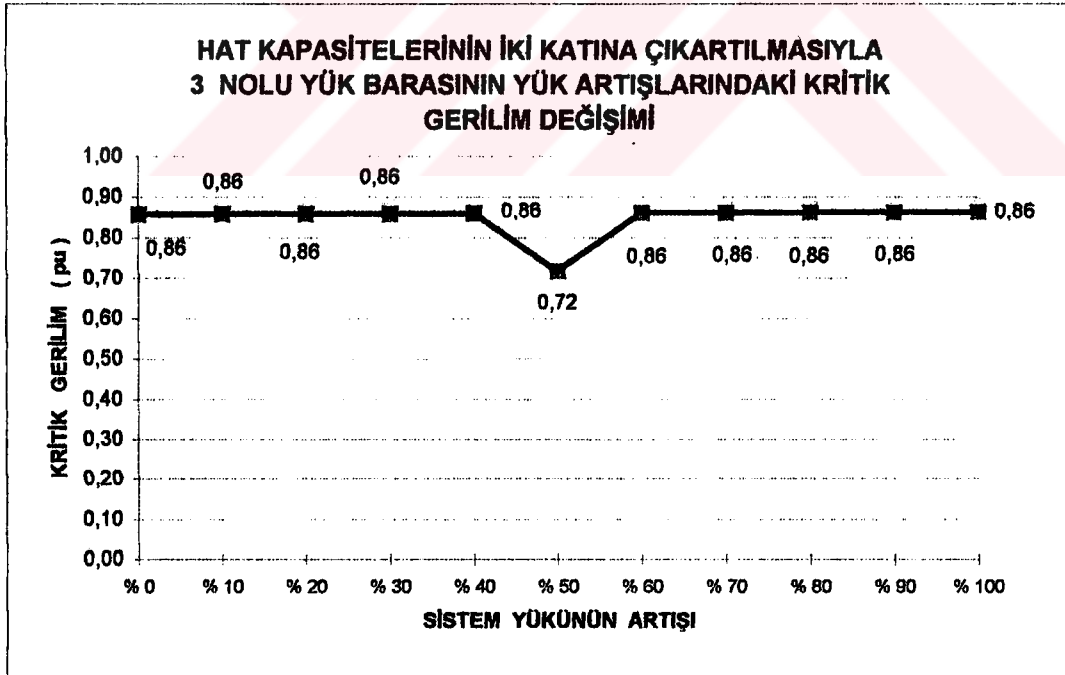
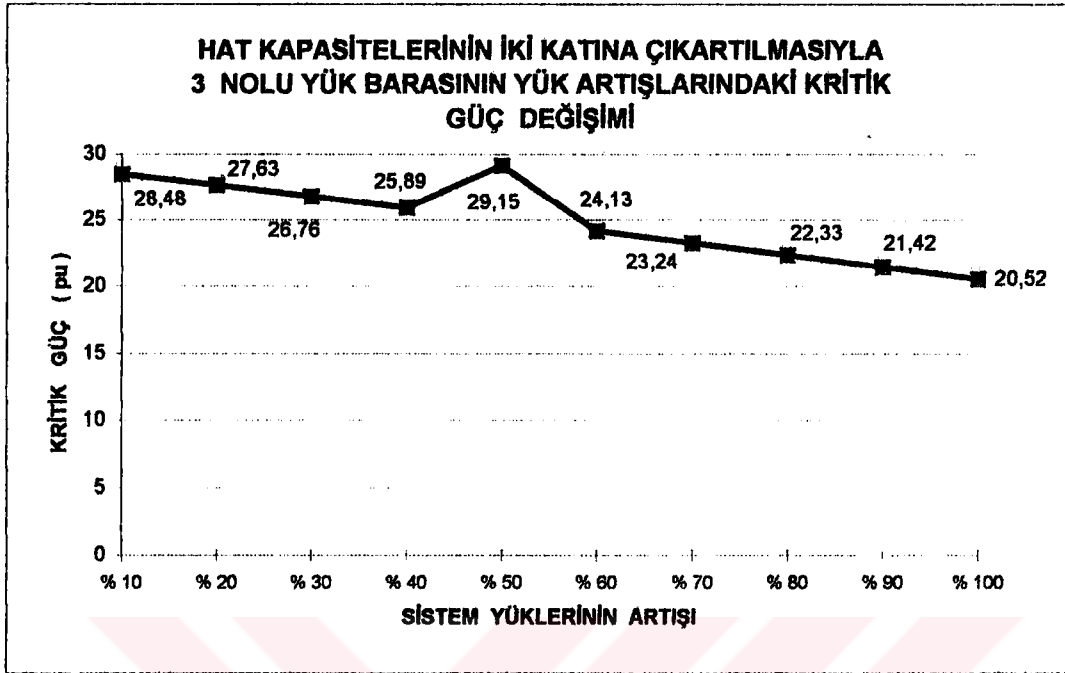
bara no	Güç (P)	Gerilim (V)	Açı	Kritik Gerilim (V <sub>krt</sub> )	Kritik Yük Açısı	Kritik Güç (P <sub>krt</sub> )
1	7,8320	1,0059	8,0950	0,8819	19,5278	25,1690
2	6,3880	1,0027	8,4301	0,8011	19,0567	26,0120
3	6,4280	0,9961	8,7548	0,8618	20,8637	20,5150
4	7,1300	0,9964	8,4352	0,8541	21,2477	23,7580
5	8,6420	1,0157	5,7055	0,8698	27,5104	55,3170



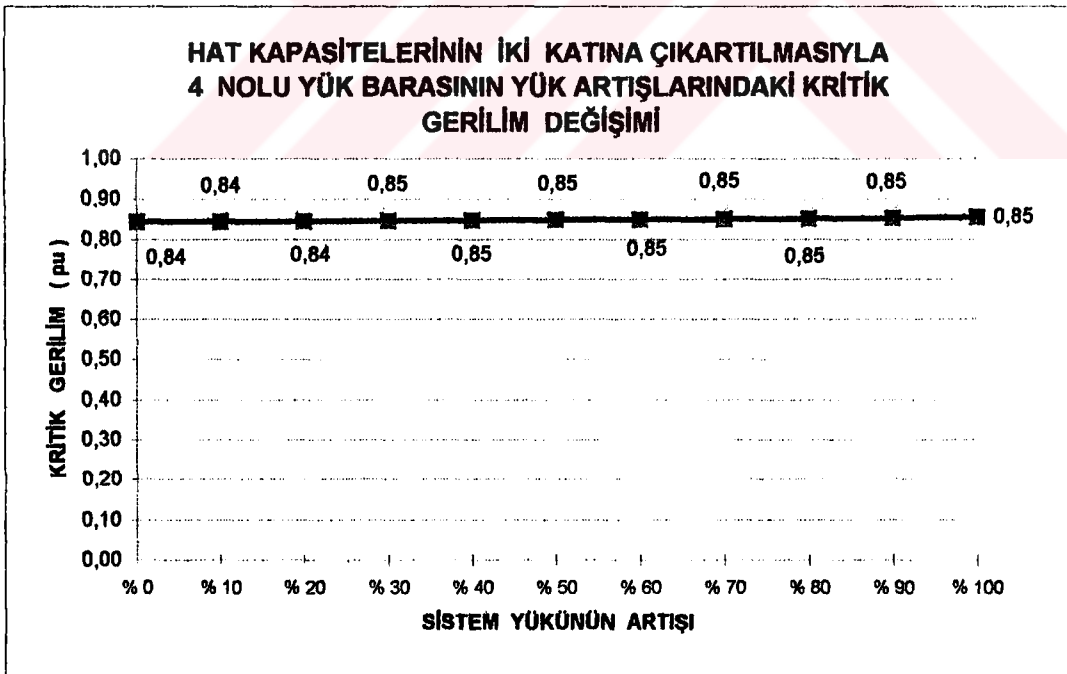
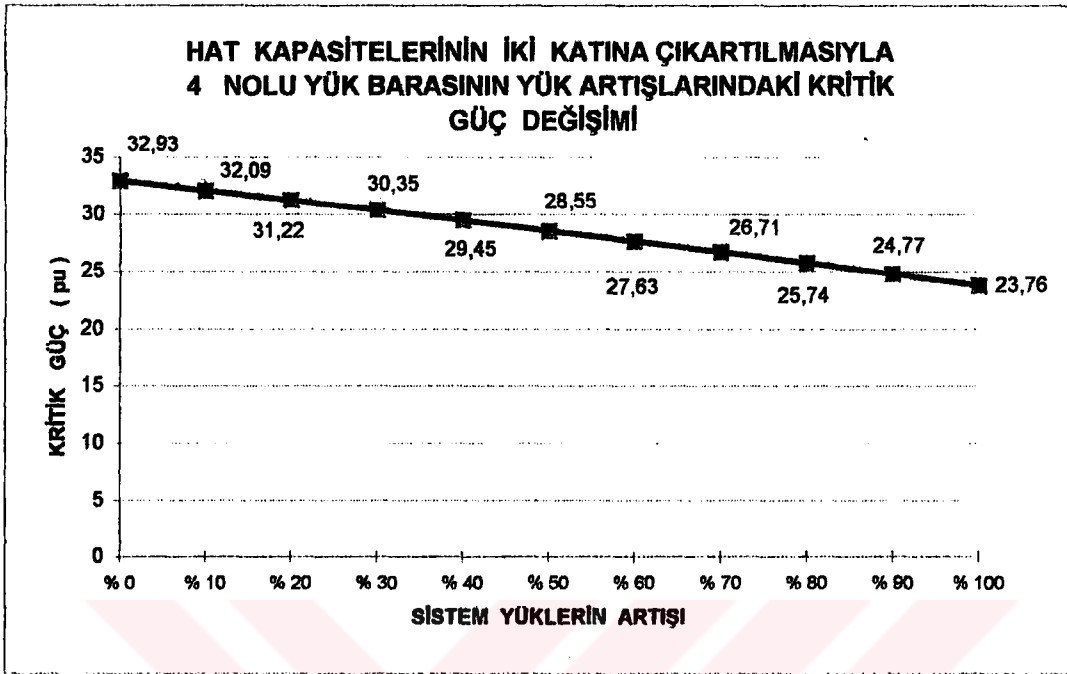
Şekil 5.14a 1 Nolu yük barasının hat kapasitesinin iki katına çıkartılmasıyla, yükün % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi



Şekil 5.14b 2 Nolu yük barasının hat kapasitesinin iki katına çıkartılmasıyla, yükün % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi

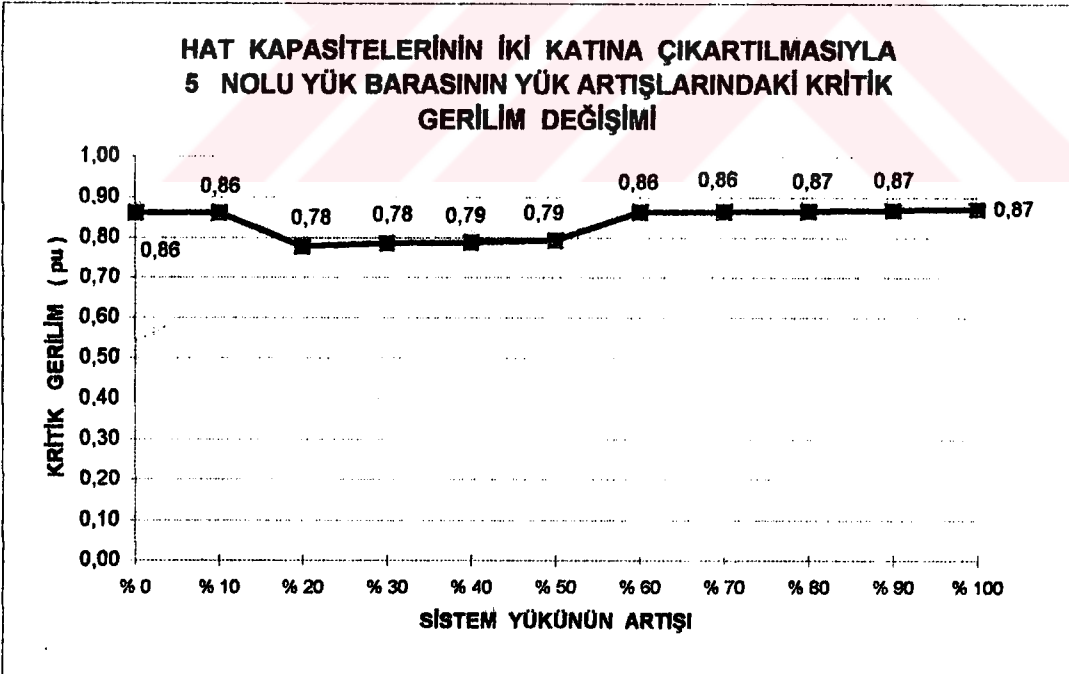
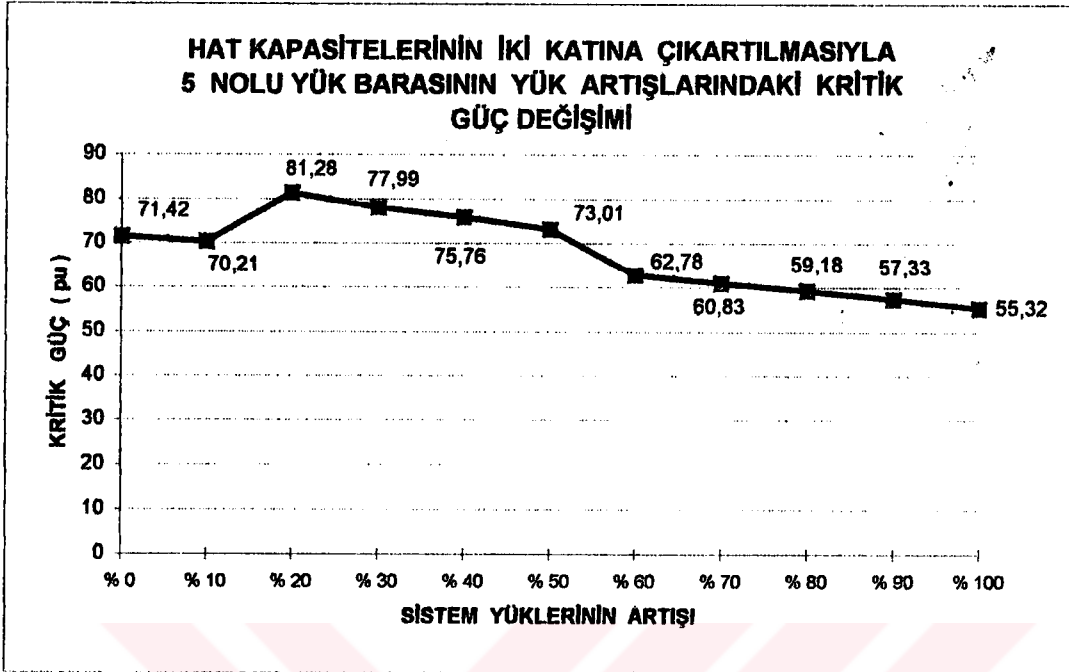


Şekil 5.14c 3 Nolu yük barasının hat kapasitesinin iki katına çıkartılmasıyla, yükün % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi



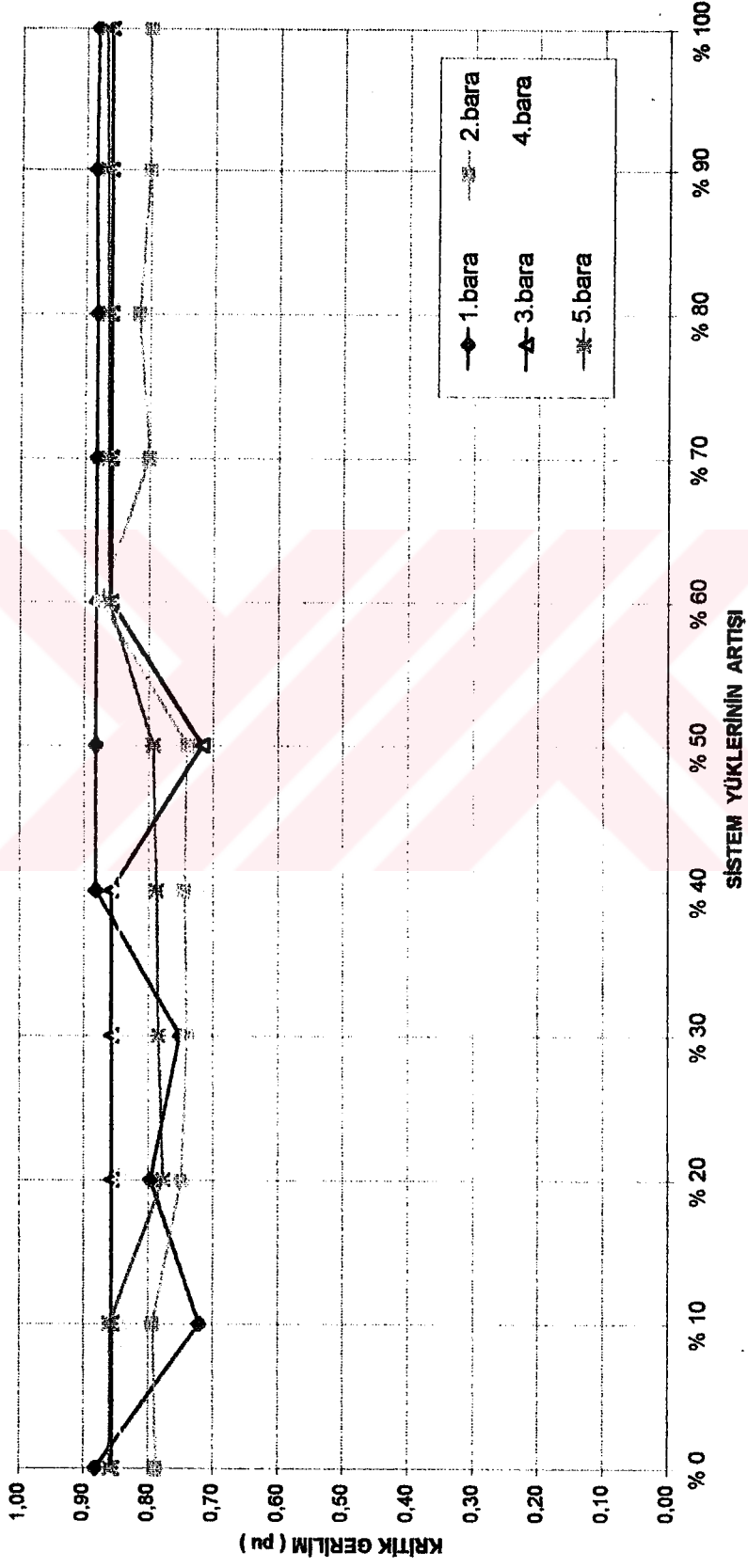
Şekil 5.14d 4 Nolu yük barasının hat kapasitesinin iki katına çıkartılmasıyla, yükün %10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi





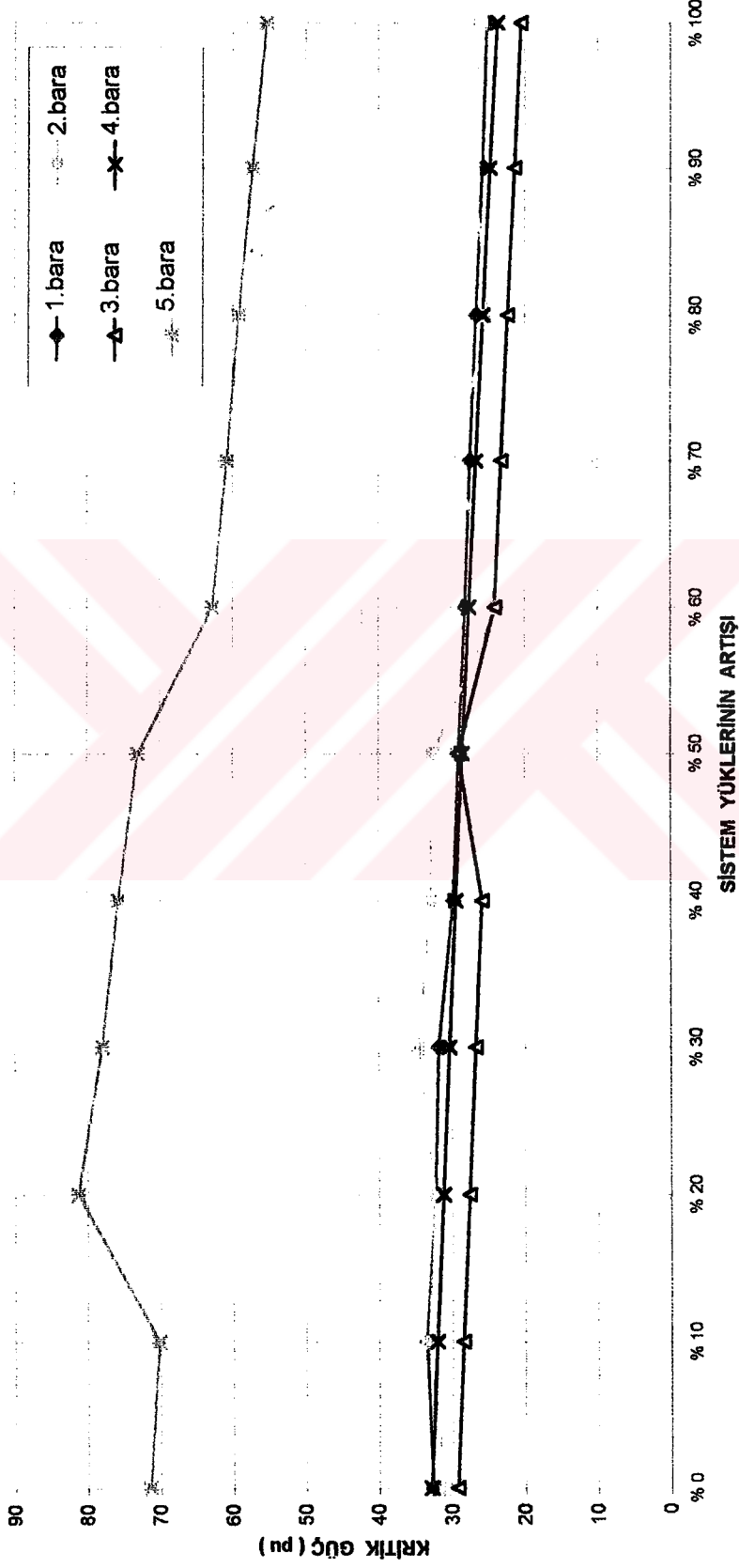
Şekil 5.14e 5 Nolu yük barasının hat kapasitesinin iki katına çıkartılmasıyla, yükün % 10' luk artışlarındaki kritik güç ve gerilim değişimi

**HAT KAPASİTELERİNİN İKİ KATINA ÇIKARTILMASIYLA  
TÜM YÜK BARALARININ YÜK DEĞİŞİMİNDEKİ KRİTİK  
GERİLİM DEĞİŞİMİ**



Şekil 5.15 Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik gerilim değişimi

**HAT KAPASİTELERİNİN İKİ KATINA ÇIKARTILMASIYLA  
TÜM YÜK BARALARININ YÜK DEĞİŞİMİNDEKİ KRİTİK  
GÜÇ DEĞİŞİMİ**



Şekil 5.16 Tüm yük baralarının yük değişimindeki kritik güç değişimi

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, yük akışı analizleri yardımıyla, enerji iletim sistemlerindeki ülkemizin şartlarına uygun olan yıllık % 10 enerji talebi artışının 10 yıllık bir süre içinde gerilim kararlılığına olan etkileri incelenmiştir. İlk inceleme çalışmasında, kritik güç ( $P_{crit}$ ), kritik gerilim ( $V_{crit}$ ) ve kritik yük açısını ( $\delta_{crit}$ ) bulabilmemiz için paralel iletim hatlarından oluşan iki baralı bir sistem, statik gerilim kararlılığının temel ilkeleri çerçevesinde ve kararlılık limitleri içinde incelenmiş. Gene bu iki baralı sistem üzerinde çeşitli işletme koşullarının (yük artışı, güç faktörü, paralel hat sayısı, hat uzunluğu, hat başı gerilimi v.b.) gerilim kararlılığı üzerindeki etkileri gözlenmiştir.

Daha sonraki çalışmada, N- baralı sistemler üzerinde yük akışı yapabilmemiz için Newton-Raphson metodu incelenmiş, Newton yöntemleri arasında yer alan, Decoupled yük akışının doğal kararlı yapısı ve karesel (kritik noktalara yakın bölgelerde) özelliğinden dolayı, bu çalışmada, bara admitans matrisi kullanılarak, Decoupled yük akışı yöntemiyle gerilim kararlılığı açısından kritik değerlerin belirlenmesine çalışılmıştır. Buna göre, sistemin yükü sabit tutularak sadece ilgilenilen barada her adımda yük artırılarak yük akışı (sonlu adımlarla) tekrar edilerek yük akışı ıraksaya kadar devam edilmiş ve ilgilenilen baradaki kritik değerlere ulaşılmıştır.

Son çalışmada ise, geliştirilen yöntemin N-baralı sistemde uygulanabilmesi için ulusal ağ şebekemizin içinde yer alan en yoğun ve önemli şebekesi olan Kuzey Batı Anadolu enerji iletim sistemi incelemeye alınmıştır. Ele alınan KBA sisteminin yıllık % 10' luk enerji talebi artışıyla, 10 yıllık bir periyot içinde çeşitli işletme koşulları altında gerilim kararlılığı, kritik güç ve gerilim değerleri üzerinde incelenmiştir.

### Sonuçlar :

İki baralı bir sistemlerde, radyal iletim hatlarının, farklı işletim koşullarında, statik gerilim kararlılığı açısından etkilenmeleri şu şekilde özetlenebilir :

- 1- Mevcut sistem parametrelerle iletim hattının uzunluğu arttıkça kritik güç ( $P_{crit}$ ), değeri artmakta buna karşılık, kritik gerilim ( $V_{crit}$ ) ve kritik yük açısı ( $\delta_{crit}$ ) değerleri azalmaktadır,
- 2- İletim hattının hat başı geriliminin arttırılması ile kritik gerilim ( $V_{crit}$ ) ve kritik güç ( $P_{crit}$ ) değerleri artmaktadır,
- 3- Paralel hatlardan birinin devre dışı kalması durumunda, hat sonu kritik geriliminin ( $V_{r_{crit}}$ ) değeri pek fazla değişmezken, kritik gücün ( $P_{r_{crit}}$ ) değeri ise yaklaşık yarıya düşmektedir,
- 4- Güç faktörünün ( $\cos\phi$ ), geri değerlerden ileri değerlere gitmesi durumunda, kritik güç ( $P_{crit}$ ), kritik gerilim ( $V_{crit}$ ) ve kritik yük açısı ( $\delta_{crit}$ ) değerleri artmaktadır,
- 5- İletim hattının sonunda reaktif güç kompanzasyonu yapılması durumunda, kompanzasyon yüzdesi arttıkça kritik güç, gerilim ve açı değerleri artmaktadır,
- 6- Seri kompanzasyon yüzdesi ( $K_s$ ) arttıkça, kritik güç ( $P_{crit}$ ) değerleri artmakta, kritik gerilim ( $V_{crit}$ ) ve kritik yük açısı ( $\delta_{crit}$ ) değerleri azalmaktadır,
- 7- Şönt kompanzasyon yüzdesi arttıkça, kritik gerilim ve kritik yük açısı değerleri azalmakta ve gerilim kararlılığı sınırları küçülmektedir

Bunun yanında, örnek olarak aldığımız, Kuzey Batı Anadolu (KBA) enerji iletim sistemini, yıllık % 10' luk enerji talebi artışlarına 10 yıllık bir periyot içinde gerilim kararlılığı açısından incelenmiş ve şu sonuçlar gözlenmiştir ;

- 1- Mevcut sistemde hiçbir iyileştirme yapılmadan mevcut sistem yükünün %10' luk bir artış yüzdesiyle periyodik olarak arttırılmasıyla sistemin yük baralarının kritik güçleri ( $P_{crit}$ ) düşmekte, buna karşın yük baralarının kritik gerilim ( $V_{crit}$ ) değerleri çok az değişerek artmaktadır.

2- Mevcut sistemdeki yıllık % 10' luk enerji talebi artışlarına karşın, Bu artışı karşılamak için sistem üretim baralarında da aynı oranda yıllık % 10 düzeyinde bir üretim artışı sağlanmasıyla çıkan sonuçta; üretim artışının, yük artışı düzeyinde olmasına karşın kritik güçler ( $P_{crit}$ ) düşmeye devam etmektedir. Kritik durumlarda çok belirgin bir iyileşme görülmemektedir.

3- İncelenen KBA enerji iletim sisteminin özelliği olan, sistemi besleyen kaynakların batı ve doğuda bulunmasından yararlanılarak, mevcut sistem yükünün % 10 enerji talebi artışıyla birlikte, sırasıyla batı ve doğu kaynaklarının aynı oranda yani yıllık % 10 arttırılmasıyla sistem incelenmiş, tüm kaynakların arttırılmasıyla yapılan inceleme sonuçlarına yakın değerler bulunmuştur. Kritik güçler ( $P_{crit}$ ) ilk incelemeler düzeyine yakın düşüşler gerçekleştirmiştir. Kritik gerilimler ( $V_{crit}$ ) doğu kaynaklarının artışlarında fazla değişmemiş, batı kaynaklarının artışında ise biraz artmıştır.

4- En son olarak sistemde fiziksel manada bir iyileştirme yapıldığı kabulüyle, hat taşıma kapasitesi iki katına çıkartılmış ve yine 10 yıllık bir periyot içerisinde yıllık % 10 enerji talebi artışlarıyla gerilim kararlılığı incelenmiştir. İnceleme sonucunda, hat taşıma kapasitesinin 2 katına çıkartılmasıyla kritik güçler yaklaşık olarak % 80 -90 oranında artmış, aynı zamanda yıllık yük artışlarındaki, kritik güç düşüşleri daha az oranda % 25-30 düzeyinde (normal hat kapasitesinde % 50-60) gerçekleşmiştir. Kritik güçlerdeki değişim oranlarını azalmasıyla, kritik gerilim çok az artış yönünde değişerek sabit kalmıştır. Bu incelemeden, sistemin kritik gücünün arttırılması, gerilim kararlılığının sağlanması, güvenilirliğin sağlanması için en büyük etkenin hat kapasitesinin arttırılmasıyla sağlanabileceği sonucu çıkmaktadır.

#### **Öneri :**

Kritik değerler üzerinde en büyük etkenler üretim, iletim hatları ve yük değerleri olduğundan, kritik değerleri iyileştirmek için yapılacak işlemlerin iletim hatları üzerinde olması gereklidir.

## KAYNAKLAR

- [1] YİĞİTGÜDEN, Y., “ Göreve Başlarken” TEAŞ, Türkiye Elektrik Üretim-İletim A.Ş. Yayın Organı, Sayı 6, S. 6-7, Ankara, 1997.
- [2] IEEE, “Special Publication 90<sup>th</sup>0358-2-PWR”, Voltaj Stability of Power Systems: Concepts, Analytical tools, and Industry Experience, 1990.
- [3] CIGRE Task Force 38-02-03, “Modelling of Voltage Collapse Including Dynamic Phenomena”, 1993.
- [4] ANDERSON, P.M., “ Power System Control And Stability”, The Iowa State University Press, 4.th printing, 1986.
- [5] TACER, E., “Enerji Sistemlerinde Kararlılık”, İTÜ Kütüphanesi, Sayı 1407, E-E Fakültesi, İstanbul, 1990.
- [6] YALÇIN, M.A., “Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşımla İncelenmesi”, Doktora Tezi, İTÜ, E-E Fakültesi, İstanbul, 1995.
- [7] OVERBY, T., “Q-V Curve Interpretations of Energy Measures for Voltage Security”, IEE Transactions On Power Systems, Vol.9, No. 1, pp 331-340, 1994.
- [8] TAYLOR, C.W., “ Power Systems Voltage Stability ”, Mc Graw-Hill, Inc.,1992
- [9] KUNDUR, P., “ Power System Stability and Control ”, Mc Graw-Hill, Inc., 1994.
- [10] SEKINE, Y., “ Cascaded Voltage Collapse ”, IEEE Transactions on Power Sytems, Vol.5, No.1, pp.250-256, February, 1990.

- [11] BERKEM, A.R., "Elektrokimya Tatbikatı", İstanbul Üniversitesi Yayınları, Sayı 1778, Şirketi Mürettebiye Basımevi, İstanbul, 1971.
- [12] ÇETİN, İ., "Elektrik Motorları", Fatih Yayınevi Matbaası, İstanbul, 1987
- [13] STEVENSON, W., "Elements of Power System Analysis" Mc Graw- Hill Book Comp., 4<sup>th</sup> edition, 1988.
- [14] TEAŞ, "Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Havai Hatların, Trafoların ve Generatörlerin Elektriki Karakteristikleri", Ankara, 1991.
- [15] GÖNEN, T., "Modern Power System Analysis" John Wiley&Sons, Inc., 1988.
- [16] ATALAY, H., "Transmisyon Tekniği", KTÜ., Makine-Elektrik Fakültesi Yayınları, No 5 , Trabzon, 1977.
- [17] SEVAİOĞLU, O., "Convergence of thr Fast Decoupled Load Flow for Systems with Heay Reactive Power Compensation, Electric Power Systems Research, pp.91-99,1992.
- [18] TARKAN, O., STTOT, B., "Elektrik Enerjisi Şebekeleri Çözümlerinde Modern Metodlar", ODTÜ, Mühendislik Fakültesi Yayınları, No 24, Başnur Matbaası, Ankara , 1970.
- [19] THOMAS, R.J., "A Posturing Strategy Against Voltage Instabilites in Electric Power Systems", IEEE Transavtions on Power Sytems, Vol 3, No 1, pp. 87-93, February, 1988.
- [20] INDULKAR, C.S., "Maximum Power Transfer Limited by Voltage Stability in Series and Shunt Compensated Schemes for A.C. Transmission Systems" IEEE Trasactions on Power Delivery, VOL 4, No 2 , pp.1246-1252, April, 1989.
- [21] KEYHANI, A., ABUR,A., " Evaluation of POWER Flow Techniques for Personel Computers", IEEE Transactions on Power Sytems, Vol 4, No 2, pp.817-826, May, 1989.



- [22] IRVING, M.R., "Efficient Newton-Raphson Algorithm for Load-Flow Calculation in Transmission and Distribution Networks, IEEE Proceedings, Vol 134, Pt.C., No 5, pp.325-327, September, 1987.
- [23] STOTT, B., ALSAC, O., "Fast Decoupled Load Flow", IEEE Trans.PAS-93, PP.859-867, 1974.
- [24] KÖSEOĞLU, Z ., "Elektrik Enerjisi ve Teaç", TEAŞ, Türkiye Elektrik Üretim-İletim A.Ş. Yayın Organı, Sayı 6, S. 10-11, Ankara, 1997.
- [25] TEK, "Ulusal Şebeke Yük Akışı ve Arıza Analizleri " TEK Matbaası, Ankara, 1991
- [26] ONAT, H., "Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları", TMMOB, Elektrik Mühendisleri Odası, İstanbul, 1983.

## EK A P-V EĞRİLERİNİN ELDE EDİLDİĞİ ANALİTİK İFADE

$A = a_1 + a_2$ ,  $B = b_1 + b_2$ ,  $C = c_1 + c_2$ ,  $D = d_1 + d_2$ , hat sabitlerini,  
 $V_s$ ,  $V_r$ , sırası ile hatbaşı ve hat sonu gerilimlerini,  
 $P_r$ ,  $Q_r$ , hat sonundan çekilen aktif ve reaktif güçleri,  
 $\cos\phi$ , güç açısını göstermek üzere;

$$V_s = A.V_r + B.I_r \quad ,$$

$$V_r = V_{r1} + jV_{r2} \quad ,$$

$$S_r = P_r + jQ_r = V_r . I_r^* \quad ,$$

$$I_r = (P_r - jQ_r) / V_r^* \quad ,$$

$$V_s = (a_1 + ja_2).(V_{r1} + jV_{r2}) + (b_1 + jb_2).[(P_r - jQ_r) / (V_{r1} + jV_{r2})]$$

$$|V_r|^2 = V_{r1}^2 + V_{r2}^2 \quad , \quad V_r^* = V_{r1} - jV_{r2} \quad ,$$

$$V_s.V_r^* = (a_1.|V_r|^2 + b_1.P_r + b_2.Q_r) + j(a_2.|V_r|^2 + b_2.P_r - b_1.Q_r)$$

her iki taraf eşleniği ile çarpılarak aşağıdaki ifadeler elde edilir ;

$$|V_s|^2.|V_r|^2 = (a_1.|V_r|^2 + b_1.P_r + b_2.Q_r)^2 + (a_2.|V_r|^2 + b_2.P_r - b_1.Q_r)^2 \quad ,$$

$$\begin{aligned} |V_s|^2.|V_r|^2 &= a_1^2.|V_r|^4 + a_1.b_1.P_r.|V_r|^2 + a_1.b_2.Q_r.|V_r|^2 \\ &+ b_1^2.P_r^2 + a_1.b_1.P_r.|V_r|^2 + b_1.b_2.P_r.Q_r \\ &+ b_2^2.Q_r^2 + a_1.b_2.Q_r.|V_r|^2 + b_1.b_2.P_r.Q_r \\ &+ a_2^2.|V_r|^4 + a_2.b_2.P_r.|V_r|^2 - a_2.b_1.Q_r.|V_r|^2 \\ &+ b_2^2.P_r^2 + a_2.b_2.P_r.|V_r|^2 - b_1.b_2.P_r.Q_r \\ &+ b_1^2.Q_r^2 - a_2.b_1.Q_r.|V_r|^2 - b_1.b_2.P_r.Q_r \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |V_s|^2.|V_r|^2 &= (a_1^2 + a_2^2).|V_r|^4 + [2.P_r.(a_1.b_1 + a_1.b_1) + 2.Q_r.(a_1.b_2 - a_2.b_1)].|V_r|^2 \\ &+ (b_1^2 + b_2^2).(P_r^2 + Q_r^2) \end{aligned}$$

$$|A|^2 \cdot |V_r|^4 + [2.P_r \cdot (a_1 \cdot b_1 + a_1 \cdot b_1) + 2.Q_r \cdot (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1) - |V_s|^2] \cdot |V_r|^2 + |B|^2 \cdot (P_r^2 + Q_r^2) = 0$$

$$a = |A|^2,$$

$$b = [2.P_r \cdot (a_1 \cdot b_1 + a_1 \cdot b_1) + 2.Q_r \cdot (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1) - |V_s|^2],$$

$$c = |B|^2 \cdot (P_r^2 + Q_r^2)$$

$x = |V_r|^2$  dönüşümü yapılarak denklem,

$a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0$  formundaki ikinci dereceden denkleme dönüştürülür.

$|V_{r,1,2}| = \pm \sqrt{x_{1,2}}$  'den (+) işaretlisi göz önüne alınarak, gerilimler belirlenir.

## EK B $P_{rcrit}$ , $V_{rcrit}$ , $\delta_{rcrit}$ İFADELERİNİN ÇIKARTILMASI

Öncelikle  $P_r$  ve  $Q_r$  ifadeleri, referanslar göz önüne alınarak belirlenir :

$V_s = V_s \angle 0$  hat başı gerilimi ,  $V_r = V_r \angle -\delta = V_r (\cos \delta - j \sin \delta)$  hat sonu gerilimi olmak üzere,

$V_s = A.V_r + B.I_r$  bağıntısından  $I_r$  akımı çekilerek.

$$I_r = \frac{V_s - A.V_r}{B} = \frac{V_s - (a_1 + ja_2).V_r.(\cos \delta - j \sin \delta)}{(b_1 + jb_2)}$$
, akım ifadesi bulunur. Bu akımın eşleniği ise şu şekilde olacaktır:

$$I_r^* = \frac{V_s - A.V_r}{B} = \frac{V_s - (a_1 - ja_2).V_r.(\cos \delta + j \sin \delta)}{(b_1 - jb_2)}$$
, bu ifade,  $S_r = V_r \cdot I_r^*$  güç

ifadesinde yerine konularak;

$$S_r = V_r.I_r^* = \frac{V_s.V_r.(\cos \delta - \sin \delta) - (a_1 - ja_2).V_r^2}{(b_1 - jb_2)}$$
, bulunur. Bu ifade düzenlenerek;

$$S_r = V_r.I_r^* = \frac{V_s.V_r.(\cos \delta - \sin \delta).(b_1 + jb_2) - (a_1 - ja_2).(b_1 + jb_2).V_r^2}{(b_1^2 + b_2^2)}$$
,

$$S_r = \frac{V_s.V_r.(b_1 \cos \delta + b_2 \sin \delta) - V_r^2.(a_1 b_1 + a_2 b_2)}{(b_1^2 + b_2^2)}$$

şeklinde genel güç ifadesi

$$+ j \frac{V_s.V_r.(b_2 \cos \delta - b_1 \sin \delta) - V_r^2.(a_1 b_2 - a_2 b_1)}{(b_1^2 + b_2^2)}$$

bulunur. Reel ve sanal kısımlar ayrılarak aktif ve reaktif güçler belirlenir :

$$P_r = \frac{V_s \cdot V_r \cdot (b_1 \cdot \cos \delta + b_2 \cdot \sin \delta) - V_r^2 \cdot (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2)}{(b_1^2 + b_2^2)} \quad (b.1)$$

$$Q_r = \frac{V_s \cdot V_r \cdot (b_2 \cdot \cos \delta - b_1 \cdot \sin \delta) - V_r^2 \cdot (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1)}{(b_1^2 + b_2^2)} \quad (b.2)$$

Bundan sonraki aşamada, 2 baralı bir sistem için Newton yük akışındaki jakobiyen matris göz önüne alınarak, bu matrisin tekilliğinden hareketle kritik değerler belirlenir.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_r \\ \Delta Q_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \delta} & \frac{\partial f_1}{\partial V_r} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \delta} & \frac{\partial f_2}{\partial V_r} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V_r \end{bmatrix}, \text{ ifadesindeki jakobiyenine ait } f_1, f_2 \text{ değerleri, (b.1) ve}$$

(b.2) denklemlerinden oluşturulur:

$$f_1(V_s, V_r, \delta) = P_r - \frac{V_s \cdot V_r \cdot (b_1 \cdot \cos \delta + b_2 \cdot \sin \delta)}{(b_1^2 + b_2^2)} + \frac{V_r^2 \cdot (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2)}{(b_1^2 + b_2^2)}$$

$$f_2(V_s, V_r, \delta) = Q_r - \frac{V_s \cdot V_r \cdot (b_2 \cdot \cos \delta - b_1 \cdot \sin \delta)}{(b_1^2 + b_2^2)} + \frac{V_r^2 \cdot (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1)}{(b_1^2 + b_2^2)}$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial \delta} = 0 - \frac{V_s \cdot V_r \cdot (-b_1 \cdot \sin \delta + b_2 \cdot \cos \delta)}{(b_1^2 + b_2^2)} + 0$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial V_r} = 0 - \frac{V_s \cdot (b_2 \cdot \cos \delta - b_1 \cdot \sin \delta)}{(b_1^2 + b_2^2)} + \frac{2 \cdot V_r \cdot (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1)}{(b_1^2 + b_2^2)}$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial \delta} = 0 - \frac{V_s \cdot V_r \cdot (-b_2 \cdot \sin \delta - b_1 \cdot \cos \delta)}{(b_1^2 + b_2^2)} + 0$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial V_r} = 0 - \frac{V_s \cdot (b_1 \cdot \cos \delta + b_2 \cdot \sin \delta)}{(b_1^2 + b_2^2)} + \frac{2 \cdot V_r \cdot (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2)}{(b_1^2 + b_2^2)}$$

biçiminde açık ifadeleri verilen jakobiyen elemanlarının, matrisin tekil olması için

$$\frac{\partial f_1}{\partial \delta} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial V_r} - \frac{\partial f_2}{\partial \delta} \cdot \frac{\partial f_1}{\partial V_r} = 0 \text{ koşulunu sağlamaları yeterlidir. Başka bir deyişle matrisin,}$$

determinantı sıfır olmalıdır.

Verilen koşul içinde, kısmi türevlerin açık ifadeleri yerine konularak, ara işlemler ve düzenlemeler yapıldıktan sonra, iki baralı sistem için kritik noktada gerilimler arasında ;

$$V_s - 2.V_r . ( a_2 . \cos \delta + a_2 . \sin \delta ) = 0 \quad (b.3)$$

ifadesi bulunur. Kritik güç açısını belirlemek için, (b.1) ve (b.2) güç ifadelerinde  $V_s$  yerine (b.3) ifadesindeki  $V_r$  ve  $\delta$  cinsinden elde edilmiş olan değeri yerine konular ve elde edilen ifadeler, aktif ve reaktif güçler arasındaki  $Q_r = P_r . \tan \varphi$  bağıntısında kullanılarak kritik güç açısı belirlenir. Ara işlemlerin sonucunda,

$$\tan 2\delta = \frac{a_1(b_2 - b_1 \tan \varphi) + a_2(b_1 + b_2 \tan \varphi)}{a_1(b_1 + b_2 \tan \varphi) + a_2(-b_2 + b_1 \tan \varphi)} \quad \text{ifadesi bulunur.}$$

$$K_1 = a_1(b_2 - b_1 \tan \varphi) + a_2(b_1 + b_2 \tan \varphi) ,$$

$$K_2 = a_1(b_1 + b_2 \tan \varphi) + a_2(-b_2 + b_1 \tan \varphi) \quad \text{kısaltmalarıyla,}$$

$$\tan 2\delta = \frac{K_1}{K_2} , 2\delta = \tan^{-1} \left( \frac{K_1}{K_2} \right) = \frac{\pi}{2} - \cotan^{-1} \left( \frac{K_1}{K_2} \right)$$

$$2\delta = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left( \frac{K_2}{K_1} \right) = \frac{\pi}{2} + \tan^{-1} \left( -\frac{K_2}{K_1} \right) \quad \text{ifadesi bulunur.}$$

Böylece kritik nokta için doğrudan, hatın A ve B sabitleri ile güç açısı ( $\varphi$ ) cinsinden kritik yük açısı belirlenmiş olmaktadır.

$$\delta_{\text{crit}} = \frac{\pi}{2} + \frac{1}{2} \cdot \tan^{-1} \left( -\frac{K_2}{K_1} \right) \quad (b.4)$$

$\delta_{\text{crit}}$  ifadesi, (b.3) ' yerine konularak, kritik hat sonu gerilimi bulunur ;

$$V_{\text{rcrit}} = \frac{V_s}{2.(a_1 . \cos \delta_{\text{crit}} + a_2 . \sin \delta_{\text{crit}})} \quad (b.5)$$

kritik güç açısı (b.4) ve kritik gerilim (b.5) değerlerini veren ifadeler, aktif güç (b.1) ifadesinde yerine konularak, hat sonundan çekilebilecek gücün kritik değeri belirlenmiş olur.

$$P_{\text{rcrt}} = \frac{V_s \cdot V_{\text{rcrt}} \cdot (b_1 \cdot \cos \delta_{\text{crt}} + b_2 \cdot \sin \delta_{\text{crt}}) - V_{\text{rcrt}}^2 \cdot (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2)}{(b_1^2 + b_2^2)} \quad \text{ifadesi bulunur.}$$

Burada,

$b_1 \cdot \cos \delta_{\text{crt}} + b_2 \cdot \sin \delta_{\text{crt}} = K_3$  kısaltması ve kritik gerilim ifadesinde de,

$a_1 \cos \delta_{\text{crt}} + a_2 \sin \delta_{\text{crt}} = K_4$  kısaltması yapılarak,  $V_{\text{rcrt}} = V_s / 2 \cdot K_4$  şeklinde yerine konulur ve ifade yeniden düzenlenirse,

$$P_{\text{rcrt}} = \frac{V_s^2 \cdot (2 \cdot K_3 \cdot K_4 - (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2))}{(b_1^2 + b_2^2) \cdot 4 \cdot K_4^2} \quad (\text{b.6})$$

kritik güç ifadesi de elde edilmiş olur.



## EK C YÜK AKIŞINDA KULLANILAN PROGRAMLAR

fkba.m [ Kuzey Batı Anadolu Enerji Sisteminin Dataları ]

okut = [ 11 10 10 100 0.0001 4 ];

baradan = [ 1 1 1 1 2 2 3 4 5 5 5 ];

baraya = [ 2 6 7 10 3 6 4 5 8 9 10 ];

zhat [ 0.000180+0.002142i  
0.003540+0.032713i  
0.000550+0.005089i  
0.003670+0.042188i  
0.000310+0.003692i  
0.002405+0.027634i  
0.000385+0.003560i  
0.001049+0.009710i  
0.002405+0.022275i  
0.003265+0.029887i  
0.001588+0.014463i ];

ysont = [ 0.131028i  
0.363255i  
0.058193i  
0.692991i  
0.225897i  
0.453925i  
0.157459i  
0.429503i  
0.246284i  
0.338289i  
0.168657i ];

gerilim = [ 1 1 1 1 1 1.051 1.014 1.036 1.032 1.030 ];

guc = [-3.916-2.415i  
-3.194-1.936i  
-3.214-1.908i  
-3.565-1.982i  
-4.321-0.594i  
+7.130+0i  
+3.576+0i  
+1.615+0i  
+2.975+0i  
0 ];

qlimak = [ 0 0 0 0 0 +6 +2.3 +1 +2 0 ];

qlimin = [ 0 0 0 0 0 -4 -2.3 -1 -1 0 ];



**yukaks.m [ N- Baralı Enerji İletim Sisteminin Yük Akışı Programı ]**

**% --- Sistem Datalarının Okutulması -----**

```
clear
fkba;
maksay=0;
nel=okut(1);
n=okut(2);
sb=okut(3);
sbase=okut(4);
eps=okut(5);
pv=okut(6);
```

```
for i=1:nel
    ia(i)=baradan(i);
    ja(i)=baraya(i);
    z(i)=zhat(i);
    yst(i)=ysont(i);
end
% disp('').f
```

**% ---  $Y_{\text{bara}}$  Kurulması -----**

```
for i=1:nel;
    for j=1:nel;
        ysht(i,j)=0;
    end
end
```

```
for i=1:nel;
    y=1/z(i);
    y1=yst(i);
```

```
    ib=ia(i);
    jb=ja(i);
```

```
    ybara(ib,jb)=-y;
    ybara(jb,ib)=-y;
```

```
    ybara(ib,ib)=ybara(ib,ib)+y+y1;
    ybara(jb,jb)=ybara(jb,jb)+y+y1;
```

```
    ysht(ib,jb)=y1;
    ysht(jb,ib)=y1;
end
```

**% ---  $Y_{\text{bara}}$  kuruldu -----**

```
for k=1:n
    e(k)=gerilim(k);
    s(k)=guc(k);
end
```

```

kats=input('tüm yuku arttır ')
for k=1:n-pv
    s(k)=s(k)*kats;
end

kac=input('hangi yuk barasi ')
kat=input('yuku arttır ')
s(kac)=s(kac)*kat
pause

%sayi1=n-pv
%sayi2=n-1
%for ii=n-pv:n-1

for ii=1:n
    qmak(ii)=qlimak(ii);
    qmin(ii)=qlimin(ii);
end

% *****

nek =n-1;
anm=-1i;

for k=1:n;
    for l=1:n;
        g(k,l)=real(ybara(k,l));
        b(k,l)=imag(ybara(k,l));
    end
end

for m=1:n
    er(m)=real(e(m));
    ef(m)=imag(e(m));
    teta(m)=atan(ef(m)/e (m));
    ev(m)=sqrt(er(m)*er(m)+ef(m)*ef(m));
    av(m)=ev(m);
    p(m)=real(s(m));
    q(m)=imag(s(m));
end

% — iterasyon başlıyor -----

kiter=0;
% eps kontrollu while
buyuk=1;
while buyuk>eps

kiter=kiter+1;
if kiter>100
break
end

```

```

j=1;
while j<n
ap=0;
aq=0;
for l=1:n
ap=ap+ev(j)*ev(l)*(g(j,l)*cos(teta(j)-teta(l))+b(j,l)*cos(teta(j)-teta(l)));
aq=aq+ev(j)*ev(l)*(g(j,l)*sin(teta(j)-teta(l))-b(j,l)*cos(teta(j)-teta(l)));
end
pk(j)=ap;
qk(j)=aq;
j=j+1;
end
for m=1:n-1
dp(m)=p(m)-pk(m);
end
for mn=1:n-1-pv+maksay
dq(mn)=q(mn)-qk(mn);
end

```

```

% --- reaktif güç sınırlarının kontrolü -----

```

```

if kiter>1
maksay=0;
for mn=n-pv:n-1
if qk(mn)>qmak(mn)
q(mn)=qk(mn);
qk(mn)=qmak(mn);
dq(mn)=qk(mn)-q(mn);
maksay=maksay+1;
tut(maksay)=mn;
end
if qk(mn)>qmin(mn)
q(mn)=qk(mn);
qk(mn)=qmin(mn);
dq(mn)=qk(mn)-q(mn);
maksay=maksay+1;
tut(maksay)=mn;
end
% for
end
% if kiter > 1
end

```

```

% --- MAX değer hesabı -----

```

```

pb=0;
for m=1:n-1
if abs(dp(m))>pb;
pb=abs(dp(m));
end
end
qb=0;
for m=1:n-1-pv

```

```

    if abs(dq(m))>qb;
    qb=abs(dq(m));
    end
end
if pb>qb
    buyuk=pb;
else
    buyuk=qb;
end

% --- Jakobiyenin Hesabı -----

%--- J1-----
for i=1:n-1;
    for j=1:n-1;
        if i==j;
            ajac(i,j)=-ev(j)*ev(j)*b(j,j)-qk(i);
            else
            ajac(i,j)=ev(i)*(g(i,j)*sin(teta(i)-teta(j))-b(i,j)*cos(teta(i)-teta(j)));
            end
        jat(i,j)=ajac(i,j);
    end
end

%--- J2-----
for i=1:n-1;
    for j=1:n-1;
        ajac(i,j+nek)=0;
    end
end

%--- J3-----
for i=1:n-1;
    for j=1:n-1;
        ajac(i+nek,j)=0;
    end
end

%--- J4-----
for i=1:n-1-pv
    for j=1:n-1
        if i==j;
            ajac(i+nek,j+nek)=-ev(i)*ev(i)*b(j,j)+qk(i);
            else
            ajac(i+nek,j+nek)=ev(i)*ev(j)*(g(i,j)*sin(teta(i)-teta(j))-b(i,j)*cos(teta(i)-teta(j)));
            end
    end
end

%--- J4'-----
if maksay>0
    msay=0;
    for i=n-pv:n-pv+maksay-1;

```

```

jj=i;
msay=msay+1;
ii=tut(msay);
for j=1:n-1;
if i==j
ajac(i+nek,j+nek)=-ev(ii)*ev(ii)*b(ii,ii)+qk(ii);
else
if j==ii
if jj==ii
bos=0
else
ajac(i+nek,j+nek)=ev(ii)*ev(j)*(g(ii,jj)*sin(teta(ii)-teta(j))-b(ii,jj)*cos(teta(ii)-teta(jj)));
% ajac(i+nek,j+nek)=ev(ii)*ev(jj)*(g(ii,j)*sin(teta(ii)-teta(j))-b(ii,j)*cos(teta(i)-teta(jj)));
end
else
ajac(i+nek,j+nek)=ev(ii)*ev(j)*(g(ii,j)*sin(teta(ii)-teta(j))-b(ii,j)*cos(teta(ii)-teta(j)));
% ajac(i+nek,j+nek)=ev(ii)*(g(ii,jj)*sin(teta(ii)-teta(jj))-b(ii,jj)*cos(teta(ii)-teta(jj)));
end
%-- end if i==j -----
end
%---end for j-i -----
end
end

% --- pivot-----

msay=0;
for ik=1:maksay
msay=msay+1;
for i=1:n-1-pv;
j=n-pv+msay-1;
jj=tut(msay);
ajan=ajac(i+nek,j+nek);
ajac(i+nek,j+nek)=ajac(i+nek,jj+nek);
ajac(i+nek,jj+nek)=ajan;
end
end
% end if maksay>0
end
%----
m=2*nek-pv+1maksay;

% --- TERS JACOB -----

for k=1:m
for l=1:m
jac(k,l)=ajac(k,l);
end
end
ajac=inv(jac);
% Vp=Vp+DVp ' nin hesabı
for i=1:2*n-2
dpq(i)=0;

```

```

    de(i)=0;
end
for i=1:n-1
    dpq(i)=dp(i);
end
for i=1:n-1-pv
    dpq(i+nek)=dq(i);
end
if maksay>0
    msay=0;
    for i=n-pv:n-pv+maksay-1
        msay=msay+1;
        ii=tut(msay);
        dpq(i+nek)=dq(ii);
    end
% if maksay < 0 end
end
for i=1:m
    ade=0;
    for j=1:m
        ade=ade+ajac(i,j)*dpq(j);
    end
    de(i)=ade;
end
for i=1:n-1
    der(i)=de(i);
end
for i=1:n-1
    dei(i)=de(i+nek);
end
for i=1:n-1
    teta(i)=teta(i)+der(j);
end
for i=1:n-1-pv
    ev(i)=ev(i)+dei(j);
end
if maksay<0
    msay=0;
    for i=n-pv:n-pv+maksay;
        msay=msay+1;
        ii=tut(msay);
        ev(ii)=ev(ii)+dei(i);
    end
% if maksay < 0 end
end
for mm=n-pv:n-1
    if q(mm)<qmak(mn)
        ev(mm)=ev(mm);
    elseif q(mm)<qmin(mn)
        ev(mm)=ev(mm);
    else
        ev(mm)=av(mm);
    end
end

```

```

end
%** while eps kiter end*****
end
for i=1:n
    eg(i)=ev(i);
    er(i)=eg(i)*cos(teta(i));
    ef(i)=eg(i)*sin(teta(i));
    v(i)=er(i)+ef(i)*1i;
end
pk*100

% --- yük akışı -----

swb=0;
for i=1:n
    for j=1:n
        if i~=j
            % i,j
            ypq=-ybara(i,j);
            vlf1=conj(v(i));
            vlf2=v(i)-v(j);
            vlf3=abs(v(i));
            vlf3=v(i)*vlf1;
            slf=vlf1*vlf2+vlf3*ysht(i,j);

% --- Hat Akışları İçin ; Kaldır -----

slf=sbase*conj(slf);
if i==sb
    swb=swb+slf;
end
kont=abs(slf);
end
end
end

pk(n)=real(swb);
qk(n)=imag(swb);
for i=1:n-1
    pk(i)=pk(i)*sbase;
    qk(i)=qk(i)*sbase;
end

for i=1:n
    aci(i)=atan(ef(i)/er(i))*180/(pi);
end
% ----svd---
%tekil=min(svd(jac))
%tekil=min(svd(jat))
%ozv=eig(jac);
%ozv=eig(jat);
%-----

```

## ÖZGEÇMİŞ

1967 yılında Sakarya ilinin, Hendek ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğretimini Hendek’de tamamladı. İlk üniversite tahsilini 1986 yılında Yıldız Üniversitesi, Kocaeli Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Meslek Yüksekokulu, Elektrik Teknikerliği programını bitirerek tamamladı. Daha sonra 1987 yılında Yıldız Üniversitesi, Elektrik Mühendisliğini kazandı, 1988 yılında İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümüne yatay geçiş yaparak, bu bölümden 1991 yılında mezun oldu. Bir süre özel şirketlerde çalıştıktan sonra, 1997 yılından beri Sakarya Üniversitesi, Hendek Meslek Yüksekokulu, Elektrik Programında Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.