

**T.C.
TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ GERİLİM KARARLILIĞININ YAPAY
ZEKA YAKLAŞIMLARI İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak YILDIRIM

Anabilim Dalı: Elektrik Elektronik Mühendisliği

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ**

MAYIS 2013

**T.C.
TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ GERİLİM KARARLILIĞININ YAPAY
ZEKA YAKLAŞIMLARI İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak YILDIRIM

101103107

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Nisan 2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Mayıs 2013

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ (T.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Eyyüp ÖKSÜZTEPE (T.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK (T.Ü)

MAYIS 2013

Burak YILDIRIM tarafından hazırlanan GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ GERİLİM KARARLILIĞININ YAPAY ZEKA YAKLAŞIMLARI İLE İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. Bu tez, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Eyyüp ÖKSÜZTEPE (T.Ü)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ (T.Ü)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK (T.Ü)

Tarih : 15 Mayıs 2013

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmam süresince her türlü konuda bilgisini ve yardımını eksik bırakmayan tez danışmanım Yrd. Doç Dr. Hüseyin ERİŞTİ' ye ve Tunceli Üniversitesi öğretim elemanlarından Özal YILDIRIM'a teşekkür eder;

Ayrıca her türlü konuda desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme ve bana gösterdiği sevgi ve sabır dolayısıyla eşim Duygu YILDIRIM'a sonsuz teşekkür ederim.

Burak YILDIRIM

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
TABLOLAR LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XII
BÖLÜM I	1
1. GİRİŞ	1
BÖLÜM II	5
2. GÜÇ SİSTEMLERİNİN KARARLILIĞININ TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI	5
2.1. Giriş.....	5
2.2. Güç Sistemleri Kararlılığının Tanımı.....	6
2.3. Güç Sistemi Kararlılığının Sınıflandırılması.....	7
2.3.1. Sınıflandırmaya Olan İhtiyaç	7
2.3.2. Kararlılığın Kategorileri.....	8
2.4. Rotor Açısı Kararlılığı.....	9
2.5. Gerilim Kararlılığı.....	13
2.6. Frekans Kararlılığı	18
2.7. Dünyada Meydana Gelmiş Olan Gerilim Çökmeleri	19
BÖLÜM III	22
3. GERİLİM KARARLILIĞI ANALİZ YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ ...	22
3.1. Giriş.....	22
3.2. P-V Eğrisi Üzerinden Kritik Değerlerin Belirlenmesi	23
3.3. Güç Akış Yöntemleri Yardımıyla Gerilim Kararlılığı Analizi	26
3.3.1. Çatallanma Teorisi	27
3.3.2. Süregelen Güç Akışı	28
3.3.2.1. Tahmin Adımı	30
3.3.2.2. Düzeltme Adımı	31
3.3.2.3. Ölçülebilirlik	31
3.3.2.4. Ölçülebilirsiz Süreklilik Metodu.....	32

BÖLÜM IV	34
4. YAPAY SİNİR AĞLARI VE EN KÜÇÜK KARELER DESTEK VEKTÖR MAKİNESİ.....	34
4.1. Yapay Sinir Ağları	34
4.1.1. Yapay Sinir Ağlarının Genel Kullanım Alanları.....	35
4.1.2. Bir Yapay Sinirin Ana Öğeleri.....	36
4.1.2.1. Girişler	37
4.1.2.2. Ağırlıklar.....	37
4.1.2.3. Toplama işlevi.....	38
4.1.2.4. Etkinlik İşlevi.....	38
4.1.2.5. Ölçekleme ve Sınırlama	39
4.1.2.6. Çıkış İşlevi	39
4.1.2.7. Öğrenme.....	40
4.1.3. Yapılarına Göre İleri Beslemeli Ağlar	40
4.1.4. Yapılarına Göre Geri Beslemeli Ağlar.....	41
4.1.5. Yapay Hücre Yapılarının İncelenmesi	42
4.1.6. Yapay Sinir Ağı Yapılarının İncelenmesi	43
4.2. En Küçük Kareler Destek Vektör Makinesi.....	45
BÖLÜM V	50
5.GÜÇ SİSTEMİNİN GERİLİM KARARLILIĞI KRİTİK DEĞERLERİNİN ELDE EDİLEREK YSA VE EKKDVM EĞİTİMİ.....	50
5.1. Güç Sistemi Analiz Araç Kutusu	50
5.2. Güç Akışı İçin Gerekli Parametrelerin Tanıtılması.....	53
5.2.1. Baralar	54
5.2.2.İletim Hatları	54
5.2.3. Transformatörler	55
5.2.4. Salınım Barası	56
5.2.5. PV Generatör.....	58
5.2.6. PQ Yük.....	59
5.3. IEEE 14 Baralı Sistem	59
5.4. IEEE 14 Baralı Sisteminin YSA Ve EKKDVM İle Analizi	73
5.5. 13 Baralı Gerçek Sistem.....	84
5.6. 13 Baralı Gerçek Sistemin YSA ve EKKDVM ile Analizi	102

BÖLÜM VI.....	118
6. SONUÇLAR.....	118
7. KAYNAKLAR.....	120
8. ÖZGEÇMİŞ	127

ÖZET

Güç sistemlerinde sürekli olarak yük taleplerinin artması, elektrik şebekelerinin sürekli büyümesi, yeni teknolojilerin ve kontrollerin kullanımı gibi olaylar, farklı yapılardaki sistem kararlılık problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Güç sistemlerinin, en uygun tasarlanması ve çalışması için farklı şekillerdeki kararsızlıklar ve birbirleri ile olan ilişkileri açık bir şekilde ortaya çıkarılmalıdır. Meydana gelebilecek bu kararsızlığın sistem içinde ekonomik açıdan büyük zararlar meydana getirmesini önlemek için kararlılık kriterlerinin önceden tahmin edilmesi ve gerekli düzenleyici çalışmaların yapılması gereklidir.

Bu tez çalışmamızda öncelikli olarak güç sistem kararlılık probleminin tanımı yapılmış ve güç sisteminin kararlılığının sınıflandırılmasına olan ihtiyaç belirtilmiştir. Güç sistemi kararlılık probleminin sınıflandırılmasından gerilim kararlılığı konusuna giriş yapılarak sistem gerilim kararlılığı için kritik değerler, Güç sistemi analiz araç kutusu (PSAT) programı yardımıyla elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak Yapay sinir ağı (YSA) ve En küçük kareler vektör destek makinesi (EKKVDM) algoritmaları ile gerilim kararlılığı kritik değerleri tespit edilmiştir.

Güç sistemlerinin değişik çalışma koşullarında elde edilen gerilim kararlılığı kritik değerleri yardımıyla eğitilen YSA ve EKKVDM algoritmalarının gerilim kararlılığı analizindeki başarıları gösterilmiştir. Bunun için IEEE 14 baralı bir güç sistemi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Daha sonra Kuzey doğu Anadolu bölgesinde Elazığ, Tunceli, Bingöl ve Muş illerinde belirli bölgeleri içine alan 13 baralı bir güç sistemi kurularak gerilim kararlılığı analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre oldukça başarılı gerilim kararlılığı tespit işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güç Sistemlerinin Kararlılığı, Gerilim Kararlılığı.

SUMMARY

Investigation of Voltage Stability in Power Systems Using Artificial Intelligent Approaches

The events such as the increase of load demands constantly in power systems, the continuous growth of electricity networks, the use of new technologies and the controls have led to the emergence of system stability problems in different structures. For the design and operation of the power system in the optimum level, instabilities in different ways and their relations with each other should be revealed clearly. To prevent great economic losses in the system as a result of the possible instabilities, it is necessary to predict stability criteria and do the necessary regulatory works.

In this thesis study, the problem of power system stability has been defined as a priority and the need for the classification of the stability of the power system has been stated. By leading in from the classification of power system stability problem to the voltage stability, critical values for the system voltage stability have been obtained with the Power system analysis tool box (PSAT) program. By using obtained values, Artificial neural network (ANN) and Least squares support vector mechanism (LS-SVM) algorithms have been determined with the voltage stability critical values.

The achievements of ANN and LS-SVM algorithms, trained with the help of power system voltage stability critical values obtained under different conditions, on the voltage stability analysis have been shown. Therefore, studies have been conducted on IEEE 14 busbar power system. Afterwards, voltage stability analyzes have been carried out by establishing 13 busbar power system which covers specific areas in the provinces of Elazığ, Tunceli, Bingöl and Muş in the North-eastern Anatolia region. According to obtained the results, a very succesful fixation of voltage stability has been carried out.

Key Words: Power System Stability, Voltage Stability.

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Güç sistemi kararlılığının IEEE / CIGRE' ye göre sınıflandırılması.....	9
Şekil 3.1. İletim hattının iki kapılı devre olarak gösterilmesi	24
Şekil 3.2. $f(x, \lambda)$ için çatallanma diyagramı	28
Şekil 3.3. Tahmin ve düzeltme adımlarının gösterimi.	29
Şekil 3.4. Sürekli güç akışı için akış diyagramı	33
Şekil 4.1. Yapay bir sinir (düğüm)	37
Şekil 4.2. Etkinlik fonksiyonları.....	39
Şekil 4.3. Çok Katmanlı ileri beslemeli bir YSA	41
Şekil 4.4. Geri beslemeli iki katmanlı YSA	42
Şekil 5.1. PSAT işlemler özet şeması.....	53
Şekil 5.2. Psat programında düzenlenmiş IEEE-14 baralı sistem	60
Şekil 5.3. IEEE 14 baralı sistem tek hat şeması	61
Şekil 5.4. 2 numaralı bara'ya ait V _{krt.} değerleri	63
Şekil 5.5. 3 numaralı bara'ya ait V _{krt.} değerleri	64
Şekil 5.6. 4 numaralı bara'ya ait V _{krt.} değerleri	65
Şekil 5.7. 5 numaralı bara'ya ait V _{krt.} değerleri	66
Şekil 5.8. 6 numaralı bara'ya ait V _{krt.} değerleri	67
Şekil 5.9. 7 numaralı bara'ya ait V _{krt.} değerleri	68
Şekil 5.10. 8 numaralı bara'ya ait V _{krt.} değerleri	69
Şekil 5.11. 9 numaralı bara'ya ait V _{krt.} değerleri	70
Şekil 5.12. 10 numaralı bara'ya ait V _{krt.} değerleri	71
Şekil 5.13. 11 numaralı bara'ya ait V _{krt.} değerleri	72
Şekil 5.14. 2 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri	74
Şekil 5.15. 2 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri.....	74

Şekil 5.16. 3 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri	75
Şekil 5.17. 3 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri.....	75
Şekil 5.18. 4 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri	76
Şekil 5.19. 4 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri.....	76
Şekil 5.20. 5 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri	77
Şekil 5.21. 5 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri.....	77
Şekil 5.22. 6 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri	78
Şekil 5.23. 6 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri.....	78
Şekil 5.24. 7 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri	79
Şekil 5.25. 7 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri.....	79
Şekil 5.26. 8 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri	80
Şekil 5.27. 8 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri.....	80
Şekil 5.28. 9 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri	81
Şekil 5.29. 9 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri.....	81
Şekil 5.30. 10 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri	82
Şekil 5.31. 10 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri.....	82
Şekil 5.32. 11 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri	83
Şekil 5.33. 11 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri.....	83
Şekil.5.34. PSAT programında düzenlenmiş13 baralı sistem	85
Şekil.5.35. 13 baralı sistemin tek hat şeması.....	86
Şekil 5.36. Bingöl barasına ait Vkr. değerlerinin değişimi	89
Şekil 5.37. Bingöl barasına ait Vkr. değerlerinin değişimi	89
Şekil 5.38. Özlüce barasına ait Vkr. değerlerinin değişimi.....	91
Şekil 5.39. Özlüce barasına ait Vkr. değerlerinin değişimi.....	91
Şekil 5.40. Muş barasına ait Vkr. değerlerinin değişimi	93

Şekil 5.41. Muş barasına ait Vkr. değerlerinin değişimi	93
Şekil 5.42. Mercan barasına ait Vkr. değerlerinin değişimi	95
Şekil 5.43. Mercan barasına ait Vkr. değerlerinin değişimi	95
Şekil 5.44. Pülümür barasına ait Vkr. değerlerinin değişimi	97
Şekil 5.45. Pülümür barasına ait Vkr. değerlerinin değişimi	97
Şekil 5.46. Tunceli barasına ait Vkr. değerlerinin değişimi	99
Şekil 5.47. Tunceli barasına ait Vkr. değerlerinin değişimi	99
Şekil 5.48. Elazığ barasına ait Vkr. değerlerinin değişimi	101
Şekil 5.49. Elazığ barasına ait Vkr. değerlerinin değişimi	101
Şekil 5.50. Bingöl barasına ait YSA tahminleri	104
Şekil 5.51. Bingöl barasına ait EKKDVM tahminleri	104
Şekil 5.52. Bingöl barasına ait YSA tahminleri	105
Şekil 5.53. Bingöl barasına ait EKKDVM tahminleri	105
Şekil 5.54. Özlüce barasına ait YSA tahminleri	106
Şekil 5.55. Özlüce barasına ait EKKDVM tahminleri	106
Şekil 5.56. Özlüce barasına ait YSA tahminleri	107
Şekil 5.57. Özlüce barasına ait EKKDVM tahminleri	107
Şekil 5.58. Muş barasına ait YSA tahminleri	108
Şekil 5.59. Muş barasına ait EKKDVM tahminleri	108
Şekil 5.60. Muş barasına ait YSA tahminleri	109
Şekil 5.61. Muş barasına ait EKKDVM tahminleri	109
Şekil 5.62. Tunceli barasına ait YSA tahminleri	110
Şekil 5.63. Tunceli barasına ait EKKDVM tahminleri	110
Şekil 5.64. Tunceli barasına ait YSA tahminleri	111
Şekil 5.65. Tunceli barasına ait EKKDVM tahminleri	111

Şekil 5.66. Pülümür barasına ait YSA tahminleri	112
Şekil 5.67. Pülümür barasına ait EKKDVM tahminleri	112
Şekil 5.68. Pülümür barasına ait YSA tahminleri	113
Şekil 5.69. Pülümür barasına ait EKKDVM tahminleri	113
Şekil 5.70. Mercan barasına ait YSA tahminleri	114
Şekil 5.71. Mercan barasına ait EKKDVM tahminleri	114
Şekil 5.72. Mercan barasına ait YSA tahminleri	115
Şekil 5.73. Mercan barasına ait EKKDVM tahminleri	115
Şekil 5.74. Elazığ barasına ait YSA tahminleri	116
Şekil 5.75. Elazığ barasına ait EKKDVM tahminleri	116
Şekil 5.76. Elazığ barasına ait YSA tahminleri	117
Şekil 5.77. Elazığ barasına ait EKKDVM tahminleri	117

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 5.1. PSAT ile Matlab'daki diğer güç sistemi programları karşılaştırılması	52
Tablo 5.2. PSAT bara bileşeni veri giriş formatı	54
Tablo 5.3. PSAT iletim hattı bileşeni veri giriş formatı	54
Tablo 5.4. PSAT alternatif akım iletim hattı bileşeni veri giriş formatı	55
Tablo 5.5. PSAT transformatör bileşeni veri giriş formatı	56
Tablo 5.6. PSAT salınım barası bileşeni veri giriş formatı	58
Tablo 5.7. PSAT PV generatör bileşeni veri giriş formatı	58
Tablo 5.8. PSAT PQ yük bileşeni veri giriş formatı	59
Tablo 5.9. IEEE 14 baralı sisteme ait hat karakteristikleri	61
Tablo 5.10. IEEE 14 baralı sisteme ait bara gerilim değerleri	62
Tablo 5.11. IEEE 14 baralı sistem için yüklere ait P ve Q değerleri	62
Tablo 5.12. YSA algoritma parametreleri.....	73
Tablo 5.13. EKKDVM algoritma parametreleri	73
Tablo 5.14. 13 baralı gerçek sisteme ait bara gerilim değerleri.....	86
Tablo 5.15. 13 baralı gerçek sisteme ait hat karakteristikleri	87
Tablo 5.16. 13 baralı gerçek sistemin yüklere ait P ve Q değerleri	87
Tablo 5.17. YSA algoritma parametreleri.....	103
Tablo 5.18. EKKDVM algoritma parametreleri	103
Tablo 5.19. EKKDVM algoritma parametreleri	103

KISALTMALAR LİSTESİ

CCA	: Kanonik Korelasyon Analizi
CIGRE	: Büyük Elektrik Sistemleri Uluslararası Konseyi
CPF	: Süregelen Güç Akışı
DVM	: Destek Vektör Makinesi
EKKDVM	: En Küçük Kareler Destek Vektör Makinesi
EST	: Eğitim Simülasyon Aracı
FACTS	: Esnek Alternatif Akım İletim Sistemi
GAMS	: Genel Cebirsel Modelleme Sistemi
HVDC	: Yüksek Gerilim Doğru Akım
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
KKT	: Karush Kuhn Tucker Şartları
MatEMTP	: Matlab Elektromanyetik Transient Programı
MATLAB	: Matris Laboratuvarı
NARX	: Dış Kaynak Girişli Doğrusal Olmayan Otoregresif ağ
OPF	: Optimal Güç Akışı
PAT	: Güç Analizi Araç Kutusu
PLS	: Temel Bileşen Analizi
PSAT	: Güç Sistemi Analiz Araç Kutusu
PST	: Güç Sistemi Araç Kutusu
SPS	: SimPowerSystems
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
UWPFLOW	: Waterloo Üniversitesi Güç Akışı
VST	: Gerilim Kararlılığı Araç Kutusu
YSA	: Yapay Sinir Ağı

BÖLÜM I

1. GİRİŞ

Güç sistemi kararlılığı, verilen birincil çalışma şartındaki bir sistemin, fiziksel bir sorunla karşılaştığında sistemin tekrar dengeyi sağlayabilmesidir. Güç sistemlerinde kararlılık, güç sisteminin normal çalışma şartlarında dengeli çalışmaya devam etmesi ve herhangi bir bozucuya maruz kaldıktan sonra kabul edilebilir bir denge durumuna yeniden kavuşması olarak da tanımlanabilir.

Güç sistemlerinde kararsızlık probleminin sistem yapısına ve çalışma şartlarına bağlı olarak pek çok farklı şekilde açığa çıkabilmesi mümkündür. Kararlılığın değerlendirilmesinde önemli olan, geçici bir bozucu ile karşılaşıldığında güç sisteminin göstereceği tepkidir. Sistemde meydana gelebilecek bozulmalar, küçük ya da büyük boyutlardadır. Ayrıca yük değişimlerinin meydana getireceği küçük bozulmalar sistemde sürekli olarak oluşacaktır. Sistemimiz ise bu değişen şartlara devamlı olarak kendini ayarlayacaktır. Elektrik güç sistemleri, iletim hattı üzerinde bir arıza meydana gelmesi, büyük bir generatörün ya da yükün devreden düşmesi, iki alt sistem arasında iletimin yok olması gibi ağır etkiler yaratabilecek çok sayıda bozucu etkiye maruz kalmaktadır. Sistemimiz bir bozucuyla karşılaştığı zaman, koruyucu teçhizatlar da dahil olmak üzere cihazların çoğunun çalışması gereklidir. Koruma teçhizatlarının çalışması ile arızalı olan kısımların sistemden ayrılması, senkron makinelerin rotor hızlarında ve bara gerilim değerlerinde değişimler gibi birçok değişim sistemde meydana gelecektir. Gerilim değişimleri hem üretim merkezlerinde generatör regülatörlerini hem de iletim sistemlerimizde bulunan gerilim regülatörlerini tetiklenmesini sağlayacaktır. Bunun etkisi ile hız değişimleri tahrik makinesi devir sayısı regülatörlerini harekete geçirecektir. Bağlantı hattına bağlı yüklerde meydana gelen değişim sonucunda üretim kontrolü kısımlarının çalışmasını sağlayacaktır. Gerilim ve frekanslarda meydana gelen değişimlerin etkisi ile onların bireysel özelliklerine bağlı olarak değişen seviyelerde sistem üzerindeki yükler etkilenecektir. Ayrıca, her bir devre elemanını korumak için kullanılacak koruma teçhizatları sistem değişkenlerindeki değişmelere cevap verecek ve dolayısıyla sistem davranışını etkileyeceklerdir. Bu nedenlerden dolayı, sistemdeki olayları basitleştirmek ve kararlılık probleminin özelliğini etkileyen faktörler üzerinde yoğunlaşmak için, genellikle birçok varsayımlar yapılır. Kararlılık probleminin daha iyi

anlaşılmasında, kararlılığın çeşitli kategorilerde sınıflandırılması büyük ölçüde yarar sağlayacaktır (Demirören ve Zeynelgil, 2004).

Gerilim kararlılığı problemi, güç sisteminin en önemli kararlılık problemlerinden biridir. Gerilim kararlılığı problemi, güç sisteminde bulunan yük baralarının gerilim değerlerini sistemde meydana gelebilecek her koşulda belirli işletme sınırları içinde tutulabilme yeteneği olarak tanımlanır. Güç Sistemleri alanında son zamanlarda yapılan çalışmalar incelendiğinde gerilim kararlılığı konusuna olan ilginin önemli oranda arttığı görülmektedir. Meydana gelen bu artışta kuşkusuz son yıllarda dünyanın farklı bölgelerinde meydana gelen gerilim kararlılığı problemi kaynaklı olumsuz olaylar gösterilebilir. Gerilim kararlılığı alanındaki çalışmaların yoğunlaşmasına sebep olan önemli olayların yıllar itibarıyla meydana geldiği ülkeler şunlardır. Belçika (1982), İsveç (1983), Fransa (1978, 1987, 1990), Japonya (1987), Amerika (1970, 1987, 1990), İngiltere (1986), (Harmand, 1990; Johansson ve Sjogren, 1995; Walve, 1986; Damme, 1983), Amerika – Kanada (2003), İtalya (2003), İsveç-Danimarka (2003), Bahreyn (2004), Amman (2004), Yunanistan (2004), Avustralya (2005), Rusya (2005), Yeni Zelanda (2006) (Öztürk, 2007).

Güç sistemlerinin kararlılık analizinde yapılan çalışmalar aktif güç ile yük açısı arasındaki bağlantı aracılığıyla yapılmaktadır. Gerilim kararlılığı analizlerinde ise reaktif güç ile buna bağlı olarak bara gerilimlerinin genlik değerleri arasındaki bağlantı kullanılmaktadır. Ayrıca gerilim kararlılığı çalışmalarında, güç sistemi analizi klasik yöntemlerinden birisi olan P-V eğri yöntemi yardımıyla, yük barasından maksimum aktif güç iletimi yapıldığı anda baranın o andaki gerilim genlik değeri bulunması kuralına dayanan yöntemde kullanılmaktadır (Lee ve Tsai, 2004).

Güç sistemlerinde yük baralarındaki gerilimin azalması durumunda, bu gerilim düşümünü karşılayacak yeterli seviyede reaktif gücün üretilerek güç sistemine verilememesi gerilim kararlılık problemini meydana getirmektedir. Bunun sonucunda ise gerilim değeri, gerilim kararlılığı açısından kritik öneme sahip değerlerin altına düşmesi sonucunda sistemin belirli bir bölümünde ve devamında ise sistemin genelini kapsayacak şekilde bir gerilim çökmesi meydana getirecektir.

Gerilim kararlılığı probleminde çeşitli yöntemler yardımıyla gerilim kararlılığı analizi yapılmaktadır. Burada temel hedef gerilim kararlılığının kritik değerini baralar

için elde etmek ve bu şekilde sistemin tasarımı esnasında gerilim kararlılığı yönünden gerekli şartları sağlayabilmektir. Gerilim kararlılığı analiz yöntemlerinden biri olan P-V eğrileri yönteminin dışında güç sisteminin dinamiğini ifade eden diferansiyel denklemlerin tekil noktalarının arandığı analitik yöntemlerde diğer bir analiz yöntemidir. Bu analiz yönteminde güç sistemlerinin yük akışı formülleri kullanılır. İlk olarak sistem doğrusal forma getirilir ve daha sonra sistemin jakobiyen matrisi elde edilir. Böylece kararlılık analizi jakobiyen matrisin özdeğerleri ile belirlenir. Bu sistemin sürekli hal kararlılığını bulmamızda yararlandığımız klasik yöntemlerdir.

Günümüzde elektrik enerjisine olan ihtiyaç, artan nüfus ve sanayileşme nedeniyle hızla artmakta ve bunun sonucu olarak da sistemlerimizde büyük güçlü generatör kullanımı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, enerji üretim merkezlerinin yaşam merkezlerinden uzak olması nedeniyle yüksek gerilim iletim hatlarının kullanımı, yayılan nüfus sayesinde dağıtım sistemlerinin genişleyen yapıları, işletme şartlarını ve kontrol işlemlerini oldukça karmaşık bir hal almasını sağlamıştır. Yukarıda bahsedilen tüm etkenler güç sistemi kararlılığı üzerinde belirli bir etkiye sahiptir. Güç sistemimizde özellikle arıza esnasında yukarıdaki tüm etkenlerin etkisi meydana geleceği için klasik kararlılık yöntemlerinin yanında sistemin geçici hal kararlılığını analiz etmemize yardımcı olan simülasyon yöntemleri de kullanılmaktadır. Özellikle bilgisayar sayısal simülasyon yöntemlerinin gelişmesiyle güç sistemlerimize uygun matematiksel modellerden yararlanarak geçici hal kararlılığı analizleri yapılmaktadır. Bunlara örnek olarak Adım-Adım çözüm yöntemiyle, Euler yöntemi gösterilebilir.

Bu tez çalışmasında oluşturulan YSA ve EKKDVM algoritmaları ile gerilim kararlılığının kritik değerlerinin tespiti gerçekleştirilmiştir. PSAT programı yardımıyla Elektrik ve elektronik mühendisleri enstitüsü (IEEE) 14 baralı güç sistemi ve Doğu Anadolu bölgesinde Elazığ, Bingöl, Tunceli ve Muş illerinde belirli yük baralarını kapsayan 13 baralı güç sistemi olmak üzere iki farklı güç sistemi modeli oluşturulmuştur. Her iki model üzerinden farklı yük değerlerine karşılık gerilim kararlılığı kritik değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler ile YSA ve EKKDVM algoritmalarının eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Böylece güç sisteminin bara yüklerindeki değişim değerlerine karşılık gelen gerilim kararlılığı kritik değerleri otomatik olarak YSA ve EKKDVM algoritmaları ile tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, ilk önce Bölüm 2’de gerilim kararlılığının tanımı ve sınıflandırılması konusuna değinilmiş ardında Bölüm 3’de gerilim kararlılığı kritik değerlerinin belirleme yöntemlerine değinilmiştir. Bölüm 4’de, YSA ve EKKDVM bilgisayar programları hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 5’de, ilk kısımda PSAT programı hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 5’in devamında IEEE 14 baralı test sistemi ve 13 baralı gerçek sistem üzerinde güç akışı metotları yardımıyla gerilim kararlılığı kritik değerleri elde edilerek YSA ve EKKDVM algoritmalarının gerilim kararlılığı kritik değerlerini tespit işlemlerine yer verilmiştir. Son bölümde de elde edilen sonuçlar verilmiştir.

BÖLÜM II

2. GÜÇ SİSTEMLERİNİN KARARLILIĞININ TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

2.1. Giriş

Güç sistemi kararlılığı, 1920'den beri güvenli sistem çalışması için önemli bir konu olarak algılanmıştır (Steinmetz, 1920; AIEE, 1926). Güç sistemi kararsızlığının neden olduğu birçok önemli elektrik enerjisi problemi bu olgunun önemini ortaya koymuştur (Vassell, 1991). Tarihsel olarak geçici kararsızlık birçok sistemde baskın kararlılık problemi olmuştur ve birçok endüstriyel sistemin kararlılığı ile ilgili odak noktası haline gelmiştir. Sürekli büyüyen elektrik şebeke yapısı, yeni teknolojilerin ve kontrollerin kullanımı ve yüksek çalışma yoğunluğu, farklı yapılarıdaki sistem kararsızlıklarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Örneğin gerilim kararlılığı, frekans kararlılığı ve bölgelerarası salınım geçmişi göre daha fazla ilgi çekmeye başlamıştır. Bunlar da güç sistemi kararlılığı için yeni bir sınıflandırma ve tanım gerekliliği ortaya çıkarmıştır. Farklı şekillerdeki kararsızlıklar ve onların birbirleri ile olan ilişkilerini açık bir şekilde anlamak güç sistemlerinin tatmin edici bir biçimde çalışması ve tasarımı için esas teşkil eder. Gelişen sistem tasarımında ve sistem çalışma şartlarında, standart analitik yöntemler ve çalışma sürecinde olduğu gibi terminolojinin tutarlı kullanımı gereklidir.

Güç sistemi kararlılığının sınıflandırılması ve tanımlanmasındaki amaçlar:

- 1) Güç sistemi kararlılığını daha kesin ve tüm çeşitleri kapsayacak şekilde tanımlamak,
- 2) Güç sistemi kararlılığının sınıflandırılması için farklı kategorileri tanımlayan ve konunun geniş bir resmini ortaya koyan bir sistematik temel sağlamak,
- 3) Güç sistemi güvenilirliği ve güvenliği gibi ilgili konular arasındaki bağlantıyı ortaya koymaktır.

Güç sistemi kararlılığı diğer tüm dinamik sistemlerin kararlılığına benzer ve aynı temel matematiksel alt yapıyı içerir. Kararlılığın kesin tanımı ileri matematiksel literatürdeki dinamik sistem kararlılığı tanımından elde edilebilir. Güç sistemi

kararlılığının sınıflandırılması ve tanımlanmasındaki amacımız güç sistemi kararlılığının fiziksel bir tanımını geniş bir çerçevede ortaya koymaktır (IEEE, 2004).

2.2. Güç Sistemleri Kararlılığının Tanımı

Bu fiziksel temelli tanımı yapmamızın amacı tanımı sistem teorisinden çıkararak kolayca anlaşılır ve güç sistemi mühendisliğinde kolayca uygulanabilir bir hale getirmektir.

Güç sistemi kararlılığı, ilk çalışma şartlarında ki bir sistemin, bir fiziksel sorunla karşılaştığında sistemin tekrar dengeyi sağlayabilmesidir. Tanım elektrik şebeke yapısını bir bütün olarak ele alır. Sıklıkla, özel bir generatörün veya bir grup generatörün kararlılığını konu olarak da ele alabilir. Bir uzak generatör ana sistemin kararlılığını etkilemeden kararlılığını kaybedebilir. Benzer olarak özel yüklerin ya da yük bölgelerinin de kararlılığını ele alabilir. Motorlar ana sistemin kararlılığını bozmadan kararlılığını kaybedebilir.

Güç sistemi sürekli değişen şartlarda çalışan yüksek derecede doğrusal olmayan bir sistemdir. Yükler, generatör çıkışları ve anahtar çalışma parametreleri sürekli değişir. Bir sorun ile karşılaşıldığı zaman sistemin kararlılığı ilk çalışma şartlarına ve sorunun doğasına bağlıdır. Bir elektrik güç sisteminin kararlılığı bir denge sistemi etrafındaki sistem hareketinin bir parçasıdır. Yani birincil çalışma şartlarına karşı bir denge takımında ortaya çıkan farklı karşı güçler denge noktalarında olduğu gibi ani veya bir saykıl üzerinde sürelerde olabilir.

Denge durumundaki güç sistemi verilen bir fiziksel hasara karşı kararlı ve bir başkası için kararsız olabilir. Bir güç sistemini tüm olası sorunlara karşı kararlı bir biçimde tasarlamak pratik veya ekonomik değildir. Sistem oluşma olasılığı en yüksek olan sorunlara karşı kararlı bir şekilde tasarlanmalıdır. Bu yüzden geniş sorun kararlılığı her zaman belli bir sorun senaryosunu referans alır. Sınırlı bir kullanım alanı olan bir kararlı denge seti geniş soruları temel alarak sistemi daha güçlü hale getirebilir. Kullanım alanı güç sisteminin çalışma şartlarına bağlı olarak değişir.

Güç sisteminin soruna tepkisi teçhizatın çoğunu kapsayabilir. Örneğin kritik bir elemanın izolasyonundaki bir sorun; güç akışında, şebeke geriliminde, makine rotor hızında farklılıklara neden olur; gerilim farklılıkları generatör ve iletim şebekesi gerilim

regülatörlerini harekete geçirir; generatör hız farklılıkları ana kuvvet yöneticisini harekete geçirir; ve gerilim ve frekans farklılıkları kendi bireysel karakterlerinin farklılık derecelerine göre sistem yüklerini etkiler. Dahası ayrı ayrı teçhizatları korumak için kullanılan araçlar sistem değerlerindeki değişikliklere tepki verebilir ve teçhizatların sendelemesine neden olabilir. Böylece sistemin zayıflamasına ve olası sistem kararsızlığına neden olabilir.

Bir sorun sonrasında kararlı kalan güç sistemi korunan sistem bütünlüğü ile yeni bir denge haline kavuşacaktır, yani pratik olarak tüm generatörler ve yükler bir tek bitişik iletim sistemi sayesinde bağlantılı kalacaktır. Belki bazı yükler ve generatörler sorunlu bileşenlerin izolasyonu yüzünden veya sistemin çoğunluğunun çalışmasının devamlılığı için kasti olarak bağlantısız hale gelebilir. Elektrik şebeke yapısı, belirli sert sorunlar için, olabildiğince fazla generatörü ve yükü korumak için iki veya daha fazla adaya ayrılabilir. Otomatik kontroller ve olası insan müdahaleleri sonuç olarak sistemi eski haline geri getirebilir. Öte yandan eğer sistem istikrarlı olmazsa bu bir kaçış veya çöküş haline neden olabilir; örneğin, generatör rotorlarındaki açısal ayrılmada ilerleyen bir artış veya şebeke geriliminde ilerleyen bir düşüş. Kararsız bir sistem ardı ardına kayıplara ve güç sisteminin bir bölümünün kapanmasına neden olabilir.

Güç sistemleri sürekli olarak küçük ölçekli dalgalanmalar yaşar. Yinede özel bir sorunla karşılaşıldığında kararlılığı hesaplamak için sistemin ilk başta kararlı halde çalışan bir sistem olduğuna farz etmek genel olarak geçerli bir davranıştır (IEEE, 2004).

2.3. Güç Sistemi Kararlılığının Sınıflandırılması

Tipik modern bir güç sistemi farklı özellikleri ve tepkileri olan cihazların dinamik etkilerinden etkilenen yüksek sıralı çok değişkenli bir süreçtir. Kararlılık karşıt güçler arasındaki bir denge durumudur. Şebeke topolojisine, sistemin çalışma şartlarına, sorunun biçimine bağlı olarak karşıt güçlerin farklı ayarları, farklı şekillerdeki kararsızlıklara neden olabilir (IEEE, 2004). Güç sistemi kararsızlıklarının sınıflandırılması için gerekli kısımlar şu şekilde oluşturulur.

2.3.1. Sınıflandırmaya Olan İhtiyaç

Güç sistemi kararlılığı temel olarak tek bir problemdir. Yinede güç sistemlerindeki kararsızlık çeşitlerinin açtığı sorunlar bu şekilde ele alınarak düzenli bir şekilde anlaşılır

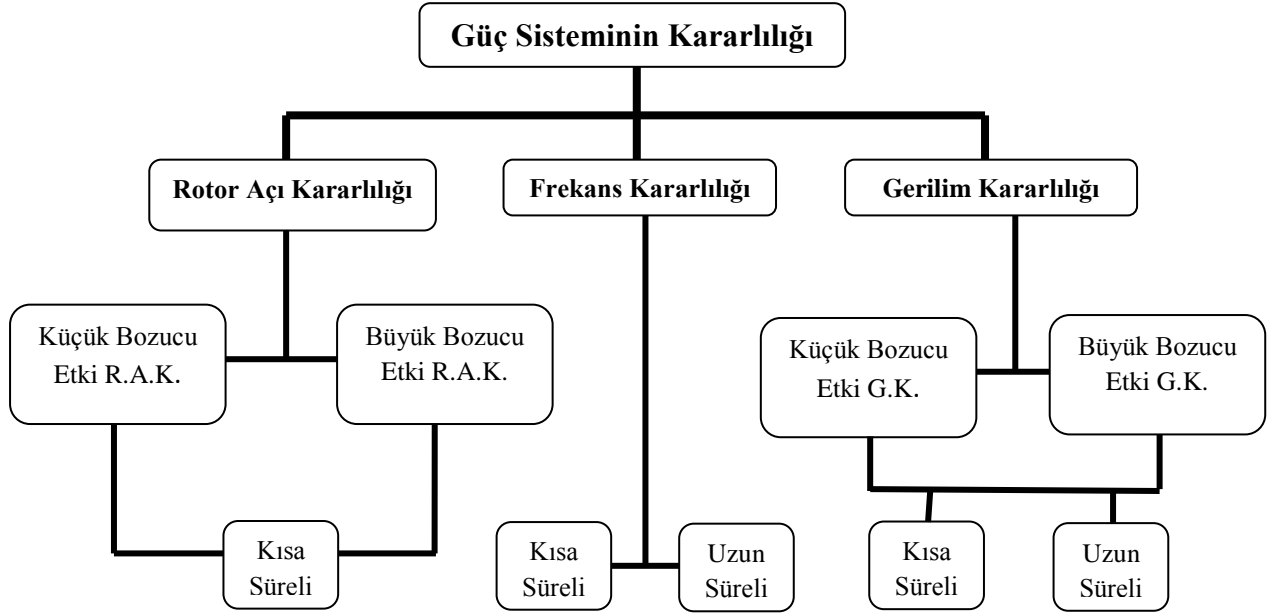
özlemezler. Kararlılık problemlerinin karmaşıklığı ve yüksek boyutları yüzünden sistemin temsili ve yaklaşık derecedeki bir modelinin analitik tekniklerle hazırlanması özel problemlerin analizine yardımcı olur. Kararlı çalışma şartlarını katkıda bulunan anahtar faktörleri içeren metotların sınıflandırılması sistemin çalışmasını geliştirmede katkıda bulunur. Sınıflandırma bu yüzden çok önemlidir (Kundur, 1994). Pratik olarak sistem kararlılığı sorunlarının çözülmesi açısından sınıflandırma çok önemlidir (Vorotnikov, 1998; Rumyantsev ve Osiraner, 1987; Rouche vd., 1977).

2.3.2. Kararlılığın Kategorileri

Burada önerilen güç sistemi kararlılığı sınıflandırmaları aşağıdakileri temel almaktadır.

- 1) Kararsızlığın gözlenebileceği ana sistem değişkenindeki kararsızlığın fiziksel doğasını,
- 2) Kararlılığın hesaplanmasını ve tahmin edilmesi metodunu etkileyen sorunun büyüklüğünü,
- 3) Kararlılığı sağlamak için göz önünde bulundurulması gereken zaman aralığı, aletler ve süreçleri.

Şekil 2.1 güç sistem kararlılığı probleminin kategorilerini ve alt kategorilerini tanımlayarak problemin genel bir şemasını verir (IEEE, 2004).



Şekil 2.1. Güç sistemi kararlılığının IEEE / CIGRE' ye göre sınıflandırılması

2.4. Rotor Açılı Kararlılığı

Rotor açılı kararlılığı elektrik şebeke yapısında eş zamanlı çalışan makinelerin bir sorun ile karşılaştıktan sonra eş zamanlı çalışabilirliğini temsil eder. Bu sistemdeki her eş zamanlı makinenin mekanik moment ve elektromanyetik momentin arasındaki dengenin oluşturulabilirliğine dayanır. Kararsızlık, bazı generatörlerin açısal salınımlarındaki artış nedeniyle, diğer generatörler ile olan eş zamanlılığını kaybetmesine neden olabilir (IEEE, 2004).

Rotor açılı kararlılığı bir güç sistemine bağlı senkron makinelerin senkronizmada kalma yeteneğidir. Kararlılık problemi güç sistemindeki elektromekanik salınımların incelenmesini kapsar. Bu problemdeki temel faktör, senkron makinelerin güç çıkışlarının, onların rotor salınımlarına bağlı olarak değişmesidir. Burada, senkron makine özellikleri de incelenmelidir.

Bilindiği gibi senkron makinelerin iki önemli elemanı vardır. Bunlar uyarma ve endüvi sargılarıdır. Normal olarak, uyarma sargısı rotorda ve endüvi sargısı statordadır. Uyarma sargısı doğru akımla beslenir. Rotor türbin tarafından döndürüldüğünde, uyarma sargısının dönen manyetik alanı statordaki üç fazlı endüvi sargısında alternatif gerilimler indükler. İki yada daha çok senkron generatör birlikte çalıştığında, bütün makinelerin stator gerilimleri ve akımları aynı frekansa sahip olmalıdır ve her bir rotorun mekanik hızı bu frekansla senkronizedir. Bu yüzden, bütün bağlı senkron

makinelerin rotorları senkronizmada olmalıdır. Stator endüvi sargılarının fiziksel düzenlemesi sürekli çalışmada rotorla aynı hızda dönen bir manyetik alanı üreten üç fazlı sargılarda zamanla değişen alternatif akımlar akıtacak şekildedir. Generatörde stator alanının elektromanyetik momenti rotorun dönmesini zıt yönde etkiler, böylece mekanik moment dönmeyi devam ettirecek şekilde tahrik makinesi tarafından üretilmektedir.

Generatörün elektriksel moment veya güç çıkışı sadece tahrik makinesi tarafından mekanik moment girişi değiştirilerek ayarlanır. Mekanik moment girişinin artma yönündeki etkisi statorun döner manyetik alanına bağlı olarak rotoru yeni bir duruma götürmektir. Tersine olarak, mekanik moment ya da güç girişindeki azalma rotorun hızını yavaşlatacaktır. Sürekli çalışma koşulları altında, rotor alanı ve statorun döner alanı aynı hıza sahiptir. Bununla birlikte, generatörün elektriksel moment ya da güç çıkışına bağlı olarak bunların arasında bir açısal fark vardır.

Senkron motorda, elektrik ve mekanik momentlerin rolü generatördeki çalışmaya terstir. Mekanik yükler dönmeyi zıt yönde etkilerler, elektromanyetik moment dönmeyi artıran yönde etki eder. Mekanik yükteki artım etkisi statorun döner alanına göre rotorun durumunu geciktirir (Demirören ve Zeynelgil, 2004).

Rotor açı kararlılığı problemi güç sistemlerinin tabiatında var olan elektromekanik salınımlarında kapsar. Bu problemdeki temel faktörlerden bir tanesi makinelerin rotor açıları değişikçe eş zamanlı güç çıktılarındaki değişmedir. Kararlı hal koşulları altında her generatörün girdi mekanik momenti ve çıktı elektromanyetik momenti arasında denge vardır ve hız sabit kalır. Eğer sistem istikrarsızlaşırsa bu denge bozulur, bu da dönen kütlelerin hareketi kanununa bağlı olarak makinelerin rotorunda düşüşe ya da yükselişe neden olur. Eğer bir generatör geçici olarak diğerinden daha hızlı hareket eder ise açısal pozisyon olarak bağlantılı olduğu daha yavaş makinenin rotoru ilerleyecektir. Bu açısal değişimin sonucunda yükün parçasını yük açı ilişkisine dayanarak yavaş makineden hızlı makineye transfer eder. Bu da hız farkını yani açısal ayrımı azaltma eğilimindedir. Güç açı ilişkisi yüksek oranda doğrusal değildir. Belirli bir limitin ötesinde açısal ayırmadaki artış açısal değişimin artışı gibi güç transferinde bir düşüşe neden olur. Eğer sistem rotor hız farkları ile ilişkili kinetik enerjiyi absorbe edemezse kararsızlıkla sonuçlanır. Herhangi bir durum için sistemin kararlılığı, rotorların açısal

pozisyonlarındaki sapma yeterli yenileme momenti ile sonuçlansın ya da sonuçlanmasın buna bağlıdır yani açısız pozisyondaki sapmaya bağlıdır (Kundur, 1994).

Düzensizliği takiben eş zamanlı bir makinenin elektromanyetik momentindeki değişim 2 bileşene ayrılır.

- Moment bileşenini senkronize etme,
- Moment bileşenini söndürme.

Senkronize makinelerin her biri için sistem kararlılığı, momentin bu her iki bileşeninin var olmasına bağlıdır. Moment bileşeni senkronize eksikliği periyodik olmayan ya da salınımsal olmayan kararsızlıkla sonuçlanır iken, söndürme momentinin eksikliği salınımsal kararsızlıkla sonuçlanır (IEEE, 2004).

Analizdeki uygunluk ve kararlılık problemlerinin doğasındaki kullanışlı görüşü elde etmek için, rotor açısı kararlılığını aşağıdaki iki alt kategoriye ayırmak faydalıdır. Bunlar küçük bozulma rotor açısı kararlılığı ile büyük bozulma rotor açısı kararlılığıdır.

Küçük bozulma ya da küçük sinyal rotor açısı kararlılığı, küçük bozulmalar karşısında güç sisteminin senkronizasyonu sürdürebilmesi ile ilgilidir. Bozulmaların sistem denklemlerinin analizinin amacına uygun olarak doğrusallaştırılabileceği kadar küçük olduğu varsayılır (Kundur, 1994; Cigre, 1996; IEEE, 1995).

Küçük bozulma kararlılığı sistemin ilk işletim durumuna bağlıdır. Ortaya çıkacak kararsızlık 2 şekilde olabilir.

1) Senkronizasyon momentinin eksikliğine bağlı olarak rotor açısındaki salınımsal olmayan ya da periyodik olmayan durumdaki yükseliş.

2) Yeterli söndürme momenti eksikliğine bağlı olarak artan rotor salınımları genliği.

Günümüz güç sistemlerinde küçük bozulma rotor açısı kararlılığı problemleri salınımın yetersiz sönümü ile ilişkilendirilir. Periyodik olmayan kararsızlık problemi büyük ölçüde sürekli çalışan gerilim regülatörü ile ortadan kaldırılmıştır. Yine de, bu problem generatörler uyarım alan akım limitleyicileri ile karşı karşıya kalıp sabit uyarım ile çalıştığında ortaya çıkabilir.

Küçük bozulma rotor açısı kararlılık problemleri yerel ya da genel olabilir. Yerel problemler güç sisteminin küçük bir bölümünü bağlar ve genellikle tüm güç sistemine

karşılık sadece bir elektrik santralının rotor açısı salınımı ile alakalıdır. Böyle salınımlar yerel santral tarzı salınım olarak adlandırılır. Bu salınımların kararlılığı elektrik santraline bağlı iletim sisteminin gücüne, generatör uyarım kontrol sistemine ve santral çıkışına bağlıdır.

Genel problemler büyük generatör grupları arasındaki ilişkiden doğarlar ve geniş etkileri olur. Bu sorun bir bölgedeki generatörlerin salınımlarının bir başka bölgedeki generatörlerden daha güçlü olması ile ilişkilidir. Böyle salınımlar bölgeler arası tarzdaki salınımlar olarak adlandırılır. Bunların özellikleri çok karmaşıktır ve önemli bir biçimde yerel santral tarzındaki salınımlarla farklılık gösterir. Özel olarak yük özelliklerinin bölgeler arası tarzdaki kararlılık üzerinde büyük bir etkisi vardır. Küçük kararlılık çalışmalarında ilgilenilen zaman zarfı 10 saniyeden 20 saniyeye kadar sürede ortaya çıkan bozulmalardır (Kundur, 1994).

Büyük bozulma rotor açısı kararlılığı ya da sıkça telaffuz edildiği gibi geçici kararlılığı, güç sisteminin bir büyük sorunla karşılaştığında senkronizasyonu sürdürebilme yeteneği ile ilgilidir. Tıpkı bir iletim hattındaki kısa devre de olduğu gibi. Bunun sonucunda sistem generatörün rotor açıları geniş bir sapma ile tepki verir ve doğrusal olmayan güç açısı ilişkisinden etkilenir.

Geçici kararlılık hem sistemin ilk çalışma durumuna hem de bozulmanın şiddetine bağlıdır. Kararsızlık genellikle yetersiz senkronizasyon momentine bağlı olan periyodik olmayan açısal ayrılma şeklindedir ve bu da birinci salınım kararsızlığı olarak kendini gösterir. Fakat geniş güç sistemlerinde geçici kararsızlık her zaman bir tek tarzla ilişkili birincil salınım kararsızlığı şeklinde olmayabilir. Geçici kararlılık, birincil salınımın ötesinde rotor açısında büyük titreşimlere neden olan, bölgeler arası yavaş bir salınım modunun ve yerel bir santraldeki salınım modunun üst üste toplanmasının bir sonucu olabilir. Ayrıca, geçici kararlılık birincil salınımın ötesinde kararsızlığa neden olan doğrusal olmayan bir etkinin sonucu olabilir. İlgilenilen zaman zarfı geçici olarak genellikle kararsızlığı takip eden 3. saniyeden 5. saniyeye kadar olan zamandır. Baskın bölgeler arası geniş bölgeler için bu süre 10-20 saniyeye çıkabilir (IEEE, 2004).

Şekil 2.1'de gösterildiği gibi küçük bozulma rotor açısı kararlılığı ve büyük bozulma rotor açısı kararlılığı kısa süreli olgular olarak kategorize edilmiştir. Dinamik kararlılık terimi aynı zamanda literatürde rotor açısı kararlılığının bir sınıfı olarak karşımıza çıkar.

Hatta başka yazarlar tarafından farklı olguları açıklamak için kullanılmıştır. Kuzey Amerika literatüründe dinamik kararlılık, kontrolsüz generatör ile klasik sabit durum kararlılığından farklı olarak otomatik kontrollerin varlığında küçük bozulma kararlılığını açıklamak için kullanılmıştır. Burada otomatik kontroller olarak, özellikle generatör uyarım kontrollerinden bahsedilmektedir. Avrupa literatüründe dinamik kararlılık terimi, geçici kararlılığı açıklamak için kullanılmıştır.

2.5. Gerilim Kararlılığı

Gerilim kararlılığı, bir bozucuya maruz kaldıktan sonra ve normal çalışmada sistemdeki bütün baralardaki gerilimlerin kabul edilebilir değerlerde kalma yeteneğidir. Yük talebindeki artış, ya da gerilimde sürekli ve kontrol edilemeyen düşmeye sebep olan sistem koşullarındaki değişme gibi bir bozulmada sistem; kararsız gerilim durumuna girer. Kararsızlığa neden olan ana faktör güç sisteminin reaktif güç talebini karşılamada yetersiz kalışıdır. Problemin temeli, çoğunlukla iletim hatlarıyla ilgili endüktif reaktanslar üzerinde aktif ve reaktif güç akışı olduğunda oluşan gerilimdeki düşmedir. Gerilim kararlılığı için ölçüt, sistemdeki her bara için verilen çalışma koşulunda aynı bara ya giren reaktif güç artarken, o bara da ki gerilimin genliğinin de artmasıdır.

Sistemdeki en azından bir bara da, aynı bara ya giren reaktif güç artarken, bara gerilim genliği azalırsa sistem gerilim olarak kararsızdır. Diğer bir değişle $V - Q$ duyarlılığı her bara için pozitifse sistem gerilim olarak kararlıdır ve $V - Q$ duyarlılığı en azından bir bara için negatif ise gerilim kararsızdır.

Bara gerilimindeki sürekli düşme, rotor açılarının nominal çalışma durumuna getirilmesiyle ilgilidir. Örneğin; iki makine gurubu arasındaki rotor açıları 180 dereceye yaklaşırken veya bunu aştığı sırada, makinelerdeki kademeli senkronizma kaybı, şebekelerin ortalarında çok düşük gerilimlere neden olacaktır. Tersine, rotor açısı kararlılığının konu olmadığı yönde oluşan devamlı düşen gerilim durumu gerilim kararsızlığı ile ilgilidir. Gerilim kararsızlığı esasında bölgesel bir olaydır. Bununla beraber, sonuçları geniş etkiye sahip olabilir. Gerilim çökmesi basit gerilim kararsızlığından daha karmaşıktır ve çoğunlukla sistemin önemli bir kısmındaki düşük gerilime yol açan gerilim kararsızlığına eşlik eden olaylar dizisini oluşturur (Demirören ve Zeynelgil, 2004).

Gerilim kararlılığı verilen bir ilk çalışma halinde, bir sorunla karşılaşıldığında sistemin tüm iletim yollarında sabit gerilimin sürdürülmesini tanımlar. Bu da ihtiyaç duyulan yük ile güç sisteminin sağladığı yük arasındaki denge halinin sürdürülebilmesine ya da eski haline getirilebilmesine bağlıdır. Ortaya çıkacak kararsızlık bazı iletim yollarında ilerleyen bir gerilim düşüşü ya da artışı şeklinde olabilir. Gerilim kararsızlığının olası bir sonucu bir bölgedeki yüklerin kaybı şeklinde ya da iletim hatlarının ve diğer bileşenlerin koruyucu sistemlerinin sebep olduğu büyük kayıplar şeklinde olabilir. Bazı generatörler bu kayıplar yüzünden ya da alan akım limitine zarar veren çalışma koşulları yüzünden senkronizasyon kaybına uğrayabilir (Van Cutsem ve Vournas, 1998).

Bara gerilimindeki ilerleyen düşüş aynı zamanda rotor açısı kararsızlığı ile de ilişkilendirilebilir. Örneğin iki makine grubu arasında 180 dereceye yaklaşan rotor açısı gibi senkronizasyon kaybı şebekenin orta noktalarında elektrik merkezine yakın yerlerde hızlı gerilim düşüşlerine sebep olur (Kundur, 1994). Normal olarak koruyucu sistemler iki makine grubunu ayırıp gerilimi ayrılmadan önceki eski haline getirmek için çalışırlar. Bununla birlikte sistem yeterince hızlı ayrılmazsa, elektrik merkezinin yakınındaki gerilimler hızlı bir biçimde iki makine grubu arasında tekrar eden kutup kayması yüzünden düşük ve yüksek değerler arasında gidip gelir. Yüklerle ilgili gerilim kararsızlığından doğan sürekli gerilim düşüşü, rotor açısı kararlılığının olmadığı yerlerde de ortaya çıkabilir.

Gerilim çöküşü terimide sıklıkla kullanılır. Bu gerilim kararsızlığının neden olduğu bir kapanmanın ya da sistemin çok önemli bir bölümündeki anormal gerilim düşüşlerinin art arda gelmesi sürecidir (Kundur, 1994; Taylor, 1994; IEEE, 1990). Düşük gerilimlerde kararlı çalışma istemli ya da istemsiz bazı yüklerin düşmesi sayesinde trafo kademe dönüştürücüler kendi yükseltme limitlerine ulaşsa dahi sürer. Kalan yükler gerilime duyarlı olma eğiliminde ve istenilen gerilime ulaşmamış haldedirler.

Gerilim kararsızlığı için itici güç genellikle yüklerdir; bir soruna tepki olarak, yükler tarafından harcanan enerji, motor kayma ayarlaması hareketi, gerilim dağıtım düzenleyicisi, kademe-değişim trafoları ve termostatları ile yeniden kazanılma eğilimindedir. Tekrar yüklenen yükler reaktif güç tüketimini artırıp daha fazla gerilim

düşüşüne neden olarak yüksek gerilim hatlarında zorlanmayı artırır. Gerilim kararsızlığına neden olan bir zayıflık hali, yük dinamiklerinin, iletim şebekesinin ve ilgili üretimin kapasitesinin ötesinde bir geri yükleme yapmaya çalışmasıyla ortaya çıkar (Kundur, 1994; Van Cutsem, 1998,2000; Taylor, 1994; IEEE, 1990; Hill, 1993).

Gerilim kararsızlığına katkıda bulunan faktörlerden biri iletim şebekesinin endüktif reaktanslarındaki aktif ve reaktif güç akışının neden olduğu gerilim düşüştür. Bu iletim şebekesinin güç iletimi ve gerilim desteği kapasitesini limitler. Güç iletimi ve gerilim desteği bazı generatörler alanlarına ulaştığında ya da endüvi akımı aşırı yüklemek kapasitesine ulaştığında daha fazla limitlenir. Gerilim kararlılığı, bir bozucu reaktif güç ihtiyacını mevcut reaktif güç kaynağının sağlayabildiğinden daha öteye taşırsa tehlike altına girer.

Gerilim kararsızlığının en sık görülen türü bara gerilimindeki ilerleyen düşüş iken, yüksek gerilim kararsızlığı riskide bulunmaktadır ve bir sistemde en az bir defa bu kararsızlıkla karşılaşmıştır (Van Cutsem ve Mailhot, 1997). Bu duruma, generatörlerin veya senkron kompanzatorların aşırı reaktif güç absorbe etmelerini engelleyen alt uyarım limitlerinin neden olduğu kadar şebekenin kapasitif bir davranışı da neden olur. Bu durumda kararsızlık birleşik üretim ve iletim sisteminin belli bir yük seviyesinin altında çalışması yetersizliği ile ilgilidir. Onların bu yük gücünü geri kazanmaya çalışmalarıyla, trafo kademe değiştiriciler uzun vadeli gerilim kararsızlığına neden olur.

Ayrıca, gerilim kararlılığı problemi uzun mesafeli uygulamalarda kullanılan Yüksek gerilim doğru akım (HVDC) bağlantı terminallerinde de görülebilir (Ainsworth vd., 1980; CIGRE, 1992). Onlar genellikle HVDC bağlantılarının zayıf Alternatif akım (AC) sistemlerine bağlanmasıyla ilgilidir ve doğrultucu ya da çevirici istasyonlarda meydana gelir ve aynı zamanda dönüştürücülerin istenmeyen reaktif güç özellikleriyle ilgilidir. HVDC bağlantı kontrol stratejilerinin böyle problemler üzerinde önemli bir etkisi vardır, öyle ki AC/DC birleşme yerlerindeki aktif ve reaktif güç kontrollerle belirlenir. Eğer AC iletimindeki yükleme kapasitesinin ötesinde zorlanırsa bu gerilim kararsızlığı ile sonuçlanır. Böyle bir durumda ilgili zaman zarfı nispeten kısadır veya bir saniyenin altındadır. Gerilim kararsızlığı aynı zamanda oldukça yavaş bir şey olan çevirici trafo kademe-değiştirici kontrolü ile de ilgili olabilir (CIGRE, 1992). Yakın zamanda HVDC teknolojisinde ortaya çıkan gelişmeler; gerilim kaynağı çeviricileri ve

kapasitör yön değiştirme çeviricileridir. Bu teknolojiler sayesinde HVDC bağlantılarının düz yön değiştirme çeviricileri ile karşılaştırıldığında zayıf akımlı sistemlerde statik çalışma limitlerini oldukça artırmıştır.

Kontrolsüz yüksek gerilim ile sonuçlanan gerilim kararsızlığı probleminden biri de, senkronize makinelerin öz uyarımlarıdır. Bu problem, bir senkronize makinenin kapasitif yükü çok genişlerse artabilir. Öz uyarımı açıklayacak aşırı kapasitif yüke örnek olarak, açık uçlu yüksek gerilim hatları, şönt kapasitörleri, HVDC istasyonlarının filtre soketleri gösterilebilir (CIGRE, 1997). Generatör yükü kapasitif olarak değiştiğinde ortaya çıkan yüksek gerilim, değişim anında daha yavaş bir yükselişin tahrik ettiği ani bir yükselişle karakterize edilir. Daha sonraki yükseliş kapasitif yük bileşeni ve makine reaktansları arasındaki ilişki ile birlikte senkronize makinenin uyarım sistemine bağlıdır. Uyarıcının negatif alan akım kapasitesi öz-uyarım üzerinde pozitif bir etkiye sahip olan bir özelliktir.

Gerilim kararlılığının sınıflarını, rotor açılı kararlılığında olduğu gibi aşağıdaki alt başlıklara ayırmak faydalıdır.

- Büyük bozucu gerilim kararlılığı sistemin, sistem hataları, generatör kayıpları ya da akım olasılıkları gibi büyük bozuculardan sonra sabit kararlı gerilimi sürdürebilmesidir. Bu yetenek sistem ve yük özellikleri ile sürekli ve aynı kontroller ve koruyucular tarafından belirlenir. Büyük bozucu gerilim kararlılığının belirlenmesi güç sisteminin bir süre boyunca, motorlar, düşük yük trafo kademe dönüştürücüleri ve generatör alan akım limitleyicileri gibi aletlerin yeterli performans ve etkileşime ulaşması için gösterdiği tepkinin incelenmesini gerektirir. İlgilenilen bu süre birkaç saniyeden onlarca dakikaya değişebilir.
- Küçük bozucu gerilim kararlılığı sistemin sistem yükündeki artan değişimler gibi küçük bozucularla karşılaşıldığında sabit kararlı gerilimi sürdürebilmesi yeteneğidir. Bu çeşit bir kararlılık, yüklerin karakteristiklerinden, devamlı kontrolünden ve verilen bir ilk zamandaki ayrık kontrolünden etkilenir. Bu görüş herhangi bir anda sistem geriliminin küçük sistem değişikliklerine vereceği tepkiyi belirlemede kullanışlıdır. Uygun koşullarda sistem denklemleri, analiz için doğrusallaştırılabilir. Bu sayede kararlılığı etkileyen faktörlerin tanımlanması için yararlı olan değerli hassasiyet bilgisi hesaplanabilir. Bu

doğrusallaştırma yine de kademe değiştirici kontroller gibi doğrusal olmayan etkileri hesaplayamaz. Bu yüzden tamamlayıcı tarzda doğrusal ve doğrusal olmayan analizin bir kombinasyonu kullanılır (Morison vd., 1993; Goa vd., 1996).

Yukarıda anlatıldığı gibi gerilim kararlılığı problemleri için ilgilenilen zaman zarfı birkaç saniye den onlarca dakikaya değişebilir. Bu yüzden gerilim kararlılığı Şekil 2.1’de gösterildiği gibi kısa ya da uzun süreli olabilir.

- Kısa süreli gerilim kararlılığı indüksiyon motorları, elektronik kontrol edilen yükler ve HVDC çeviricileri gibi hızlı çalışan yük bileşeni dinamikleri ile ilgilidir. İlgilenilen çalışma periyodu birkaç saniye şeklindedir ve analiz uygun sistem diferansiyel denklemlerin çözümünü gerektirir. Bu rotor açısı kararlılığı analizine benzer. Yüklerin dinamik modellemesi çoğunlukla önemlidir. Açısı kararlılığının tersine, yüklerin çevresindeki kısa devreler önemlidir. Geçici gerilim kararlılığı teriminin kullanılmaması tavsiye edilir.
- Uzun süreli gerilim kararlılığı, kademe değiştirici trafolar, termostatik olarak kontrol edilen yükler ve generatör akım limitleyicileri gibi daha yavaş çalışan teçhizatlarla ilgilidir. İlgilenilen çalışma periyodu birkaç dakikadan birçok dakikaya değişebilir ve sistemin dinamik performans analizi için uzun süreli simülasyon gereklidir (Van Cutsem, 2000; Morison vd., 1993; Hill vd., 1990). Kararlılık genellikle başlangıç probleminin şiddetinden çok teçhizat da ortaya çıkan kayıp ile belirlenir. Uzun süreli denge kaybından kaynaklanan kararsızlık, (yani yükler güçlerini, bağlantı şebekelerinin ve bağlantılı oldukları generatörlerin kapasitesinin ötesinde oluşturmaya çalıştığında) bozucu öncesi sabit hal çalışma durumunun küçük bozucu şeklinde dengesizliğidir. Ayrıca uzun süreli kararsızlık, bozucu öncesi denge haline ulaşma eğilimindeki eksiklidir. Yani bir çözüm adımı çok geç uygulanmıştır (Van Cutsem ve Vournas, 1998; Taylor, 1994). Bozucu aynı zamanda devamlı bir yük takviyesi de olabilir. Buna örnek olarak, sabah yük artışının meydana gelmesi gösterilebilir. Birçok durumda statik analiz, kararlılık paylarını hesaplamada, kararlılığı etkileyen faktörleri belirlemede ve geniş çapta sistem durumunu ve çok sayıda senaryoyu göstermede kullanılabilir (Morison vd., 1993; Goa vd.,

1996; Ajarapu ve Christy, 1991; Lof vd., 1992). Kontrol çalışmasının zamanlaması önemli olduğunda bu yarı kararlı durum zaman bölgesi simülasyonu tarafından tamamlanabilir (Van Cutsem ve Vournas, 1998; Van Cutsem, 2000).

Gerilim kararlılığı tanımı hakkında farklı düşünceler ve görüşler mevcuttur. Bu grupların tanımlamaları arasındaki farklar süreye, sistem durumuna ve bozucunun etki durumlarına göre farklılıkları göstermektedir. Bunlardan birkaçına ait tanımlamalar şu şekildedir.

CIGRE' e göre bir güç sisteminin verilen çalışma durumunda eğer yük baralarındaki gerilimlere bakıldığı zaman herhangi bir küçük bozucu etki sonrası oluşan değerler bozucu etki öncesi değerlere yakın veya aynı ise bu durum küçük bozucu etki gerilim kararlılığı olarak tanımlanır. Eğer sistemimiz bozucu etki sonrası yük baralarındaki gerilim değerleri gerilim kararlılığı kritik değerlerinin altında ise sistemim gerilim çökmesine doğru ilerlemektedir (Begovic vd., 2002; CIGRE, 1994, 1993).

IEEE'nin tanımlamasına baktığımızda ise sistemimizdeki yükün gücü artarsa buna bağlı olarak yükün gerilim değeri azalır. Bu durumda sistemin gerilimini belirli değerlerde tutabilme yeteneğine gerilim kararlılığı adı verilir. Gerilim güvenliği sadece kararlı durumda kalmak değil aynı zamanda sistemdeki değişimlerde bu durumunu koruyabilmektir (IEEE, 1990; Huang ve Chang, 1998).

2.6. Frekans Kararlılığı

Frekans kararlılığı, bir güç sisteminin şiddetli bir sistem bozulmasını takip eden, üretme ve yük arasında oluşan önemli bir dengesizlikten sonra sabit frekansı sürdürebilmesidir. Bu sistem üretimi ve yük arasındaki dengenin en düşük istenmeyen yük kaybıyla sürdürülmesine bağlıdır. Ortaya çıkan kararsızlık üretim üniteleri veya yüklerin sendelemesine neden olarak sürekli frekans salınımları şeklinde olabilir.

Şiddetli sistem bozulmaları genellikle frekansta, güç akışında, gerilimde ve diğer sistem değerlerinde büyük salınımlara yol açar, bu yüzden süreçteki aksiyonlarda, kontrollerde ve korumalarda geleneksel geçici kararlılık veya gerilim kararlılığı çalışma modellerinde rastlanmayan etkiler görülebilir. Bu süreç kaynama enerjisi gibi yavaş

olabilir veya Volt/Hertz koruyucu röle generatörleri gibi sadece uç sistem koşullarında tetiklenebilir. Bu tür durumlar en çok sistemin adalara ayrılmasının ardından gerçekleşir. Bu durumda da kararlılık, her adanın minimum istenmeyen yük kaybıyla tekrar dengeli çalışma haline dönüp dönemeyeceği problemidir. Makinelerin ilgili hareketlerinden çok, tüm adanın bir tepkisi olan frekansla belirlenir. Genellikle frekans kararlılığı problemi, teçhizat tepkilerindeki yetersizlikler, zayıf kontrol ve koruyucu koordinasyonu veya yetersiz generatör rezervi ile ilgilidir. İzole edilmiş ada sisteminde frekans kararlılığı göreceli olarak büyük yük ve üretim kaybına neden olan bir kararsızlıkla ilgili olabilir (Hatziaargyriou vd., 1998).

Frekans salınımı sırasında sürekli ve aktif olan makinelerin zaman özelliği; alt frekans yük dağıtma ve generatör kontrolleri ve koruyuculara bağlı olarak saniyeler şeklinde veya ana bara enerji kaynağı ve yük gerilim regülatörü gibi makinelerin tepkilerine bağlı olarak dakikalar şeklinde olabilir. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi frekans kararlılığı bir kısa süre veya uzun süre olgusu olabilir.

Kısa süreli frekans kararsızlığının bir örneği, düşük üretim adalarının oluşumu ile yetersiz düşük frekans yük dağıtımı ile oluşan frekans çöküşlerinin, hızla neden olduğu birkaç saniyelik üretim kapanmalarıdır (CIGRE, 1999). Öte yandan buhar türbini aşırı hız kontrollerinin (Kundur vd., 1985) yada reaktör koruyucu ve kontrollerinin neden olduğu frekans kararsızlıkları gibi daha karmaşık durumlarda ilgilenilen zaman aralığı saniyelerden dakikalara değişebilir (Chow vd., 1989; Kundur, 1981; IEEE, 1983).

Frekans salınımı sırasında, gerilim değerleri önemli ölçüde değişebilir, özellikle de sistemi yüksüz bırakan düşük frekans yük dağıtımlı gruplandırma koşullarında. Yüzdeler olarak frekans değişimlerine nazaran daha büyük olan gerilim değişimleri yük üretim dengesizliğini etkileyebilir. Yüksek gerilim, zayıfça tasarlanmış ya da koordine edilmiş uyarı değişimleri ya da Volt/Hertz değişimleri ile istenmeyen generatör sendelemelerine neden olabilir. Aşırı yüklenmiş bir sistemde düşük yük istenmeyen empedans değişimlerine neden olur (IEEE, 2004).

2.7. Dünyada Meydana Gelmiş Olan Gerilim Çökmeleri

Fransa’da 1978 yılında meydana gelen gerilim çökmesinde, öğleden önce saat 7-8 saatleri arasında bir önceki gün talep edilen yükten 1600 MW daha fazla güç talebi oldu. 400 KV’luk yüksek gerilim şebekesinde gerilim seviyesi 342 KV’a düştü bu

durum yirmi dakika sürdü. Gerilim normal haline ancak saat 12.30'da getirilebildi. Bu süre zarfında ise 29 GW ve 100 GWh enerji kesintiye uğramıştı.

Belçika'da ise 1982 yılında, test çalışması sırasında 700 MW güç sisteme bağlanamadığından dolayı yaklaşık 4 dakika boyunca gerilim çökmesi meydana geldi.

İsveç'in güneyinde 1983 yılında, bir nükleer santral çıkışında meydana gelen arıza sebebiyle Güney İsveç bir dakika süresince sistemden ayrıldı.

Amerika'nın Florida eyaletinde 1985 yılında, generatör fırçalarının yanmasından kaynaklanan arıza nedeniyle 500 KV'luk iletim hattında gerilim azalması meydana geldi ve bunun sonucunda sistemde birkaç saniye içinde gerilim çökmesi oldu.

Batı Fransa'da 1987 yılında, aşırı uyartım koruma sistemindeki hatadan kaynaklanan arıza nedeniyle gerilim azaldı ve 0.5 ile 0.8 b seviyelerine kadar düştü. Bu arıza sonucunda ise altı dakika süre ile sistemde gerilim çökmesi olayı meydana geldi.

Güney Finlandiya'da 1992 yılında, güç sistemi kararlılık sınırlarına yakın değerlerde çalışıyordu. 400 KV'luk hatta bakım esnasında 735 MW'lık yükün etkilediği sistemde gerilim seviyesi 344 KV seviyelerine düştü. Sistem gerilimi gaz türbinlerinin yük koruyucuları ile çalıştırılmaya başlanması sonucunda reaktif güç üretiminin artırılması ile tekrardan normal seviyesine getirilebildi (Öztürk, 2007).

Amerika'da 1996 yılında, 345 KV'luk hatta bir kısa devre arızası meydana geldi ve kuzey Batı Amerika sistemi kesintiye uğradı ve bunun sonucu olarak sistemde hızlı gerilim ve açılı kararsızlığı oluştu (Repo, 2001).

14 Ağustos 2003 tarihinde ise, Amerika Kanada arasında meydana gelen gerilim çökmesinde bu iki ülkede yaşayan toplam 50 milyon insan etkilendi. 63000 MW enerji kayıp meydana geldi. Meydana gelen bu gerilim çökmesi sonucu tahmini 10 milyar dolar zarar meydana geldi. 400 iletim hattı 531 üretim birimi zarar gördü. Amerika ve Kanada da meydana gelen olaylar enerji sistemlerinde gerilim kararlılığı düzeltme yöntemlerinin araştırılması ve geliştirilmesinin önemini göstermiştir (Baek ve Gu, 2004).

Kayıtlara geçen diğer gerilim çökmelerini şu şekilde sıralayabiliriz;

Amerika'da New York (1970), Missisipi (1987), Baltimore (1990), Kanada (1979), Avrupa'da Belçika (1982), Fransa (1978, 1987, 1990), İngiltere (1986), Danimarka

(1979), ekostavakya (1985), Helsinki (14 Ağustos 2003), Güney Londra (28 Ağustos 2003), Güney İsv ve Danimarka (23 Eylül 2003), İtalya (28 Eylül 2003), Atina ve Güney Yunanistan (12 Temmuz 2004), Japonya Tokyo'da (1987) enerji sistemlerinde meydana gelen kararlılık problemleri sonucunda oluşan arızalar nedeniyle gerilim kararlılığı daha da önemli hale gelmiştir (Yalçın, 1995; Johansson, 1998).

BÖLÜM III

3. GERİLİM KARARLILIĞI ANALİZ YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

3.1. Giriş

Güç sistemlerinde kararlılık problemlerini önleyerek tasarımlarını yapmak ve sistemin kararlı çalışma noktalarını belirleyerek sistemin en iyi şekilde çalışmasını sağlamak için kararlılık değerlerini hesaplamak gereklidir. Bu kararlılık değerlerinden biri olan gerilim kararlılığı değerlerini belirlemek için çeşitli yöntemlerden faydalanılmaktadır. Bu kararlılık analiz yöntemlerinden birincisi sistem için aktif güç ve gerilim fonksiyonlarının birbirleriyle olan karakteristiklerine bağlı olan genellikle P-V eğrileri olarak isimlendirilen yöntemdir. Bu yöntemde sistem tarafından iletilebilecek gücün maksimum noktasındaki gerilimin genlik değeri bizim gerilim kararlılığı kritik değerimiz olarak ifade edilir ve V_{krt} sembolüyle gösterilir. P-V eğrisi yönteminde öncelikle yük barası için gerilim ve aktif güç arasındaki ilişkiyi ifade eden matematiksel denklemler oluşturulur. Oluşturulan bu denklemde belirli aralıklarla aktif güç değeri artışına karşılık gerilim genlik değeri hesaplanır. Elde edilen değerlerden yararlanılarak güç sisteminin P-V eğrisi çizdirilir. Elde edilen eğri üzerinden kritik değerler elde edilmiş olunur. Sistemimizin bir özelliği belirli bir güç değerinde gerilim genlik değerleri fonksiyonunda 2 farklı gerilim seviyesi hesaplanmaktadır. Maksimum güç iletimi esnasında belirli bir aktif güç değeri için tek bir gerilim genlik değeri hesaplanır. Bu nokta bizim gerilim kritik değerinin hesaplandığı noktayı ifade eder. Bir eğrinin tekil noktası o eğrinin matematiksel denkleminin türevinin sıfır olduğu noktadır. (Ayasun, 2004). Bu tekil çözüm noktamızda denklemin kökleri çakışıkır. Çakışık kök çözümü veren noktaya kritik nokta denir. Yük baramızın aktif güç değeri, bulduğumuz aktif güç kritik değerinin üzerinde bir değer alır ise bu durumda yük barasının gerilim değeri de kritik değerinin altına düşer ve bu nedenden dolayı sistemimizde gerilim çökmesi meydana gelebilir.

Ayrıca sistemimizdeki baraların reaktif gücü ile gerilim genliği arasındaki ilişkiden yararlanarak oluşturacağımız V-Q eğrileri yardımıyla da kararlılık analizi yapılması mümkündür. Sistemdeki en azından bir bara da, aynı bara ya giren reaktif güç artarken, bara gerilim genliği azalırsa sistem gerilim olarak kararsızdır. Diğer bir değişle V - Q

duyarlılığı her bara için pozitifse sistem gerilim olarak karardır ve V – Q duyarlılığı en azından bir bara için negatif ise gerilim kararsızdır (Demirören ve Zeynelgil, 2004).

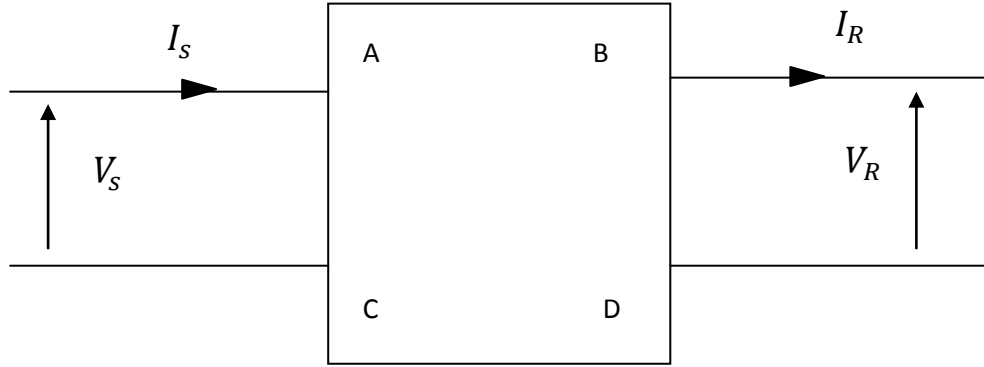
P-V analizinin yanında güç sisteminin dinamiğini ifade eden diferansiyel denklemlerinin tekil noktalarının arandığı analitik yöntemleri de söyleyebiliriz. Burada güç sistemlerinin yük akışı formüllerinden yararlanılır ve aktif reaktif güç arasındaki ilişki kullanılır. Sistemin diferansiyel denklemlerle ifade edilen matematiksel modeli oluşturulur. Bu modelden daha sonra Taylor serisi yardımıyla birinci derece durum modeli elde edilir. Bu modelden elde edilen sistemin jakobiyen matrisi yardımıyla kararlılık analizi yapılır. Kararlılık analizi sistem jakobiyen matrisinin özdeğerleri ile belirlenir. Bu sistemin sürekli hal kararlılığını bulmamızda kullanılan klasik yöntemlerdir.

Güç sistemimizde özellikle arıza esnasında yukarıda saymış olduğumuz P-V, V-Q ve özdeğerler analiz yöntemleri yetersiz kalırlar. Sistemimizin doğrusal özelliği bozulduğundan dinamik simülasyon yöntemleri kullanılması gerekmektedir. Özellikle bilgisayar sayısal simülasyon yöntemlerinin gelişmesiyle güç sistemlerimize uygun matematiksel modellerden yararlanarak geçici hal kararlılığı analizleri yapılmaktadır. Bunlara örnek olarak Adım-Adım çözüm yöntemiyle, Euler yöntemi gösterilebilir.

3.2. P-V Eğrisi Üzerinden Kritik Değerlerin Belirlenmesi

Sabit güç katsayısı altında hat başı gerilimi belirli bir değerde sabit tutularak, hat sonunda yük barasından çekilen aktif güç değeri sıfırdan itibaren kademe kademe artırılması ile hat sonu yük barasının gerilim genlik değerinin değişiminin gözlemlendiği, P-V eğrisi sayesinde güç sisteminin kritik değerleri belirlenebilir. Bu yöntemin amacı, güç sisteminde yük baraları için P-V eğrilerini elde etmek ve bunun neticesinde sistemin kritik değerlerini, eğri üzerinde en büyük aktif güç değerinin işaretlenmesi yoluyla belirlenmesidir. P-V eğrilerinin çizdirilebilmesi için hat sonu gerilimi ile hat sonu aktif güç değeri arasındaki ilişki $ax^2 + bx + c = 0$ şeklinde ikinci dereceden bir denklem olarak elde edilmeye çalışılır. Bu denklemin hazırlanması için gerekli hat parametreleri hesaplanır ve sabit kabul edilir. Ayrıca bazı parametre değerleri de yük akışı verilerinden alınır. Denklem belirlenmesi neticesinde bu denklem uygun bir bilgisayar programlama dili ile yazılan program sayesinde, eğri şeklinde çizdirilir. Elde edilen P-V eğrisi üzerinde artık gerekli yorumlar yapılabilir. Şekil 3.1’de gösterildiği

gibi iletim hattı iki kapılı bir devre olarak göz önüne alındığında, P-V eğrilerinin elde edilmesi için, hat sonu yük barasının aktif gücü ile gerilim genlik değeri arasındaki ilişkiyi ifade eden denklemin elde edilmesi aşağıda detaylı bir şekilde verilmektedir (Öztürk, 2007).



Şekil 3.1. İletim hattının iki kapılı devre olarak gösterilmesi

V_S, I_S : Generatör barası gerilimi ve akımı

V_R, I_R : Yük barası gerilimi ve akımı

A, B, C,D: Uzun iletim hattı sabitleri olmak üzere (Çakır, 1986; Kalenderli ve Kocatepe, 2005; Güney ve Ay, 1994; Elger, 1971).

$$A = a_1 + j * a_2 \quad (3.1)$$

$$B = b_1 + j * b_2 \quad (3.2)$$

$$C = c_1 + j * c_2 \quad (3.3)$$

$$D = d_1 + j * d_2 \quad (3.4)$$

$$|A|^2 = a_1^2 + a_2^2 \quad (3.5)$$

$$|B|^2 = b_1^2 + b_2^2 \quad (3.6)$$

$$V_r = V_{r1} + j * V_{r2} \quad (3.7)$$

$$V_r^* = V_{r1} - j * V_{r2} \quad (3.8)$$

$$|V_r|^2 = V_{r1}^2 + V_{r2}^2 \quad (3.9)$$

olarak ifade edilirler. Şekil 3.1’de gösterilen modele göre güç sisteminin bilinen,

$$V_s = A * V_r + B * I_r \quad (3.10)$$

denklemini elde edilir. S_r , P_r , Q_r güç sisteminin görünür, aktif ve reaktif güç değerlerini ifade etmek üzere,

$$S_r = P_r + jQ_r = V_r * I_r^* \quad (3.11)$$

denklemini elde edilir (Gönen, 1988). Yukarıdaki denklemlerin kullanılması ile gerekli işlemler ve düzenlemeler yapıldığında (3.12) elde edilir.

$$|A|^2 * |V_r|^4 + [2 * P_r * (a_1 * b_1 + a_2 * b_2) + 2 * Q_r (a_1 * b_2 - a_2 * b_1)] * |V_r|^2 + |B|^2 * (P_r^2 + Q_r^2) = 0 \quad (3.12)$$

çalışmalar sabit güç katsayısı ile yapıldığından,

$$\cos \varphi = \frac{Q_r}{S_r} \quad (3.13)$$

denklemini sabit kalmaktadır.

$$\tan \varphi = \frac{Q_r}{P_r} \quad (3.14)$$

Denklemden,

$$Q_r = P_r * \tan \varphi \quad (3.15)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik (3.12)’de yerine yazılır ise yük barası aktif güç ile gerilim genlik değeri arasındaki ilişki kurulmuş olur.

$$|V_r|^4 = (|V_r|^2)^2 \text{ olduğundan} \quad (3.16)$$

$$|V_r|^2 = x \quad (3.17)$$

şeklindeki bir değişiklik (3.12)’nin,

$$a * X^2 + b * X + c = 0 \quad (3.18)$$

formatında bilinen ikinci dereceden bir denklem olarak daha rahat bir şekilde görünmesini sağlayacaktır. Bu ikinci dereceden denklemin a, b, c katsayıları,

$$a = |A|^2 \quad (3.19)$$

$$b = [2 * P_r * (a_1 * b_1 + a_2 * b_2) + 2 * P_r * \tan \varphi (a_1 * b_2 + a_2 * b_1)] \quad (3.20)$$

$$c = |B|^2 * (P_r^2 + (P_r * \tan \varphi)^2) \quad (3.21)$$

olarak ifade edilir. İkinci dereceden denklem yaygın olarak bilinen çözüm yöntemi ile çözülür. İkinci dereceden denklemin kökleri,

$$\Delta = b^2 - 4 * a * c \quad (3.22)$$

$$V_{r1} = \sqrt{\frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2 * a}} \quad (3.23)$$

$$V_{r2} = \sqrt{\frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2 * a}}$$

denklemleri ile bulunur (Yalçın, 1995; Glavic, 2003; Fu vd., 1997). Güç sisteminde yük barasının aktif güç değeri, düzenli olarak kademeli bir şekilde artırılması ile ikinci dereceden denklem her defasında çözülerek denklemin V_{r1} ve V_{r2} kökleri hesaplanır. Bu değerlerin bir bilgisayar programı ile eksenlerden biri aktif güç değerini diğeri gerilim genlik değerini göstermesi şartı ile bir eğri şeklinde çizdirilmesi sonucunda yük barasının P-V eğrisi elde edilmiş olur. Bu eğri üzerinden güç sisteminin kritik değerleri belirlenebilir. Yük barasının aktif güç artımları ile V_{r1} ve V_{r2} değerleri hesaplanırken, $V_{r1} = V_{r2}$ durumu söz konusu olduğu durumda, yük barasının çekebileceği en büyük aktif güç değeri bulunmuş olur. Yük barasının en büyük aktif güç değeri ile bu değeri aldığı andaki gerilim genlik değeri bir güç sisteminin kararlılık sınırları olan kritik değerleridir (Öztürk, 2007).

3.3. Güç Akış Yöntemleri Yardımıyla Gerilim Kararlılığı Analizi

Günümüzde güç sistemlerinin en iyi şartlarda işletilmesi ve ilerleyen zamanlarda güç sistemimizde meydana gelebilecek gelişmelerin önceden hesaplanabilmesi açısından yük akış analizi çalışmaları oldukça önemlidir. Yük akış analizi işlemi, bilinmeyen bara gerilimlerine tahmini değerler vererek tarif edilen aktif ve reaktif

güçler ve baralardaki tahmini değerlerden yola çıkarak her bara için yeni bir gerilim değeri hesaplayarak yapılır. Sistemimizin tek hat şeması yardımıyla iletim hatlarının seri empedansları ve paralel admitansları göz önüne alınarak elde edilen bara admitans matrisinden yararlanır. Yapılan her analiz adımı için çalışma şartları daima belirlenerek, bir bara hariç diğer bütün baralardan şebekeye giren aktif güçler tarif edilmelidir. Analizde diğer giriş güçleri ise generatörlerden ve sistem üzerinden gelen pozitif ve negatif güçlerdir. Bunların yanı sıra bu baraların her birinde sisteme akan reaktif güç veya gerilimin genliği de tarif edilmelidir. Başka bir ifade ile her barada reaktif güç akışı veya gerilimin genliğinden hangisinin sabit tutulacağına karar verilmelidir. Genel olarak güç akış analizlerinde generatör baralarında gerilimin genliği, yük baralarında ise aktif ve reaktif güçler tarif edilir. İletim hatlarındaki kayıp güçler nedeniyle şebekedeki bütün santrallerin aktif güç üretimleri sistemdeki baralardan birinde aktif güç bilinmeyen seçilerek, çözümün sonunda elde edilebilmektedir. Bu sebep dolayısı ile generatör baralarımızdan birinde aktif güç bilinmeyen seçilir ve bu baraya salınım barası denir. Güç akışı analizlerinde salınım barası için geriliminin genliği ve faz açısı girilir. Seçilen salınım barasına ait aktif güç değeri değişkendir ve bu değer diğer generatör baralarının aktif güçleri ile yüklerin aktif güçleri ve kayıpların toplamı arasındaki güç farkına eşittir. Yük akışı analizinde karşılaşılan zorluklar ise, değişik baralara göre tarif edilmesi gereken bilgilerin farklılığından ileri gelir. Yukarıda kısaca bahsettiğimiz güç akışı analizi iletim sistemlerinde geleneksel güç akışı algoritmaları ile gerçekleştirilebilmekte iken dağıtım sistemlerinde ise bu algoritmaların yanı sıra dağıtım sistemleri için geliştirilmiş güç akışı algoritmaları da kullanılmaktadır. (Eminoğlu, 1997).

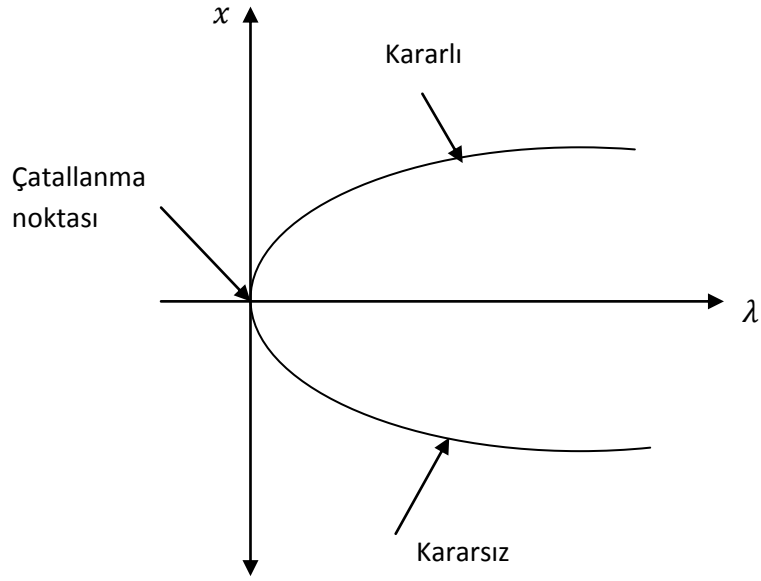
3.3.1. Çatallanma Teorisi

Çatallanma teorisi belirli sistem parametreleri değiştirildiği zaman faz şekillerinin niteliksel yapılarındaki değişiklikleri tanımlamak için kullanılır. Yerel çatallanmalar çatallanma denge noktalarına yakın farklı vektörel denklemleri analiz edilerek çalışılabilir. Güç sistemlerinde gerilim çökmeleri, boyun düğüm çatallanmasına yol açan parametre değerlerini tanımlayarak tahmin edilebilir. Çatallanmanın karakteristiğini göstermek amacıyla (3.24) dikkate alınır.

$$f(x, \lambda) = \dot{x} = \lambda - x^2 \quad (3.24)$$

Diferansiyel denklem olan (3.24)'de x durum değişkeni, λ bir parametredir. $f(x_0, \lambda_0) = 0$ olduğu yerde denge noktası denilen bir nokta vardır. λ 'nın bu değeri için $f(x, \lambda) = 0$ doğrusallaştırması tekildir.

λ değiştirildiği zaman $f(x, \lambda)$ için Şekil 3.2 elde edilir. $\lambda = 0$ olduğu zaman bir boyun düğüm noktası vardır. $\lambda < 0$ için herhangi bir denge yoktur, halbuki $\lambda > 0$ için kararlılık ve kararsızlık noktaları olarak 2 tane denge noktası vardır.



25

Şekil 3.2. $f(x, \lambda)$ için çatallanma diyagramı

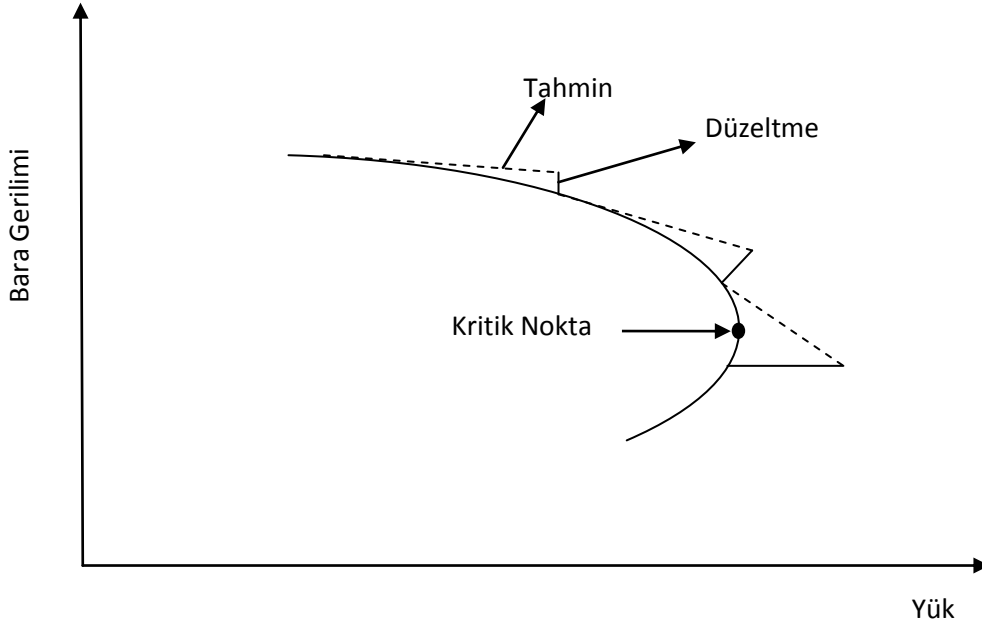
Şekil 3.2'de gösterilen diyagramın şekli aşağı bölümde elde edilen yük parametre eğrilerine karşı bara gerilimlerine oldukça benzemektedir.

3.3.2. Süregelen Güç Akışı

Güç akışı denklemlerinin jakobiyen matrisi gerilim kararlılık sınırında tekil olur. Sürekli güç akışı metodu bu problemin üstesinden gelir. Sürekli güç akışı bir yük senaryosuna göre birbirini takip eden yük çözümlerini bulur.

Sürekli güç akışı tahmin ve düzeltme adımlarından oluşur. Bilinen temel çözümlerden biri, bir tanjant tahmini yük artışının belirli bir örneği için sonraki çözümü tahmin etmek için kullanılır. Düzeltme adımı daha sonra bir geleneksel güç akışı aracılığıyla çalışan Newton rapson tekniğini kullanarak kesin çözümü belirler. Bundan

sonra yeni bir tahmin adımıyla yeni bir tanjant vektörüne bağlı olarak yük de belirtilen bir artış için yapılır. Ondan sonra düzeltme adımı uygulanır. Kritik noktaya ulaşıncaya kadar bu süreç devam eder. Kritik nokta tanjant vektörün sıfır olduğu noktadır (Keskin, 2007; Rosehart ve Canizares, 1999; Canizares 1991). Tahmin ve düzeltme adımlarının örneği Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Tahmin ve düzeltme adımlarının gösterimi.

Yük akışı devamında, ilk güç akışı denklemleri bu denklemlere bir yük parametresi ekleyerek yeniden formüle edilir (Ajjarapu ve Christy, 1992).

Eklenen güçler aşağıda gösterildiği gibi bir n baralı bir sistemin i^{th} barası için yazılabilir (Bergen, 2000):

$$P_i = \sum_{k=1}^n |V_i||V_k|(G_{ik} \cos \theta_{ik} + B_{ik} \sin \theta_{ik})$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^n |V_i||V_k|(G_{ik} \sin \theta_{ik} - B_{ik} \cos \theta_{ik}) \quad (3.25)$$

$$P_i = P_{Gi} - P_{Di}, Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} \quad (3.26)$$

Burada G ve D indisleri sırasıyla ilgili baraya ait yük talebi ve nesilleri ifade eder.

Bir yük değişimini simüle etmek için, bir yük parametresi λ , talep güçler P_{Di} ve Q_{Di} 'ye eklenir.

$$P_{Di} = P_{Di0} + \lambda(P_{\Delta base})$$

$$Q_{Di} = Q_{Di0} + \lambda(Q_{\Delta base}) \quad (3.27)$$

P_{Di0} ve Q_{Di0} i^{th} barasında yük taleplerinden kaynaklıdır oysa ki $P_{\Delta base}$ ve $Q_{\Delta base}$ uygun şekilde λ ölçekli seçilen güçlerin miktarları verilmiştir. (3.26)'ya (3.27) 'de ki yeni talep güçler konulmasının ardından, denklemler yeni bir dizi olarak temsil edilebilir:

$$F(\theta, V, \lambda) = 0 \quad (3.28)$$

Burada θ bara gerilim açılarının vektörünü gösterir ve V bara gerilim büyüklüklerini gösterir. $\lambda = 0$ için temel çözüm bir güç akışı yoluyla bulundu. Sonra sürdürülen ve parametrelendirme süreçleri uygulanmaktadır (Seydel, 1988; Rheinboldt ve Burkardt, 1983).

3.3.2.1. Tahmin Adımı

Bu adımda, bir doğrusal yaklaşım çözüm yoluna teğet bir yönde uygun boyutta bir adım alınarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, (3.28)'in her iki tarafının türevi alınır.

$$F_{\theta}d\theta + F_VdV + F_{\lambda}d\lambda = 0$$

$$[F_{\theta} \quad F_V \quad F_{\lambda}] \cdot \begin{bmatrix} d\theta \\ dV \\ d\lambda \end{bmatrix} = 0 \quad (3.29)$$

(3.29)'u çözmek için, bir tane daha denkleme ihtiyaç duyulur çünkü bilinmeyen bir değişken λ , yük akış denklemlerine eklenir. Bu aynı zamanda sürdürülebilir parametre adı verilen, +1 veya -1'e teğet vektör bileşenlerinden birini ayarlayarak cevap verilebilir. Teğet vektör bileşenlerinden birinin -1 veya +1 olarak ayarlanması, teğet vektörde sıfır olmayan bir değeri zorla meydana getirir ve kritik noktada jakobiyen matrisi tekil olmayan yapar. Sonuç olarak (3.30) oluşur.

$$\begin{bmatrix} F_{\theta} & F_V & F_{\lambda} \\ & e_k & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\theta \\ dV \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \pm 1 \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

Burada e_k , k^{th} 'ın 1'e eşit elemanları hariç sıfıra eşit bütün elemanları ile satır vektörü tahsis edilir. Birinci adımda λ sürdürülebilir parametre olarak seçilir. Süreç devam ederken, değişimin en büyük oranı ile durum değişkeni parametrenin doğası gereği sürdürülebilir parametre olarak seçilir. (3.30) çözümlenerek eğim vektörü bulunabilir. Sonra tahmin adımı aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$\begin{bmatrix} \theta \\ V \\ \lambda \end{bmatrix}^{p+1} = \begin{bmatrix} \theta \\ V \\ \lambda \end{bmatrix}^p + \sigma \begin{bmatrix} d\theta \\ dV \\ d\lambda \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

Burada "p+1" indisi gelecek tahmin çözümlerini gösterir. Adım boyutu σ seçilir, bundan dolayı tahmin çözümü düzeltmenin yakınsamasının yarıçapı içindedir. Eğer bu tahmin edici değilse daha küçük bir adım boyutu seçilir.

3.3.2.2. Düzeltme Adımı

Düzeltme adımında tahmin edilmiş adım yerel parametreler tarafından düzeltilir. Denklemin başlangıç kümesi seçilen durum değişkenlerinin değeri belirtilen bir denklem tarafından artırılır ve bunun sonucunda da;

$$\begin{bmatrix} F(\theta, V, \lambda) \\ X_k - \eta \end{bmatrix} = [0] \quad (3.32)$$

Burada x_k sürdürülebilir parametreler olarak seçilen durum değişkenidir ve η bu durum değişkeninin tahmin edilen değeridir. (3.32) bir az değiştirilmiş Newton rapson güç akış metodu kullanılarak çözülebilir.

3.3.2.3. Ölçülebilirlik

Sürdürülebilir parametrenin seçimi, sürdürülebilir güç akışında önemlidir. Sürdürülebilir parametre, en büyük değişimin oranı ile durum değişkenidir. Başlangıçta λ , hafif yükler nedeniyle bara gerilimleri ve açılarında küçük değişiklikler var olduğu ilk adımdan beri sürdürülebilir parametreler olarak seçildi. Yük arttıktan sonra birkaç adımda çözüm yaklaşımı kritik nokta, bara gerilimleri ve açılarının değişikliklerinin oranı artar. Bu yüzden sürdürülebilir parametrelerin seçimi her düzeltme adımından sonra kontrol edildi. En büyük değişikliği ile değişken sürdürülebilir parametre olarak seçilir.

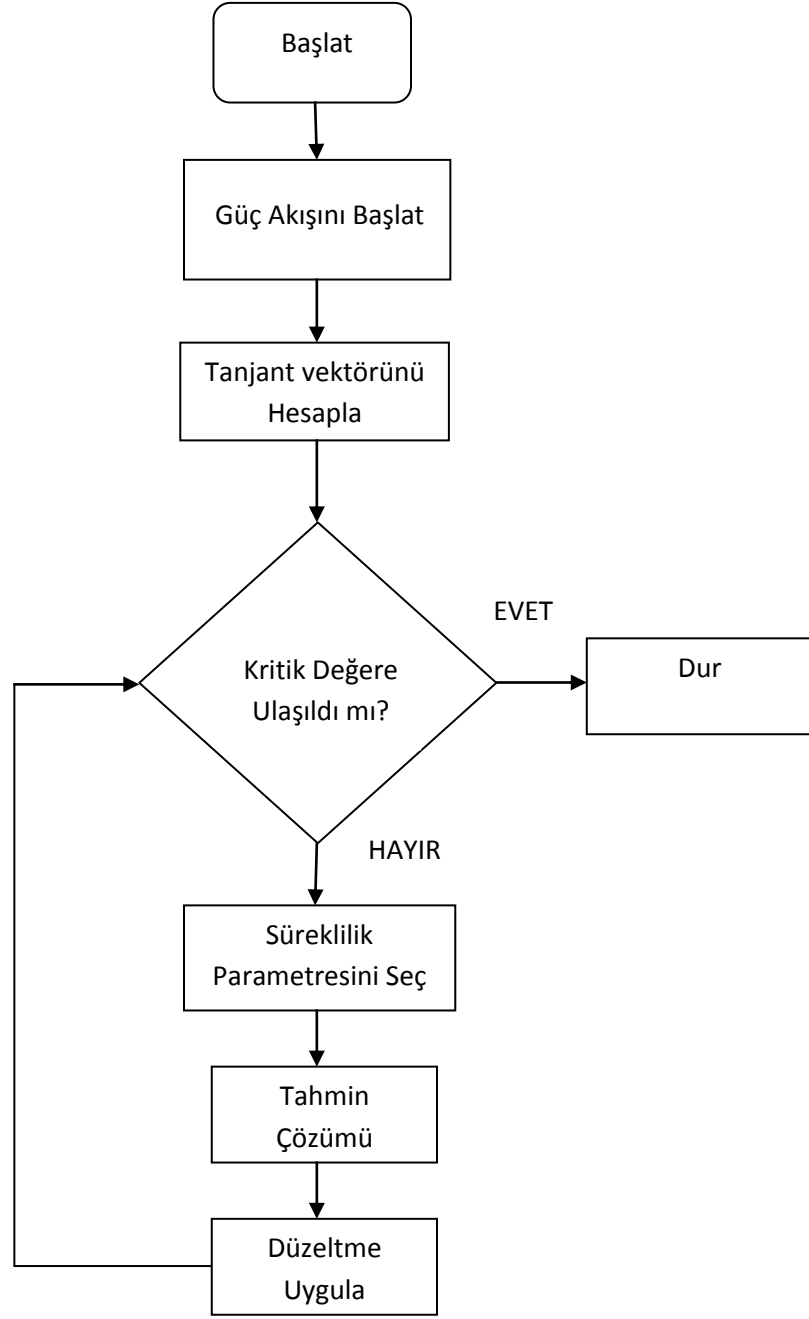
Eğer parametre artarsa, +1 kullanılır, eğer parametre azalır -1 (3.30)'da ki eğim vektöründe kullanılır.

Bütün sürdürülebilir güç akışı sürecini özetlemek için bir akış şeması Şekil 3.4'de sunulmaktadır.

Bu akış şemasında görüldüğü gibi kritik noktaya ulaşıldığında sürdürülebilir güç akışı durdurulur. Kritik nokta yükleme maksimum değere sahip olduğu noktadır. Bu noktadan sonra azalmaya başlar. λ teğet bileşeni kritik noktada sıfır ve bu noktanın ötesinde negatiftir. Bu yüzden $d\lambda$ nin işareti kritik noktaya ulaşıp ulaşmayacağını gösterir.

3.3.2.4. Ölçülebilirlik Süreklilik Metodu

Parametrelendirme güç akış denklemlerinde jakobiyen matrisinin tekil olmayı garanti etmek için gerekli olmakla birlikte, düzeltme adımının sürdürülebilir denklemlerinde çöküş noktasında tekil olmadığını gösterebilir (Canizares, 1991). Bu metotta sürdürülebilir güç akışı sürdürülebilir parametresi değişmeksizin uygulandı. Yük parametresi λ bütün tahmin ve düzeltme adımlarında sürdürülebilir parametre olarak seçildi. Bu metot da jakobiyen matrisin tekil olmadığı, kritik noktaya çözüm yaklaşımı olarak σ adım boyutu indirgeyici tarafından elde edilebilir (Keskin, 2007).



Şekil 3.4. Sürekli güç akışı için akış diyagramı

BÖLÜM IV

4. YAPAY SINİR AĞLARI VE EN KÜÇÜK KARELER DESTEK VEKTÖR MAKİNESİ

4.1. Yapay Sinir Ağları

Günümüzde, bilgi işleme büyük çoğunlukla sayısal bilgisayarlarla gerçekleştirilmektedir. Bu durum genel olarak bilgi işlemenin sadece sayısal bilgisayarlara bağımlı olduğu gibi yaygın bir hataya yol açmıştır. Fakat bilgi işlemeye genel olarak bakıldığı zaman canlıların kendi ortamlarında hayatta kalmak için mücadele etmesiyle birlikte ortaya çıktığını ve bugün bilgisayarlar tarafından işlenen bilginin bunun sadece küçük bir parçasını oluşturduğunu görürüz. Gerçekte bilgi işlem makinelerinin değişik türlerini ortaya çıkarmayı amaçlayan araştırmalar, sayısal bilgisayar dünyasındaki baş döndürücü gelişmelerin gölgesinde kalmasına rağmen günümüzde halen devam etmektedir. Bu araştırmaların bir yönünü insanların ve diğer canlıların sahip olduğu yapıları, işletim ilkelerini taklit eden bir bilgi işletim sistemini geliştirmek oluşturmaktadır. Özellikle son zamanlarda yapılan sinirsel ve sinirsel-psikolojik olaylar üzerine yapılan deneyler sonucunda insan beyninin yapısı önemli ölçüde aydınlatılmıştır.

İnsan beyninin bilgi işleme sürecini geniş açıdan inceleyen bilişsel bilim gibi alanlarda, paralel çalışma için birleştirilmiş çoklu işlem elemanlarını içeren modeller önerilmiştir. Bunların yanı sıra matematik ve fizik bilimlerinde yapılan araştırmalar sonucunda değişik yollarla birleştirilen çoklu elemanları içeren matematik analiz yöntemleri üzerinde de yoğunlaşmıştır. Bu nedenlerden ötürü insanların ve diğer canlıların bilgi işlem sistemlerinin çalışma ilkelerini ve bunların yapılarını açığa çıkarmaya çalışan, bu yapı ve çalışma ilkelerini temel alan bir bilgi işlem sistemi inşa etme yolunda araştırmalar artmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalarda Sinirsel-bilgi-işlem terimi, konuların bilgi mühendisliğiyle ilgili yönlerini ifade etmek için kullanılan bir terimdir.

Yapılan bu araştırmalar ışığında YSA, insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş, ağırlıklar adı verilen bağlantılar yardımıyla birbirine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme

yapılarıdır. YSA, diğer bir ifade ile beynimizde ki sinir ağlarını taklit eden bir bilgisayar programıdır. Ayrıca, YSA bağlantıcılık, paralel dağıtılmış işlem, sinirsel-işlem, doğal zeka sistemleri ve makine oğrenme algoritmaları gibi isimlerle ifade edilmektedir.

YSA'nın genel özellikleri incelendiğinde bir YSA programcısının geleneksel yeteneklerini ihtiyaç duymayan, kendi kendine oğrenme dzenekleri olan ayrıca oğrenmenin yanı sıra, ezberleme ve bilgiler arasında ilişkiler oluşturma gibi yeteneklere sahip olduğu sđylenebilir. YSA gđnümüzde bilgi işleme sistemlerinin yeni neslini temsil etmektedir. Genel olarak YSA kullanıldığı alanlarda sistemlerin model seçimi ve sınıflandırılması, işlev tahmini, en uygun değer bulma ve veri sınıflandırılması gibi işlemlerde oldukça başarılıdır.

Gđnümüzde çok sayıda YSA tipi bulunmakla birlikte bazılarının kullanımı diğerlerinden daha fazla yaygındır. En çok kullanılan YSA ise, Geri Yayılımlı yapay sinir ağı olarak bilinendir. Bu tip YSA'lar tahmin ve sınıflandırma performansları açasından çok iyi sonuçlar vermektedir. Çok kullanılan YSA'lardan bir diğer de Kohonen özörgütlemeli harita'dır. Bu tip YSA ise, karışık bilgi kümeleri arasında ilişki bulma konusunda başarılı sonuçlar vermektedir (Elmas, 2003; URL-1, 2012).

4.1.1. Yapay Sinir Ağlarının Genel Kullanım Alanları

YSA bilgi sınıflama ve bilgi yorumlamanın da dahil olduğu bir çok alanda uygulama sahası bulmuştur. YSA'nın kullanım alanlarını kısaca şu şekilde sıralayabiliriz:

- Denetim
- Arıza analizi ve tespiti
- Savunma sanayisi
- Haberleşme
- Sistem modelleme
- Ses tanıma
- El yazısı tanıma
- Parmak izi tanıma
- Elektrik işareti tanıma
- Meteorolojik yorumlama

- Otomatik araç denetimi
- Fizyolojik işaretleri (Kalp fonksiyonları gibi) izleme, tanıma ve yorumlama

YSA'nın başlıca uygulama alanları sıralayacak olursak sınıflandırma, tahmin ve modelleme olarak ele alınabilir.

Sınıflandırma: Müşteri/Pazar profilleri, tıbbi teşhis, imza tetkikleri, borçlanma/risk değerlendirmeleri, ses tanıma, şekil tanıma, spektrum tanımlaması, mal değeri, hücre tiplerinin sınıflandırılması, mikroplar, modeller, örnekler.

Tahmin: İleriki satışlar, üretim ihtiyacı, pazar performansı, ekonomik deliller, enerji ihtiyacı, tıbbi sonuçlar, kimyasal reaksiyon ürünleri, hava tahminleri, at yarışları, çevresel risk, jüri panelleri.

Modelleme: İşlem kontrolü, sistem kontrolü, kimyasal yapılar, dinamik sistemler, işaret karşılaştırma, plastik kalıpcılık, kaynak kontrolü, robot kontrolü ve diğer birçok uygulamalar (Elmas, 2003).

4.1.2. Bir Yapay Sinirin Ana Öğeleri

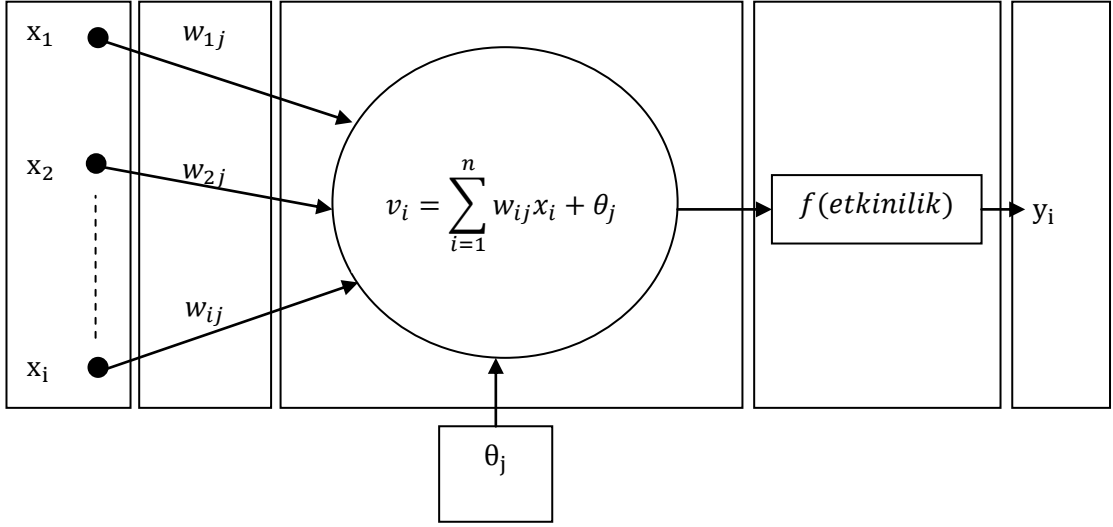
Bir yapay sinir hücresi YSA'nın çalışmasını sağlayan en temel bilgi işleme birimidir. Yukarıda da bahsedildiği gibi bir YSA, birbirine bağlı bulunan çok sayıda işlem elemanlarından oluşmuş, genellikle paralel olarak işleyen yapılar olarak adlandırılabilir. YSA'lardaki işlem elemanları basit sinirler olarak adlandırılır. Bir YSA, birbiriyle bağlantılı, çok sayıda düğümlerden oluşur.

YSA'lar, insan beyinde olduğu gibi, öğrenme, hatırlama ve genelleme yeteneklerine sahiptirler.

İnsan beyine baktığımız zaman öğrenme 3 şekilde olur;

- Yeni aksonlar üreterek
- Aksonların uyarılmasıyla
- Mevcut aksonların gücünü değiştirerek

YSA'nın en temel birimi, düğüm olarak adlandırılan yapay bir sinirdir. Bir yapay sinir, biyolojik sinirlere göre daha basit olmasına karşın, biyolojik sinirlerin 4 temel işlevini taklit eder.



Şekil 4.1. Yapay bir sinir (düğüm)

Bir yapay sinirde girişler x_i sembolüyle gösterilir iken bu girişlerin her biri ağırlık w ile çarpılır. Basitçe bu ürünler eşik değeri θ_i ile toplanır ve sonucu oluşturmak için etkinlik işlevi ile işlem yapılır ve y_i çıkışı alınır.

Tüm YSA'lar yukarıda verilen bu temel sinir yapıdan türetilmiştir. Bu yapıda yapılacak farklılıklar YSA'nın farklı sınıflandırılmalarını sağlar.

4.1.2.1. Girişler

Diğer hücrelerden veya çevreden aldığı bilgileri, sinire girişler (x_1, x_2, \dots, x_n) getirir. Giriş bilgileri, kendinden önceki sinirlerden veya dış dünyadan sinir ağına gelebilirler. Bir sinir hücresi geliş güzel birçok girdiyi alabilir.

4.1.2.2. Ağırlıklar

Bir sinir hücresinde ağırlıklar (w_1, w_2, \dots, w_n), yapay sinir tarafından alınan bilgi girişlerinin sinir üzerindeki etkisini belirleyen katsayılardır. Her bir giriş için kendine ait bir ağırlık değerine sahiptir. Bu ağırlığın değerine bağlı olarak girişin etkinliği belirlenir. Bu değer büyük olması, o girişin yapay sinire güçlü bağlanması ya da önemli olması, küçük olması zayıf bağlanması ya da önemli olmaması anlamına gelmektedir.

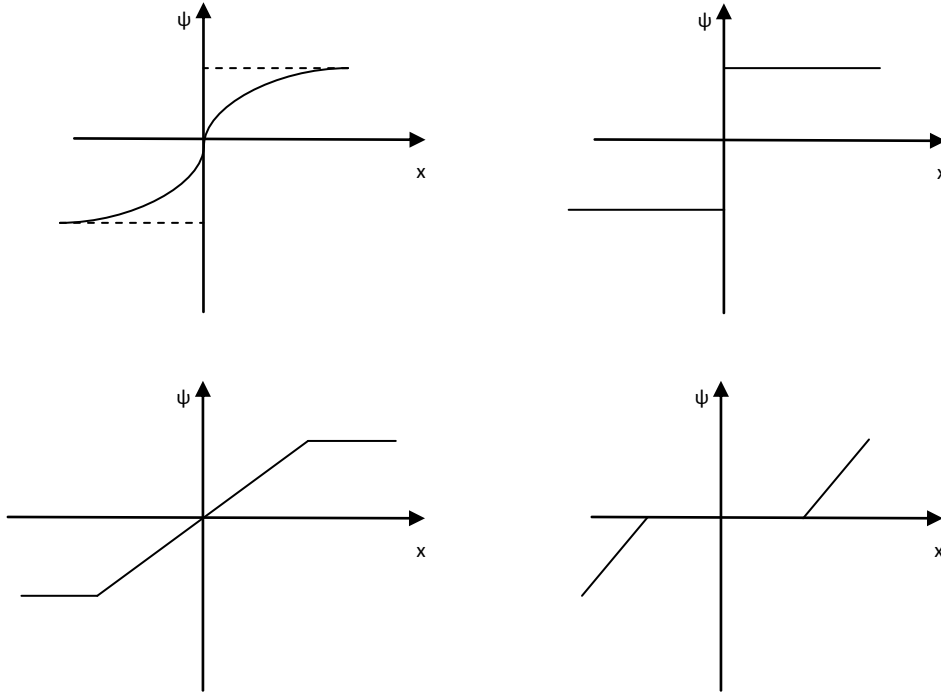
4.1.2.3. Toplama işlevi

Toplama işlevi bir hücreye gelen net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur. Toplama işlevi v_i , bir sınırdaki her bir ağırlığın ait olduğu girişlerle çarpımının toplamını eşik θ_j değeri ile toplayarak elde edilir. Elde edilen bu değeri devamında etkinlik işlevine gönderir. Bazı durumlarda toplama işlevi ağ yapısına göre maksimum alan, minimum alan, çoğunluk veya birkaç normalleştirme algoritması gibi çok daha karmaşık yapılara sahip olabilir.

4.1.2.4. Etkinlik İşlevi

Toplama işlevinin sonucunda elde ettiğimiz net girdi, etkinlik işlevinde f (etkinlik) geçirilip çıkışa iletilir. Bir etkinlik işlevinin kullanım amacı, zaman söz konusu olduğunda toplama işlevinin çıkışının değişmesine izin vermektir. Etkinlik işlevi, Şekil 4.2’de gösterilen eğrilerin biri şeklinde olabilmektedir.

Bu eğrilerden eşik veya basamak işlevleri, etkinlik işlevlerinin nasıl çalıştığını basit bir şekilde açıklanmaktadır. Sınır, etkinlik işlevinin eşik seviyesinin altında olduğu zaman çıkış üretilmez iken, sınır etkinlik işlevinin eşik seviyesinin üzerinde olursa çıkış üretir.



Şekil 4.2. Etkinlik fonksiyonları

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{eğer } w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n \geq T \\ 0 & \text{eğer } w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n < T \end{cases} \quad (4.1)$$

İkili giriş örnekleri verildiği zaman etkinlik işlevi ya 1 ya da 0 olur.

4.1.2.5. Ölçekleme ve Sınırlama

Düğümelerde, etkinlik işlevinin sonuçları bir ölçek veya sınır işleminden geçirilebilir. Bu işlemlerden ölçeklendirme adımı, basitçe bir ölçek değeri ile etkinlik değerinin çarpılması yardımıyla etkinlik işlevi sonucu ölçeklendirilmiş olunur. Sınırlandırma yapılmak istenirse de yapılması gereken, ölçeklenmiş sonuçların en az ve en çok sınırlarını aşmamasını sağlamaktır.

4.1.2.6. Çıkış İşlevi

Bir sinir hücresinin dış dünyadan veya bir önceki sinir hücresinden aldığı giriş bilgisini alarak yukarıda bahsedilen işlemler yardımıyla işlemesi sonucunda elde ettiği çıkış değeri $y_i = f(s)$, dış dünyaya veya diğer sinirlere gönderildiği yerlerdir. Sinirin elde edilen bu çıkışı, kendinden sonra gelen herhangi bir sayıdaki diğer sinirlere giriş

bilgisi olabilir. Bu durum aynen biyolojik sınırlarda olduğu gibidir. Biyolojik sınırlarda da birçok giriş var iken sadece bir çıkış etkinliği vardır. Düğümümüzün çıkışı etkinlik işlevinin sonucuna eşdeğerdir. Fakat bazı ağ yapılarında, komşu düğümler arasında yarışma oluşturmak için etkinlik sonuçları düzenlenebilir. Böylece yarışmacı girişler hangi düğümün öğrenme ya da uyma işlemine katılacağına karar verilmesinde yardımcı olurlar.

4.1.2.7. Öğrenme

Bir YSA'nın en önemli özelliklerinden biride öğrenme yeteneğidir. Öğrenme işleminde YSA'nın ilgilendiği ortam yardımıyla belirli bir süre uyarılması sonucunda YSA'ya ait serbest parametrelerin arzu edilen öz yeteneği sağlayacak şekilde ayarlanması işlemidir.

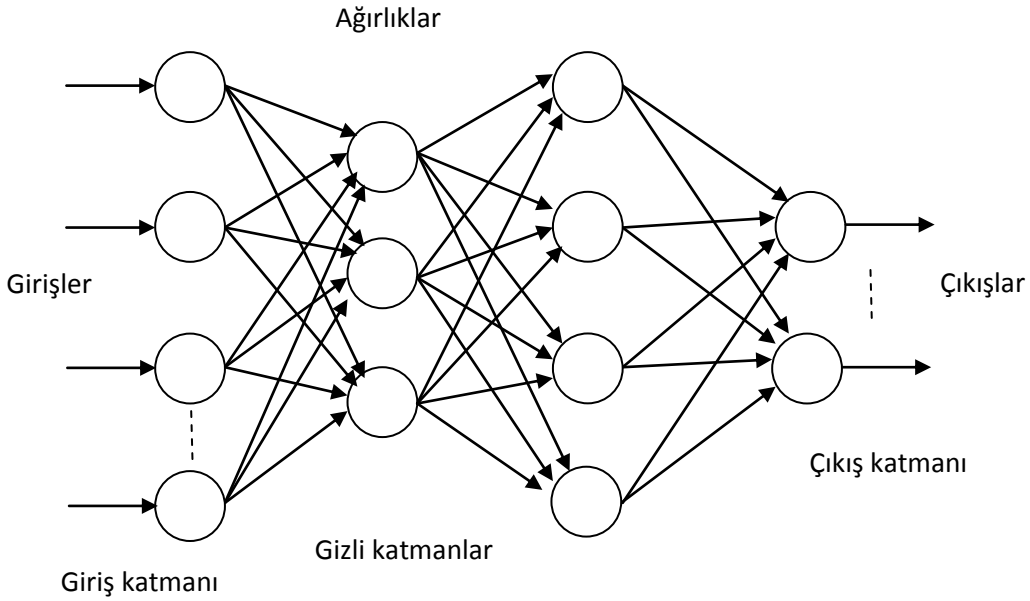
Temel olarak danışmanlı ve danışmansız olmak üzere iki tip öğrenme türü vardır. Danışmanlı öğrenmede bir eğitici sinyale ihtiyaç vardır. Eğitici sinyal, bir veri alıştırma kümesi veya ağ sonuçlarının performansını derecelendiren bir gözlemci olabilir. Sisteme verilen eğitici sinyal yardımıyla eğitici çıkış oluşur ve bu çıkış ile gerçek çıkış sinyali arasındaki hata sinyali yardımıyla YSA ağırlıkları uyarlanır. Danışmansız öğrenmede ise eğitici sinyal bulunmamaktadır. Ağ girişleri üzerinden istenen amaca göre ağırlıklar ayarlanır ve bu özellik genellikle veri kümelemede kullanılır (Elmas, 2003).

4.1.3. Yapılarına Göre İleri Beslemeli Ağlar

İleri beslemeli ağlarda hücreler katmanlar şeklinde tertip edilir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları diğer katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak uygulanır. Burada reel değerli n boyutlu giriş verisi şu şekilde ifade edilebilir; j gizli katman siniri, i girdisini w_{ij} ($i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots$) ağırlığına göre alır. J gizli katmanı ise x girdi işaretinin ve w_{ij} ağırlıklarının bir işlevini hesaplayıp, sonucu sonraki katmandaki tüm komşu sınırlara iletir. Devamında ise ilk gizli katman gibi ikinci gizli katman sınırları da ağırlıklarla kendinden önceki katmana tam olarak bağlıdır. Bu katmandaki sınırlarda girişlerin ve girişlerin ağırlıklarının bir işlevini hesaplayarak oluşan sonucu bir sonraki aşamaya aktarır. En son bu işlev, çıkış katmanındaki sınırlar tarafından da yapıldıktan

sonra tamamlanır. İşte bu şekilde meydana gelen ağlara, çok katmanlı ileri beslemeli ağlar adı verilir. Şekil 4.3’de çok beslemeli ileri katmanlı bir ağ görülmektedir.

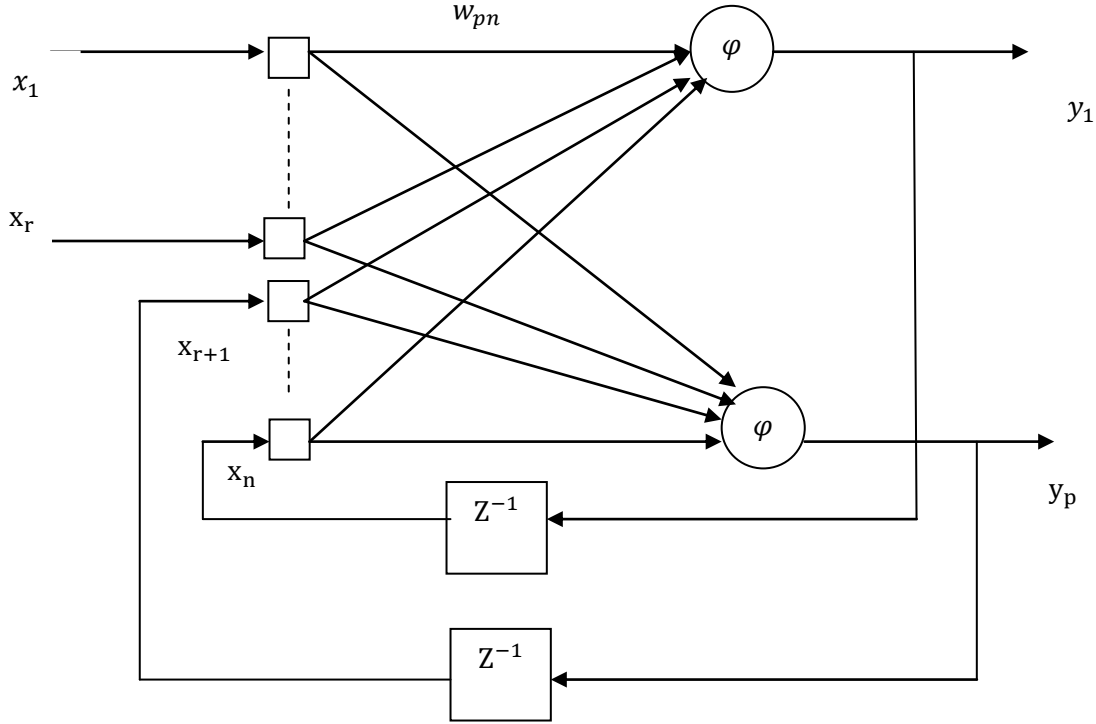
En çok kullanılan geriye yayılım öğrenme algoritmasının kullanımı bu ağlarda oldukça yaygın olup bu ağlarda genellikle geriye yayılım ağları adına da sahip olmuştur. Bu ağlar özellikle nesne tanıma, sinyal işleme, sistemlerin tanınması ve sistem denetiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Elmas, 2003; URL-1, 2012).



Şekil 4.3. Çok Katmanlı ileri beslemeli bir YSA

4.1.4. Yapılarına Göre Geri Beslemeli Ağlar

Geri beslemeli YSA’da en az bir hücrenin çıkışı diğer bir hücrenin girişine besleme olarak tekrardan verilir ve bu geri besleme işlemi genel olarak bir geciktirme elemanı üzerinden gerçekleştirilir. Geri besleme işlemi bir katmanın hücreleri arasında olabileceği gibi başka katmanların hücreleri arasında da meydana gelebilir. Dolayısıyla geri beslemenin yapılış tarzına göre değişik tavırlarda geri beslemeli YSA yapıları ortaya çıkacaktır.



Şekil 4.4. Geri beslemeli iki katmanlı YSA

Şekil 4.4’de 2 katmanlı bir geri beslemeli bir YSA görülmekte olup burada giriş vektörü r adet dış giriş ve p adet gecikmiş ağ çıkışlarından oluşmaktadır. Buna göre YSA’nın giriş vektörü ve çıkışları aşağıdaki gibi yazılabilir (URL-1, 2012).

$$x = x_1, x_2, \dots, x_r, y_1(-1), y_2(-1), \dots, y_p(-1) \quad (4.2)$$

$$y_j = \varphi(\sum_{i=0}^n w_{ji}x_i) \quad j=0,1,2,\dots,p \quad (4.3)$$

4.1.5. Yapay Hücre Yapılarının İncelenmesi

N girişe sahip ve her bir girişi içinde $k=1,2,3,\dots,N$ örnekten meydana gelen statik bir hücreye ait ileri yöndeki matematiksel bağlantılar aşağıda verilmiştir. Burada $x_0=+1$ polarma girişi ve b polarma ağırlığıdır.

$$v(k) = \sum_{i=1}^n w_i x_i(k) + b \quad (4.4)$$

$$y(k) = \varphi\{v(k)\} \quad (4.5)$$

Burada $x_i(k)$ hücrenin k. andaki i. girişi, $v(k)$ hücrenin k. andaki skaler net girişi ve $y(k)$ hücrenin k. andaki çıkışıdır. $\varphi(\cdot)$ hücrenin aktivasyon fonksiyonudur. Herhangi bir k. anda hücrenin oluşturacağı işlemler matrisel olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$v(k) = w^T \cdot x(k) + b, \quad y(k) = \varphi\{v(k)\} \quad (4.6)$$

Burada $x(k)$ hücrenin k. andaki giriş vektörü ve w hücrenin ağırlıklar matrisi olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$x(k) = \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ \vdots \\ x_n(k) \end{bmatrix} \quad w = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_n]^T \quad (4.7)$$

$k=1,2,3,\dots,N$ adet toplu örnek kümesi için hücrenin matematiksel modelini matris biçiminde yazarsak;

$$V = w^T \cdot X + B, \quad Y = \varphi(V) \quad (4.8)$$

Burada W matrisi yukarıdaki gibi tanımlanmak üzere, X toplu girişler matrisi B polarma ağırlıkları vektörü, V hücrenin net girişi ve Y hücrenin çıkış vektörünü gösterir (URL-1, 2012).

$$V = [v(1)v(2) \dots v(N)]_{1 \times N} \quad Y = [y(1)y(2) \dots y(N)]_{1 \times N} \quad B = [b \ b \ b \ \dots \ b]_{1 \times N} \quad (4.9)$$

$$x = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \dots & x_1(N) \\ x_2(1) & x_2(2) & \dots & x_2(N) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_n(1) & x_n(2) & \dots & x_n(N) \end{bmatrix}^{n \times N} \quad (4.10)$$

4.1.6. Yapay Sinir Ağı Yapılarının İncelenmesi

Üç katmanlı ve çıkış katmanı doğrusal olan tek çıkışlı ileri beslemeli bir YSA'nın matematiksel bağlantıları aşağıda verilmiştir. Burada n , YSA'nın giriş sayısını, m orta katman hücre sayısını, B_j orta katmandaki j. hücrenin polarma ağırlığını, q da çıkış katmanındaki tek hücrenin polarma ağırlığını göstermektedir.

$$v_j(k) = \sum_{i=1}^n w_{ij}x_i(k) + b, j = 1,2, \dots, m \quad (4.11)$$

$$o_j(k) = \varphi\{v_j(k)\} \quad (4.12)$$

$$y(k) = \sum_{j=1}^m \theta_j o_j(k) + q \quad (4.13)$$

Burada $x_i(k)$ YSA'nın k. anındaki i. girişi, $v_j(k)$ orta katmandaki j. hücrenin k. andaki net girişi, $o_j(k)$ orta katmandaki j. hücrenin k. andaki çıkışı ve $y(k)$ YSA'nın k. andaki çıkışını göstermektedir. $\varphi(\cdot)$ orta katman hücrelerinin aktivasyon fonksiyonudur.

YSA'nın herhangi bir k. andaki hücrenin gerçekleştirdiği işlemler matrisel olarak yazılırsa;

$$v(k) = W.x(k) + b, o(k) = \varphi\{v(k)\}, y(k) = \theta.o(k) + q \quad (4.14)$$

Burada $x(k)$ YSA giriş vektörü, $v(k)$ orta katman net giriş vektörü, $o(k)$ orta katman çıkış vektörüdür. W orta katman ağırlıklar matrisi, θ çıkış katman ağırlıklar matrisi ve b orta katman polarma ağırlıkları matrisidir.

$$x(k) = \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ \vdots \\ x_n(k) \end{bmatrix}, \quad v(k) = \begin{bmatrix} v_1(k) \\ v_2(k) \\ \vdots \\ v_n(k) \end{bmatrix}, \quad o(k) = \begin{bmatrix} o_1(k) \\ o_2(k) \\ \vdots \\ o_m(k) \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ W_{m1} & W_{m2} & \dots & W_{mn} \end{bmatrix} \quad \theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_m \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

$k=1,2,3,\dots,N$ adet toplu örnek kümesi için YSA'nın matematiksel modeli matrisel formatta aşağıdaki gibidir.

$$V = W.X + B, \quad O = \varphi(V), \quad Y = \theta^T.O + Q \quad (4.17)$$

Burada W ve θ matrisleri yukarıdaki gibi tanımlamak üzere sinyallerin ve diğer matrislerin tanımı aşağıdaki gibi olacaktır (URL-1, 2012).

$$X = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \dots & x_1(N) \\ x_2(1) & x_2(2) & \dots & x_2(N) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_n(1) & x_n(2) & \dots & x_n(N) \end{bmatrix}^{n \times N}$$

$$V = \begin{bmatrix} v_1(1) & v_1(2) & \dots & v_1(N) \\ v_2(1) & v_2(2) & \dots & v_2(N) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ v_m(1) & v_m(2) & \dots & v_m(N) \end{bmatrix}^{m \times N}$$

$$O = \begin{bmatrix} o_1(1) & o_1(2) & \dots & o_1(N) \\ o_2(1) & o_2(2) & \dots & o_2(N) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ o_m(1) & o_m(2) & \dots & o_m(N) \end{bmatrix}^{m \times N}$$

$$b = \begin{bmatrix} b_1 & b_1 & \dots & b_1 \\ b_2 & b_2 & \dots & b_2 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_m & b_m & \dots & b_m \end{bmatrix}^{m \times N}$$

$$Y = [y(1), \dots, y(N)] \quad \text{ve} \quad Q = [q \ q \ \dots \ q]_{1 \times N} \quad (4.18)$$

4.2. En Küçük Kareler Destek Vektör Makinesi

Destek vektör makinesi (DVM) fonksiyon tahmini ve çekirdeğe dayalı diğer son gelişmelere aynı zamanda yol açan, sıklık tahmininde ve doğrusal olmayan sınıflandırma problemlerinin çözümü için kullanılan güçlü bir metottur. DVM'ler yapısal risk minimizasyonları ve istatistiksel öğrenim teorileri içeriğinde tanımlanmaktadır. Dış bükey optimizasyon problemlerinin çözüm metodlarından biride tipik quadratik programlardır. EKKVDM doğrusal Karush–Kuhn–Tucker (KKT) sistemlerin çözümünü sağlayan bir standart DVM'nin yeniden bir düzenlemesidir. EKKDVM Gaussian süreciyle ve şebeke düzenleme ile yakın ilişkilidir. Kuvvet, seyreklik ve ağırlıklar EKKDVM'ye ihtiyaç duyulduğu yerde dahil edilebilir ve bir Bayesian sistemi sonuçlarının 3 bölümü ile geliştirilebilir. EKKDVM benzer temel üç formülosyon kernel CCA (Canonical Correlation Analysis – Kanonik Korelasyon Analizi), kernel PLS (Partial Least Squares – Kısmi En Küçük Kareler) ve kernel PCA'yı (principal component analysis – temel bileşen analizi) verebilir (URL-2, 2012).

EKKDVM, data analizi, örnekleri tanımlama ayrıca regresyon analizi ve sınıflandırma için kullanılan öğretici öğrenme metodlarıyla ilişkili bir grup olan DVM'nin en küçük kareler versiyonudur. Bu yöntem ayrıca klasik DVM'ler için bir

konveks karesel programlama probleminin yerine bir grup doğrusal denklemleri çözerek çözüm bulabilir. EKKDVM sınıflayıcılar Vandewalle ve Suykens tarafından tanımlanmıştır. EKKDVM çekirdek tabanlı öğrenme metotlarının bir sınıfıdır (Suykens ve Vandewalle, 1999).

Şimdi kısaca DVM formülasyonlarına (Vapnik, 1995) ve devamında EKKDVM formülasyonlarına bakacak olursak;

Verilen bir $\{x_i, y_i\}_{i=1}^N$ eğitim seti ile $x_i \in \mathbb{R}^n$ giriş datası için ve uygun 2'li sınıf etiketi $y_i \in \{-1, +1\}$ olan DVM sınıflandırıcı, Vapnik'in orijinal formülasyonuna göre aşağıdaki şartları sağlar:

$$\begin{cases} w^T \phi(x_i) + b \geq 1, & \text{if } y_i = +1, \\ w^T \phi(x_i) + b \leq -1, & \text{if } y_i = -1. \end{cases} \quad (4.19)$$

Denklem eşittir ki;

$$y_i [w^T \phi(x_i) + b] \geq 1, \quad i = 1, \dots, N \quad (4.20)$$

Burada $\phi(x)$ orijinal uzaydan yüksek boyutlu uzaya ve muhtemelen sonsuz boyutlu uzaya doğrusal olmayan haritadır.

Çoğu ayırma hiperdüzlemin var olmadığı durumlarda, salınım değişkeni olarak isimlendirilen ξ_i tanımlanır.

$$\begin{cases} y_i [w^T \phi(x_i) + b] \geq 1 - \xi_i, & i = 1, \dots, N \\ \xi_i \geq 0 & i = 1, \dots, N. \end{cases} \quad (4.21)$$

Yapısal risk minimizasyon prensibine göre bağlı risk aşağıdaki minimizasyon problemi tarafından küçültülmüştür.

$$\min J_1(w, \xi) = \frac{1}{2} w^T w + c \sum_{i=1}^N \xi_i, \quad (4.22)$$

$$\text{Bağlı olarak } \begin{cases} y_i [w^T \phi(x_i) + b] \geq 1 - \xi_i, & i = 1, \dots, N \\ \xi_i \geq 0 & i = 1, \dots, N. \end{cases} \quad (4.23)$$

Burada $\alpha_i \geq 0, \beta_i \geq 0$ ($i = 1, \dots, N$) lagrange çarpanlarıdır. Optimal nokta langrange fonksiyonunun boyun noktasında olacaktır ve aşağıdaki fonksiyon elde edilecektir.

$$\begin{cases} \frac{\partial L_1}{\partial w} = 0 \rightarrow w = \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i \phi(x_i) \\ \frac{\partial L_1}{\partial b} = 0 \rightarrow \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i = 0, \\ \frac{\partial L_1}{\partial \xi_i} = 0 \rightarrow 0 \leq \alpha_i \leq c, i = 1, \dots, N. \end{cases} \quad (4.24)$$

Uygun amaç ve kısıtlardan oluşan Lagrange ifadesinde w yerine koyularak, aşağıdaki gibi karesel programlama problemi elde edilecektir;

$$\max Q_1(\alpha) = -\frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^N \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) + \sum_{i=1}^N \alpha_i \quad (4.25)$$

$K(x_i, x_j) = \langle \phi(x_i), \phi(x_j) \rangle$ olduğu yer çekirdek fonksiyonu olarak isimlendirilir. Bu QP problem konusu (4.25)'de kısıtlamaları çözerek yüksek boyutlu uzayda hiperdüzlem elde ederiz ve bu sınıflandırma orijinal uzaydadır.

EKKDVM'nin formulasyonunada bakacak olursak DVM sınıflandırıcının en küçük kareler yöntemi aşağıdaki minimizasyon problemi yeniden düzenlenerek elde edilebilir;

$$\min J_2(w, b, e) = \frac{\mu}{2} w^T w + \frac{\zeta}{2} \sum_{i=1}^N e_{c,i}^2, \quad (4.26)$$

Denklemler kısıtlamalarına bağlı olarak;

$$y_i [w^T \phi(x_i) + b] = 1 - e_{c,i}, \quad i = 1, \dots, N \quad (4.27)$$

$y_i = \pm 1$ ikili hedefler ile bir regresyon yorumuna karşılık EKKVDM sınıflandırma formülü yukarıda dolaylı olarak elde edilmiştir. $y_i^2 = 1$ kullanırsak;

$$\sum_{i=1}^N e_{c,i}^2 = \sum_{i=1}^N (y_i e_{c,i})^2 = \sum_{i=1}^N e_i^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - (w^T \phi(x_i) + b))^2, \quad (4.28)$$

$e_i = y_i - (w^T \phi(x_i) + b)$ elde ederiz.

Bunun sonucu olarak EKKDVM sınıflandırma fonksiyonu;

$$J_2(w, b, e) = \mu E_W + \zeta E_D \text{ ile } E_W = \frac{1}{2} w^T w \quad (4.29)$$

$$\text{ve } E_D = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N e_i^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (y_i - (w^T \phi(x_i) + b))^2 \text{ denklemleridir.} \quad (4.30)$$

Hem μ hem de ζ toplam karesel hataya karşı düzenleme miktarını ayarlamak için yüksek parametreler olarak kabul edilmelidir. Çözüm sadece $\gamma = \mu/\zeta$ oranına bağlıdır, bu yüzden genel formülde düzenleme parametresi olarak sadece γ kullanılır. Biz EKKDVM'ye bir Bayesian yorumu sağlamak için parametre olarak hem μ hem de ζ kullanırız.

Biz aşağıdaki gibi Lagrange fonksiyonunu kurduktan sonra EKKDVM regresörün çözümü elde edilecektir

$$\begin{cases} L_2(w, b, e, \alpha) = J_2(w, e) - \sum_{i=1}^N \alpha_i \{ [w^T \phi(x_i) + b] + e_i - y_i \}, \\ = \frac{1}{2} w^T w + \frac{\gamma}{2} \sum_{i=1}^N e_i^2 - \sum_{i=1}^N \alpha_i \{ [w^T \phi(x_i) + b] + e_i - y_i \} \end{cases} \quad (4.31)$$

Burada $\alpha_i \in \mathbb{R}$ Lagrange çarpanlarıdır. Optimallik için şartlar şunlardır;

$$\begin{cases} \frac{\partial L_2}{\partial w} = 0 \rightarrow w = \sum_{i=1}^N \alpha_i \phi(x_i) , \\ \frac{\partial L_2}{\partial b} = 0 \rightarrow \sum_{i=1}^N \alpha_i = 0, \\ \frac{\partial L_2}{\partial e_i} = 0 \rightarrow \alpha_i = \gamma e_i, \quad i = 1, \dots, N, \\ \frac{\partial L_2}{\partial \alpha_i} = 0 \rightarrow y_i = w^T \phi(x_i) + b + e_i, \quad i = 1, \dots, N. \end{cases} \quad (4.32)$$

w ve e parametrelerinin elenmesi ile bir karesel programlama probleminin yerine bir doğrusal sistem elde edilecektir (Suykens ve Vandewalle, 1999).

$$\begin{bmatrix} 0 & 1_N^T \\ 1_N & \Omega + \gamma^{-1} I_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ Y \end{bmatrix}, \quad (4.33)$$

$$Y = [y_1, \dots, y_N]^T, \quad 1_N = [1, \dots, 1]^T, \quad \alpha = [\alpha_1, \dots, \alpha_N]^T. \quad (4.34)$$

Burada I_N bir $N \times N$ tanımlama matrisidir ve $\Omega \in \mathbb{R}^{N \times N}$, $\Omega_{ij} = \phi(x_i)^T \phi(x_j) = K(x_i, x_j)$ tarafından tanımlanan çekirdek matrisidir. (4.35)

Çekirdek fonksiyonu için $K(\blacksquare, \blacksquare)$ tipik olarak aşağıdakilerden biri gibi seçilebilir:

- Doğrusal Kernel : $K(x, x_i) = x_i^T x$,
- d dereceli polinomal kernel: $K(x, x_i) = (1 + x_i^T x/c)^d$,
- Radyal tabanlı kernel fonksiyonu RBF: $K(x, x_i) = \exp(-\|x - x_i\|^2/\sigma^2)$,

- MLP kernel (Perceptron neural network-Çok katmanlı algılayıcı): $K(x, x_i) = \tanh(kx_i^T x + \theta)$

Burada d, c, σ, k ve θ sabitelerdir.

BÖLÜM V

5.GÜÇ SİSTEMİNİN GERİLİM KARARLILIĞI KRİTİK DEĞERLERİNİN ELDE EDİLEREK YSA VE EKKDVM EĞİTİMİ

Bu bölümde ilk olarak gerilim kararlılığı kritik değerlerini elde etmek için kullanılan PSAT programı hakkında bilgiler verilmiştir. Bölümün devamında ise IEEE 14 baralı sisteminin analizi PSAT programı yardımıyla yapılarak gerilim kararlılığı kritik değerleri elde edilmiştir. Burada yük baralarının aktif ve reaktif güç değerleri %50 artırılıp % 50 azaltılarak sistemde meydana gelen yük değişikliklerinin gerilim kararlılığı kritik değerlerine olan etkileri gözlemlenmiştir. Daha sonra ise Elazığ, Tunceli, Bingöl ve Muş bölgelerini içine alan 13 baralı bir test sistemi PSAT programında oluşturulmuştur. Bu sistemi oluşturmak için TEİAŞ 13. İletim tesis ve işletme grup müdürlüğünden alınan bilgiler kullanılmıştır. Kurulan bu sistemde 7 adet yük barası için bu yüklere ait aktif ve reaktif güç değerleri %25, %50 ve %75 oranında azaltılması ve % 25, %50 artırılması yoluyla her bara için farklı gerilim kararlılığı kritik değeri elde edilmiştir. Bu elde edilen değerler yardımıyla bir YSA ve EKKDVM algoritmalarının eğitim ve test işlemleri yapılarak gerilim kararlılığı tespitindeki başarıları verilmiştir.

5.1. Güç Sistemi Analiz Araç Kutusu

PSAT programı güç sistemlerinin kontrolü ile statik ve dinamik analizleri için kullanılan bir Matlab araç kutusudur. PSAT 2001 Eylül ayında Federico Milano tarafından yazılarak ilk versiyonu Kasım 2002 yılında yayınlanmıştır. PSAT programı içeriğinde güç akışı, optimal güç akışı, süregelen güç akışı, küçük sinyal kararlılığı analizi ve zaman bölgesi simülasyonu kısımlarını içerir. PSAT'a ait tüm işlemlerde grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) aracılığıyla bir değer verilmiştir ve simulink tabanlı kütüphanesi yeni şebeke tasarlamak için kullanıcı dostu bir araç sağlar.

PSAT temelde aynı zamanda başlangıç durum değişkenlerini dikkate alan güç akış rutinidir. PSAT güç akışını çözer çözmez devamında statik ve dinamik analizler yapabilir. Buradaki rutinler (Milano, 2006);

- Optimal güç akışı (OPF)

- Süregelen güç akışı (CPF)
- Küçük sinyal kararlılık analizi
- Zaman bölgesi simülasyonu
- Fazör ölçüm birimi (PMU) yerleştirmesi

PSAT'ın faydalı özelliklerini şu şekilde de sıralayabiliriz;

- Matematiksel modeller ve programlar
- Çok çeşitli araç kutuları
- Diğer programlara köprüler
- Veri formatı dönüştürme özelliği

Doğru güç sistemi analizi gerçekleştirmek için PSAT aşağıdaki çeşitli statik ve dinamik bileşen modelleri destekler;

- Güç akış verileri
- CPF ve OPF verileri
- Anahtarlama işlemleri
- Yükler
- Makineler
- Kontrolörler
- Düzenleyici transformatörleri
- FACTS
- Diğer metotlar

PSAT yardımcı programları;

- ❖ Şebeke çizimleri için simulink kütüphaneleri
- ❖ Rutin parametreler ve sistem ayarlamaları için grafiksel kullanıcı ara yüzü;
- ❖ Kullanıcı tanımlı model kurma ve yükleme
- ❖ Çizim sonuçları için grafiksel kullanıcı ara yüzü;
- ❖ Diğer formatlara ve verilere dönüştürmek için filtreler
- ❖ Komut kayıtları

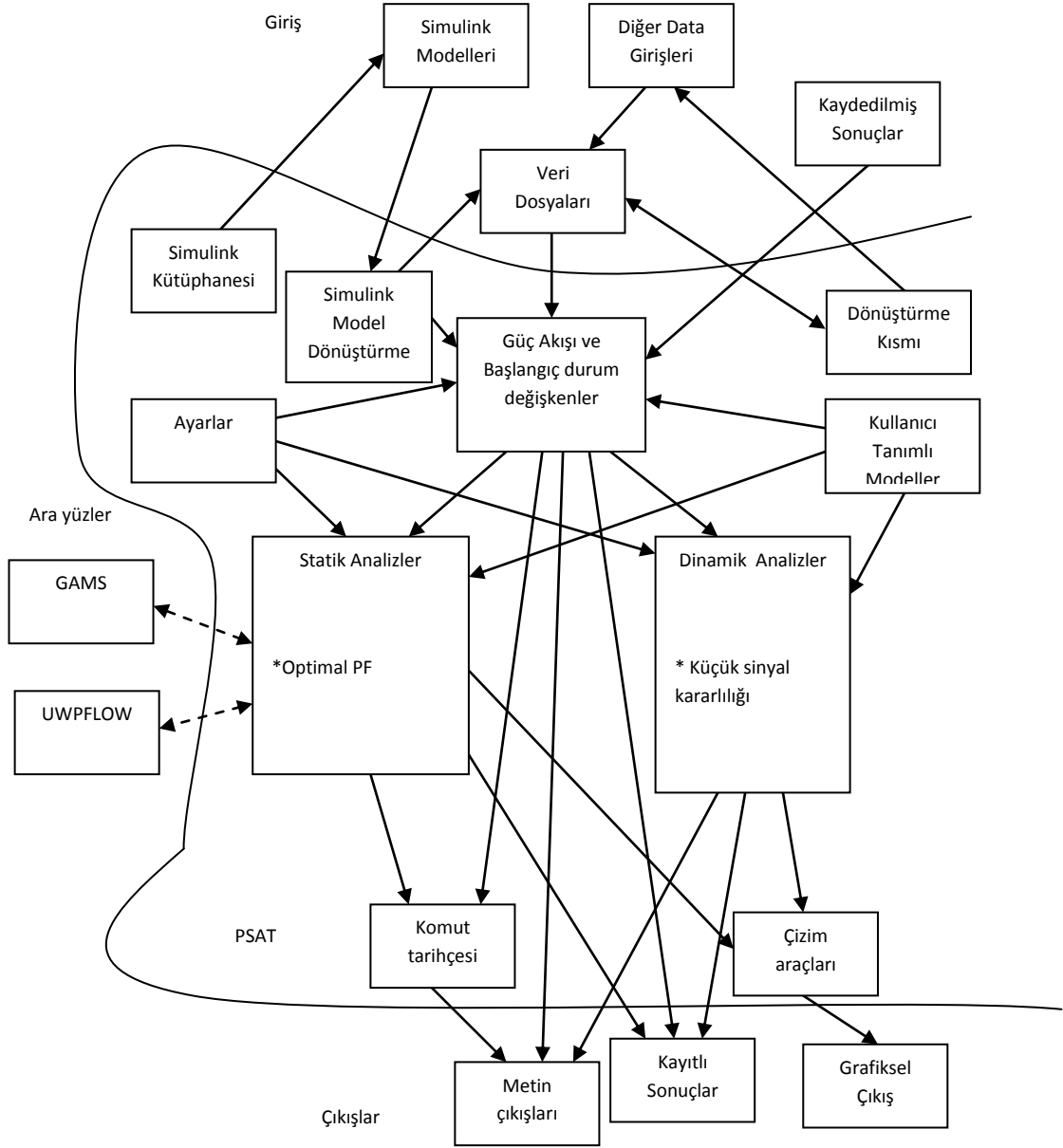
PSAT'ın diğer programlara olan bağlantıları ise;

- ✓ GAMS ve UWPFLOW programlarına bağlantılar içerir
- ✓ Bu bağlantılar OPF ve CPF analizi uygulamalarında PSAT'ın yeteneğini oldukça genişletir.

Tablo 5.1. PSAT ile Matlab'daki diğer güç sistemi programları karşılaştırılması

Program	PF	CPF	OPF	SSA	TDS	EMT	GUI	GNE
EST	✓			✓	✓			✓
MatEMTP					✓	✓	✓	✓
Matpower	✓		✓					
PAT	✓	✓		✓	✓			✓
PSAT	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
PST	✓			✓	✓			
SPS	✓			✓	✓	✓	✓	✓
VST	✓	✓		✓	✓		✓	

- PF : standart güç akışı
- CPF-VS : süregelen güç akışı ve gerilim kararlılığı analizi
- OPF: Optimal güç akışı
- SSA : Küçük sinyal kararlılık analizi
- TD : Zaman bölgesi Simülasyonu
- EMT : Elektromanyetik transient analizi
- GUI : Grafiksel kullanıcı ara yüzü
- GNE : Grafiksel şebeke kurulumu



Şekil 5.1. PSAT işlemler özet şeması

5.2. Güç Akışı İçin Gerekli Parametrelerin Tanıtılması

Bu bölümde şebeke topolojisi tanımlamak için kullanılan bara bileşenleri tanımlanacaktır. Onlar iletim hatları, trafolar, salınım barası, sabit yük ve sabit gerilim generatörleri (PV), sabit güç yükü (PQ) ve sabit admitanslardır (Milano, 2006).

5.2.1. Baralar

Şebeke topolojisinde “bara” bileşenleri veri formatı, Tablo 5.2’de verildiği gibi tanımlanır.

Tablo 5.2. PSAT bara bileşeni veri giriş formatı

Sıra	Değişken	Tanımlaması	Birimi
1	-	Bara Numarası	İnt.
2	V_b	Baz Gerilimi	kV
3	V_o	Tahmini başlangıç gerilim genliği	p.u.
4	θ_0	Tahmini başlangıç gerilim açısı	p.u.
5	A_i	Alan numarası	İnt.
6	R_i	Bölge numarası	İnt.

5.2.2. İletim Hatları

Şebeke topolojisinde “iletim hattı” bileşenleri veri formatı Tablo 5.3’de verildiği gibi tanımlanır

Tablo 5.3. PSAT iletim hattı bileşeni veri giriş formatı

Sıra	Değişken	Tanımlaması	Birim
1	k	Baradan	int
2	m	Baraya	İnt
3	S_n	Güç oranı	MVA
4	V_n	Gerilim oranı	kV
5	f_n	Frekans oranı	Hz
6	l	Hat uzunluğu	km
7	—	Kullanılmıyor	-
8	r	Direnç	p.u. (Ω /km)
9	x	Reaktans	p.u. (H/km)
10	b	Suspendans	p.u. (F/km)
11	—	Kullanılmıyor	-
12	—	Kullanılmıyor	-
13	I_{max}	Akım sınırı	p.u.
14	P_{max}	Aktif Güç sınırı	p.u.
15	S_{max}	Görünür güç sınırı	p.u.

Tablo 5.4’de ise alternatif akım için kullanılabilir bir iletim hattı data veri listesi görülmektedir.

Tablo 5.4. PSAT alternatif akım iletim hattı bileşeni veri giriş formatı

Sıra	Değişken	Tanımlaması	Birim
1	k		
2	m		
3	S_n	Güç oranı	MVA
4	V_n	Gerilim oranı	kV
5	f_n	Frekans oranı	Hz
6	r	Direnç	p.u. (Ω /km)
7	x	Reaktans	p.u. (H/km)
8	b	Suspendans	p.u. (F/km)

5.2.3. Transformatörler

PSAT programı, düzenleyici transformatör modellerinin tasarımının yapılmasına imkan tanımaktadır. 2 sargılı transformatör demir kayıpsız seri reaktanslar olarak modellenir. Tablo 5.5’de transformatör için kurulan veri formatı görülmektedir. Primer ve sekonder gerilim oranı k_T , transformatör ve iletim hattı arasındaki farkı ayırt etmeye izin verir. Eğer $k_T = 0$ ise PSAT bileşeni bir hat gibi yorumlar, fakat $k_T \neq 0$ ise bileşeni bir transformatör olarak göz önüne alınır. 3 sargılı transformatör ise 2 tane 2 sargılı transformatör ve bir tane de iletim hattı bağlantısı ile içten modellenir.

Tablo 5.5. PSAT transformatör bileşeni veri giriş formatı

Sıra	Değişken	Tanımlaması	Birimi
1	k	Baradan	İnt
2	m	Baraya	İnt
3	S_n	Güç oranı	MVA
4	V_n	Gerilim oranı	kV
5	f_n	Frekans oranı	Hz
6	—	Kullanılmadı	—
7	k_T	Primer ve Sekonder Gerilim Oranı	kV/kV
8	r	Direnç	p.u.
9	x	Reaktans	p.u.
10	—	Kullanılmadı	—
11	a	Sabit kademe oranı	p.u./p.u.
12	\emptyset	Sabit faz kayması	deg
13	I_{max}	Akım sınırı	p.u.
14	P_{max}	Aktif Güç sınır	p.u.
15	S_{max}	Görünür güç sınırı	p.u.

5.2.4. Salınım Barası

Salınım barası sabit gerilim büyüklüğü ve faz barası olarak aşağıdaki gibi modellenir ;

$$V = V_0$$

$$\theta = \theta_0$$

θ_0 , sistemin referans açısı olduğu varsayılır. Dağıtılmış salınım barası modeli durumunda, en son 2 parametre P_0 ve γ zorunludur ve aşağıdaki ilave denklemi kurabiliriz ;

$$P = -(1 + \gamma k_G)P_0$$

Burada k_G dağıtılmış salınım barası değişkenidir. Eğer belirtilmezse $\gamma = 1$ olduğu varsayılır. Tablo 5.6’da salınım barası için kurulan veri formatı görülmektedir.

Yük akış analizlerinde genellikle sistemin tek hat diyagramından çıkarılan iletim hatlarının seri empedansını ve şönt admitansları kullanılarak elde edilen Y matrisi kullanılır. Her analiz adımı için daima çalışma şartları belirlenmeli ve bir bara hariç diğer bütün baralardan şebekeye giren aktif güç tarif edilmelidir. Yük tarafından şebekeden çekilen güç sisteme giren negatif güçtür. Sistemdeki diğer giriş güçlerimiz ise generatörlerden ve sistem üzerinden gelen pozitif ve negatif güçlerdir. Ayrıca bu baraların tamamından sistemimize akan reaktif güç veya gerilimin genliği de tarif edilmelidir.

Güç sistemlerinde yük akışı probleminin bilgisayarda çözümü matematik yönünden kesin olmakla beraber hesaplama hassasiyeti limitleri içinde kesin çözüm elde edilebilir. Bu noktada yük akışının yukarıdaki tanımlamasına bir ek daha yapmak gerekir. Pratikte çok yakın tahmin edilebilse bile şebekedeki bütün santrallerin aktif güç üretimlerini tamamıyla bilmek neredeyse imkansızdır. Bunun sebebi ise sistemdeki hat kayıplarının bilinmemesidir. Bu nedenle aktif bara güçlerinin bir tanesini bilinmeyen yaparak bunu çözümün sonunda elde etmek gerekir. Bunun için bir üretim barası seçilir ve bu baraya salınım (slack) barası denir.

Salınım barasını, üretim baralarının arasından seçmek zorunlu değildir. Salınım barasının aktif gücü değişkendir ve değeri diğer santrallerin aktif üretimi ve aktif yüklerle aktif kayıpların toplamı arasındaki farka eşittir. Şebekedeki baralar numaralanırken salınım barasına bir numara vermek ve buradaki gerilimi diğer gerilimlerin faz referansı olarak almak çözüm için zorunlu olmasa da faydalıdır. Salınım barasının seçimi bazı hallerde yakınsaklaşmayı büyük ölçüde etkiler. Genel bir kural olarak salınım barası devrenin elektriksel merkezinde veya çok sayıda hattın bağlandığı baraların arasından seçilir. Bu kurallar tamamen ampiriktir (Eminoğlu, 2007).

Tablo 5.6. PSAT salınım barası bileşeni veri giriş formatı

Sıra	Değişken	Tanımlaması	Birimi
1	-	Bara numarası	İnt
2	S_n	Güç oranı	MVA
3	V_n	Gerilim oranı	kV
4	V_o	Gerilim büyüklüğü	p.u.
5	θ_o	Referans Açısı	p.u.
6	Q_{max}	Maksimumu reaktif güç	p.u.
7	Q_{min}	Minimum reaktif güç	p.u.
8	V_{max}	Maksimumu gerilim	p.u.
9	V_{min}	Minimum gerilim	p.u.
10	P_o	Tahmini aktif güç	p.u.
11	γ	Kayıp katılım katsayısı	p.u.

5.2.5. PV Generatör

PV generatörler gerilim büyüklüklerini ve onların bağlandıkları baralardaki güç enjektelerini düzenler. PV generatöre ait veri formatları Tablo 5.7’de görülmektedir.

Tablo 5.7. PSAT PV generatör bileşeni veri giriş formatı

Sıra	Değişken	Tanımlaması	Birimi
1	-	Bara numarası	İnt
2	S_n	Güç oranı	MVA
3	V_n	Gerilim oran	kV
4	P_g	Aktif güç	p.u.
5	V_o	Gerilim büyüklüğü	p.u.
6	Q_{max}	Maksimum reaktif güç	p.u.
7	Q_{min}	Minimum reaktif güç	p.u.
8	V_{max}	Maksimum gerilim	p.u.
9	V_{min}	Minimum gerilim	p.u.
10	γ	Kayıp katılım katsayısı	-

5.2.6. PQ Yük

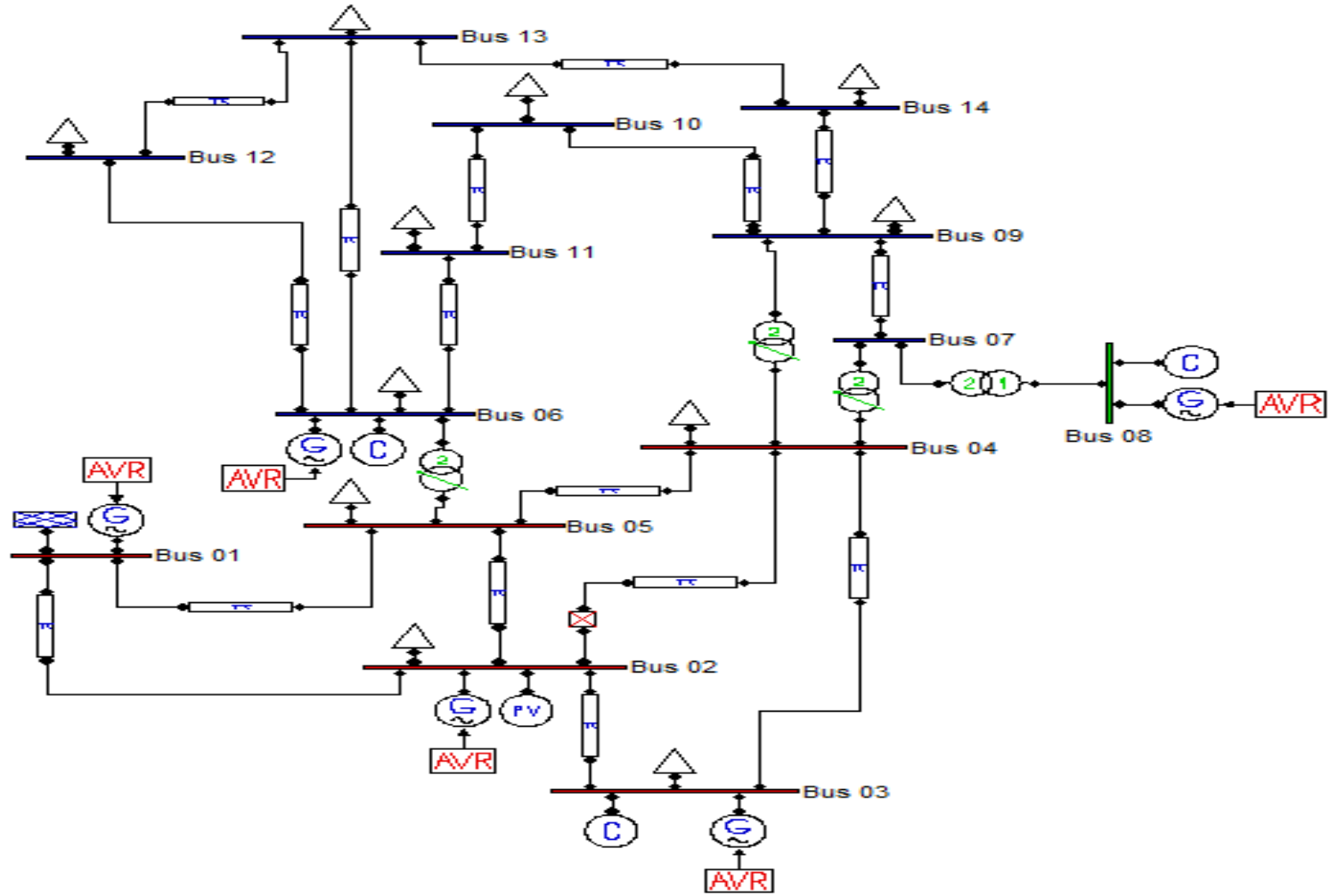
PQ yükler sabit aktif ve reaktif güçler olarak modellenir. Tablo 5.8’de PQ yük modeline ait veri formatı görülmektedir.

Tablo 5.8. PSAT PQ yük bileşeni veri giriş formatı

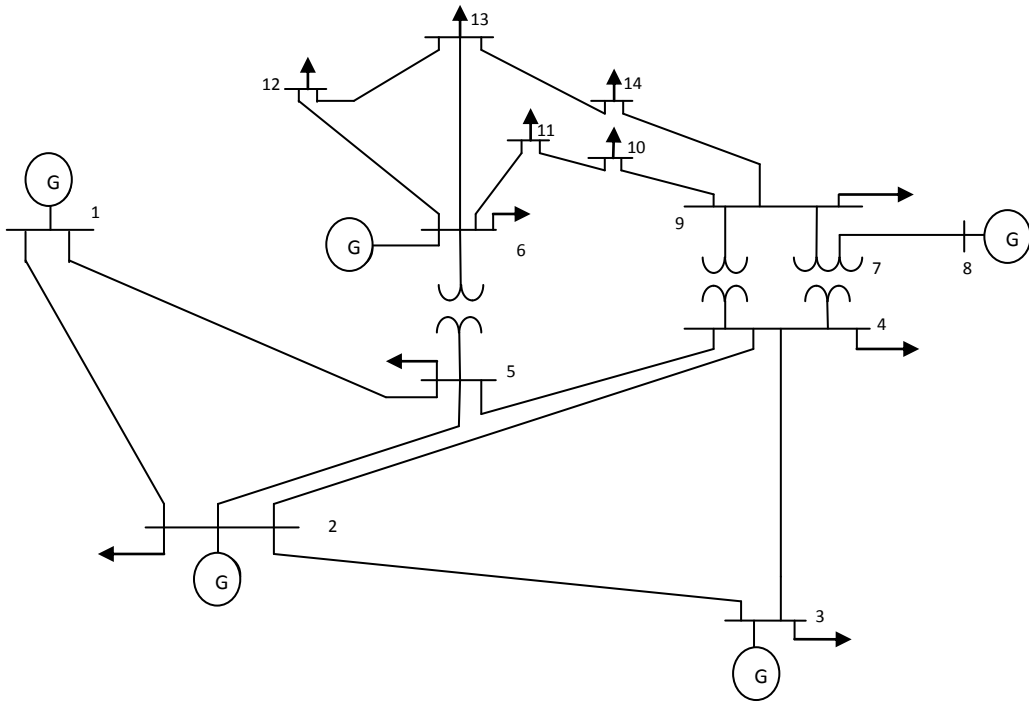
Sıra	Değişken	Tanımlaması	Birimi
1	-	Bara numarası	int
2	S_n	Güç oranı	MVA
3	V_n	Gerilim oranı	kV
4	P_L	Aktif güç	p.u.
5	Q_L	Reaktif Güç	p.u.
6	V_{max}	Maksimum gerilim	p.u.
7	V_{min}	Minimum gerilim	p.u.
8	u	Empedans dönüştürmeye izin verme	Boolean

5.3. IEEE 14 Baralı Sistem

Bu tez çalışmasında, gerilim kararlılığı kritik değerleri IEEE 14 baralı güç sistemi modeli üzerinden elde edilmiştir. Şekil 5.2’de IEEE 14 baralı sistemin PSAT programındaki çizimi gösterilmiştir. Şekil 5.3’de ise IEEE 14 baralı sistemin tek hat şeması gösterilmiştir. Tablo 5.9’da IEEE 14 baralı sisteme ait hat karakteristikleri Tablo5.10’da sisteme ait baraların gerilim değerleri, Tablo 5.11’de ise sistemdeki yüklerin p.u. cinsinden aktif ve reaktif güç değerleri verilmiştir. IEEE 14 baralı sistemin farklı yük şartlarında çalıştırmak amacı ile yük değerleri 0.5, 1 ve 1.5 değerleri ile çarpılarak değişen yük durumlarına ait V_{krt.} değerleri her bir yük barası için elde edilmiştir. Bu işlem sonucunda her bir yük barası için 27498 farklı V_{krt.} değeri elde edilmiştir. PSAT programında çalıştırılan sisteme ait gerilim kararlılığı kritik değerlerinin değişimleri her bir bara için ayrı ayrı olarak Şekil 5.4 ile Şekil 5.13 arasında gösterilmiştir. Ayrıca her grafiğe ait en büyük ve en küçük V_{krt.} değerlerinin elde edildiği durumlardaki yük baralarının değişim miktarları da verilmiştir.



Şekil 5.2. Psat programında düzenlenmiş IEEE-14 baralı sistem



Şekil 5.3. IEEE 14 baralı sistem tek hat şeması

Tablo 5.9. IEEE 14 baralı sisteme ait hat karakteristikleri

Baradan - Baraya	Direnç p.u. (Ohms/km)	Reaktans [p.u. (H/km)]	Suspektans [p.u. (H/km)]	Güç	Gerilim	Frekans
2-5	0.05695	0.17388	0.034	100	69	60
6-12	0.12291	0.25581	0	100	13.8	60
12-13	0.22092	0.19988	0	100	13.8	60
6-13	0.06615	0.13027	0	100	13.8	60
6-11	0.09498	0.1989	0	100	13.8	60
11-10	0.08205	0.19207	0	100	13.8	60
9-10	0.03181	0.0845	0	100	13.8	60
9-14	0.12711	0.27038	0	100	13.8	60
14-13	0.17093	0.34802	0	100	13.8	60
7-9	0	0.11001	0	100	13.8	60
1-2	0.01938	0.05917	0.0528	100	69	60
3-2	0.04699	0.19797	0.0438	100	69	60
3-4	0.06701	0.17103	0.0346	100	69	60
1-5	0.05403	0.22304	0.0492	100	69	60
5-4	0.01335	0.04211	0.0128	100	69	60
2-4	0.05811	0.17632	0.0374	100	69	60

Tablo 5.10. IEEE 14 baralı sisteme ait bara gerilim değerleri

Bara numarası	Bara Voltajları
1	69
2	69
3	69
4	69
5	69
6	13,8
7	13,8
8	18
9	13,8
10	13,8
11	13,8
12	13,8
13	13,8
14	13,8

Tablo 5.11. IEEE 14 baralı sistem için yüklere ait P ve Q değerleri

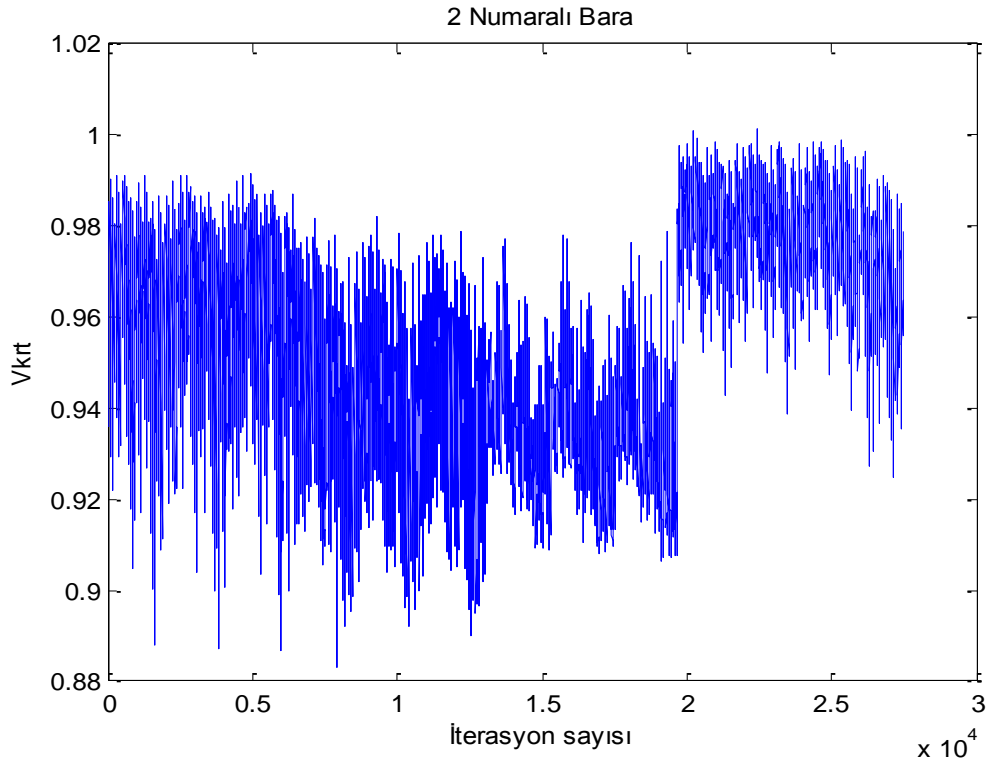
Yük Bara No	Aktif Güç (p.u.)	Reaktif Güç (p.u.)
11	0,049	0,0252
13	0,567	0,0812
3	1,3188	0,266
5	0,1064	0,0224
2	0,3038	0,1778
6	0,1568	0,105
4	0,6692	0,056
14	0,2086	0,07
12	0,0854	0,0224
10	0,126	0,0812
9	0,413	0,2324

Şekil 5.4’de 2 numaralı yük barasına ait V_{krt} değerinin değişimleri gösterilmiştir. 2 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin maksimum olduğu noktadaki değeri $V_{krt}=1,0015$ değeridir ve bu değerin elde edildiği iterasyon sayısı ise 22437. adımdır. Bu iterasyon adımında yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir:

$$Q_1=0.5, Q_2=1, Q_3=0.5, Q_4=1, Q_5=0.5, Q_6=1.5, Q_7=0.5, Q_8=1.5, Q_9=1.5, Q_{10}=1.5, Q_{11}=1.5$$

Ayrıca, 2 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin minimum olduğu noktadaki değeri ise $V_{krt}=0,8829$ değeridir ve bu değerin elde edildiği iterasyon sayısı ise 7935. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir:

$$Q_1=0.5, Q_2=0.5, Q_3=1, Q_4=0.5, Q_5=1, Q_6=1.5, Q_7=1, Q_8=1.5, Q_9=1.5, Q_{10}=1, Q_{11}=1.5$$

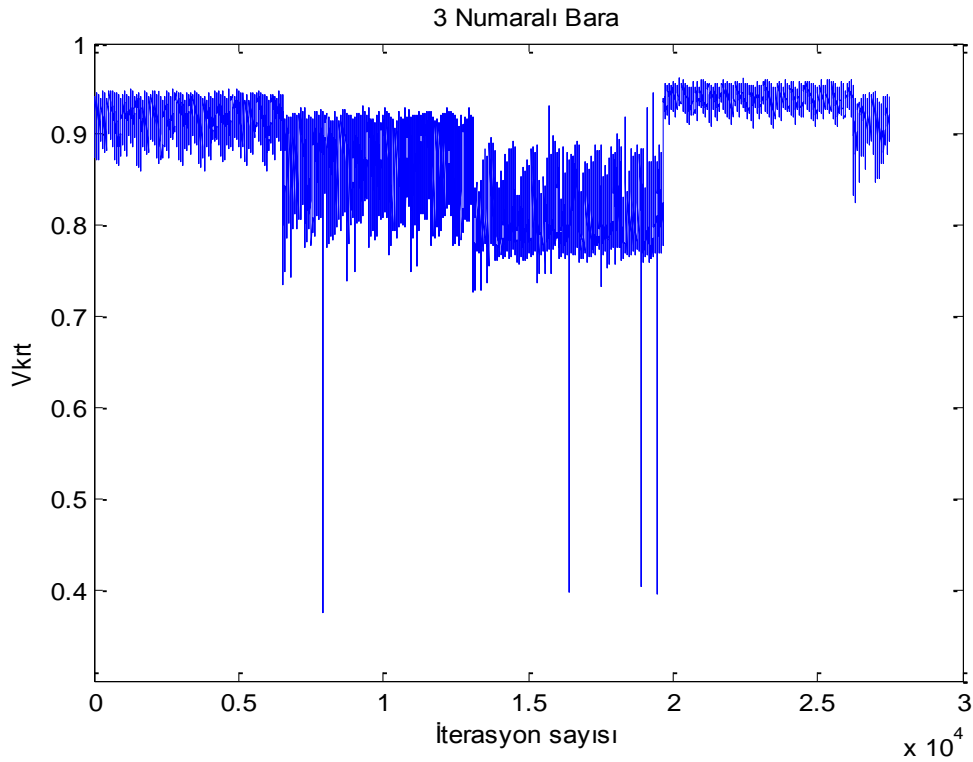


Şekil 5.4. 2 numaralı bara’ya ait V_{krt} . değerleri

Şekil 5.5’de 3 numaralı yük barasına ait V_{krt} değerinin değişimleri gösterilmiştir. 3 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin maksimum olduğu noktada ki değeri $V_{krt}=0,9619$ değeridir ve bu değer elde edildiği iterasyon sayısı ise 22437. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir: $Q_1=0.5$, $Q_2=1$, $Q_3=0.5$, $Q_4=1$, $Q_5=0.5$, $Q_6=1.5$, $Q_7=0.5$, $Q_8=1.5$, $Q_9=1.5$, $Q_{10}=1.5$, $Q_{11}=1.5$

Ayrıca, 3 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin minimum olduğu noktadaki değeri ise $V_{krt}=0,3739$ değeridir ve bu değer elde edildiği iterasyon sayısı ise 7935. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5$, $Q_2=0.5$, $Q_3=1$, $Q_4=0.5$, $Q_5=1$, $Q_6=1.5$, $Q_7=1$, $Q_8=1.5$, $Q_9=1.5$, $Q_{10}=1$, $Q_{11}=1.5$



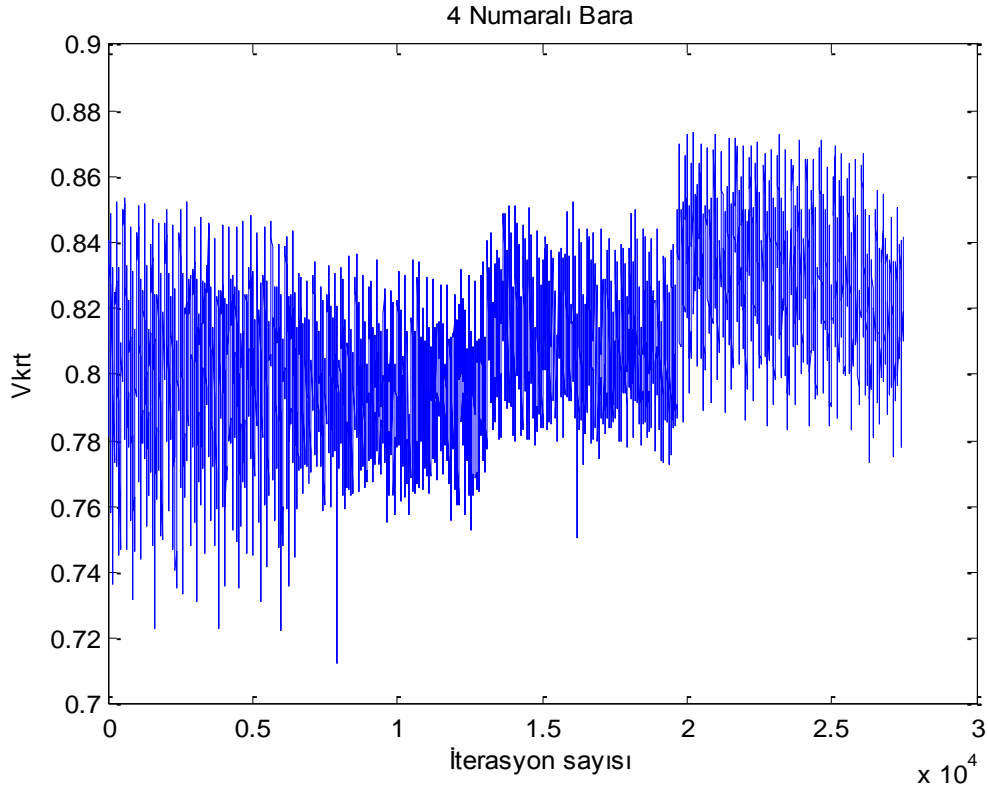
Şekil 5.5. 3 numaralı bara’ya ait V_{krt} . değerleri

Şekil 5.6’da 4 numaralı yük barasına ait V_{krt} değerinin değişimleri gösterilmiştir. 4 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin maksimum olduğu noktada ki değeri $V_{krt}=0,8735$ değeridir ve bu değerin elde edildiği iterasyon sayısı ise 20233. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5$, $Q_2=1$, $Q_3=0.5$, $Q_4=0.5$, $Q_5=0.5$, $Q_6=1.5$, $Q_7=0.5$, $Q_8=1.5$, $Q_9=1$, $Q_{10}=0.5$, $Q_{11}=0.5$

Ayrıca, 4 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin minimum olduğu noktadaki değeri ise $V_{krt}=0,7123$ değeridir ve bu değeri elde edildiği iterasyon sayısı ise 7935. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5$, $Q_2=0.5$, $Q_3=1$, $Q_4=0.5$, $Q_5=1$, $Q_6=1.5$, $Q_7=1$, $Q_8=1.5$, $Q_9=1.5$, $Q_{10}=1$, $Q_{11}=1.5$



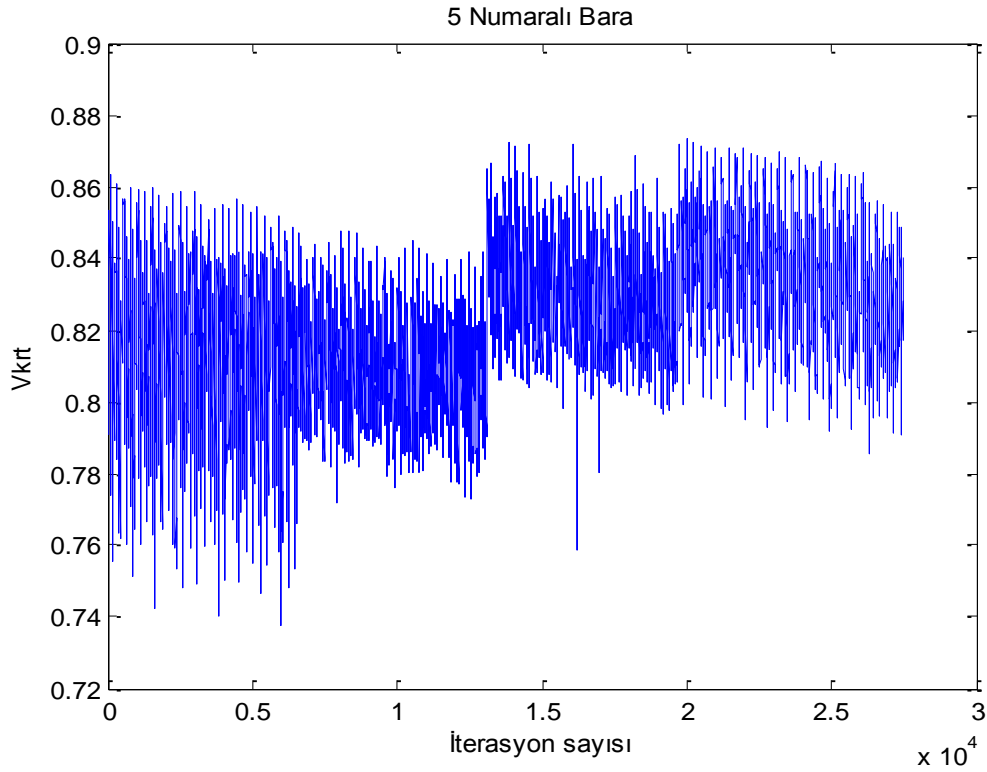
Şekil 5.6. 4 numaralı bara’ya ait V_{krt} . değerleri

Şekil 5.7’de 5 numaralı yük barasına ait V_{krt} değerinin değişimleri gösterilmiştir. 5 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin maksimum olduğu noktada ki değeri $V_{krt}=0,8732$ değeridir ve bu değerin elde edildiği iterasyon sayısı ise 20002. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5$, $Q_2=1$, $Q_3=0.5$, $Q_4=0.5$, $Q_5=0.5$, $Q_6=1$, $Q_7=0.5$, $Q_8=1.5$, $Q_9=1.5$, $Q_{10}=1$, $Q_{11}=0.5$

Ayrıca, 5 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin minimum olduğu noktadaki değeri ise $V_{krt}=0,7376$ değeridir ve bu değerin elde edildiği iterasyon sayısı ise 5995. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5$, $Q_2=0.5$, $Q_3=0.5$, $Q_4=1.5$, $Q_5=1.5$, $Q_6=0.5$, $Q_7=1.5$, $Q_8=0.5$, $Q_9=0.5$, $Q_{10}=0.5$, $Q_{11}=0.5$



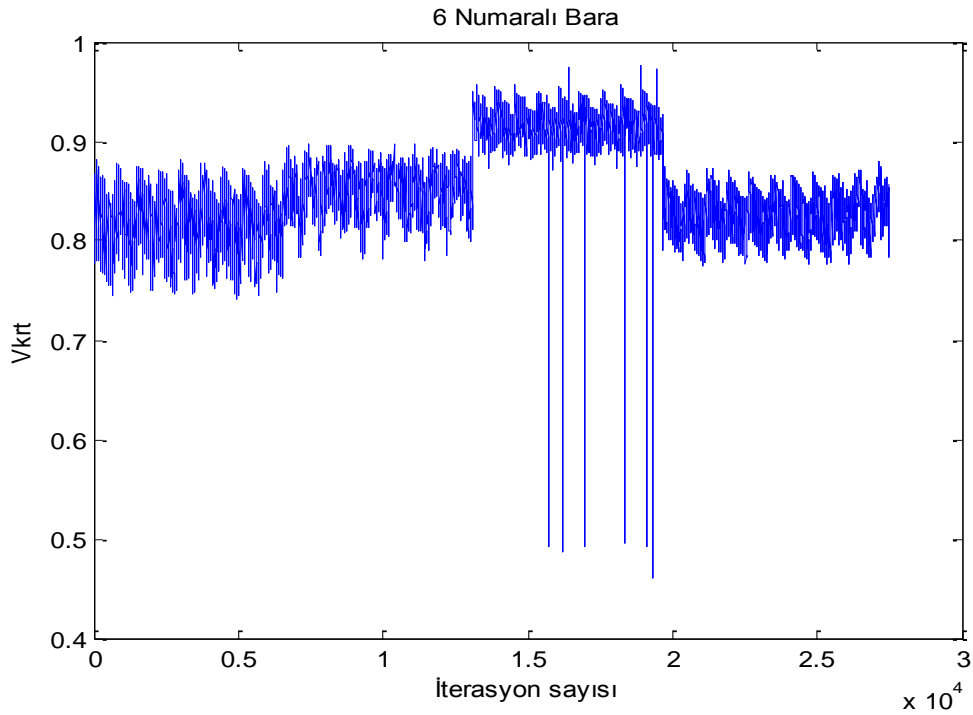
Şekil 5.7. 5 numaralı bara’ya ait V_{krt} . değerleri

Şekil 5.8’de 6 numaralı yük barasına ait V_{krt} değerinin değişimleri gösterilmiştir. 6 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin maksimum olduğu noktada ki değeri $V_{krt}=0,9755$ değeridir ve bu değerin elde edildiği iterasyon sayısı ise 18887. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5$, $Q_2=0.5$, $Q_3=1.5$, $Q_4=1.5$, $Q_5=1$, $Q_6=1.5$, $Q_7=1.5$, $Q_8=0.5$, $Q_9=1$, $Q_{10}=1$, $Q_{11}=1$

Ayrıca, 6 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin minimum olduğu noktadaki değeri ise $V_{krt}=0,4597$ değeridir ve bu değeri elde ettiğimiz iterasyon sayımızı ise 19332. adımdır Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5$, $Q_2=0.5$, $Q_3=1.5$, $Q_4=1.5$, $Q_5=1.5$, $Q_6=1$, $Q_7=1$, $Q_8=1$, $Q_9=1.5$, $Q_{10}=1.5$, $Q_{11}=1.5$



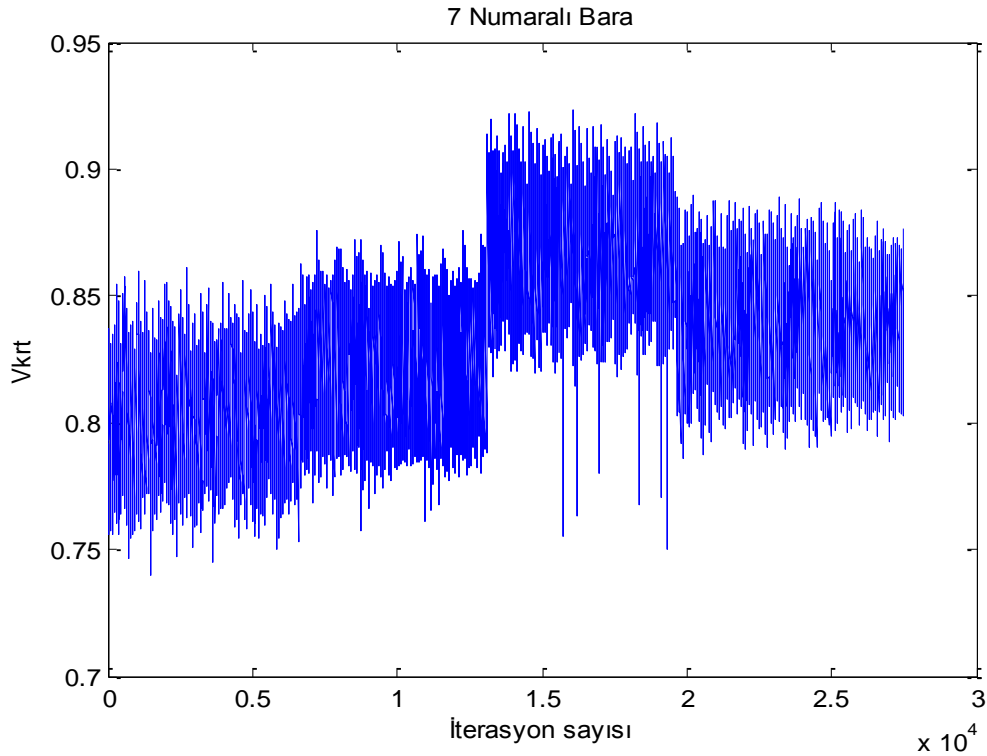
Şekil 5.8. 6 numaralı bara’ya ait V_{krt} . değerleri

Şekil 5.9’da 7 numaralı yük barasına ait V_{krt} değerinin değişimleri gösterilmiştir. 7 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin maksimum olduğu noktada ki değeri $V_{krt}=0,9234$ değeridir ve bu değerin elde edildiği iterasyon sayısı ise 16048. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5$, $Q_2=0.5$, $Q_3=1.5$, $Q_4=1$, $Q_5=1$, $Q_6=0.5$, $Q_7=0.5$, $Q_8=0.5$, $Q_9=1$, $Q_{10}=0.5$, $Q_{11}=0.5$

Ayrıca, 7 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin minimum olduğu noktadaki değeri ise $V_{krt}=0,7400$ değeridir ve bu değeri elde edildiği iterasyon sayısı ise 1461. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5$, $Q_2=0.5$, $Q_3=0.5$, $Q_4=0.5$, $Q_5=1.5$, $Q_6=0.5$, $Q_7=0.5$, $Q_8=0.5$, $Q_9=0.5$, $Q_{10}=0.5$, $Q_{11}=1.5$



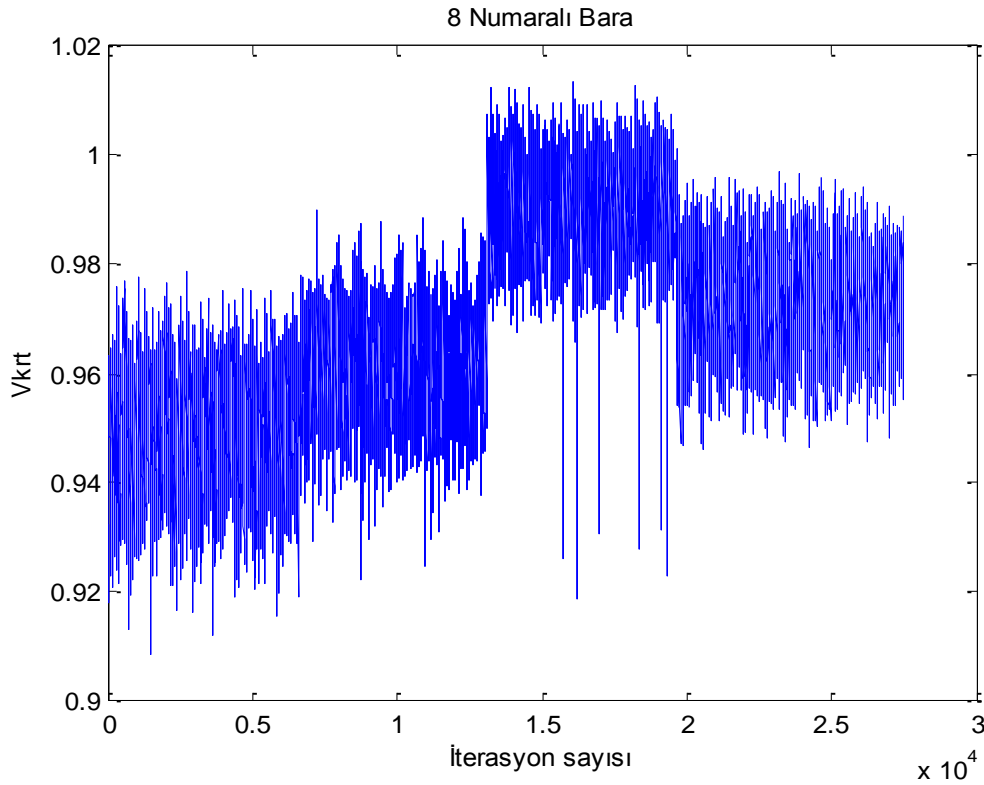
Şekil 5.9. 7 numaralı bara’ya ait V_{krt} . değerleri

Şekil 5.10'da 8 numaralı yük barasına ait V_{krt} değerinin değişimleri gösterilmiştir. 8 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin maksimum olduğu noktada ki değeri V_{krt}=1,0135 değeridir ve bu değerin elde edildiği iterasyon sayısı ise 16048. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

Q₁=0.5, Q₂=0.5, Q₃=1.5, Q₄=1, Q₅=1, Q₆=0.5, Q₇=0.5, Q₈=0.5, Q₉=1, Q₁₀=0.5, Q₁₁=0.5

Ayrıca, 8 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin minimum olduğu noktadaki değeri ise V_{krt}=0,9084 değeridir ve bu değerin elde edildiği iterasyon sayısı ise 1461. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

Q₁=0.5, Q₂=0.5, Q₃=0.5, Q₄=0.5, Q₅=1.5, Q₆=0.5, Q₇=0.5, Q₈=0.5, Q₉=0.5, Q₁₀=0.5, Q₁₁=1.5



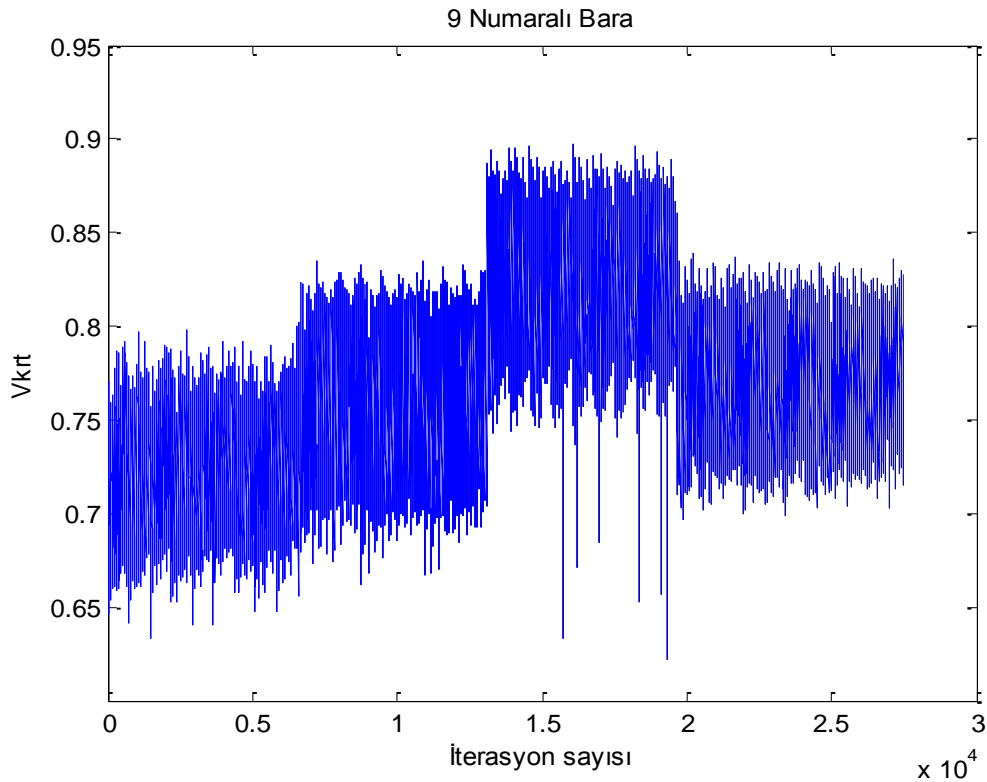
Şekil 5.10. 8 numaralı bara'ya ait V_{krt}. değerleri

Şekil 5.11’de 9 numaralı yük barasına ait V_{krt} değerinin değişimleri gösterilmiştir. 9 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin maksimum olduğu noktada ki değeri $V_{krt}=0,8976$ değeridir ve bu değer elde edildiği iterasyon sayısı ise 16048. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5$, $Q_2=0.5$, $Q_3=1.5$, $Q_4=1$, $Q_5=1$, $Q_6=0.5$, $Q_7=0.5$, $Q_8=0.5$, $Q_9=1$, $Q_{10}=0.5$, $Q_{11}=0.5$

Ayrıca, 9 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin minimum olduğu noktadaki değeri ise $V_{krt}=0,6223$ değeridir ve bu değer elde edildiği iterasyon sayısı ise 19332. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5$, $Q_2=0.5$, $Q_3=1.5$, $Q_4=1.5$, $Q_5=1.5$, $Q_6=1$, $Q_7=1$, $Q_8=1$, $Q_9=1.5$, $Q_{10}=1.5$, $Q_{11}=1.5$



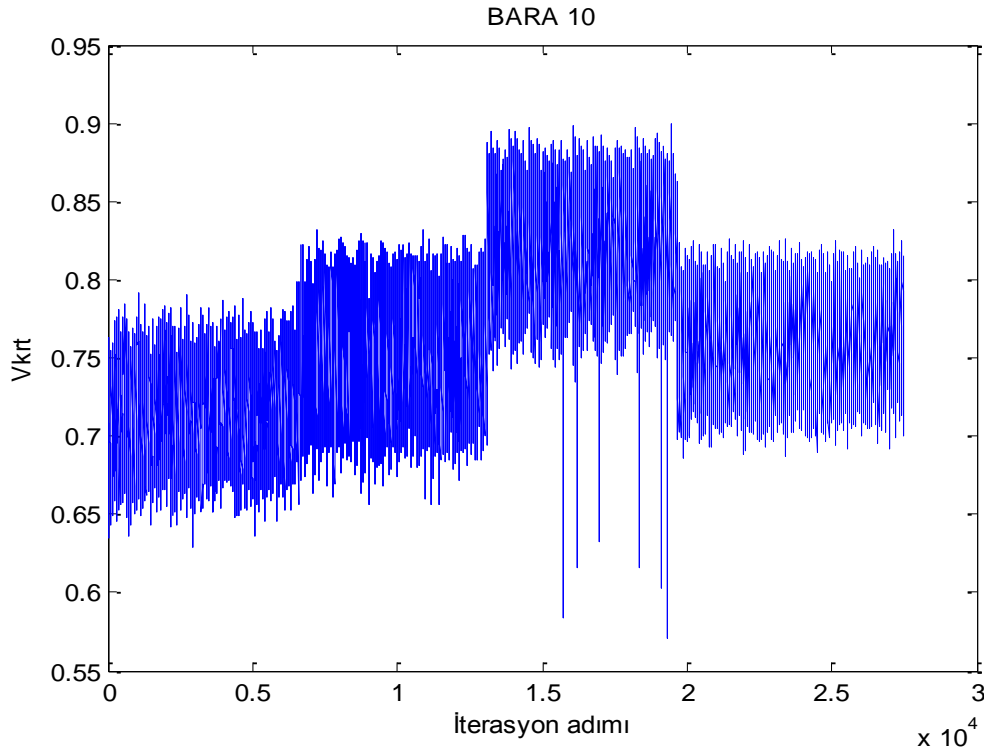
Şekil 5.11. 9 numaralı bara’ya ait V_{krt} değerleri

Şekil 5.12’de 10 numaralı yük barasına ait V_{krt} değerinin değişimleri gösterilmiştir. 10 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin maksimum olduğu noktada ki değeri $V_{krt}=0,8993$ değeridir ve bu değer elde edildiği iterasyon sayısı ise 19432. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5$, $Q_2=0.5$, $Q_3=1.5$, $Q_4=1.5$, $Q_5=1.5$, $Q_6=1$, $Q_7=1.5$, $Q_8=1.5$, $Q_9=1.5$, $Q_{10}=0.5$, $Q_{11}=0.5$

Ayrıca, 10 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin minimum olduğu noktadaki değeri ise $V_{krt}=0,5705$ değeridir ve bu değer elde edildiği iterasyon sayısı ise 19332. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5$, $Q_2=0.5$, $Q_3=1.5$, $Q_4=1.5$, $Q_5=1.5$, $Q_6=1$, $Q_7=1$, $Q_8=1$, $Q_9=1.5$, $Q_{10}=1.5$, $Q_{11}=1.5$



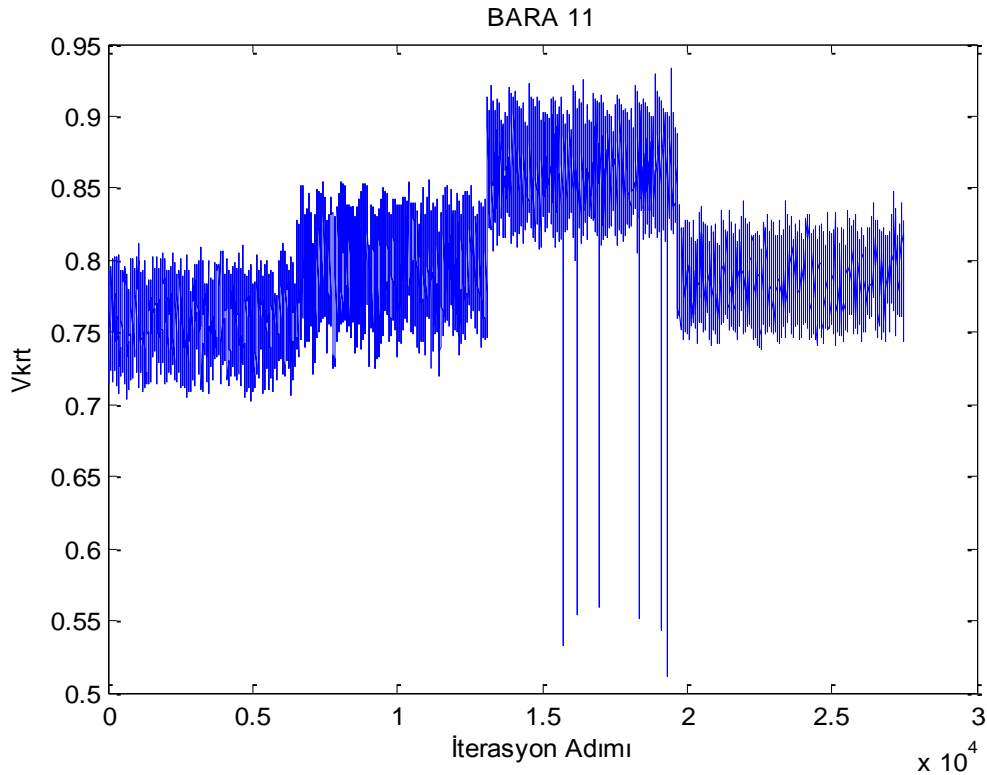
Şekil 5.12. 10 numaralı bara’ya ait V_{krt} . değerleri

Şekil 5.13’de 11 numaralı yük barasına ait V_{krt} değerinin değişimleri gösterilmiştir. 11 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin maksimum olduğu noktada ki değeri $V_{krt}=0,9333$ değeridir ve bu değer elde edildiği iterasyon sayısı ise 19432. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5, Q_2=0.5, Q_3=1.5, Q_4=1.5, Q_5=1.5, Q_6=1, Q_7=1.5, Q_8=1.5, Q_9=1.5, Q_{10}=0.5, Q_{11}=0.5$

Ayrıca, 11 numaralı yük barasının V_{krt} değerinin minimum olduğu noktadaki değeri ise $V_{krt}=0,5112$ değeridir ve bu değer elde edildiği iterasyon sayısı ise 19332. adımdır. Bu adımda yük baralarındaki aktif ve reaktif güç değişim miktarları şu şekildedir.

$Q_1=0.5, Q_2=0.5, Q_3=1.5, Q_4=1.5, Q_5=1.5, Q_6=1, Q_7=1, Q_8=1, Q_9=1.5, Q_{10}=1.5, Q_{11}=1.5$



Şekil 5.13. 11 numaralı bara’ya ait V_{krt} . değerleri

5.4. IEEE 14 Baralı Sisteminin YSA Ve EKKDVM İle Analizi

Bölüm 5.4'de IEEE 14 baralı sisteme ait YSA ve EKKDVM algoritmalarının yaptığı tespit sonuçları grafiksel olarak verilmiştir. YSA ve EKKDVM algoritmalarının eğitim ve test işlemlerinde slack baranın bağlı bulunduğu Q1 yükü değerleri kullanılmamıştır. Geriye kalan 10 adet yük barasına ait bilgiler kullanılarak algoritmalarının eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Algoritmalarının eğitiminde ve test işlemlerinde algoritma girişi olarak tüm baralara ait aktif ve reaktif güç değişim miktarını gösteren Q değerleri kullanılmıştır. Algoritma çıkışı ise PSAT programında elde edilen V_{krt} değerleri oluşturmaktadır. Böylece algoritma girişi 10 boyutlu vektör matrisi çıkışı ise 10 adet baraya ait kritik değerleri oluşturan 10 boyutlu vektör matrisidir. IEEE 14 baralı sistemde elimizde bulunan her baraya ait 27498 adet veri içerisinden rastgele seçilmiş olan 2000 tanesi eğitim aşamasında kullanılmıştır. Geri kalan veriler ise test verisi olarak kullanılmıştır. YSA algoritmasının eğitimi ve test işlemlerinde Tablo 5.12'de belirtilen parametreler kullanılmıştır. EKKDVM algoritmasının eğitim ve test işlemlerinde ise Tablo 5.13'de belirtilen parametreler kullanılmıştır. Bölüm 5.4'ün devamında şekiller ile YSA ve EKKDVM algoritmalarının yapmış oldukları tahminlerin ilk 5000 değer için hata oranları % olarak gösterilmiştir.

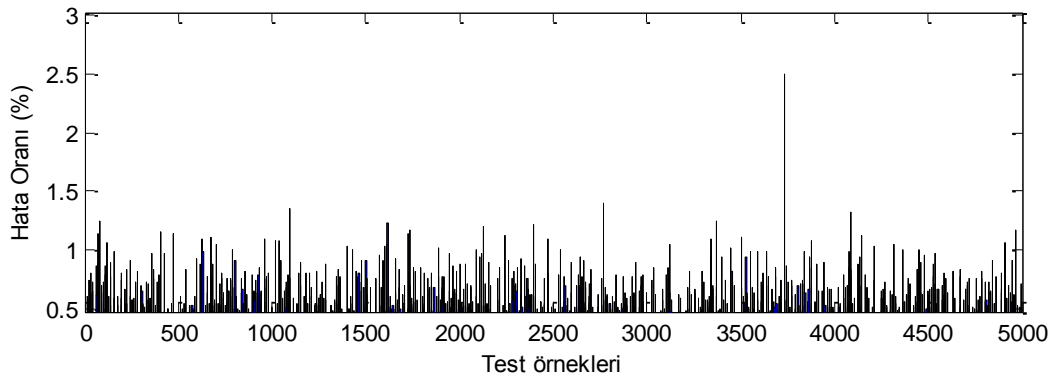
Tablo 5.12. YSA algoritma parametreleri

Ara katman Sayısı	55
Momentum Katsayısı	0.25
Öğrenme Katsayısı	0.95
Öğrenme Algoritması	Levenberg-Marquardt
Aktivasyon Fonksiyonu	Tansig.

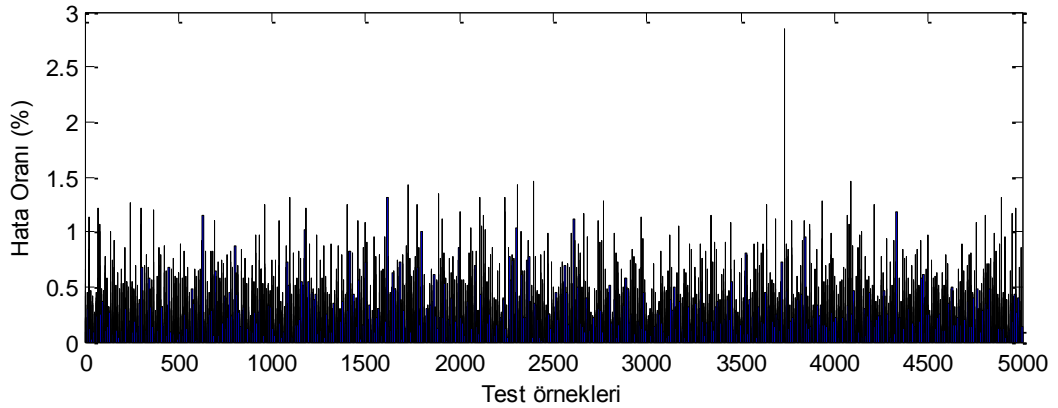
Tablo 5.13. EKKDVM algoritma parametreleri

Çekirdek Tipi	RBF Kernel
Düzenleştirme Parametresi (γ) – Gam	29
Çekirdek Parametresi (Sig σ)	1.1

Şekil 5.14’de 2 nolu yük barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu 25498 adet tahminin ortalama hatası %0.2727 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.15’de ise 2 nolu yük barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu 25498 adet tahminin ise ortalama hatası ise %0.2506 olarak elde edilmiştir.

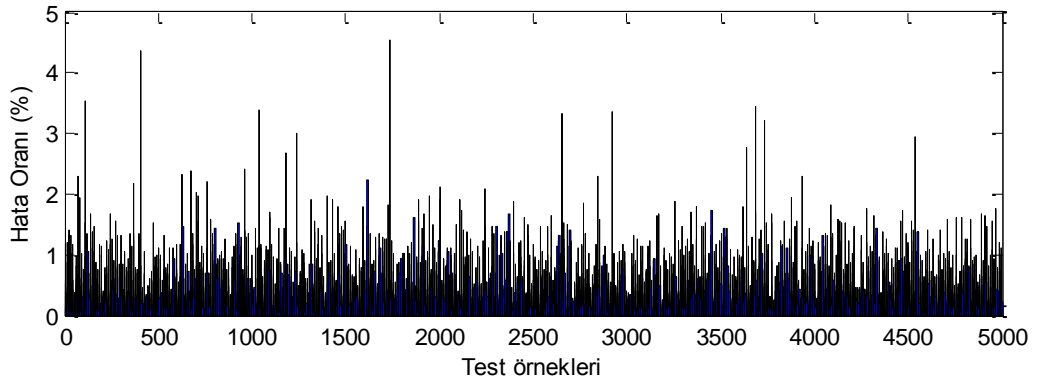


Şekil 5.14. 2 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri

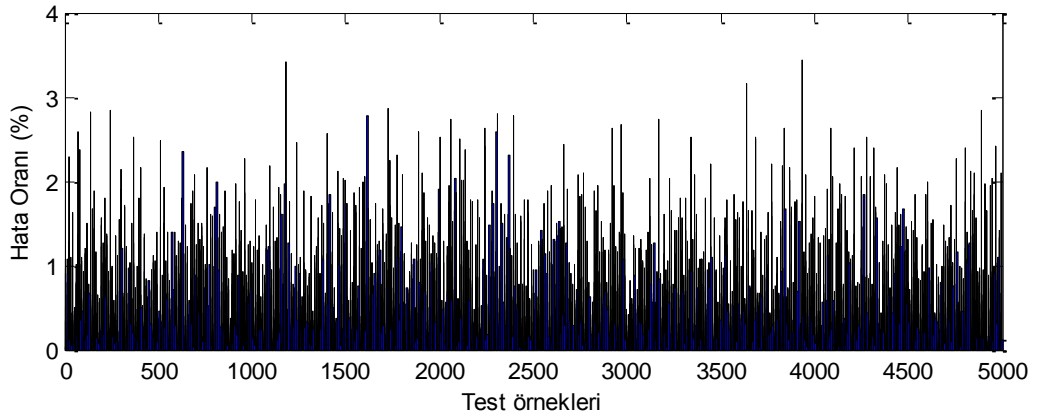


Şekil 5.15. 2 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.16’da 3 nolu yük barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu 25498 adet tahminin ortalama hatası %0.3916 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.17’de ise 3 nolu yük barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu 25498 adet tahminin ise ortalama hatası ise %0.4711 olarak elde edilmiştir.

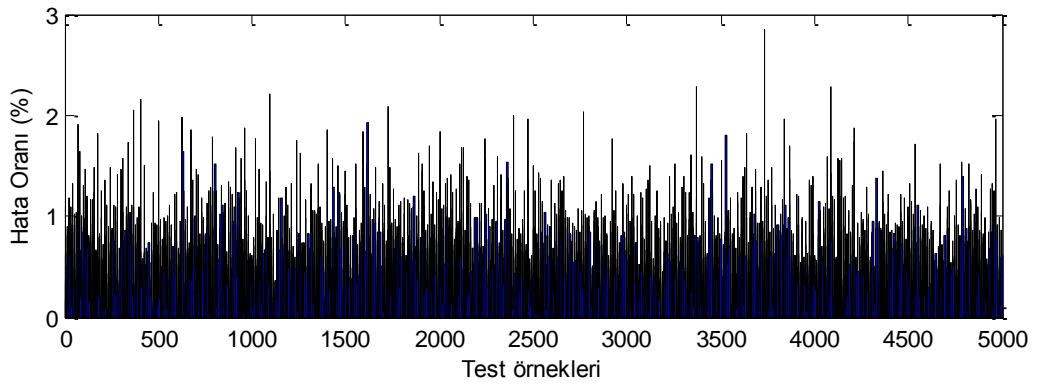


Şekil 5.16. 3 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri

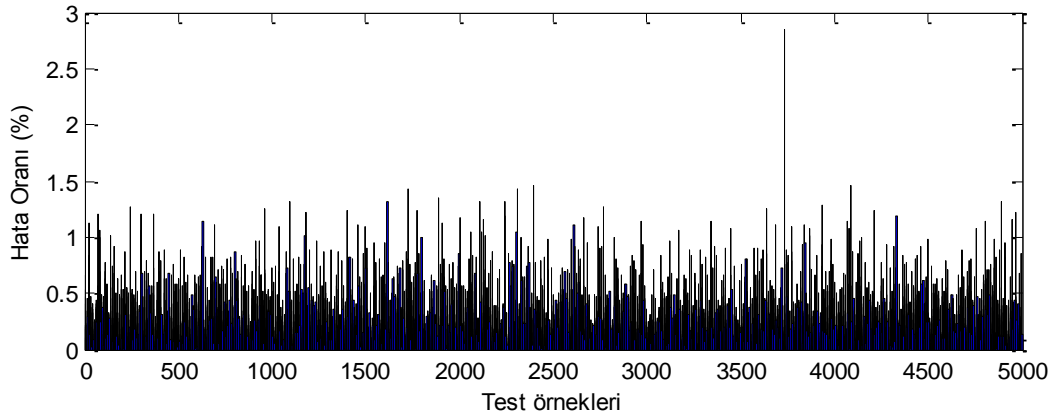


Şekil 5.17. 3 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.18’de 4 nolu yük barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu 25498 adet tahminin ortalama hatası %0.4723 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.19’da ise 4 nolu yük barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu 25498 adet tahminin ise ortalama hatası ise %0.4906 olarak elde edilmiştir.

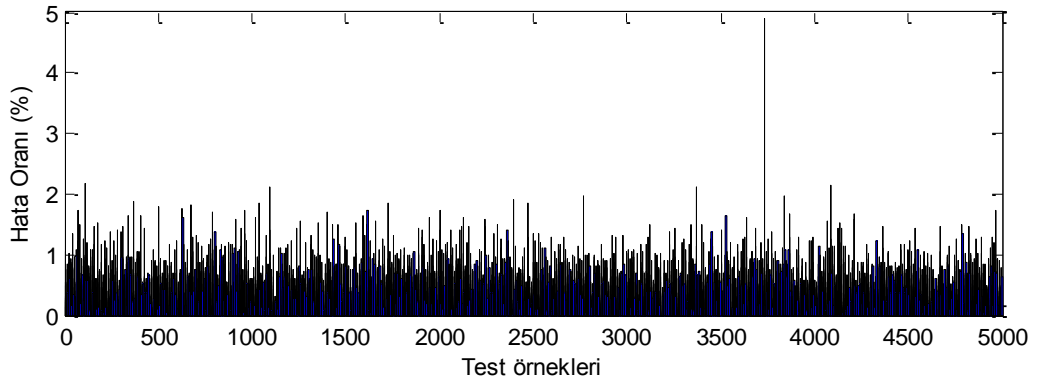


Şekil 5.18. 4 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri

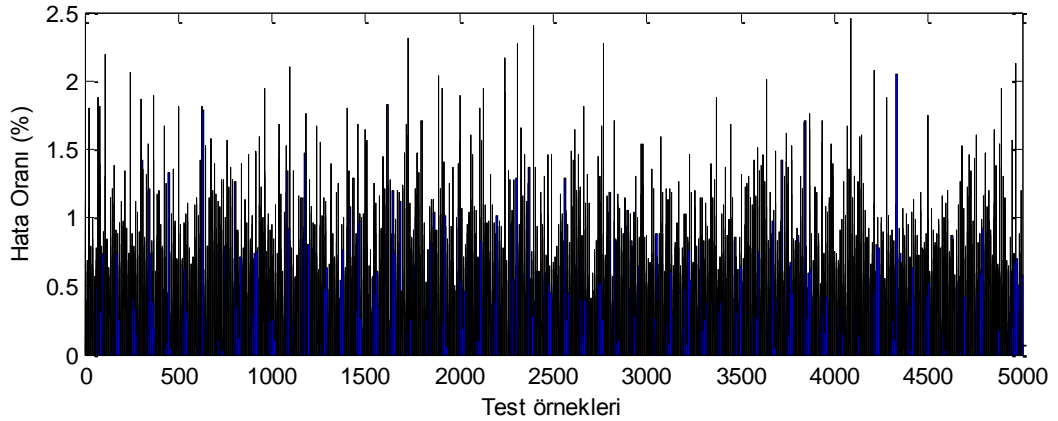


Şekil 5.19. 4 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.20’de 5 nolu yük barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu 25498 adet tahminin ortalama hatası %0.4474 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.21’de ise 5 nolu yük barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu 25498 adet tahminin ise ortalama hatası ise %0.4685 olarak elde edilmiştir.

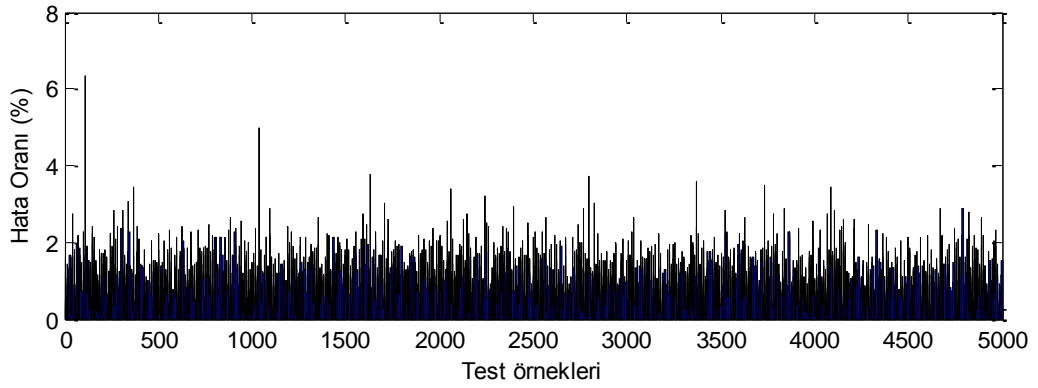


Şekil 5.20. 5 numaralı bara’ya ait YSA tahminleri

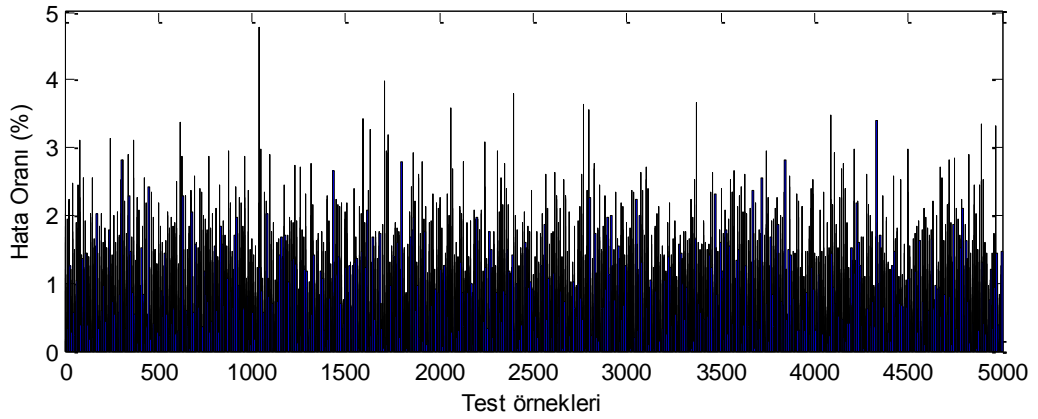


Şekil 5.21. 5 numaralı bara’ya ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.22’de 6 nolu yük barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu 25498 adet tahminin ortalama hatası %0.7796 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.23’de ise 6 nolu yük barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu 25498 adet tahminin ise ortalama hatası ise %0.8250 olarak elde edilmiştir.

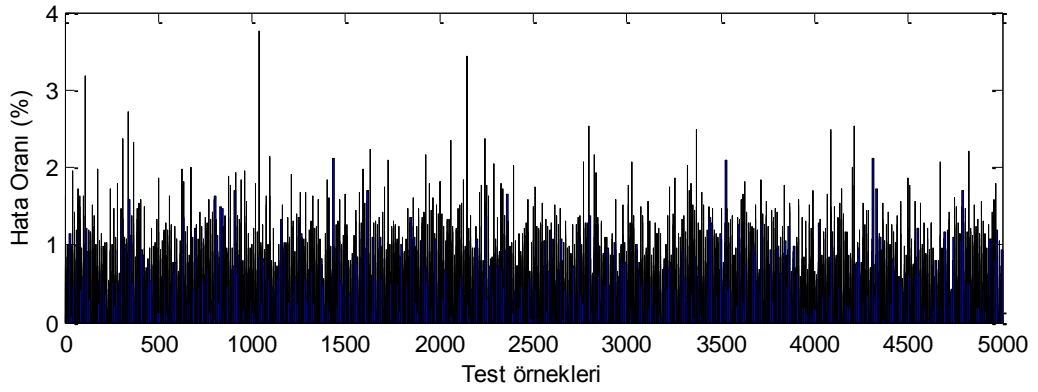


Şekil 5.22. 6 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri

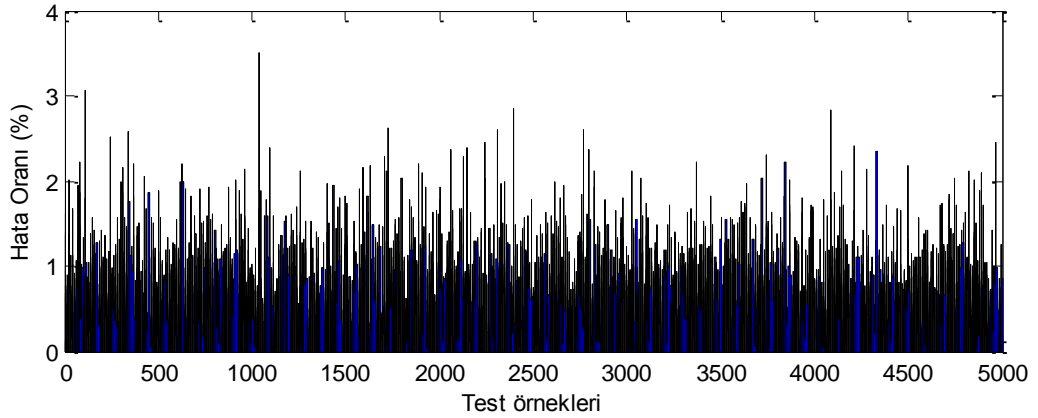


Şekil 5.23. 6 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.24’de 7 nolu yük barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu 25498 adet tahminin ortalama hatası %0.5653 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.25’de ise 7 nolu yük barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu 25498 adet tahminin ise ortalama hatası ise %0.5961 olarak elde edilmiştir.

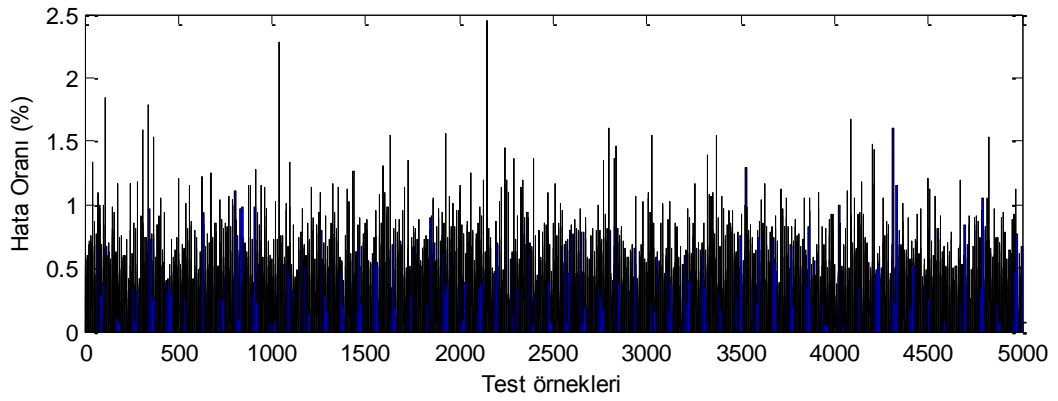


Şekil 5.24. 7 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri

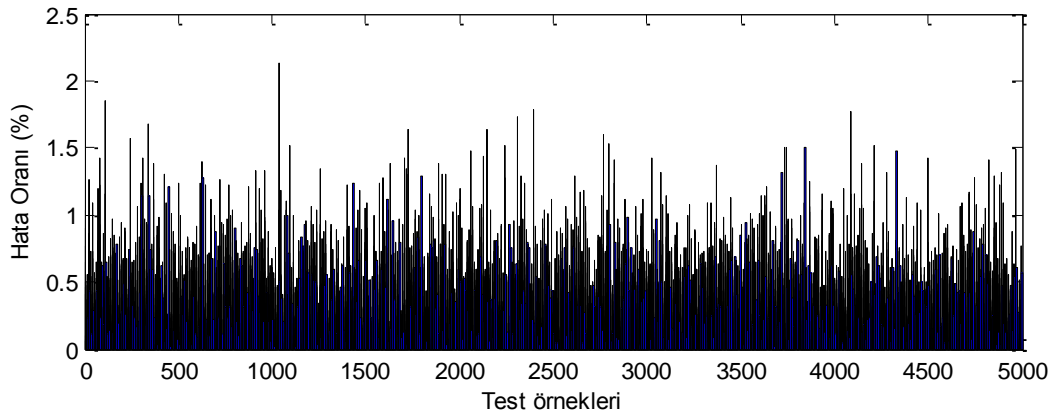


Şekil 5.25. 7 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.26’da 8 nolu yük barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu 25498 adet tahminin ortalama hatası %0.3610 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.27’de ise 8 nolu yük barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu 25498 adet tahminin ise ortalama hatası ise %0.3755 olarak elde edilmiştir.

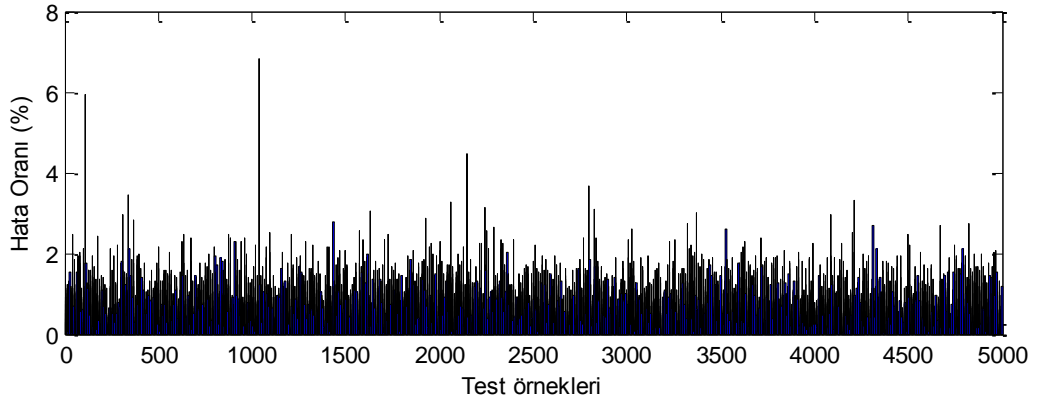


Şekil 5.26. 8 numaralı bara’ya ait YSA tahminleri

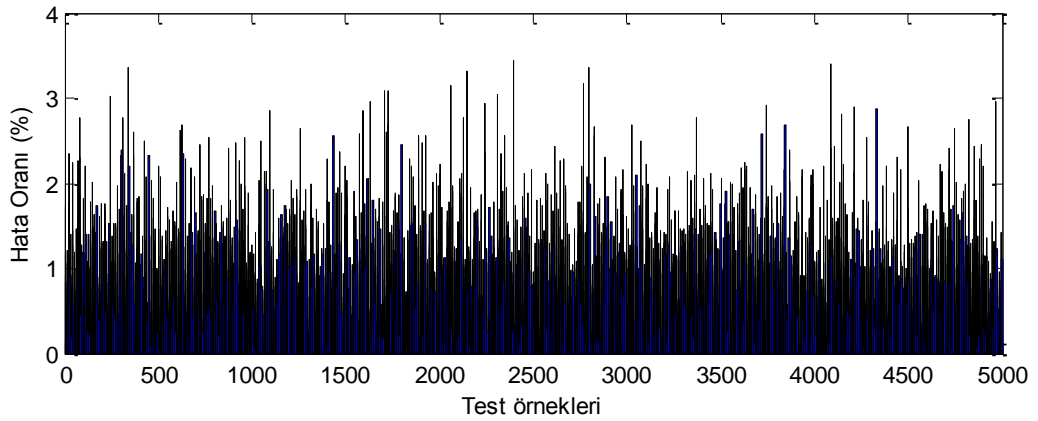


Şekil 5.27. 8 numaralı bara’ya ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.28’de 9 nolu yük barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu 25498 adet tahminin ortalama hatası %0.7114 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.29’da ise 9 nolu yük barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu 25498 adet tahminin ise ortalama hatası ise %0.7446 olarak elde edilmiştir.

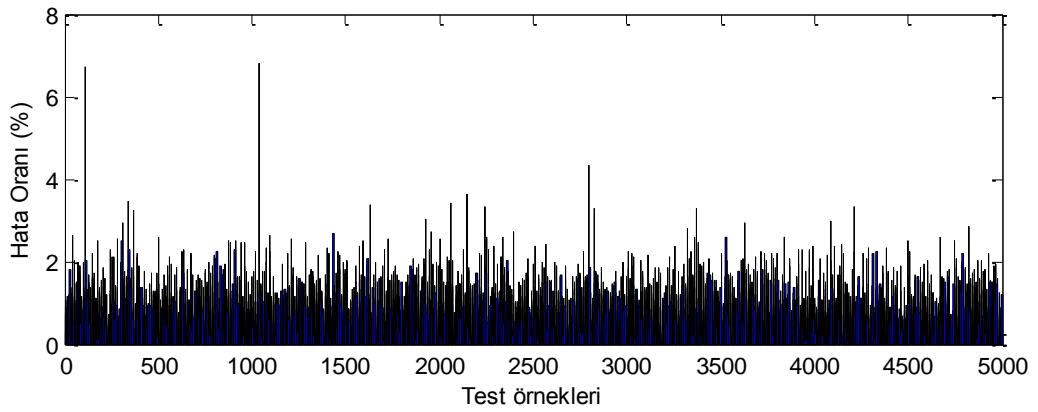


Şekil 5.28. 9 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri

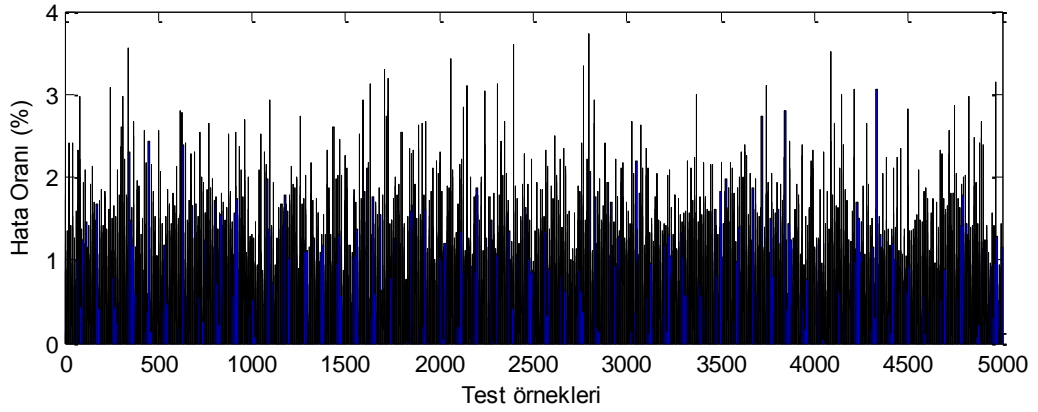


Şekil 5.29. 9 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.30’da 10 nolu yük barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu 25498 adet tahminin ortalama hatası %0.7472 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.31’de ise 10 nolu yük barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu 25498 adet tahminin ise ortalama hatası ise %0.7813 olarak elde edilmiştir.

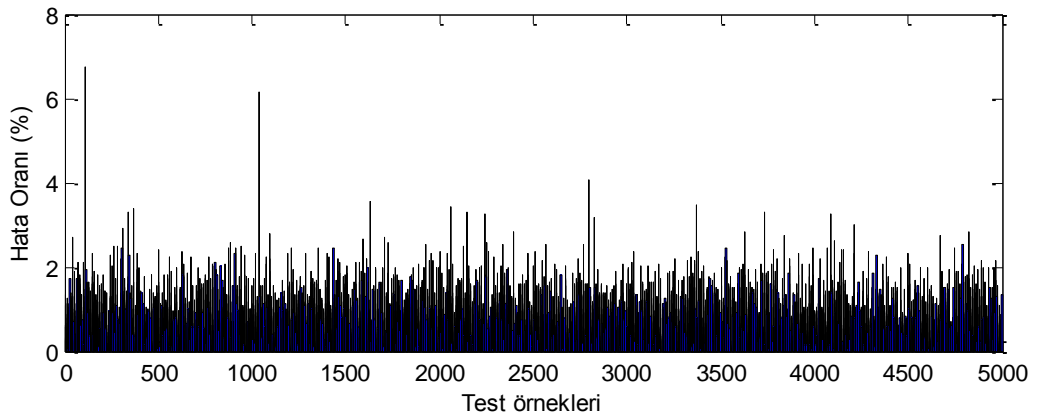


Şekil 5.30. 10 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri

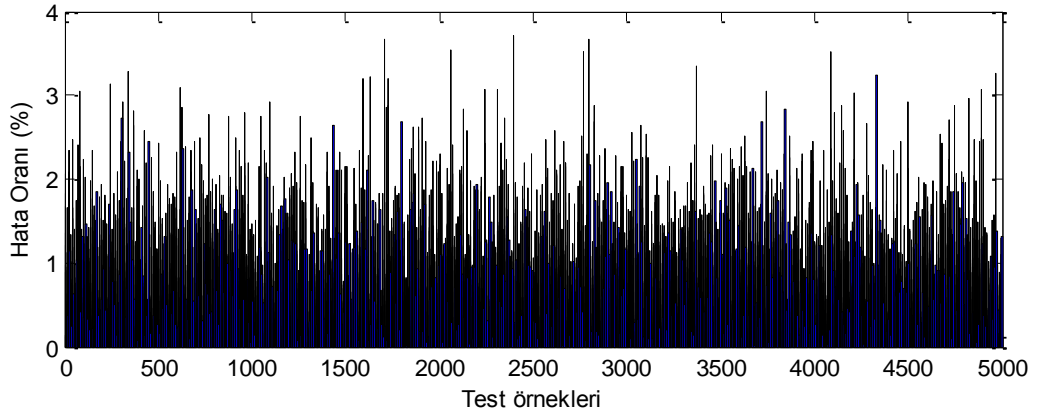


Şekil 5.31. 10 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.32’de 11 nolu yük barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu 25498 adet tahminin ortalama hatası %0.7561 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.33’de ise 11 nolu yük barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 5000 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu 25498 adet tahminin ise ortalama hatası ise %0.8070 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.32. 11 numaralı bara'ya ait YSA tahminleri



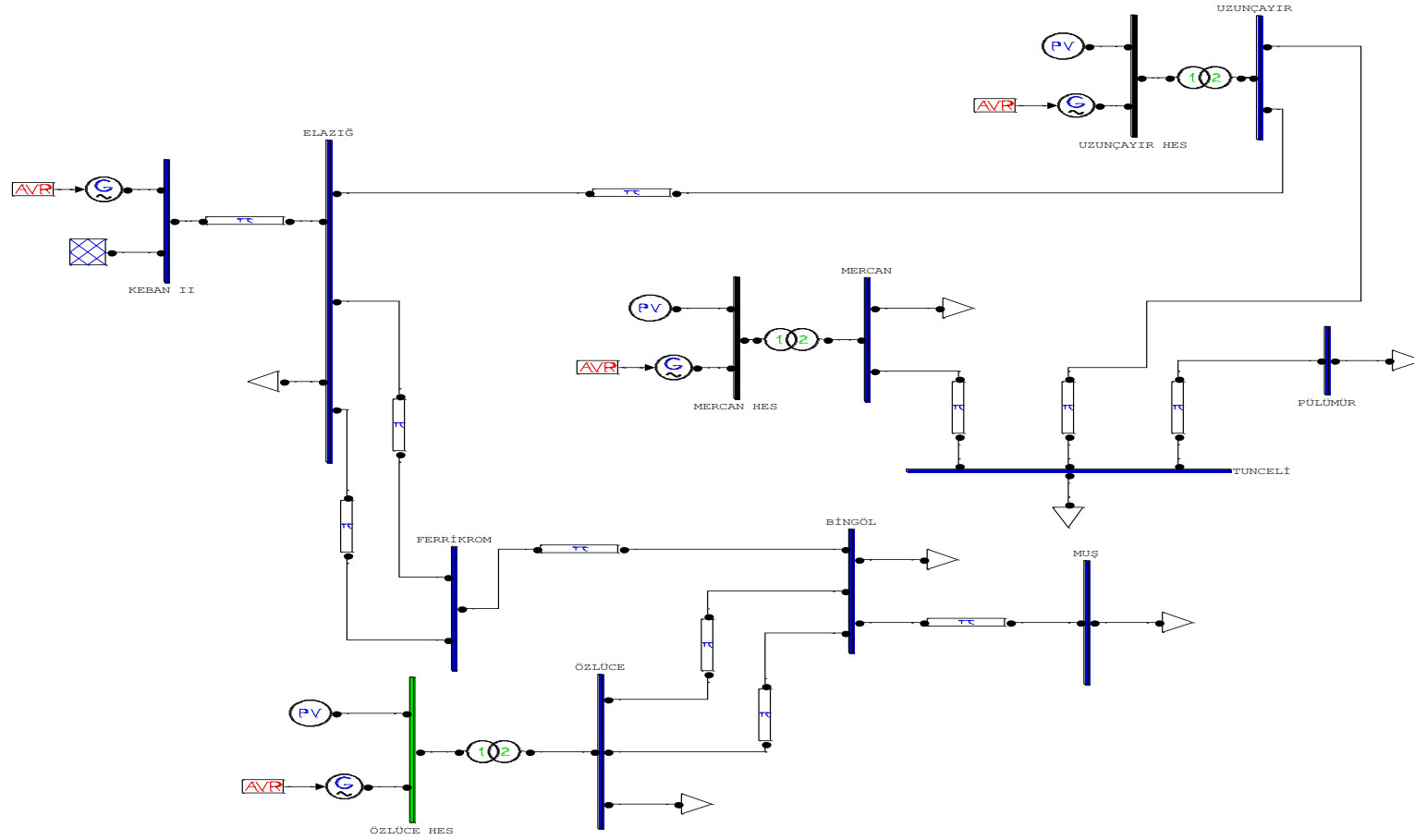
Şekil 5.33. 11 numaralı bara'ya ait EKKDVM tahminleri

Yukarıdaki şekillere ve elde edilen hata oranlarına baktığımız zaman IEEE 14 baralı sistemde YSA ve EKKDVM algoritmalarının yaklaşım sonuçlarını şu şekilde yorumlayabiliriz. EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerine bakıldığında

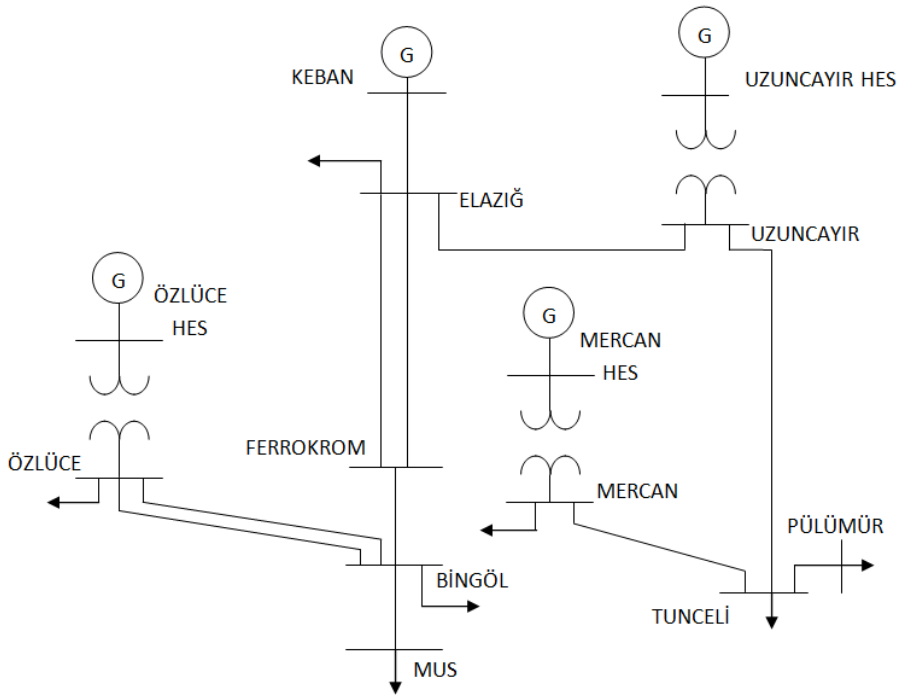
zaman sadece 2 numaralı baraya ait tahmin değerlerinde YSA algoritmasına göre daha doğru tahminler yaptığı görülmektedir. Diğer baralarda ise YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerleri EKKDVM algoritmasının tahmin değerlerine göre daha doğru elde edilmiştir. IEEE 14 baralı sistemde algoritmaların yaptığı tahminler sonucunda YSA algoritmasının sistemde daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ortalama hata miktarlarına bakıldığı zaman iki algoritmanın da IEEE 14 baralı sistemde yapmış oldukları gerilim kararlılığı kritik değer tespitinde oldukça iyi sonuçlar vermektedirler.

5.5. 13 Baralı Gerçek Sistem

Bölüm 5.5’de 13 baralı gerçek sisteme ait genel bilgilere yer verilmiştir. Şekil 5.34’de 13 baralı gerçek sistemin PSAT programındaki çizimi gösterilmiştir. Şekil 5.35’de ise 13 baralı gerçek sistemin tek hat şeması gösterilmiştir. Tablo 5.9’da 13 baralı gerçek sisteme ait hat karakteristikleri, Tablo 5.10’da sisteme ait baraların gerilim değerleri, Tablo 5.11’de ise sistemdeki yüklerin p.u. cinsinden aktif ve reaktif güç değerleri verilmiştir. Verilen bu değerler ile PSAT programında çalıştırılan sisteme ait gerilim kararlılığı kritik değerleri, baralara ait aktif ve reaktif güç değerlerinin 0.25, 0.75 ve 1.25 ile çarpılması ile oluşan değişimleri farklı baralar için şekiller ile gösterilmiştir. Her şeklin altında ise yük baralarına ait aktif ve reaktif güç değerlerinin 0.5, 1 ve 1.5 ile çarpılması ile yük baralarının V_{krt} değerlerinin değişimleri gösterilmiştir.



Şekil.5.34. PSAT programında düzenlenmiş 13 baralı sistem



Şekil.5.35. 13 baralı sistemin tek hat şeması

Tablo 5.14. 13 baralı gerçek sisteme ait bara gerilim değerleri

Bara Adı	Baranın Gerilimi (kV)
Keban II	154
Elazığ	154
Uzunçayır Hes	11
Uzunçayır	154
Mercan Hes	11
Mercan	154
Tunceli	154
Pülümür	154
Ferrokrom	154
Bingöl	154
Muş	154
Özlüce Hes	18
Özlüce	154

Tablo 5.15. 13 baralı gerçek sisteme ait hat karakteristikleri

Baradan - Baraya	Direnç p.u. (Ohms/km)	Reaktans [p.u. (H/km)]	Suspektans [p.u. (H/km)]	Güç	Gerilim	Frekans
Tunceli-Pülümür	0.017	0.092	0.079	100	154	50
Bingöl - Özlüce	0.013216	0.095061	0.043139	100	154	50
Bingöl - Muş	0.056209	0.180295	0.061790	100	154	50
Elazığ - Uzunçayır	0.025365	0.081360	0.027883	100	154	50
Elazığ - Ferrokrom	0.017036	0.079945	0.034243	100	154	50
Elazığ - Ferrokrom	0.017036	0.079945	0.034243	100	154	50
Ferrokrom - Bingöl	0.042834	0.137391	0.047086	100	154	50
Mercan - Tunceli	0.0027614	0.114916	0.046519	100	154	50
Uzunçayır - Tunceli	0.08546	0.027412	0.01879	100	154	50
Bingöl - Özlüce	0.013216	0.095061	0.043139	100	154	50
Keban II- Elazığ	0.029617	0.095	0.032558	100	154	50

Tablo 5.16. 13 baralı gerçek sistemin yüklere ait P ve Q değerleri

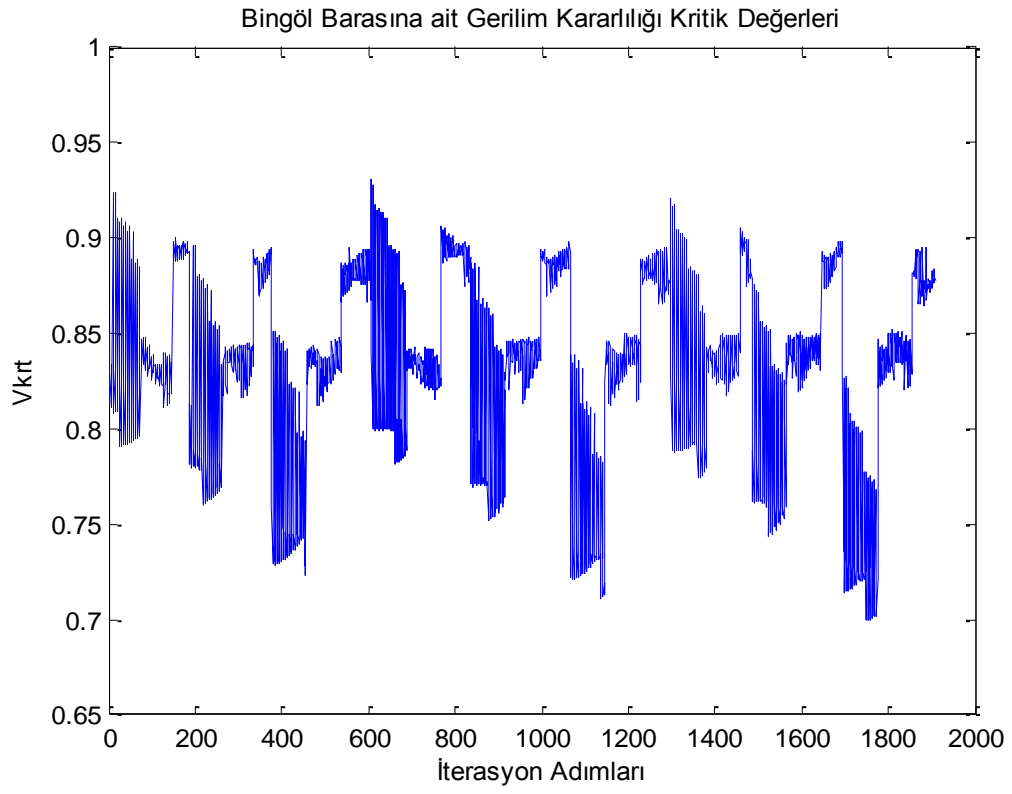
Yük Bara Numarası	Bara Yük Gücü(MVA)	Aktif Güç (p.u.)	Reaktif Güç (p.u.)
ELAZIĞ	100	2	0.4
BİNGÖL	100	0.5	0.1
MUŞ	100	0.9	0.3
ÖZLÜCE	100	0.2	0.04
TUNCELİ	100	0.3	0.09
MERCAN	100	0.1	0.03
PÜLÜMÜR	100	0.1	0.03

Şekil 5.36 ve Şekil 5.37’de Bingöl barasına ait gerilim kararlılığı kritik değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.36’da yük baralarının 0.25, 0.75 ve 1.25 ile çarpılarak değiştirilmesi ile değişik yük durumlarında Bingöl barasının V_{krt} değerinin değişimleri verilmiştir. Şekil 5.37’de ise yük baralarının 0.5, 1 ve 1.5 ile çarpılarak değiştirilmesi ile değişik yük durumlarında Bingöl barasının V_{krt} değerinin değişimi gösterilmiştir. Şekillerde ki değerlere bakıldığı zaman Şekil 5.36’da en büyük V_{krt} değeri $V_{krt}=0.9308$ değeridir ve bu değer 607. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. Şekil 5.36’da en küçük V_{krt} değeri ise $V_{krt}=0.6994$ değeridir ve bu değer 1747. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. En büyük ve en küçük V_{krt} değerlerinin elde edildiği iterasyon adımlarındaki baraların çarpan değerleri şu şekildedir.

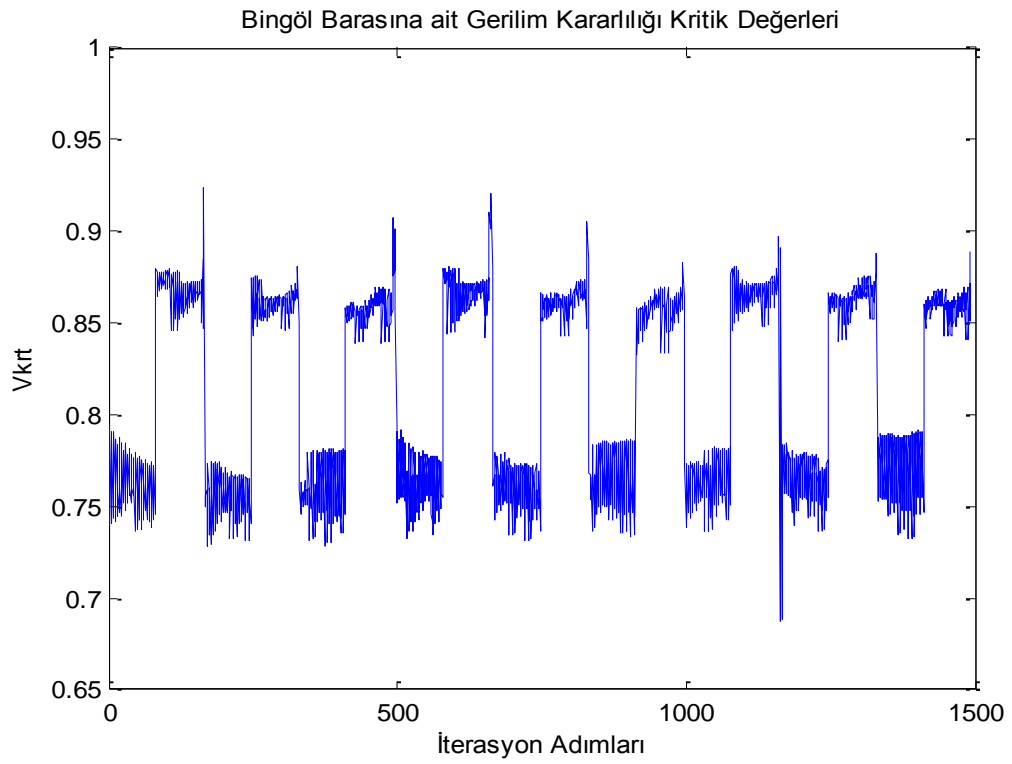
En büyük değerinde Özlüce=0.75, Bingöl=0.25, Muş=0.25, Tunceli=0.25, Pülümür=0.25, Mercan=0.25, Elazığ=0.25 iken en küçük değerde ise Özlüce=1.25, Bingöl=1.25, Muş=0.25, Tunceli=0.75, Pülümür=1.25, Mercan=1.25, Elazığ=0.75 şeklindedir.

Şekil 5.37’de bulunan değerlere bakıldığı zaman Şekil 5.37’de en büyük V_{krt} değeri $V_{krt}=0.9233$ değeridir ve bu değer 165. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. Şekil 5.37’de en küçük V_{krt} değeri de $V_{krt}=0.6878$ değeridir ve bu değer 1162. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. . En büyük ve en küçük V_{krt} değerlerinin elde edildiği iterasyon adımlarındaki baraların çarpan değerleri şu şekildedir.

En büyük değerinde Özlüce=0.5, Bingöl=0.5, Muş=1.5, Tunceli=1, Pülümür=0.5, Mercan=0.5, Elazığ=0.5 iken en küçük değerde ise Özlüce=1.5, Bingöl=0.5, Muş=1.5, Tunceli=1.5, Pülümür=0.5, Mercan=1, Elazığ=1.5 şeklindedir



Şekil 5.36. Bingöl barasına ait V_{krt}. değerlerinin değişimi



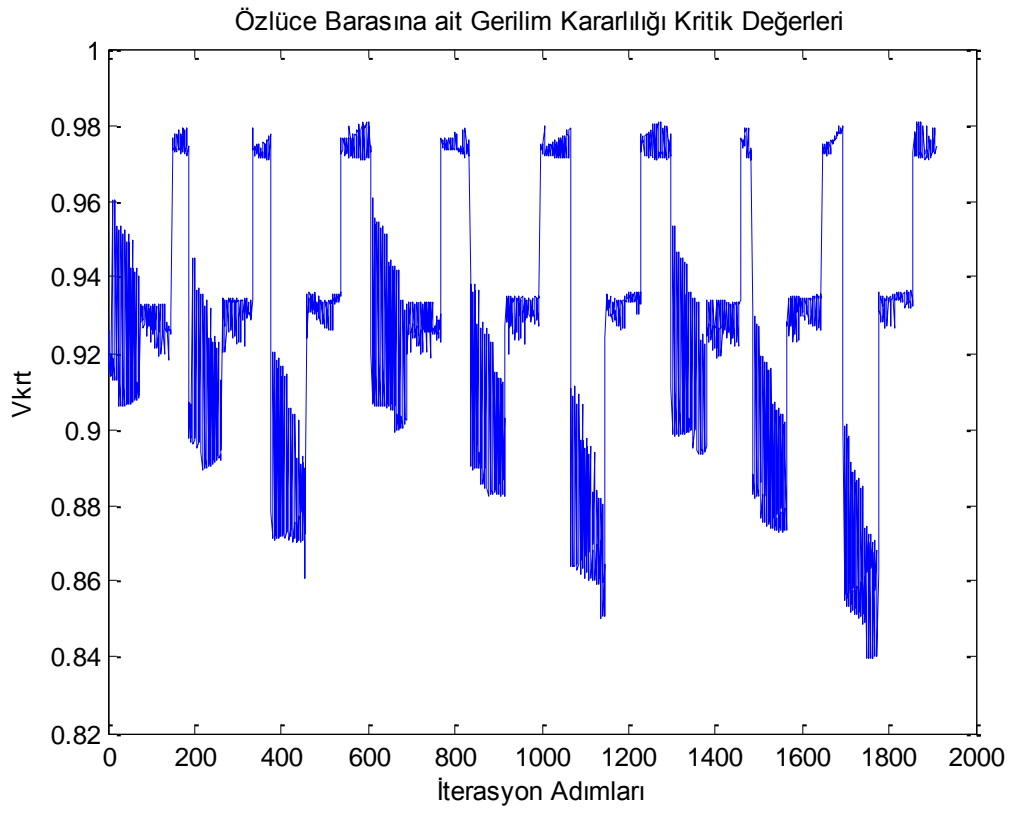
Şekil 5.37. Bingöl barasına ait V_{krt}. değerlerinin değişimi

Şekil 5.38 ve Şekil 5.39'da Özlüce barasına ait gerilim kararlılığı kritik değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.38'de yük baralarının 0.25, 0.75 ve 1.25 ile çarpılarak değiştirilmesi ile değişik yük durumlarında Özlüce barasının V_{krt} değerinin değişimleri verilmiştir. Şekil 5.39'da ise yük baralarının 0.5, 1 ve 1.5 ile çarpılarak değiştirilmesi ile değişik yük durumlarında Özlüce barasının V_{krt} değerinin değişimi gösterilmiştir. Şekillerde ki değerlere bakıldığı zaman Şekil 5.38'de en büyük V_{krt} değeri V_{krt}=0.9809 değeridir ve bu değer 1274. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. Şekil 5.38'de en küçük V_{krt} değeri ise V_{krt}=0.8395 değeridir ve bu değer 1747. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. En büyük ve en küçük V_{krt} değerlerinin elde edildiği iterasyon adımlarındaki baraların çarpan değerleri şu şekildedir.

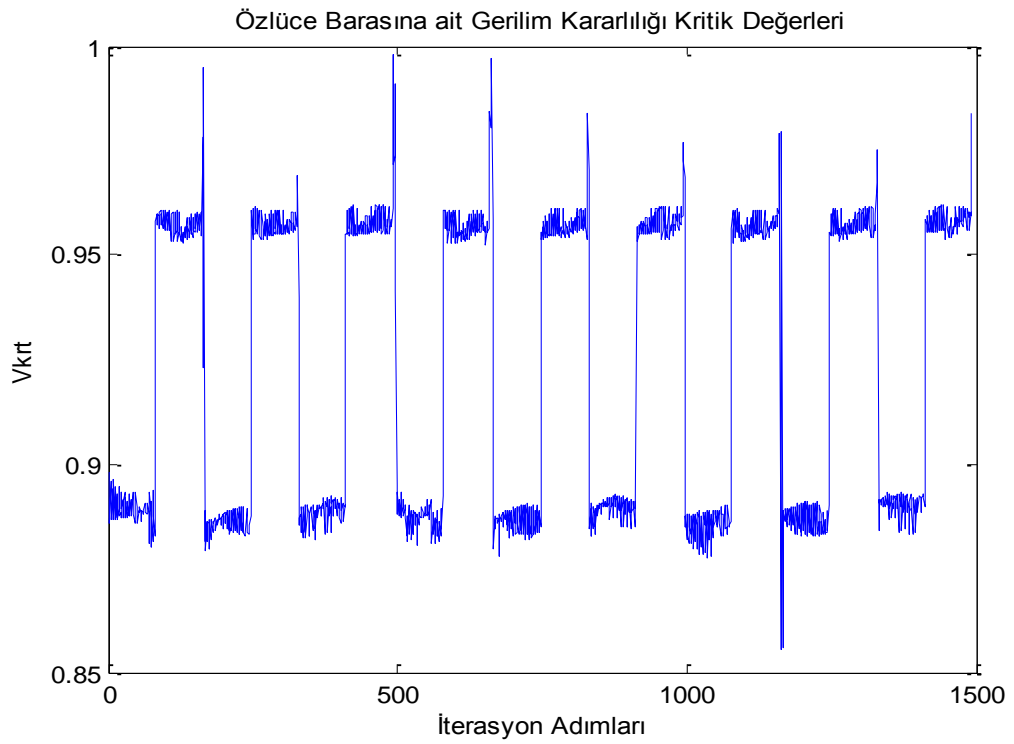
En büyük değerinde Özlüce=0.75, Bingöl=1.25, Muş=1.25, Tunceli=1.25, Pülümür=0.25, Mercan=0.25, Elazığ=1.25 iken en küçük değerde ise Özlüce=1.25, Bingöl=1.25, Muş=0.25, Tunceli=0.75, Pülümür=1.25, Mercan=1.25, Elazığ=0.75 şeklindedir.

Şekil 5.39'da bulunan değerlere bakıldığı zaman Şekil 5.39'da en büyük V_{krt} değeri V_{krt}=0.9980 değeridir ve bu değer 492. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. Şekil 5.39 da en küçük V_{krt} değeri ise V_{krt}=0.8555 değeridir ve bu değer 1162. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. En büyük ve en küçük V_{krt} değerlerinin elde edildiği iterasyon adımlarındaki baraların çarpan değerleri şu şekildedir.

En büyük değerinde Özlüce=0.5, Bingöl=1.5, Muş=1.5, Tunceli=0.5, Pülümür=0.5, Mercan=1, Elazığ=1.5 iken en küçük değerde ise Özlüce=1.5, Bingöl=0.5, Muş=1.5, Tunceli=1.5, Pülümür=0.5, Mercan=1, Elazığ=1.5 şeklindedir.



Şekil 5.38. Özlüce barasına ait V_{krt} . değerlerinin değişimi



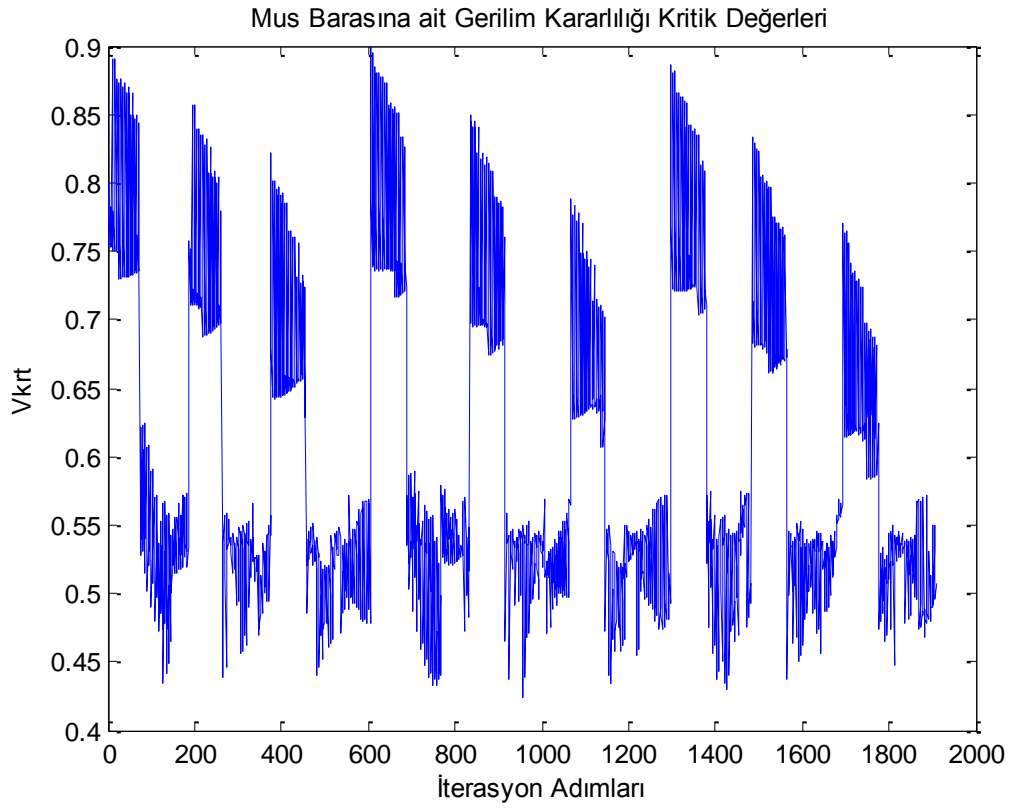
Şekil 5.39. Özlüce barasına ait V_{krt} . değerlerinin değişimi

Şekil 5.40 ve Şekil 5.41’de Muş barasına ait gerilim kararlılığı kritik değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.40’da yük baralarının 0.25, 0.75 ve 1.25 ile çarpılarak değiştirilmesi ile değişik yük durumlarında Muş barasının V_{krt} değerinin değişimleri verilmiştir. Şekil 5.41’de ise yük baralarının 0.5, 1 ve 1.5 ile çarpılarak değiştirilmesi ile değişik yük durumlarında Muş barasının V_{krt} değerinin değişimi gösterilmiştir. Şekillerde ki değerlere bakıldığı zaman Şekil 5.40’da en büyük V_{krt} değeri $V_{krt}=0.8990$ değeridir ve bu değer 607. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. Şekil 5.40’da en küçük V_{krt} değeri ise $V_{krt}=0.4238$ değeridir ve bu değer 957. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. En büyük ve en küçük V_{krt} değerlerinin elde edildiği iterasyon adımlarındaki baraların çarpan değerleri şu şekildedir.

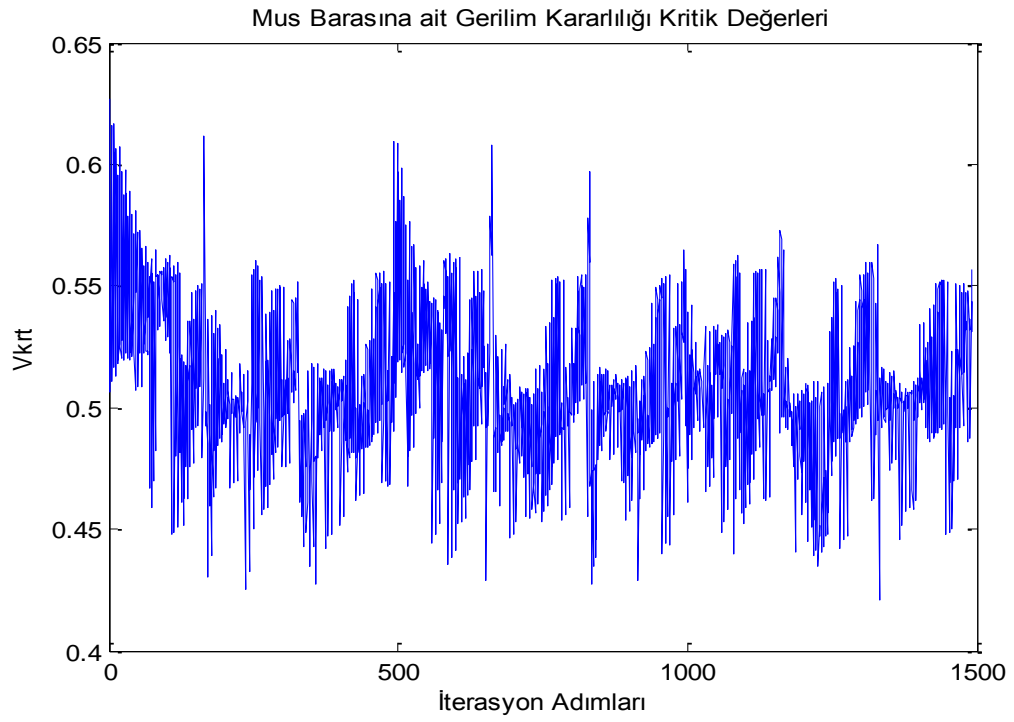
En büyük değerinde Özlüce=0.75, Bingöl=0.25, Muş=0.25, Tunceli=0.25, Pülümür=0.25, Mercan=0.25, Elazığ=0.25 iken en küçük değerde ise Özlüce=0.75, Bingöl=0.75, Muş=0.75, Tunceli=0.75, Pülümür=0.75, Mercan=0.75, Elazığ=1.25 şeklindedir.

Şekil 5.41’de bulunan değerlere bakıldığı zaman Şekil 5.41’de en büyük V_{krt} değeri $V_{krt}=0.6268$ değeridir ve bu değer 1. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. Şekil 5.41’de en küçük V_{krt} değeri ise $V_{krt}=0.4211$ değeridir ve bu değer 1331. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. En büyük ve en küçük V_{krt} değerlerinin elde edildiği iterasyon adımlarındaki baraların çarpan değerleri şu şekildedir.

En büyük değerinde Özlüce=0.5, Bingöl=0.5, Muş=0.5, Tunceli=0.5, Pülümür=0.5, Mercan=0.5, Elazığ=0.5 iken en küçük değerde ise Özlüce=1.5, Bingöl=1.5, Muş=0.5, Tunceli=0.5, Pülümür=0.5, Mercan=0.5, Elazığ=0.5 şeklindedir.



Şekil 5.40. Muş barasına ait V_{krt} . değerlerinin değişimi



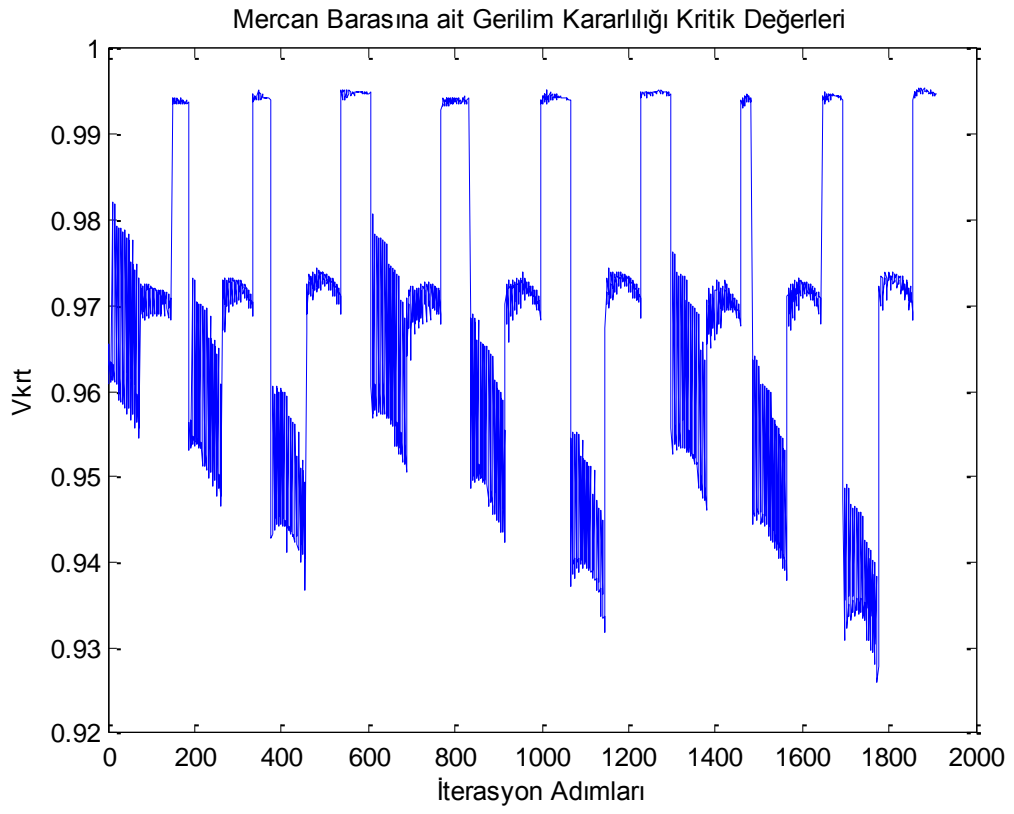
Şekil 5.41. Muş barasına ait V_{krt} . değerlerinin değişimi

Şekil 5.42 ve Şekil 5.43’de Mercan barasına ait gerilim kararlılığı kritik değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.42’de yük baralarının 0.25, 0.75 ve 1.25 ile çarpılarak değiştirilmesi ile değişik yük durumlarında Mercan barasının V_{krt} değerinin değişimleri verilmiştir. Şekil 5.43’de ise yük baralarının 0.5, 1 ve 1.5 ile çarpılarak değiştirilmesi ile değişik yük durumlarında Mercan barasının V_{krt} değerinin değişimi gösterilmiştir. Şekillerde ki değerlere bakıldığı zaman Şekil 5.42’de en büyük V_{krt} değeri V_{krt}=0.9954 değeridir ve bu değer 1881. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. Şekil 5.42’de en küçük V_{krt} değeri ise V_{krt}=0.9259 değeridir ve bu değer 1774. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. En büyük ve en küçük V_{krt} değerlerinin elde edildiği iterasyon adımlarındaki baraların çarpan değerleri şu şekildedir.

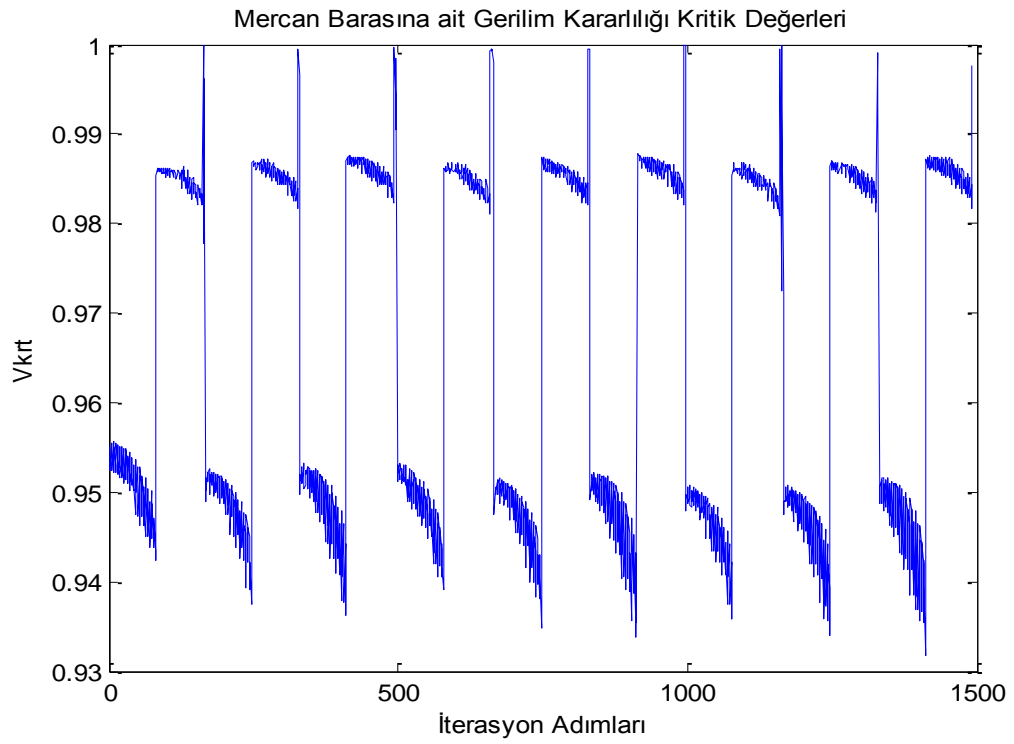
En büyük değerinde Özlüce=1.25, Bingöl=1.25, Muş=1.25, Tunceli=0.75, Pülümür=1.25, Mercan=0.25, Elazığ=1.25 iken en küçük değerde ise Özlüce=1.25, Bingöl=1.25, Muş=0.25, Tunceli=1.25, Pülümür=1.25, Mercan=1.25, Elazığ=0.75 şeklindedir.

Şekil 5.43’de bulunan değerlere bakıldığı zaman Şekil 5.43’de en büyük V_{krt} değeri V_{krt}=0.9990 değeridir ve bu değer 163. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. Şekil 5.43’de en küçük V_{krt} değeri ise V_{krt}=0.9318 değeridir ve bu değer 1411 adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. En büyük ve en küçük V_{krt} değerlerinin elde edildiği iterasyon adımlarındaki baraların çarpan değerleri şu şekildedir.

En büyük değerinde Özlüce=0.5, Bingöl=0.5, Muş=1.5, Tunceli=0.5, Pülümür=0.5, Mercan=1, Elazığ=1.5 iken en küçük değerde ise Özlüce=1.5, Bingöl=1.5, Muş=0.5, Tunceli=1.5, Pülümür=1.5, Mercan=1.5, Elazığ=1.5



Şekil 5.42. Mercan barasına ait V_{krt} . değerlerinin değişimi



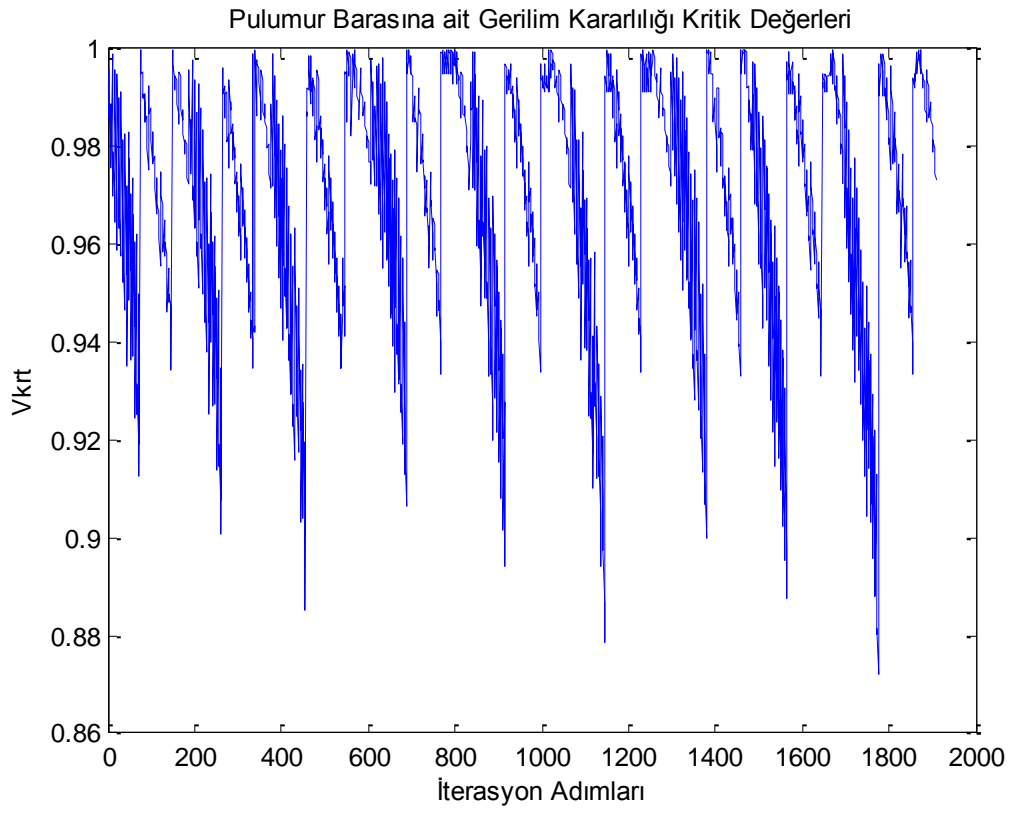
Şekil 5.43. Mercan barasına ait V_{krt} . değerlerinin değişimi

Şekil 5.44 ve Şekil 5.45’de Pülümür barasına ait gerilim kararlılığı kritik değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.44’de yük baralarının 0.25, 0.75 ve 1.25 ile çarpılarak değiştirilmesi ile değişik yük durumlarında Pülümür barasının V_{krt} değerinin değişimleri verilmiştir. Şekil 5.45’de ise yük baralarının 0.5, 1 ve 1.5 ile çarpılarak değiştirilmesi ile değişik yük durumlarında Pülümür Barasının V_{krt} değerinin değişimi gösterilmiştir. Şekillerde ki değerlere bakıldığı zaman Şekil 5.44’de en büyük V_{krt} değeri V_{krt}=0.9992 değeridir ve bu değer 341. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. Şekil 5.44’de en küçük V_{krt} değeri ise V_{krt}=0.8721 değeridir ve bu değer 1775. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. En büyük ve en küçük V_{krt} değerlerinin elde edildiği iterasyon adımlarındaki baraların çarpan değerleri şu şekildedir.

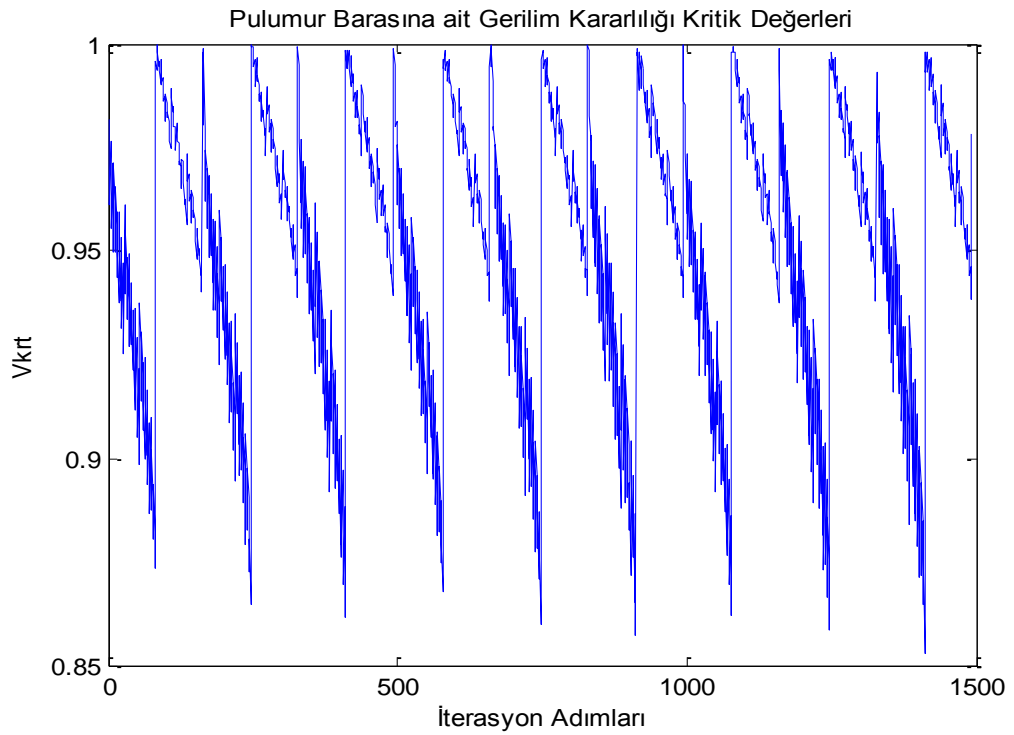
En büyük değerinde Özlüce=0.25, Bingöl=0.75, Muş=1.25, Tunceli=0.75, Pülümür=0.25, Mercan=1.25, Elazığ=0.75 iken en küçük değerde ise Özlüce=1.25, Bingöl=1.25, Muş=0.25, Tunceli=1.25, Pülümür=1.25, Mercan=1.25, Elazığ=1.25 şeklindedir.

Şekil 5.45’de bulunan değerlere bakıldığı zaman Şekil 5.45’de en büyük V_{krt} değeri V_{krt}=0.9992 değeridir ve bu değer 85. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. Şekil 5.45’de en küçük V_{krt} değeri ise V_{krt}=0.8529 değeridir ve bu değer 1411. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. En büyük ve en küçük V_{krt} değerlerinin elde edildiği iterasyon adımlarındaki baraların çarpan değerleri şu şekildedir.

En büyük değerinde Özlüce=0.5, Bingöl=0.5, Muş=1, Tunceli=0.5, Pülümür=0.5, Mercan=1, Elazığ=0.5 iken en küçük değerde ise Özlüce=1.5, Bingöl=1.5, Muş=0.5, Tunceli=1.5, Pülümür=1.5, Mercan=1.5, Elazığ=1.5 şeklindedir.



Şekil 5.44. Pülümür barasına ait V_{krt} . değerlerinin değişimi



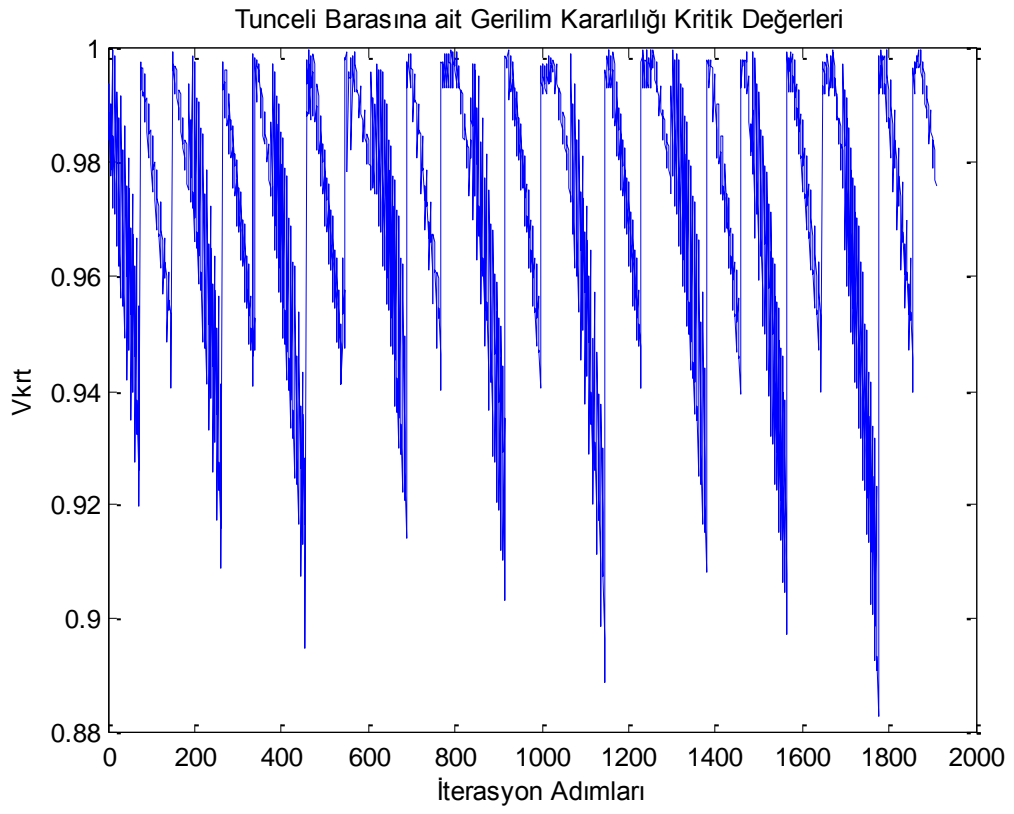
Şekil 5.45. Pülümür barasına ait V_{krt} . değerlerinin değişimi

Şekil 5.46 ve Şekil 5.47'de Tunceli barasına ait gerilim kararlılığı kritik değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.46'da yük baralarının 0.25, 0.75 ve 1.25 ile çarpılarak değiştirilmesi ile değişik yük durumlarında Tunceli barasının V_{krt} değerinin değişimleri verilmiştir. Şekil 5.47'de ise yük baralarının 0.5, 1 ve 1.5 ile çarpılarak değiştirilmesi ile değişik yük durumlarında Tunceli barasının V_{krt} değerinin değişimi gösterilmiştir. Şekillerde ki değerlere bakıldığı zaman Şekil 5.46'da en büyük V_{krt} değeri $V_{krt}=0.9995$ değeridir ve bu değer 922. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. Şekil 5.46'da en küçük V_{krt} değeri de $V_{krt}=0.8828$ değeridir ve bu değer 1775. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. En büyük ve en küçük V_{krt} değerlerinin elde edildiği iterasyon adımlarındaki baraların çarpan değerleri şu şekildedir.

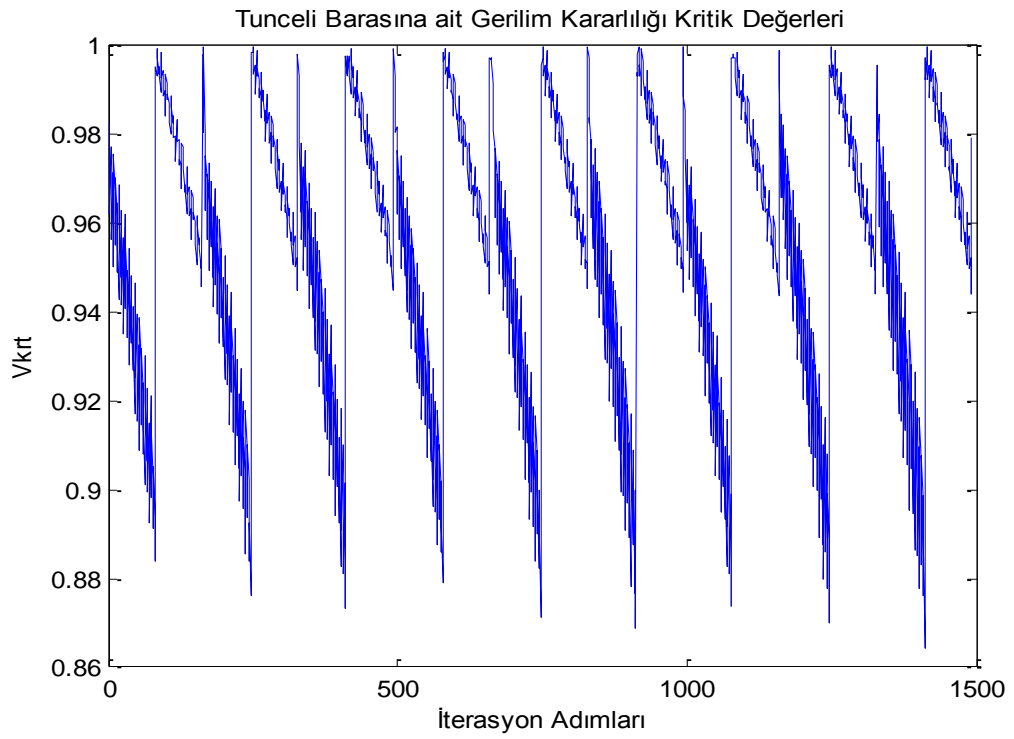
En büyük değerinde Özlüce=0.75, Bingöl=0.75, Muş=0.75, Tunceli=0.25, Pülümür=0.25, Mercan=1.25, Elazığ=0.25 iken en küçük değerde ise Özlüce=1.25, Bingöl=1.25, Muş=0.25, Tunceli=1.25, Pülümür=1.25, Mercan=1.25, Elazığ=1.25 şeklindedir.

Şekil 5.47'de bulunan değerlere bakıldığı zaman Şekil 5.47'de en büyük V_{krt} değeri $V_{krt}=0.9994$ değeridir ve bu değer 916. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. Şekil 5.47'de en küçük V_{krt} değeri ise $V_{krt}=0.8645$ değeridir ve bu değer 1411. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. En büyük ve en küçük V_{krt} değerlerinin elde edildiği iterasyon adımlarındaki baraların çarpan değerleri şu şekildedir.

En büyük değerinde Özlüce=1, Bingöl=1.5, Muş=1, Tunceli=0.5, Pülümür=0.5, Mercan=1, Elazığ=0.5 iken en küçük değerde ise Özlüce=1.5, Bingöl=1.5, Muş=0.5, Tunceli=1.5, Pülümür=1.5, Mercan=1.5, Elazığ=1.5 şeklindedir.



Şekil 5.46. Tunceli barasına ait V_{krt} . değerlerinin değişimi



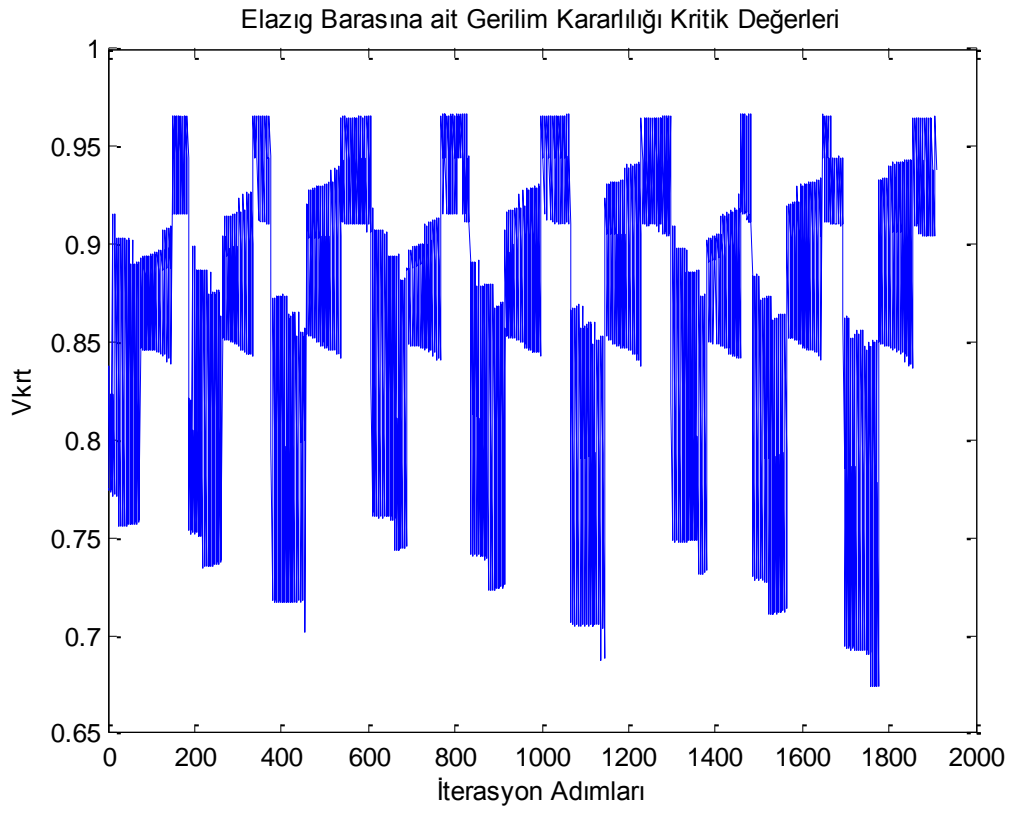
Şekil 5.47. Tunceli barasına ait V_{krt} . değerlerinin değişimi

Şekil 5.48 ve Şekil 5.49'da Elazığ barasına ait gerilim kararlılığı kritik değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.48'de yük baralarının 0.25, 0.75 ve 1.25 ile çarpılarak değiştirilmesi ile değişik yük durumlarında Elazığ barasının V_{krt} değerinin değişimleri verilmiştir. Şekil 5.49'da ise yük baralarının 0.5, 1 ve 1.5 ile çarpılarak değiştirilmesi ile değişik yük durumlarında Elazığ barasının V_{krt} değerinin değişimi gösterilmiştir. Şekillerde ki değerlere bakıldığı zaman Şekil 5.48'de en büyük V_{krt} değeri V_{krt}=0.9671 değeridir ve bu değer 1458. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. Şekil 5.48'de en küçük V_{krt} değeri ise V_{krt}=0.6740 değeridir ve bu değer 1757. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. En büyük ve en küçük V_{krt} değerlerinin elde edildiği iterasyon adımlarındaki baraların çarpan değerleri şu şekildedir.

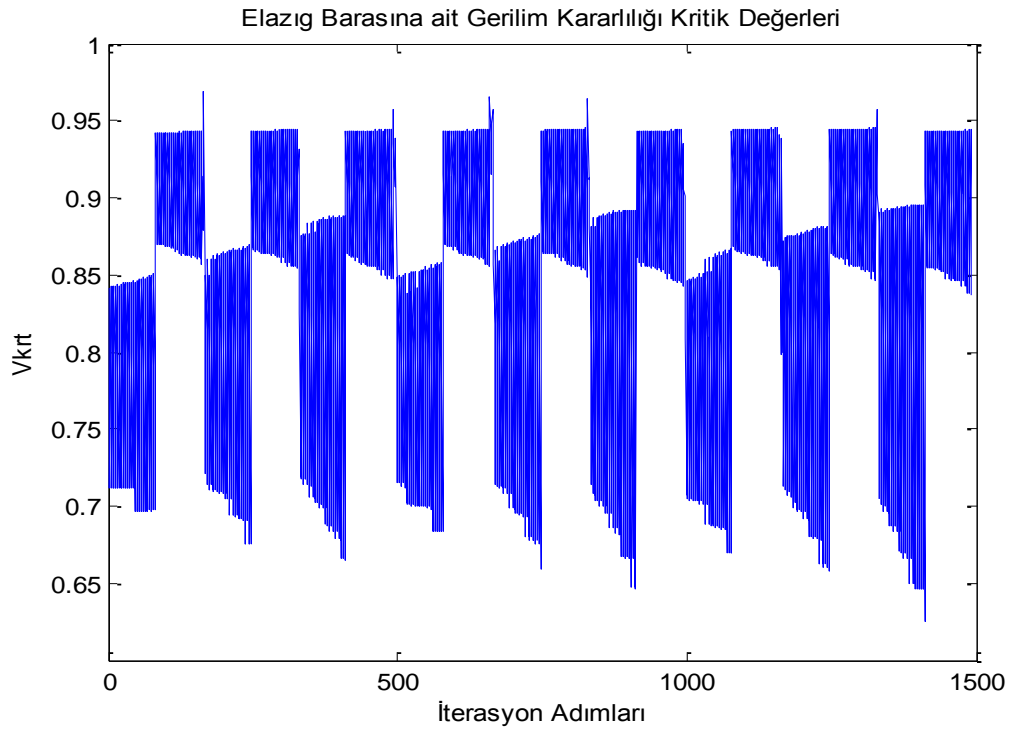
En büyük değerinde Özlüce=1.25, Bingöl=0.25, Muş=1.25, Tunceli=0.25, Pülümür=0.25, Mercan=0.25, Elazığ=0.25 iken en küçük değerde ise Özlüce=1.25, Bingöl=1.25, Muş=0.25, Tunceli=1.25, Pülümür=0.25, Mercan=1.25, Elazığ=1.25 şeklindedir.

Şekil 5.49'da bulunan değerlere bakıldığı zaman Şekil 5.49'da en büyük V_{krt} değeri V_{krt}=0.9695 değeridir ve bu değer 165. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. Şekil 5.49'da en küçük V_{krt} değeri ise V_{krt}=0.6250 değeridir ve bu değer 1411. adımdaki iterasyonda elde edilmiştir. En büyük ve en küçük V_{krt} değerlerinin elde edildiği iterasyon adımlarındaki baraların çarpan değerleri şu şekildedir.

En büyük değerinde Özlüce=0.5, Bingöl=0.5, Muş=1.5, Tunceli=1, Pülümür=0.5, Mercan=0.5, Elazığ=0.5 iken en küçük değerde ise Özlüce=1.5, Bingöl=1.5, Muş=0.5, Tunceli=1.5, Pülümür=1.5, Mercan=1.5, Elazığ=1.5 şeklindedir.



Şekil 5.48. Elazığ barasına ait V_{krt} . değerlerinin değişimi



Şekil 5.49. Elazığ barasına ait V_{krt} . değerlerinin değişimi

5.6. 13 Baralı Gerçek Sistemin YSA ve EKKDVM ile Analizi

Bölüm 5.6'da 13 baralı gerçek sisteme ait YSA ve EKKDVM algoritma sonuçları grafiksel olarak verilmiştir. YSA ve EKKDVM algoritmalarının eğitim ve test işlemlerinde Şekil 5.35'de tek hat şeması gösterilen sistemin yük baralarına ait veriler kullanılmıştır. 13 baralı sistemdeki 7 adet yük barasına ait bilgiler kullanılarak algoritmaların eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Algoritmaların eğitiminde ve test işlemlerinde algoritma girişi olarak yük baralarına ait aktif ve reaktif güç değişim miktarını gösteren çarpan değerleri kullanılmıştır. Algoritma çıkışında ise PSAT programında elde edilen V_{krt} değerleri oluşturmaktadır. Böylece algoritma girişi 7 boyutlu vektör matrisi çıkışı ise 7 adet baraya ait kritik değerleri oluşturan 7 boyutlu vektör matrisidir. 13 baralı gerçek sistemde YSA ve EKKDVM algoritmalarının başarılarını incelemek için değişik yük durumlarında V_{krt} değerleri Bölüm 5.5'de elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerden aktif ve reaktif güç değişim miktarları 0.25, 0.75 ve 1.25 çarpanları ile oluşturulan ve her baraya ait 1908 adet veri içerisinde rastgele seçilmiş olan 500 tanesi eğitim aşamasında kullanılmıştır. Geri kalan veriler ise test verisi olarak kullanılmıştır. Bu verilerin YSA eğitim ve test aşamalarında Tablo 5.17'de belirtilen parametreler kullanılmıştır. EKKDVM algoritmasının eğitim ve test aşamasında ise Tablo 5.18'de gösterilen parametreler kullanılmıştır.

Bölüm 5.6'da ayrıca 0.5, 1 ve 1.5 çarpanları ile aktif ve reaktif güç değişim miktarlarında her bara için elde edilen 1493 adet V_{krt} değeri için YSA ve EKKDVM algoritmalarının başarıları gösterilmiştir. Bu kısımda da algoritma girişlerinde yük değişimlerini gösteren çarpan değerleri kullanılmıştır. Algoritma çıkışlarını ise V_{krt} değerleri oluşturmaktadır. Burada elimizde bulunan 1493 adet verinin rastgele seçilmiş olan 500 tanesi ile algoritmaların eğitimi yapılmıştır. Geri kalan veriler ise test işlemleri için kullanılmıştır. Bu verilerin YSA eğitim ve test aşamalarında Tablo 5.17'de belirtilen parametreler kullanılmıştır. EKKDVM algoritmasının eğitim ve test aşamasında ise Tablo 5.19'da verilen parametreler kullanılmıştır.

Bölüm 5.6'da ilk olarak 0.25, 0.5 ve 1.25 çarpanları için elde edilen tahmin işlemlerinin hata oranları % olarak şekiller ile gösterilmiş devamında ise aynı baraya ait 0.5, 1 ve 1.5 çarpanları için elde edilen tahmin sonuçlarının hata oranları % olarak şekillerde gösterilmiştir.

Tablo 5.17. YSA algoritma parametreleri

Ara katman Sayısı	55
Momentum Katsayısı	0.25
Öğrenme Katsayısı	0.95
Öğrenme Algoritması	Levenberg-Marquardt
Aktivasyon Fonksiyonu	Tansig.

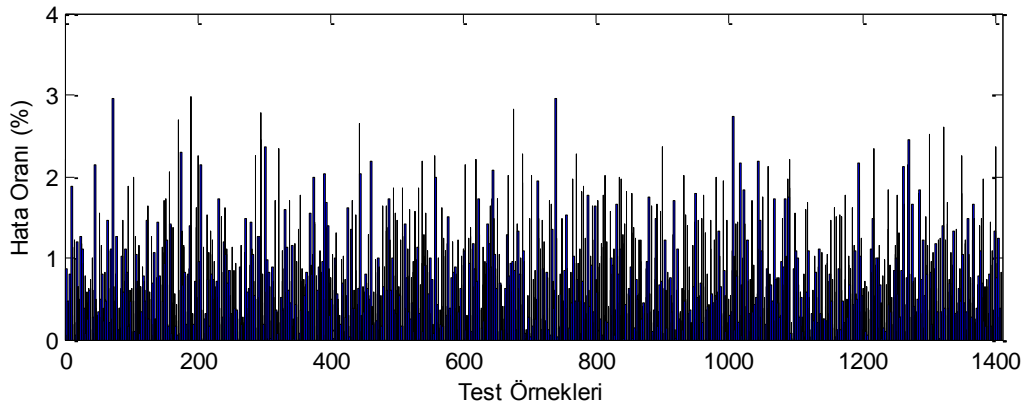
Tablo 5.18. EKKDVM algoritma parametreleri

Çekirdek Tipi	RBF Kernel
Düzenleştirme Parametresi (γ) – Gam	100
Çekirdek Parametresi (Sig σ)	1.5

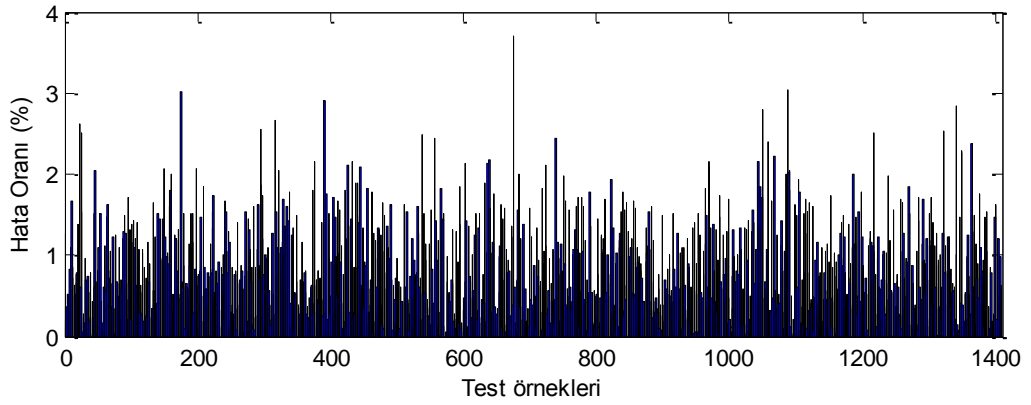
Tablo 5.19. EKKDVM algoritma parametreleri

Çekirdek Tipi	RBF Kernel
Düzenleştirme Parametresi (γ)	50
Çekirdek Parametresi (Sig σ)	1.1

Şekil 5.50 ile Şekil 5.51’de elde edilen tahmin sonuçları bara değişiminin 0.25, 0.75 ve 1.25 değerleri içindir. Şekil 5.50’de Bingöl barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden rastgele 1408 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu tahminlerin ortalama hatası %0.7102 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.51’de ise Bingöl barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 1408 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu tüm tahminlerin ortalama hatası ise 0.7324 olarak elde edilmiştir.

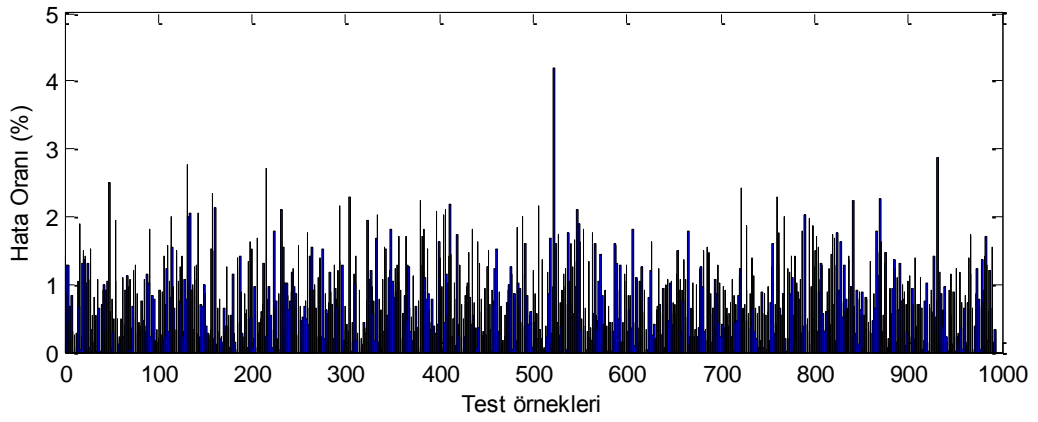


Şekil 5.50. Bingöl barasına ait YSA tahminleri

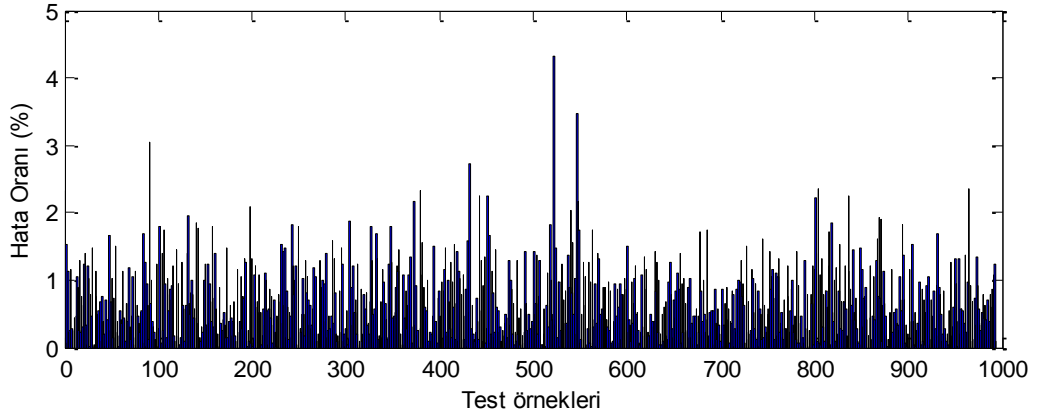


Şekil 5.51. Bingöl barasına ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.52 ile Şekil 5.53’de elde edilen tahmin sonuçları bara değişiminin 0.5, 1 ve 1.5 değerleri içindir. Şekil 5.52’de Bingöl barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden rastgele 993 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu tahminlerin ortalama hatası %0.7741 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.53’de ise Bingöl barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 993 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu tüm tahminlerin ortalama hatası ise 0.6537 olarak elde edilmiştir.

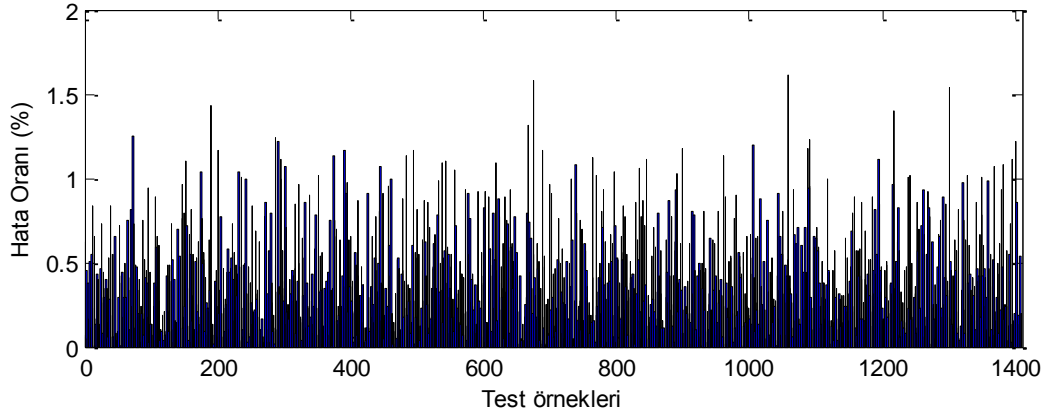


Şekil 5.52. Bingöl barasına ait YSA tahminleri

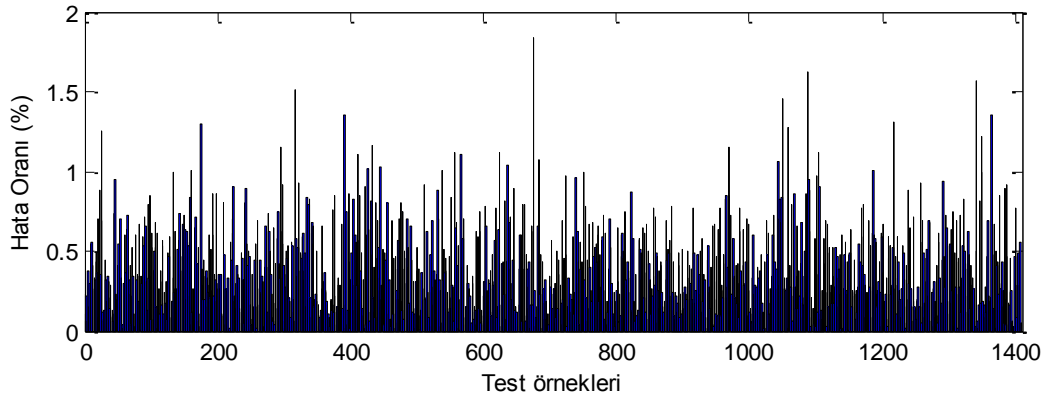


Şekil 5.53. Bingöl barasına ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.54 ile Şekil 5.55’de elde edilen tahmin sonuçları bara değişiminin 0.25, 0.75 ve 1.25 değerleri içindir. Şekil 5.54’de Özlüce yük barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 1408 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu 1408 adet tahminin ortalama hatası %0.3558 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.55’de ise Özlüce barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 1408 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu 1408 adet tahminin ise ortalama hatası ise %0.3351 olarak elde edilmiştir.

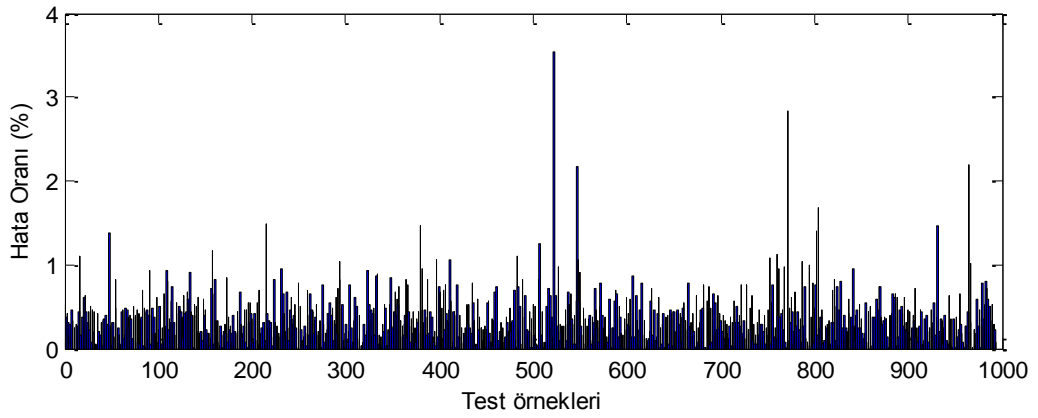


Şekil 5.54. Özlüce barasına ait YSA tahminleri

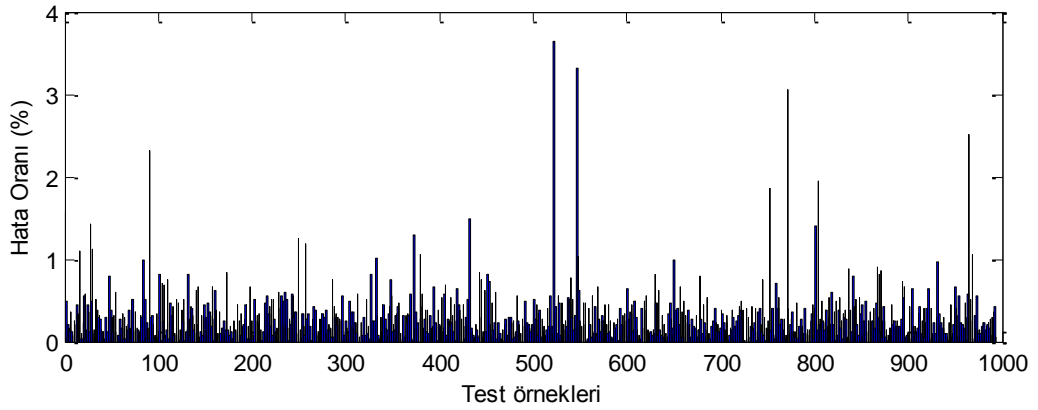


Şekil 5.55. Özlüce barasına ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.56 ile Şekil 5.57’de elde edilen tahmin sonuçları bara değişiminin 0.5, 1 ve 1.5 değerleri içindir. Şekil 5.56’da Özlüce yük barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden rastgele 993 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu tahminlerin ortalama hatası %0.3524 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.57’de ise Özlüce barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 993 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu tüm tahminlerin ortalama hatası ise 0.2884 olarak elde edilmiştir.

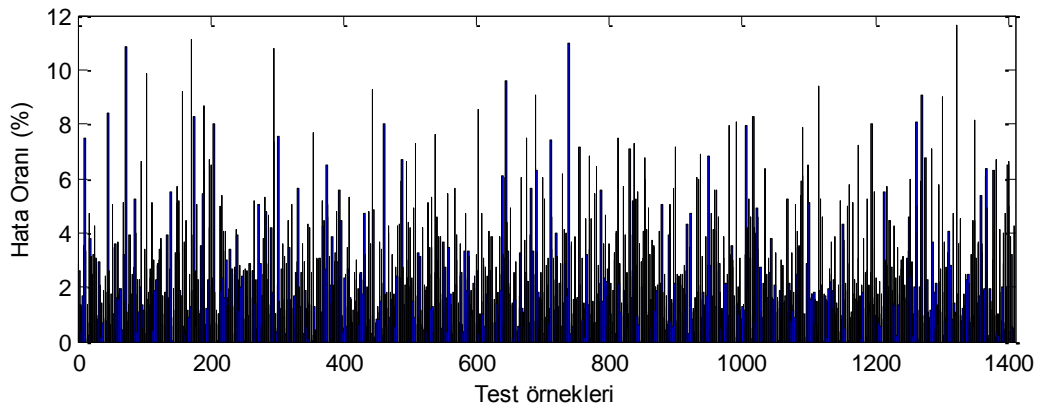


Şekil 5.56. Özlüce barasına ait YSA tahminleri

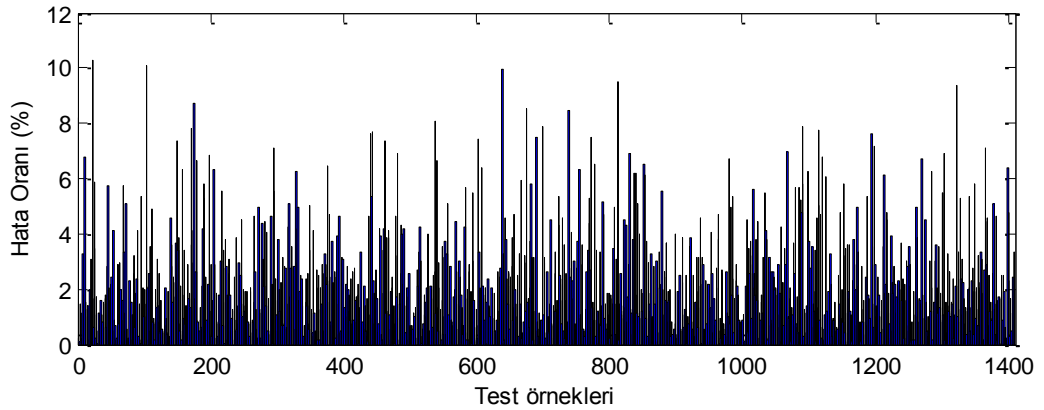


Şekil 5.57. Özlüce barasına ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.58 ile Şekil 5.59’da elde edilen tahmin sonuçları bara değişiminin 0.25, 0.75 ve 1.25 değerleri içindir. Şekil 5.58’de Muş yük barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden rastgele 1408 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu tahminlerin ortalama hatası %2.2176 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.59’da ise Muş barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 1408 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu tüm tahminlerin ortalama hatası ise 1.8816 olarak elde edilmiştir.

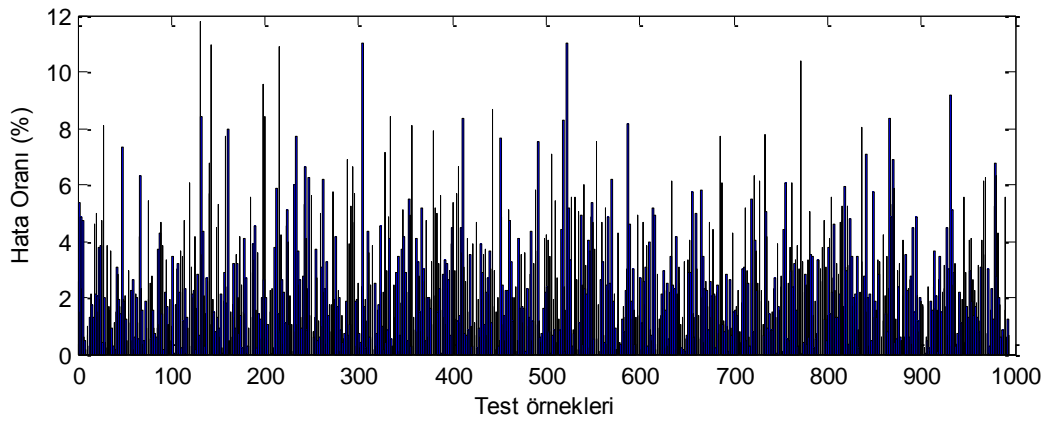


Şekil 5.58. Muş barasına ait YSA tahminleri

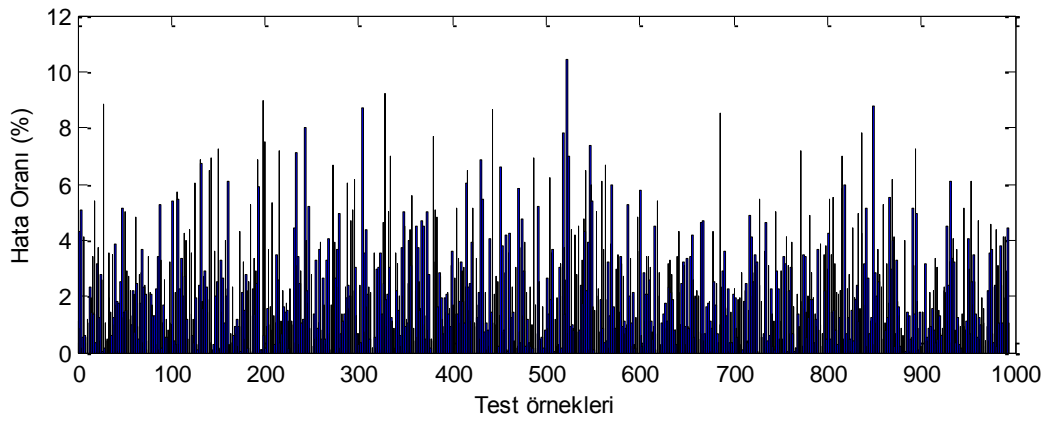


Şekil 5.59. Muş barasına ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.60 ile Şekil 5.61’de elde edilen tahmin sonuçları bara değişiminin 0.5, 1 ve 1.5 değerleri içindir. Şekil 5.60’da Muş barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden rastgele 993 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu tahminlerin ortalama hatası %2.3637 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.61’de ise Muş barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 993 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu tüm tahminlerin ortalama hatası ise 2.1168 olarak elde edilmiştir.

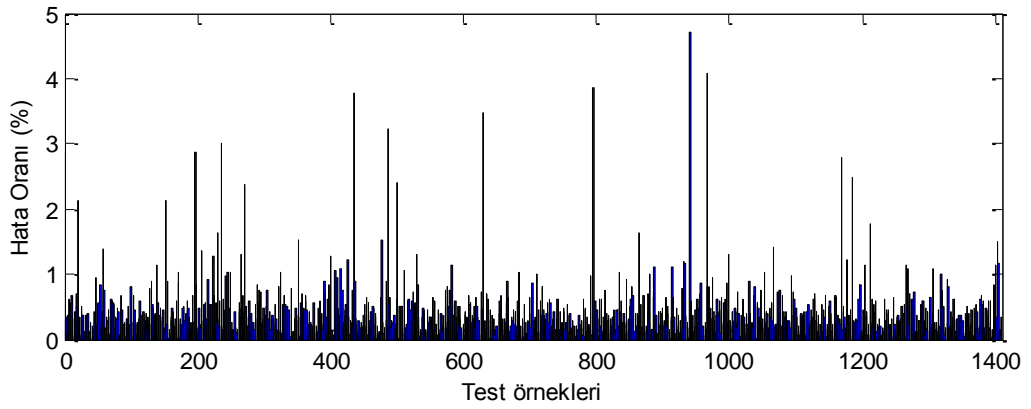


Şekil 5.60. Muş barasına ait YSA tahminleri

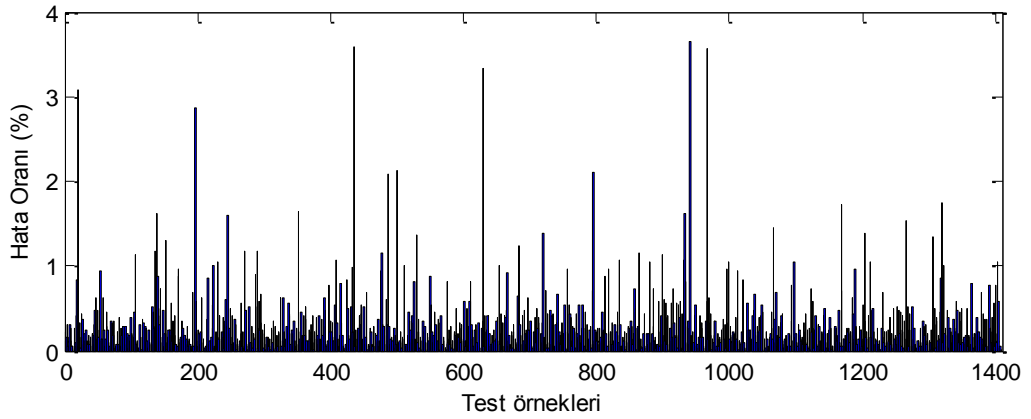


Şekil 5.61. Muş barasına ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.62 ile Şekil 5.63’de elde edilen tahmin sonuçları bara değişiminin 0.25, 0.75 ve 1.25 değerleri içindir. Şekil 5.62’de Tunceli barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden rastgele 1408 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu tahminlerin ortalama hatası %0.3479 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.63’de ise Tunceli barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 1408 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu tüm tahminlerin ortalama hatası ise 0.2460 olarak elde edilmiştir.

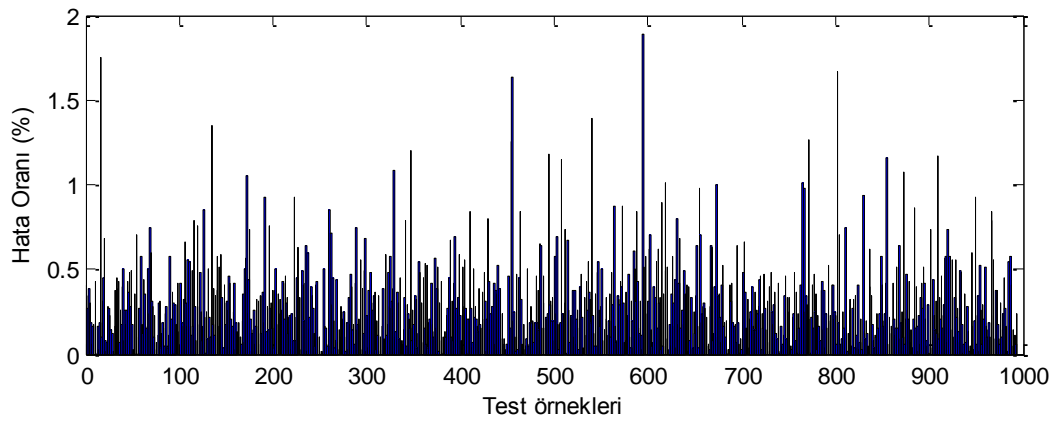


Şekil 5.62. Tunceli barasına ait YSA tahminleri

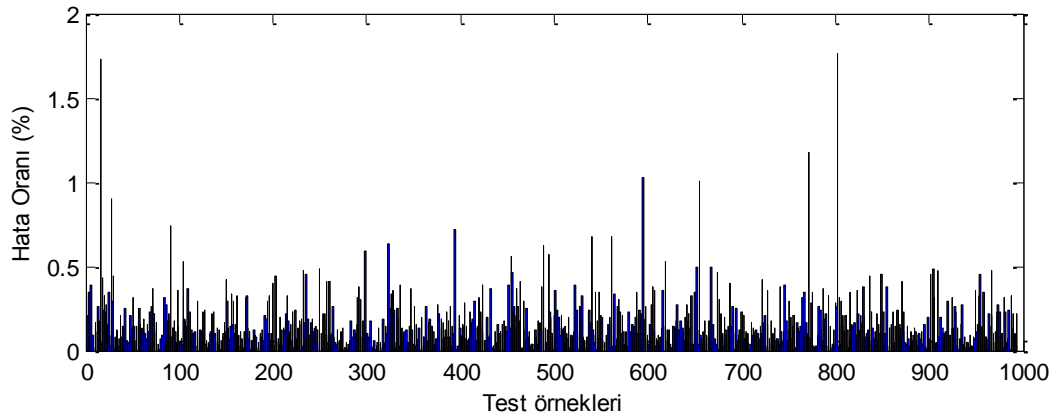


Şekil 5.63. Tunceli barasına ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.64 ile Şekil 5.65’de elde edilen tahmin sonuçları bara değişiminin 0.5, 1 ve 1.5 değerleri içindir. Şekil 5.64’de Tunceli barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden rastgele 993 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu tahminlerin ortalama hatası %0.2762 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.65’de ise Tunceli barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 993 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu tüm tahminlerin ortalama hatası ise 0.1403 olarak elde edilmiştir.

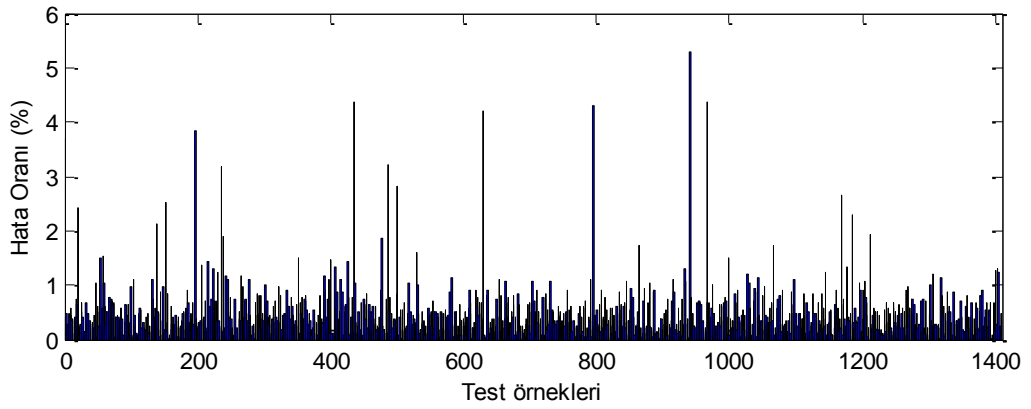


Şekil 5.64. Tunceli barasına ait YSA tahminleri

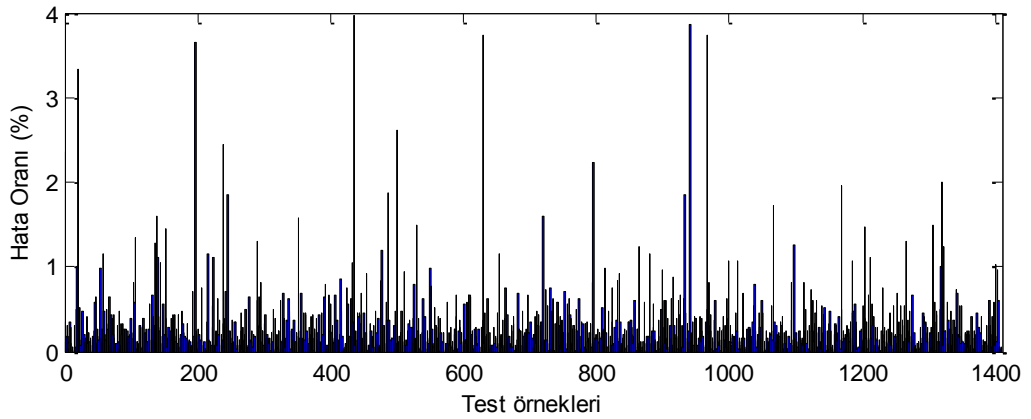


Şekil 5.65. Tunceli barasına ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.66 ile Şekil 5.67’de elde edilen tahmin sonuçları bara değişiminin 0.25, 0.75 ve 1.25 değerleri içindir. Şekil 5.66’da Pülümür barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden rastgele 1408 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu tahminlerin ortalama hatası %0.3912 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.67’de ise Pülümür barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 1408 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu tüm tahminlerin ortalama hatası ise 0.2646 olarak elde edilmiştir.

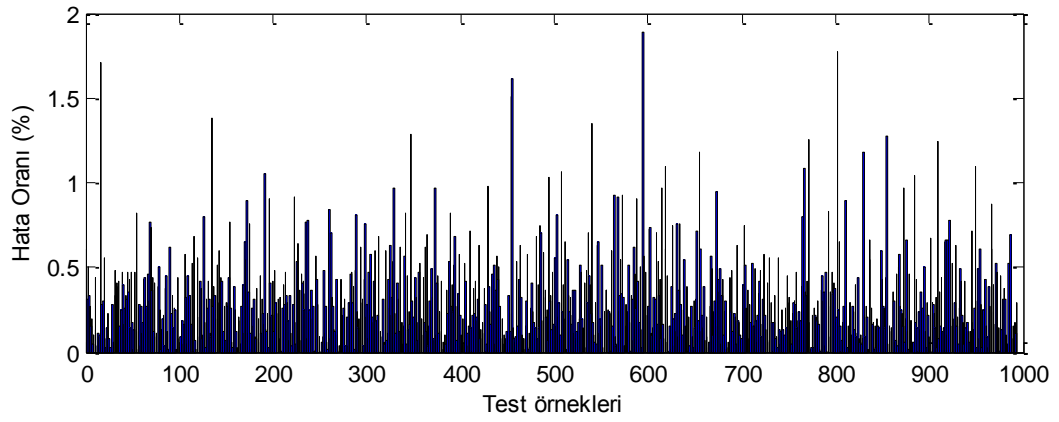


Şekil 5.66. Pülümür barasına ait YSA tahminleri

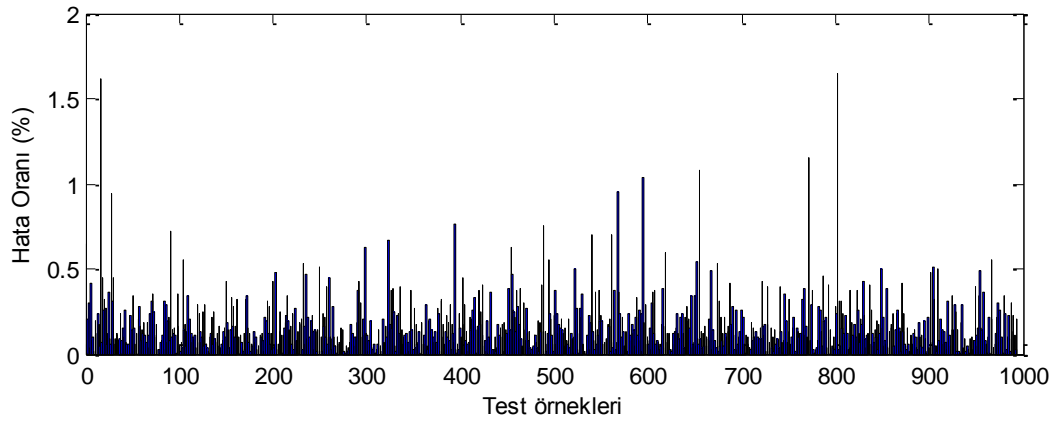


Şekil 5.67. Pülümür barasına ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.68 ile Şekil 5.69’da elde edilen tahmin sonuçları bara değişiminin 0.5, 1 ve 1.5 değerleri içindir. Şekil 5.68’de Pülümür yük barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden rastgele 993 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu tahminlerin ortalama hatası %0.2871 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.69’da ise Pülümür barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 993 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu tüm tahminlerin ortalama hatası ise 0.1486 olarak elde edilmiştir.

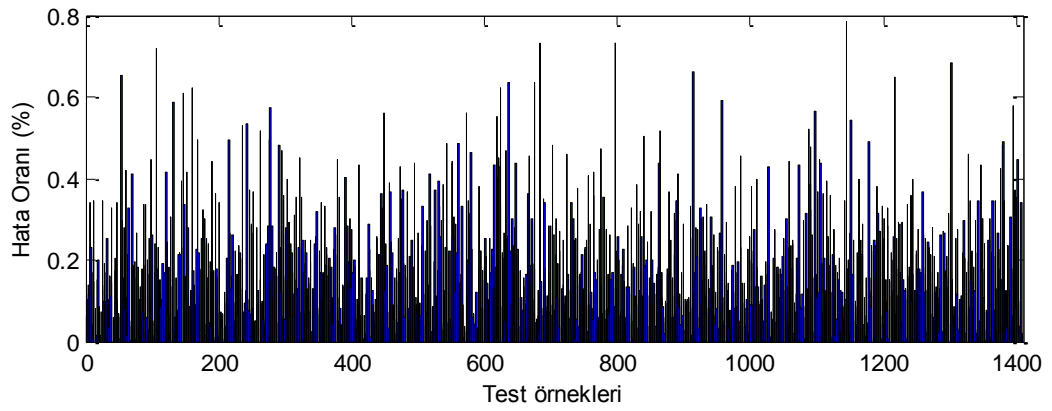


Şekil 5.68. Pülümür barasına ait YSA tahminleri

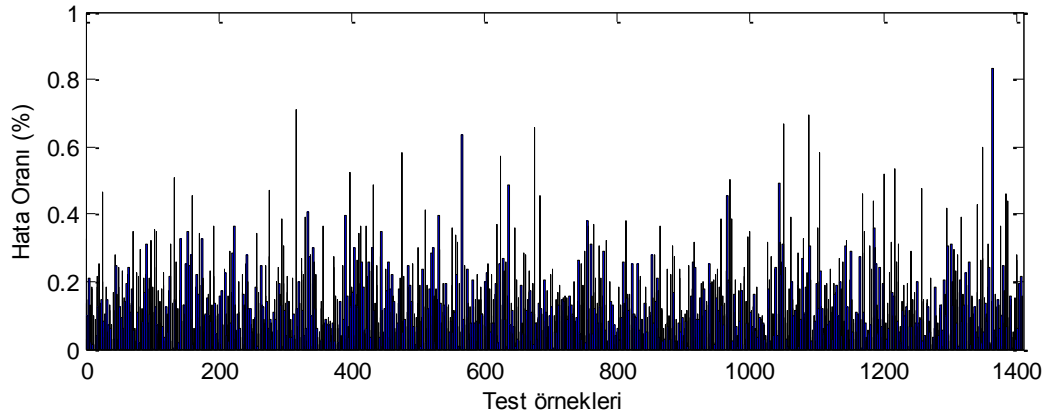


Şekil 5.69. Pülümür barasına ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.70 ile Şekil 5.71’de elde edilen tahmin sonuçları bara değişiminin 0.25, 0.75 ve 1.25 değerleri içindir. Şekil 5.70’de Mercan barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden rastgele 1408 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu tahminlerin ortalama hatası %0.1594 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.71’de ise Mercan barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 1408 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu tüm tahminlerin ortalama hatası ise 0.1289 olarak elde edilmiştir.

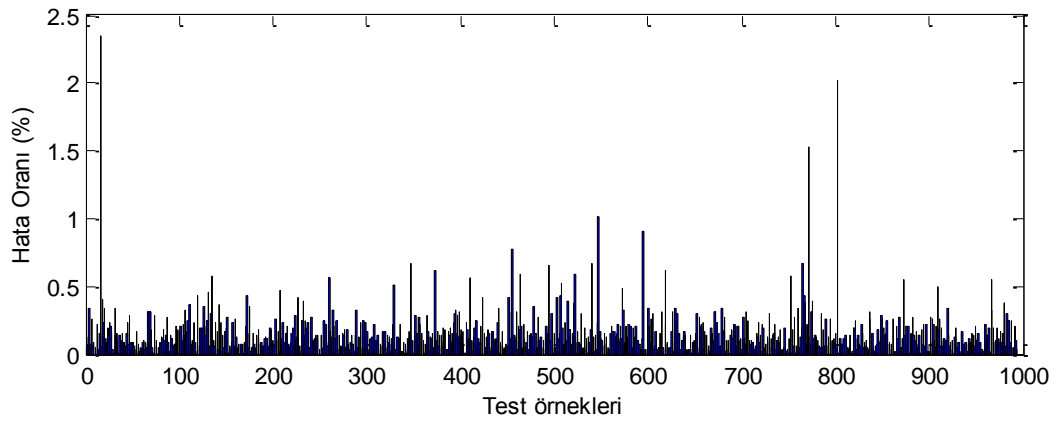


Şekil 5.70. Mercan barasına ait YSA tahminleri

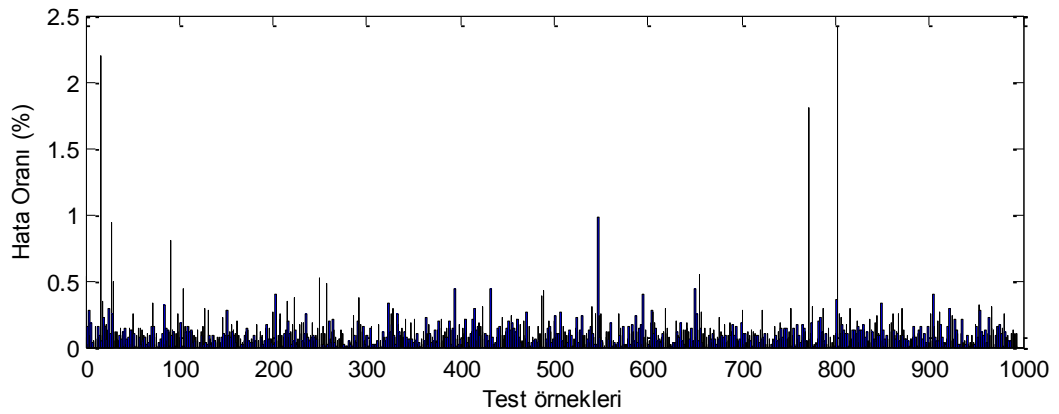


Şekil 5.71. Mercan barasına ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.72 ile Şekil 5.73’de elde edilen tahmin sonuçları bara değişiminin 0.5, 1 ve 1.5 değerleri içindir. Şekil 5.72’de Mercan barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden rastgele 993 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu tahminlerin ortalama hatası %0.1314 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.73’de ise Mercan barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 993 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu tüm tahminlerin ortalama hatası ise 0.1068 olarak elde edilmiştir.

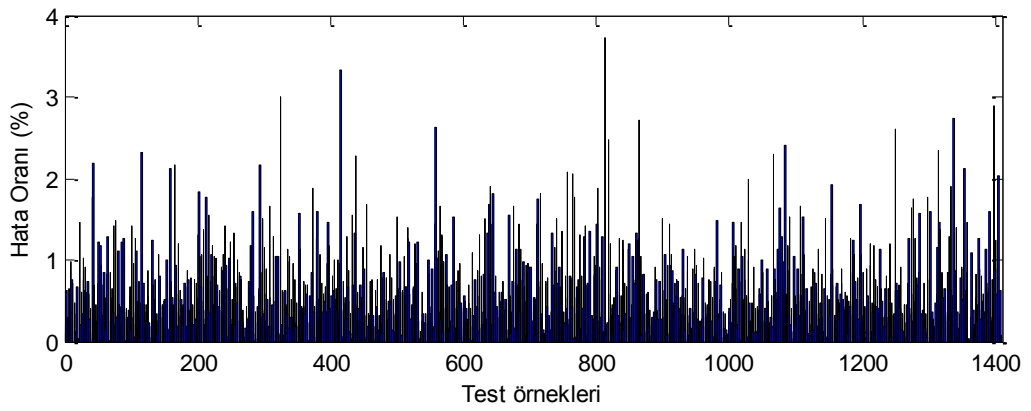


Şekil 5.72. Mercan barasına ait YSA tahminleri

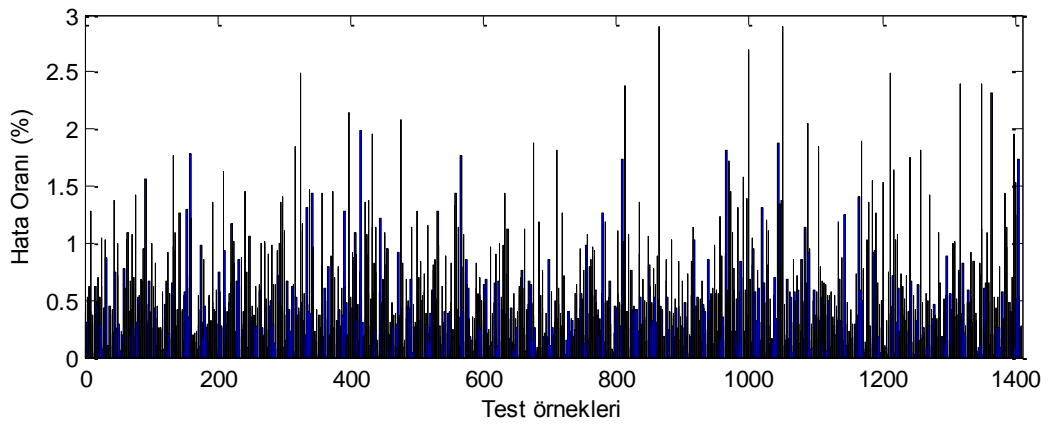


Şekil 5.73. Mercan barasına ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.74 ile Şekil 5.75’de elde edilen tahmin sonuçları bara değişiminin 0.25, 0.75 ve 1.25 değerleri içindir. Şekil 5.74’de Elazığ barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden rastgele 1408 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA’nın yapmış olduğu tahminlerin ortalama hatası %0.5460 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.75’de ise Elazığ barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 1408 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM’nin yapmış olduğu tüm tahminlerin ortalama hatası ise 0.4417 olarak elde edilmiştir.

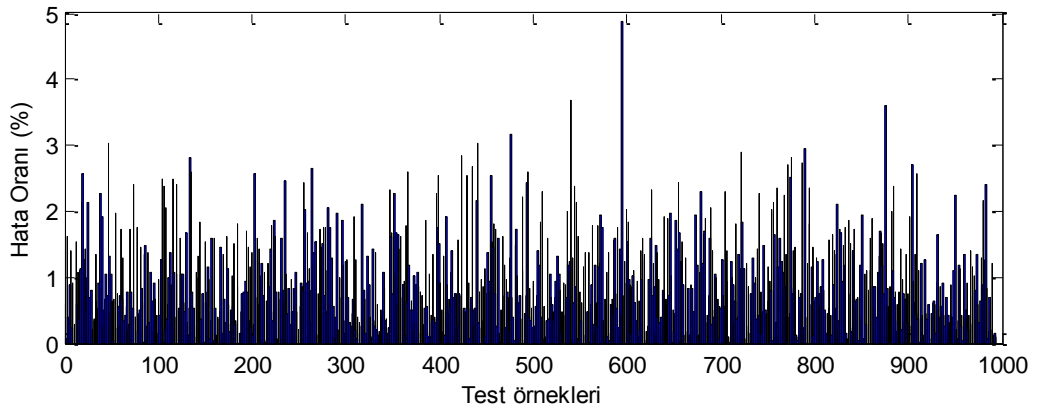


Şekil 5.74. Elazığ barasına ait YSA tahminleri



Şekil 5.75. Elazığ barasına ait EKKDVM tahminleri

Şekil 5.76 ile Şekil 5.77'de elde edilen tahmin sonuçları bara değişiminin 0.5, 1 ve 1.5 değerleri içindir. Şekil 5.76'da Elazığ barasına ait YSA algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden rastgele 993 tanesine ait hata miktarları gösterilmiştir. YSA'nın yapmış olduğu tahminlerin ortalama hatası %0.8759 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.77'de ise Elazığ barasına ait EKKDVM algoritmasının yapmış olduğu tahmin değerlerinden 993 tanesine ait hata miktarı gösterilmiştir. EKKDVM'nin yapmış olduğu tüm tahminlerin ortalama hatası ise 0.4708 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.76. Elazığ barasına ait YSA tahminleri



Şekil 5.77. Elazığ barasına ait EKKDVM tahminleri

BÖLÜM VI

6. SONUÇLAR

Gerilim kararlılığı kritik değerleri IEEE 14 baralı elektrik güç sistemi ve Kuzey Doğu Anadolu bölgesindeki Elazığ, Tunceli, Bingöl ve Muş illerinde bulunan bazı yük merkezlerini içine alacak şekilde oluşturulan 13 baralı bir gerçek sistem yardımıyla değişik yük koşulları için belirlenmiştir. Değişik yük koşulları yaratılırken yük baralarının aktif ve reaktif güç oranları %50 oranında artırılıp %50 oranında azaltılması ile sağlanmıştır. Bu şekilde IEEE 14 baralı sistemimizden 27498 farklı gerilim kararlılığı kritik değeri elde edilmiştir. Ayrıca aynı işlemler yardımıyla 13 baralı gerçek sistemimizin 7 adet yük barasının değiştirilmesi sonucu 0.25, 0.5 ve 1.25 çarpanları için 1908, 0.5, 1 ve 1.5 çarpanları için 1493 farklı gerilim kararlılığı değeri 7 ayrı bara için elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler yardımıyla farklı eğitim ve test verileri ile oluşturulan sistemlerde YSA ve EKKDVM algoritmalarının çalışma başarıları incelenmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında ortaya çıkan sonuçlar aşağıda verilmektedir.

1. Elektrik güç sistemlerinde bara gerilimi genlik değeri ile reaktif güç değeri arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Bu neden ile baranın reaktif güç değeri arttığında, aynı baranın gerilim değerlerinin de arttığı görülmektedir.
2. Elektrik güç sistemlerinde bir baraya ait yükün reaktif güç değeri artar ise o baranın gerilim kararlılığı kritik değerinin azaldığı görülmektedir.
3. Algoritmaların gerilim kararlılığı değerlerini tespit işlemlerinde YSA algoritması EKKDVM algoritmasına göre IEEE 14 baralı sistemde daha başarılı sonuçlar vermiştir.
4. Algoritmaların gerilim kararlılığı değerini tespit işlemlerinde EKKDVM algoritmasının YSA algoritmasına göre gerçek bir sistemde daha başarılı sonuçlar vermiştir.

5. Algoritmaların yaptıkları tespitlerde 13 baralı sistemin gerilim kararlılığı kritik değerlerinin tespitinde daha iyi sonuçlar vermişlerdir.
6. Algoritmaların gerilim kararlılığı kritik değerleri tespitlerinde, elektrik sisteminin merkezine uzak olan baraların değerlerindeki hata miktarı merkeze yakın olan baralara göre daha fazladır.
7. Eğitim için kullanılan veri sayısı artırıldığında YSA'nın gerilim kararlılığı kritik değer tespitinde yaptığı hata miktarı azalmıştır.
8. Eğitim için kullanılan veri sayısı artırıldığında EKKDVM algoritmasının gerilim kararlılığı kritik değer tespitinde yaptığı hata miktarı azalmıştır.
9. Yapılan eğitim ve test verileri ışığında YSA ve EKKDVM algoritmalarının bir güç sisteminde gerilim kararlılığı analizinde gayet iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda bir YSA ve bir EKKDVM algoritmasının bir elektrik güç sisteminde gerilim kararlılığı analizinde kullanılmasının gerilim kararlılığı kritik değerlerini oldukça doğru bir şekilde elde edildiği gösterilmiştir. İlk bölümlerde de belirtildiği gibi günümüz enerji sistemlerinde oldukça önemli bir parametre olan ve enerji sistemlerinin analizinde temel bir konu teşkil eden gerilim kararlılığı kritik değerlerinin elde edilmesinde YSA ve EKKDVM'ler oldukça başarılı sonuçlar vermektedirler. Bu bilgiler ışığında günümüzde hızlıca tahmini önemli olan gerilim kararlılığı kritik değerlerinin hesaplanmasında YSA ve EKKDVM kullanılması oldukça önemli katkılar sağlamaktadır.

7. KAYNAKLAR

- Demirören, A., Zeynelgil, L.,** 2004. Elektrik Enerji Sistemlerinin Kararlılığı Kontrolü ve Çalışması, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Harmand, Y.,** 1990. Analysis of a Voltage Collapse-Incident and Proposal for a Time Based Hiterarchical Containment Scheme, *CIGRE 1990 Session*, 26 August-1 September, 38/39-02.
- Johansson, S., Sjogren, F.,** 1995. The Influence of Generator Current Limiters on Load Tap Changers and Load Dynamics, *Voltage Collapse in Power Systems*, Chalmers University of Technology, Göteborg Sweden, 1995, ISBN:91-7197-119-X.
- Walve, K.,** 1986. Modelling of Power System Compenents at Severe Disturbance, *CIGRE SC38-18*, 1986.
- Damme, R,V,D.,** 1983. The Incident of August 4th 1982 of the Belgian Electricity System, *Intercom*, Semtember 12, 1983.
- Öztürk A.,** 2007. Güç Sistemlerindeki Gerilim Kararlılığının Genetik Algoritma ile İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Ocak 2007.
- Lee, C.Y., Tsai, T.C.,** 2004. An Investigation of Voltage Stability and Reactive Power Suply on Tai-Power System, *2004 International Conference on Power System Technology – POWERCON 2004*, Singapore, pp. 1245-1249.
- Steinmetz, C.P.,** 1920. Power control and stability of electric generating stations, *AIEE Trans.*, vol., XXXIX, Part II, pp. 1215–1287, July 1920.
- AIEE Subcommittee on Interconnections and Stability Factors,** 1926. First report of power system stability, *AIEE Trans.*, pp. 51–80.
- Vassell G. S.,** 1991. Northeast blackout of 1965, *IEEE Power Engineering Review*, pp. 4–8, Jan. 1991.

- IEEE Transactions On Power Systems**, 2004. Definition and Classification of Power System Stability, VOL. 19, NO. 2, MAY 2004.
- Kundur P., 1994.** Power System Stability and Control, New York, McGraw- Hill.
- Vorotnikov V. I., 1998.** Partial Stability and Control, Cambridge, MA: Birkhauser.
- Rumyantsev V.V., Osiraner A. S., 1987.** Stability and Stabilization of Motion With Respect to a Part of the Variables, Moscow, Nauka, Russia.
- Rouche, N. Habets, P. Laloy M., 1977.** Stability Theory by Liapunov's Direct Method, New York, Springer.
- Cigre Task Force 38.01.07 on Power System Oscillations, 1996.** Analysis and control of power system oscillations, *CIGRE Technical Brochure*, No. 111, Dec. 1996.
- IEEE PES Working Group on System Oscillations, 1995.** Power System Oscillations, *IEEE Special Publication*, 95-TP-101, 1995.
- Van Cutsem T., Vournas C., 1998.** *Voltage Stability of Electric Power Systems*. Norwell, MA: Kluwer.
- Taylor C. W., 1994.** *Power System Voltage Stability*. New York: McGraw-Hill.
- IEEE Special Publication, 1990.** Voltage Stability of Power Systems: Concepts, Analytical Tools, and Industry Experience, 90TH0358-2-PWR.
- Van Cutsem T., 2000.** Voltage instability: Phenomenon, countermeasures and analysis methods, *Proc. IEEE*, vol. 88, pp. 208–227.
- Hill D. J., 1993.** Nonlinear dynamic load models with recovery for voltage stability studies, *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 8, pp. 166–176, Feb. 1993.
- Van Cutsem T., Mailhot, R., 1997.** Validation of a fast voltage stability analysis method on the Hydro-Quebec System, *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 12, pp. 282–292, Feb. 1997.

- Ainsworth, J.D., Gavrilovic, A., and Thanawala, H.L.,** 1980. Static and synchronous compensators for HVDC transmission convertors connected to weak AC systems, *28th Session CIGRE*, 1980, Paper 31–01.
- CIGRE Working Group 14.05 Report,** 1992. Guide for Planning DC Links Terminating at AC Systems Locations Having Low Short-Circuit Capacities Part I: AC/DC Interaction Phenomena, *CIGRE Guide*, No. 95.
- CIGRE Working Group 14.05 Report,** 1997. Interaction between HVDC convertors and nearby synchronous machines, *CIGRE Brochure*, 119, Oct. 1997.
- Morison, G.K., Gao, B., and Kundur, P.,** 1993. Voltage stability analysis using static and dynamic approaches, *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 8, pp. 1159–1171, Aug. 1993.
- Gao, B., Morison, G.K., Kundur, P.,** 1996. Toward the development of a systematic approach for voltage stability assessment of large-scale power systems, *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 11, pp. 1314–1324, Aug. 1996.
- Hill, D.J., Lof, P.A., Anderson, G.,** 1990. Analysis of long-term voltage stability, *Proc. 10th Power Systems Computation Conf.*, pp. 1252–1259, Aug. 1990.
- Ajjarapu, V., and Christy, C.,** 1991. The continuation power flow: A tool for steady state voltage stability analysis, *Proc. IEEE Power Industry Computation Application Conf.*, pp. 304–311, May 1991.
- Lof, P.A., Smed, T., Andersson, G., and Hill, D.J.,** 1992. Fast calculation of a voltage stability index, *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 7, pp. 54–64, Feb. 1992.
- Begovic, M., Milosevic, B., Novosel, D., Member, S.,** 2002. A Novel Method for Voltage Instability Protection, *Proceedings of the 35 th Hawaii International Conference on System Science*, Hawaii.
- Cigre Task Force 38-02-12,** 1994. Criteria and Countermeasures for Voltage Collapse, Preprint, April 1994.

- Cigre Task Force 38-02-10**, 1993. Modelling of Voltage Collapse Including Dynamic Phenomena, *Summary in Electra*, No.147, April 1993.
- IEEE Committee Report**, 1990. Voltage Stability of Power System: Concepts Analytical Tools, and Industry Experience, *IEEE/PES*, 90TH0358-2-PWR.
- Huang, J.S., Chang, C.S.**, 1998. Worst-Case Identification of Reactive Power Margin and Local Weakness of Power System, *Electric Power Research* 44, 77-83.
- Hatziargyriou, N., Karapidakis, E., Hatzifotis, D.**, 1998. Frequency stability of power system in large islands with high wind power penetration, *Bulk Power Syst. Dynamics Control Symp.—IV Restructuring*, vol. PAS-102, Aug. 24–28, 1998, Santorini, Greece.
- CIGRE Task Force 38.02.14 Rep.**, 1999. Analysis and Modeling Needs of Power Systems Under Major Frequency Disturbances, Jan. 1999.
- Kundur P., Lee, D.C., Bayne, J. P., and Dandeno, P. L.**, 1985. Impact of turbine generator controls on unit performance under system disturbance conditions, *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-104, pp. 1262–1267, June 1985.
- Chow, Q.B., Kundur, P., Acchione, P.N., and Lautsch, B.**, 1989. Improving nuclear generating station response for electrical grid islanding, *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. EC-4, pp. 406–413, Sept. 1989.
- Kundur P.**, 1981. A survey of utility experiences with power plant response during partial load rejections and system disturbances, *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-100, pp. 2471–2475, May 1981.
- IEEE Committee Report**, 1983. Guidelines for enhancing power plant response to partial load rejections, *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-102, pp. 1501–1504, June 1983.

- Repo, S.**, 2001. On-Line Voltage Stability Assessment of Power System an Approach of Black –Box Modelling, *Phd. Thesis*, Tampere Univrsity of Technology, Publication 344, Tampere, 2001.
- Baek, Y.S., Gu, M.Y.**, 2004. Optimal Placement for Facts to Improve Static Voltage Stability, *KIEE International Transactions on Power System*, Vol.4- A No.3, pp.141-145.
- Yalçın, M.A.**, 1995. Enerji İletim Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşım ile İncelenmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü., F.B.E..
- Johansson, S.**, 1998. Long-Term Voltage Stability in Power Systems Alleviating the Impact of Generator Current Limiters, *Doctoral Thesis*, Technical Report No 235, Department of Electric Power Engineering School of Electrical and Computer Engineering, Chalmers University of Technology.
- Ayasun, S.**, 2004. Tekil Noktaların Güç Sistemlerinin Dinamiğine Olan Etkileri, *Elektrik –Elektronik- Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, pp. 28-31.
- Çakır, H.**, 1986. Enerji İletimi(Elektrik Hesapları), Nesil Matbaacılık, İstanbul.
- Kalenderli, Ö., Kocatepe, C.**, 2005. Çözümlü Problemlerle Yüksek Gerilim Tekniği Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Güney İ., AY, S.**, 1994. Çözümlü Enerji İletim Hatları Problemleri, Marmara Üniversitesi Yayın, İstanbul.
- Elgerd, O.I.**, 1971. Electric Energy Systems Theory An Introduction, McGraw-Hill Book Campany.
- Gönen, T.**, 1988. Electric Power Transmission System Engineering Analysis and Design, *John Willey&Sons Inc.*
- Glavic, M.**, 2003. Power Sytem Voltage Stability A short Tutorial, University of Liege, Electrical Engineering and Computer Science Department.

- Fu, Y., Chung, T.S., Li, X.Y.,** 1997. An Improved Approach To Voltage Stability Analysis Via Network Equivalence, *Proceedings of The 4th International Conference on advances in Power System Control, Operation and Management*, APSCOM-97, pp. 231-235, Hong Kong.
- Eminoğlu, U.,** 2007. Dağıtım Sistemleri İçin Yeni Bir Gc Akışı Algoritmasının Geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Ocak 2007.
- Keskin, M.B.,** 2007. Continuation Power Flow And Voltage Stability In Power Systems, *Yüksek Lisans Tezi*, O.D.T.., Eylül 2007.
- Rosehart, W.D., and Cañizares, C.A.,** 1999. Bifurcation Analysis of Various Power System Models, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 21, No. 3, March 1999, pp. 171-182.
- Cañizares, C.A.,** 1991. Voltage Collapse and Transient Energy Function Analyses of AC/DC Systems, *Doctoral Dissertation*, University of Wisconsin-Madison.
- Ajjarapu, V., and Christy, C.,** 1992. The Continuation Power Flow: A Tool for Steady State Voltage Stability Analysis, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 7, No. 1, February 1992, pp.416-423.
- Bergen A. R.,** 2000. Power System Analysis, Prentice Hall.
- Seydel, R.,** 1988. From Equilibrium to Chaos, Elsevier.
- Rheinboldt, W. C., and Burkardt, J.V.,** 1983. A Locally Parameterized Continuation Process, *ACM Transactions on Mathematical Software*, Vol. 9, No. 2, June 1983, pp. 215-235.
- Elmas, .,** 2003. Yapay Sinir Ağları, Sekin Yayıncılık San. Tic. A.ř., Ankara.
- URL – 1** www.yyu1302.pyturk.com/Yapay%20Sinir%20Ağlari/nntoolbox.doc 10 Kasım 2012
- URL - 2** www.esat.kuleuven.be/sista/LSSVmlab/ 15 Eylül 2012

Suykens, J.A.K., Vandewalle, J., 1999. Least squares support vector machine classifiers, *Neural Processing Letters*, 9 (3), 293-300.

Vapnik, V., 1995. The nature of statistical learning theory, Springer-Verlag, New York.

Milano, F., 2006. An Open Source Power System Analysis Toolbox, Montreal, Haziran 2006.

8. ÖZGEÇMİŞ

Burak YILDIRIM, 1985 yılında Elazığ'da doğmuştur. 2002 yılında Fırat Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başlamış ve 2006 yılında mezun olmuştur. 2006 yılında askerlik görevini Şırnak ilinde kısa dönem olarak yapmıştır. 2007 yılında Adana ilinde elektrik tesisleri, 2008,2009 ve 2010 yıllarında Gaziantep ilinde elektrik arıza ve tesis işlerinde çalışmıştır. 2011 yılında Bingöl Üniversitesinde öğretim görevlisi olarak çalışmaya başlamış ve halen bu görevde çalışmaktadır. 2012 yılında evlenmiştir.