57514

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# GERİLİM KARARLILIĞI GÜVENİLİRLİĞİNİN EKSPERT SİSTEMLERLE İNCELENMESİ

Elk. Yük. Müh. **Mustafa SAVAŞAN**

F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanan

**DOKTORA TEZİ**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nusret YÜKSELER

İSTANBUL , 1996

**İÇİNDEKİLER**


ŞEKİL LİSTESİ ..... VII
TABLO LİSTESİ ..... IX
GRAFİK LİSTESİ ..... XI
KISALTMALAR LİSTESİ ..... XXV
TEŞEKKÜR ..... XXVI
ÖZET ..... XXVII
ABSTRACT ..... XXIX
1. GİRİŞ ..... 1
2. GENEL KAVRAMLAR ..... 3
2.1. Gerilim Kararlılığına Giriş ..... 3
2.2. Gerilim Kararlılığı, Gerilim Çökmesi ve Gerilim Güvenilirliği ..... 4
2.3. Bir Enerji İletim Hattındaki Akım ve Gerilim İlişkisi ..... 5
2.4. Enerji İletim Hatlarının Gösterimi ve Modellenmesi ..... 5
2.5. Orta Uzunluktaki Hatlar ..... 7
2.6. Bir İletim Hattındaki Enerji Akışı ..... 11
3. ENERJİ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK ..... 18
3.1. Kararlılık Sorunu ..... 18
3.2. Kararlılık Çalışmaları ..... 20
3.3. Kararlılık Sınırları ..... 22
4. GERİLİM KARARLILIĞI ..... 24
4.1. Gerilim Kararlılığına İlişkin Temel Kavramlar ..... 25
4.2. Gerilim Kararlılığı Karakteristikleri ..... 25
4.3. Gerilim Kararlılığının Sınıflandırılması ..... 28
4.4. Gerilim Kararlılığının Zaman Çizelgesi ..... 29
4.5. Modelleme Gereksinimleri ..... 30
4.5.1. Yükler ..... 30
4.5.2. Generatörler ve Tahrik Kontrolleri ..... 30
4.5.2. Statik VAr Sistemi (SVS) ..... 30

4.5.3. Otomatik Üretim Kontrolu (AGC) ..... 31
4.5.4. Koruma ve Kontroller..... 31
4.6. Dinamik Analiz..... 31
4.7. Kararsızlığa Yakınsamanın Saptanması..... 32
5. GERİLİM KARARLILIĞI ANALİZLERİ..... 34
5.1. Gerilim Kararlılığı Analizine Giriş; P-V Grafikleri..... 35
5.2. Gerilim Kararlılığı Analizine Giriş; V-Q Grafikleri..... 36
5.3. V-Q Grafikleri İçin İşlem Adımları..... 41
6. GERİLİM ÇÖKMESİ..... 43
6.1. Gerilim Çökmesinin Tipik Senaryosu..... 43
6.2. Gerçek Olaylara Dayalı Genel Karakteristikler..... 44
6.3. Gerilim Çökmesinin Önlenmesi..... 46
6.3.1 Sistem Tasarım Tedbirleri..... 46
6.3.2. Sistem Çalışma Toleransı..... 48
7. KRİTİK DEĞERLER..... 50
8. SERİ KOMPANZASYON..... 52
8.1. Dağıtım Şebekelerinde Gerilim Kontrolü..... 53
8.2. Gerilim Kararsızlığında İleri Noktalar..... 53
8.3. Sürekli Hal Kararsızlığına Dayalı Gerilim Regülatörleri..... 54
9. YÜKLERİN KARARLILIĞI..... 55
10. EKSPERT SİSTEMLER VE BİLGİSAYAR KULLANIMI..... 59
10.1. Ekspert Sistem Nedir? ..... 59
10.2. Ekspert Sistemlerin Avantajları..... 61
10.3 Karar Destek Sisteminin Bir Parçası Olarak Ekspert Sistemler..... 62
10.4. Bir Ekspert Sistemin Dış Dünya İle Bağlantısı..... 63
10.5. Kullanıcı Arayüzü..... 64
10.6. Gerçek Zamanlı Ekspert Sistemler İçin Gereksinimler..... 64
10.6.1. Cevap Hızı..... 64
10.6.2. Yarıda Kesilebilme..... 64
10.7. Ekspert Sistemlerin Performansı..... 65

10.7.1. Algılayıcı..... 65
10.7.2. Kullanılmayan Veriler..... 65
10.7.3. Bilgi Devamlılığı..... 65
10.7.4. Modelleme ve Simulasyon..... 65
11. OTOMATİK ARIZA TESPİTİ VE EKSPERT SİSTEM KULLANIMI..... 66
11.1. Ekspert Sistemlerin Arıza Tespitinde ve Kontrolde Kullanımı..... 66
11.2. Dağıtım Şebekelerinde Reaktif Enerji Kontrolü İçin Bir Ekspert Sistem... 67
11.3. Çıkarsama Motoru..... 69
11.4. Arıza Yeri Belirleme Tekniği..... 73
11.5. Arıza Yerinin Hesaplanması..... 74
12. SAYISAL UYGULAMA..... 79
12.1. Gerilim - Akım İlişkileri ve Genelleştirilmiş Devre Sabitleri..... 80
12.2. $P_S$-$V_S$ Eğrilerinin Elde Edilmesi..... 83
12.3. $P_S$-$V_S$ (Güç- Gerilim) Karakteristik Eğrilerinin Çizim Programı..... 84
12.4. Arıza Simulasyon Programı..... 85

TARTIŞMA VE SONUÇLAR..... 91
KAYNAKLAR..... 95
EKLER ..... 98
ÖZGEÇMİŞ

## ŞEKİL LİSTESİ

**Şekil 1.1.** Hattın genel şeması ..... 2

**Şekil 2.1.** Bir enerji iletim hattındaki dengeli Y yükünü besleyen generatör ..... 5
**Şekil 2.2.** Orta uzunluktaki hatların π ve T gösterimi ..... 7
**Şekil 2.3.** Orta uzunluktaki bir hattın Nominal π devresi ..... 8
**Şekil 2.4.** Orta uzunluktaki bir iletim hattının Nominal T devresi ..... 9
**Şekil 2.5.** Denklem (2.16)'daki fazörlerin kompleks düzlemde açı ve büyüklükleri belirtilerek çizimi ..... 12
**Şekil 2.6.** Şekil (2.5)'in koordinat ekseni merkezinin kaydırılması ile elde edilen güç diyagramı ..... 13
**Şekil 2.7.** Alıcı uçtaki gerilimin, $V_R$, sabit bir değeri ve farklı $V_S$ değerleri için oluşan alıcı uç güç dairelerinin bir ailesi. ..... 16

**Şekil 4.1.** 17 Mayıs 1985'te Güney Florida'da meydana gelen sistem çökmesindeki gerilim ve frekans değerleri ..... 24
**Şekil 4.2.** (a) **P + j*Q** yükünü besleyen bir hattın eşdeğer devresi
(b) Sabit bir güç katsayısında yük gerilimi ile çekilen enerji arasındaki ilişki. Hattın termal durumları da gösterilmiştir. ..... 26
**Şekil 4.3.** Gerilim kararlılığı olayının zaman çizelgesi ..... 29

**Şekil 5.1.** Sabit (sonsuz) bir enerji kaynağı ve reaktans bir şebeke için normalize edilmiş P-V grafikleri. ..... 36
**Şekil 5.2.** Sabit (sonsuz) bir enerji kaynağı ve reaktans bir şebeke için normalize edilmiş V-Q grafikleri. Yükler sabit enerjidedir. ..... 37
**Şekil 5.3.** Reaktif enerji toleransları ..... 39
**Şekil 5.4.** Gerilime hassas yükler ve sınırdaki kademe değiştiricilerin etkisini gösteren V-Q grafikleri. ..... 40

**Şekil 5.5.** Gerilime aşırı hassas yük durumunda kondansatör yığınlarının devreye sokulmasının bir P-V grafiğinin tabanındaki etkisi. ..... 42

**Şekil 9.1.** Gerilime bağlı yükten oluşan bir sistem ..... 55
**Şekil 9.2.** Şekil (9.1)'de görülen sistemin E-V karakteristiği ..... 56
**Şekil 9.3.** V-X karakteristiği ..... 57

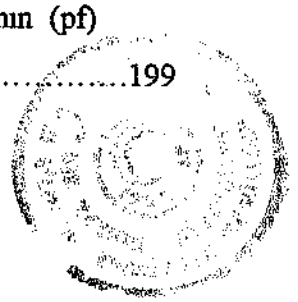
**Şekil 10.1.** İlk Nesil Bir Ekspert Sistem. ..... 60
**Şekil 10.2.** Bütünleştirilmiş bir Karar Destek ve Ekspert Sistem Şeması ..... 63

**Şekil 11.1.** Örnek bir Ekspert Sistem konfigurasyonu ..... 69
**Şekil 11.2.** Örnek Sistem konfigurasyonu ..... 70
**Şekil 11.3.** Arıza tespiti için genel akış çizelgesi ..... 75
**Şekil 11.4.** Hesaplama ünitesine aktarılacak ölçümler ..... 78

**Şekil 12.1.** Hesaplamalarda kullanılan devre modelleri ..... 82
**Şekil 12.2.** $P_S$ - $V_S$ Karakteristik Eğrileri Çizim Programının Grafik Çizim Ekranı Hesaplamalarda kullanılan devre modelleri ..... 85
**Şekil 12.3.** $P_S$ - $V_S$ Karakteristik Eğrileri Çizim Programının Mod Seçim Ekranı ..... 86
**Şekil 12.4.** Arıza Simulasyon Programı ..... 87

## TABLO LİSTESİ

**Tablo 1.1.** 1 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilim ($V_{SCRIT}$) değerleri.....100
**Tablo 1.2.** 1 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) değerleri.....102
**Tablo 1.3.** 1 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık kritik açı ($Delt_{CRIT}$) değerleri.....104
**Tablo 2.1.** 2 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilim ($V_{SCRIT}$) değerleri.....128
**Tablo 2.2.** 2 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) değerleri.....130
**Tablo 2.3.** 2 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık kritik açı ($Delt_{CRIT}$) değerleri.....132
**Tablo 3.1.** 3 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilim ($V_{SCRIT}$) değerleri.....156
**Tablo 3.2.** 3 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) değerleri.....158
**Tablo 3.3.** 3 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık kritik açı ($Delt_{CRIT}$) değerleri.....160
**Tablo 4.1.** 4 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilim ($V_{SCRIT}$) değerleri.....175
**Tablo 4.2.** 4 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) değerleri.....177
**Tablo 4.3.** 4 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık kritik açı ($Delt_{CRIT}$) değerleri.....179
**Tablo 5.1.** 5 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilim ($V_{SCRIT}$) değerleri.....197
**Tablo 5.2.** 5 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) değerleri.....199



**Tablo 5.3.** 5 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık kritik açı ($Delt_{CRIT}$) değerleri.....201
**Tablo 6.1.** 6 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilim ($V_{SCRIT}$) değerleri.....219
**Tablo 6.2.** 6 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) değerleri.....221
**Tablo 6.3.** 6 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık kritik açı ($Delt_{CRIT}$) değerleri.....223
**Tablo 7.1.** 7 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilim ($V_{SCRIT}$) değerleri.....241
**Tablo 7.2.** 7 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) değerleri.....243
**Tablo 7.3.** 7 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık kritik açı ($Delt_{CRIT}$) değerleri.....245

## GRAFİK LİSTESİ

**Grafik 1.1.** 1 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilim ($V_{SCRIT}$) eğrileri.....101

**Grafik 1.2.** 1 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) eğrileri.....103

**Grafik 1.3.** 1 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık kritik açı ($Delt_{CRIT}$) eğrileri.....105

**Grafik 1.4.1.** 1 nolu Mod ve 0.00'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....106

**Grafik 1.4.2.** 1 nolu Mod ve 0.05'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....107

**Grafik 1.4.3.** 1 nolu Mod ve 0.10'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....108

**Grafik 1.4.4.** 1 nolu Mod ve 0.15'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....109

**Grafik 1.4.5.** 1 nolu Mod ve 0.20'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....110

**Grafik 1.4.6.** 1 nolu Mod ve 0.25'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....111

**Grafik 1.4.7.** 1 nolu Mod ve 0.30'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....112

**Grafik 1.4.8.** 1 nolu Mod ve 0.35'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....113
**Grafik 1.4.9.** 1 nolu Mod ve 0.40'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....114
**Grafik 1.4.10.** 1 nolu Mod ve 0.45'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....115
**Grafik 1.4.11.** 1 nolu Mod ve 0.50'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....116
**Grafik 1.4.12.** 1 nolu Mod ve 0.55'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....117
**Grafik 1.4.13.** 1 nolu Mod ve 0.60'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....118
**Grafik 1.4.14.** 1 nolu Mod ve 0.65'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....119
**Grafik 1.4.15.** 1 nolu Mod ve 0.70'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....120
**Grafik 1.4.16.** 1 nolu Mod ve 0.75'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....121
**Grafik 1.4.17.** 1 nolu Mod ve 0.80'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....122

**Grafik 1.4.18.** 1 nolu Mod ve 0.85'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....123
**Grafik 1.4.19.** 1 nolu Mod ve 0.90'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....124
**Grafik 1.5.1.** 1 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilimi ($V_{SCRIT}$) eğrileri.....125
**Grafik 1.5.2.** 1 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) eğrileri.....126
**Grafik 1.5.3.** 1 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik açı ($Delt_{CRIT}$) eğrileri.....127

**Grafik 2.1.** 2 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilim ($V_{SCRIT}$) eğrileri.....129
**Grafik 2.2.** 2 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) eğrileri.....131
**Grafik 2.3.** 2 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık kritik açı ($Delt_{CRIT}$) eğrileri.....133
**Grafik 2.4.1.** 2 nolu Mod ve 0.00'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....134
**Grafik 2.4.2.** 2 nolu Mod ve 0.05'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....135
**Grafik 2.4.3.** 2 nolu Mod ve 0.10'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....136

**Grafik 2.4.4.** 2 nolu Mod ve 0.15'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....137
**Grafik 2.4.5.** 2 nolu Mod ve 0.20'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....138
**Grafik 2.4.6.** 2 nolu Mod ve 0.25'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....139
**Grafik 2.4.7.** 2 nolu Mod ve 0.30'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....140
**Grafik 2.4.8.** 2 nolu Mod ve 0.35'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....141
**Grafik 2.4.9.** 2 nolu Mod ve 0.40'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....142
**Grafik 2.4.10.** 2 nolu Mod ve 0.45'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....143
**Grafik 2.4.11.** 2 nolu Mod ve 0.50'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....144
**Grafik 2.4.12.** 2 nolu Mod ve 0.55'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....145
**Grafik 2.4.13.** 2 nolu Mod ve 0.60'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....146

**Grafik 2.4.14.** 2 nolu Mod ve 0.65'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....147
**Grafik 2.4.15.** 2 nolu Mod ve 0.70'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....148
**Grafik 2.4.16.** 2 nolu Mod ve 0.75'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....149
**Grafik 2.4.17.** 2 nolu Mod ve 0.80'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....150
**Grafik 2.4.18.** 2 nolu Mod ve 0.85'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....151
**Grafik 2.4.19.** 2 nolu Mod ve 0.90'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....152
**Grafik 2.5.1.** 2 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilimi ($V_{SCRIT}$) eğrileri.....153
**Grafik 2.5.2.** 2 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) eğrileri.....154
**Grafik 2.5.3.** 2 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik açı ($Delt_{CRIT}$) eğrileri.....155
**Grafik 3.1.** 3 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilim ($V_{SCRIT}$) eğrileri.....157
**Grafik 3.2.** 3 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) eğrileri.....159
**Grafik 3.3.** 3 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık kritik açı ($Delt_{CRIT}$) eğrileri.....161

**Grafik 3.4.1.** 3 nolu Mod ve 0.00'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....162
**Grafik 3.4.2.** 3 nolu Mod ve 0.05'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....163
**Grafik 3.4.3.** 3 nolu Mod ve 0.10'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....164
**Grafik 3.4.4.** 3 nolu Mod ve 0.15'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....165
**Grafik 3.4.5.** 3 nolu Mod ve 0.20'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....166
**Grafik 3.4.6.** 3 nolu Mod ve 0.25'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....167
**Grafik 3.4.7.** 3 nolu Mod ve 0.30'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....168
**Grafik 3.4.8.** 3 nolu Mod ve 0.35'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....169
**Grafik 3.4.9.** 3 nolu Mod ve 0.40'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....170
**Grafik 3.4.10.** 3 nolu Mod ve 0.45'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....171

**Grafik 3.5.1.** 3 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilimi ($V_{SCRIT}$) eğrileri.....172
**Grafik 3.5.2.** 3 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) eğrileri.....173
**Grafik 3.5.3.** 3 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik açı ($Delt_{CRIT}$) eğrileri.....174
**Grafik 4.1.** 4 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilim ($V_{SCRIT}$) eğrileri.....176
**Grafik 4.2.** 4 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) eğrileri.....178
**Grafik 4.3.** 4 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık kritik açı ($Delt_{CRIT}$) eğrileri.....180
**Grafik 4.4.1.** 4 nolu Mod ve 0.00'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....181
**Grafik 4.4.2.** 4 nolu Mod ve 0.05'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....182
**Grafik 4.4.3.** 4 nolu Mod ve 0.10'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....183
**Grafik 4.4.4.** 4 nolu Mod ve 0.15'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....184
**Grafik 4.4.5.** 4 nolu Mod ve 0.20'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....185
**Grafik 4.4.6.** 4 nolu Mod ve 0.25'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....186

**Grafik 4.4.7.** 4 nolu Mod ve 0.30'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....187
**Grafik 4.4.8.** 4 nolu Mod ve 0.35'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....188
**Grafik 4.4.9.** 4 nolu Mod ve 0.40'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....189
**Grafik 4.4.10.** 4 nolu Mod ve 0.45'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....190
**Grafik 4.4.11.** 4 nolu Mod ve 0.50'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....191
**Grafik 4.4.12.** 4 nolu Mod ve 0.55'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....192
**Grafik 4.4.13.** 4 nolu Mod ve 0.60'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....193
**Grafik 4.5.1.** 4 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilimi ($V_{SCRIT}$) eğrileri.....194
**Grafik 4.5.2.** 4 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) eğrileri.....195
**Grafik 4.5.3.** 4 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik açı ($Delt_{CRIT}$) eğrileri.....196
**Grafik 5.1.** 5 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilim ($V_{SCRIT}$) eğrileri.....198

**Grafik 5.2.** 5 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) eğrileri.....200
**Grafik 5.3.** 5 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık kritik açı ($Delt_{CRIT}$) eğrileri.....202
**Grafik 5.4.1.** 5 nolu Mod ve 0.00'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....203
**Grafik 5.4.2.** 5 nolu Mod ve 0.05'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....204
**Grafik 5.4.3.** 5 nolu Mod ve 0.10'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....205
**Grafik 5.4.4.** 5 nolu Mod ve 0.15'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....206
**Grafik 5.4.5.** 5 nolu Mod ve 0.20'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....207
**Grafik 5.4.6.** 5 nolu Mod ve 0.25'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....208
**Grafik 5.4.7.** 5 nolu Mod ve 0.30'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....209
**Grafik 5.4.8.** 5 nolu Mod ve 0.35'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....210

**Grafik 5.4.9.** 5 nolu Mod ve 0.40'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....211
**Grafik 5.4.10.** 5 nolu Mod ve 0.45'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....212
**Grafik 5.4.11.** 5 nolu Mod ve 0.50'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....213
**Grafik 5.4.12.** 5 nolu Mod ve 0.55'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....214
**Grafik 5.4.13.** 5 nolu Mod ve 0.60'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....215
**Grafik 5.5.1.** 5 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilimi ($V_{SCRIT}$) eğrileri.....216
**Grafik 5.5.2.** 5 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) eğrileri.....217
**Grafik 5.5.3.** 5 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik açı ($Delt_{CRIT}$) eğrileri.....218
**Grafik 6.1.** 6 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilim ($V_{SCRIT}$) eğrileri.....220
**Grafik 6.2.** 6 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) eğrileri.....222
**Grafik 6.3.** 6 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık kritik açı ($Delt_{CRIT}$) eğrileri.....224
**Grafik 6.4.1.** 6 nolu Mod ve 0.00'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....225

**Grafik 6.4.2.** 6 nolu Mod ve 0.05'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....226
**Grafik 6.4.3.** 6 nolu Mod ve 0.10'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....227
**Grafik 6.4.4.** 6 nolu Mod ve 0.15'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....228
**Grafik 6.4.5.** 6 nolu Mod ve 0.20'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....229
**Grafik 6.4.6.** 6 nolu Mod ve 0.25'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....230
**Grafik 6.4.7.** 6 nolu Mod ve 0.30'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....231
**Grafik 6.4.8.** 6 nolu Mod ve 0.35'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....232
**Grafik 6.4.9.** 6 nolu Mod ve 0.40'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....233
**Grafik 6.4.10.** 6 nolu Mod ve 0.45'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....234
**Grafik 6.4.11.** 6 nolu Mod ve 0.50'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....235

**Grafik 6.4.12.** 6 nolu Mod ve 0.55'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....236
**Grafik 6.4.13.** 6 nolu Mod ve 0.60'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....237
**Grafik 6.5.1.** 6 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilimi ($V_{SCRIT}$) eğrileri.....238
**Grafik 6.5.2.** 6 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) eğrileri.....239
**Grafik 6.5.3.** 6 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik açı ($Delt_{CRIT}$) eğrileri.....240
**Grafik 7.1.** 7 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilim ($V_{SCRIT}$) eğrileri.....242
**Grafik 7.2.** 7 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) eğrileri.....244
**Grafik 7.3.** 7 nolu Mod için seri kompanzasyon oranı ($K_S$) ve güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık kritik açı ($Delt_{CRIT}$) eğrileri.....246
**Grafik 7.4.1.** 7 nolu Mod ve 0.00'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....247
**Grafik 7.4.2.** 7 nolu Mod ve 0.05'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....248
**Grafik 7.4.3.** 7 nolu Mod ve 0.10'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....249
**Grafik 7.4.4.** 7 nolu Mod ve 0.15'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....250

**Grafik 7.4.5.** 7 nolu Mod ve 0.20'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....251
**Grafik 7.4.6.** 7 nolu Mod ve 0.25'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....252
**Grafik 7.4.7.** 7 nolu Mod ve 0.30'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....253
**Grafik 7.4.8.** 7 nolu Mod ve 0.35'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....254
**Grafik 7.4.9.** 7 nolu Mod ve 0.40'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....255
**Grafik 7.4.10.** 7 nolu Mod ve 0.45'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....256
**Grafik 7.4.11.** 7 nolu Mod ve 0.50'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....257
**Grafik 7.4.12.** 7 nolu Mod ve 0.55'e eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....258
**Grafik 7.4.13.** 7 nolu Mod ve 0.60'a eşit seri kompanzasyon oranı ($K_S$) için, güç katsayısının (pf) değişik değerlerine karşılık gönderen uç güç ($P_S$) - gerilim ($V_S$) eğrileri.....259
**Grafik 7.5.1.** 7 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik gerilimi ($V_{SCRIT}$) eğrileri.....260

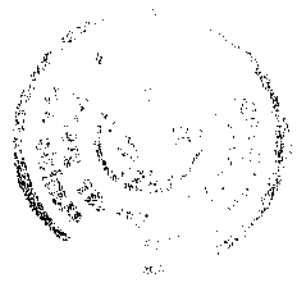
**Grafik 7.5.2.** 7 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik güç ($P_{SCRIT}$) eğrileri.....261
**Grafik 7.5.3.** 7 nolu Mod için güç katsayısı (pf) ve seri kompanzasyon oranının ($K_S$) değişik değerlerine karşılık gönderen uç kritik açı ($Delt_{CRIT}$) eğrileri.....262

## KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|---|---|
| AI | Yapay Zeka |
| AGC | Otomatik Generatör Kontrolu |
| AVR | Otomatik Gerilim Regülatörü |
| DC | Düz Akım |
| EMK | Elektro Motor Kuvveti |
| ES | Ekspert Sistem |
| HE | İnsan Uzman |
| HVDC | Yüksek Gerilim-Düz Akım |
| IEEE | (A.B.D.) Elektrik, Elektronik Mühendisleri Birliği |
| KDS | Karar Destek Sistemi |
| LTC | Yük Kademe Değiştirici |
| OLTC | Aşırı Yük Kademe Değiştirici |
| pu | Per-Unit |
| SVC | Statik VAr Kontrolu |
| SVS | Statik VAr Sistemi |
| TLE | Teknik Literatür Uzmanlığı |
| ULTC | Düşük Yük Kademe Değiştirici |

## TEŞEKKÜR

Güncel önemi gittikçe artan, gerilim kararlılığı ve uzman sistemler konularını bir araya getirerek yapılan bu çalışmayı yönlendiren ve her safhasında yardımlarını esirgemeyen, danışman hocam Prof. Dr. H. Nusret YÜKSELER'e (İ.T.Ü.) teşekkürü bir borç bilirim.



## ÖZET

Elektrik santralleri ile enerji tüketim merkezleri arasındaki büyük mesafeler üzerinden elektrik enerjisinin iletilmesi zorunluluğu, geçici ve sürekli rejim kararlılığının yanısıra, gerilim kararlılığı sorununu da beraberinde getirmektedir.

Bir enerji sisteminin çalışmasındaki en önemli problem, sistemin çeşitli noktalarındaki gerilim değerlerinin belirli sınırlar içinde kalmasını sağlamaktır. Gerilim kararlılığı bir güç sisteminin kabul edilebilir gerilimleri sistemdeki tüm baralarda normal ve bilinmeyen sebeplere dayalı şartlar altında da sağlayabilmesi ile ilgilidir. Modern enerji sistemlerinde, tüm sistem bilgisi, kontrol işlemleri ve enformasyon için sürekli olarak bilgisayarlara yüklenir. Bilgisayar tarafından gerçekleştirilen yük akışı çalışmaları, sisteme giren ve sistemden çıkan hatlardaki açılma ve kapanmalar ve bunların sonucunda hat parametrelerinde meydana gelen değişiklerle ilgili sorulara cevap vermemizi sağlar. Gerilimde kontol edilemez ve artan oranda bir düşüşe sebep olacak bir bozucu etki gerçekleştiğinde, bir enerji sisteminin gerilim kararsızlığı durumuna girdiği söylenebilir. Generatörlerden ve nakil hatlarından gelen yetersiz reaktif enerji desteği, son yıllarda çeşitli ciddi ana sistem arızaları ile sonuçlanan gerilim çökmesi veya kararsızlığı durumlarına yol açmıştır.

Bu sebeple, gerilim kararlılığı gelecek için çözülmesi gereken en önemli problem olarak gözükmekte ve de giderek önem kazanmaya başlamaktadır. Bunun önemli sebeplerinden biri halihazırdaki iletim hatlarının daha yoğun kullanımına olan gereksinimdir. Varolan iletim hatlarının artan oranda kullanılmasının bir yolu, kısmi olarak reaktif güç kompanzasyonu ile olasıdır. Enerji üretiminde inanılmaz oranda bozucu etkilere yol açabilecek gerilim kararsızlığını önlemeye yönelik pratik analiz teknikleri geliştirilmiş ve de yenileri planlanmaktadır. İlgili bütün olaylar, uzun vadeli olanlar da dahil olmak üzere, zaman tabanlı simulasyon ile gösterilebilir.

Belirli bir sistem için gerilim kararlılığı analizinde, sistemin gerilim kararsızlığına ne kadar yakın olduğu, dengesizliğin nasıl ve niye oluştuğu, kararsızlığa katkıda bulunan ana sebepler, gerilimce zayıf olan alanlar, gerilim kararlılığını iyileştirmek için en etkili ölçülerin neler olduğu incelenir.

Bu çalışmada, belirli bir çift hat enerji iletim hattında, sınırlı enerji besleme kapasitesi altında, farklı çalışma durumları için, gerilim kararlılığının güvenilirliği uzman sistemlerle araştırılmıştır. Hat için yalnızca kompanzasyon miktarı göz önüne alınmış, kondansatörlerin yerleşimi hattın ortası olarak varsayılmış ve paralel hatların farklı bağlantı şekilleri için 7 değişik mod üzerinde incelemeler yapılmıştır. Enerji iletim hattının alıcı ucunun sonsuz bir baraya bağlandığı varsayılmıştır. Bu sebeple, alıcı uç gerilimi $V_R$ sabit kabul edilmiştir. Bütün hesaplamalar, seri kompanzasyon oranı, güç katsayısı ve genelleştirilmiş devre sabitleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, kritik değerler hakkında bir fikir edinmek amacıyla, güç katsayısı, seri kompanzasyon oranı ve de alıcı uç geriliminin sabit değeri değiştirilerek gönderici ucun güç - gerilim karakteristikleri

farklı çalışma modları için incelenmiştir. Verilen denklemleri kullanarak, kritik değerlerin direk olarak hesaplanmasına da gidilmiştir.

Gerilimin kararlılık sınırına yakın durumu ve bu anda iletilen enerjiyi tespit etmek için yapılacak hesaplamalarda bilgisayar kullanılarak bu durumun olabileceği sonuçlar bulunabilir. Ancak, bu başka durumlara da yol açabileceğinden dolayı kesin bir karar vermek oldukça zordur. Eğer enerji iletim hattının ve yükün güç - gerilim karakteristikleri çıkarılırsa, bu iki karakteristiğin kesişimleri sistemin çalışma şartlarını verir.

Hesaplamalarda sayısal bilgisayarların kullanımı, kesin doğrulukta başarılı yük akışları sağlayabilir. Çalışmamızda sayısal değerler kullanılarak elde edilen bilgiler, tablolar halinde sayısal ve grafikler şeklinde de görsel olarak incelenmiştir.

Uzman sistemlerin enerji sistemlerinde uygulanması son yıllarda dikkate değer bir oranda artmıştır. Son yıllarda enerji sistemleri için geliştirilen uzman sistemlerin % 41'den fazlası arıza teşhisi içindir. Kontrol için kullanılan uzman sistemler sürekli ve otomatik olarak bir operatör gözetiminde işlerken, arıza tespitinde bulunan uzman sistemler sadece gerek duyulduğu anda yani arıza anında devreye sokulurlar.

Bir uzman sistem hem insan deneyimlerine, hem keşfedilen kurallara hem de teknik literatür uzmanlığına, algoritmalar ve formüllere dayanabilir. Bir uzman sistemin ana avantajı bir operatörle direk etkileşim içinde olabilmesidir. Sistem operatöre hem kapasitörlerin yerleri, boyutları, anahtarlama zamanları, regülatörlerin yeri, boyutu ve kademe ayarları gibi çalışma şekillerini verebilir, aynı zamanda da bu seçimlerin arkasında yatan ekonomik tasarruflar ve bara gerilim bozuklukları gibi gerekçeleri de belirtir. Sistem tecrübeli uzman kişilerin tavsiyelerini de kabul edebilir ve kendine uyarlayarak çıktısını ona göre düzenleyebilir.

## ABSTRACT

The necessisty for transmission of electrical power between long distances from electrical supplies to the consumption centers, beside the steady state and transient state stability problem, results at the problem of voltage stability.

Voltage stability is a subset of overall power system stability. A power system at a given operating state and subject to a given disturbance undergoes voltage collapse if post-disturbance equilibrium voltages are below acceptable limits. Voltage collapse may be total (blackout) or partial.

Voltage instability is the absence of voltage stability, and results in progressive voltage decrease (or increase). Destabilizing controls reaching limits, or other control actions (e.g., load disconnection), however, may establish global stability.

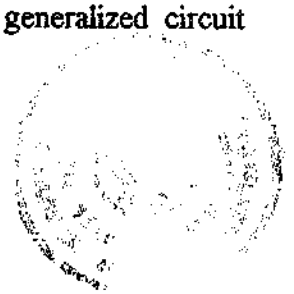
Voltage stability normally involves large disturbances (including rapid increases in load or power transfer). Furthermore the instability is almost always an aperiodic decrease in voltage. Oscillatory voltage instability may be possible, but control instabilities are excluded. Control instabilities could occur, for example, because of too high a gain on a static VAr compensator or too small a deadband in a voltage relay controlling a shunt capacitor bank.

Overvoltage phenomena and instability such as self excitation of rotating machines are outside the scope of the definitions. Overvoltages are normally more of an equipment problem than a power system stability problem. The term voltage security is used. This means the ability of a system, not only to operate stably, but also to remain stable following credible contingencies or load increases. It often means the existence of considerable margin from an operating point to the voltage instability point (or to the maximum power transfer point) following credible contingencies.

Although voltage stability involves dynamics, power flow based static analysis methods are often useful for rapid, approximate analysis.

At this thesis, for a given specific double circuit power transmisson line, at a limited power supply capacity circumstances, the reliability of the voltage stability has been studied by means of Expert Systems at different modes of operation.

In this study, only the amount of compensation is considered; the location of capacitors is assumed at the middle of the line, which may be a good choice if capacitors would be located only at one point of line. Among the different connections schemes of paralel lines, 7 different Modes are studied. Receiving end side of transmission line is assumed to be connected to an infinite bus. So, receiving-end voltage is taken constant as 380 KV line-to-line. All calculations for sending-end are carried out using generalized circuit constants which are functions of series compensation ratio.

First, power-voltage characteristics of sending end is studied for changing power factor and series compensation ratio, to have an idea about critical values. Then, critical values are directly calculated using given formulas.

The most important problem at the functioning of a power system is to limit the voltage of the different points at the system between specific values. At modern power systems, all the relevant information and control operations are recorded to the computers continously. The load -flow studies of the lines and results of the line parameters changes are performed by computers and answers a lot of relevant questions.

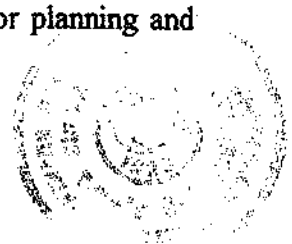
It is difficult to detect the power transmitted in the region near to the condition of voltage collapse. A computer will detect this condition by a divergence and it is difficult to assess if this is due to the network or to other conditions. One possible method is to programme the power-voltage characteristics of the line and of the load; the intersection of these two characteristics will give the operating conditions of the system.

Using a digital computer, successive load flows can be performed with high accuracy in computation. Expert systems are another technological advance which may be used to improve the performance of the these computations. An expert system uses knowledge to solve problems within a limited domain of expertise. Somehow, that knowledge has to be stored within the computer for manipulation by programs that carry out inference and other tasks. The knowledge will be culled from the system in a hotch-potch of different forms and from a variety of sources, like digital relays, controllers etc.

Electric utilities often face the problem of finding the exact location of a failure in a distribution line. These failures often occur at the worst possible time and cause the maximum amount of inconvinience to the utility's customers. The utility must quickly find and isolate the failure to restore electric service.

Available fault locating methods use fault indicators, thumpers, radars, or combination of these. These methods can produce less than desired results for rapid fault location and may inflict additional damage to the line. As a principle for the stable power supply, any fault sections in a power system must be disconnected quickly. To meet the principle, utilities are making efforts to educate and train their operators for recovering power supply in proper manners. Restoration of power system requires not only expensive knowledge and skills about system components, system operation and protective relays sections, but also accurate and extremely quick judgment based on the knowledge. Because of the importance of the system restoration, development of an expert system efficiently supporting operators is eagerly awaited. Therefore, fault section judgment has been studied as one of the major themes in the field of artificial intelligence application to electric power systems.

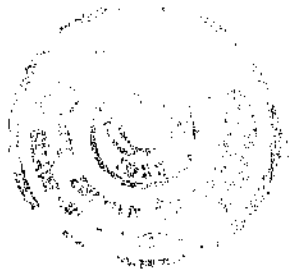
The expert system applications to the power systems have increased considerably in the last decade. More than 41 % of the expert systems developed recently for power systems are for fault diagnosis. Expert systems are also used in power systems for planning and



scheduling, control, design, prediction and instruction and training. The development of an expert system dealing with large and complex mathematical problem, requires a more sophisticated knowledgebase than the one uses human expertise alone. In an expert system for voltage and reactive power control on distribution system with lateral branches using shunt capacitors and voltage regulators, human expertise is not enough to set the rules and database required by the inference engine to build up the desicions for capacitors locations, size and switching time to obtain optimum savings. There are many devices in power system and therefore, in order to describe a power system and its protective system accurately, a great number of consistent rules are required. This makes acquisition and verification of the knowledge difficult.

A sample expert system configuration can be used as a money saving on-line controller in co-operation with the input/output interface unit. It also can be used in the distribution system planning stage. Sample expert system utilzes the human experts (HE) heuristics rules as well as the technical literature expertise (TLE) such as algorithms and formula to build the knowledge base of the system. The distribution system component data and network topography are stored in the database. The distribution system voltage profile kept within the desired limits by proper choice of both shunt capacitors and voltage regulators. The most economical mode of operation for the distribution system is ensured all the time, without violating any of the system voltages constraints.

In our study, the calculated quantities are shown as tables and as graphics for visual inspectation by operator to decide on how the system going on, is it near to a voltage instability or collapse condition. The expert system represents the characteristics of protective relays by using numerical figures corresponding to the protection zone and time setting. This method provides high maintainability of the system, and also allows the system to display inference process in a user friendly manner.



# 1. GİRİŞ

Son yıllarda, elektrik üretim santralleri, santral ve iletim hatlarının yapımındaki çeşitli kısıtlamalara bağlı olarak, mümkün olabilen maksimum gücü varolan iletim hatları vasıtasıyla iletmeye zorlanmıştır.

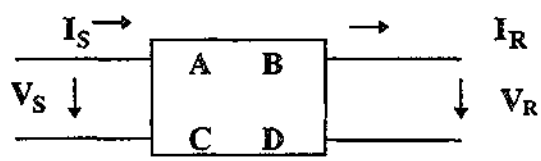
Elektrik enerjisi, elektrik santrallerinin enerji tüketim merkezlerinin yakınlarında inşası gittikçe artan oranda zorlaştığından, geniş kapasiteli hatlar kullanılarak genellikle büyük mesafeler üzerinden iletilmektedir. Bu koşullar altında, gerilim kararlılığı, geçici ve sürekli rejim kararlılığının yanısıra, elektrik mühendisliği açısından ana sorunlardan birini teşkil etmektir.

Geçici rejim (**Transient**) veya sürekli rejim (**Steady-State**) kararlılığı (**Stabilitiy**), bir enerji sisteminin, büyük veya küçük boyutlardaki geçici olaylar durumunda eşzaman (senkranizasyon) kaybı olmaksızın çalışabilme olanakları olarak tanımlanabilir. Buna karşılık, gerilim kararlılığı ise, sürekli ve geçici rejim şartları altında gerilim değerlerinin önceden tanımlı çalışma sınırları arasında korunabilme yeteneğidir.

Gerilim kararlılığı bir enerji sisteminin kabul edilebilir gerilimleri sistemdeki tüm uç terminallerde normal ve bilinmeyen sebeplere dayalı şartlar altında da sağlayabilmesi ile ilgilidir. Gerilimde kontol edilemez ve artan oranda bir düşüşe sebep olacak bir bozucu etki gerçekleştiğinde, bir enerji sisteminin gerilim kararsızlığı durumuna girdiği söylenebilir. Generatörlerden ve iletim hatlarından gelen yetersiz reaktif enerji desteği, son yıllarda çeşitli ciddi ana sistem arızaları ile sonuçlanan gerilim çökmesi veya kararsızlığı durumlarına yol açmıştır.

Bu çalışmada, belirli bir çift devreli enerji iletim hattında, sınırlı enerji üretim kapasitesi ve farklı çalışma modları için, gerilim kararlılığının güvenilirliği Ekspert (Uzman) Sistemlerle araştırılmıştır. Bir enerji iletim hattının temel bileşeni olan reaktans, bir yandan kararlılık sınırını azaltırken, diğer yandan da enerji iletimindeki kayıpları etkiler.

Daha optimum enerji iletimi için, enerji iletim hattındaki reaktans değerini azaltmaya yönelik bir çok çalışma yapılmıştır. Seri kondansatörler, hat reaktansını düşürürken gerilim kararlılığını arttırırlar. Ayrıca kondansatörlerin hat üzerinde yerleştirileceği yerin seçimi, gerilim düşümünün kondansatörler üzerinde dağıtılması açısından, kompanzasyonun önemli bir noktasını oluşturmaktadır. Optimum düzenleme, incelenen belirli bir durum üzerinde çalışılarak belirlenebilir. Bu çalışmada yalnızca kompanzasyon miktarı göz önüne alınmış, kondansatörlerin yerleşimi hattın ortası olarak varsayılmış ve paralel hatların farklı bağlantı şekilleri için 7 değişik mod üzerinde incelemeler yapılmıştır. Enerji iletim hattının 2 kapılı bir devre olarak göz önüne alınan genel bir şeması **(1.1)** numaralı şekilde gösterilmiştir. Enerji iletim hattının alıcı ucunun sonsuz bir baraya bağlandığı varsayılmıştır. Bu sebeple, alıcı uç gerilimi $V_R$ sabit kabul edilmiştir. Bütün hesaplamalar, seri kompanzasyon oranı, güç katsayısı ve genelleştirilmiş devre sabitleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, kritik değerler hakkında bir fikre sahip olabilmek amacıyla, değişen güç katsayısı ve seri kompansazyon oranı değerleri ve de hat sonu geriliminin farklı sabit değerleri için, gönderen ucun güç-gerilim karakteristikleri üzerinde çalışılmıştır. Daha sonra, verilen denklemleri kullanarak kritik değerler direk olarak hesaplanmıştır.




**Şekil 1.1.** Hattın genel şeması

# 2. GENEL KAVRAMLAR

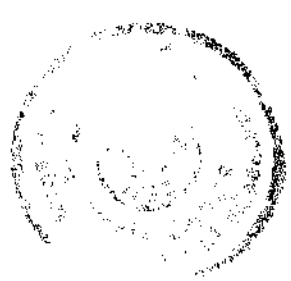
## 2.1. Gerilim Kararlılığına Giriş

Enerji iletim kapasitesi geleneksel olarak ya rotor açısı kararlığı (senkron) veya da termal yükleme kapasiteleri ile sınırlıdır. Klasik kararlılık problemi genelde geçici hal kararlılığına daha fazla bağlıdır. Ancak bu problem kısa devrelerin hızla giderilmesi, güçlü tahrik sistemleri ve çeşitli özel kararlılık kontrol mekanizmaları vasıtasıyla oldukça azaltılmıştır.

Bununla beraber, gerilim kararlılığı, günümüzde elektrik enerji sistemlerinin planlanma ve işletilmesindeki gözönüne alınması gereken en önemli faktör haline gelmiştir. Gün geçtikçe daha fazla sayıda elektrik üretim merkezi gerilim kararlılığına bağlı sınırlamalarla karşı karşıyadır. Gerilim kararsızlığı ve çökmesi çoğu zaman ana sistem arızaları ve dolayısıyla sistemin bir kısmının veya daha kötüsü tümünün devre dışı kalması ile sonuçlanmaktadır (1987'deki Tokyo'da sistemin devre dışı kalması gibi).

Bu sebeple, gerilim kararlılığı gelecek için çözülmesi gereken en önemli problem olarak gözükmekte ve de giderek artan bir önem kazanmaktadır. Bunun önemli sebeplerinden biri halihazırdaki iletim hatlarının daha yoğun kullanımına olan gereksinimdir. Varolan iletim hatlarında iletim kapasitesini arttırmanın bir yolu, reaktif güç kompanzasyonu ile olasıdır.

Yaklaşık son 5 yıl içersinde, enerji üretim mühendisleri, danışmanlar ve üniversitelerdeki araştırmacılar, çalışmalarını ağırlıklı olarak gerilim kararlılığı üzerinde yoğunlaşmışlardır. Çeşitli seminerlerde, sempozyumlarda ve konferanslarda bu konuda çok sayıda teknik bildiri sunulmuştur. Enerji üretiminde, sonuçları büyük ekonomik kayıplara yol açabilecek gerilim kararsızlığını önlemeye yönelik pratik analiz teknikleri geliştirilmiş ve de yenileri planlanmaktadır.



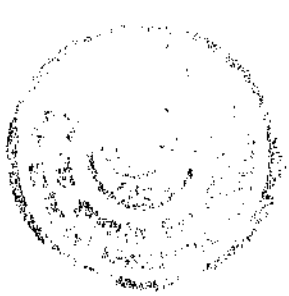
Enerji iletim sistemlerinde gerilim kararlılığı artık gayet iyi anlaşılmış bir konu olmakla beraber, problemin generatör kontrolünden iletim hatlarında reaktif güç kompanzasyonuna, dağıtım şebekesi tasarımından yük karakteristiklerine uzanan bir çok farklı yanı da bulunmaktadır. Ayrıntılı bir çalışma için üretim, iletim ve dağıtımla ilgili tüm sistem elemanlarının fiziksel karakteristikleri ve matematik modelleri oldukça önem taşımaktadır.

Enerji iletim sistemlerinde gerilim kararlılığı için, incelemenin istenen yönüne bağlı olarak farklı modeller kullanılmaktadır.

## 2.2. Gerilim Kararlılığı, Gerilim Çökmesi ve Gerilim Güvenilirliği

Gerilim kararlılığı çok çeşitli ve farklı olayları kapsadığından, farklı mühendislere farklı anlamlar ifade etmektedir. Asenkron motorlar, klima yükleri ile uğraşan mühendisler için hızlı bir olayken, mekanik anahtarlamalı cihazlar ve sistemlerle uğraşan diğer mühendisler için oldukça yavaştır (Taylor, 1992). Mühendisler ve araştırmacılar, gerilim kararlılığının statik ve dinamik yanlarını incelemeye yönelik uygun analiz metodlarını geliştirmektedirler. Gerilim kararlılığı veya çökmesi, sıklıkla statik enerji akışı analizine uygun geçici durumda ayakta kalma problemi olarak algılanır. Sabit çalışma şartları altında reaktif gücün üretim santrallerinden tüketim havzalarına iletilebilmesi gerilim kararlılığının ana konusudur.

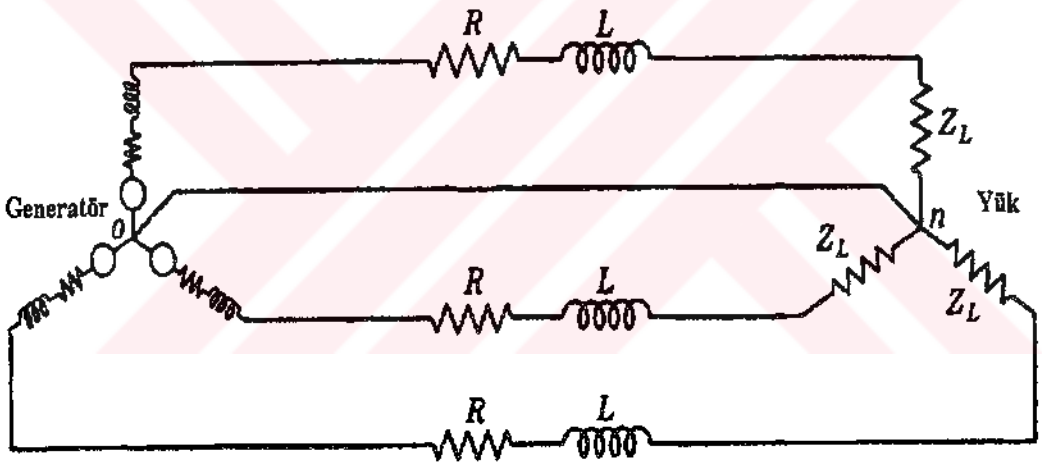
Şebekenin maksimum enerji iletim sınırının gerilim kararlılığı sınırı olması zorunluluğu yoktur (Kundur, 1994). Gerilim kararsızlığı veya çökmesi dinamik bir süreçtir. Kararlılık kelimesi dinamik bir sistemi ifade etmektedir. Çünkü bir enerji sistemi gerçekte dinamik bir sistemdir. Rotor açısı (senkron) kararlılığının tersine, dinamikler temelde yüklerle alakalıdır ve gerilim kontrolunun bir vasıtasıdır. Bu sebeple gerilim kararlılığı aynı zamanda yük kararlılığı olarak ta adlandırılır.



## 2.3. Bir Enerji İletim Hattındaki Akım ve Gerilim İlişkisi

Bir enerji sisteminin çalışmasındaki en önemli problem, sistemin çeşitli noktalarındaki gerilim değerlerinin belirli sınırlar içinde kalmasını sağlamaktır. Modern enerji sistemlerinde, tüm sistem bilgisi, kontrol işlemleri ve enformasyon için sürekli olarak bilgisayarlara yüklenir. Bilgisayar tarafından gerçekleştirilen yük akışı çalışmaları, sistemde olan değişiklikleri (yüklerde veya hatlarda) izlemek açısından da oldukça yararlıdır.

Bir enerji sisteminde meydana gelen her türlü değişikliğin, enerji iletiminin güvenilirliği, kayıpları ve hattaki enerji akışının sınırlarının sürekli ve geçici rejim durumları için bulunmasında, sistemi tanımlayan denklemlerin çok büyük önemi vardır.




**Şekil 2.1.** Bir enerji iletim hattındaki dengeli Y yükünü besleyen generatör.

## 2.4. Enerji İletim Hatlarının Gösterimi ve Modellenmesi

Genelde enerji iletim hatlarına, dengelenmiş üç fazlı yükler bağlanır. Hat aralıkları eşit olmadığı ve yerleri değiştirilmediği halde, anti-simetri oluşumu çok az olduğundan fazlar dengelenmiş olarak kabul edilir. Şekil **(2.1)**'de bir enerji iletim hattındaki dengeli Y-bağlı yükü besleyen Y-bağlı bir generatör gösterilmiştir. Burada toplu parametreler (seri bağlı

R direnci ile L endüktansı) kullanılarak, enerji iletim hattının sadeleştirilmiş eşdeğer devresi elde edilmiştir. Generatör her fazdaki emk ve seri bağlı empedansları ile gösterilir. Yüksek gerilim hatlarındaki gerilim-akım hesaplamalarında paralel kondüktans genellikle ihmal edilir.

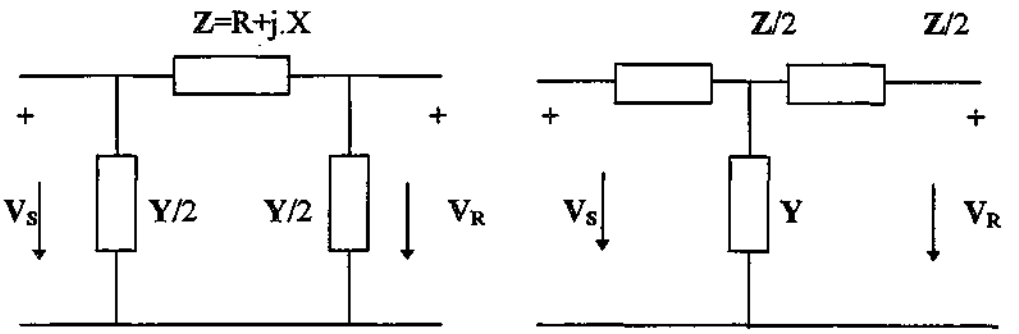
Bir enerji iletim hattının kapasitesinin hat modellerinde gösterilmesi, hattın uzunluğuna bağlıdır. Direnç, endüktans ve kapasitenin hat boyunca eşit yayılı olması durumu, uzun hatlarla yapılan çalışmalarda gözönüne alınmalıdır. Orta uzunluktaki hatlarda, terminallerdeki akım ve gerilim hesaplamalarında önemli hatalara yol açmayacak şekilde, paralel kapasitenin sadece yarı değerleri hattın uçlarında biraraya toplanabilir. Kısa hatlarda ise kapasitif süseptans ihmal edilecek kadar küçüktür. Şu ana kadar kapasite kullanımı söz konusu olduğunda, sonsuz bara 70 km.'den daha kısa olan hatlar kısa hat grubuna girer. Orta uzunluktaki hatlar 70 km. ile 200 km. arasında uzunluğa sahiptir. Eğer yüksek derecede güvenilirlik gerekli ise 200 km.'den daha uzun hatlarda dağılmış sabitler cinsinden hesaplamalar gerekmektedir. Bazı uygulamalarda 275 km.'ye kadar uzunluktaki hatlar için toplu parametre gösterimi kullanılabilir. (Stevenson, 1975)

Hattın toplam empedansı ile birim uzunluğa düşen seri empedans arasında ayrım yapabilmek için aşağıdaki terimler kullanılır:

$z$ = birim uzunlukta faz başına seri empedans
$y$ = birim uzunlukta faz toprak arası paralel admitans
$l$ = hattın uzunluğu
$Z = zl$ = faz başına toplam seri empedans
$Y = yl$ = faz toprak arası toplam paralel admitans

Enerji iletim hatlarının kesin bir analizi için, parametrelerin hat uzunluğu boyunca eşit olarak dağıldığı düşünülmelidir. Bununla beraber uzun hatlar haricinde (200 km.'den daha uzun) hattın toplam direnci, endüktansı, kapasite ve kaçak direncinin toplu parametreli devre elde etmek amacıyla konsantre olduğu varsayılır. Orta uzunluktaki hatlar aşağıda görüldüğü gibi T veya $\pi$ modellerle tanımlanabilir. İncelediğimiz hatların

uzunluğu yaklaşık 200 km. olduğundan, bu hatlar orta uzunlukta kabul edilebilir ve hesaplamalarda π modelleme kullanılmıştır.




**Şekil 2.2.** Orta uzunluktaki hatların π ve T gösterimi.

## 2.5. Orta Uzunluktaki Hatlar

Orta uzunluktaki hatlarda yapılan hesaplamalara paralel admitans da (genellikle saf kapasitedir) dahil edilir. Eğer hattın toplam paralel admitansı iki eşit kısma ayrılarak hattın gönderici ve alıcı uçlarına yerleştirilirse, devre nominal π olarak adlandırılır. Şekil **(2.2)**'deki devreye bakarak aşağıdaki bağıntıları çıkarabiliriz. $V_S$ için çıkardığımız bağıntıda, alıcı uçtaki kapasite üzerindeki akımın değeri; $(V_R.Y/2)$ ve seri koldaki akımın değeri de, $(I_R + V_R.Y/2)$' dir.

$$V_S = (V_R \frac{Y}{2} + I_R)Z + V_R \qquad (2.1)$$

$$V_S = (\frac{Z.Y}{2} + 1)V_R + Z.I_R \qquad (2.2)$$

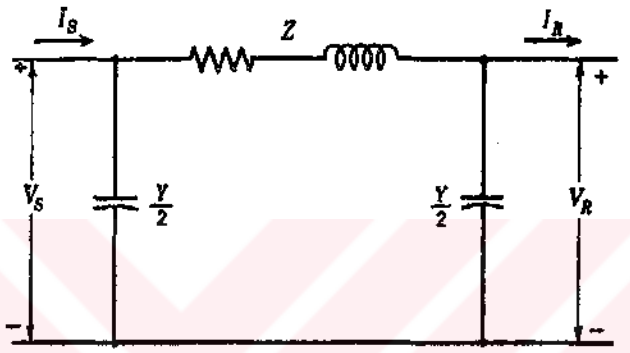
$I_S$ bağıntısında, gönderici uçtaki paralel kondansatördeki akım değeri, $V_S.Y/2$ alınmış ve bu değer seri koldaki akım değeri ile toplanmıştır.

$$I_S = V_S \frac{Y}{2} + V_R \frac{Y}{2} + I_S \qquad (2.3)$$

(2.2) numaralı denklemde elde edilen $V_S$ , (2.3) numaralı denklemde yerine koyulursa ;

$$I_S = V_R * Y(1 + \frac{Z.Y}{4}) + (\frac{Z.Y}{2} + 1)I_R \qquad (2.4)$$

ifadesi elde edilir.




**Şekil 2.3.** Orta uzunluktaki bir hattın Nominal π devresi.

Karşılık gelen bağıntılar, hattın tüm paralel admitansının paralel kolda yer aldığı ve seri empedansın 2 kolda eşit olarak bulunduğu, Şekil (2.4)'te görülen nominal T devresinden elde edilebilir. Hesaplamalarda paralel admitans Y küçüktür ve Y azaldıkça, orta uzunluktaki hat için yazılan denklemler kısa hat için elde edilenlere dönüşür. Ne nominal T ne de nominal π devreleri tam olarak gerçek hattı göstermez. Bu sebeple, yeterli doğrulukta çalışan hatların uzunluğundaki şüpheli durumlarda devrenin gerçek gösterimi kullanılmalıdır. Nominal T ve π birbirlerine eşit devreler değildir ve bu olay Y-Δ dönüştürme denklemleri herhangi birine uygulanarak görülebilir. Eğer, hat iki ya da daha fazla bölüme ayrılırsa ve her bir bölüm kendi nominal T ve nominal π eşdeğerleri ile gösterilirse, nominal T ve nominal π devreleri birbirlerine ve hattın eşdeğer devresine hemen hemen eşit olurlar.

(2.2) ve (2.4) numaralı denklemler aşağıdaki şekilde genel formda gösterilebilir:

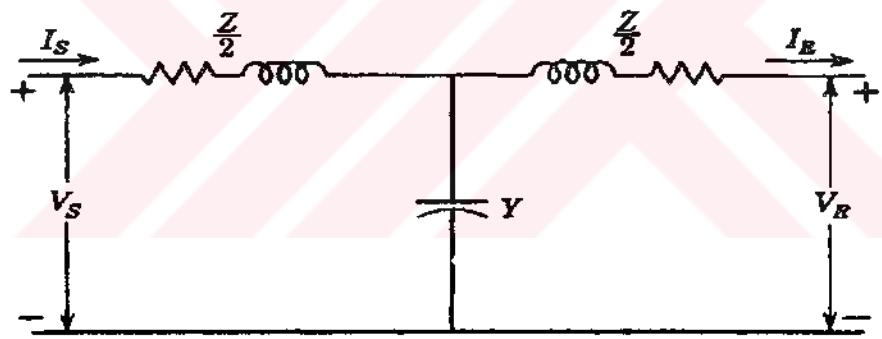
$$\mathbf{V_S = A.V_R + B.I_R} \tag{2.5}$$

$$\mathbf{I_S = C.V_R + D.I_R} \tag{2.6}$$

Bu ifadelerde;

$$\mathbf{A = D = \frac{Z.Y}{2} + 1} \qquad \mathbf{B = Z} \qquad \mathbf{C = Y(1 + \frac{Z.Y}{2})} \tag{2.7}$$

eşitlikleri bulunmaktadır.




**Şekil 2.4.** Orta uzunluktaki bir iletim hattının Nominal T devresi

**A**, **B**, **C** ve **D** sabitleri bazen enerji iletim hattının genelleştirilmiş devre sabitleri olarak adlandırırlar. Genellikle bu değerler kompleks sayılardır. Herhangi bir uçtan devreye bakıldığında eğer hat simetrik ise **A** ve **D** değerleri aynı değerdedir . **B** sabiti ohm **C** sabiti ise mho mertebesindedir. Sabitler iki eş terminali bulunan lineer, pasif, iki taraflı ve dört terminalli ağlara uygulanabilir. Bir enerji iletim hattında, enerjinin şebekeye girdiği uç için gönderici uç terminali, şebekeden çıktığı uç için de alıcı uç terminali terimleri kullanılır.

**A, B, C** ve **D** sabitleri;

$$\mathbf{A.D - B.C} = 1 \tag{2.8}$$

eşitliğine sahiptir. Bunun doğruluğu, orta uzunluktaki hattın **A, B, C** ve **D** sabitlerinin değerleri kullanılarak kolayca kontrol edilebilir. Bu bağıntı $\mathbf{V_S}$ ve $\mathbf{I_R}$'nin bilindiği durumlarda $\mathbf{V_R}$ ve $\mathbf{I_R}$'nin bulunmasında büyük kolaylık sağlar. (Pender and Del Mar, 1967 )

(2.5) ve (2.6) numaralı denklemleri $\mathbf{V_R}$ ve $\mathbf{I_R}$ için çözersek;

$$\mathbf{V_R} = \frac{\mathbf{D.V_S - B.I_S}}{\mathbf{A.D - B.C}} \tag{2.9}$$

ve

$$\mathbf{I_R} = \frac{\mathbf{A.I_S - C.V_S}}{\mathbf{A.D - B.C}} \tag{2.10}$$

eşitliklerini elde ederiz. Ayrıca **A.D - B.C** = 1 bağıntısını kullanırsak, denklemler;

$$\mathbf{V_R = D.V_S - B.I_S} \tag{2.11}$$

$$\mathbf{I_R = -C.V_S + A.I_S} \tag{2.12}$$

haline gelir.

Sabitlere fiziksel bir anlam kolayca kazandırılabilir. (2.5) numaralı denklemde $\mathbf{I_R}$'nin değerini sıfır alırsak **A** sabitinin yüksüz durumdaki $\mathbf{V_S/V_R}$ oranı olduğunu görürüz. Benzer şekilde, **B** sabiti de, alıcı ucun kısa devre edildiği durumda, $\mathbf{V_S/V_R}$ oranıdır.

## 2.6. Bir İletim Hattındaki Enerji Akışı

Gerilim, akım ve güç katsayısının bilindiği veya hesaplanabildiği durumlarda, bir enerji iletim hattının herhangi bir noktasındaki güç bulunabileceği gibi, güç için **A,B,C ve D** katsayıları kullanılarak çeşitli denklemler yazılabilir.Tabii ki, bu denklemler her türlü iki terminalli çift hat devrelere uygulanabilir. (2.5) numaralı denklemi alıcı uç akımı $\mathbf{I_R}$ için yeniden düzenlediğimizde,

$$\mathbf{V_S = A.V_R + B.I_R} \tag{2.13}$$

$$\mathbf{I_R = \frac{V_S - A.V_R}{B}} \tag{2.14}$$

denklemlerini elde ederiz. Ayrıca;

$$\mathbf{A = |A|\angle\alpha} \qquad \mathbf{B = |B|\angle\beta}$$
$$\mathbf{V_R = |V_R|\angle 0°} \qquad \mathbf{V_S = |V_S|\angle\delta}$$

eşitlikleri kullanılarak

$$\mathbf{I_R = \frac{|V_S|}{|B|}\angle(\delta-\beta) - \frac{|A|.|V_R|}{|B|}\angle(\alpha-\beta)} \tag{2.15}$$

bağıntısı elde edilir. Böylece alıcı uçtaki kompleks güç $\mathbf{V_R.I_R}^*$,

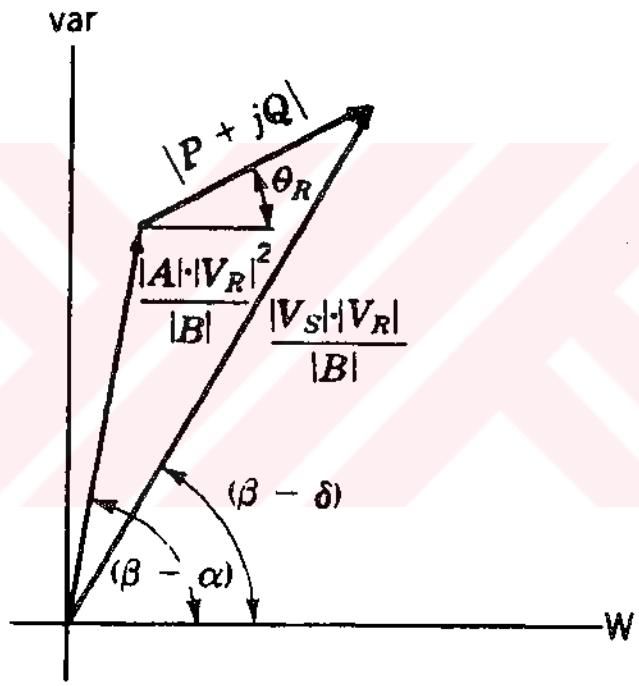
$$\mathbf{P_R + j.Q_R = \frac{|V_S|.|V_R|}{|B|}\angle(\beta-\delta) - \frac{|A|.|V_R|^2}{|B|}\angle(\beta-\alpha)} \tag{2.16}$$

olarak, aynı uçtaki aktif ve reaktif güç bileşenleri de ;

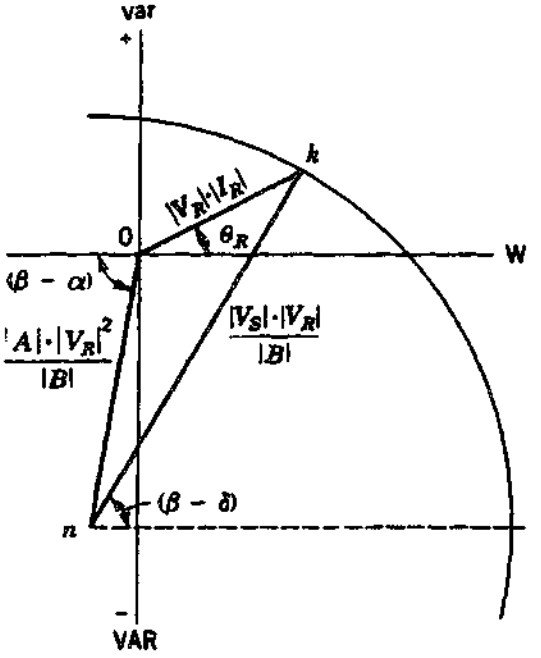
$$P_R = \frac{|V_S|\cdot|V_R|}{|B|}\cos(\beta-\delta) - \frac{|A|\cdot|V_R|^2}{|B|}\cos(\beta-\alpha) \tag{2.17}$$

$$Q_R = \frac{|V_S|\cdot|V_R|}{|B|}\sin(\beta-\delta) - \frac{|A|\cdot|V_R|^2}{|B|}\sin(\beta-\alpha) \tag{2.18}$$

şeklinde yazılır.




**Şekil 2.5.** Denklem (2.16)'daki fazörlerin kompleks düzlemde açı ve büyüklükleri belirtilerek çizimi.




**Şekil 2.6.** Şekil (2.5)'in koordinat ekseni merkezinin kaydırılması ile elde edilen güç diyagramı.

Kutupsal formda ifade edilmiş iki fazörün bir araya getirilmesinin sonucunda kompleks güç $P_R + j.Q_R$ ifadesine dönüşür, sonuç olarak bu fazörler dikey ve yatay koordinatları güç birimleri (Watt ve VAr) cinsinden ifade edilen kompleks düzlemde çizilebilir. (2.5) numaralı şekil, iki kompleks ifade ve aralarındaki farkı göstermektedir. (2.6) numaralı şekilde ise aynı fazörlerin koordinat merkezine kaydırılmış hali gösterilmiştir. Bu şekil, büyüklüğü $|P_R + j.Q_R|$ veya $|V_R|.|I_R|$ olan ve yatay eksenle $\theta_R$ açısını yapan bir güç diyagramıdır. Tahmin edilebileceği gibi $|P_R + j.Q_R|$ ifadesinin gerçek ve sanal kısımları;

$$P_R = |V_R|.|I_R|.\cos\theta_R \tag{2.19}$$

$$Q_R = |V_R|.|I_R|.\sin\theta_R \tag{2.20}$$

şeklinde gösterilir. Burada $\theta_R$ faz açısıdır. Q'nun işareti, akımın gerilimi geciktirdiği durumlarda Q'ya pozitif değerleri atayan kuralı bozmayacak şekildedir.

Değişik yüklerde, $|V_S|$ ve $|V_R|$'nin belirli değerleri için güç diyagramı üzerinde bazı noktalar tesbit etmek istediğimizde ilk olarak farkedeceğimiz olay *n* noktasının yerinin $I_R$ akımına bağlı olmaması ve $|V_R|$ sabit olduğu sürece değişmemesidir. Ayrıca $|V_S|$ ve $|V_R|$'nin sabit değerleri için *n* noktası ile *k* noktası arasındaki uzaklık değişmemektedir. Böylece 0 ile *k* arasındaki uzaklık, yükteki değişimden etkilenir, *k* noktası da sabit *n* noktasından değişmeyen bir uzaklıkta kalacağından, merkezi n noktası olan bir daire üzerinde dönmek zorunda kalır. Bundan dolayı $|V_S|$ ve $|V_R|$'nin belirli değerlerinin olduğu ağlardaki yükleri gösteren tüm noktalar, belirli gerilim değerlerine göre ortaya çıkan daire üzerinde yer alırlar. Eğer $|V_S|$'nin değişik bir değeri $|V_R|$'nin aynı değeriyle sabit tutulursa noktanın yeri değişmez, ama yarıçapı *nk* olan yeni bir daire bulunur.

$|A|.|V_R|^2 / |B|$ değeri üçüncü bölgede yatay eksenle $\beta - \alpha$ açısı yapacak şekilde hesaplandığında, *n* noktasının yeri tesbit edilebilir. Noktanın yerinin saptanmasında daha kesin bir sonuç alınmak istenirse, *n* noktasının yatay ve düşey koordinatları hesaplanarak bu işlem yapılır. Alıcı uç diyagramı için **(2.6)** numaralı şekil incelendiğinde;

$$\text{Alıcı uç dairesinin yarıçapı} = \frac{|V_S|.|V_R|}{|B|} \quad \text{VA}$$

Alıcı uç dairesinin merkezinin koordinatları;

$$\text{Yatay} = -\frac{|A|}{|B|}.|V_R|^2 \cos(\beta - \alpha) \quad \text{W} \qquad (2.21)$$

$$\text{Düşey} = -\frac{|A|}{|B|}.|V_R|^2 \sin(\beta - \alpha) \qquad \text{VAr}$$

şeklinde ifade edilir.

Üstteki denklemler ve güç diyagramı iki terminalli çift hat devre sabitlerinden çıkarıldığı halde, gerilim değerleri her faz için toprağa göre volt cinsinden ve eğer şebekenin gösterdiği devre üç fazlı bir devre ise koordinatlar her faz için Watt ve VAr cinsinden olur. Eğer hatlar arasındaki gerilim farkları, hat ile toprak arasındaki gerilim farkı yerine kullanılırsa, diyagramdaki her uzunluk 3 kat arttırılır. Bunlar, iki gerilim çarpımının uzunluğu tayin etmesi ve ayrıca dengelenmiş üç fazlı bir devrenin hatlar arası gerilim farkının, hat ile toprak arasındaki gerilimin $\sqrt{3}$ katı olmasının sonuçlarıdır. Böylece yukardaki denklemlerde hatlar arası gerilimler kullanıldığında, diyagramdaki Watt ve VAr ifadeleri toplam üç-faz değerleri olurlar. Enerji sistemi çalışmalarında, hatlar arasındaki gerilimin birimi kilovolt cinsinden ve güç miktarları toplam üç fazda kiloWatt, kiloVAr, ve kilovoltamper veya megaWatt, megaVAr ve megavoltamper cinsinden yazılır. (Pender and Del Mar, 1967)

Eğer alıcı uç gerilimi sabit tutulur ve alıcı uç daireleri, gönderen uç geriliminin değişik değerleri için çizilirse, sonuçta meydana gelen dairelerin merkezleri aynı olur. Çünkü alıcı uç dairelerinin merkezlerinin yerleri gönderici uç geriliminden bağımsız değerlerdir. Alıcı uçtaki gerilimin sabit bir değeri için oluşan alıcı uç dairelerinin bir ailesi, **(2.7)** numaralı şekilde gösterilmiştir. Şekil **(2.7)**'de işaretlenmiş yük doğrusunun uygun olması için gereken olay, yükün değerinin artması durumunda güç katsayısının sabit kalmasıdır. Yük doğrusunun yatay eksen ile yaptığı açının kosinüsü güç katsayısının değerini verir. Şekil **(2.7)**'deki yük doğrusu gerilenmiş yükler için çizilmiştir, ayrıca doğru üzerindeki tüm noktalar birinci bölgede yer almakla birlikte tümü pozitif değerlere sahiptir.

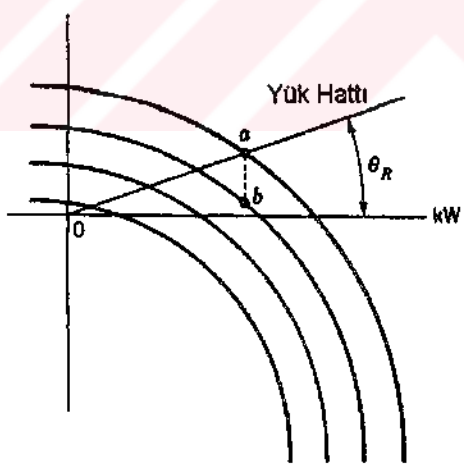
Eğer gönderici uç gerilimi sabit ise, alıcı uç geriliminin değişik değerleri için meydana gelen alıcı uç güç dairelerinin merkezleri aynı olmaz. Yukarıdaki merkez denklemlerinden

de $|\mathbf{V_R}|$'nin her değeri için dairelerin merkezlerinin farklı noktalarda, fakat koordinat merkezinden geçen bir doğru üzerinde olduğunu görebiliriz. Dairelerin yarıçaplarının uzunlukları $|\mathbf{V_R}|$'nin değerine göre değişmektedir.

(2.6) numaralı şekil incelendiğinde, gönderici ve alıcı uç gerilimlerinin belirli değerleri için, alıcı uca iletilen enerjinin bir sınırı olduğu anlaşılır. Pay edilen enerjinin arttırılması demek $\beta - \delta$ açısının 0 olana kadar $k$ noktasının daire üzerinde haraket ettirilmesidir. Bunun anlamı da, $\delta$'nin değeri $\beta$'ya eşit olana kadar daha fazla enerji dağıtılacaktır. Ayrıca $\delta$'nın artması çekilen enerjinin azalmasına sebep olur. Maksimum güç;

$$\mathbf{P_{R_{maks}}} = \frac{|\mathbf{V_S}|.|\mathbf{V_R}|}{|\mathbf{B}|} - \frac{|\mathbf{A}|.|\mathbf{V_R}|^2}{|\mathbf{B}|}\cos(\beta - \alpha) \qquad (2.22)$$

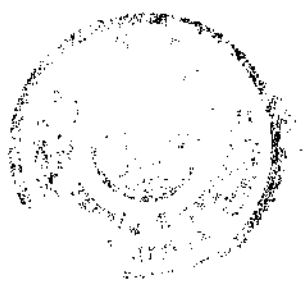
şeklinde ifade edilebilir. Maksimum gücün elde edilebilmesi için yükün yeterli büyüklükte ön akım çekebilmesi gerekmektedir.




**Şekil 2.7.** Alıcı uçtaki gerilimin, $V_R$, sabit bir değeri ve farklı $V_S$ değerleri için oluşan alıcı uç güç dairelerinin bir ailesi.

(2.7) numaralı şekilde, yük doğrusunun $|V_{S4}|$ dairesi ile kesiştiği *a* noktası ile $|V_{S3}|$ dairesinin üzerindeki *b* noktası arasındaki düşey doğrunun uzunluğu, gönderici uç geriliminin $|V_{S4}|$ değerinden $|V_{S3}|$ değerine düştüğü durumda sabit bir $|V_R|$ değeri elde edebilmek için, yükle paralel olarak devreye eklenen kondansatörler tarafından çekilen negatif reaktif gücün miktarını verir. Kapasitede meydana gelecak az miktardaki bir kiloVAr artımı, birim güç katsayısının yük bileşiminde ve aynı $|V_R|$ değeri için $|V_S|$'in değerinde azalma meydana getirir. Tabii ki bu analiz, geciken bir yüke paralel olarak kondansatörler eklendikçe sabit bir $|V_S|$ değerinin yüksek bir $|V_R|$ değeri doğuracağını açık bir şekilde göstermektedir. (Indulkar,et.al., 1989)

(2.7) numaralı şeklin incelenmesi sonucu, gönderici uç gerilimindeki değişmelerin, çekilen aktif ve reaktif gücün değişik değerleri için elde edilen alıcı uç geriliminin sabit olmasını sağladığı ortaya çıkar. Örneğin, yükteki sabit $\theta_R$ ve diyagramın çizimde kullanılan $|V_R|$ ve $|V_S|$ değerleri için elde edilen yük doğrusu ile sabit bir gönderici uç gerilimi dairesinin kesiştiği noktanın koordinatları yükün **P** ve **Q** değerleridir.



# 3. ENERJİ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK

Alternatif akım generatörlerinin tahrik edilmesinde, makinenin çalışmasında ortaya çıkan önemli sorunlardan biri dalgalanmadır. Generatörlere uygulanan döndürme momentindeki periyodik değişimler, makinanın hızında periyodik değişimlere yol açar. Bunun sonucu olan gerilim ve frekans değişimleri sisteme bağlı motorlara iletilir. Motorların doğal osilasyon frekansı ile generatörleri tahrik eden makinelerin neden olduğu osilasyon uyuşursa, gerilim ve frekanstaki değişimlerden ileri gelen osilasyonlar, bazen motorların eşzamanlamasını kaybetmesine yol açar. Tahrik makinası olarak türbinlerin kullanılması bu sorunu azaltmıştır. Ancak, artan yük taleplerine bağlı olarak, sistemler ve aralarındaki bağlantılar gelişmeye devam ettiği için bir enerji sisteminin çeşitli parçaları arasındaki eşzamanlamayı sürdürmek artarak zorlaşmaktadır. Kararlılık, klasik anlamda, bir enerji sisteminin veya ona bağlanan makinaların, bozucu etkiler karşısında ve bu etkiler giderildikten sonra, eşzamanlı olarak çalışmayı sürdürebilmesi yeteneği olarak tanımlanabilir.

## 3.1. Kararlılık Sorunu

Bir trafo üzerinden büyük bir enerji kaynağına bağlanmış eşzamanlı bir motor düşünelim. Motora verilecek enerji, kaynağın gerilimine, motorun iç gerilimine ve bu gerilimler arasındaki faz açısına, faz açısı da motorun rotor konumuna bağlıdır. Sabit hızda çalışan bir motora verilen enerji, şüphesiz motorun enerji çıkışı ve motorda kaybolan enerjinin toplamına eşittir. Motor üstündeki mekanik yük artarsa, enerji girişi arttırılmadıkça motor yavaşlar. Motorun elektrik enerjisi girişi, mekanik enerji çıkışı ve kayıpların toplamına eşit olana kadar, motorun iç geriliimi ile sistem gerilimi arasındaki faz açısı artar. Açı artarken motorun enerji girişi üzerinde ihtiyaç duyduğu fazla enerji gereksinimi, dönen sistemde depolanmış enerji tarafından karşılanır. Motor hızı düşerken depolanmış bu enerji yükün bir kısmını besler. Motor, bu yeni denge noktası etrafında salınımlar yapar ve sonunda bu salınımlar durursa, motor yeni bir kararlı çalışma noktasına gelmiş olur ki bu durumda yükün arttırılması motorun kararlılığını

kaybetmesine yol açmamış olur. Yükteki artış çok büyük veya çok ani olursa veya motor ile enerji kaynağı arasındaki trafonun veya enerji iletim hattının reaktansı büyükse kararlılığın sürdürülmesi ihtimali zayıflar.

Yüksek empedansı ve düşük iletim kapasitesi olan hatlar, gerilim regülatörlerinin ortaya çıkışı ile önem kazanmıştır. Fakat yüksek reaktans, sistem mühendislerini daha büyük bir kararlılık sorunuyla karşılaştırmıştır. I. Dünya Savaşı'nın ardından enerji sistemlerinin hızlı gelişimi, sadece 1930'ların başındaki ekonomik bunalım tarafından geçici bir süre için sekteye uğratılmış ve özel sektör enerji sistemlerinin gelişimiyle sistemler arasındaki bağlantılar da artmıştır. Değişik enerji şirketleri arasındaki enerji değişiminin ve enerjinin uzak mesafelere iletiminin bugün mümkün olması, enerji kaynakları ve yük arasındaki uzun hatların doğasında bulunan yüksek reaktansa rağmen, mühendislerin kararlılık sorununu çözmedeki yeteneğinin bir başarısıdır.

Kararlılığın daha ileri bir tanımı, herhangi bir geçici olay olmadığı zaman makinelerin rotorlarının açısal pozisyonlarının birbirlerine göre sabit kalması veya periyodik olmayan bir geçici olay sonrasında sabit konuma geçmeleri durumu olarak tarif etmektir. Kararlılık ve kararlılık sınırı terimleri, hem sürekli hem de geçici hal durumlarına uygulanır. Sürekli hal kararlılık sınırı, güç yavaş yavaş arttırıldığında bir noktadaki kararlılık kaybına neden olmayacak maksimum enerji akışıdır. Geçici hal kararlılık sınırı ise, ani bir bozucu etki olduğu zaman, kararlılık kaybı olmadan, bir noktadaki olası maksimum enerji akışıdır. Geçici hal durumu yavaş bir şekilde gerçekleştirilirse, kararlılık sürdürülebilir, fakat aniden yapılan ve uygulamanın bu hızından dolayı kararlılığın kaybı ile sonuçlanan bir yük arttırımı durumu da olabilir. Genellikle, geçici hal kararlılık sınırını bilmek istediğimiz bir durum, bir hata sonucu, birçok paralel hattan birisinin devre dışı bırakılmasıyla veya bir hata ve onu takip eden, sistemin bir parçasının bağlantısının kesilmesiyle gerçekleşir.

Her sistem geçici durumlara maruz kaldığından ve geçici hal kararlılık sınırı her zaman sürekli hal kararlılık sınırından düşük olduğundan, incelememizde geçici hal kararlılığı üzerinde de durulacaktır. Bazı durumlarda aşırı yüklenmiş sistemlerde geçici halin sona

ermesinden sonra, sürekli hal kararlılığı sınırlayıcı faktör olabilmektedir. Geçici hal değişimlerini belirlemede kullanılan bir bilgisayar programı genişletilerek sürekli hal kararlılığını belirlemede de kullanılabilir.

Bir enerji sisteminin çeşitli noktalarına bağlı makineler genellikle aynı anda hareket ettiklerinden kararlılık çalışmalarında, bir noktadaki bütün makineler tek bir büyük makine gibi düşünülür. Birbirlerine gerçekte aynı bara üzerinden bağlanmamış, fakat yüksek reaktans hatlarıyla da ayrılmamış makineler, genellikle bir araya toplanarak bir tek makine gibi ele alınabilir. Dolayısıyla bir enerji sistemi, sonsuz güçlü bir baraya bağlı bir senkron makina şeklinde gözönüne alınabilir. Büyük bir sisteme bağlı bir makinenin performansı araştırılırken, sistem sabit gerilim ve frekansa sahipmiş gibi düşünülebilir. Diğer bir deyişle, sistem makine ile bağlantı noktasında sonsuz bir bara olarak varsayılır. Bu nedenle, bazen birçok makineden oluşan bir sistem, iki makineli eşdeğer bir sisteme indirgenebilir. İki makineden oluşan bir sistemi etkileyen faktörler veya sonsuz bir baraya bağlı tek makinelik bir sistemin kararlılığı, birçok makineden oluşan bir sisteminkiyle aynıdır.

### 3.2. Kararlılık Çalışmaları

Bir alternatif akım generatörüne veya eşzamanlı motora gelen akım, onun üretilmiş veya iç gerilimine, bu gerilimin faz açısının sistemdeki diğer makinelerin geriliminin faz açılarına, göreceli konumuna ve şebekeyle yüklerin karakteristiklerine bağlıdır. Örneğin paralel çalışan fakat bundan başka hiç bir dış devre bağlantısı bulunmayan iki alternatif akım generatörü, eğer iç gerilimleri büyüklük ve faz olarak eşitse, hiç bir akım alışverişinde bulunmayacaklardır. İç gerilimlerinin büyüklükleri eşit fakat aralarında faz farkı varsa, bu durumda gerilim farkları ile devre empedansının belirleyeceği bir akım akacaktır. Dolayısıyla makinelerden biri generatör olarak çalışacak ve motor konumuna geçen diğer makinaya enerji sağlayacaktır. İç gerilimlerin faz açıları makinelerin rotorlarının göreceli konumlarına bağlıdır. Enerji sistemi ile generatörler arasında eşzamanlama sağlanmazsa, iç gerilimlerin birbirlerine göre faz açıları durmadan değişerek

düzgün bir çalışmayı olanaksız hale getirecektir. Çeşitli makinelerin hızları referans fazörünün frekansına karşılık gelen hızda olduğu sürece eşzamanlı makinelerin iç gerilimlerinin faz açıları sabit kalır. Herhangi bir generatördeki veya sistemdeki bir yük tümden değişirse, generatörün veya tüm sistemin akımı değişir. Akımdaki değişiklik eğer makinelerin iç gerilimlerinin büyüklüklerinde bir değişime yol açmıyorsa, iç gerilimlerin faz açıları değişmek zorundadır. Faz açıları rotorların göreceli pozisyonlarına göre belirlendiği için, gerilimlerin birbirlerine göre faz açılarını ayarlamak için hızda anlık değişimler gereklidir. Makineler yeni faz açılarına uyumlu olunca veya hızdaki anlık değişimi yokeden bir durum oluştuğunda, makineler tekrar eşzamanlı bir hızda çalışmalıdır. Uygun tasarlanmış bir sistemde makinelerden biri sistemin geri kalanıyla eşzamanlamayı sürdürmezse, rölelerin ve devre kesicilerin çalışması makineyi sistemden çıkarır. Kararlılık sorunu, bir sistemde generatör ve motorların eşzamanlı çalışmasını sağlama problemidir. (Crary, 1945)

Kararlılık çalışmaları sürekli hal veya geçici durumlarla ilgili olmalarına göre sınıflandırılırlar. Bir alternatif akım generatörünün verebileceği ve bir eşzamanlı motorun taşıyabileceği yük için, enerjinin belirli bir sınırı vardır. Bu belirli enerjiyi aşacak şekilde bir generatörün mekanik girişini arttırmak veya bir motorun mekanik yükünü arttırmak gibi girişimler sonucu kararsızlığın başladığı duruma, kararlılık sınırı adı verilir. Değişiklik yavaş yapılsa bile enerji sınırlayıcı bir değere ulaşır. Aniden uygulanan yükler, hataların oluşumu, generatör alanındaki uyarma kaybı ve anahtarlamalar sonucu meydana gelen geçici durumlar, yavaş yavaş uygulanmış ve kararlılık sınırını aşmayacak olsa bile, sistemin eşzamanlamasının kaybına neden olabilirler. Karasızlığın sistemdeki ani veya yavaş bir değişimden kaynaklanmasına göre, enerjiyi sınırlayan faktör geçici kararlılık sınırı veya sürekli hal kararlılık sınırı olarak adlandırılır.

Mühendisler hem sürekli hem de geçici hal durumlarında kararlılığı geliştiren ve kararlı çalışmanın sınırlarını belirleyen yöntemler geliştirmişlerdir. İki makine durumundaki sistemler, çok makineli sistemlerden basit olmasına rağmen, kararlılığın geliştirilmesi, iki

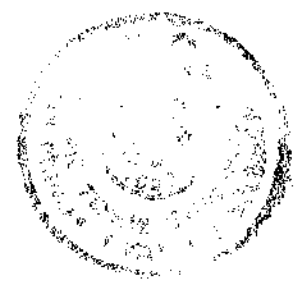
makineli bir sistemin analizinden de anlaşılabilir. Karmaşık bir sistemin kararlılık sınırlarını öngörmede sayısal bilgisayarlar kullanılabilir.

### 3.3. Kararlılık Sınırları

Birbirleriyle bağlantılı dinamik parçalardan oluşan bir sistemin kararlılığı, onun bir etkiye maruz kaldıktan sonra normal veya kararlı çalışmasına dönebilme yeteneğidir. Elektrik enerji sistemlerine de uygulanabilecek olan kararlılık çalışması yöntemleri, bir kontrol mühendisinin ana ilgi alanlarından birisidir.

Eş zamanlı bir generatörün rotoru kritik bir açıya geçince stator ve rotor arasındaki manyetik bağ kopar. Rotor artık stator akımlarının döndürücü alanıyla eş zamanlı değil, bu alana bağıntısız olan bir konum alır ve kutup kayması oluşur. Kararlılığın sağlandığı açısal bölgeden her kutup geçişinde eş zaman oluşturan kuvvetler rotoru eşzaman çalışma konumuna çekmeye çalışır. Bu, bir makine kutup kaydırmaya başladığı zaman onun sistemle bağlantısını kesmek için gözönüne alınan bir durumdur. Buna rağmen eş zamanlamasını yitirmiş bir asenkron generatör olarak başarıyla çalışabilir ve daha sonra tekrar eş zamanlı hale getirilebilir. Böyle periyotta, kontrollü olarak oluşacak kutup kaymalarına izin verme olasılığı incelenmektedir. Fakat bir asenkron generatörü harakete geçirecek şebekenin de gerekli reaktif enerjiyi sağlayabilecek kapasitede olması gerektiği de unutulmamalıdır.

Enerji sistemlerinde iki tür kararsızlık vardır. Eşzamanlı makinelerde eş zaman kaybı ve asenkron yüklerin durması. Eşzamanlı kararlılık iki hale bölünebilir sürekli ve geçici hal. İlki, basit olarak belirli yük şartları altında çalışan bir sistemin, sürekli yük değişimleri ve hatların eklenip çıkarılması gibi küçük etkilere maruz kalındığında eş zamanlamasını koruyabilmesidir. Bu çoğu zaman şebeke yapısındaki değişikliklerden kaynaklanan kaynak - yük empedansı değişimlerinin bir sonucudur.



Geçici hal kararlılığı, şebekedeki örneğin bir arıza sonucu oluşabilecek ani ve büyük değişikliklerle ilgilidir. Transfer edilebilecek maksimum enerji ve kararlılık sınırı, eşdeğer bir sürekli hal durumundan daha düşüktür.

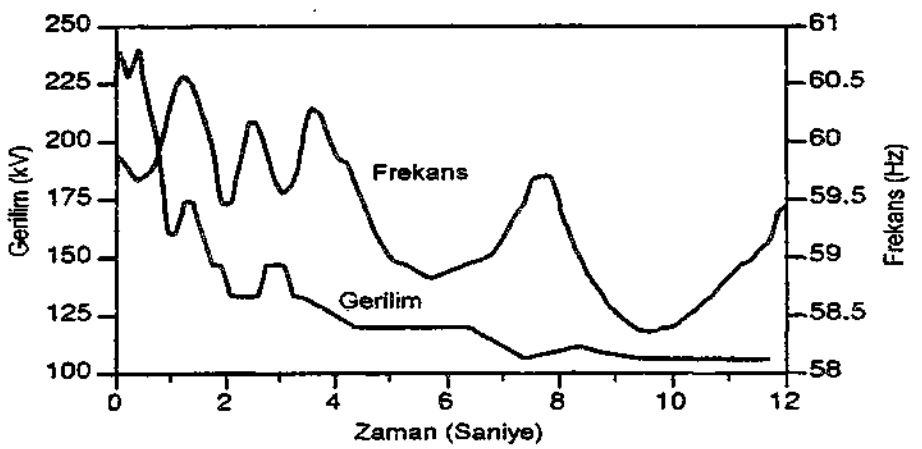
Asenkron bir yükün kararlılığı, üzerindeki gerilimle kontrol edilir. Bu gerilim, kritik bir değerin altına düşerse aenkron motorlar kararsız olabilir ve durabilir. Bu aslında daha önce bahsedilmiş olan gerilim kararsızlığı sonucudur. Bir güç sisteminde eş zaman veya yük kararsızlığı oluşması mümkündür. İlki daha olası olduğu için bu konuya daha çok dikkat edilmiştir. (Kimbark, 1948)

# 4. GERİLİM KARARLILIĞI

Şebekeler arası bağlantıların artışları, yeni teknolojilerin kullanımı, artan yük talepleri yanında finansal ve resmi kısıtlamalara da bağlı olarak, elektrik enerjisi sistemleri günümüzde sürekli karmaşıklaşarak büyümektedir.

Gerilim kontrolu ve kararlılığı problemleri elektrik üretim endüstrisi için yeni olmamakla birlikte çoğu sistemlerde daha yeni yeni özel bir ilgi görmeye başlamıştır. Bir zamanlar öncelikle zayıf sistemler ve uzun iletim hatlarına iliştirilen gerilim problemleri artık daha ağır yüklerin bir sonucu olarak çok iyi geliştirilmiş şebekelerde bile bir ilgi alanı haline gelmiştir. Son yıllarda, gerilim kararsızlığı çoğu ciddi ana şebeke çökmelerinden sorumludur. Bazı önemli vakalar şu şekilde sıralanabilir; (Taylor, 1992)

- 22 Eylül 1970 tarihinde New York Power Pool,
- 28 Aralık 1982 ve 17 Mayıs 1985 tarihlerinde Florida,
- 19 Aralık 1978 ve 12 Ocak 1987 tarihlerinde Fransa,
- 4 Ağustos 1982 tarihinde Kuzey Belçika,
- 27 Aralık 1983 tarihinde İsveç,
- 23 Temmuz 1987 tarihinde Japonya.




**Şekil 4.1.** 17 Mayıs 1985'te Güney Florida'da meydana gelen sistem çökmesindeki gerilim ve frekans değerleri.

Sonuç olarak gerilim kararsızlığı ve gerilim çökmesi terimleri literatürde, sistem planlayıcıların tartışmalarında ve işletmede daha sık görülmeye başlandı. Gerilim kararlılığı, bir enerji sisteminin normal koşullarda ve bir bozucu etki yaşadıktan sonra da, bir sistemdeki tüm baraların kabul edilebilir sınırlardaki gerilim değerlerini koruyabilme yeteneği olarak tanımlanabilir.

### 4.1. Gerilim Kararlılığına İlişkin Temel Kavramlar

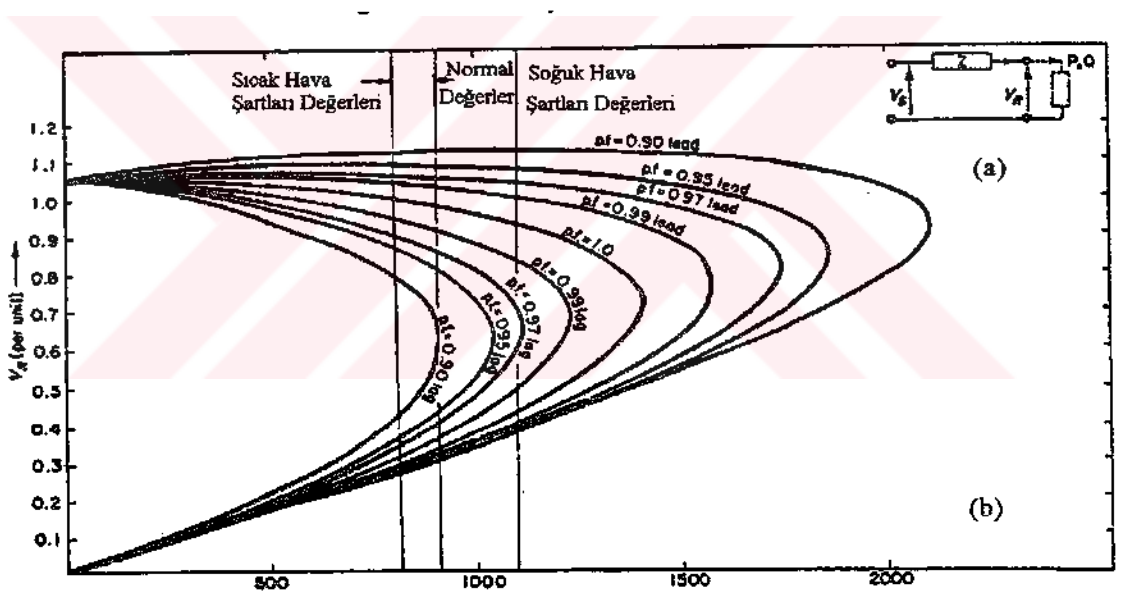
Gerilim kararlılığı problemleri normalde ağır yük koşulları altındaki sistemlerde gerçekleşir. Gerilim çökmesine yol açabilecek olaylar çeşitli sebeplere bağlı olarak başlayabileceği gibi, altında yatan problem enerji sisteminin doğasında olan bir zayıflıktır. İletim şebekesinin kapasitesine ve enerji iletim seviyelerine ilaveten, gerilim çökmesine katkıda bulunan temel faktörler generatör reaktif güç kontrol sınırları, yük karakteristikleri, reaktif kompanzasyon cihazlarının karakteristikleri ve yük altında kademe değiştiren transformatörler (ULTC) gibi gerilim kontrol cihazlarının davranışlarıdır.

### 4.2. Gerilim Kararlılığı Karakteristikleri

Gerilim kararlılığı esas olarak yük kararlılığının bir parçasıdır. Bir sistemdeki gerilimler, gerilim kararlılığı sınırlarıyla yakından ilgilidir. Düşük gerilimlerde enerji üretmek için çok yüksek akımlar çekilir. Güç kat sayısı birden küçük olan yükler için şöyle bir olasılık söz konusudur; nominal değere ulaşılmadan önceki çalışma gücü, karakteristiğin öyle bir noktasında olabilir ki yükteki küçük değişimler büyük gerilim değişimlerine yol açabilir, bu da gerilim kararsızlığı oluşmasına neden olur. Gerçek bir gerilim çöküşü olasılığı yükün niteliğine bağlıdır. Örneğin asenkron motor gibi sabit güç çeken bir yük, çöküşü şiddetlendirir. Eğer yük, ısıtıcı örneğinde olduğu gibi sabit empedans karakteristikli bir yük ise, güç gerilimin karesiyle orantılı olarak azalır ve durum hafifletilmiş olur. Kritik değerlerden biri güç katsayısıdır. Tam yükte, endüktif karakterli bir güç katsayısında 0.99'dan 0.90'a bir değişim gerilim çöküşüne neden olabilecektir. Bu yüzden uzun hatlarda makul enerji transferleri için enerji iletim güç katsayısını bire

yakın, en azından 0.97 (geri) üzerinde tutmak gerekir. Yükte, statik kondansatör kullanımıyla VAr enjeksiyonu veya senkron kompanzatör kullanımı ekonomik açıdan savunulabilir.

İki veya daha çok hattın paralel işletilmesinden bir sorun oluşur. Eğer üç hattan biri bir arıza sonucu koparsa, toplam sistem reaktansı X/3'den X/2'ye artacak ve normalde güç kat sayısını oluşturan kapasite 3C'den 2C'ye düşecektir. Böylelikle toplam gerilim düşümü büyük bir miktarda artar ve artan hat kayıpları ile şönt kapasitelerin yarattığı düşük VAr'a bağlı olarak güç katsayısı azalır. Bu durumda gerilim kararsızlığı olasılığı da görülebilir. Şüphesiz aynı durum paralel bağlı iki hat için de geçerlidir.




**Şekil 4.2. (a)** $P + jQ$ yükünü besleyen bir hattın eşdeğer devresi.

**(b)** Sabit bir güç katsayısında yük gerilimi ile çekilen enerji arasındaki ilişki. Hattın termal durumları da gösterilmiştir.

Genellikle uzun hatlarda alıcı uç baralarında lokal üretim beslemesi vardır. Bu üretim elektriksel olarak yük baralarına yakınsa, ( düşük bağlantı empedansı, $Z_g$) gerilimdeki bir

düşme otomatik olarak lokal var üretimini arttırır ve bu iletilen reaktif gücün uzun hatlarda büyük gerilim düşmelerini önleyecek derecede düşük tutulmasını sağlamada yeterli olabilir. Ancak çoğu zaman lokal generatörler daha düşük gerilim şebekelerini beslerler ve elektriksel olarak yüksek gerilim baralarından uzak olurlar ve $\mathbf{Z_g}$'de yüksektir. Bu durumda gerilimdeki bir düşüş lokal generatör var çıkışında küçük bir değişikliğe neden olur ve yükte kondansatör kullanımı (statik veya ayarlanabilir) gerekebilir. $\mathbf{Z_g}$, lokal üretim nedeniyle yük baralarındaki 3 fazlı kısa devre seviyesiyle ters orantılı olduğu için lokal makinelerdeki reaktif güç dağılımı bu hata seviyesiyle orantılıdır. Kısa devre oranı 0.55 olan modern makineler için birim güç katsayısında çalışma teorik olarak kararlılık limitine % 20'lik bir toleransla yaklaşır.

Bir enerji sistemi, her türlü çalışma şartları altında, sürekli halde ( steady state ) belirli çalışma sınırları arasında gönderici veya alıcı uçtaki gerilim büyüklüklerini kararlı kılacak şekilde, yeterli reaktif enerji desteğini sağlayabilmelidir. Başka bir deyişle, geçici bir durum, artan ve kontrolsuz bir gerilim düşmesine sebep olduğunda, sistem bir gerilim kararsızlığı konumuna geçer. Minimum santral üretimi ve düşük kısa devre seviyesi altında, düşük yük periyodu esnasındaki bir gerilim çığı süreci, gerilim kararsızlığı için iyi bir örnek durumdur. Eğer yeterli reaktif destek verilmezse, bu süreç hat tarafında gerilimin kritik değere ulaşmasına kadar devam eder ve gerilim kararsızlığına yol açar.

Konvensiyonel sürekli hal açısal kararlılık sınırı, yalnızca sınırsız VAr kaynağı olan enerji iletim hatlarına uygulanabilir. Sınırlı VAr kaynakları ile, yüklenebilirlik sınırı gerilim kararlılığı ile kararlaştırılabilir.

Sistemin iki ucu arasında sınırlayıcı açısal ayırıma izin vermek için gereken gönderici uç gerilimini alıcı uç gerilimine eşit tutmak olasıdır. Ayrıca buna karşılık gelen açısal kararlılığı koruyacak maksimum enerji transferi de elde edilebilir.

Eğer, varolan VAr stokları ihtiyaç duyulan maksimum değerden daha az ise, genel bir gerilim seviyesini muhafaza etmek için, kritik açısal ayırım, sınırlayıcı değerden daha az olacaktır. Eğer hat yüklenebilirliği verilen sınırlı bir var stoğu için gereken kritik açısal

ayırıma karşılık gelen değerden daha fazla arttırılırsa, genel bir gerilim seviyesine sahip olma sınırlaması gevşetilmek zorundadır ve de bu şartlar altında hat ilave bir enerjiyi taşıyabilir veya taşıyamaz. Gönderici ucun gerilim olarak kontrol edilmeyen bara olması sebebiyle, kritik durum, açısal ayırımdan ziyade gönderici uçtaki gerilim kararsızlığına bakarak kararlaştırılır.

### 4.3. Gerilim Kararlılığının Sınıflandırılması

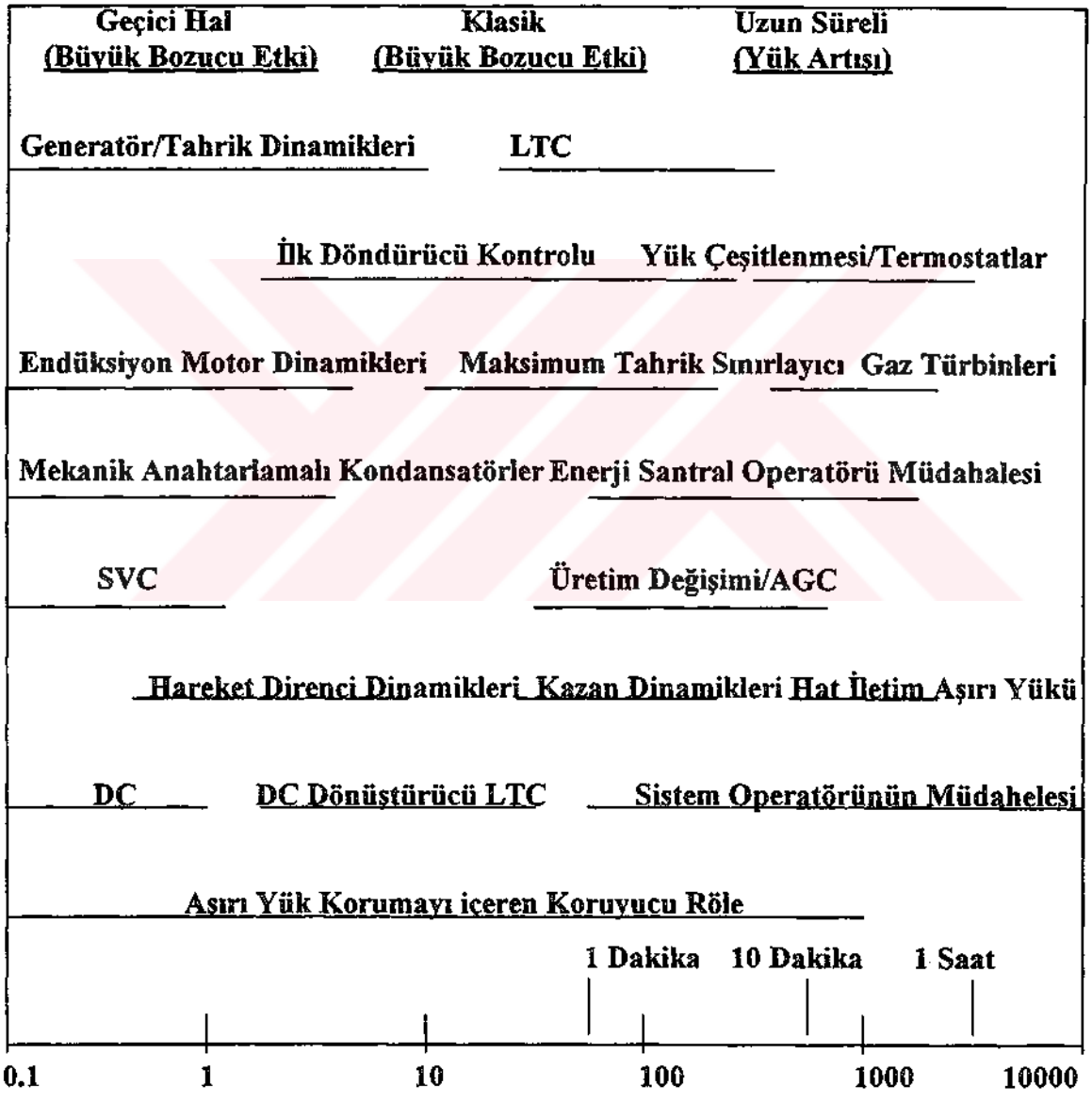
Gerilim kararlılığını iki sınıfa ayırabiliriz; büyük ve küçük bozucu etkilere karşı gerilim kararlılığı. Bu sınıflandırma analitik gereçleri geliştirmede ve uygulamada yardımcı olacak ve tamamlayıcı bilgiler üretecektir.

Büyük bozucu etkilere karşı gerilim kararlılığı, yük kaybı ya da üretim kaybı gibi sistem hatalarında sistemin gerilimini kontrol etme yeteneği olarak düşünülür. Bu formun hesaplanması için sistemin, yük altında kademe değiştirici ve generatör alan akımı sınırlayıcı gibi devrelerin ara işlemlerini yakalaması için yeterli sürede çalıştırılarak dinamik performansının hesaplanması gerekir. Büyük bozucu etkilere karşı gerilim kararlılığı doğrusal olmayan zamana bağlı mükemmel modelleri içeren örneklerle çalışılabilir. Büyük bozucu etkilere karşı gerilim kararlılığı, geçici ve uzun dönemler olarak alt gruplara ayrılabilir.

Küçük bozucu etkilere karşı gerilim kararlılığı, yükte meydana gelen küçük değişiklikler gibi küçük bozucu etkilere karşı sistemin gerilimi kontrol edebilme yeteneğidir. Bu formdaki denge durumu, verilen değer için dinamik eşitliği bulunan doğrusal denge durumundaki sistemler ile etkili olarak çalışılabilir. Bozucu etkiyi takiben, sistem gerilimi orjinal seviyesine dönmez. Bu yüzden çalışılacak gerilim bölgesi iyice tanımlanmalıdır. Böylece sistemin tanımlanan bölge için sonlu dengeye sahip olacağı söylenebilir.

### 4.4. Gerilim Kararlılığının Zaman Çizelgesi

Gerilim kararlılığı ve çökme dinamikleri saniyeler mertebesinden onlarca dakikaya varan geniş bir alana yayılır. Şekil (4.2.)'de gerilim kararlılığında önemli bir rol oynayan çoğu enerji sistemi bileşenlerini ve kontrol birimlerini göstermektedir. Tabloda görüldüğü üzere, sistem karakteristikleri ve bozucu etkiler hangi olayın önemli olduğunu belirleyecektir. Şekil (4.2.) aynı zamanda gerilim kararlılığının geçici ve uzun süreli zaman dilimine yayılmış bir sınıflamasını göstermektedir.




Şekil 4.3. Gerilim Kararlılığı Olayının Zaman Çizelgesi

## 4.5. Modelleme Gereksinimleri

Gerilim kararlılığı üzerinde etkili olan güç sistem elemanları incelenecek olursa;

### 4.5.1. Yükler

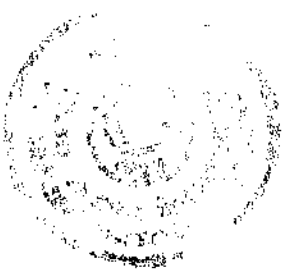
Yük karakteristikleri gerilim kararlılığı analizi için kritik olabilir. Basmakalıp geçici kararlılık ve güç analizlerinin aksine, zayıf gerilim alanlarında genişletilmiş alt iletim sistemleri gerekli olabilir. Alt iletim sistemi transformatör düşük yük kademe anahtarlama işlevini, reaktif güç üretici ve gerilim ayarlayıcıları içermelidir. Yüklere bağlı olan gerilim ve frekans hesaplanmalıdır. Ayrıca asenkron motorları da modellemek gereklidir. Bazı durumlarda yük karakteristiği olarak düşük gerilimler esas alınır.

### 4.5.2. Generatörler ve Tahrik Kontrolleri

Gerilim kararlılığı analizi için, otomatik gerilim regülatörlerinin regülasyon karakteristiğini de hesaba katmak gereklidir. Eğer yüke bir kompanzasyon uygulanıyorsa, onun etkisi de gösterilmelidir. Maksimum reaktif güç sınırı için sabit bir değer seçmek yerine, alan ve armatür akım sınırları özellikle belirtilmelidir.

### 4.5.3. Statik VAr Sistemi (SVS)

Bir statik var sistemi normal gerilim kontrol bölgesinde çalışıyorsa, bara gerilimini hafif bir düşüş karakteristiği ile korur. Reaktif güç sınırları içinde çalıştığı sürece SVS basit bir kondansatör veya reaktör olur, bu da gerilim kararlılığı üzerinde oldukça etkilidir. SVS'lerin bu karakteristikleri gerilim kararlılığı çalışmalarında kullanılabilir.



### 4.5.4. Otomatik Üretim Kontrolu (AGC )

Generatör ve yük arasında belirgin bir uyumsuzluğa yol açan olasılıklar için, temel hız ve frekans kontrolunun işlevi sistem üretimini önemli ölçüde değiştirebilir, bu da bazen gerilim kararlılığına zarar verir. Bu sebeple bu fonksiyonlar uygun bir şekilde kullanılmalıdır.

### 4.5.5. Koruma ve Kontroller

Bunlar üretim birimleri ve iletim şebekeleri koruma ve kontrollerini içerir. Örnek olarak, generatör tahrik koruması, armatür aşırı akım koruması, iletim hattı aşırı akım koruması, kondansatör gruplarının kontrolu, faz-değiştirme regülatörleri ve düşük gerilim kontrolu verilebilir.

## 4.6. Dinamik Analiz

Gerilim kararlılığı analizi için sistem modelinin genel yapısı geçici kararlılık analizindekine benzerdir. Tüm sistemin eşitliği aşağıda gösterilen birinci derece diferansiyel denklemler ile;

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{V}) \qquad (4.1)$$

bir seri cebirsel eşitlik ile;

$$\mathbf{I}(\mathbf{x}, \mathbf{V}) = \mathbf{Y}_N \mathbf{V} \qquad (4.2)$$

bir dizi bilinen ilk durumlardan ( $\mathbf{x}_o$, $\mathbf{V}_o$) oluşmaktadır. Burada;

$\mathbf{x}$ = sistemin durum vektörü

$\mathbf{V}$ = bara gerilim vektörü

$\mathbf{I}$ = akım enjeksiyon vektörü

$\mathbf{Y_N}$ = şebeke düğüm admitans matrisini temsil etmektedir.

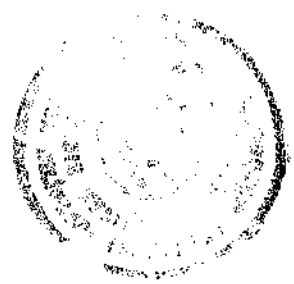
Transformatörün kademe anahtarlama ve faz kaydırıcısı açı kontrolleri ele alındığında, $\mathbf{Y_N}$ elemanları bara gerilimi ve zaman olarak değişmektedir. Akım enjeksiyon vektörü **I**, sistem durum vektörü **x** ve bara gerilim vektörü V'nin fonksiyonudur ve çeşitli cihazların terminallerindeki durumlarını temsil ederler. ( üretici birimler, doğrusal olmayan statik yükler, motorlar, SVS'ler, yüksek gerilim düz akım dönüştürücüleri, HVDC vb.) Zamana dayalı devrelerde olan akım sınırlayıcılarda **I** ve **x** arasındaki ilişki zamanın bir fonksiyonudur.

(4 .1) ve (4.2) nolu eşitlikler sayısal entegrasyon yöntemleri ve şebeke güç akış analizleri kullanılarak zamana dayalı olarak çözülebilir. Çalışma süresi genellikle bir kaç dakikadır. Gerilim çökmesine yolaçan "yavaş sistem dinamikleri"ni temsil eden özel modellerin ilavesi ile, sistemin diferansiyel eşitliği geçici kararlılık modellerinkinden önemli derecede daha zordur. Kesin entegrasyon yöntemleri bu uygulamalar için kullanışlıdır. Çözüm ilerledikçe ve hızlı geçişler bozuldukça, entegrasyon zaman adımlarını otomatik olarak değiştirmeyi sağlayan araçlar, bu tür tekniklerin hesaplama becerisini büyük ölçüde arttırır.

### 4.7. Kararsızlığa Yakınsamanın Saptanması

Küçük çapta bozucu etkiler durumunda gerilim kararlılığına yaklaşım sistem kararsız bir duruma gelene kadar veya güç akışı yakınsıyamadığı duruma kadar, sistem yükünün veya üretiminin adım adım arttırılması ile belirlenir. Yükün arttırılması tüm alanda, belirli bir bölgede veya tek bir barada gerçekleştirilebilir. Üretimdeki artışı genellikle sisteme özgü bir yükleme düzeni izler. Bu sebeple, bir sistem halinden diğerine geçerken karşılaşılan lineer olmayan durumları zaptetmek zorunluluğu vardır.

Belirli çalışma noktalarında farklı modlar için gerçekleştirilen analizler kararsızlığa meyilli bölgelere ilişkin bilgilerle, bara ve üretim katılım faktörlerini sağlar. Gerilim çökmesi noktasında, soldaki özvektör gerilim kararlılığını maksimize edebilmek için sistemi yönlendirecek en etkili yönü tanımlar. İlaveten, reaktif stoklar, kayıplar ve bara gerilimleri gibi değerler kararsızlık mekanizmasına ilişkin oldukça değerli bilgileri sağlar.



# 5. GERİLİM KARARLILIĞI ANALİZLERİ

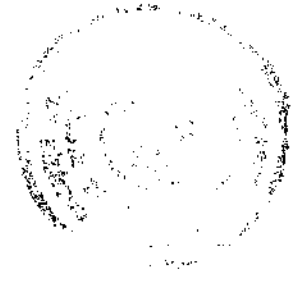
Belirli bir sistem için gerilim kararlılığı analizi iki yönden incelenmelidir;

a) Gerilim kararsızlığına yakınlaşma: Sistem gerilim kararsızlığına ne kadar yakındır?

Kararsızlığa olan mesafe, yük seviyesi, kritik bir arabirimden akan aktif güç ve ek reaktif güç gibi fiziksel miktarlarla ölçülür. Verilen herhangi bir durum için en uygun ölçüm o belirli sisteme ve toleransların tasarlanan kullanımına bağlıdır. Örneğin, işletim kararlarına karşılık planlama gibi. Mümkün olabilecek olasılıklara, hat kopmaları, üretim ünitesi veya reaktif güç kaynağının kaybı gibi, özel bir önem vermek gerekir.

b) Gerilim kararsızlığı mekanizması: Nasıl ve niye dengesizlik oluşur? Karasızlığa katkıda bulunan ana sebepler nelerdir? Gerilimce zayıf alanlar nedir? Gerilim kararlılığını iyileştirmek için en etkili ölçüler nelerdir?

Uygun modellemeyi içeren zaman tabanlı simulasyonlar, kararsızlığa sebep olan olayları ve kronolojiyi yakalar. Bununla beraber bu tür simulasyonlar aşırı zaman tüketir ve kararlılığın derecesi ile hassas bilgiyi kolaylıkla sağlamazlar. Sistem dinamiği gerilim kararlılığını genellikle yavaş etkiler. Bu yüzden bir çok problem statik yöntemler kullanılarak analiz edilir, bu güç sisteminin kararlılık noktasının yardımıyla olur. Statik analiz teknikleri sistem durumunun geniş bir bölgesini inceleme olanağı sunar ve eğer uygun kullanılırsa problemin gerçek nedenini ve yardımcı faktörleri bulma olanağı sağlar. Bunun yanında dinamik analiz, koruma kontrol koordinasyonu ve ölçümlerin testleri gibi özel gerilim çökmeleri üzerinde detaylı araştırma yapmak için kullanışlıdır. Dinamik örnekler ayrıca kararlılık durumu noktasına nasıl erişildiğini de gösterir. (Morison and Kundur, 1992)



## 5.1. Gerilim Kararlılığı Analizine Giriş; P-V Grafikleri

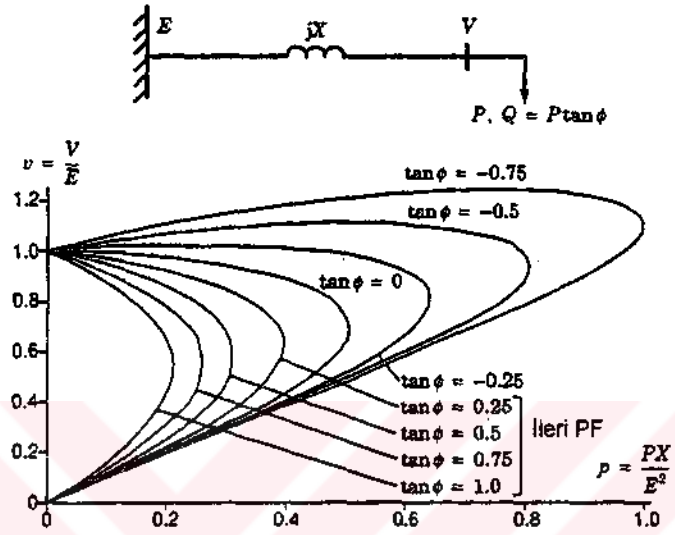
Gerilim kararlılığının daha yavaş hali sıklıkla geçici durum problemi olarak analiz edilir ve enerji akış simulasyonu temel çalışma yöntemidir. Bu bozucu etki sonrası enerji akışının yanısıra, diğer iki enerji akışa dayalı yöntem de yaygın olarak kullanılır; P-V ve V-Q grafikleri. Bu iki yöntem, gerilim kararlılığı ile ilişkili olan geçici durum yüklenme sınırlarını belirler. Geleneksel enerji akış programları yaklaşım analizleri için kullanılabilir.

P-V grafikleri gerilim kararlılığının kavramsal analizi ve radyal sistemler üzerindeki çalışmalarda oldukça faydalıdır. Aynı yöntem, V'nin kritik seviyedeki veya karşılık gelen baradaki gerilim, P'nin bir alandaki toplam yük olduğu geniş hücre gözlü şebekelerde de kullanılır. P aynı zamanda bir nakil arabirimi veya arabağlantısı üzerindeki enerji transferi olabilir. Çeşitli baralardaki gerilimlerin grafikleri çizilebilir. Bunun bir dezavantajı enerji akış simulasyonu, eğri üzerindeki maksimum enerji noktası veya çıkıntının yanından uzaklaşacaktır. Başka bir dezavantaj ise, enerji üretimi bölgedeki yük arttıkça realistik olarak yeniden planlanır. Kavramsal analiz için, yük karakteristiklerinin analiz edilen gerilimin bir fonksiyonu olduğu P-V grafiklerinin kullanımı oldukça uygundur. Örneğin, rezistif bir yükün grafiği $P_{yük} = V_2/R$ eşitliği ile çizilebilir. Hatta, sabit bir enerji yükünün (gerilim bağımsız olarak) karşıt bir uç noktası, P-V grafiği üzerinde düşey bir çizgiden ibaret olup daha da basittir.

Öncelikle yük empedansları üzerine eğilecek olursak, basit bir şebeke teoremi, maksimum enerji naklinin yük empedansının kaynak empedansına eşit olduğu durumlarda gerçekleşeceğini göstermektedir. Daha yüksek yük empedansları (daha düşük admitanslar) için yüksek gerilim, düşük akım çalışma noktalarına geçilir. Daha yüksek admitanslar içinse düşük gerilim, yüksek akım noktalarında çalışmaya ihtiyaç vardır.

En basit bir rezistif yük ve reaktans şebeke örneğinde, gerilim, akım ve enerji arasındaki ilişki Şekil (5.1.)'de gösterilmiştir. Daha önce de ifade edildiği gibi, gönderici uç ve yük empedans büyüklüklerinin birbirine eşit olması durumunda maksimum enerji gerçekleşir.

Maksimum enerjideki bu gerilim değeri kritik gerilim olarak adlandırılır. Şekil **(5.2.)** temel bir model için, farklı güç katsayılarına göre normalize edilmiş P-V grafiklerini göstermektedir. Daha ileri güç katsayılarında maksimum enerji daha yüksektir. İleri güç katsayısı şönt kompanzasyon ile elde edilir. Bu noktada gerilim kararlığının çok önemli bir yönü olan kritik gerilim de daha yüksektir.



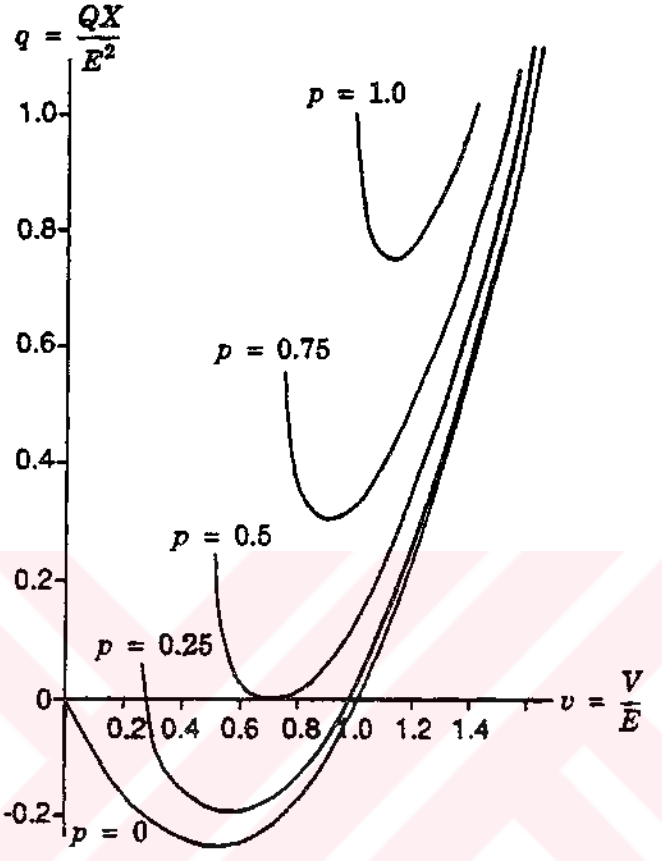

**Şekil 5.1.** Sabit (sonsuz) bir enerji kaynağı ve reaktans bir şebeke için normalize edilmiş P-V grafikleri. Tan $\phi$ = 1.0, 0.75, 0.5, 0.25 ve 0'a karşılık gelen güç katsayıları 0.707, 0.8, 0.894, 0.97 ve 1.0'dir.

## 5.2. Gerilim Kararlılığı Analizine Giriş; V-Q Grafikleri

Öncelikle, Şekil **5.1.**'de gösterilen normalize edilmiş P-V grafikleri V-Q grafiklerine dönüştürülebilir. P'nin sabit değerlerine karşılık gelen Q ve V değerleri her bir güç katsayısı için iki çift olmak üzere kaydedilir ve grafik yeniden çizilir. Elde edilen yeni grafik Şekil **5.2.**'de gösterilmiştir. Yine, aşırı yükler için kritik gerilim değerleri de oldukça yüksektir ( P = 1 pu olması durumunda, V 1 pu değerinin üstündedir).

Grafiğin sağ tarafı gerilimi arttırmak üzere kapasitör yığınlarının uygulandığı normal durumları temsil eder. Grafiklerin sağ tarafındaki dik eğimli doğrusal parçaları daha önce

verilmiş olan Şekil (5.3.)'ün saat yönünde 90 derece döndürülmüş hali ile aynıdır. Daha büyük sistemler için, aynı grafikler bir seri güç akış simulasyonları sonucu elde edilir.




**Şekil 5.2.** Sabit (sonsuz) bir enerji kaynağı ve reaktans bir şebeke için normalize edilmiş V-Q grafikleri. Yükler sabit enerjidedir.

V-Q grafikleri bir test veya kritik baradaki gerilime karşılık aynı baradaki reaktif enerji olarak çizilir. Test barasında bir imgesel senkron kondansatör gösterilir. Bilgisayar programında, bara reaktif enerji sınırları olmayan bir PV barasına dönüştürülür.

Enerji akışı bir seri senkron kondansatör gerilimlerinin yeniden planlanması ile simule edilir ve kondansatör reaktif çıkışının grafiği yeniden planlanan gerilime karşı çizilir. Gerilim bağımsız, absis ise bir değişkendir. Kapasitif reaktif enerji pozitif düşey istikamette çizilir. Şönt reaktif kompanzasyon test barasında uygulanmazsa, çalışma

noktası imgesel senkron kapasitörün devreden çıkarılmasına karşılık gelen sıfır reaktif noktadadır.

Bu eğriler V-Q grafiklerinden ziyade, daha çok Q-V grafikleri olarak adlandırılır. Fakat, V-Q terminolojisi reaktif enerji yükünden ziyade gerilimin bağımsız değişken olduğunu işaret etmektedir. Q-V grafikleri gerilim yerine reaktif yükün yeniden planlanması ile elde edilir.

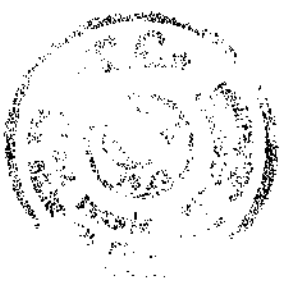
V-Q grafiklerinin çeşitli avantajları vardır;

- Gerilim genliğinin reaktif enerjiyle çok yakın alakası vardır ve V-Q grafiği test barasındaki reaktif enerji toleransını verir. Reaktif enerji toleransı, ya eğrinin tabanındaki çalışma noktasından ya da uygulanan bir kapasitörün gerilim karakteristiklerinin karesinin V-Q grafiğine teğet olduğu noktaya olan MVAr mesafesidir Şekil **(5.3.)**. Test barası bir gerilim kontrollü alandaki (gerilim büyüklük değişimlerinin tutarlı olduğu bir alan) tüm baraların bir temsilcisi olabilir.

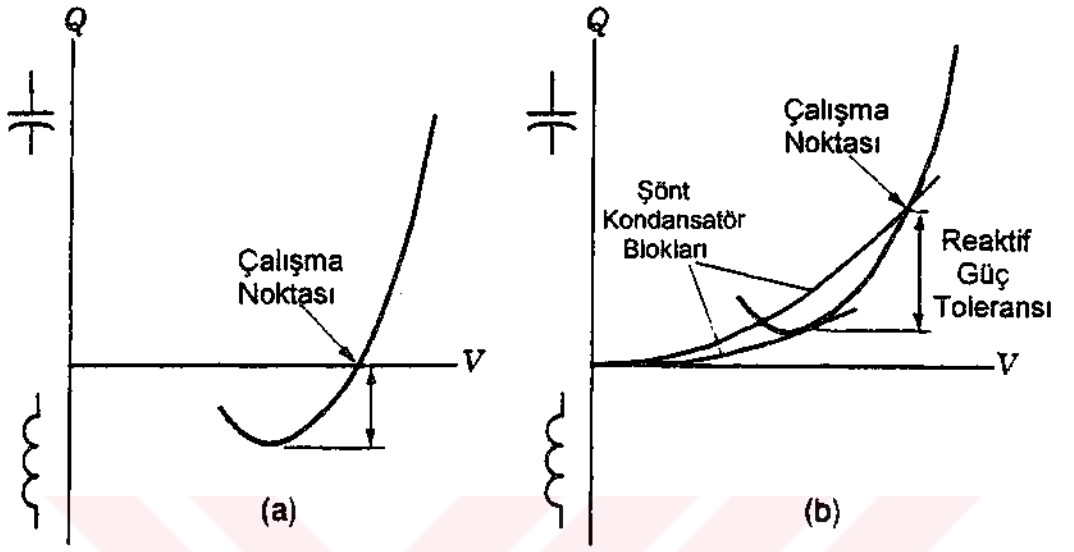
- Sistemin sağlamlığını test etmek amacıyla V-Q grafikleri bir P-V grafiği üzerindeki noktalardan hesaplanabilir.

- Test barası şönt reaktif kompanzasyonunun karakteristikleri (kapasitör, SVC veya senkron kondansatör) direk olarak V-Q grafiği üzerinde çizilebilir. Çalışma noktası, V-Q sistem karakteristiği ile reaktif kompanzasyon karakteristiğinin kesişim noktasıdır Şekil **(5.3.b.)** Reaktif kompanzasyonun genellikle gerilim kararlılığı problemlerine bir çözüm olması sebebiyle bu faydalı bir yaklaşımdır.

- V-Q grafiğinin eğimi test barasının gücünü gösterir (Her bir $\Delta Q$'ya karşılık $\Delta V$).



- Daha detaylı bir görüş elde etmek için generatörlerin reaktif enerjisi de aynı grafik üzerinde çizilebilir. Yakındaki generatörler var sınırlarına ulaştığında, V-Q eğrisinin eğimi daha az dikleşir ve eğrinin tabanına yaklaşılır.



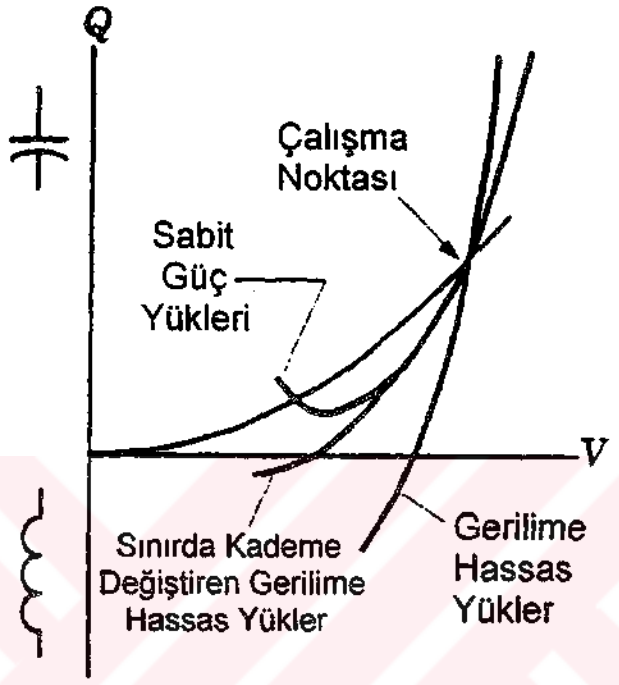

**Şekil 5.3.** Reaktif Enerji Toleransları.

Hesaplama açısından bakıldığında, yapay PV barası enerji akışından uzaklaşmayı minimize eder. Grafiğin sol tarafında çözümler elde edilebilir. Uzaklaşma yalnızca PV barasından uzaktaki baralardaki gerilimlerin aşağıya çekilmesi durumunda gerçekleşir.

Gerçek enerjideki tek değişim kayıplardaki değişikliklerden kaynaklandığından, üretimin yeniden planlanması gereksinimleri minimumdadır. Herbir enerji akış çözümünün hızlı olabilmesi için çok az farkla yeniden planlanan gerilimde bir önceki çözümden elde edilen başlangıç değerleri kullanılır. Tüm grafiğin bir seferde hesaplanabilmesi için süreç otomatik bir hale getirilebilir.

Gerilime hassas yüklerin veya kademe değiştirmeye erişme sınırlarının etkisi, V-Q grafikleri üzerinde gösterilebilir. Gerilime hassas yüklerdeki (kademe değiştirmeden önce) V-Q grafikleri, daha büyük reaktif enerji toleranslarına ve daha düşük kritik gerilimlere sahip olacaktır. Kademe değiştiriciler sınırlara dayandığında, eğriler sol

tarafta yukarıya doğru kıvrılacağına düzleşmeye başlar. Bu durum Şekil **(5.4.)**'te gösterilmiştir.




**Şekil 5.4.** Gerilime hassas yükler ve sınırdaki kademe değiştiricilerin etkisini gösteren V-Q grafikleri.

V-Q grafikleri çoğu enerji santrallarında gerilim kararlılığı analizinin en çok kullanılan yöntemidir. Yöntem yapay olarak tek bir barayı etkilediğinden elde edilen çıkarımlar daha gerçekçi yöntemlerle pekiştirilmelidir. (IEEE, 1990)

### 5.3. V-Q Grafikleri için İşlem Adımları

V-Q grafikleri gerilim kararlılığı hakkında fikir sahibi olmanın en basit yöntemlerinden biridir. Daha önce de belirtildiği gibi, imgesel bir senkron kondansatör bir test barasına uygulanır. Test barası bir PV(üretim) barasına dönüşür ve bir seri gerilim yeniden planlanır. Reaktif enerji çıkışının gerilime karşı grafiği çizilir, bozucu etki öncesi ve sonrası şartları ile çeşitli yük modelleme varsayımları için V-Q eğrileri hesaplanabilir.

Burada dikkat edilmesi gereken bazı noktaları sıralarsak;

- V-Q ( veya aynı zamanda Q-V) grafiklerinin arkasında yatan fikirlerden biri sisteme reaktif yük ilave ederek sistemin güç ve dayanıklılığını test etmektir. Reaktif yük ve gerilim performansı birbiriyle yakından alakalıdır.

- V-Q grafikleri reaktif enerji kompanzasyonunu incelemek için kullanılır. Test barasının şönt reaktif kompanzasyon karakteristikleri V-Q grafiği üzerine eklenebilir.

- Anlamlı olan gerilim menzili yaklaşık 0.9 ila 1.1 pu arasındadır. Bu sınırlar dışındaki modelleme yetersiz kalabilir.

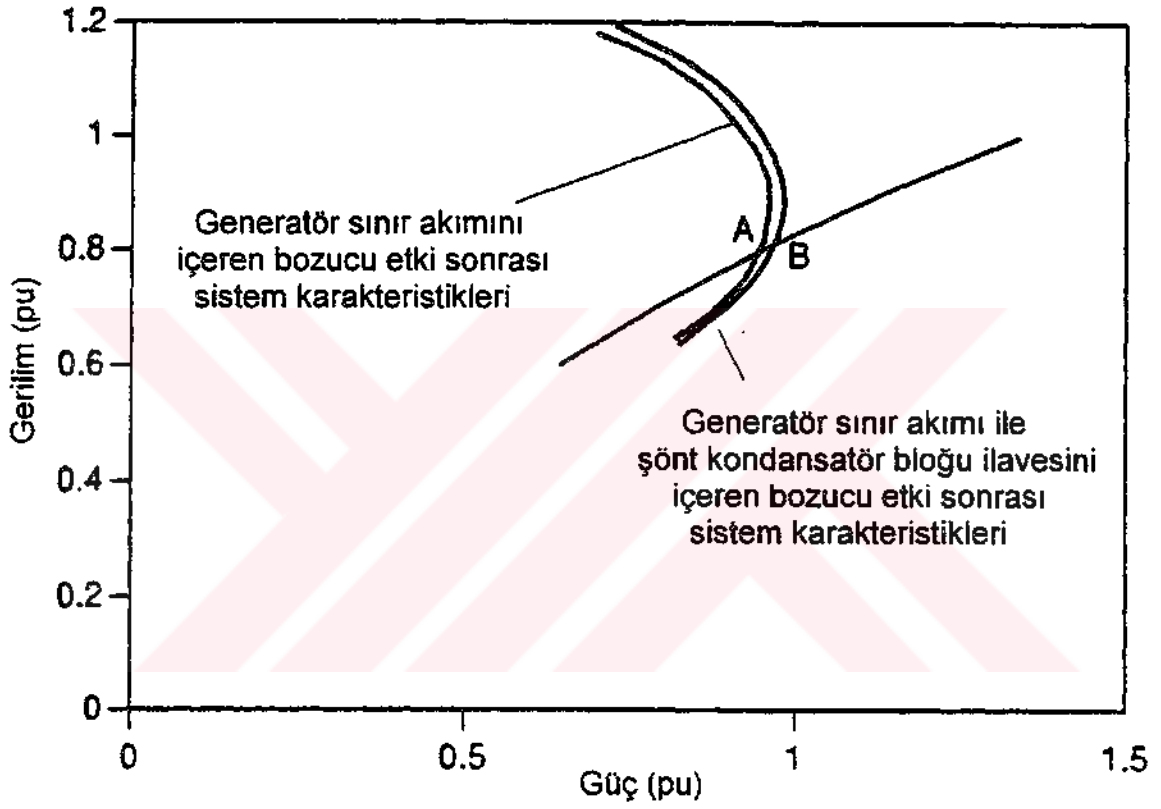
- Uygun olan test baralarının belirlenebilmesi için deneyler yapmak gerekmektedir. En iyi test barası belirli bir bozucu etkiye bağlı olabilir.

- Eğer farklı "gerilim kontrol bölgeleri" bulunabilirse V-Q grafikleri daha aydınlatıcı olabilir.

- Tek bir barada güç altında V-Q grafikleri uygulanabilir. Q-V eğrileri kullanılarak, ilave edilebilir reaktif yükün tüm yük baralarına uygulanabildiği bir bölgede hasssasiyet durumları çalışılabilir.

- Generatör reaktif enerjisinin V-Q grafiklerinin üstüne eklenen çizimleri gerilim kararlılığının kavranmasını sağlar.

- Geniş ölçekli sistemler için, V-Q grafikleri çok gerçekçi değildir ve şu anda daha iyi yöntemler geliştirilmiş bulunmaktadır.




**Şekil 5.5.** Gerilime aşırı hassas yük durumunda kondansatör yığınlarının devreye sokulmasının bir P-V grafiğinin tabanındaki etkisi.

# 6. GERİLİM ÇÖKMESİ

## 6.1. Gerilim Çökmesinin Tipik Senaryosu

Gerilim çökmesi, enerji sistemlerinin önemli bir bölümünde kabul edilemeyen düşük gerilim profiline yol açan gerilim kararsızlığı olgusuna eşlik eden olaylar dizisinden oluşan süreçtir. Gerilim çökmesi bir kaç şekilde açıklanabilir.

Enerji sistemi, ani bir reaktif güç artışı talebine maruz kaldığında, yedek reaktif güce olan ek istek generatörler ve kompensatörler ile karşılanır. Genellikle yeterli yedek enerji vardır ve sistem sabit bir gerilim değerine yerleşir. Buna rağmen, sistemin durumu ve olayların kombinasyonuna bağlı olarak, ilave reaktif güç talebi gerilim çökmesine ve sistemin bir parçasının veya tamamının bozulmasına sebep olabilir. (Barbier and Barret, 1980) Gerilim çökmesine ait tipik bir senaryo aşağıdaki gibi gerçekleşecektir;

- Hizmet dışı yük merkezlerinin yanındaki büyük üretim birimleri ile güç sisteminin anormal çalışması. Sonuç olarak bazı yüksek gerilim hatları aşırı yüklenir ve reaktif güç kaynakları minimum değerde olur.

- En önemli tetikleme olayı ağır yükle zorlanan hattın devre dışı kalmasıdır, bu da kalan ardışık hatların ek yüklenmesine sebep olarak, hatlardaki reaktif gücün kaybolmasını arttıracaktır. Hat tarafından çekilen Q, yüksek empedans yüklemesinin üzerindeki yüklere bağlı olarak hızla artar, böylece sistem üzerinde ağır bir reaktif güç talebine sebep olur.

- Hattın devre dışı kalmasıyla, ek reaktif güç üreten bir sonraki ardışık yük merkezinde kayda değer bir gerilim azalması olur. Bu aynı zamanda bir yük azalmasına neden olur, azalmanın sonucu olarak güç yüksek gerilim hatları üzerinden dengelenmeye çalışılır.

- Yük merkezlerindeki yüksek gerilim seviyesi azalması dağıtım sistemin üzerinde de gözükecektir. Altistasyondaki transformatörün düşük yük kademe anahtarı 2 ila 4 dakika içinde dağıtım gerilimi ve hata öncesi seviyeleri yeniden düzenler. Operasyonun her değişimiyle, yüksek gerilim hatları üzerindeki artış, hatlardaki $XI^2$ ve $RI^2$ kayıplarını da arttırır. Bu da yüksek gerilim seviyesinde büyük bir düşüşe neden olur.

- Sonuç olarak operasyonun her değişiminde, sistem üzerindeki reaktif güç çıkışı artar. Yani, generatörler sürekli alan akımının alabileceği maksimum yükle yüklenir ve reaktif güç sınırlarına dayanırlar. İlk generatör akım sınırına geldiğinde terminal gerilimi düşecektir. Terminal geriliminin düşmesi ile sabit MW çıkışı için, armatür akımı artacaktır. Bu armatür akımını kabul edilebilir sınırlar içinde tutmaya çalışmak daha çok reaktif güç çıkışına neden olabilir. Reaktif yükleme diğer generatörlere de aktarılır, bu da bir çok generatör üzerinde aşırı yüklemeye neden olur. Sistem otomatik kontrol generatörleri ile gerilim kararsızlığına gider. Bu düşük gerilimdeki kompansatörlerin etkisini azaltarak oluşturulur. Bu işlemi takiben gerilim çökmesi olur, nedeni ise üretim birimlerinin ve genel blokların uyumunun kaybolmasıdır.

### 6.2. Gerçek Olaylara Dayalı Genel Karakteristikler

Yaşanmış bir çok gerilim çökmesi olayından belli başlı önemli olanları daha önce listelenmişti. Bu olaylara bağlı olarak gerilim çökmesi aşağıdaki karakteristikleri gösterir;

a) Başlatan olay çeşitli sebeplerden dolayı olabilir; sistem yükünün doğal olarak artması örneğindeki gibi küçük dereceli sistem değişimleri, ya da geniş çaplı ani bozucu etkiler, örneğin üretim biriminin kaybolması ya da ağırca yüklenmiş bir hat. Bazen, beklenmedik bir ilk bozucu etki ardışık olaylara neden olur ve bunlar da sistemi çökertir.

b) Problemin esası sistemin talep edilen reaktif enerjiyi karşılayamamasıdır. Her zaman olmamakla beraber genellikle, gerilim çökmesi hatların aşırı yüklenmesinden oluşur.

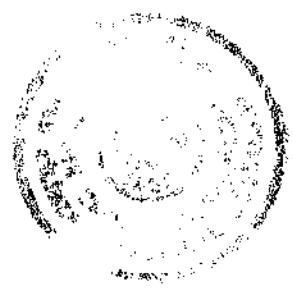
Komşu bölgeler üzerinden reaktif güç iletimi zor olduğunda, ek reaktif güç desteğine ihtiyaç duyan herhangi bir değişiklik gerilim çökmesine neden olur.

c) Gerilim çökmesi genellikle yavaş bir eğimle olur. Bu da bir çok cihazın, kontrol ünitesinin ve koruma sisteminin işlerinin artan iş birikimiyle olur. Çöküş bazı durumda dakikalar alır. Bazı durumlarda ise bir kaç saniyede gerçekleşir. Hızlı olayların nedeni asenkron motor veya DC çeviriciler gibi yüklerdir. Bu sınıftaki gerilim kararsızlığının süresi rotor açısı kararsızlığı ile aynıdır. Bir çok durumda gerilim ve rotor açısı kararsızlığı arasındaki fark açık değildir, ve bazı durumlarda her ikisi de bulunabilmektedir. Bu formdaki gerilim kararsızlığı, özellikle asenkron motor yükleri, generatörler ve iletim ekipmanlarına ilişkin çeşitli kontrol ve koruma birimlerini temsil etmek üzere uygun modellerin kullanılması kaydıyla, geleneksel geçici kararsızlık simulasyonu ile analiz edilebilir.

d) Gerilim çökmesi sistem şartları ve karakteristiklerinden kolayca etkilenmektedir. Aşağıda gerilim çökmesi ve kararsızlığına yol açan genel faktörler sıralanmıştır;

- Üretim ve yük arasındaki büyük mesafe,
- Yük altında kademe değiştiren trafolarda anahtarlamanın düşük gerilim şartlarındaki işlevi,
- Özellikle sabit güç yük karakteristikleri.

e) Gerilim çökmesi problemi şönt kondansatör kompanzasyonunun aşırı kullanımı ile daha kötü bir duruma getiriliyor olabilir. Reaktif kompanzasyon kullanımı şönt kondansatör, statik VAr sistemi ve muhtemelen senkron kondansatörlerin karışımının iyi düşünülmüş bir seçimi ile daha etkili bir hale getirilebilir.



## 6.3. Gerilim Çökmesinin Önlenmesi

Gerilim Çökmesinin önlenebilmesi için sistem tasarımı ve çalışma düzenine ilişkin alınması gereken tedbirler aşağıda tanımlanmıştır. (Mansour and Kundur, 1991)

### 6.3.1. Sistem Tasarım Tedbirleri

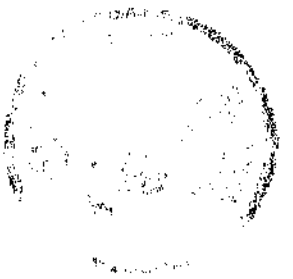
#### (a) Reaktif Güç Kompanzasyon Cihazlarının Uygulanması

Kompanzasyon senaryolarının uygun seçimi ile yeterli kararlılık toleransı sağlanmalıdır. Kompanzasyon ünitelerinin boyutlarının, oranlarının ve yerlerinin seçimi, sistemin tatmin edici bir şekilde çalışabilmesi için gereken birçok külfetli sistem şartlarını kapsayan detaylı çalışmalara dayanmalıdır.

Bir arızayı takip eden maksimum izin verilebilir gerilim düşmesine dayalı tasarım kriterleri, gerilim kararlılığı açısından genellikle tatmin edici değildir. Kararlılık toleransı, kararsızlığa olan MWatt ve MVAr mesafelerine dayandırılmalıdır. Bu sebeple zayıf iletim sınırları ve gerilim kontrol alanlarının tespiti büyük önem taşımaktadır.

#### (b) Şebeke Gerilimi ve Generatör Reaktif Çıkışının Kontrolu

Bir generatörün otomatik gerilim regülatörünün(AVR) yük (veya hat kaybı) kompanzasyonu, gerilimi adım artırımlı transformatörün yüksek gerilim tarafında düzenler. Çoğu durumda, sabit gerilim noktasını elektriksel olarak daha yakın yüklere kaydırması dolayısıyla, bu olayın gerilim kararlılığı üzerinde yararlı etkileri vardır.



**(c) Koruma ve Kontrol Cihazlarının Koordinasyonu**

Gerilim çökmesinin sebeplerinden birisi de koruma ve kontrol cihazları ile güç sistemi gereksinimleri arasındaki koordinasyon bozukluğudur. Dinamik simulasyon çalışmalarına bağlı olarak yeterli bir koordinasyon sağlanmalıdır.

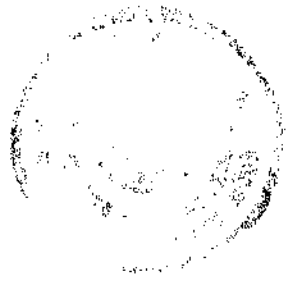
Aşırı yükleme durumunu önlemek için cihazların devreden çıkarılmasına son çare olarak başvurulmalıdır. Mümkün olabilen her yerde, cihazları sistemden yalıtmadan önce aşırı yük şartlarını hafifletmek için yeterli kontrol ölçümleri (otomatik veya elle) sağlanmalıdır.

**(d) Transformatör Kademe Değiştiricilerin Kontrolu**

Gerilim çökmesi riskini azaltmak amacıyla, kademe değiştiriciler hem lokal hem de merkezi olarak kontrol edilebilir. Kademe değiştirmenin düzenlenemediği yerlerde kullanılan basit bir yöntem, kaynak tarafindaki gerilim çöktüğünde kademe değiştirmeyi engellemek ve gerilim eski haline döndüğünde bu engeli kaldırmaktır.

Geliştirilmiş ULTC kontrol taktiklerinin uygulanması potansiyeli oldukça yüksektir. Dağıtım şebekesi karakteristikleri ve yüklere ait bilgilere dayalı olarak bu tür taktikler oluşturulmalıdır.

Mikro-işlemci tabanlı ULTC kontrol cihazları, ULTC kontrol taktiklerinin gerçekleştirilmesinde yük karakteristiklerinin avantajlarından yararlanabilmek için sınırsız esneklik sağlar.



**(e) Düşük Gerilim Yük Dağıtımı**

Plan dışı veya aşırı uç durumları karşılayabilmek için, düşük gerilim yük dağıtımı seneryolarının kullanılması gerekebilir. Bu senaryolar, üretim eksikliği ve düşük frekansa yolaçan aşırı uç durumların üstesinden gelmede artık çok yaygın bilinen bir santral pratiği haline gelmiş düşük frekans yük dağıtımına çok benzerdir.

Yük dağıtımı, geniş çaplı sistem çökmelerini önlemenin düşük maliyetli bir yoludur. Dağıtılacak yüklerin karakteristikleri ve konumları gerilim problemlerinde frekans problemlerinde olduğundan çok daha fazla önemlidir. Yük dağıtım senaryoları, gerilim çökmesine varabilecek arızalar, geçici ani gerilim düşüşü ve düşük gerilim şartlarını birbirinden ayırabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

### 6.3.2. Sistem Çalışma Toleransı

**(a) Kararlılık Sınırı**

Sistem, gerilim profilinin ve reaktif güç kaynaklarının uygun planlanması ile yeterli bir gerilim kararlılık toleransı ile çalıştırılmalıdır. Halihazırda, tolerans derecesinin seçimi ve indis olarak kullanılacak sistem parametreleri için geniş çapta kabul görmüş klavuzlar yoktur. Bunlar büyük oranda sisteme özgüdür ve her bir sistemin karakteristiklerine bağlı olarak oluşturulabilir.

Eğer istenen tolerans varolan reaktif güç kaynakları ve gerilim kontrol olanakları tarafından karşılanamazsa, enerji transferini sınırlamak ve kritik bölgelerde gerilim desteğini sağlamak üzere ek üretim birimlerini devreye sokmak gerekebilir.

**(b) Dönen Yedek Kaynaklar**

Şönt kondansatörlerin devreye sokulması ve makul veya orta karar tahriklerde arzulanan gerilim profilini sürdürebilmek için, eğer gerekiyorsa, generatörleri çalışır vaziyette tutarak, yeterli oranda dönen reaktif enerji yedekleri temin edilmelidir. Gereksinim duyulan yedek kaynaklar, her bir gerilim kontrol bölgesinde önceden belirlenmeli ve bakımı sürekli yapılmalıdır.

**(c) Operatörün Yapacağı İşler**

Operatörler gerilim kararlılığına ilişkin arazları tanıyabilecek kapasitede olmalı ve gerekli olan gerilim ve enerji transferini kontrol etmek ve de muhtemelen son bir çare olarak yükü azaltmak gibi iyileştirici hareketleri yerine getirmelidir. Gerilim çökmesini önleyecek çalışma taktiklerinin oluşturulması gerekmektedir. Potansiyel gerilim problemlerini ve olası iyileştirici tedbirleri belirlemek için, gerçek zamanlı gözlemleme ve analiz bu açıdan çok değer taşımaktadır.

## 7. KRİTİK DEĞERLER

Bir enerji iletim hattının gönderici uçtaki aktif ve reaktif gücü,

$$P_S = [V_S^2.(d_1.b_1 + d_2.b_2) - V_S.V_R.(b_1.\cos(\delta) - b_2.\sin(\delta))] / (b_1^2 + b_2^2)$$
$$Q_S = [V_S^2.(d_1.b_2 + d_2.b_1) - V_S.V_R.(b_2.\cos(\delta) + b_1.\sin(\delta))] / (b_1^2 + b_2^2) \quad (7.1)$$

denklemi ile verilebilir. Bu denklemler gönderici ve alıcı uçlardaki gerilim ile bunlar arasındaki açısal ayırımın fonksiyonu olarak yeniden yazılabilir. Bu sebeple, sistemin gönderici ucundaki güç denge denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$p(V_R, V_S, \delta) = P_S - [V_S^2.(d_1.b_1 + d_2.b_2) - V_S.V_R.(b_1.\cos\delta - b_2.\sin\delta)] / (b_1^2 + b_2^2) = 0$$
$$q(V_R, V_S, \delta) = Q_S - [V_S^2.(d_1.b_2 - d_2.b_1) - V_S.V_R.(b_2.\cos\delta + b_1.\sin\delta)] / (b_1^2 + b_2^2) = 0 \quad (7.2)$$

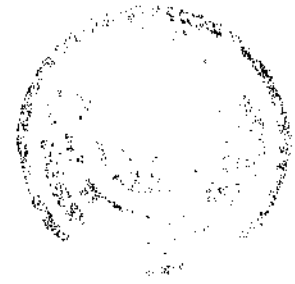
Şebekeye beslenen aktif ve reaktif enerjideki değişimlere bağlı olarak çalışma şartlarının değiştiği varsayılmaktadır. Bu sebeple, nominal çalışma noktası etrafında aşağıdaki şartların sağlandığı söylenebilir.

$$\Delta p = [(\partial p / \partial \delta).\Delta\delta] + [(\partial p / \partial V_S).\Delta V_S]$$
$$\Delta q = [(\partial q / \partial \delta).\Delta\delta] + [(\partial q / \partial V_S).\Delta V_S] \quad (7.3)$$

$V_S$ ve $\delta$ açısındaki herhangi bir sapma için (7.3) numaralı denklemler sağlandığından, $\Delta p$ ve $\Delta q$ sıfıra eşitlenir. Maksimum enerji transfer kriteri, (7.3) numaralı denklemlerin Jacobian tekilliği gözönüne alınarak belirlenir. (Wallach, 1986) Bu da kararlı bir çalışma için aşağıdaki denklemde sonuçlanır.

$$(\partial p / \partial \delta).(\partial q / \partial V) - (\partial q / \partial \delta).(\partial p / \partial V) = 0 \quad (7.4)$$

Bazı işlemlerden sonra (7.4) numaralı denklemden gerilim kararlılığı sınırında çalışan bir sistemin gönderici ve alıcı uç gerilimleri arasında aşağıdaki bağıntı elde edilebilir. Gönderici ucun bu değerini kritik değer olarak adlandırırsak;



$$V_{S_{CRIT}} = V_R / [2.(d_1.\cos(\delta) - d_2.\sin(\delta)] \quad (7.5)$$

eşitliği elde edilir. $Q_S = P_S.\tan(\theta)$ eşitliğini kullanarak ve (7.1) ve de (7.5) numaralı denklemleri yerine koyarak, gönderici uçtaki güç katsayısı ve kritik açısal ayırım arasında aşağıdaki denklem elde edilir;

$$\delta_{CRIT} = \pi / 4 + [a\tan(K_2 / K_1)] / 2 \quad (7.6)$$

Yukardaki denklemde;

$$K_1 = d_1.(b_1.\tan(\theta) - b_2) - d_2.(b_1 + b_2.\tan(\theta))$$
$$K_2 = -d_2.(b_1.\tan(\theta) - b_2) - d_1.(b_1 + b_2.\tan(\theta)) \quad (7.7)$$

eşitlikleri mevcuttur.

Gönderici uçtaki kritik güç, (7.1) numaralı denklemlerden ilkinde , Vs ve $\delta$ açısının değerleri yerine (7.5) ve (7.6) numaralı denklemlerde belirtilen kritik değerler konularak elde edilebilir.

$$P_{S_{CRIT}} = V_R^2.(d_1.b_1 + d_2.b_2 - 2.K_3.K_4) / [4.K_4^2.(b_1^2 + b_2^2)] \quad (7.8)$$

denkleminde;

$$K_3 = b_1.\cos(\delta_{CRIT}) - b_2.\sin(\delta_{CRIT})$$
$$K_4 = d_1.\cos(\delta_{CRIT}) - d_2.\sin(\delta_{CRIT}) \quad (7.9)$$

eşitlikleri bulunmaktadır. (*)

---

(*) N.H. Yükseler, "Power Delivery Capabilities Limited By Voltage Stability In Compensated Long Transmission Lines", International AMSE Conference, "Modelling Simulation", Greensboro, North Carolina (U.S.A.), Vol. 1, pp 55-62, October, 29 - 31, 1990.

## 8. SERİ KOMPANZASYON

Kararlılık sınırlarını arttırarak, uzun enerji iletim hatlarının güç kapasitelerini arttırmaya yönelik bir çok çalışma yapılmıştır. Paralel iletim hatları, demet iletkenler, gerekli VAr'ı destekleyen istasyonlar ve seri kondansatör kompanzasyonu bu çalışmaların bir kısmını teşkil etmektedir. Seri kondansatör kompanzasyonu, yüksek var gereksinimlerine sebep olan yüksek reaktansa sahip uzun enerji iletim hatları için en ekonomik yoldur. Gerilim düşmesinin ana sebebi yüksek reaktansa bağlı olduğundan, reaktansın negatif reaktans olarak davranan seri kondansatörler vasıtasıyla kompansazyonu oldukça faydalıdır. Bu da gerilim kararlılığı sınırlarını arttırır. Fakat, aynı zamanda, kısa devre şartlarındaki yüksek aşırı gerilimler gibi bazı dezavantajları da vardır. Bu durumda hattan akan akım, kondansatörler üzerinde çok yüksek gerilimler yaratır. Bu sebeple, kondansatörlerin yerleştirileceği yerler, gerilimi hat boyunca eşit dağıtacak şekilde seçilmelidir. Genelde, bu amaçla kondansatör yerleşim çalışmaları yapılır. Eğer, kompanzasyonun yalnızca bir noktada yapılması gerekiyorsa, hattın orta noktası en iyi seçim olabilir. Aynı zamanda paralel reaktörlerin seri kondansatörlerle birlikte kullanılması da bu şartlar için oldukça faydalıdır.

Bu çalışmada, kondansatörlerin orta noktada, paralel reaktörlerin de gerçek durumda olduğu gibi enerji iletim hattının iki ucunda olduğu varsayılmıştır. Hattın sınırlı enerji besleme kapasitesi durumunda seri kompanzasyon oranının gerilim kararlılığı üzerindeki etkileri hakkında fikir sahibi olmak amacıyla hesaplamalarda yalnızca seri kompanzasyon değiştirilmiştir.

Seri kompanzasyon oranı ($K_S$) şu şekilde tanımlanabilir;

$$K_S = (-X_C) / X_L = (X_L - X_{LC}) / X_L$$

Burada $X_C$ kompanzasyon kondansatörlerinin etkili reaktansı, $X_{LC}$ kompanze edilmiş hattın reaktansı ve de $X_L$ kompanze edilmemiş hattın reaktansıdır. (Yükseler, 1992)

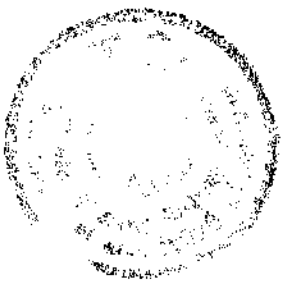
### 8.1. Dağıtım Şebekelerinde Gerilim Kontrolü

Enerji iletim hatlarında, her faza eşit oranda yük paylaşımı için çabalar gösterilmiş olmasına rağmen, yüklerin aynı zamanda uygulanmaması nedeniyle bir dengesizlik oluşmaktadır.

Kaynak ile yük arasındaki reaktansın çok yüksek olduğu durumlarda kademe ayarlı transformatörlerin kullanımı yeterli bir yarar sağlamaz. Besleme hatlarındaki büyük gerilim düşmeleri ve transformatörlerdeki kademe ile ayarın artması, besleme akımlarının artmasına yol açar. Pratikte eğer ani gerilim düşmesine yakın bir durum olursa, bu sonucu kademe ile değiştirme olayının özel etkileri doğurur. Örnek olarak sekonder gerilimin kademe ile azalmasını veya bu olayın tam tersini verebiliriz. Kademe ayarlı transformatörlerin ağır cevap vermesi kritik duruma ulaşmanın önemli bir belirtisidir.

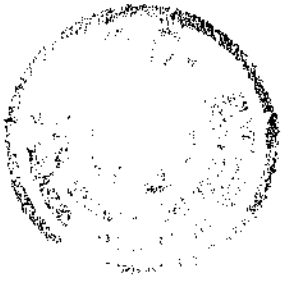
### 8.2. Gerilim Kararsızlığında İleri Noktalar

Asenkron motor besleyicilerindeki aksaklıkları yaratan, asenkron motorların birdenbire durmasına sebep olan en önemli neden, besleme geriliminin çok kısa bir periyot için sıfır ya da çok düşük bir değerde olmasıdır ve bu olay besleme sisteminde aksaklığa yol açar. Besleme gerilimi yeniden sağlandığında asenkron motorlar hızlanır ve önceki çalışma durumuna tekrar geçerler. Hızlanma sırasında, büyük bir akım çekilmesi ve buna ek olarak sistem empedansındaki artışın hatta kayba yol açması, motor terminallerde büyük miktarda gerilim indirilmesine neden olur. Eğer bu gerilim çok düşük olursa makineler aniden durur veya devrelerde kopma olur.



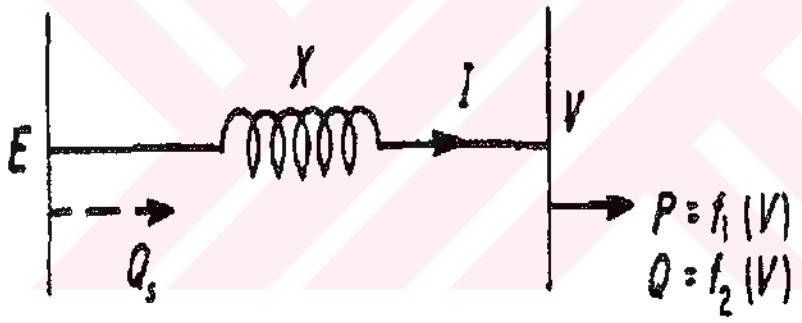
### 8.3. Sürekli Hal Kararsızlığına Dayalı Gerilim Regülatörleri

İki hat üzerinden sonsuz bara besleyen bir generatörün hatlarından birinin aniden kaldırıldığını düşünelim. Generatörün yük açısı sabit kalır ve böylece düşen sistem reaktansının artması ile enerji çıkışı düşer, bu olay da generatör geriliminin yükselmesine neden olur. Generatörün otomatik gerilim regülatörü kendi alanını zayıflaştırır ve sabit gerilim elde eder. Böylece, örnek olarak iç elektro motor kuvveti (E.M.K.) azalır ve sürekli kararsızlık ortaya çıkar.



## 9. YÜKLERİN KARARLILIĞI

Belirli bir güç katsayısı altındaki güce iletilen enerji belli bir değeri aşınca yük empendansı düşerek büyük gerilim azalmalarına, dolayısıyla gerilim kararsızlığına neden olur. Eğer yük tamamen statikse ( örneğin sadece empedansla gösteriliyorsa), sistem bu düşük gerilimlerde de kararlı çalışacaktır. Bazen alternatif akım kullanırken, şebeke analistleri bu düşük gerilim durumunu farkında olmadan elde eder ve beklenmeyen yük akışları oluşur. Yük, asenkron motorlar gibi, statik olmayan elemanlar içeriyorsa, karakteristiği, belirli bir kritik nokta geçilince motorların çalışmasını sekteye uğratacak hatta durduracak şekildedir. Bu yüzden büyük oranda asenkron motor içeren karma yüklerin kararlılığını düşünmek önemlidir.



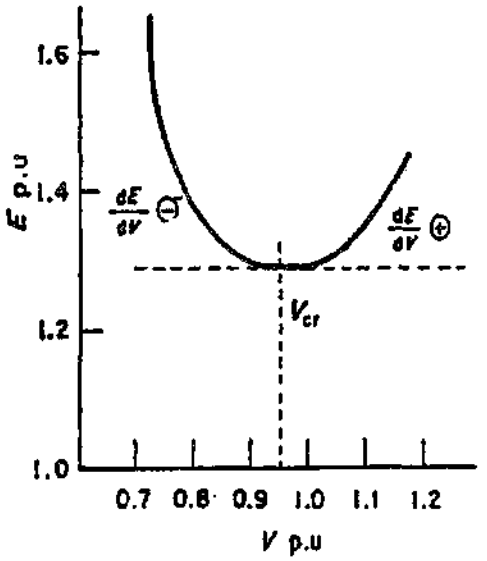

**Şekil 9.1.** Gerilime bağlı yükten oluşan bir sistem.

$$P = f_1(V) \text{ ve } Q = f_2(V)$$

$$Q_S = \text{VAr Kaynak} = Q + I^2X$$

$$E = \text{Kaynak gerilimi}$$

Gerilim çöküşünün süreci, bir asenkron motorun **V-Q** karakteristiğinin incelenmesiyle görülebilir. Görüldüğü gibi belirli bir gerilim değeri altında harcanan reaktif enerji, $(dQ/dV)=\infty$ olana kadar ( bu noktada gerilim çökmesi oluşur) azalan gerilim ile artar.

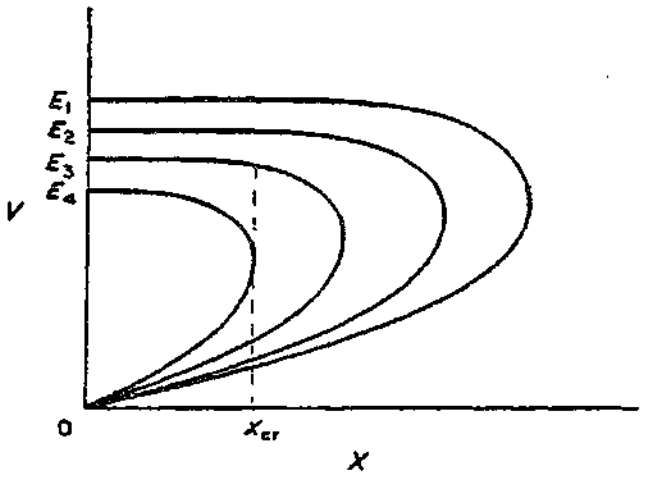



**Şekil 9.2.** Şekil (9.1)'de görülen sistemin E-V karakteristiği.

$V_{CR}$ = Aşıldığında kararsızlığın oluşacağı kritik gerilim.

Enerji sistemlerindeki sorunların çoğu, yük ve sonsuz sayıda bara arasındaki bağlantının empedansı nedeniyle meydana gelir. Şüphesiz empedans yüksekse ( bağlantı elektriksel olarak zayıfsa ) bu durum daha da şiddetlenir. Anormal derecede yüksek empedansın nedeni, bağlantıyı oluşturan iki veya daha çok hattan birinin kaybedilmesidir. Bu yüzden süreci basit formda incelemekte yarar vardır.

Sabit bir gerilim kaynağı tarafından bir reaktans üzerinden beslenen yük, **(9.1.)** numaralı şekilde gösterilmiştir. Yük kararsızlığı için önceden verilen iki kriter, (dP/dS)=0 ve (dQ/dV)=∞ idi. Sistem açısından gerilim çöküşü (dE/dV)=0 veya (dV/dE)=∞'da gerçekleşir. E'nin her değeri buna karşılık gelen bir değeri üretir ve E-V grafiğinin çizimi **(9.2.)** numaralı şekilde gösterilmiştir. E'nin çeşitli değerleri için V-X grafiği de **(9.3.)** numaralı şekilde çizilmiştir. Bu grafiklerde kritik çalışma durumu açıkca gösterilmiştir. E'nin yüksek değerinde açıkça görülen iyileşme, sistemin çalışma geriliminin yük açısından önemini işaret etmektedir.




Şekil 9.3. V-X karakteristiği.

Kaynak Gerilimi E'nin değişiminin etkileri.

$X_{CR}$ = Enerji iletim hattının kritik reaktansı.

(9.1) numaralı şekilde görülen devrede;

$$\frac{P.X}{V} \ll \frac{V^2 + Q.X}{V}$$

olduğu durumda, $$E = V + \frac{Q.X}{V}$$

eşitliği bulunmaktadır. Ayrıca,

$$\frac{dE}{dV} = 1 + \left(\frac{dQ}{dV} XV - QX\right)\frac{1}{V^2}$$

ifadesi kararlılık sınırında, sıfır kararsız durumda da negatif değer almaktadır.

Sınırdaki ifadeler;

$$\frac{dE}{dV} = 0 \quad ve \quad \frac{dQ}{dV} = (\frac{Q.X}{V^2} - 1)\frac{V}{X} = \frac{Q}{V} - \frac{V}{X}$$

$$\frac{Q}{V} = \frac{E}{X} - \frac{V}{X}$$

$$\frac{dQ}{dV} = \frac{E}{X} - \frac{2V}{X}$$

şeklindedir.

# 10. EKSPERT SİSTEMLER VE BİLGİSAYAR KULLANIMI

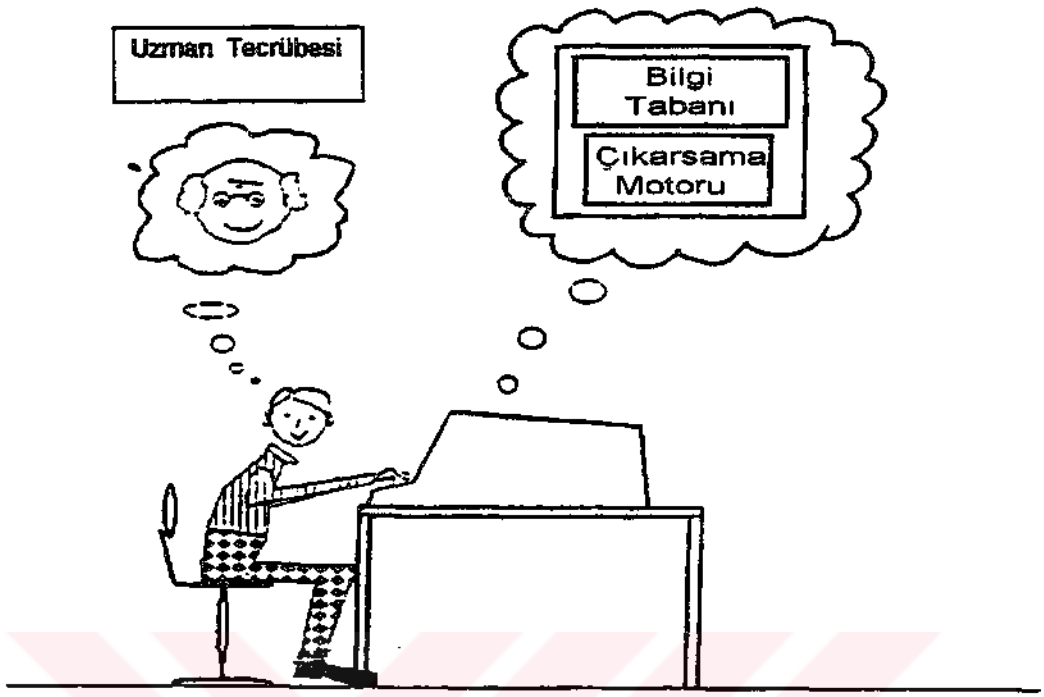
Gerilim kararlılık sınırına yakın durumda iletilen enerjiyi tespit etmek oldukça zordur. Bir bilgisayar vasıtasıyla yapılan hesaplamalarla bu durumun olabileceği sonuçlar bulunabilir, fakat bunun başka durumlara da yol açabileceği olasılığından dolayı kesin karar vermek zordur. Kullanılabilecek bir yöntem, hattın ve yükün güç-gerilim karakteristiklerini çıkarmaktır, bu iki karakteristiğin kesişimleri sistemin çalışma şartlarını verir.

Sürekli rejim kararlılığı çalışmalarında her adımda eklenen yük artımları küçüktür ve bu olay şebeke çözümleyicilerinin doğruluğunda şüphe yaratır. Buna karşın sayısal bir bilgisayar kullanarak hesaplamalarda kesin doğrulukta başarılı yük akışları sağlanabilir.

## 10.1. Ekspert Sistem Nedir?

Şekil (10.1.)'de gösterilen basit bir ekspert sistem; bir bilgi tabanından (knowledgebase) ve bu bilgi tabanındaki gerçekler çerçevesinde dış ortamdan aldığı verileri kullanarak sonuçlara varan programdan oluşur. Bu program **Çıkarsama Motoru** (Inference Engine) olarak adlandırılır. (Ignizio, 1991)

Önceden kaydedilmiş bilgi tabanına sahip bir bilgisayar, bilgi birikimi ve verileri işlemede çıkarsama motorunu kullanır. Kullanıcı ekspert sistemle bir ekran ve klavye veya mouse vasıtasıyla, aynen bir uzmanın tecrübesine danışır gibi iletişim kurar. Gelişen teknoljinin sağladığı olanaklarla geniş ve dokunmatik ekranların kullanımı, gerek sistemin daha iyi bir şekilde görsel simulasyonunu sağladığından, gerekse kullanıcının sistemi sorgulamasında yalnızca parmak uçları ile dokunarak bilgiye ulaşımını kolaylaştırdığından, insan makina arasındaki bu iletişim bugün çok daha iyi bir noktaya ulaşmıştır.




**Şekil 10.1.** İlk Nesil Bir Ekspert Sistem.

Bilgi tabanı hakkındaki en önemli konulardan birisi bilginin sunuş stilidir. Bilgi, yani programlar, döngüler ve dallar içeren algoritmalar halinde ve belli bir sıralama düzeninde yazılır. Bilgisayarın her komutu, program içinde aksi belirtilmedikçe, program içerisindeki sıraya göre işleme koyması beklenir. Fakat bilgi tabanındaki bilgiler bir adımlar dizisi içinde verilmemiştir ve gerçeklerin oluş sırası önemli değildir.

Bir ekspert sistem içindeki bilgi tabanında zaman zaman değişiklikler, eklemeler, çıkarmalar yapma zorunluluğu doğabileceğinden, bilgiyi programlardan ayrı saklamak bu işlemleri daha kolay yapabilmeyi sağlar.

Pratikte, sadece çıkarsama motoru ve bilgi tabanından oluşan ekspert sistemler kullanışlı değildir. Bu tür sistemlerin kullanıcıları, kullandıkları sistemin sonuçlara nasıl ulaşıldığı hakkında bilgi vermemesinden dolayı, sonuçların güvenilirliği konusunda şüpheye düşerler. Bu yüzden bazı ekspert sistem tanımları, sistemin vardığı sonuçların nedenlerinin de açıklaması gerektiğini belirtirler.

Yukarıda bahsedilen çıkarsama motoru ve bilgi tabanı tamamen ayrıdır. Örneğin bir bilgi tabanının silinip yerine tamamen farklı içerikte bir diger bilgi tabanı koyulması mümkündür. Fakat şu da açıktır ki bir ekspert sistemin sadece bilgi tabanını değiştirerek yeni bir ekspert sistem ortaya çıkarmak kolay olmayabilir. Bazı bilgi tabanları başka bir bilgi tabanının yerine kopyalanmasını zorlaştıran, zaman bağımlılığı, geri besleme, belirsizliğin düzeyi gibi kendilerine özgü özelliklere sahiptirler.

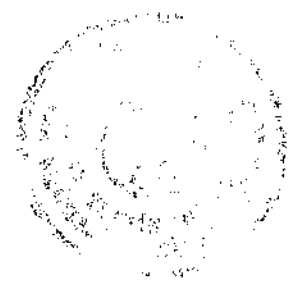
Ekspert sistem teknolojisi geliştikçe bilgi basit bir yapıdan sıyrılıp daha detaylı, derin ve karmaşık bir yapıya bürünmüştür. Ayrıca bilgi tabanına bazı programların da eklenmesiyle bilgi tabanı oluşturma, yenileme, değişiklikler yapma gibi işlemler kolaylaşmıştır. Gelişmiş ekspert sistemlerde bilgiler elektronik gözler, simulasyon programları gibi kullanıcı harici kaynaklardan da elde edilebilmektedir. Bu sistemlere akıllı bilgi tabanlı sistemler denmektedir.

Bu aşamada veri ve bilgi terimlerinin farkını irdelemek gereklidir. Bilgi ekspert sistemin bir parçasıdır ve ekspert sistemin her kullanılışında aynı şekilde değişikliğe uğramadan kullanılır. Fakat veri dış ortamdan alınır ve her durum için farklıdır.

Kullanıcı ekspert sistemle bir klavye ve ekran aracılığı ile iletişim kurar. Sisteme bağlı olarak kullanıcı bazı özel bilgiler girebilir veya sistem kullanıcıya test veya onarım işleminin başlatılıp başlatılmayacağını, rapor alınıp alınmayacağını sorabilir. Her ekspert sistemde az veya çok sistem-kullanıcı etkileşimi vardır.

### 10.2. Ekspert Sistemlerin Avantajları

Ekspert sistemlerin bir organizasyona getirdiği avantajları şu şekilde sıralamak mümkündür:



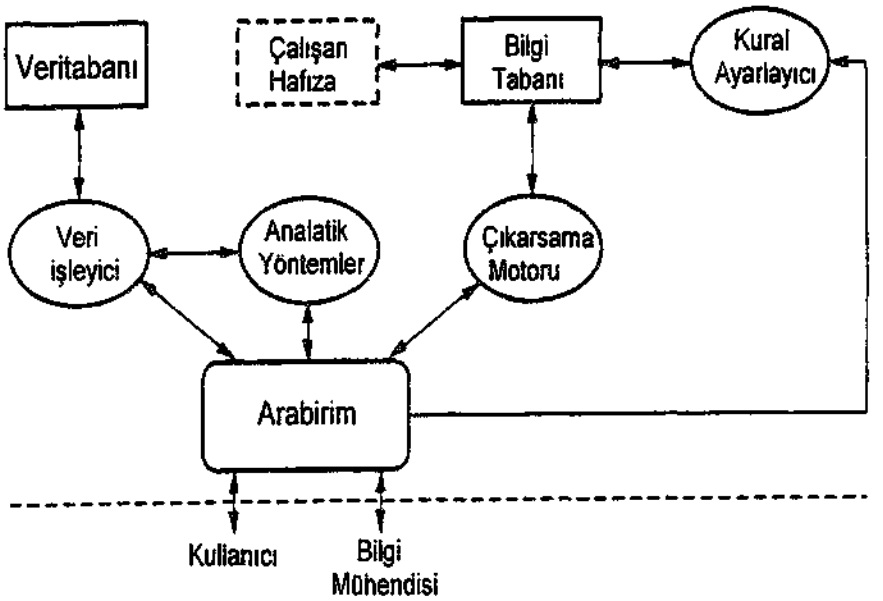
- İş gücünün eğitiminde rol alır,
- Uzman yeteneklerinin başka yer ve zamanda kullanımını sağlar,
- Arıza tespit ve onarım kalitesini arttırır,
- Kaza olasılıklarını azaltır,
- Arızalara hızlı müdahale ederek zaman ve üretim kaybını önler,
- Optimum sonuçları bulmak için deneyler yürütür,
- Operatörün rutin görevlerini azaltır,
- Ürün kalitesini ve verimliliğini arttırır,
- Daha kolay yönetim olanağı sunar.

### 10.3. Karar Destek Sisteminin Bir Parçası Olarak Ekspert Sistemler

Karar Destek Sistemlerinde (KDS) analitik yöntemlere (algoritmalar) başvurulur. Hemen hemen bilinen tüm KDS'ler keşifleri, çoğu durumda da çıkarım programlarını kullanır. Bu elemanların ilavesi KDS'lerin kapasitelerinin, aynı zamanda da kabul edilebilirliğinin arttırılmasını sağlar.

Son zamanlarda, KDS tasarımcıları KDS mimarisine keşifsel çıkarımları ve böylece Ekspert Sistemleri de dahil etmeye başladılar. Şekil **(10.2.)**'de gösterildiği üzere, birleştirilmiş bu sistem, hem KDS'e hem de Ekspert Sisteme mantıki bir uzantı sağlarken, öte yandan her iki sistem yaklaşımını da daha üstün hale getirecektir.

Elde varolan problemlerin belirgin özelliklerine bağlı olarak uygun matematiksel modeller ve algoritmalar gibi analitik araçlar ile bilgi tabanları ve çıkarsama taktikleri gibi uzman keşiflerinin seçilerek kullanılabilmesine olanak sağlar. Gerçekte, analitik araçlarla problemin bu yaklaşıma uygun kısmını hallederken, kalanının da ekspert sistem tarafından çözülmesi olanağı ile her iki yaklaşımın da aynı probleme uygulanabilmesine izin verir.




**Şekil 10.2.** Bütünleştirilmiş bir Karar Destek ve Ekspert Sistem Şeması

### 10.4. Bir Ekspert Sistemin Dış Dünya İle Bağlantısı

İlk ekspert sistemler, tüm verileri kullanıcıdan bir ekran ve klavye vasıtası ile alıyorlardı. Henüz algılayıcılar ve diğer programlarla tümleşmemiş olan ekspert sistemler, kullanıcıların da ihtiyaçlarına tam olarak cevap veremiyordu. Bu sistemlerde asıl amaç kullanıcının ihtiyaçlarının giderilmesi yönündeydi, çünkü sistemin tek veri kaynağı kullanıcı idi. Üstelik bu sistemler çok yavaştı ve dolayısı ile algılayıcılardan gelen verilerin değerlendirilmesi imkansızdı. Günümüzdeki ekspert sistemlerde ise insanın, bilgisayarların ve diğer veri tespit ve aktarım elemenlarının uyum içerisinde çalışması sağlanmaktadır. Ayrıca, bu sistemler kullanıcıya istediği zaman sisteme müdahale etme; bilgisayara da diğer programlara ve elemanlara müdahale etme olanağı vermektedirler.

Ekspert sistemler "Tavsiye Veren" (Advisory System) ve "Kontrol Eden" (Controlling System) olarak iki grupta incelenir. Tavsiye veren ekspert sistemlerde klavye ve ekran ön plana çıkar ve bu sistemler kullanıcıya ilgili konularda yapılması gerekenleri gösterirler. Kontrol eden sistemlerde veriler otomatik olarak alınır ve kontrol mekanizması kendiliğinden veya kullanıcı kontrolünde işlemeye başlar.

### 10.5. Kullanıcı Arayüzü

Ekspert sistemin giriş/çıkış kısmı genellikle kullanıcı arayüzü olarak adlandırılır. Kullanıcıya çıkarsama süreci icra edildiği esnadaki geçici ara verileri ve mantık yürütmelerinin açıklamalarını verebilecek şekilde hazırlanmalıdır. Kullanıcı bilgi tabanına erişebilmeli ve eğer seçerse bazı gerçeklikleri güncelleştirebilmelidir. Girilen veriler kullanıcın kolayca sağlayabilmesi için bir menü düzeninde yerleştirilmelidir. Çıkış verileri grafikler, tablolar vb. kullanıcının seçimine bağlı olacaktır.

### 10.6. Gerçek Zamanlı Ekspert Sistemler İçin Gereksinimler

#### 10.6.1. Cevap Hızı

Dinamik olarak değişen durumlarda kontrol edenin (controller), istenen etki için kontrol işlemini zamanında başlatması gereklidir.

#### 10.6.2. Yarıda Kesilebilme

Anormal bir durum ortaya çıktığı taktirde, sistem alarm sinyalleri vererek kullanıcıyı uyarırken arıza olmayan bölgelerin de kontrolüne devam etmelidir.

### 10.7. Ekspert Sistemlerin Performansı

#### 10.7.1. Algılayıcı

Hatalı okuma sistemdeki herhangi bir arızadan kaynaklanabileceği gibi algılayıcının verileri hatalı okumasından da kaynaklanabilir. Veriler, diğer algılayıcılardan elde edilen verilerle karşılaştırılarak hatanın kaynağı tespit edilebilir.

### 10.7.2. Kullanılmayan Veriler

Kullanılmayan veya eski veriler silinerek sistem güncelleştirilmelidir. Bir sonuca varılması ile o sonucun işleme konulması arasındakı zamanda sonuç geçersiz olabilir. Bu durumda sistem, hangi sonuçları tutup hangilerini sileceğini bilmek ihtiyacındadır.

### 10.7.3. Bilgi Devamlılığı

Sistem kullanıldığı sürece bazı parçalar değişecek veya yeni parçalar eklenecektir. Bu durumda bilgiler yeni koşullara göre değiştirilmelidir.

### 10.7.4. Modelleme ve Simulasyon

Çoğu ekspert sistem, bilgi tabanına dayalı olarak sonuca gider. Simulasyon çok sayıda hayali durum için bilgi üretilmesini, dolayısıyla da sistemin bilgi tabanının genişlemesini sağlar.

# 11. OTOMATİK ARIZA TESPİTİ VE EKSPERT SİSTEM KULLANIMI

Elektrik üretim tesisleri genellikle bir dağıtım şebekesinde hatlardaki arızanın kesin yerini tesbit edebilme problemi ile karşı karşıyadır. Bu arızalar genellikle olabilecek en kötü zamanda gerçekleşir ve işletmenin müşterilerinde maksimum oranda sıkıntıya yol açar. Bu sebeple işletme elektrik dağıtım servisini onararak kesintisiz sürdürebilmek için en kısa zamanda arızanın yerini tesbit etmek ve yalıtmak zorundadır.

Varolan arıza tesbit yöntemleri arıza göstergeleri, radarlar veya çeşitli ölçüm cihazları kullanır. Diğer bir yöntem ise "böl ve alt et" tekniğidir. Bu yöntemler hızlı arıza yeri tesbiti için arzu edilenden daha yavaştır ve hatta ekstra zarar verebilir. (Steiner, 1992)

Tüm ölçümlerin bilgisayar tarafından değerlendirildiği otomatik bir arıza tesbit sistemi prototipi geliştirilebilir. İşletme bir alt bölümde meydana gelen bir kesinti haberini aldığında, kısa bir araştırma sonucu tüm alt bölgenin enerjisiz kaldığı anlaşılır. İşletmedeki arıza giderecek teknisyenler cihazı hatta bağlayarak problemin yerini tesbit etmeye çalışırlar. Tamamen bilgisayar kontrolu altında, cihaz teknisyene arızanın n ve n+1 nolu transformatörler arasında olduğunu bidirir. Teknisyen hızla hattın arızalı kısmını yalıtarak sistemin yeniden çalışır hale gelmesini sağlar. Daha sonra uygun bir zamanda, aynı cihaz hattın arızalı olduğu daha önce tesbit edilen bölümüne yeniden bağlanarak arızalı noktanın yeri otomatik olarak kesinlikle saptanır.

## 11.1. Ekspert Sistemlerin Arıza Tespitinde ve Kontrolde Kullanımı

Arıza tespitinde ve kontrolde kullanılan ekspert sistemler planlama ve programlama yapan sistemlerden farklıdır. Tespit ve kontrolde sistemin varabileceği sayılı miktarda sonuç vardır. Öyle ki örneğin bir iletim hattı için olabilecek kontrol hareketleri ve olası arızaların sayısı sınırlıdır. Bu tür sistemler "sınıflandırılabilen" sistemlerdir. Sistem verileri değerlendirir ve sınıflandırır. Sonuç, önceden girilen sayılı durumlardan birisidir. Potansiyel olarak, planlama ve programlama yapan sistemlerde sayısız problemlerle

karşılaşılabilir, fakat belirli sınırlamalarla bu sayı üstesinden gelinebilecek miktarlara düşürülür. Planlama ve programlama, sentezleme problemleri olduğundan dolayı, açığa çıkan sonuç önceden sistem tarafından bilinen bir sonuç olmayabilir.

Kontrol için kullanılan ekspert sistemler sürekli ve otomatik olarak bir operatör gözetiminde işlerken, arıza tespitinde bulunan ekspert sistemler sadece gerek duyulduğu anda yani arıza anında devreye sokulurlar. (Kimura and Nishimatsu, 1992)

### 11.2. Dağıtım Şebekelerinde Reaktif Enerji Kontrolu İçin Bir Ekspert Sistem

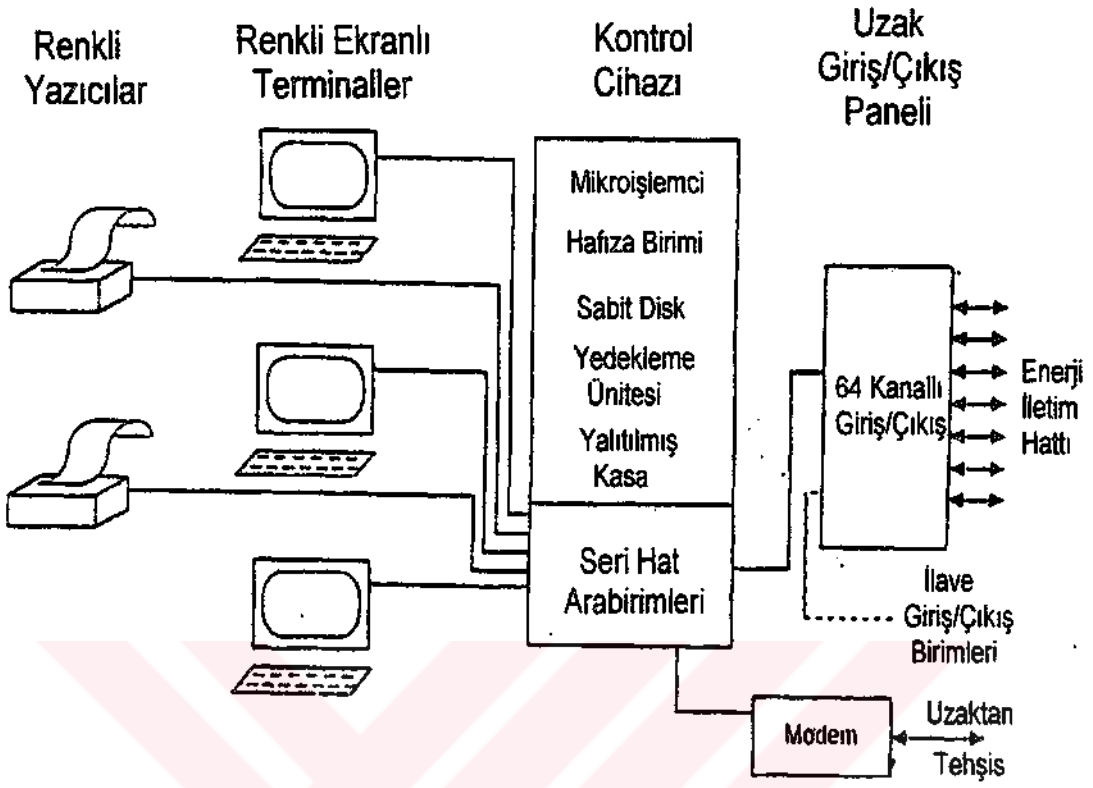
Ekspert sistemlerin enerji sistemlerinde uygulanması son yıllarda dikkate değer bir oranda artmıştır. Son yıllarda enerji sistemleri için geliştirilen ekspert sistemlerin % 41'den fazlası arıza teşhisi içindir. Teknik uzmanların çok önemli bilgi birikimleri genellikle bir ekspert sistemin bilgi tabanının oluşturulmasında kullanılmaktadır. Bilgi tabanının kurallar tabanı çok basit deneyimlere dayalı çıkarımsal kurallardır ve üretilen bu kurallar sistematik bir formda LISP, PROLOG türü herhangi bir yapay zeka dili veya C kullanılarak yazılır.

Çıkarımsal kurallar arıza problemlerini tanımlamanın anahtar kısmıdır. Bu kurallar arıza problemini hesaplamak için kodlanarak çıkarsama motoru tarafından mantıksal muhakemeler vasıtasıyla icra edilir. Ekspert sistemler enerji sistemlerinde planlama, yeniden tarifeleme, kontrol, tasarım, tahmin, bilgilendirme ve eğitim gibi amaçlarla da kullanılmaktadır.

Literatürlerde varolan ekspert sistemlerin çoğu, problem hakkındaki basit gerçekler, problemi etkileyen çeşitli faktörler arasındaki karşılıklı ilişkiler, problemi çözmek için gereken fikirler ve çıkarımlar benzeri insan deneyimlerindeki temel kurallardan faydalanır. Bu bilgi tabanı genellikle arıza teşhisinde ekspert sistemlerde yeterlidir. Daha büyük ve karmaşık matematiksel problemlerle uğraşan bir ekspert sistemin geliştirilmesi yalnızca insan deneyimini kullananlara nazaran daha karmaşık bir bilgi tabanına gereksinim duyar.

Yan dallara ve şönt kondansatörlerle gerilim regülatörlerine sahip bir dağıtım şebekesindeki gerilim ve reaktif enerji kontrolu için geliştirilecek ekspert sistem bu tip bir sistemin örneğidir. Kuralları tesbit etmede ve çıkarsama motoru tarafından ihtiyaç duyulan ve optimum tasarrufu sağlayacak şekilde kondansatör yerleşim noktalarını, boyutlarını ve anahtarlama sürelerini kararlaştıracak veri tabanının oluşturulmasında insan deneyimleri yeterli olmayacaktır. Bu durumda, tecrübeli sistem mühendisinin bilgi birikimi çok iyi değerlendirilir, ancak bu tür karmaşık problemler için yeterli olmayacaktır. Diğer bir yandan, teknik literatür probleme ait çok değerli bilgiler içermektedir. Bu "teknik literatür uzmanlığı" olarak adlandırılabilir. İnsan deneyimi teknik literatür uzmanlığı ile birlikte önerilen ekspert sistemin bilgi tabanını oluşturmakta kullanılabilir. Geliştirilen ekspert sistem dağıtım şebekesinin planlama aşamasında kullanılabileceği gibi aynı zamanda gerçek-zamanlı kontrol ünitesinin çalışma koşulları altında da görevlendirilebilir. (Salama, 1992)

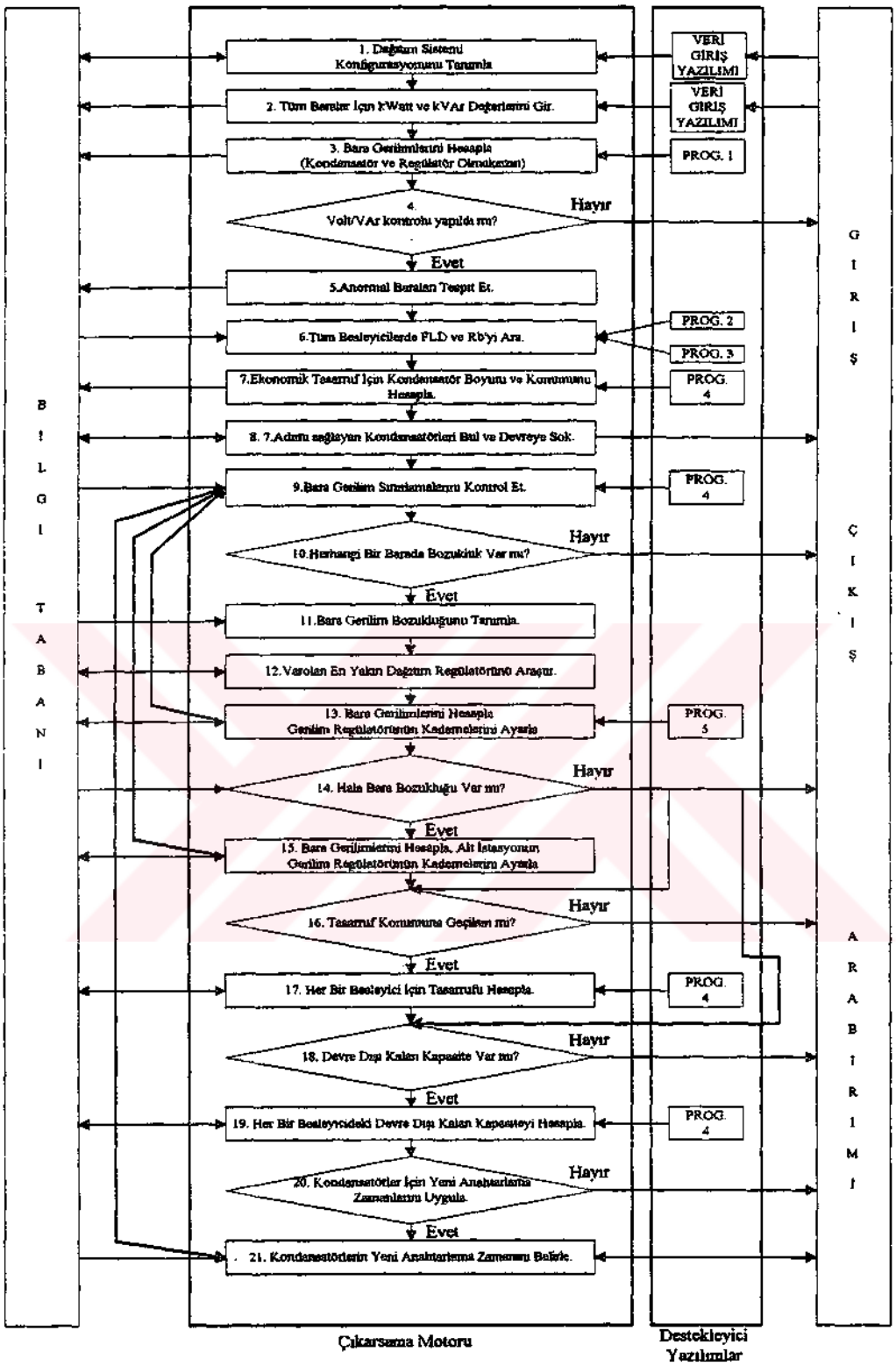
Reaktif güç kontrolu vasıtasıyla bara gerilimleri izin verilen üst ve alt sınırlar arasında tutulur. Sistem bara gerilimleri farklı olası çalışma konfigurasyonları için ekspert sistemin veri tabanındaki tablolara kaydedilmiştir. Bu tablolar sistemin yük akış hesaplamalarından elde edilmiştir. Oluşturulacak ekspert sistem sistemin doruk gücünü ve enerji kayıplarını minimize edecek şekilde dağıtım şebekesine zerkedilecek reaktif güç seviye değerlerini sağlar. Aynı zamanda bara gerilimlerinin tüm dağıtım sisteminde kabul edilebilir sınırlar içinde tutulabilmesini garantilemek için de kullanılabilir.




**Şekil 11.1.** Örnek bir Ekspert Sistem Konfigurasyonu.

### 11.3. Çıkarsama Motoru

Bir ekspert sistem problemi genellikle çözümü araştırarak halleder. Çoğu durumlarda, örneğin gerilim kontrolunda olası çözümlerin sayısı çok fazla olabilir. Kondansatör boyutları, yerleştirilme noktaları ve anahtarlama zamanlarının bir çok olası kombinasyonunu içerebilir. Ayrıca gerilim regülatörünün kademe ayarları da çözümlerin farklılığını arttırır. Çıkarsama motoru bir ekspert sistemin bilginin seçimi ve uygulamasını kontrol eden staratejiler ile bilgi tabanındaki gerçekleri ihtiva eden parçasıdır. Gerçek anlamda muhakemenin gerçekleştirildiği yerdir. Şekil **(11.2.)**'de herhangi uygun bir yapay zeka dili kullanarak aşağıda sıralanan işlemleri çıkarsama motorunca gerçekleştirecek örnek bir sistemin konfigurasyonu gösterilmiştir.




**Şekil 11.2.** Örnek Sistem Konfigurasyonu

I. Dağıtım şebekesinin halihazırdaki konfigurasyonu kavranarak ekspert sistem başlatılır.

II. İkinci adımda, ekspert sistem bilgi tabanındaki konuya ilişkin dağıtım sistem parametrelerini kullanarak dağıtım sisteminin elektrik şebekesini tanımlar.

III. Her bir baradaki halihazırdaki aktif ve reaktif güç değerleri ve alt istasyon gerilimi giriş/çıkış ünitesi vasıtasıyla ekspert sistem tarafından okunur.

IV. Volt/var kontrolu olmaksızın dağıtım sisteminin bara gerilimlerini bulur.

V. Ekspert sistem, maksimum para tasarrufunu sağlamak için volt/var kontrolunun uygulanması talimatını bekler.

VI. Halihazırdaki bara gerilimini daha önceden ayarlanmış üst ve alt sınırlarla karşılaştırır ve anormal gerilimdeki baralarla gerilim bozukluğu boyutlarını araştırır.

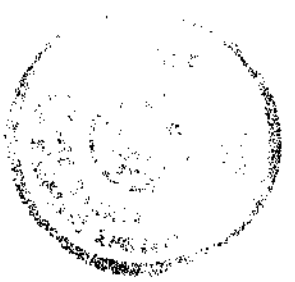
VII. Ekspert sistem, dağıtım sistemindeki her bir besleyici için taban direncini ve reaktif yük katsayısını bularak volt/var kontrolünü başlatır.

VIII. Parasal tasarrufu maksimize edecek kondansatörleri belirler ve operatöre anahtarlama ile devreye sokma talimatını verir.

IX. Tüm baralardaki bara gerilimlerini kontrol eder ve çıktısını sağlar.

X. Giriş/çıkış arabirimi vasıtasıyla herhangi bir bara gerilimi kısıtlamasının çiğnenip çiğnenmediğinin rutin gerilim kontrolünü gerçekleştirmek için gereken talimatları ister.

XI. Gerilim bozukluğunun boyutlarını belirler.



**XII.** Varolan en yakın dağıtım gerilim regülatörünü bilgi tabanından araştırır.

**XIII.** Gerilim regülatörünün kademe derecelerini bilgi tabanına göre ayarlar. Yeni gerilim profilini hesaplar.

**XIV.** Hala süregelen bara gerilim bozukluğu olup olmadığını kontrol eder.

**XV.** Yer değiştirecek gerilim-regülatör kademe ayarlarını seçer ve bara gerilimlerini hesaplar.

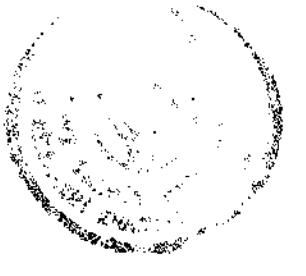
**XVI.** Eğer tüm bara gerilimleri sınırlar dahilinde ise para tasarrufunu sağlamak için gereken, sistemin çalışma koşullarının yeni ayarlarına ait talimatları bekler.

**XVII.** 16 nolu maddeye yanıtın evet olması durumunda, her bir besleyici için elde edileek parasal tasarrufu bilgi tabanından hesaplar.

**XVIII.** Ekspert sistem, kondansatörlerin yerlerinin değiştirilmesine bağlı olarak, her bir besleyicinin açığa çıkan kapasitesinin çıktısının verilmesi için talimatları bekler.

**XIX.** 18 nolu maddeye evet yanıtı verilmesi halinde, dağıtım sisteminin boşta kalan kapasitesini bildirir. Bu veri operatörün dağıtım sistemini aşırı yük altında veya bir acil durumda yeniden düzenleyebilmesi için oldukça önem taşımaktadır.

**XX.** Ekspert sistem operatöre kondansatörler için daha önceden kararlaştırılan anahtarlama zamanını değiştirip değiştirmeyeceğini sorar. Kondansatörler için daha önceden kararlaştırılan anahtarlama zamanı, acil durumlarda kondansatörlerden birinin devre dışı kalması veya bakım problemleri gibi çeşitli sebeplere bağlı olarak değiştirilebilir.



XXI. 20 nolu maddenin yanıtı evet ise, daha önceden kararlaştırılan anahtarlama zamanının yeni değerini sorar ve 9 nodan 21 nolu adıma kadar bütün maddeleri yeniden gerçekleştirir.

### 11.4. Arıza Yeri Belirleme Tekniği

İletim hatlarındaki kısa devreler genellikle tamir edilmesi gereken mekanik bir zarardan kaynaklanır. Eğer kısa devrenin yeri biliniyor veya makul bir gerçeklikle tahmin edilebiliyorsa kısa sürede giderilmesi mümkündür. Yıllardır, iletim hatlarındaki kısa devrelerin yerlerinin tahmini mühendisler ve araştırmacılar için merak konusu olmuştur.

Geçmişte sunulan kısa devre yeri tahmin tekniği temel frekanslarda gerilim ve akımları kullanır. Bu teknikleri iki kategoriye ayırabiliriz. İlk kategoride bir hat uç noktasında ölçülen gerilim ve akımlar kullanılır. İkinci kategoride hattın her iki ucunda ölçülen gerilim ve akımlar kullanılır.

İlk kategoriye giren arıza yeri tespiti tekniği, enerji kaynağının hatlardan sadece birisine bağlandığını kabul eder. Bu yaklaşımı kullanarak elde edilen kısa devre yeri tahminleri, eğer akımlar iki hattan geliyorsa ve kısa devre direnci varsa gerçekçi olmaz. Bir uç terminalde gözlenen arıza öncesi ve sonrası akımları ve arıza sonrası gerilimleri ve akım dağılım faktörlerini hesaplamak için hat uç terminallerine bağlanan eşit empedanslı kaynaklar gereklidir. Pratikte kaynak empedansları her durumda mevcut değildir. Aynı zamanda sistem konfigürasyonu zaman zaman dağılım faktörlerini değiştirir.

Hat uç terminallerinden görülen arızaların empedanslarını tahmin eden ve bu tahminleri hat uzunluğuna çeviren teknikler geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, arıza dirençlerinin varlığına çok duyarlıdır ve özellikle enerji kaynaklarının hat arızalarını her iki terminalden de beslemesi durumunda geçerlidir. Bu durumlarda arıza dirençleri hem rezistif hem de reaktif bileşenlere sahip olduğundan, tahmin hataları çok büyüktür. Her iki hat uç

terminalinde de temel frekans gerilim ve akımlarının eş zamanlı senkronize edilmiş ölçülerinin kullanılması önerilir. (Sachdev, 1988)

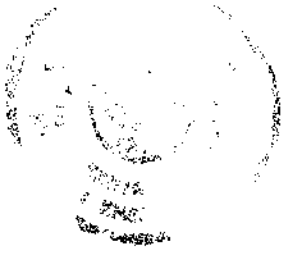
İletim hatlarındaki şönt arızaların röle bölgelerinden olan uzaklıklarının hesaplanmasında iteratif olmayan bir teknik kullanılır. Teknik hattın uç terminallerinde ölçülen temel frekans gerilim ve akımlarını kullanır. Eğer hatların korunması için sayısal empedans röleleri kullanılırsa, bu ölçümler sayısal olarak temin edilebilir. İki hatta ölçülen değerlerin senkronize edilmesine, kaynak empedanslarına, dağılım faktörlerine ve arıza öncesi akımlara tahmin prosedürü içinde ihtiyaç yoktur.

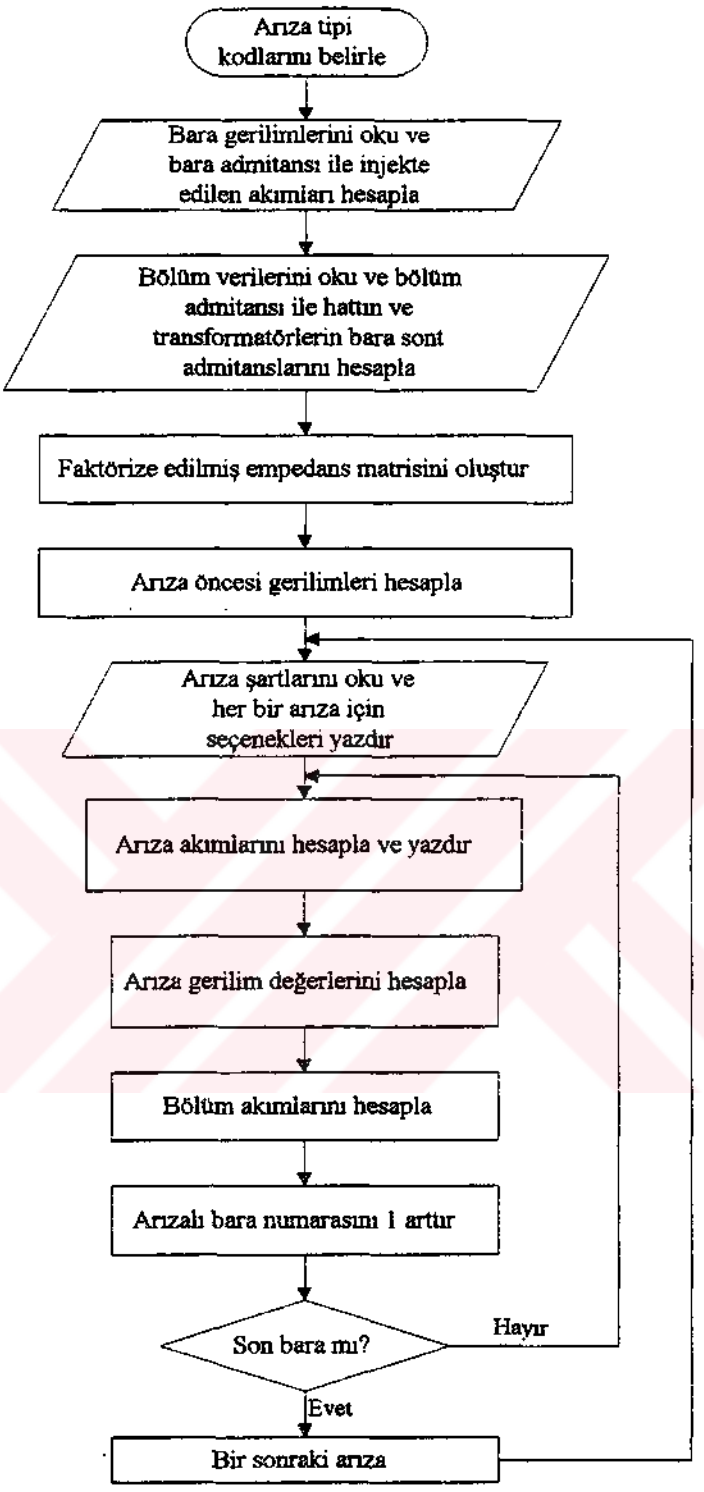
### 11.5. Arıza Yerinin Hesaplanması

Arızaları simüle etmek ve arıza çalışmalarından elde edilen bilgileri kullanarak arıza yerini tespit etmek için bilgisayar programları geliştirilmiştir. Şekil **(11.3.)**'te bilgisayar programı yardımıyla arıza tespiti yapmak için önerilen genel bir akış çizelgesi sunulmuştur. Sunulan teknik, arıza yerlerinin tesbitinin hat uç terminallerindeki temel gerilim ve akım frekanslarından hesaplanmasında kullanılır. Arıza yeri tesbit programında sadece arıza sonrası bilgileri giriş olarak kullanılır.

Arıza öncesi hesaplamaları için bütün iletim hatları eşdeğer $\pi$ ağları olarak modellenir ve tüm yükler sabit güç yükü olarak kabul edilirler. Arıza başlangıcındaki arıza akım ve gerilimlerini hesaplamak için seçilen hat iki eşit $\pi$ ağı olarak modellenir.

Sonuçların gösterdiğine göre sunulan teknikle arıza yerlerinin tahmini, hat terminallerindeki sanal bileşenlerini kullanarak yapılan tahminlere göre daha doğrudur. Hat kapasiteleri gözardı edildiğinde tahminlerdeki hata, hat uzunluğunun % 4' ünden azdır. Bu durumlarda her iki hattaki uç terminallerin arıza akımlarına katkısı hemen hemen eşittir ve böylece arıza dirençleri ve $Q_t$ açısının hesaplamaları gerçekçi olmaz. Değişen hat akımlarını ve ölçülen gerilimleri kullanmak arıza yeri tahminini geliştirir.






**Şekil 11.3.** Arıza Tespiti İçin Genel Akış Çizelgesi

Arıza yeri tekniğini test etmek için hat uç terminallerinde sayısal empedans röleleri olduğu ve aynı zamanda bu rölelerin temel frekans gerilim ve akımlarını ölçtüğü kabul edilir. Aşağıdaki bilgi hata yeri tahmini için mevcuttur.

i. Arıza tipi , 3 faz , bir fazdan toprağa, fazdan faza ya da iki fazdan toprağa gibi.

ii. Arızalı fazların özellikleri

iii. Şekil (11.4)'te listelendiği gibi hat uç terminallerindeki temel frekans gerilim ve akım fazörleri

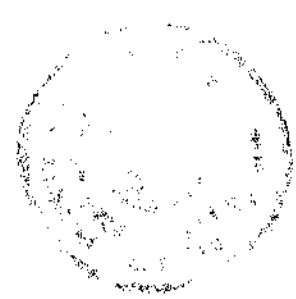
iv. Nakil hattındaki pozitif sıra empedansı

v. Arızalı hat için k= ( $Z_0$-$Z_1$) /3$Z_1$ oranı.

Seçilen iletim hattına tek fazdan toprağa, fazdan faza, iki fazdan toprağa ve üç fazlı arızalar uygulanır.

Bir hattın uç terminallerinde kullanılan sayısal empedans röleleri, arıza anında hattı ayırarak arızayı tesbit edecektir. Arıza belirleme ve sınıflandırma sırasında röleler, sonraki arıza analizlerinde kullanılacak bilgileri ölçer ve Şekil (11.4)'te gösterildiği şekilde saklar. Pozitif sıralı hat empedansı $Z_1$'in değerlerinin yüklendiği bir hesaplama ünitesine, arıza sonucu röleler tarafından ölçülen faz akımları ve empedans aktarılır. (Lawrence, 1988)

X ve Y baralarındaki 1 faz toprak arası arızayı ölçen röleler, aşağıdaki eşitlikte verilen oranları kullanarak görünen $Z_{x1}$ ve $Z_{y1}$ empedanslarını hesaplar.



$$Z_{x1} = \frac{V_{ax}}{(I_{axf} + 3k\ I_{0xf})}$$
$$Z_{y1} = \frac{V_{ay}}{(I_{ayf} + 3k\ I_{0yf})} \qquad (11.1)$$

Burada; $V_{ax}$ ve $V_{ay}$, X ve Y baralarındaki A fazı gerilimlerini,

Hat kapasiteleri ihmal edildiğinden, $I_{axf}$ ve $I_{ayf}$, X ve Y baralarındaki A fazı akımlarını,

$k = ( Z_0 - Z_1 ) / (3 Z_1)$ göstermektedir.

X ve Y baralarındaki iki faz arası arızayı ölçen röleler, aşağıdaki eşitlikte verilen oranları kullanarak görünen $Z_{x2}$ ve $Z_{y2}$ empedanslarını hesaplar.

$$Z_{x2} = \frac{(V_{bx} - V_{cx})}{(I_{bxf} - I_{cxf})}$$
$$Z_{y2} = \frac{(V_{by} - V_{cy})}{(I_{byf} - I_{cyf})} \qquad (11.2)$$

Burada, $V_{bx}$, $V_{cx}$, $V_{by}$ ve $V_{cy}$, X ve Y baralarındaki A ve B fazı gerilimleri,

$I_{bxf}$, $I_{cxf}$, $I_{byf}$ ve $I_{cyf}$, X ve Y baralarındaki A ve B fazı akımlarıdır.

X ve Y baralarındaki üç faz arası arızayı ölçen röleler, aşağıdaki eşitlikte verilen oranları kullanarak görünen $Z_{x3}$ ve $Z_{y3}$ empedanslarını hesaplar.

$$Z_{x3} = \frac{(V_{ax} - V_{bx})}{(I_{axf} - I_{bxf})}$$
$$Z_{y3} = \frac{(V_{ay} - V_{by})}{(I_{ayf} - I_{byf})} \qquad (11.3)$$

Hesaplama ünitesi aşağıdaki sırayı izleyerek arızaların hat uç terminallerinden uzaklıklarını hesaplar.

| Arıza Tipi | Görünen Empedans Değerleri $Z_{xi}$ ve $Z_{yi}$ | Akım Fazörleri |
|---|---|---|
| Faz-Toprak Arızası | 11.1 nolu denklemde tanımlanan $Z_{x1}$ ve $Z_{y1}$ değerleri | $(I_{axf} + 3kI_{0xf})$, $(I_{ayf} + 3kI_{0yf})$, $I_{0xf}$ ve $I_{0yf}$ |
| Faz-Faz Arızası | 11.2 nolu denklemde tanımlanan $Z_{x2}$ ve $Z_{y2}$ değerleri | $I_{1xf}$ , $I_{2xf}$, $I_{1yf}$ ve $I_{2yf}$ |
| İki Faz-Toprak Arızası | 11.2 nolu denklemde tanımlanan $Z_{x2g}$ ve $Z_{y2g}$ değerleri | $I_{1xf}$ , $I_{2xf}$, $I_{1yf}$ ve $I_{2yf}$ |
| Üç Faz-Toprak Arızası | 11.3 nolu denklemde tanımlanan $Z_{x3}$ ve $Z_{y3}$ değerleri | $I_{1xf}$ ve $I_{1yf}$ |

**Şekil 11.4.** Hesaplama Ünitesine aktarılacak ölçümler

## 12. SAYISAL UYGULAMA

Bu çalışmada Keban-Gölbaşı iletim hattının bilgileri kullanılmıştır.

Hat bilgileri aşağıdaki şekildedir:

| | Keban-Kayseri | Kayseri-Gölbaşı |
|---|---|---|
| Uzunluk (km) | 275 | 271 |
| R (ohm) | 9.5 | 9.4 |
| X (ohm) | 86.5 | 85.3 |
| Y (μmho) | 950 | 937 |

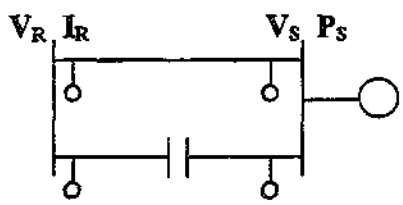
Hattın ortasındaki seri reaktans; $X_C$ = -j.35 ohm

Gönderici uçtaki paralel reaktans; $X_{SHS}$ = j.8264 ohm

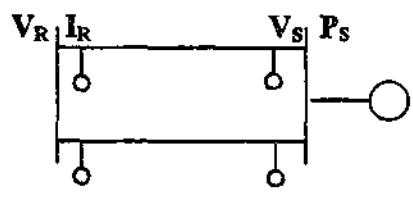
Alıcı uçtaki paralel reaktans; $X_{SHR}$ = j.6887 ohm

Alıcı uçtaki gerilim (hatlar arasındaki); $U_R$ = 380 kV

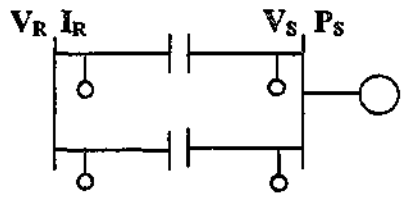
Enerji iletim hattının incelenen çalışma modları ;



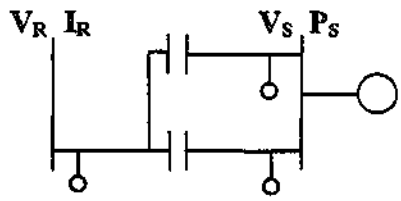

MOD 1



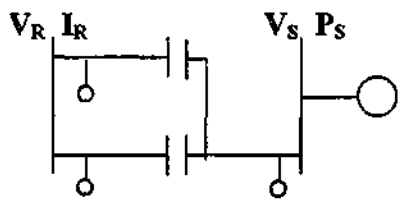

MOD 2



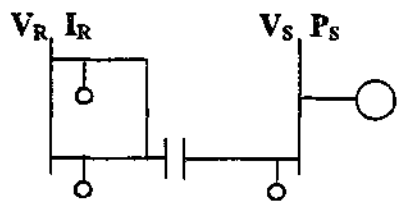

MOD 3



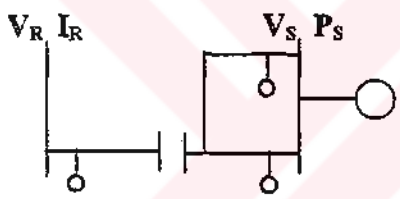

MOD 4




MOD 5




MOD 6




MOD 7

**12.1. Gerilim -Akım İlişkileri ve Genelleştirilmiş Devre Sabitleri**

İki uçlu bir şebeke için, uçlar arasında aşağıdaki genel bağıntı kurulabilir;

$$V_1 = A.V_2 + B.I_2 \qquad I_1 = C.V_2 + D.I_2 \qquad (12.1)$$

Enerji iletim hatları için bu bağıntı şu şekilde düzenlenebilir;

$$V_S = A.V_R + B.I_R \tag{12.2}$$

$$I_S = C.V_R + D.I_R \tag{12.3}$$

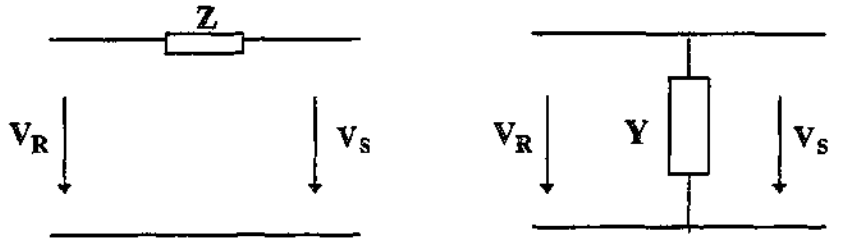
denklemlerindeki **A, B, C, D** genelleştirilmiş enerji iletim hattı sabitleridir.

**A, B, C, D** denklemleri verilen devre modeline bağlıdır. Bu çalışmada, hat için π devresi, seri kondansatörler için **Z** devresi ve paralel (şönt) reaktanslar için **Y** devresi kullanılmıştır. Bu devrelerin seri ve paralel bağlı kombinasyonları ile bütün devre elde edilmektedir. (Arrillaga, 1983) Bu modellerin **A, B, C** ve **D** denklemleri şöyledir;

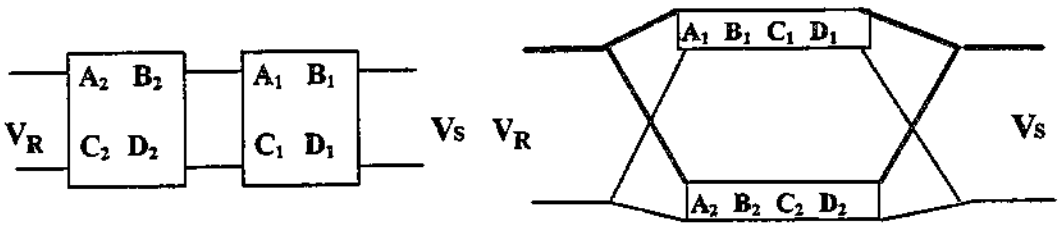
π devresi : $A = D = 1 + Z.Y/2;\quad B = Z;\quad C = Y + Z.Y^2/4;$ (12.4)

**Z** devresi : $A = D = 1;\quad B = Z;\quad C = 0;$ (12.5)

**Y** devresi : $A = D = 1;\quad B = 0;\quad C = Y;$ (12.6)




**Z - Devresi** **Y - Devresi**




**Seri Bağlı Devre** **Paralel Bağlı Devre**

**Şekil 12.1.** Hesaplamalarda Kullanılan Devre Modelleri.

**Seri Bağlı Devre :**

$$A = A_1.A_2 + B_1.C_2; \qquad B = A_1.B_2 + B_1.D_2;$$
$$C = C_1.A_2 + D_1.C_2; \qquad D = C_1.B_2 + D_1.D_2; \tag{12.7}$$

**Paralel Bağlı Devre:**

$$A = (A_1.B_2 + B_1.A_2)/(B_1 + B_2);$$
$$B = (B_1.B_2)/B_1 + B_2);$$
$$C = (C_1 + C_2) + (A_1 - A_2).(D_2 - D_1)/B_1 + B_2); \tag{12.8}$$
$$D = (D_1.B_2 + B_1.D_2)/B_1 + B_2);$$

## 12.2. $P_S$ - $V_S$ Eğrilerinin Elde Edilmesi

Belirli bir enerji iletim hattı için gönderici uçtaki kompleks güç;

$$S_S = P_S + j.Q_S = V_S.I_S^* \tag{12.9}$$

şeklindedir. (12.2) ve (12.3) numaralı denklemler yeniden şu şekilde yazılabilir:

$$V_R = D.V_S - B.I_S \tag{12.10}$$

$$I_R = -C.V_S + A.I_S \tag{12.11}$$

(12.9) ve (12.10) numaralı denklemler kullanılarak ve bazı matematiksel işlemler uygulanarak, enerji iletim hattının gönderici ucundaki güç ve reaktif güç şu şekillerde ifade edilir:

$$\begin{aligned} P_S &= [V_S^2.(d_1.b_1 + d_2.b_2) - V_S.V_R.(b_1.\cos(\delta) - b_2.\sin(\delta))] / (b_1^2 + b_2^2) \\ Q_S &= [V_S^2.(d_1.b_2 + d_2.b_1) - V_S.V_R.(b_2.\cos(\delta) + b_1.\sin(\delta))] / (b_1^2 + b_2^2) \end{aligned} \tag{12.12}$$

Bu denklemlerde $(B = b_1 + j.b_2)$, $(D = d_1 + j.d_2)$ ve $\delta$ değeri de gönderen uçtaki gerilimin faz açısıdır.

Gönderen uçtaki güç katsayısının farklı değerleri için güç ve gerilim arasındaki ilişki, $\delta$ değerini güç katsayısı cinsinden yerine koyarak elde edilebilir. Bu işlem (12.12) numaralı denklemler ile,

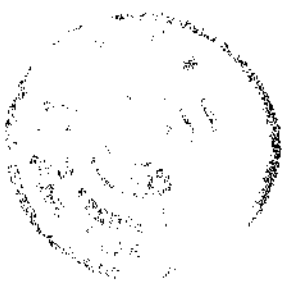
$$Q_S = P_S.\tan(\theta) \tag{12.13}$$

eşitliğinden yararlanılarak yapılır. Yukardaki eşitlikte $\theta$ gönderen ucun güç katsayısının açısıdır. (12.13) numaralı denklemin $\delta$ açısı için çözümü;

$\delta = a\tan[(h_1.h_2 \pm h.\sqrt{(h_1^2 + h_2^2 - h^2)}) / (h_2^2 - h^2)]$ şeklinde elde edilir. (12.14)

Bu denklemde $h_1 = b_1.\tan(\theta) - b_2$ ; $h_2 = b_1 + b_2.\tan(\theta)$ ;

$h = (V_S / V_R).(d_1.h_1 + d_2.h_2)$ eşitlikleri mevcuttur.



### 12.3. $P_S$ - $V_S$ ( Güç-Gerilim ) Karakteristik Eğrileri Çizim Programı

Visual Basic ve Turbo C++ dilleri ile geliştirilen program, seçilen değişik arıza modu **(Mod)**, Güç Katsayısı **(pf)** ve Kompanzasyon katsayısı **($K_S$)** değerleri için bir enerji iletim hattının güç-gerilim karakteristik eğrilerine ait verilerin elde edilmesini ve grafik olarak ekrana çizilmesini sağlar. (Stagg, 1968) Veriler oluşturulurken yukarda verilen formüllerden ve bağıntılardan yararlanılmıştır. Programlara ait kaynak kodlar ekte sunulmuştur.

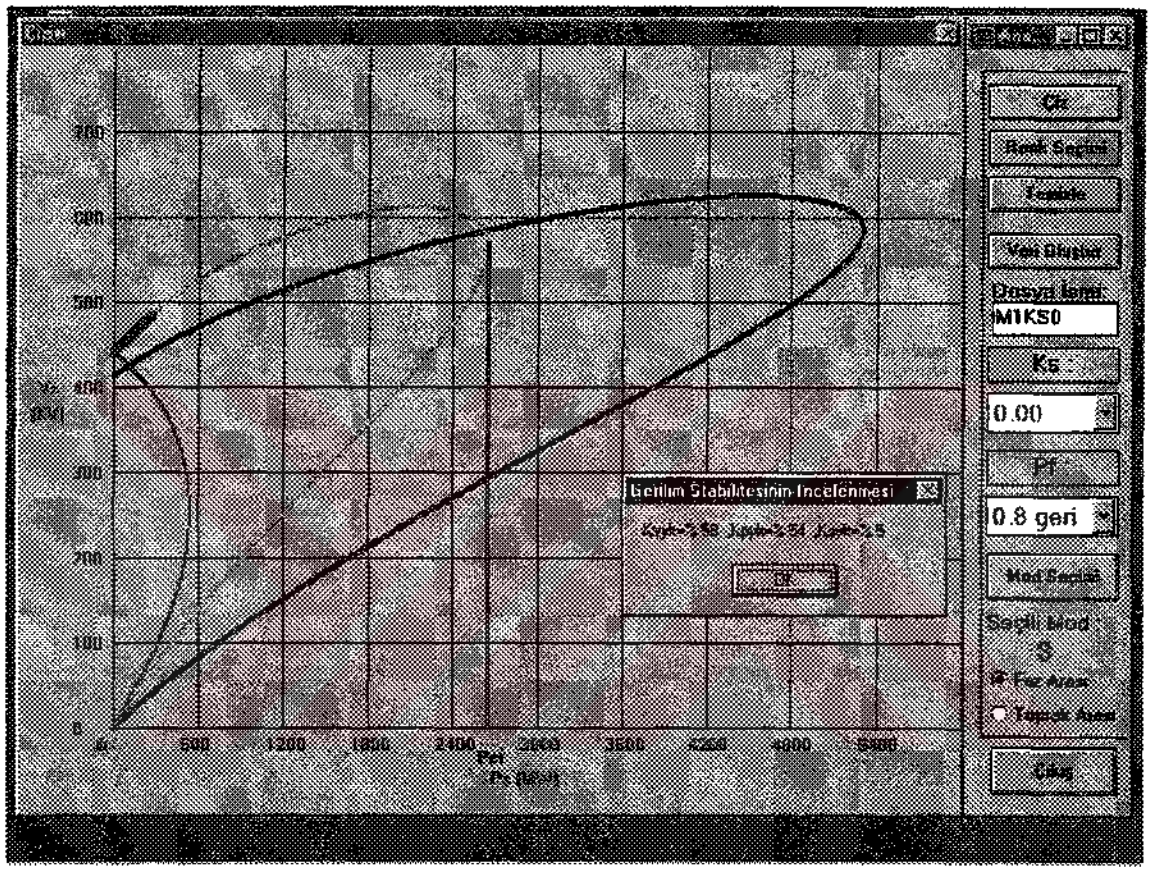
İstenilen mod, **Mod Seçimi** tuşu ile, pf ve $K_S$ değerleri ise ekrandaki listelerinden seçildikten sonra **Veri Oluştur** tuşu ile veri tablosu oluşturulur. Daha sonra oluşan veri, **Çiz** tuşu ile grafik olarak ekrana aktarılır. Programa ait ekran örnekleri Şekil **(12.2.)** ve Şekil **(12.3.)**'de gösterilmiştir. İstenirse **Dosya İsmi** alanına sekiz harfe kadar bir isim girilerek oluşan verinin sabit disk üzerinde kaydedilerek Excel gibi başka grafik çizim programlarında da kullanılması sağlanabilir. Çizilen karakteristik eğri üzerinde farenin sağ tuşuna basılarak seçilen bir çalışma noktası ($P_{op}$) için ($\Delta V_{lim} = \pm$ %10 $V_n$) eşitliği ile bulunan $\Delta V_{lim}$ değerine karşılık gelen $P_{lim}$ değeri ile

$$K_{vyk} = [\%]\frac{\Delta V_{op}}{\Delta V_{lim}}100\,(*),\quad K_{pyk} = [\%]\frac{P_{op}}{P_{lim}}100\,(*),\quad K_{syk} = [\%]\frac{P_{op}}{P_{crit}}100\,(*) \quad (12.15)$$

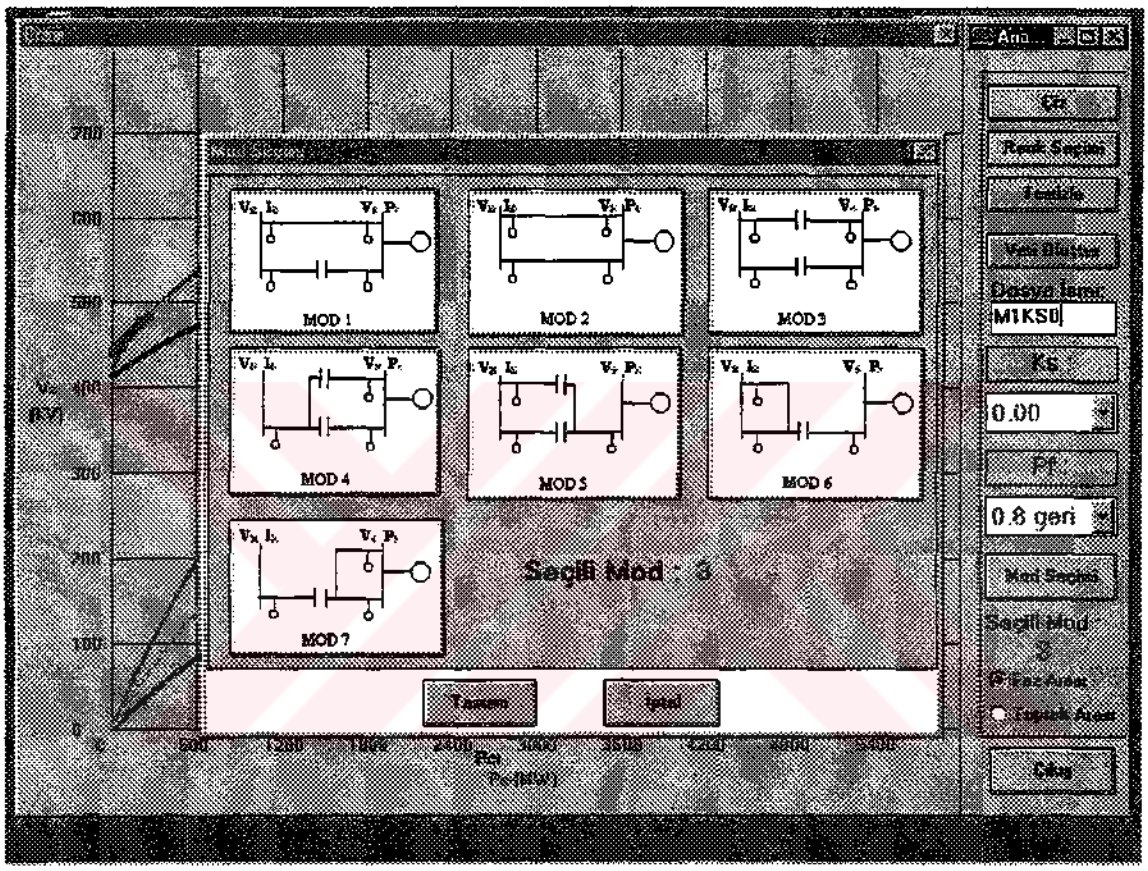
ekspert sistem indikatörleri ve $P_{crit}$ noktası da gösterilir. **Renk Seçimi** tuşu ile renk tablosundan değişik renkler seçilerek her grafik istenilen renkte çizilebilir. Böylece değişik arıza durumlarında oluşan $P_S$ - $V_S$ karakteristik eğrileri karşılaştırılmalı olarak ekranda görüntülenerek yorumlanabilir.

---

(*) N.H. Yükseler, "The Effects of Six-Phase Conversion on Capability Chart's Voltage Stability Boundaries", Melecon '96 Bari, ITALY, May 13-16,1996




**Şekil 12.2.** $P_S$ - $V_S$ Karakteristik Eğrileri Çizim Programının Grafik Çizim Ekranı

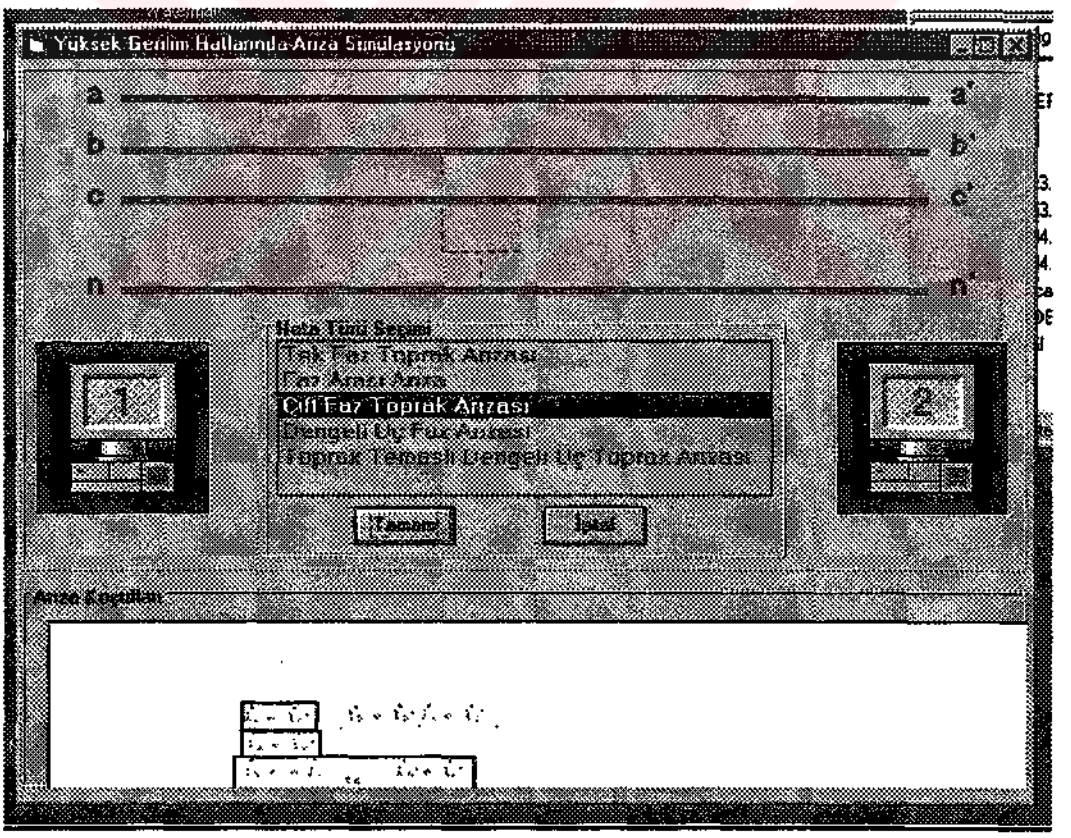



**Şekil 12.3.** $P_S$ - $V_S$ Karakteristik Eğrileri Çizim Programının Mod Seçim Ekranı

## 12.4. Arıza Simulasyon Programı

Visual Basic ile yazılan bu program, enerji iletim hatlarında oluşabilecek arızaları simüle ederek, her arızanın oluştuğu durumda hat ile ilgili gerilim ve akım bilgilerini göstermektedir. Ekranda gösterilen arıza listesinden istenilen bir tanesi seçilerek simulasyon başlatılır. Alt pencerede, seçilen arızaya göre değişen, hatta ait gerilim ve akım bağıntıları ile arızanın nerede oluştuğu ilgili formül ile hesaplanarak ekranda gösterilir. (Anderson, 1973) Örnek bir ekran Şekil **(12.4.)**'te gösterilmiştir. Programa ait kaynak kodlar ekte sunulmuştur.

Arıza simulasyon koşulları, uç posta verilerinden mukayese ile uyum sağlanıyorsa işleme girer ve operatör ekranında arıza şekli gösterilir. Programda aşağıdaki arıza şekilleri incelenmiştir. Çerçeveye alınmış bağıntılar arızaları belirleyici özelliklerdir.




**Şekil 12.4.** Arıza Simulasyon Programı

## 12.4.1. Tek-Faz Toprak Arızası

Arıza Koşulları :

$\dot{I}_b = 0 \qquad \dot{I}_c = 0 \qquad \dot{V}_a = \dot{I}_a \dot{Z}_f$

$\dot{Z}_f = 0$ alınabiliyorsa

$\dot{I}_b = 0 \qquad \dot{I}_c = 0 \qquad \dot{V}_a = 0$

Simülasyon :

$\dot{I}_b = \dot{I}_b', \qquad \dot{I}_c = \dot{I}_c',$

$\dot{I}_a \neq \dot{I}_a', \qquad \dot{I}_n \neq \dot{I}_n'$

$I_a \neq I_b, \qquad I_a \neq I_c$
$I_a' \neq I_b', \qquad I_a' \neq I_c'$

Lokal: $\dfrac{l_1}{l_2} = \dfrac{\dot{V}_a \dot{I}_a'}{\dot{V}_a' \dot{I}_a}$

Ek bilgi :

$\dot{Z}_1 = \dot{V}_a / \dot{I}_a$
$\dot{Z}_2' = \dot{V}_a' / \dot{I}_a'$

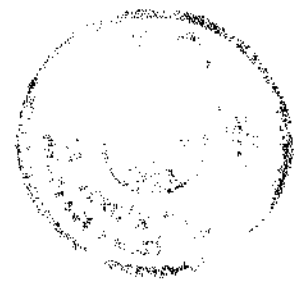
## 12.4.2. Faz Arası Arıza:

Arıza Koşulları :

$\dot{I}_a = 0 \qquad \dot{I}_b = -\dot{I}_c \qquad \dot{V}_b = \dot{Z}_f \dot{I}_b + \dot{V}_c$

$\dot{Z}_f = 0$ alınabiliyorsa

$\dot{I}_a = 0 \qquad \dot{I}_b = -\dot{I}_c \qquad \dot{V}_b = \dot{V}_c$



Simülasyon:

$\dot{I}_a \neq \dot{I}_a'$, $\dot{I}_b \neq \dot{I}_b'$, $\dot{I}_c \neq \dot{I}_c'$,

$\dot{I}_b = -\dot{I}_c$ ve $\dot{I}_b' = -\dot{I}_c'$, $\dot{I}_n \neq 0$,

$\dot{I}_n = \dot{I}_n'$

$I_a \neq I_b$, $I_a \neq I_c$
$I_a' \neq I_b'$, $I_a' \neq I_c'$

Lokal: $\frac{l_1}{l_2} = \frac{(\dot{V}_b - \dot{V}_c)\dot{I}_b'}{(\dot{V}_b' - \dot{V}_c')\dot{I}_b}$

Ek bilgi:

$$\frac{\dot{V}_b - \dot{V}_c}{\dot{I}_b} = 2Z_1$$

**12.4.3. Çift Faz Toprak Arızası:**

Arıza Koşulları :

$\dot{I}_a = 0$ $\dot{V}_b = \dot{V}_c$ $\dot{V}_b = (\dot{I}_b + \dot{I}_c)\dot{Z}_f$

$\dot{Z}_f = 0$ alınabiliyorsa

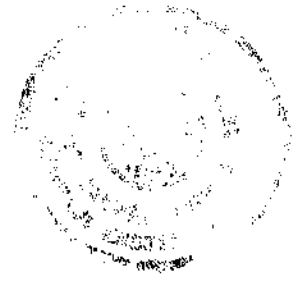
$\dot{I}_a = 0$ $\dot{V}_b = \dot{V}_c$ $\dot{V}_b = 0$

Simülasyon:

$\dot{I}_a = \dot{I}_a'$ , $\dot{I}_b \neq \dot{I}_b'$, $\dot{I}_c \neq \dot{I}_c'$,

$\dot{I}_n \neq \dot{I}_n'$

$\dot{I}_b \neq -\dot{I}_c$ ve $\dot{I}_b' \neq \dot{I}_c'$



$I_a \neq I_b$, $I_a \neq I_c$
$I_a' \neq I_b'$, $I_a' \neq I_c'$

Lokal: $\frac{l_1}{l_2} = \frac{\dot{V}_b \dot{I}_b'}{\dot{V}_b' \dot{I}_b} = \frac{\dot{V}_c \dot{I}_c'}{\dot{V}_c' \dot{I}_c}$

Ek bilgi:

$\frac{\dot{V}_b}{\dot{I}_b} = Z_1$

**12.4.4. Dengeli Üç Faz Arızası:**

Arıza Koşulları :

$\dot{V}_a = \dot{I}_a \dot{Z}_f$ $\dot{V}_b = \dot{I}_b \dot{Z}_f$ $\dot{V}_c = \dot{I}_c \dot{Z}_f$

$\dot{Z}_f = 0$ alınabiliyorsa

$\dot{V}_a = 0$ $\dot{V}_b = 0$ $\dot{V}_c = 0$

Simülasyon:

$\dot{I}_a \neq \dot{I}_a'$, $\dot{I}_b \neq \dot{I}_b'$, $\dot{I}_c \neq \dot{I}_c'$,

$\dot{I}_a = \dot{I}_b = \dot{I}_c$ ve $\dot{I}_a' = \dot{I}_b' = \dot{I}_c'$

$I_a \neq I_b$, $I_a \neq I_c$
$I_a' \neq I_b'$, $I_a' \neq I_c'$

Lokal: $\frac{l_1}{l_2} = \frac{\dot{V}_a \dot{I}_a'}{\dot{V}_a' \dot{I}_a}$

Ek bilgi:

$\dot{Z}_1 = \dot{V}_a / \dot{I}_a$
$\dot{Z}_2' = \dot{V}_a' / \dot{I}_a'$

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

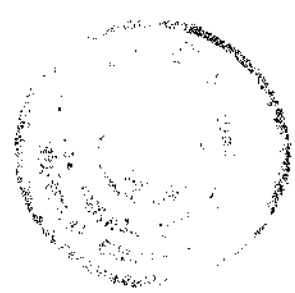
Gerilim kararlılığı, gerek normal koşullarda gerekse bozucu bir etki sonrasında, bir enerji sistemindeki tüm baraların kabul edilebilir sınırlardaki gerilim değerlerini koruyabilme yeteneği olarak tanımlanabilir.

Gerilim kararlılık sınırına yakın durumda iletilen enerjiyi tespit etmenin zorluğu dolayısıyla, hesaplamalarda bilgisayar kullanımı zorunludur. Kullanılabilecek bir yöntem, bilgisayar programları vasıtasıyla hattın ve yükün güç-gerilim karakteristiklerini çıkarmaktır, bu iki karakteristiğin kesişimleri sistemin çalışma şartlarını verecektir.

Kararlılık çalışmalarında klasik şebeke çözümleme yöntemlerinin doğruluğu şüphelidir. Buna karşın sayısal bilgisayar kullanımı ile, kesin doğrulukta başarılı güç ve yük akış hesaplamaları sağlanabilir.

Ekspert sistemler, enerji sistemlerinde planlama, yeniden tarifeleme, kontrol, tasarım, tahmin, bilgilendirme ve eğitim gibi amaçlarla kullanılabilir. Örneğin, iletim hattındaki şönt arızaların röle bölgelerinden olan uzaklıklarının hesaplanmasında kullanılan iteratif teknik, hattın uç terminallerinde ölçülen temel frekans gerilim ve akımlarını kullanır. Eğer hatların korunması için sayısal empedans röleleri kullanılırsa, bu ölçümler sayısal olarak temin edilebilir. Ayrıntılı bir çalışma için üretim, iletim ve dağıtımla ilgili tüm sistem elemanlarının fiziksel karakteristikleri ve matematik modelleri oldukça önem taşımaktadır.

Ekspert sistem kullanımı sayesinde, santral ve hat operatörlerinin eğitimi kolaylaşır, uzmanların tecrübe ve yeteneklerinin değişik yer ve zamanlarda kullanılabilmesi sağlanır, arıza tespit ve onarım hızı ve kalitesi artar, böylece zaman ve üretim kaybı önlenir, daha kolay sistem yönetimi elde edilir.



Arıza çalışmalarından elde edilen bilgileri kullanarak arızaları simüle edip, arıza yerini tespit etmek için bilgisayar programları geliştirilebilir. Bu programlar yardımıyla, hat uç terminallerindeki temel gerilim ve akım frekansları hesaplanabilir. Bu teknikle arıza yerlerinin tahmini, hat terminallerindeki sanal bileşenleri kullanarak yapılan tahminlere göre daha doğrudur. Hat kapasiteleri gözardı edildiğinde tahminlerdeki hata, hat uzunluğunun % 4' ünden azdır. Bu durumlarda her iki hattaki uç terminallerin arıza akımlarına katkısı hemen hemen eşittir ve böylece arıza dirençleri ve reaktif güç açısının hesaplamaları gerçekçi olmaz. Değişen hat akımlarını ve ölçülen gerilimleri kullanmak arıza yeri tahminini geliştirir.

Seri kondansatörler, hat reaktansını düşürürken gerilim kararlılığını arttırırlar. Ayrıca kondansatörlerin hat üzerinde yerleştirileceği yerin seçimi, gerilim düşümünün kondansatörler üzerinde dağıtılması açısından, kompanzasyonun önemli bir noktasını oluşturmaktadır. Optimum düzenleme, incelenen belirli bir durum üzerinde çalışılarak belirlenebilir.

Seri kondansatör kompanzasyonu, yüksek VAr gereksinimlerine sebep olan yüksek reaktansa sahip uzun enerji iletim hatları için en ekonomik yoldur. Gerilim düşmesinin ana sebebi yüksek reaktansa bağlı olduğundan, reaktansın negatif reaktans olarak davranan seri kondansatörler vasıtasıyla kompansazyonu oldukça faydalıdır. Bu da gerilim kararlılığı sınırlarını arttırır. Aynı zamanda, kısa devre şartlarındaki yüksek aşırı gerilimler gibi dezavantajları sebebiyle, hattan akan akım, kondansatörler üzerinde çok yüksek gerilimler yarattığından kondansatörlerin yerleştirileceği yerler, gerilimi hat boyunca eşit dağıtacak şekilde seçilmelidir. Genelde, bu amaçla kondansatör yerleşim çalışmaları yapılır. Eğer, kompanzasyonun yalnızca bir noktada yapılması gerekiyorsa, hattın orta noktası en iyi seçim olabilir. Aynı zamanda paralel reaktörlerin seri kondansatörlerle birlikte kullanılması da bu şartlar için oldukça faydalıdır.

Bu çalışmada, kondansatörlerin orta noktada, paralel reaktörlerin de gerçek durumda olduğu gibi enerji iletim hattının iki ucunda olduğu varsayılmıştır. Hattın sınırlı enerji

besleme kapasitesi durumunda seri kompanzasyon oranının gerilim kararlılığı üzerindeki etkileri hakkında fikir sahibi olmak amacıyla hesaplamalarda yalnızca seri kompanzasyon değiştirilmiştir.

Gerilim kararlılığı esas olarak yük kararlılığının bir parçasıdır. Güç kat sayısı birden küçük olan yüklerdeki küçük değişimler büyük gerilim değişimlerine yol açabilir. Böyle bir durumda nominal değere ulaşılmadan önceki çalışma gücü, öyle bir karakteristik noktasında olabilir ki, gerilim kararsızlığı oluşur. Gerçek bir gerilim çöküşü olasılığı yükün niteliğine bağlıdır. Asenkron motor gibi sabit güç çeken bir yük, çöküşü şiddetlendirir. Isıtıcılarda olduğu gibi sabit empedans karakteristikli bir yük ise güç, gerilimin karesiyle orantılı olarak azalır ve durum hafifletilmiş olur. Bu sebeple, kritik değerlerden biri güç katsayısıdır. Tam yükte, endüktif karakterli bir güç katsayısında 0.99'dan 0.90'a bir değişim gerilim çöküşüne neden olabilecektir. Bu yüzden uzun hatlarda makul enerji transferleri için enerji iletim güç katsayısını bire yakın, en azından 0.97 (geri) üzerinde tutmak gerekir. Yükte, statik kondansatör kullanımıyla VAr enjeksiyonu veya senkron kompanzatör kullanımı ekonomik açıdan savunulabilir.

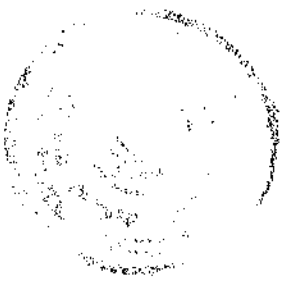
Gerilim çökmesi, sistem şartları ve karakteristiklerinden kolayca etkilenmektedir.Üretim ve yük arasındaki büyük mesafeler, yük altında kademe değiştiren trafolarda anahtarlamanın düşük gerilim şartlarındaki işlevi, sabit güç yük karakteristikleri, şönt kondansatör kompanzasyonunun aşırı kullanımı gibi etkenler gerilim kararsızlığı ve çökmesini oluşturmaktadır. Gerilim çökmesinin önüne geçebilmek için, reaktif güç kompanzasyon cihazlarının şebekeye uygulanmasında, şebeke gerilimi ve generatör reaktif çıkışının kontrolunda, şebekedeki koruma ve kontrol cihazlarının koordinasyonunda, transformatör kademe değiştiricilerin kontrolunda ve düşük gerilim altında yüklerin dağıtımında sistemin tasarım ve işletilmesine yönelik bir seri önlem almak gerekmektedir.

Bir sistem, gerilim profilinin ve reaktif güç kaynaklarının uygun planlanması ile yeterli bir gerilim kararlılık toleransı ile çalıştırılmalıdır. Eğer istenen değerler varolan reaktif güç

kaynakları ve gerilim kontrol olanakları tarafından karşılanamazsa, enerji transferini sınırlamak ve kritik bölgelerde gerilim desteğini sağlamak üzere ek üretim birimlerini devreye sokmak gerekebilir. Bu aşamada operatörler kullanılacak bir ekspert sistemin yardımıyla, gerilim kararlılığına ilişkin arazları tanımlayabilecek kapasitede olmalı ve ekspert sistem tarafından kendisinden istenen gerekli olan gerilim ve enerji transferini kontrol etmek ve de muhtemelen son bir çare olarak yükü azaltmak gibi iyileştirici hareketleri yerine getirmelidir. Bu sebeple, kullanılacak Ekspert Sistemin bilgi tabanında gerilim çökmesini önleyecek çalışma taktiklerinin önceden oluşturulması gerekmektedir. Potansiyel gerilim problemlerini ve olası iyileştirici tedbirleri önceden tespit edebilmek için, gerçek zamanlı gözlemleme ve analiz yapılması çok önemlidir.

Bir ekspert sistem, çıkarsama motoru ve bir bilgi tabanı içermesinin yanısıra, sonuçlara nasıl ulaştığı ve nedenleri hakkında da kullanıcılara bilgi vermelidir. Ekspert sistem içindeki bilgi tabanında zaman zaman değişiklikler, eklemeler, çıkarmalar yapma zorunluluğu doğabileceğinden, bilgiyi programlardan ayrı saklamak bu işlemleri daha kolay yapabilmeyi sağlayacaktır.

Kullanılacak uzman sistem eski tecrübeleri, oluşturulan kuralları, teknik literatür bilgilerini, algoritmalar ve formüllerin tümünü bir arada harmanlayarak operatöre, direk etkileşim içinde olarak, kapasitörlerin yerleri, boyutları, anahtarlama zamanları, regülatörlerin yeri, boyutu ve kademe ayarları gibi çalışma şekillerini verecektir. Aynı zamanda, bu seçimlerin arkasında yatan tasarruf nedenleri ve bara gerilim bozuklukları gibi gerekçeleri de belirtir. Sistem tecrübeli uzman kişilerin tavsiyelerini de kabul ederek kendine uyarlayıp çıktısını ona göre düzenler. Ekspert sistemin kararları herhangi bir ara aşamada operatör tarafından dikkate alınmayabilir veya sistem konfigurasyonunda ve şartlarındaki herhangi bir yenilik sistemin bilgi tabanına eklenebilir. Bu sebeple oluşturulacak bu ekspert sistem, aynı zamanda ekonomik tasarruf sağlayan gerçek zamanlı bir kontrol sistemi olarakta kullanılabilir.



## KAYNAKLAR


1. Anderson, P.M., 1973, Analysis of Faulted Power Systems, The Iowa State University Press

2. Arrillaga, J. and C. P., Arnold, 1983, Computer Modelling of Electrical Power Systems, John Wiley and Sons Ltd.

3. Barbier, C. and Barret, J.P., October 1980, An Analysis of Phenomena of Voltage Collpase on Transmission System, Revue Generale d' Electricite, pp 672-690

4. Crary, S.B., 1945, Power System Stability, Vol I (Steady State Stability), Vol II (Transient Stability), Wiley

5. IEEE, Special Publication 90TH0358-2-PWR, 1990, Voltage Stability of Power Systems: Concepts, Analytical Tools, and Industry Experience

6. Ignizio, James P., 1991, Introduction to Expert System - The Development and Implementation of Rule-Based Expert Systems, McGraw-Hill, Inc.

7. Indulkar, C.S.,et.al., April 1989, Maximum Power Transfer Limited By Voltage Stability In Series And Shunt Compensated Schemes for A.C.Transmission System, IEEE Trans. on Power Delivery ,Vol.4, n:2,pp.1246-1251,

8. Kimbark, E.W., 1948, Power System Stability, Vols 1,2 and 3, Wiley

9. Kimura, Takafumi and Nishimatsu, Sinya, January 1992, Development of An Expert System For Estimating Fault Section In Control Center Based On Protective System Simulation, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 1

10. Kundur, Prabha, 1994, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, Inc.

11. Lawrence, D.J., April 1988, Transmission Line Fault Location Using Digital Fault Recorders, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 2

12. Mansour Y. and Kundur P., 1991, Voltage Collapse, Control and Dynamic Systems, Vol. 42: Analysis and Control System Techniques for Electric Power Systems, pp. 111-162, Academic Press

13. Morison, G.K., and Kundur, P., July 12-16, 1992, Voltage Stability Analysis Using Static and Dynamic Approaches, Presented at the IEEE PES Summer Meeting, Seattle, Washington.

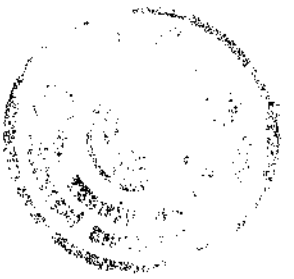
14. Pender, H. and Del Mar, W.A., 1967, Electric Engineers Handbook-Electric Power, Wiley

15. Sachdev, M.S., January 1988, A Technique for Estimating Transmission Line Fault Locations From Digital Impedance Relay Measurements, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 1

16. Salama, M.M.A., April 1992, An Expert System for Reactive Power Control of a Distribution System, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 2

17. Stagg, C.W., and A. H. El-Abiad, 1968, Computer Methods in Power System Analysis, McGraw-Hill, Inc.

18. Steiner J.P., Weeks W.L., Ng H.W., April 1992, An Automated Fault Locating System, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 2



19. Stevenson,William D., JR., 1975, Elements of Power System Analysis, McGraw-Hill, Inc.

20. Taylor, Carson W., April 1992, Concepts Of Undervoltage Load Shedding for Voltage Stability, IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 7, No. 2, pp. 480-488,

21. Taylor, Carson W., 1993, Power System Voltage Stability, McGraw-Hill, Inc.

22. Wallach Y., 1986, Calculations and Programs for Power System Networks, Wayne State University, Prentice-Hall Inc.

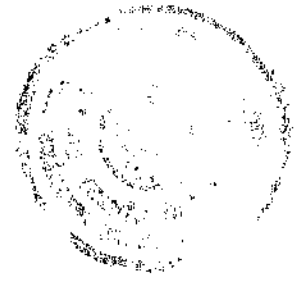
23. Yükseler, N.H., October,29-31, 1990, Power Delivery Capabilities Limited By Voltage Stability In Compensated Long Transmission Lines, International AMSE Conference " Modelling Simulation" Greenboro ,N. Carolina (USA),Vol.I, pp.55-62

24. Yükseler, N.H., 22-23 May 1991, The Effects of Compensation Schemes on Power Delivery Capabilities Limited By Voltage Stability In Transmission Lines, IEEE-Melecon'91, Proceedings Vol.II, pp.1318-1322, Ljubljana,Slovenia, YUGOSLAVIA.

25. Yükseler, N.H., Jan. 6-9, 1992, The Effects of Rated Series Compensation Ratio on Power Delivery Capabilities Limited By Voltage Stability In Long Transmission Lines, MEPCON'92 Second M.E. Power System Conference, EGYPT, pp. 435-438.

26. Yükseler, N.H., October 18-21, 1994, Series Compensation Effects On Voltage Stability Boundaries in Long Transmission Lines, ICPST'94, International Conference on Power System Technology, Beijing, CHINA, Proc.Vol.2, pp.1101-1104.

27. Yükseler, N.H., "The Effects of Six-Phase Conversion on Capability Chart's Voltage Stability Boundaries", Melecon '96 Bari, ITALY, May 13-16,1996



# EKLER

# EK 1

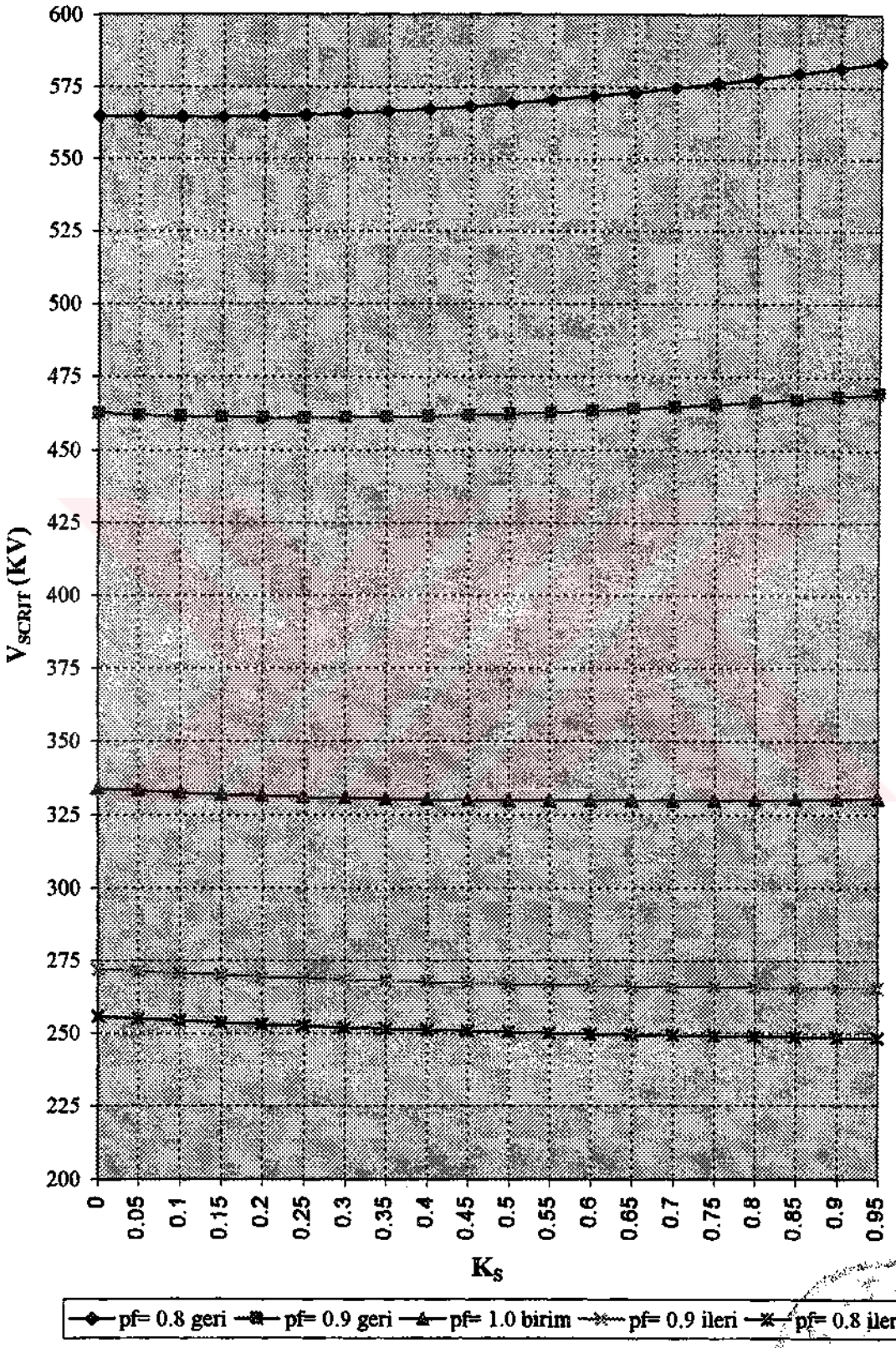
# TABLOLAR VE GRAFİKLER

## MOD 1

| | Vscr(KV) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| Ks | | | | | |
| 0 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.05 | 564.453119 | 461.927464 | 333.13747 | 271.247285 | 254.853685 |
| 0.1 | 564.338179 | 461.490422 | 332.483154 | 270.552648 | 254.15107 |
| 0.15 | 564.412098 | 461.191997 | 331.914326 | 269.921263 | 253.506007 |
| 0.2 | 564.66103 | 461.021531 | 331.424127 | 269.348006 | 252.913834 |
| 0.25 | 565.072783 | 460.9696 | 331.006462 | 268.828312 | 252.370393 |
| 0.3 | 565.636601 | 461.027848 | 330.6559 | 268.358102 | 251.871968 |
| 0.35 | 566.342969 | 461.188847 | 330.367587 | 267.933724 | 251.415224 |
| 0.4 | 567.18346 | 461.445981 | 330.137176 | 267.551892 | 250.997164 |
| 0.45 | 568.150598 | 461.793344 | 329.960761 | 267.209653 | 250.615086 |
| 0.5 | 569.237747 | 462.225657 | 329.834829 | 266.904337 | 250.26655 |
| 0.55 | 570.439008 | 462.73819 | 329.756211 | 266.63353 | 249.949346 |
| 0.6 | 571.749143 | 463.326707 | 329.722044 | 266.395045 | 249.661468 |
| 0.65 | 573.163498 | 463.987404 | 329.729738 | 266.186896 | 249.401094 |
| 0.7 | 574.677945 | 464.716869 | 329.776946 | 266.007274 | 249.166563 |
| 0.75 | 576.288825 | 465.512037 | 329.861537 | 265.854533 | 248.956362 |
| 0.8 | 577.992907 | 466.370158 | 329.981576 | 265.727171 | 248.769107 |
| 0.85 | 579.787344 | 467.288763 | 330.135304 | 265.623814 | 248.603532 |
| 0.9 | 581.66964 | 468.265642 | 330.32112 | 265.543206 | 248.458477 |
| 0.95 | 583.63762 | 469.298816 | 330.537566 | 265.484198 | 248.332879 |

**Tablo 1.1.** $K_S$ - $V_{SCRIT}$

**MOD 1**



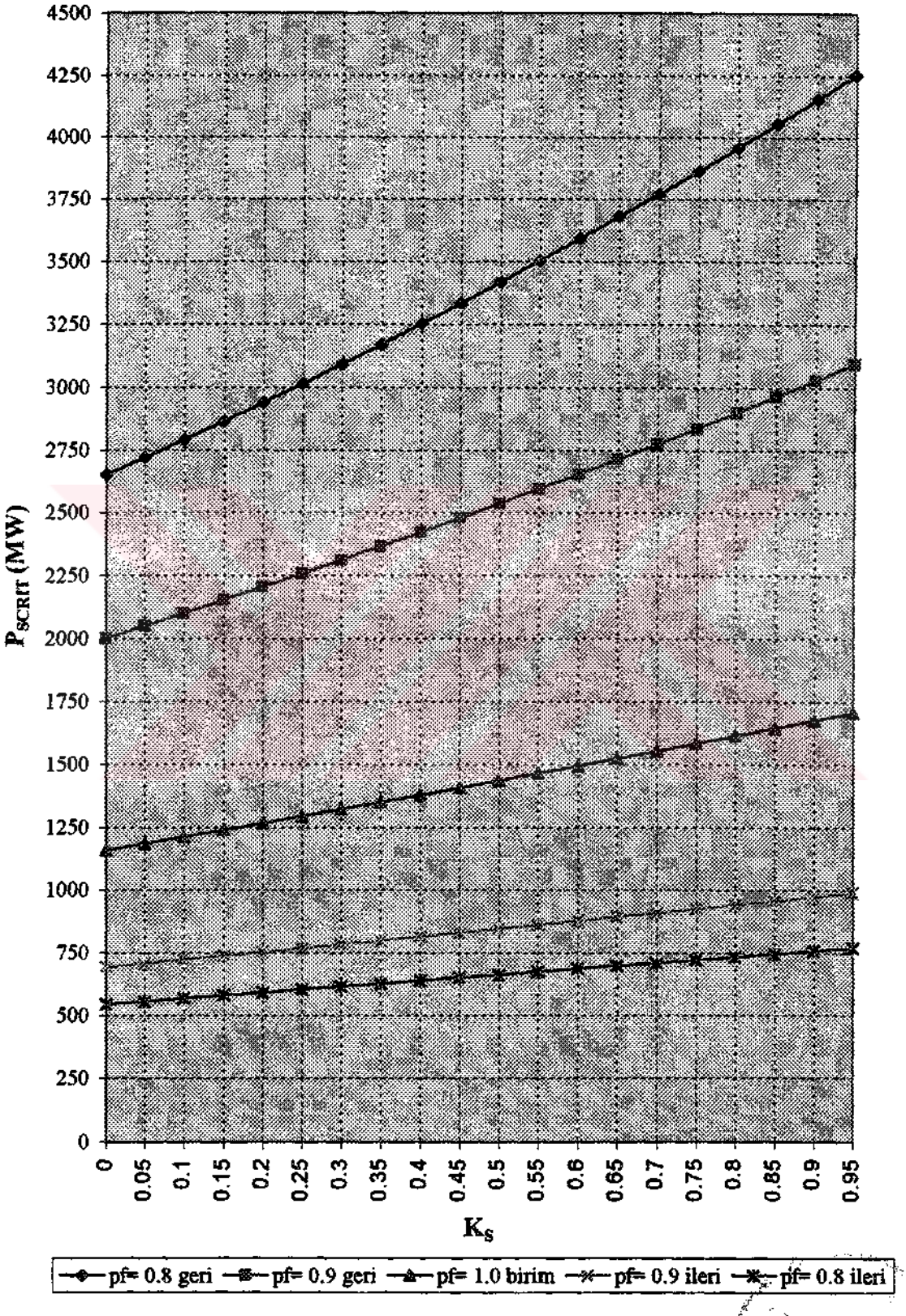

**Grafik 1.1.** $K_S$ - $V_{SCRIT}$

## MOD 1

| | Pscr(MW) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı Ks | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| 0 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.05 | 2720.376295 | 2049.619849 | 1184.486751 | 706.73492 | 554.568327 |
| 0.1 | 2791.753177 | 2100.274503 | 1211.288121 | 721.862123 | 566.215869 |
| 0.15 | 2864.649074 | 2151.765034 | 1238.342581 | 737.064537 | 577.903477 |
| 0.2 | 2939.072773 | 2204.091641 | 1265.648072 | 752.341051 | 589.630415 |
| 0.25 | 3015.03709 | 2257.256811 | 1293.203395 | 767.690932 | 601.396212 |
| 0.3 | 3092.558533 | 2311.265098 | 1321.008117 | 783.113783 | 613.200629 |
| 0.35 | 3171.657031 | 2366.122942 | 1349.062494 | 798.609503 | 625.043634 |
| 0.4 | 3252.355723 | 2421.838523 | 1377.367406 | 814.17826 | 636.925378 |
| 0.45 | 3334.680794 | 2478.421641 | 1405.924302 | 829.820463 | 648.84618 |
| 0.5 | 3418.661348 | 2535.883623 | 1434.735154 | 845.536741 | 660.806512 |
| 0.55 | 3504.329324 | 2594.237248 | 1463.802424 | 861.327927 | 672.806981 |
| 0.6 | 3591.719427 | 2653.496686 | 1493.129028 | 877.195041 | 684.848324 |
| 0.65 | 3680.869102 | 2713.677462 | 1522.718318 | 893.139278 | 696.931398 |
| 0.7 | 3771.818521 | 2774.796419 | 1552.574055 | 909.162 | 709.057169 |
| 0.75 | 3864.61059 | 2836.871704 | 1582.700398 | 925.264723 | 721.226709 |
| 0.8 | 3959.290982 | 2899.922758 | 1613.10189 | 941.449114 | 733.441193 |
| 0.85 | 4055.90818 | 2963.970318 | 1643.783453 | 957.716986 | 745.701888 |
| 0.9 | 4154.513544 | 3029.036423 | 1674.750376 | 974.070292 | 758.010158 |
| 0.95 | 4255.161393 | 3095.144439 | 1706.008817 | 990.511121 | 770.367457 |

**Tablo 1.2.** $K_S$ - $P_{SCRIT}$

**MOD 1**



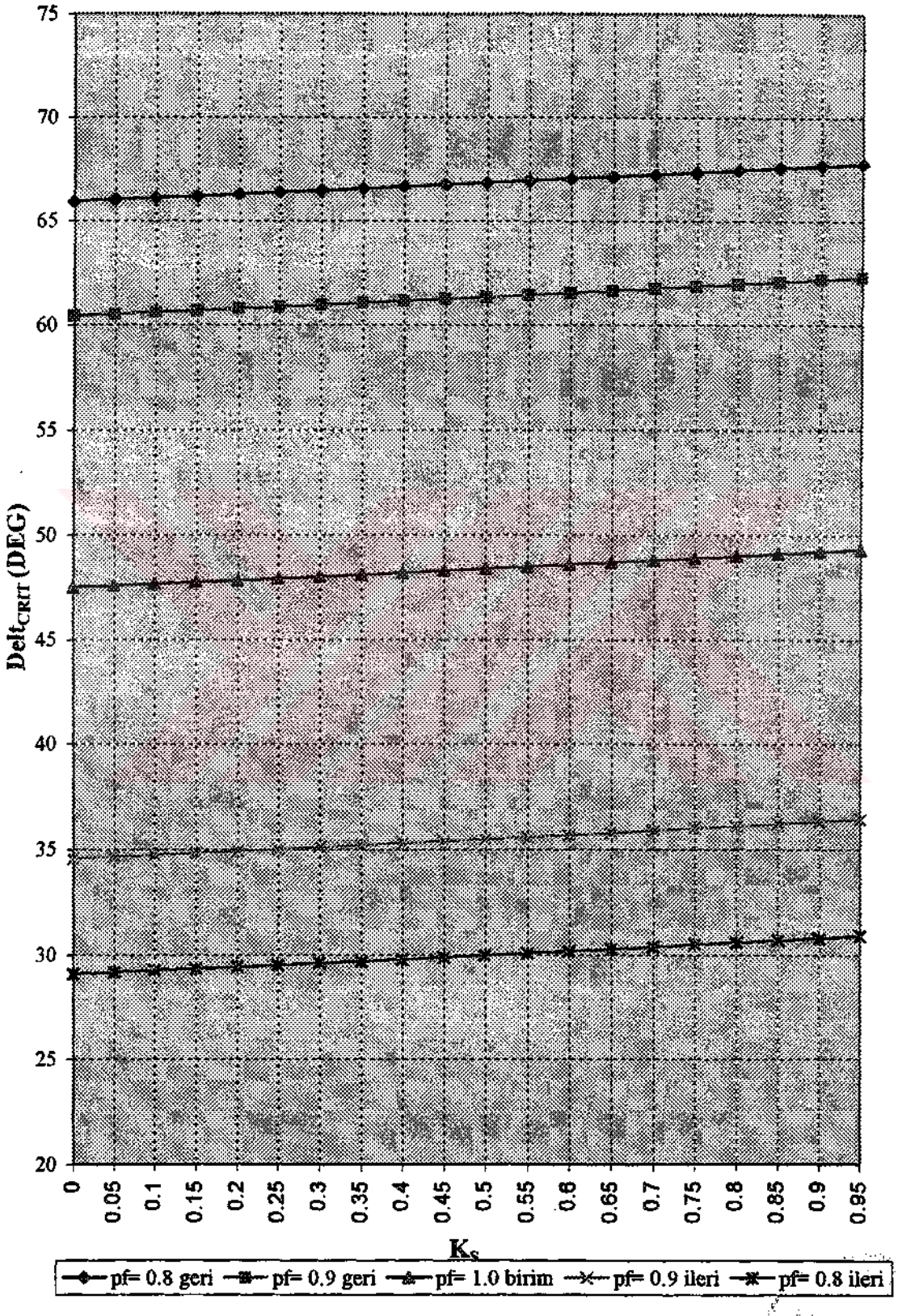

**Grafik 1.2.** $K_S$ - $P_{SCRIT}$

## MOD 1

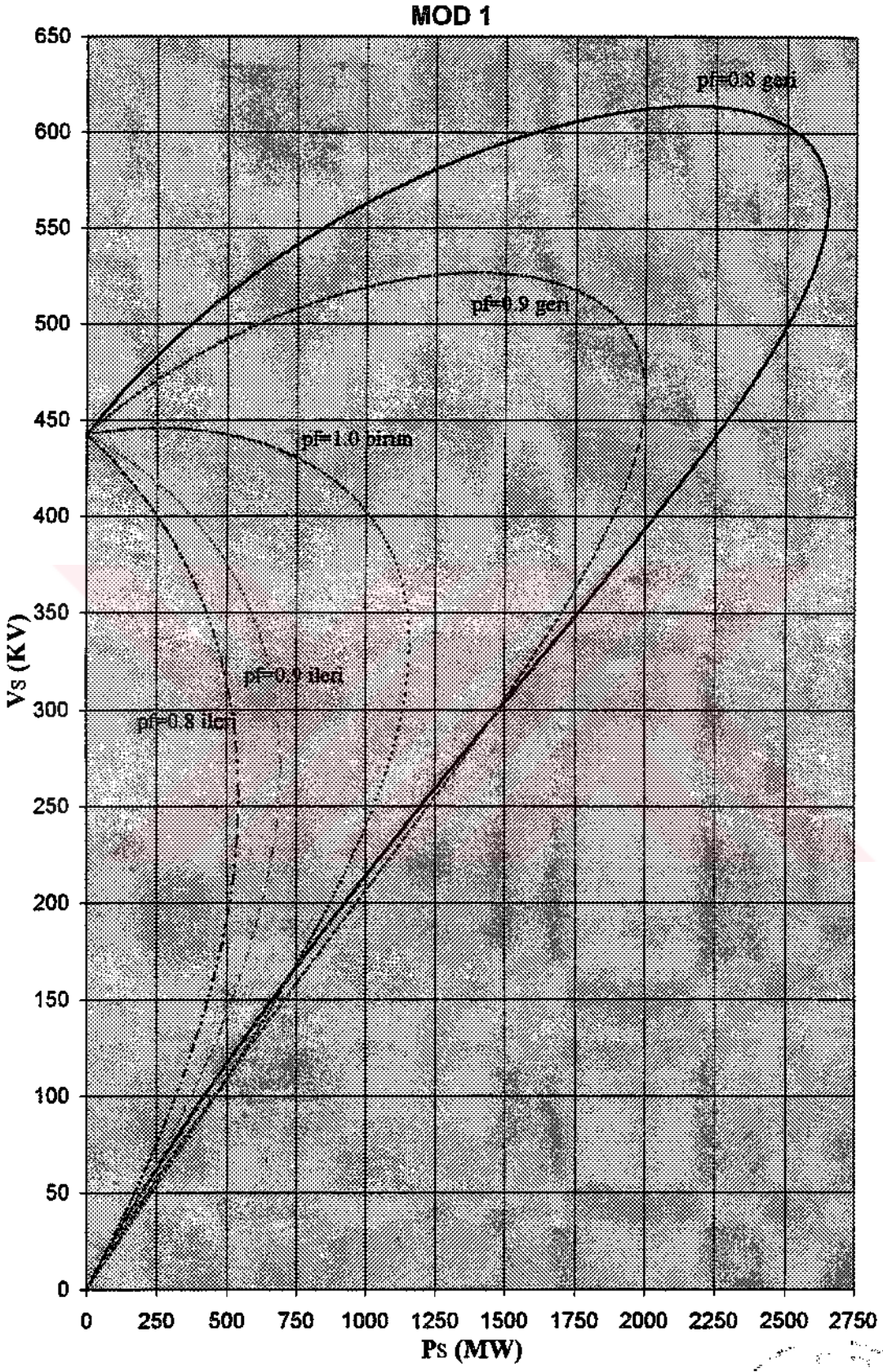
| | delter(DEG) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| Ks | | | | | |
| 0 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.05 | 66.021668 | 60.507685 | 47.586719 | 34.665752 | 29.15177 |
| 0.1 | 66.104558 | 60.590575 | 47.669609 | 34.748642 | 29.23466 |
| 0.15 | 66.189789 | 60.675807 | 47.75484 | 34.833874 | 29.319891 |
| 0.2 | 66.277206 | 60.763224 | 47.842258 | 34.921291 | 29.407309 |
| 0.25 | 66.366667 | 60.852684 | 47.931718 | 35.010752 | 29.496769 |
| 0.3 | 66.45804 | 60.944057 | 48.023091 | 35.102124 | 29.588142 |
| 0.35 | 66.551204 | 61.037222 | 48.116256 | 35.195289 | 29.681307 |
| 0.4 | 66.646051 | 61.132069 | 48.211102 | 35.290136 | 29.776154 |
| 0.45 | 66.742479 | 61.228496 | 48.30753 | 35.386564 | 29.872581 |
| 0.5 | 66.840395 | 61.326412 | 48.405446 | 35.48448 | 29.970497 |
| 0.55 | 66.939714 | 61.425732 | 48.504765 | 35.583799 | 30.069816 |
| 0.6 | 67.040359 | 61.526377 | 48.60541 | 35.684444 | 30.170462 |
| 0.65 | 67.142259 | 61.628277 | 48.70731 | 35.786344 | 30.272361 |
| 0.7 | 67.245349 | 61.731366 | 48.8104 | 35.889433 | 30.375451 |
| 0.75 | 67.349569 | 61.835586 | 48.91462 | 35.993654 | 30.479671 |
| 0.8 | 67.454865 | 61.940883 | 49.019916 | 36.09895 | 30.584967 |
| 0.85 | 67.561189 | 62.047206 | 49.12624 | 36.205273 | 30.691291 |
| 0.9 | 67.668494 | 62.154512 | 49.233545 | 36.312579 | 30.798597 |
| 0.95 | 67.776742 | 62.262759 | 49.341793 | 36.420826 | 30.906844 |

**Tablo 1.3.** $K_S$ - $delt_{CRIT}$

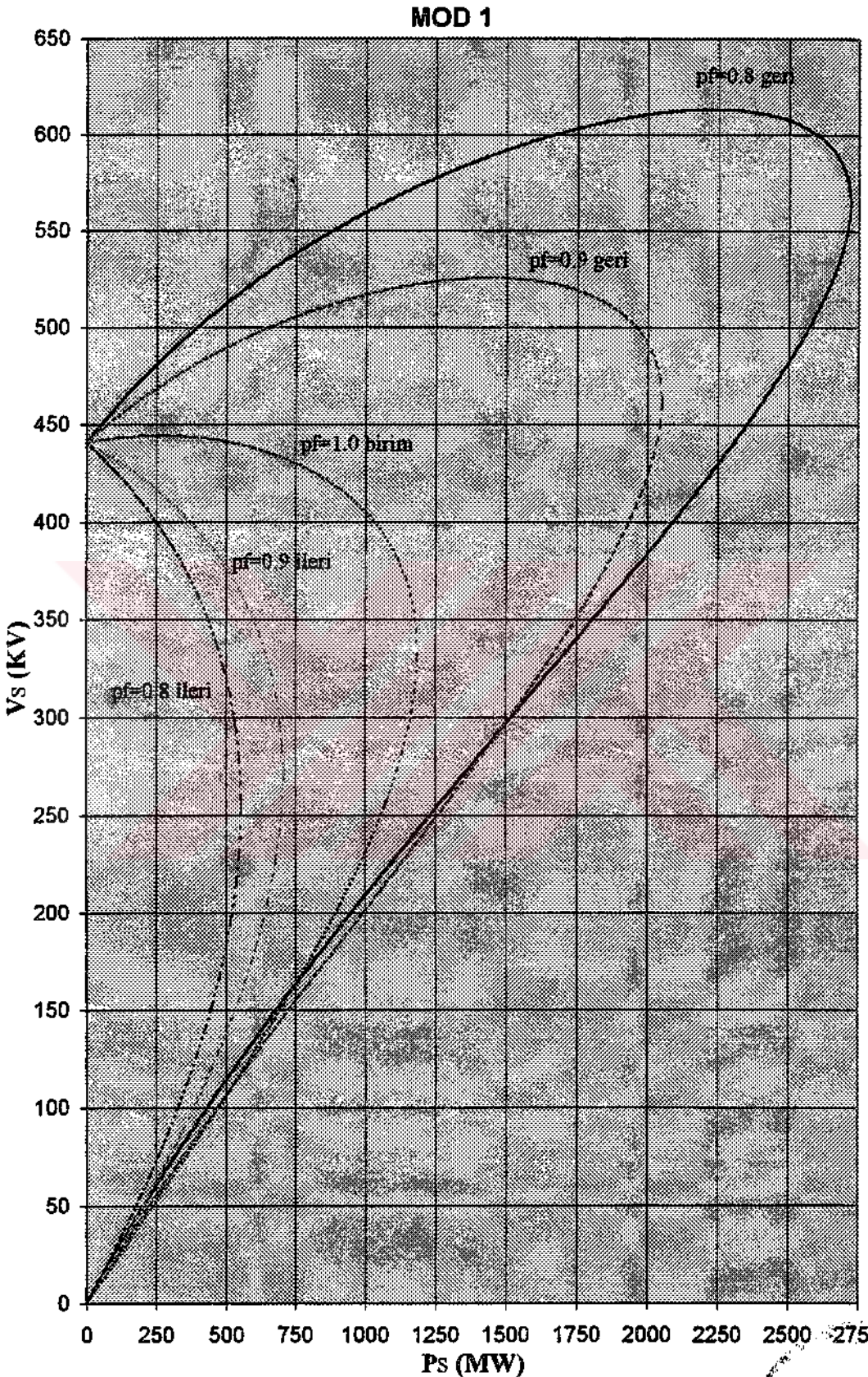
**MOD 1**



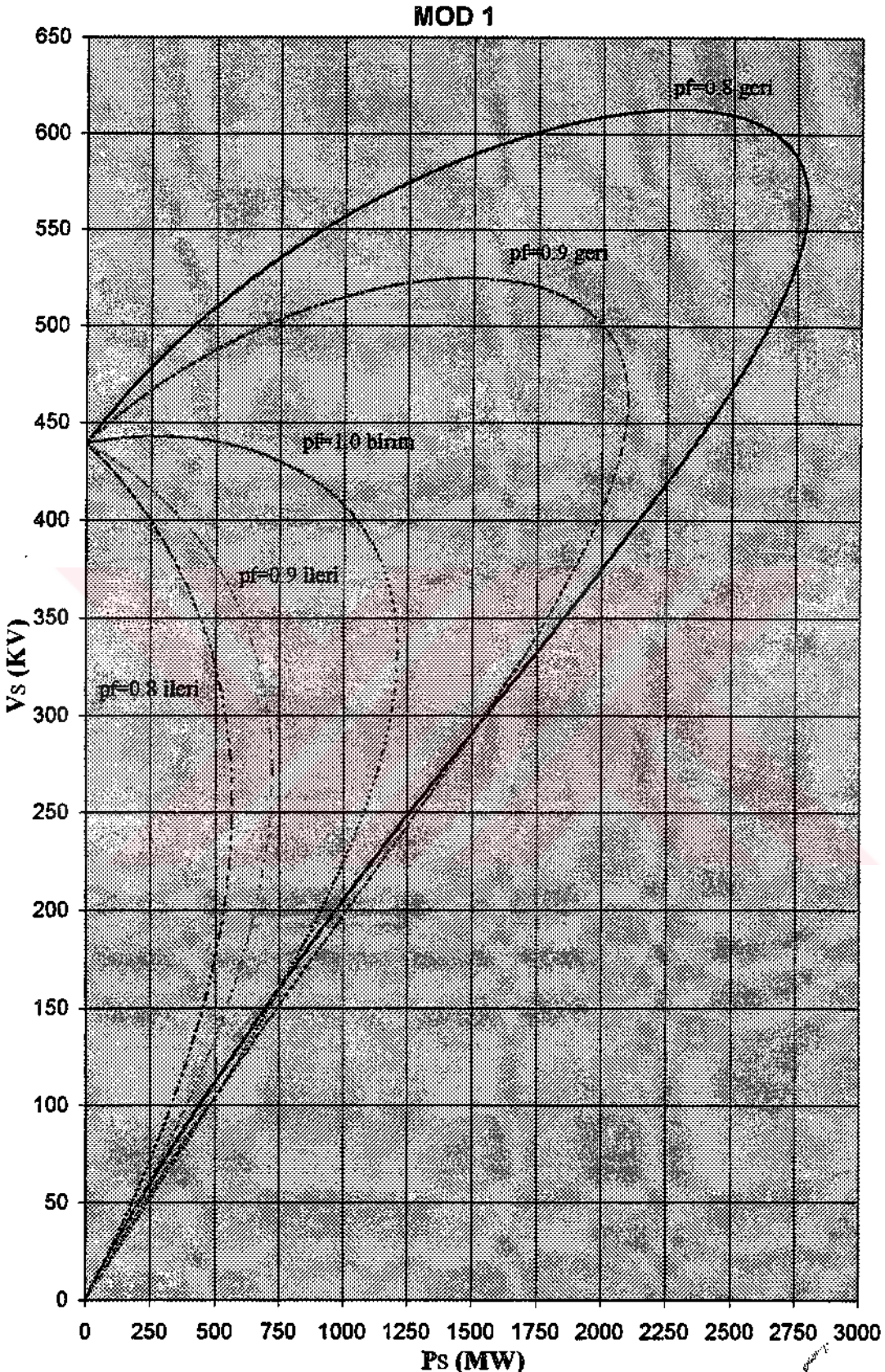

**Grafik 1.3. $K_S$ - $Delt_{CRIT}$**



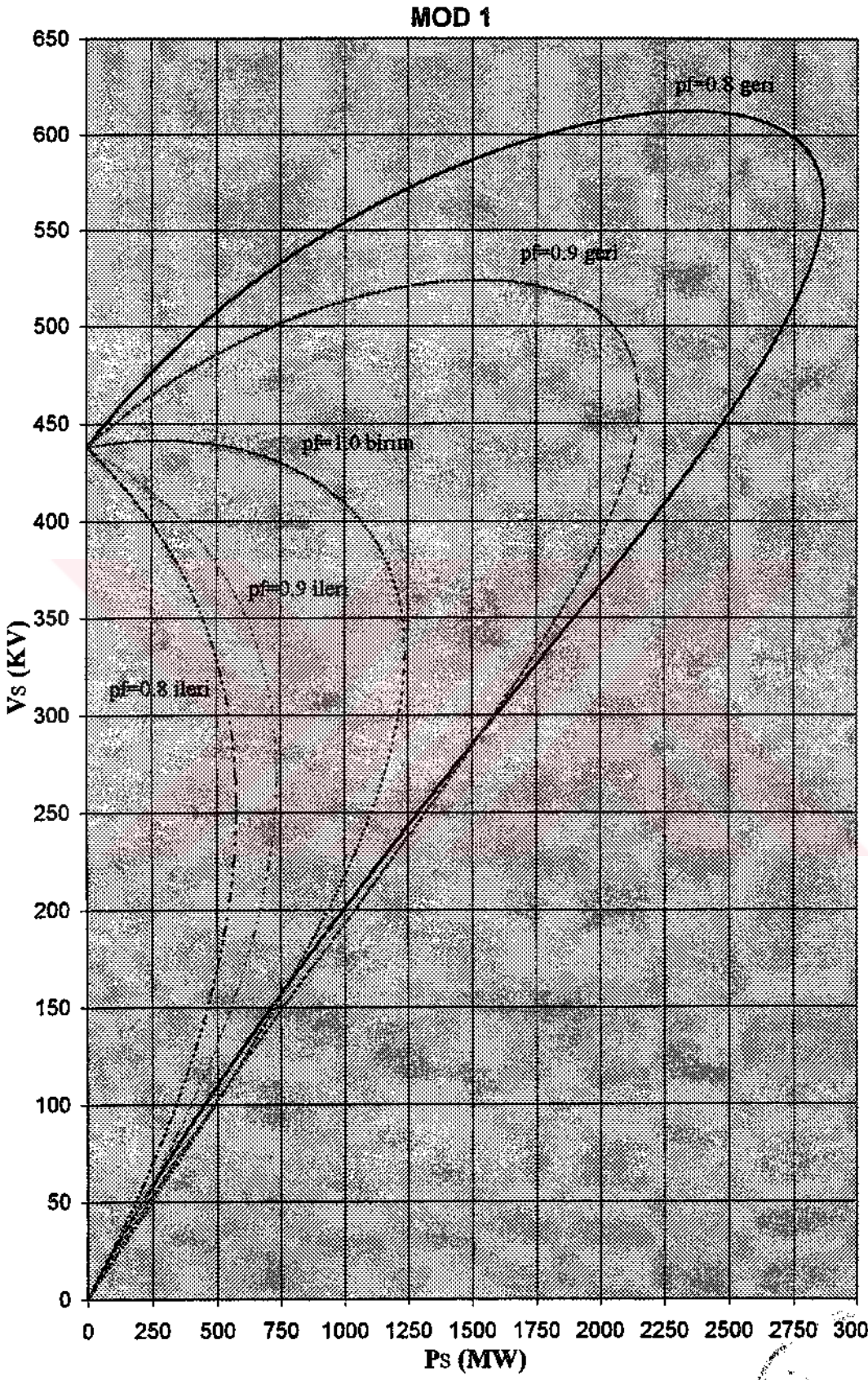

**Grafik 1.4.1.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.00)



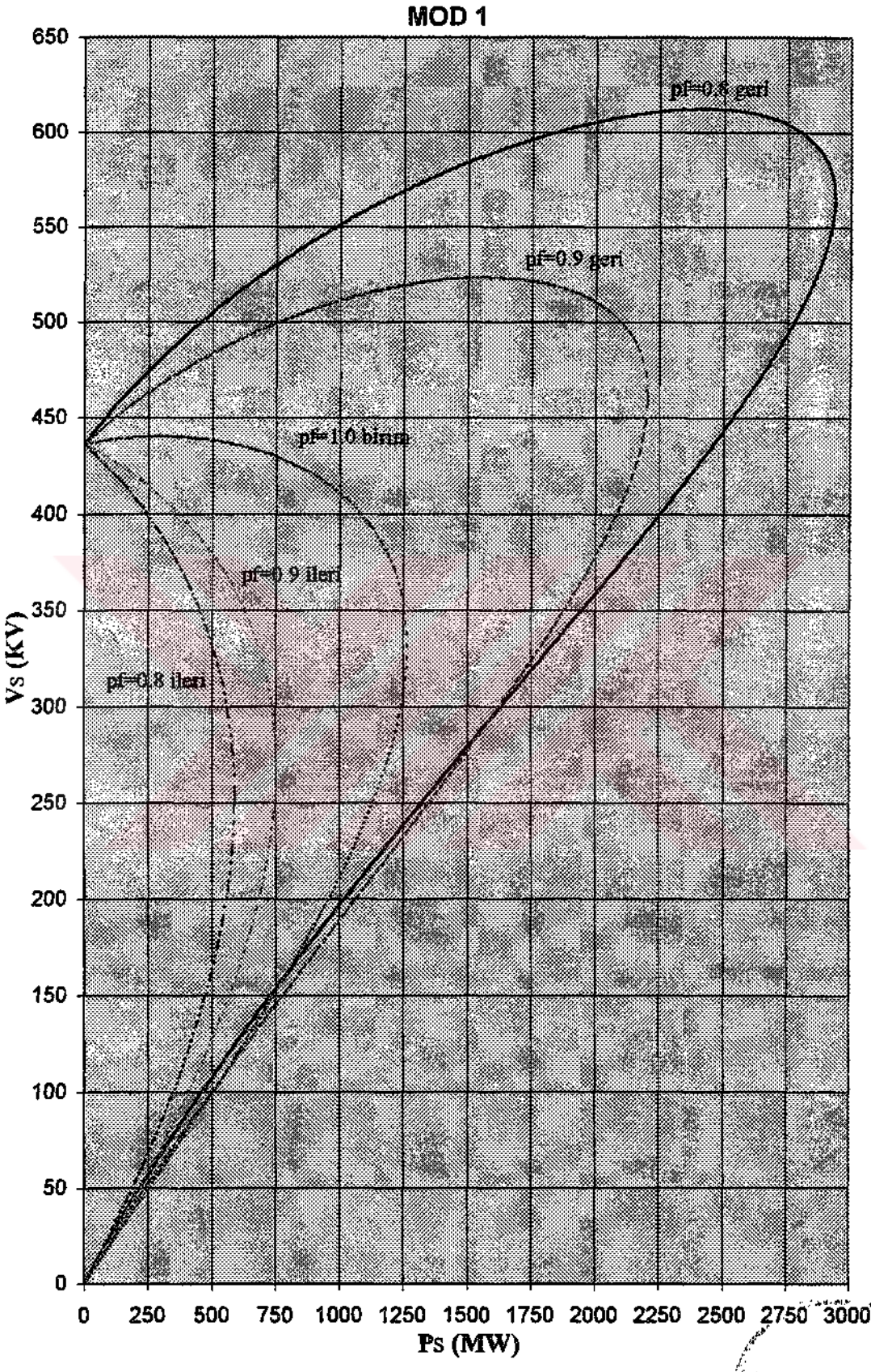

**Grafik 1.4.2.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.05)



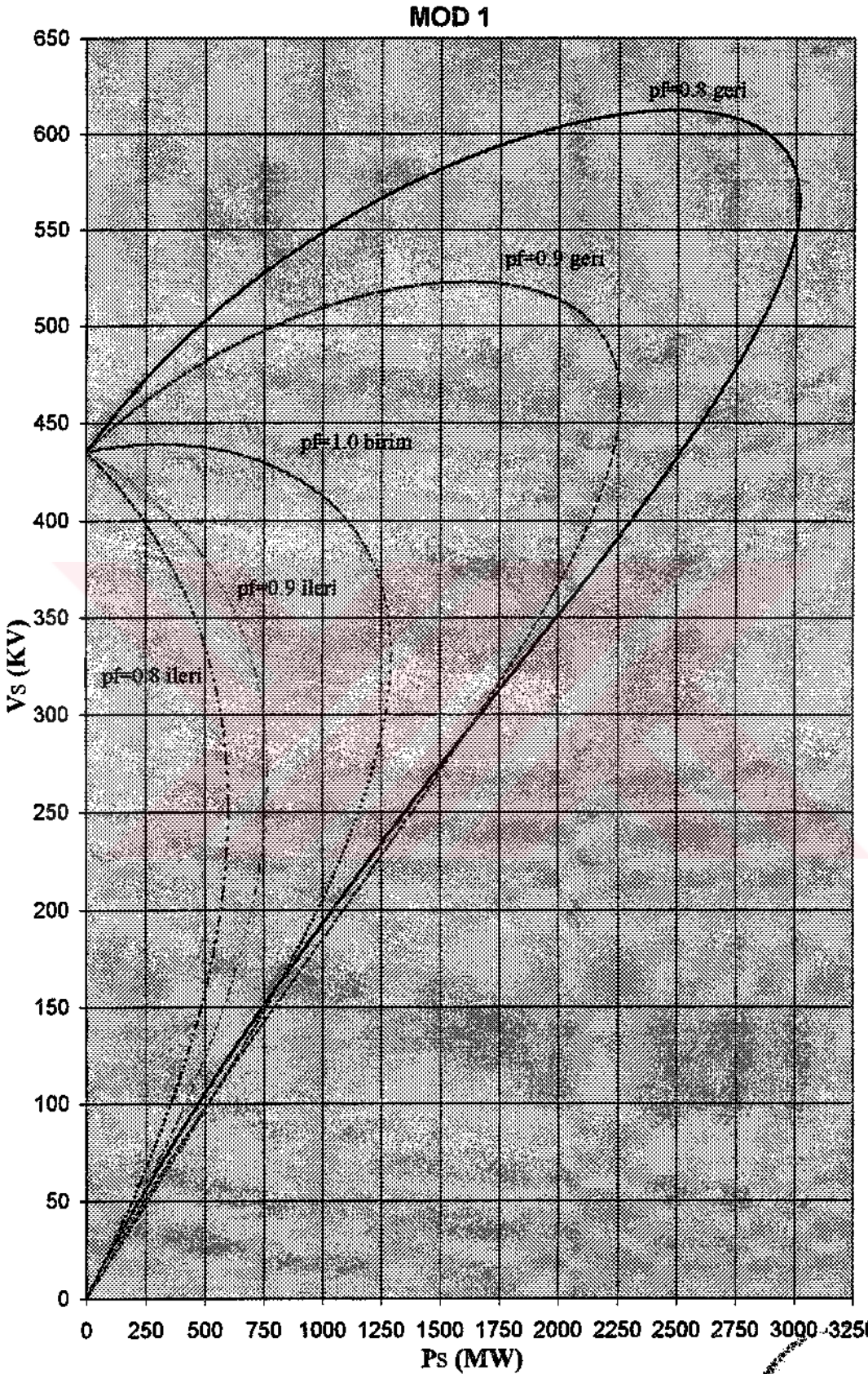

**Grafik 1.4.3.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.10)



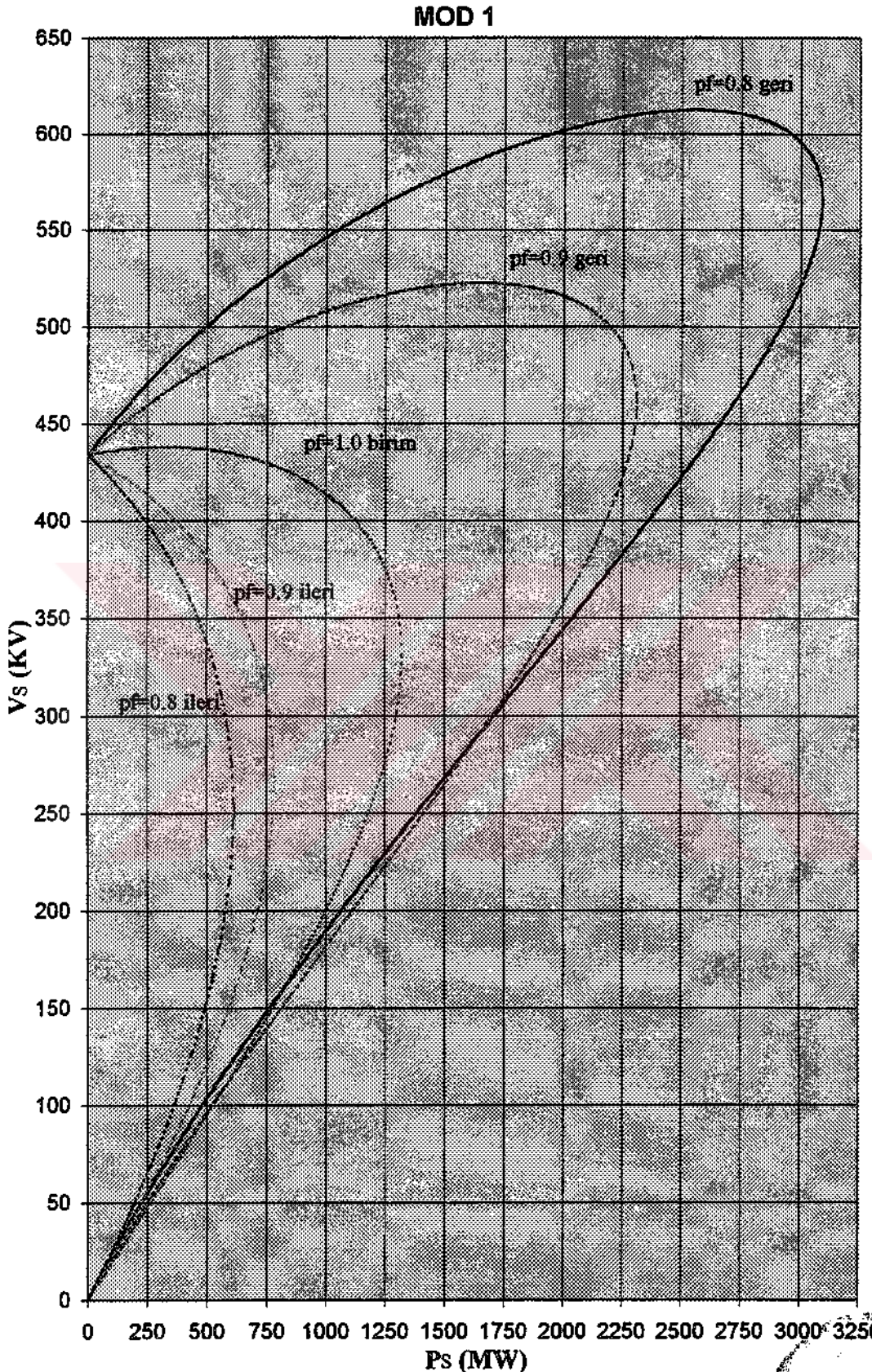

**Grafik 1.4.4.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.15)



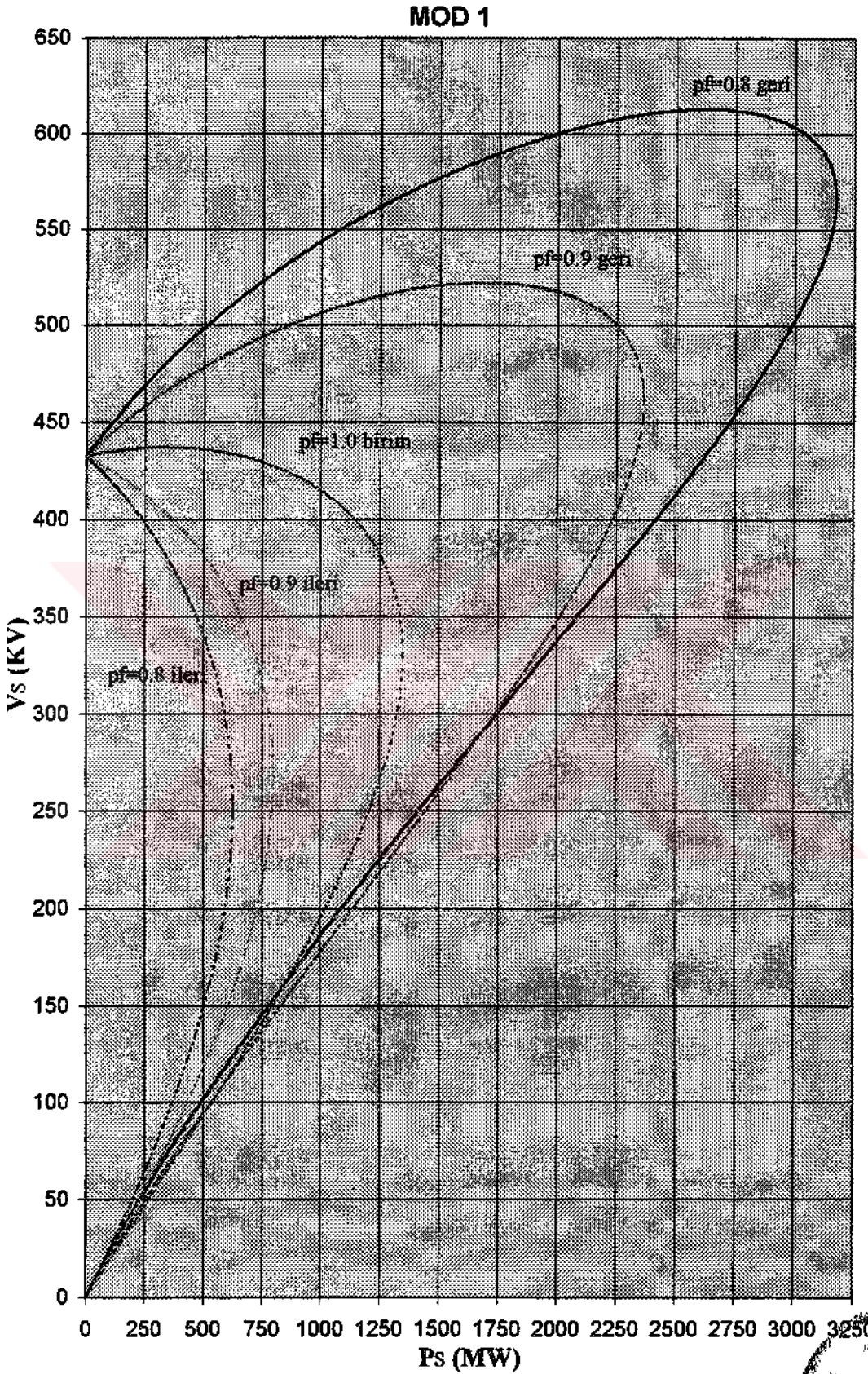

**Grafik 1.4.5.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.20)



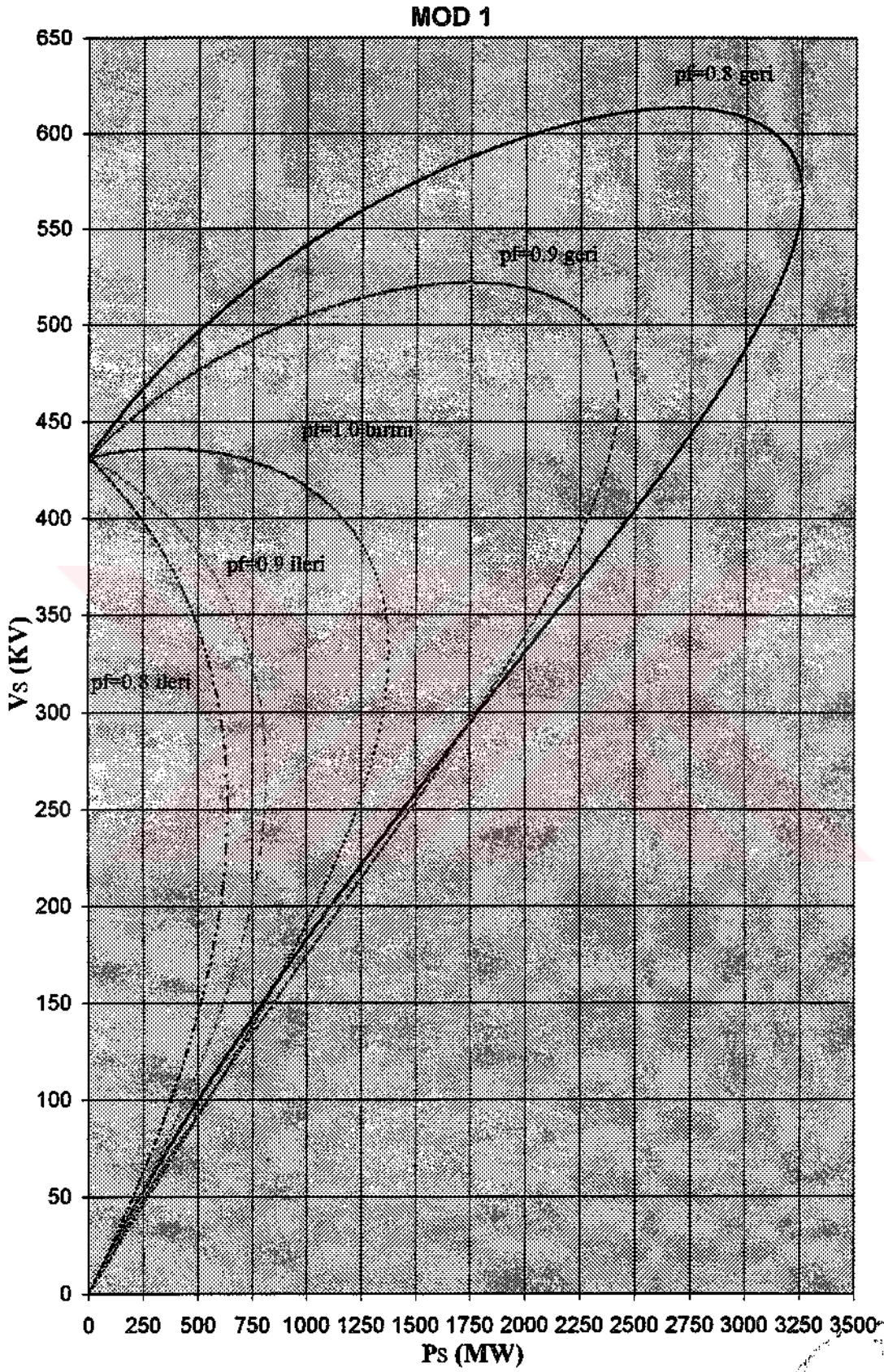

**Grafik 1.4.6.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.25)



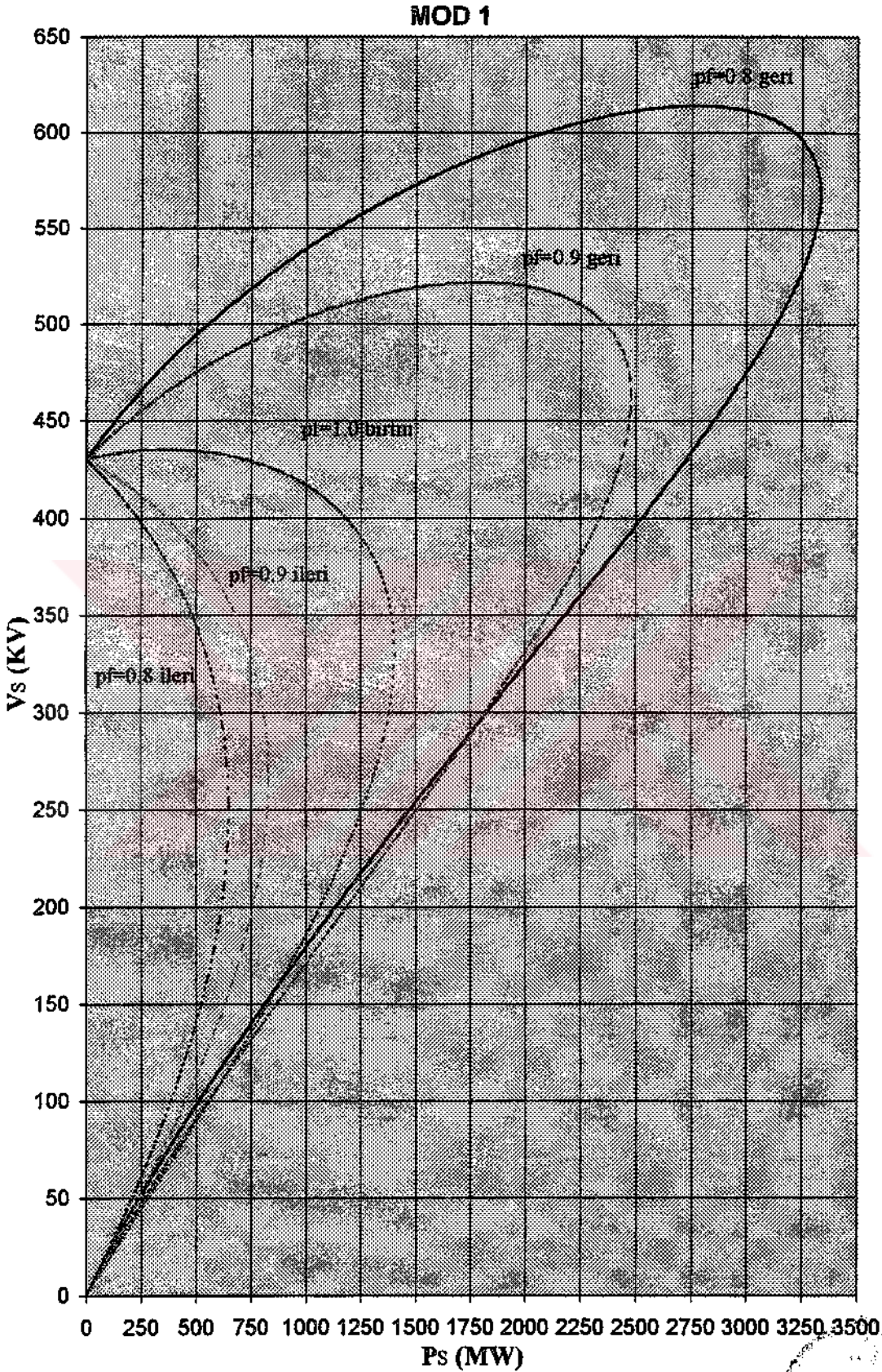

**Grafik 1.4.7.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.30)



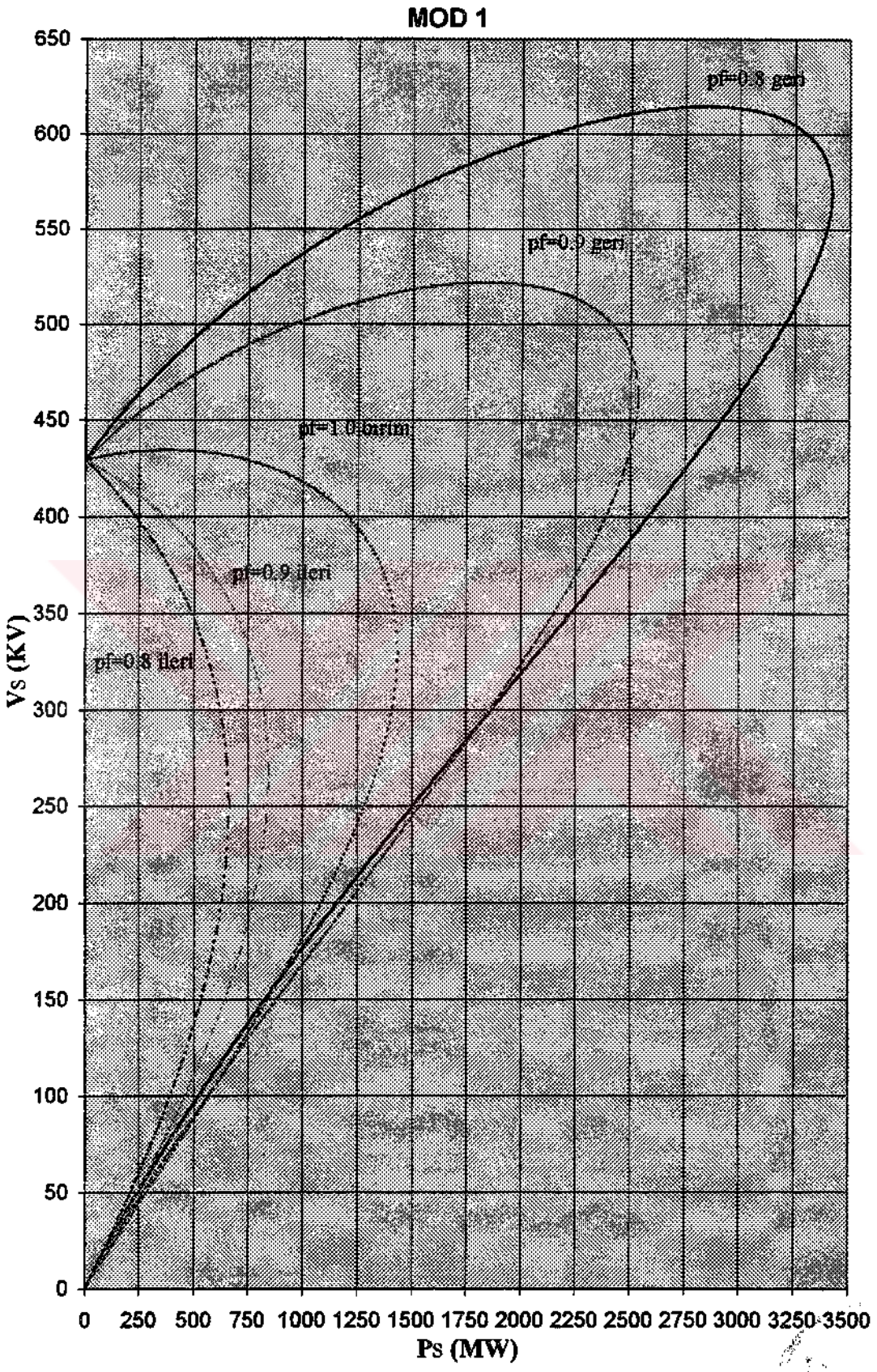

**Grafik 1.4.8.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.35)



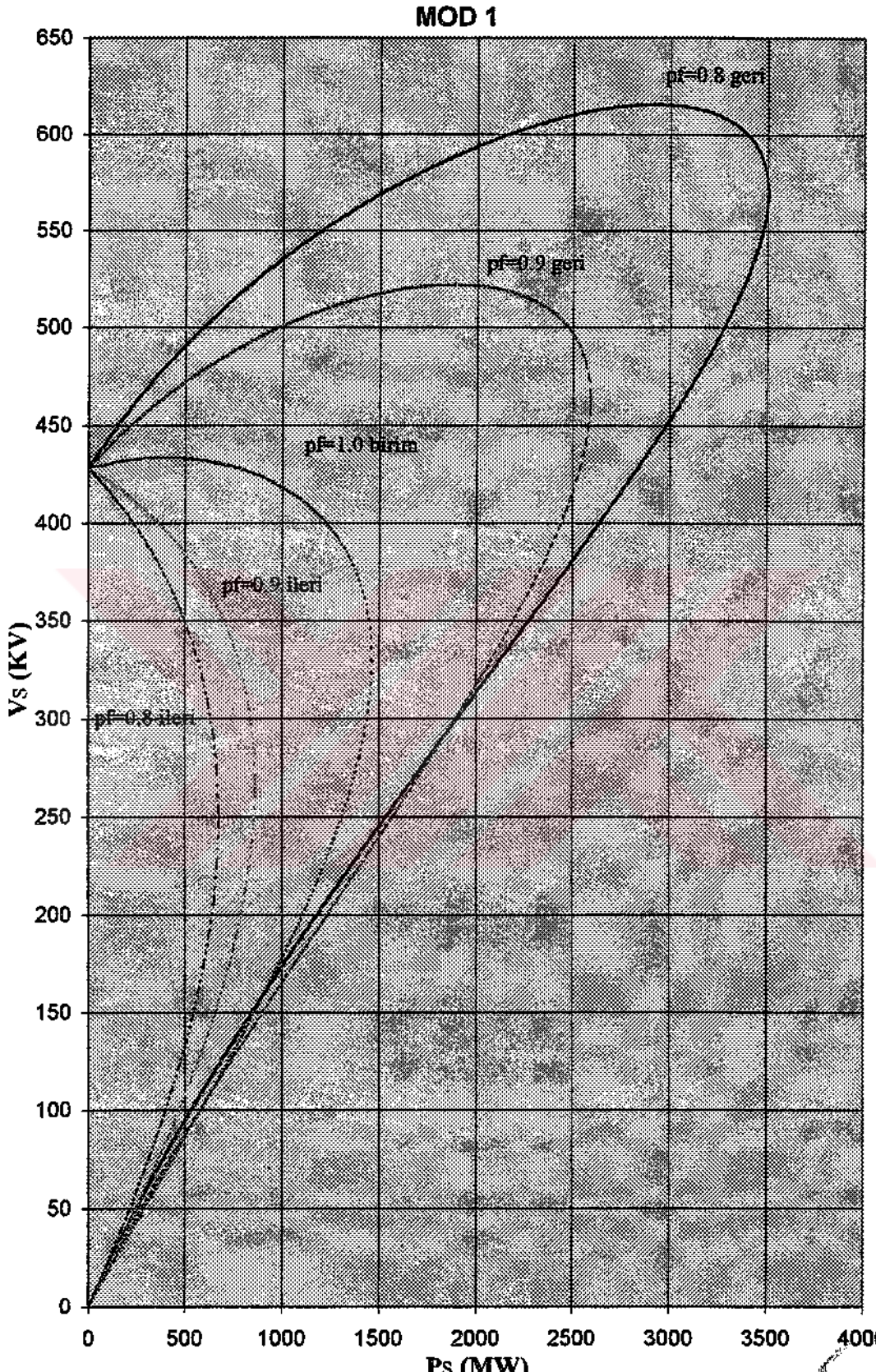

**Grafik 1.4.9.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.40)



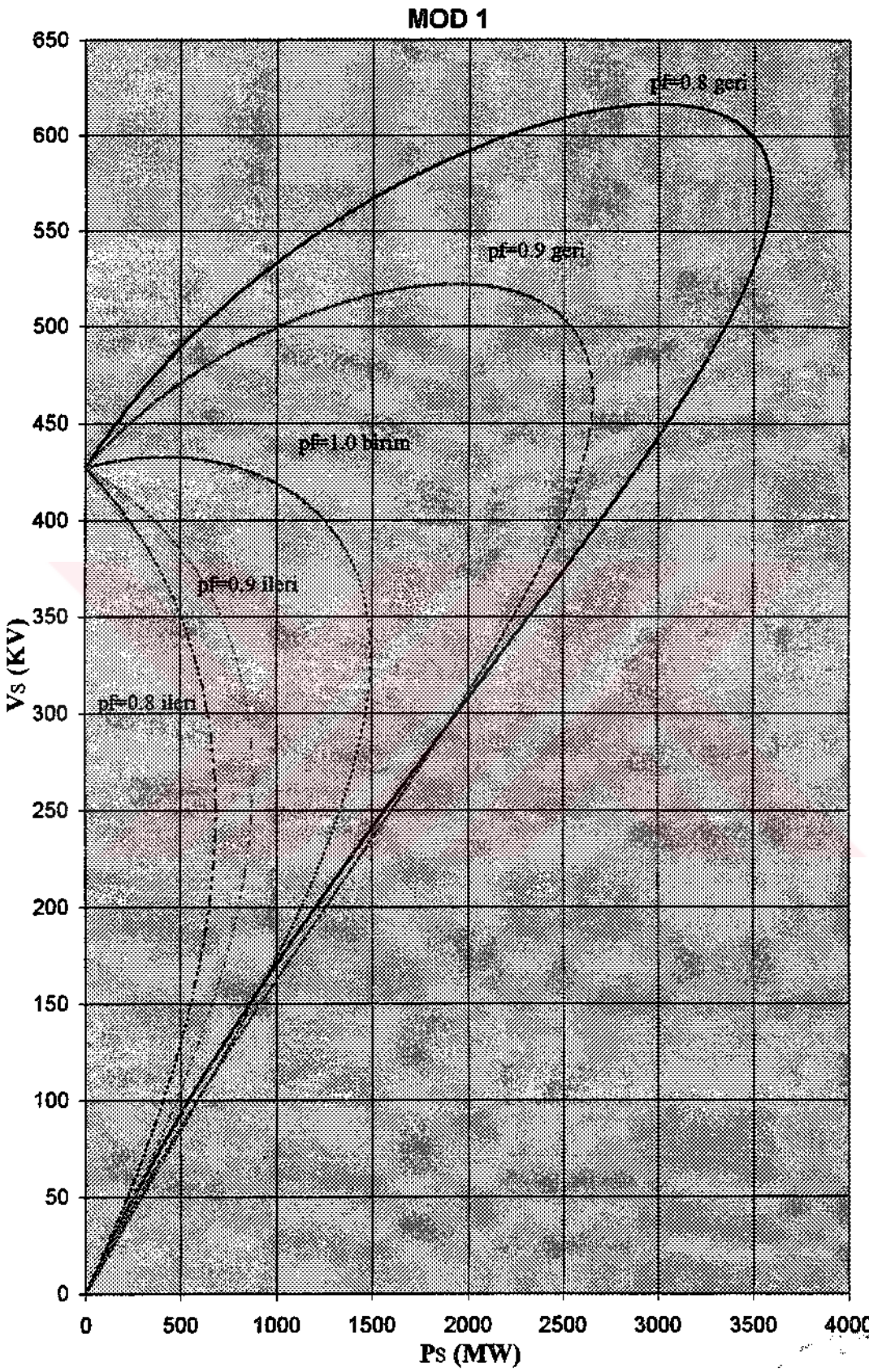

**Grafik 1.4.10.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.45)



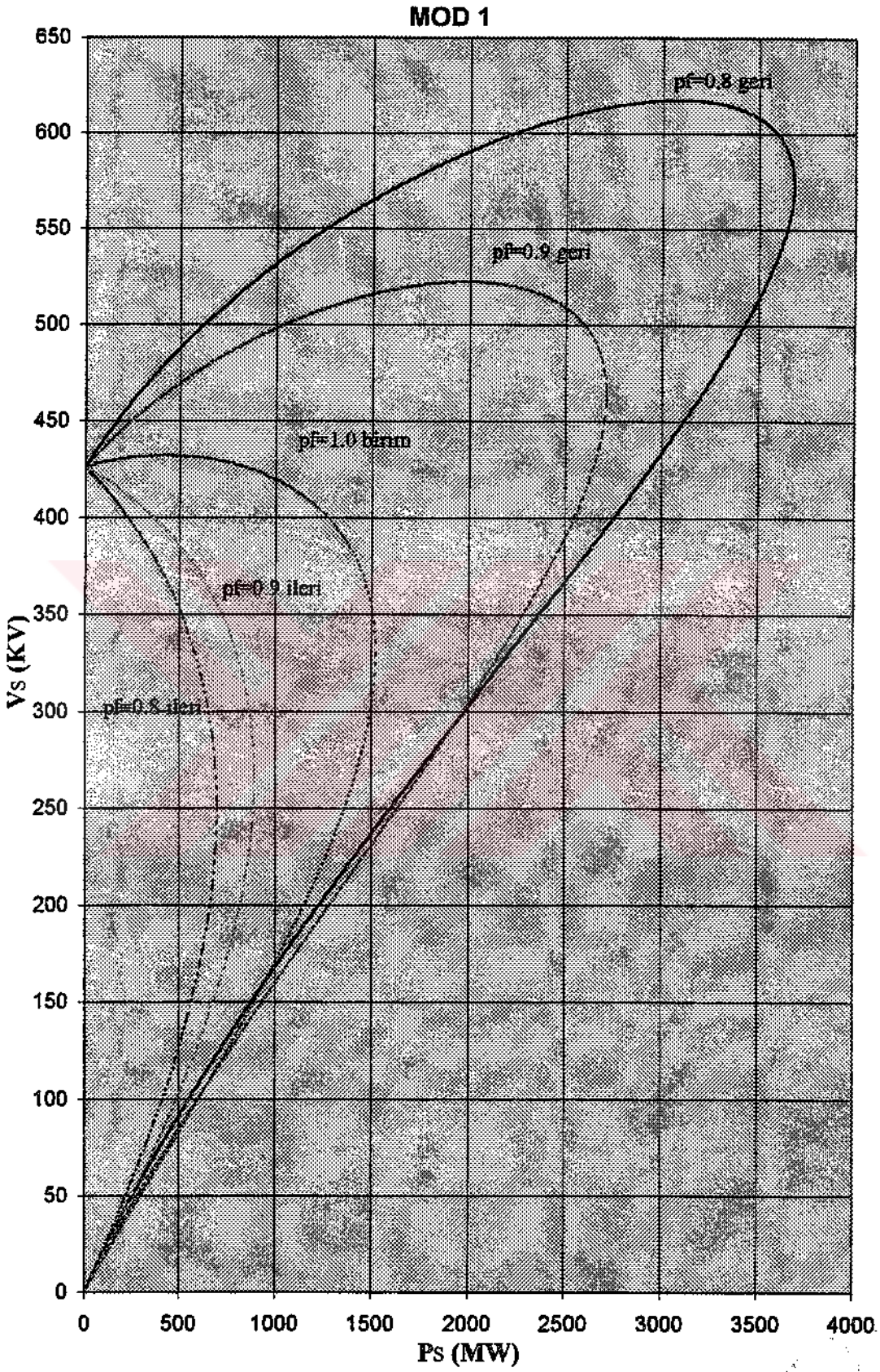

**Grafik 1.4.11.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.50)



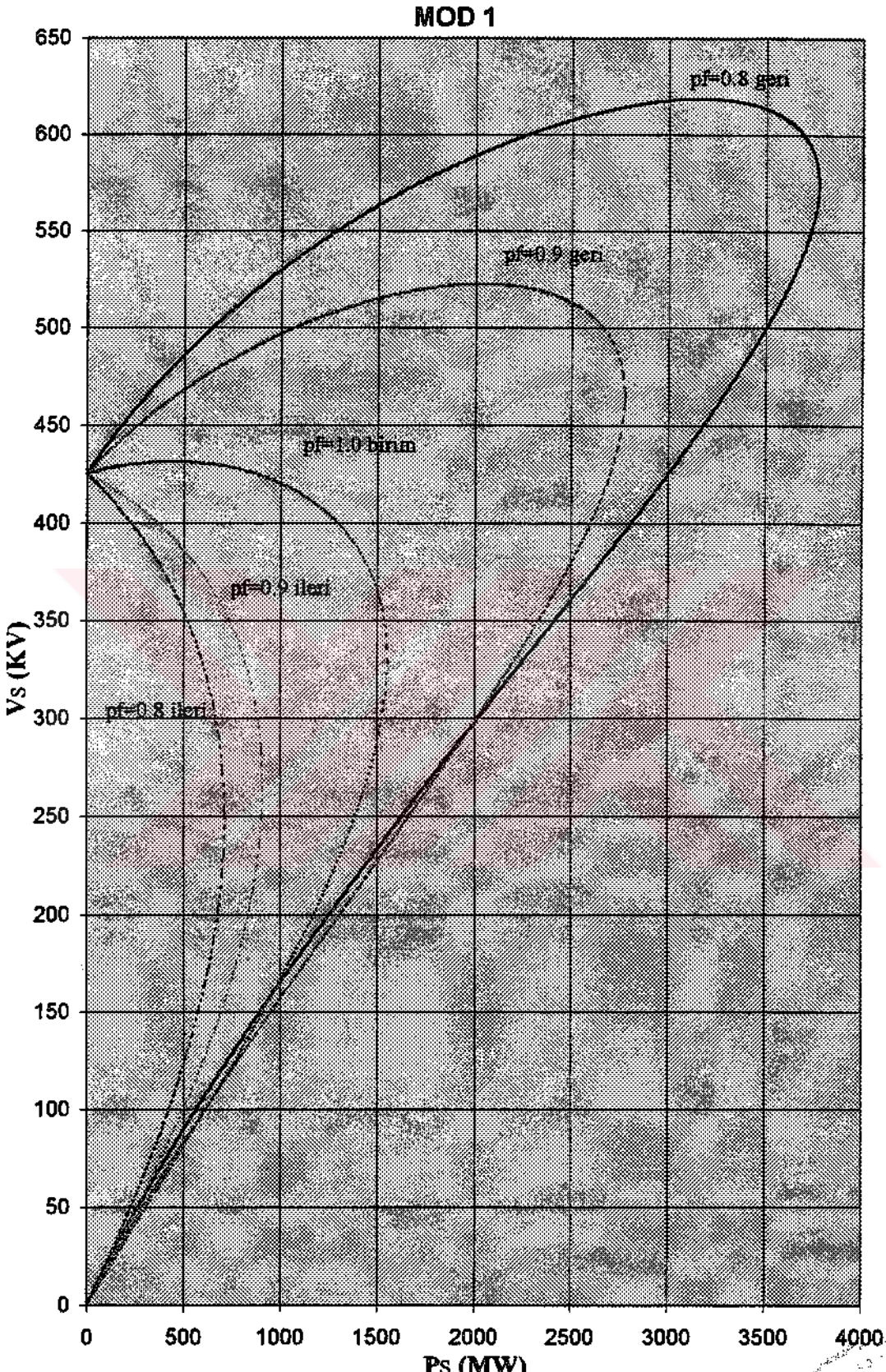

**Grafik 1.4.12.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.55)



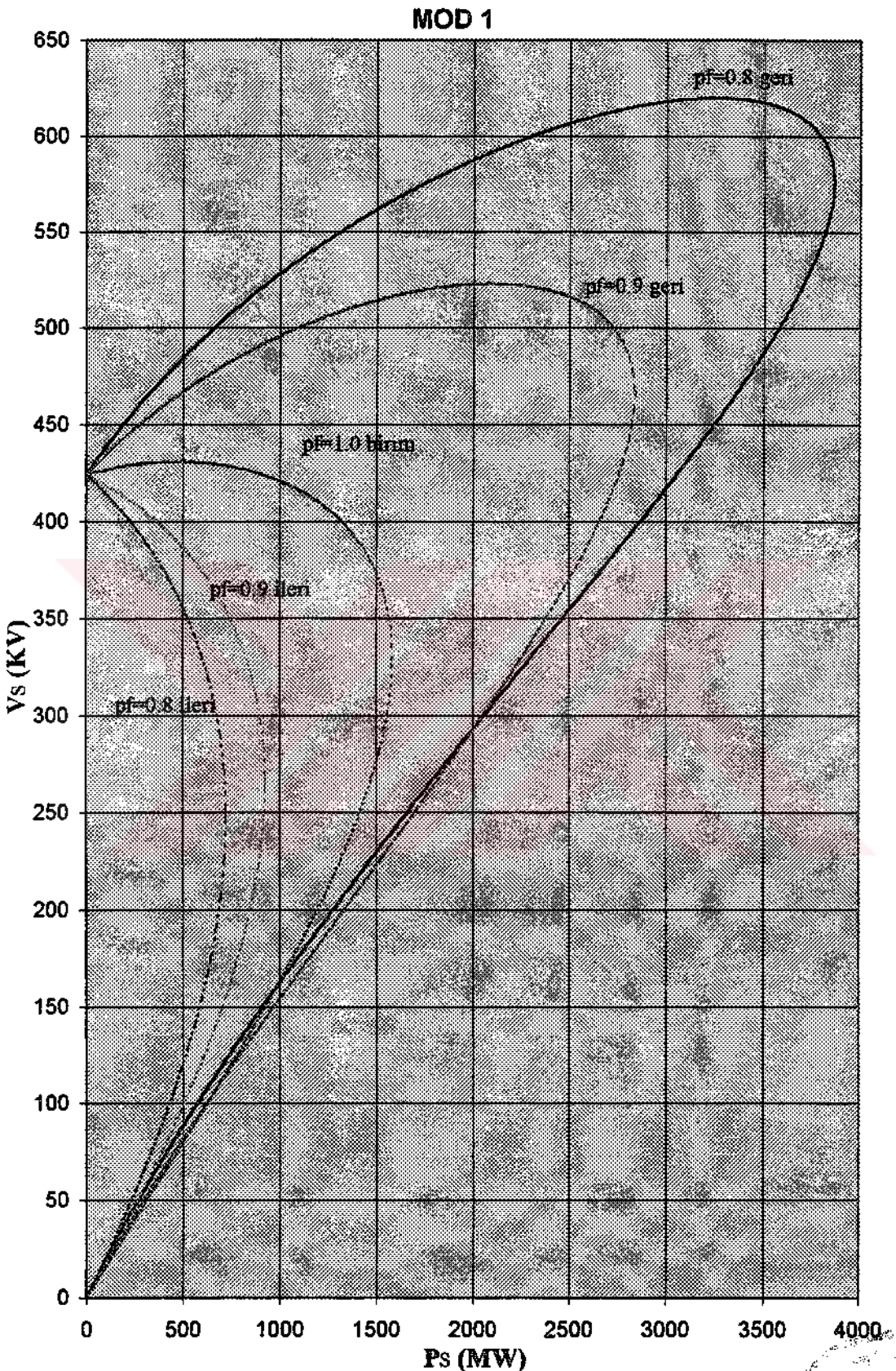

**Grafik 1.4.13.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.60)



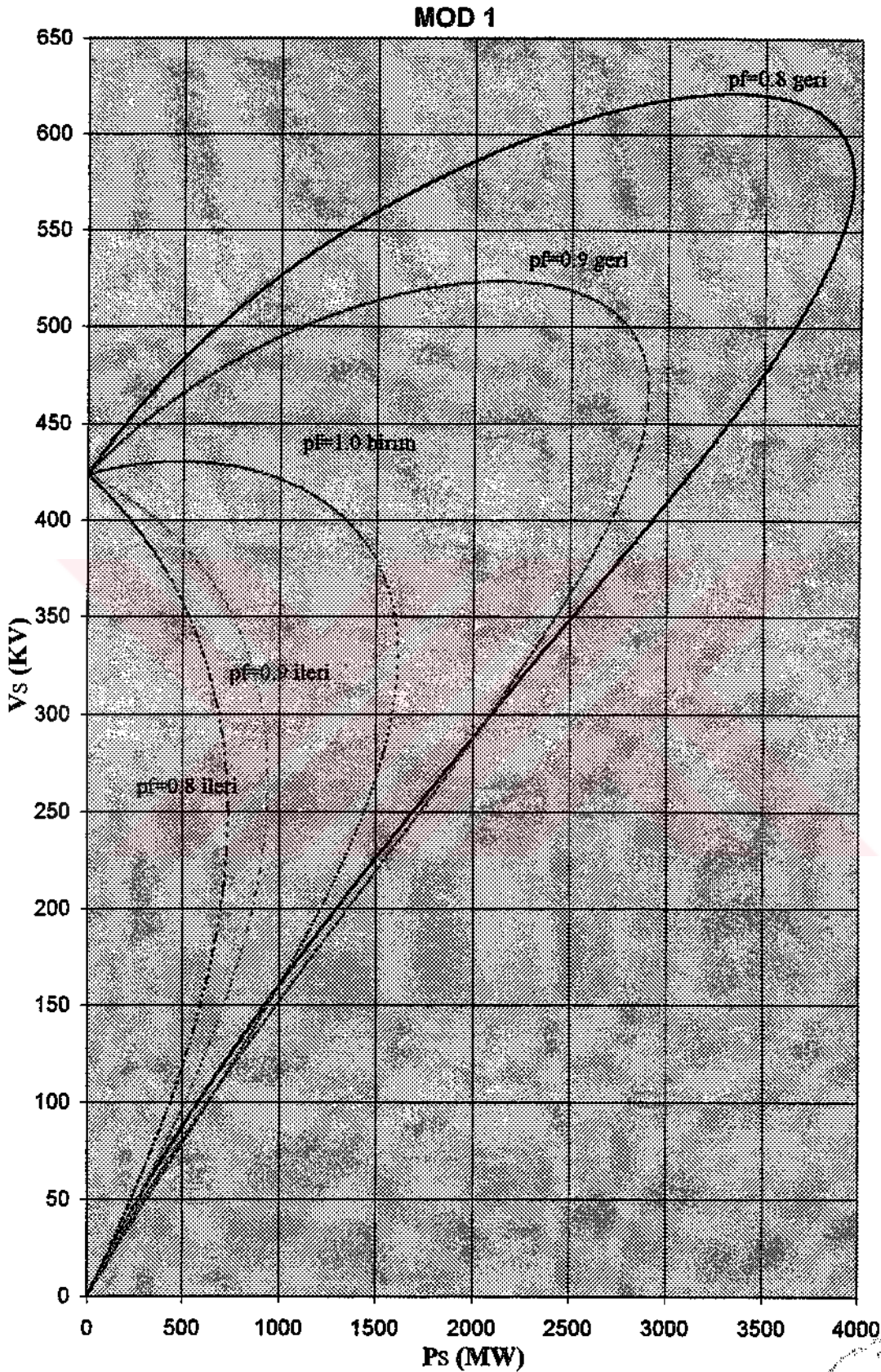

**Grafik 1.4.14.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.65)



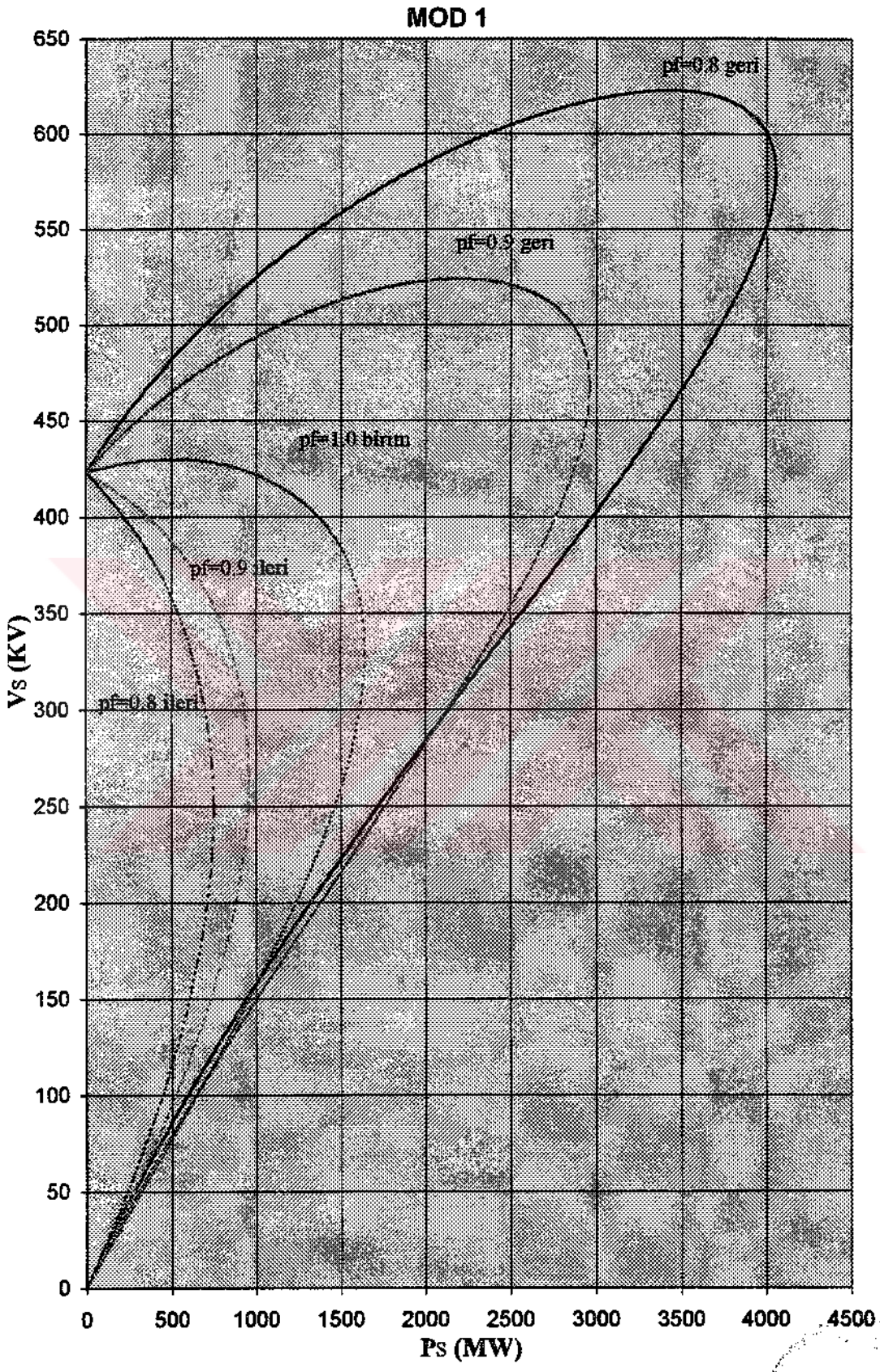

**Grafik 1.4.15.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.70)



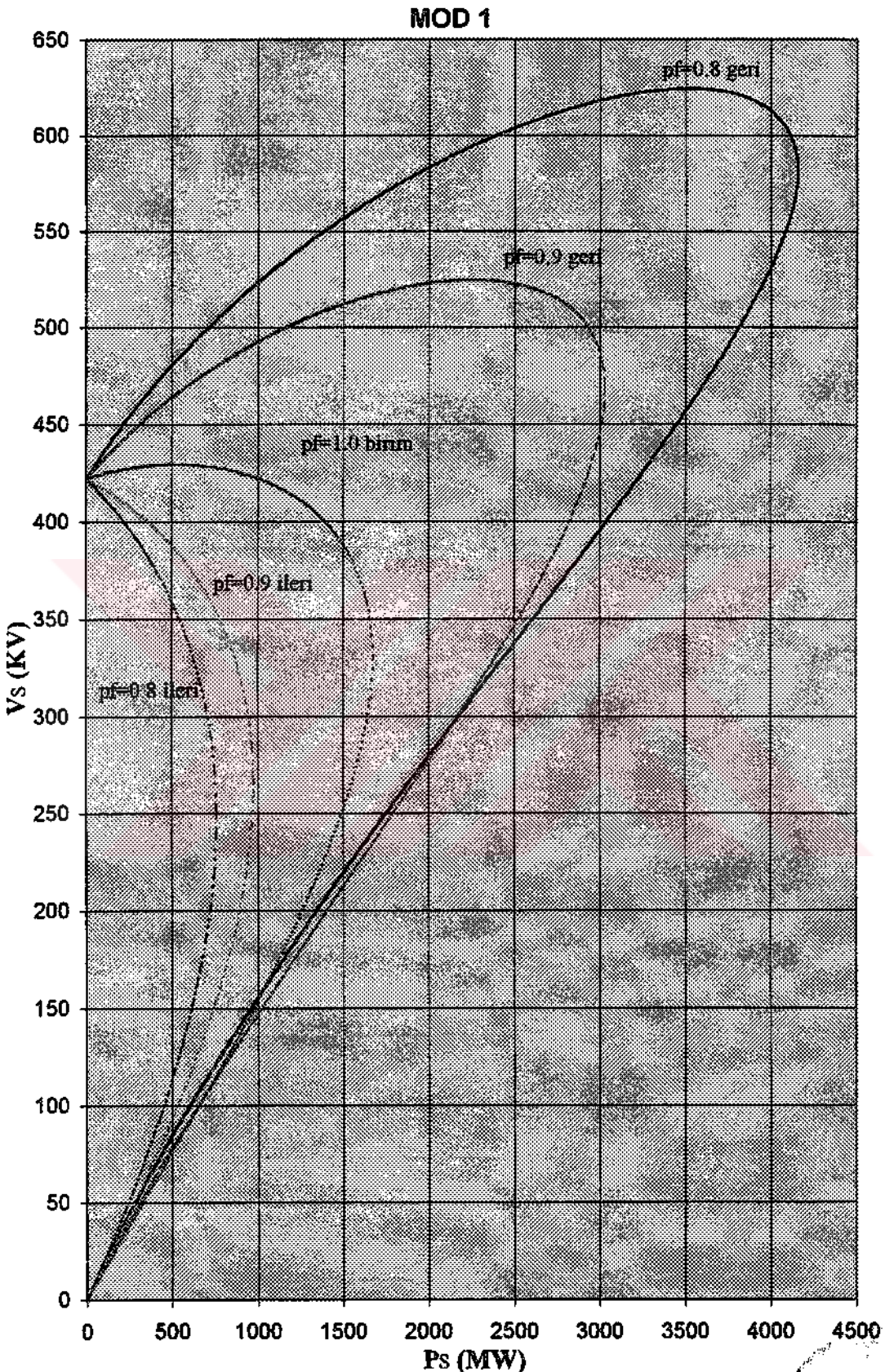

**Grafik 1.4.16.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.75)



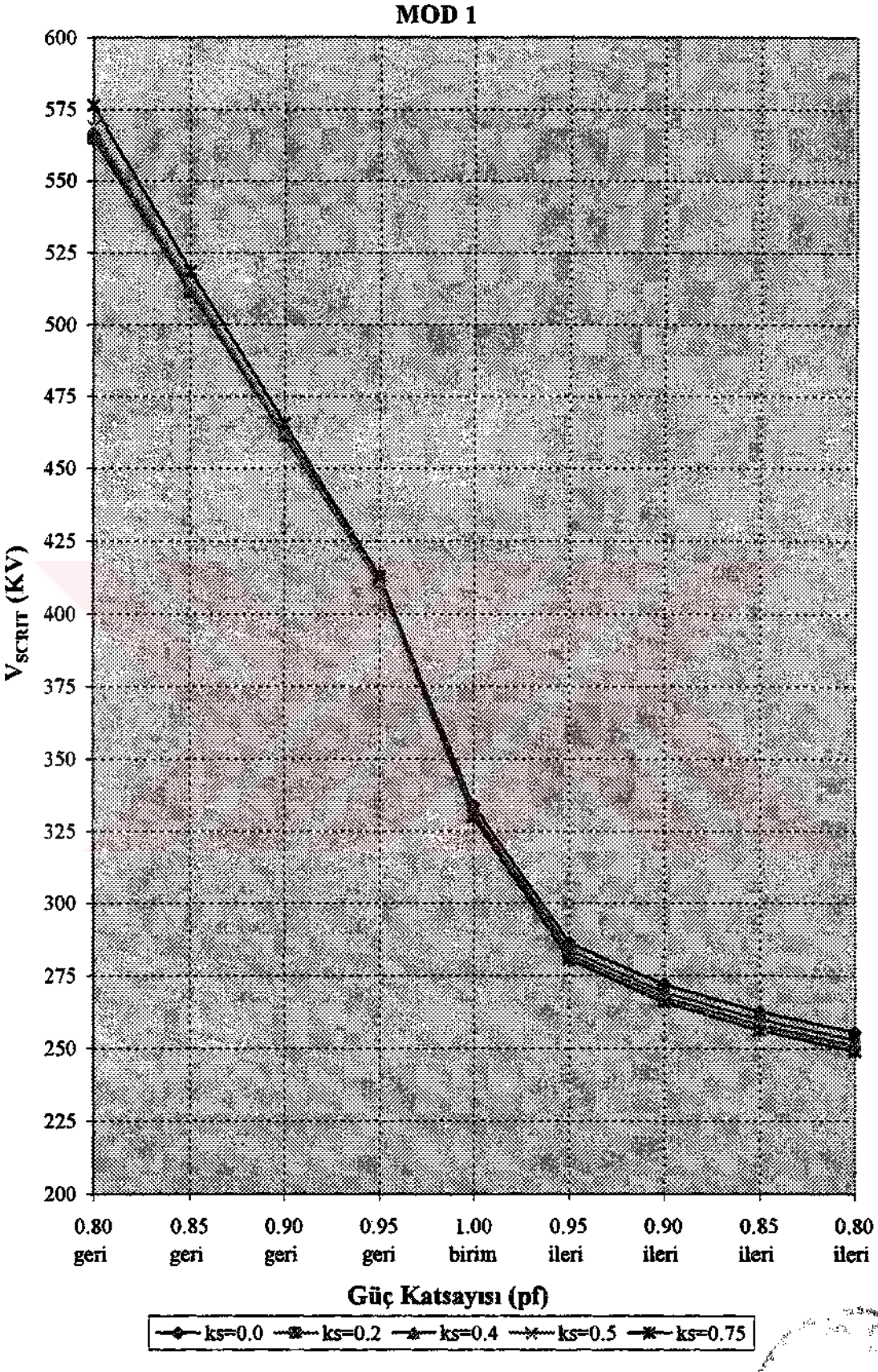

**Grafik 1.4.17.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.80)



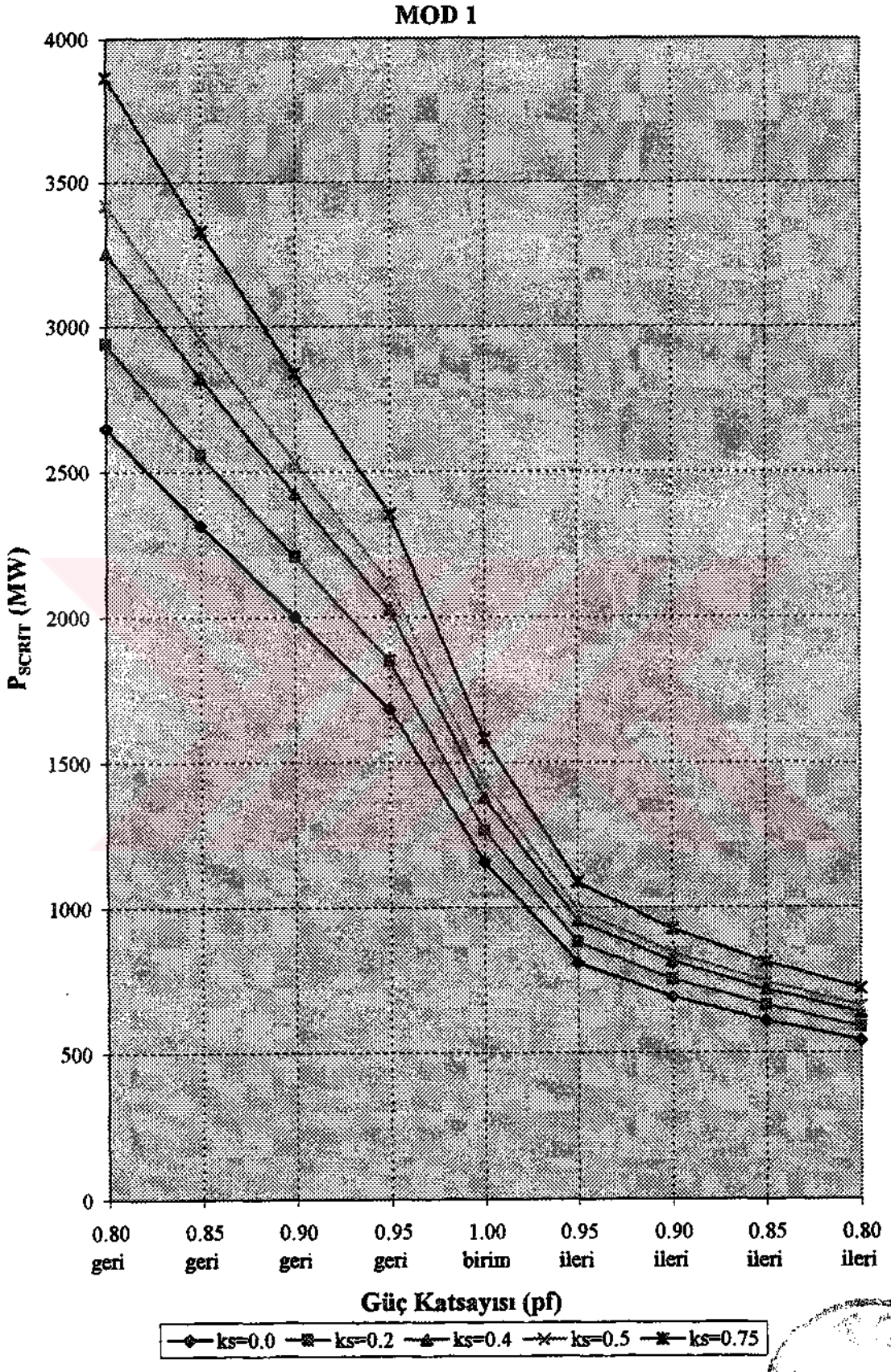

**Grafik 1.4.18.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.85)



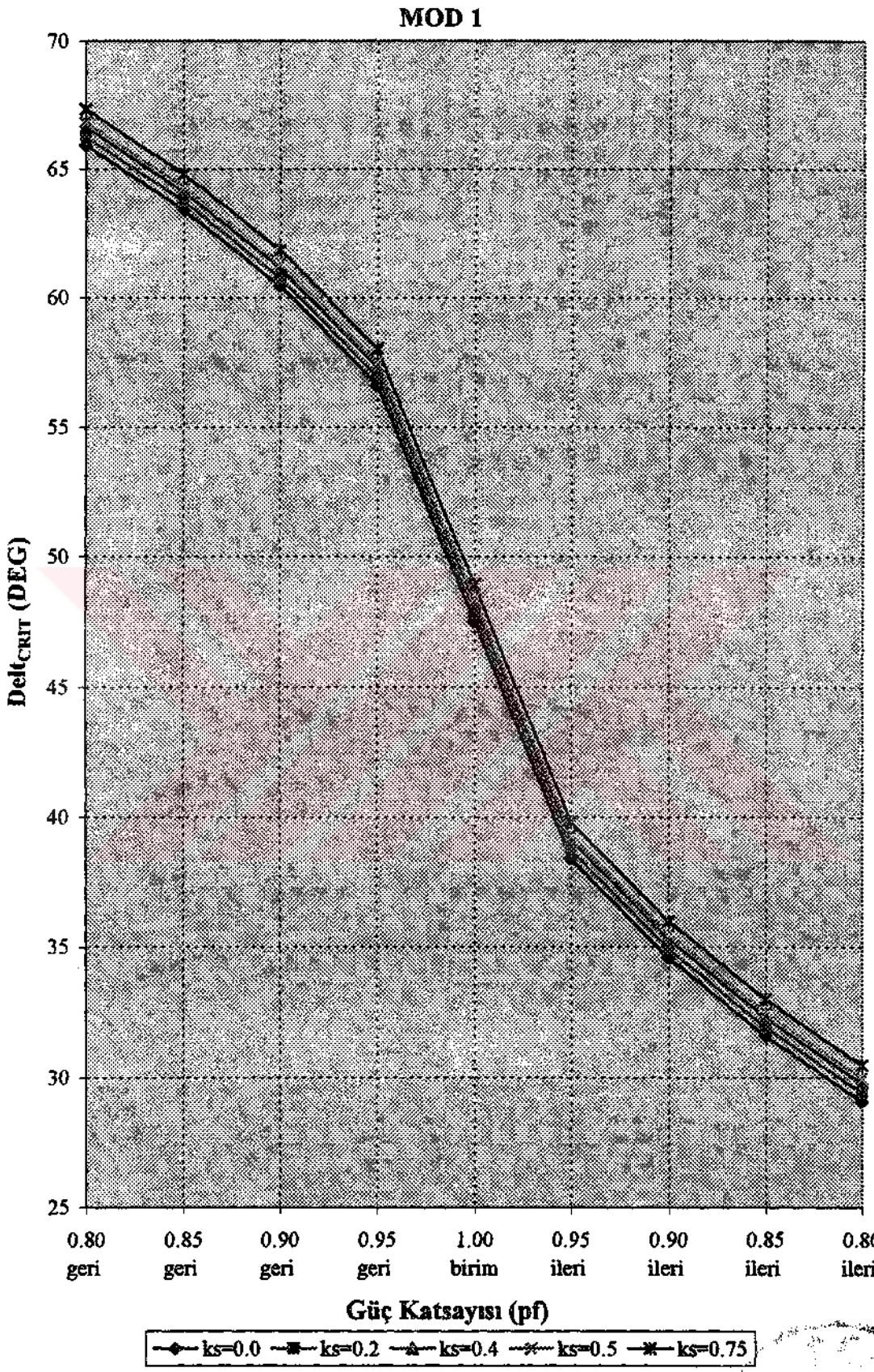

**Grafik 1.4.19.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.90)




**Grafik 1.5.1.** Güç Katsayısı (pf) - $V_{SCRIT}$




**Grafik 1.5.2.** Güç Katsayısı (pf) - $P_{SCRIT}$



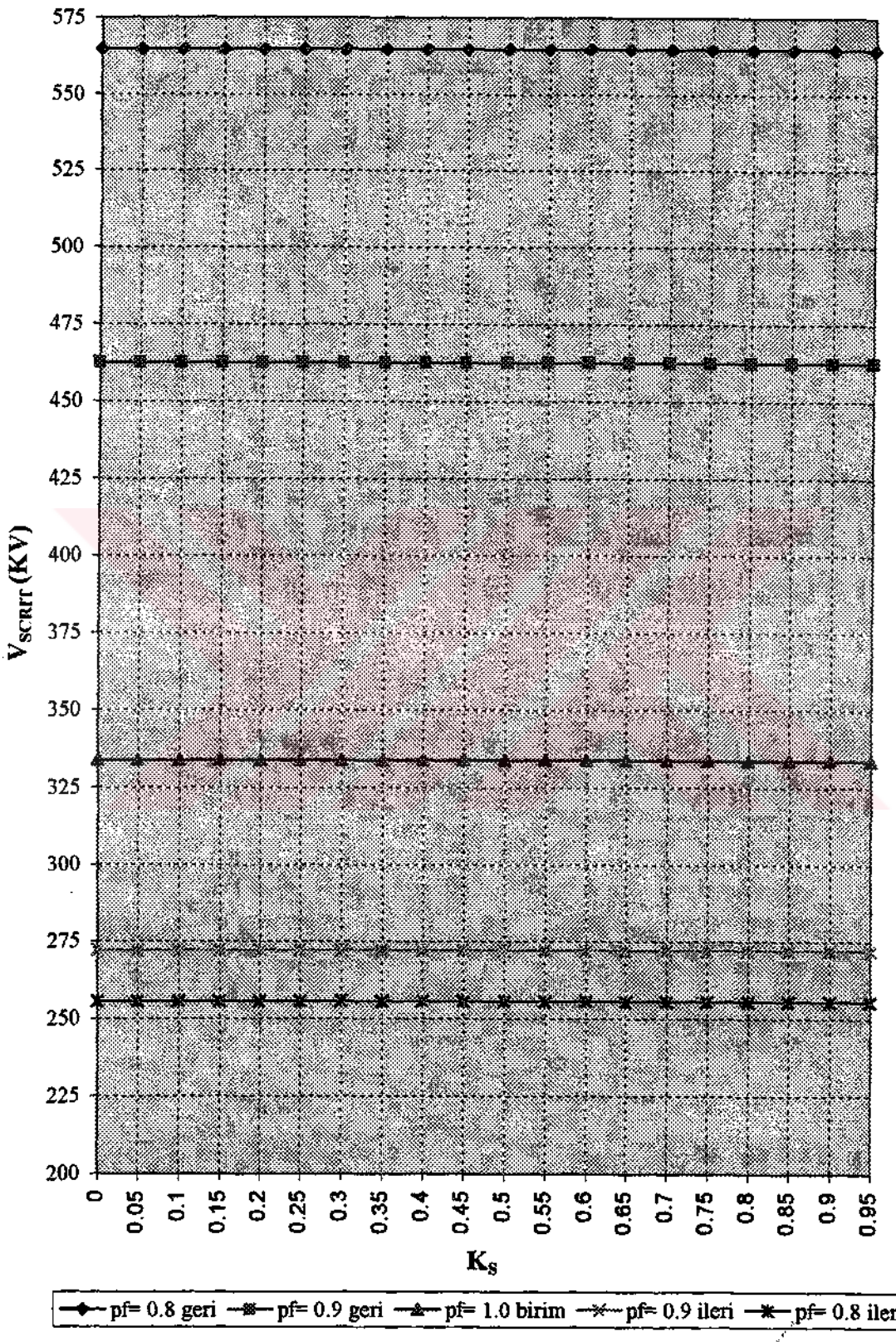

**Grafik 1.5.3.** Güç Katsayısı (pf) - Delt$_{CRIT}$

## MOD 2

| | Vscr(kV) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| Ks | | | | | |
| 0 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.05 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.1 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.15 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.2 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.25 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.3 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.35 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.4 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.45 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.5 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.55 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.6 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.65 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.7 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.75 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.8 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.85 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.9 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.95 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |

**Tablo 2.1.** $K_S$ - $V_{SCRIT}$

**MOD 2**



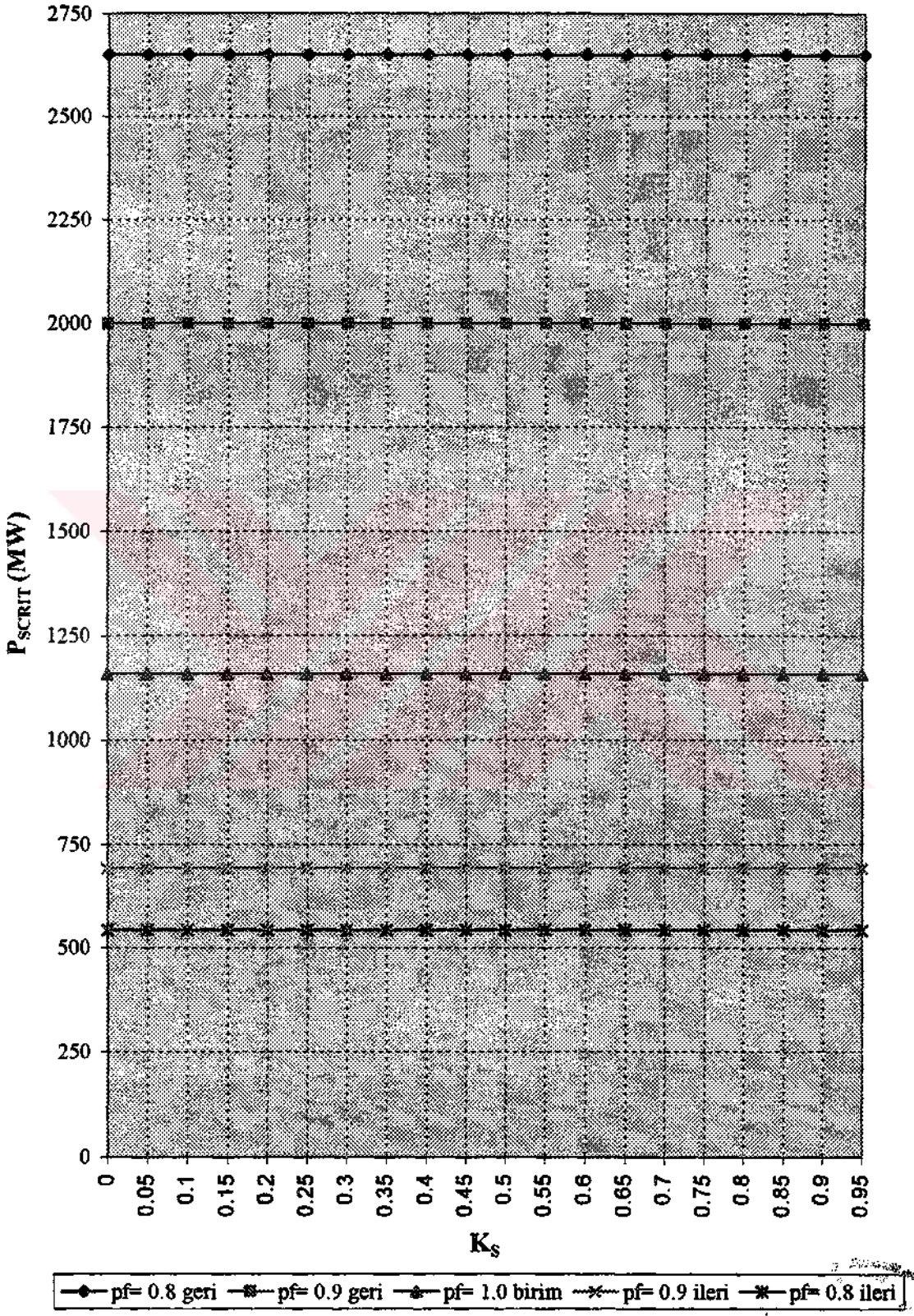

**Grafik 2.1.** $K_S$ - $V_{SCRIT}$

## MOD 2

| | Pscr(MW) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı Ks | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| 0 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.05 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.1 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.15 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.2 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.25 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.3 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.35 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.4 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.45 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.5 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.55 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.6 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.65 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.7 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.75 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.8 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.85 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.9 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.95 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |

**Tablo 2.2.** $K_S$ - $P_{SCRIT}$

**MOD 2**

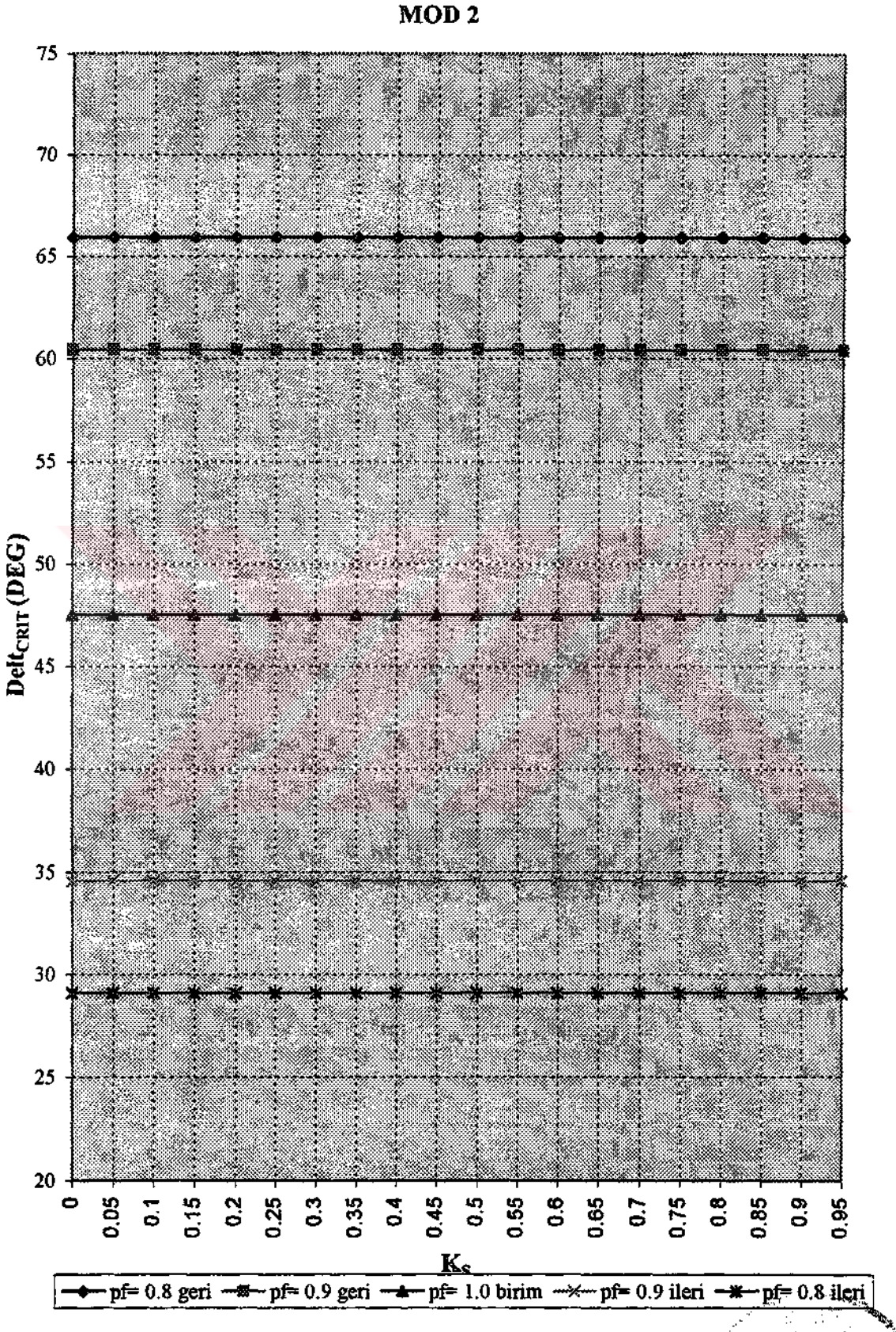



**Grafik 2.2. $K_S$ - $P_{SCRIT}$**

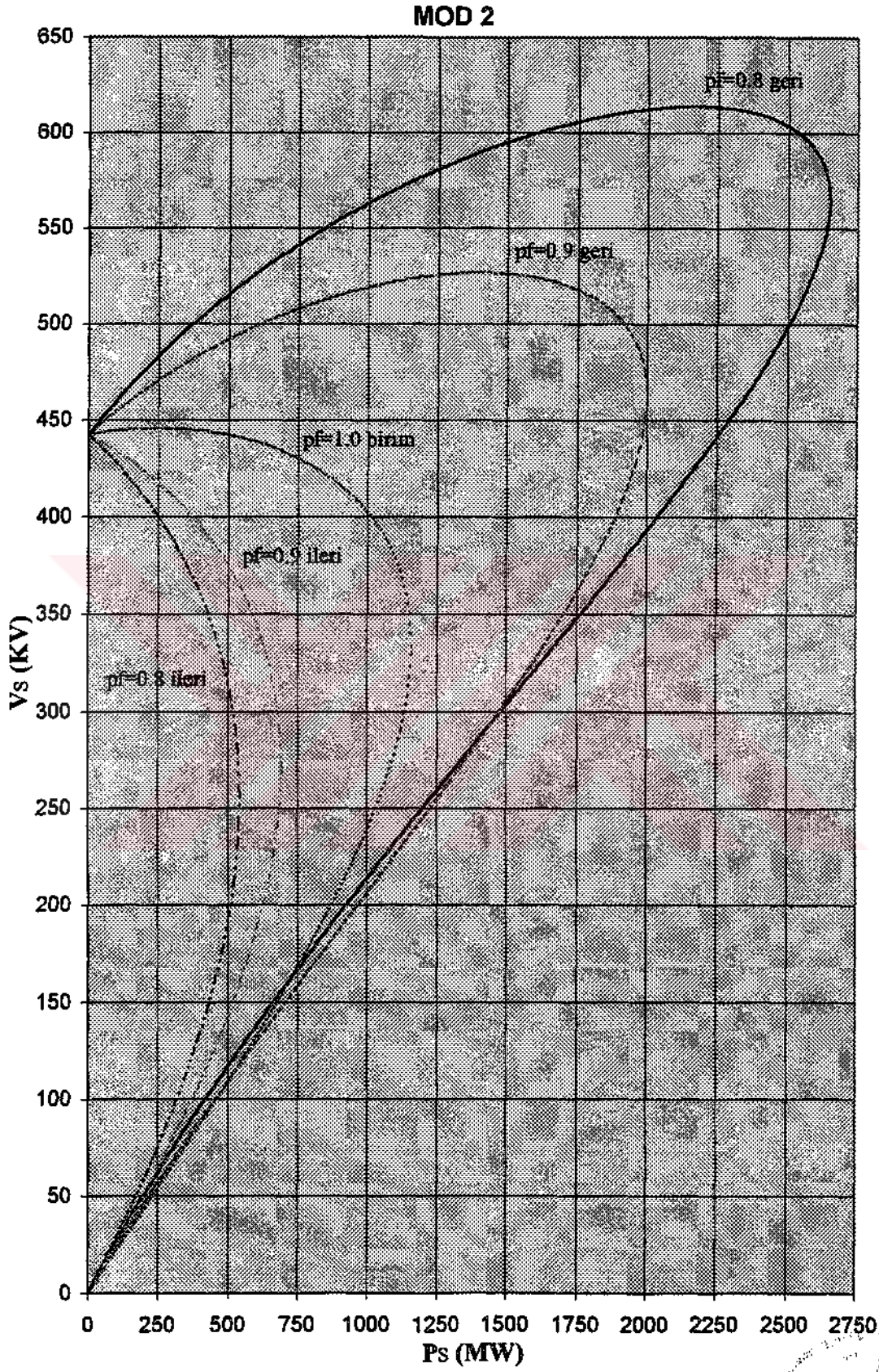
## MOD 2

| | delter(DEG) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Güç Katsayısı* | *pf= 0.8 geri* | *pf= 0.9 geri* | *pf= 1.0 birim* | *pf= 0.9 ileri* | *pf= 0.8 ileri* |
| **Ks** | | | | | |
| 0 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.05 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.1 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.15 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.2 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.25 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.3 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.35 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.4 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.45 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.5 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.55 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.6 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.65 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.7 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.75 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.8 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.85 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.9 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.95 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |

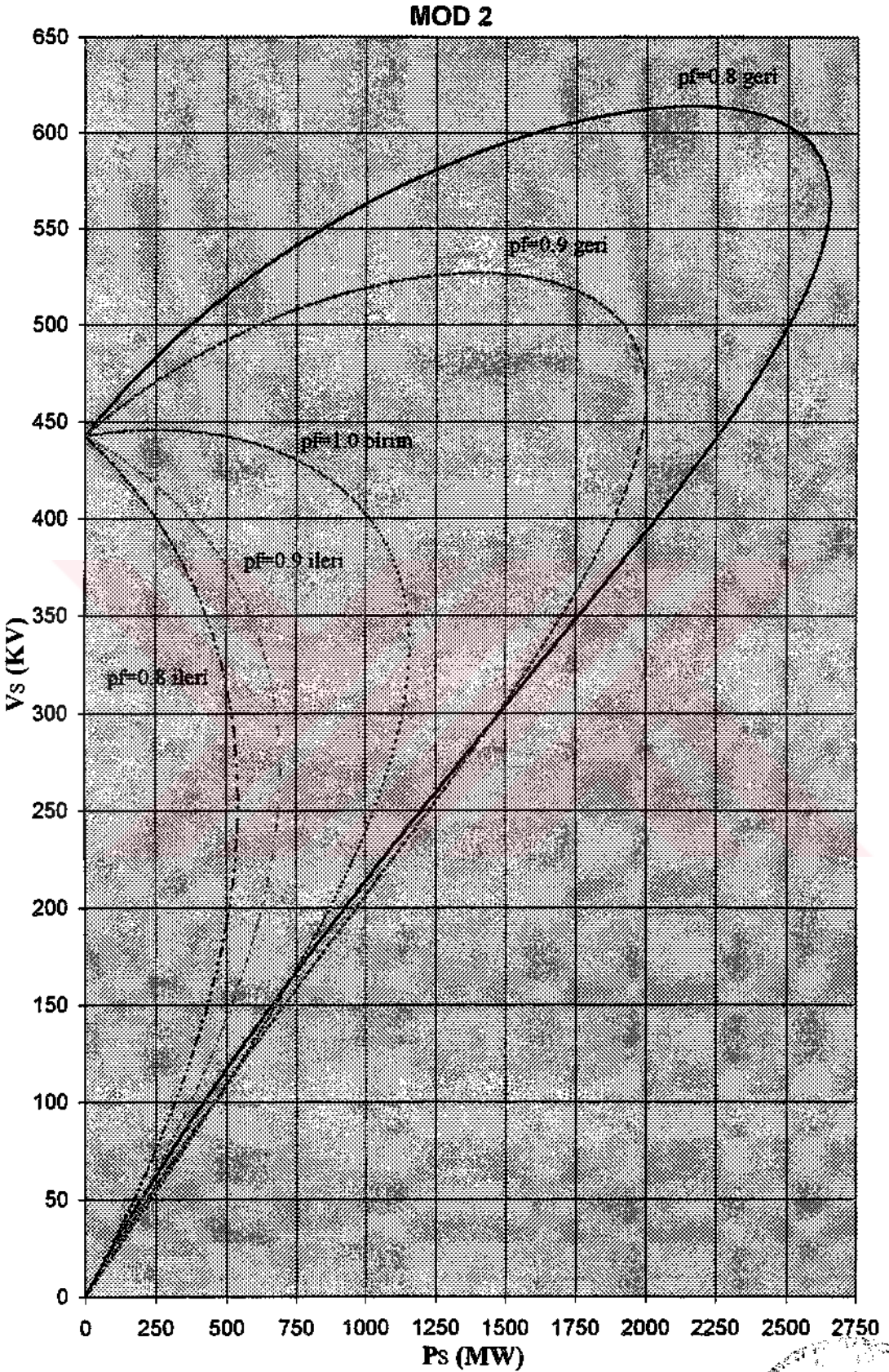
**Tablo 2.3.** $K_S$ - $delt_{CRIT}$



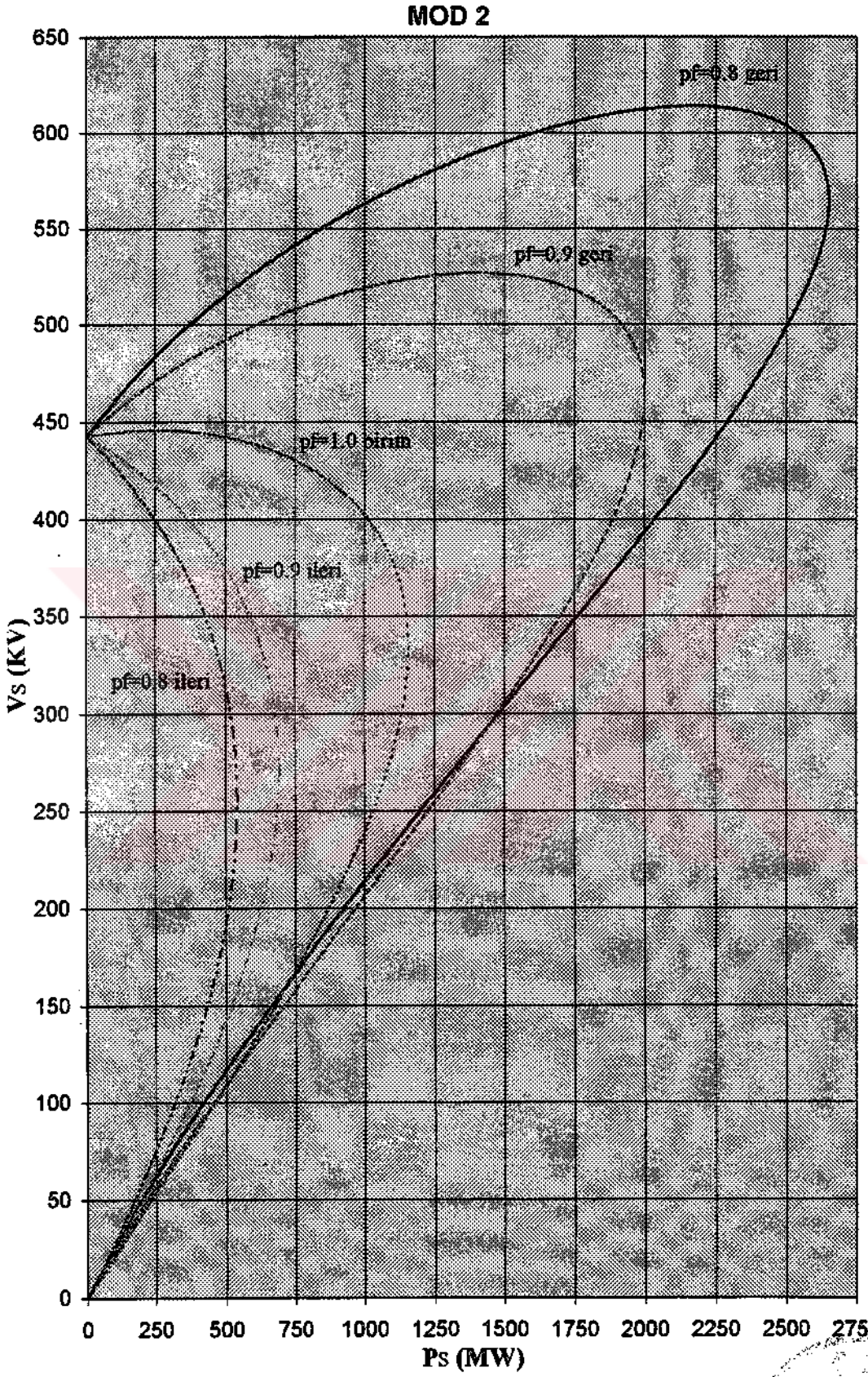

**Grafik 2.3.** $K_S$ - $Delt_{CRIT}$



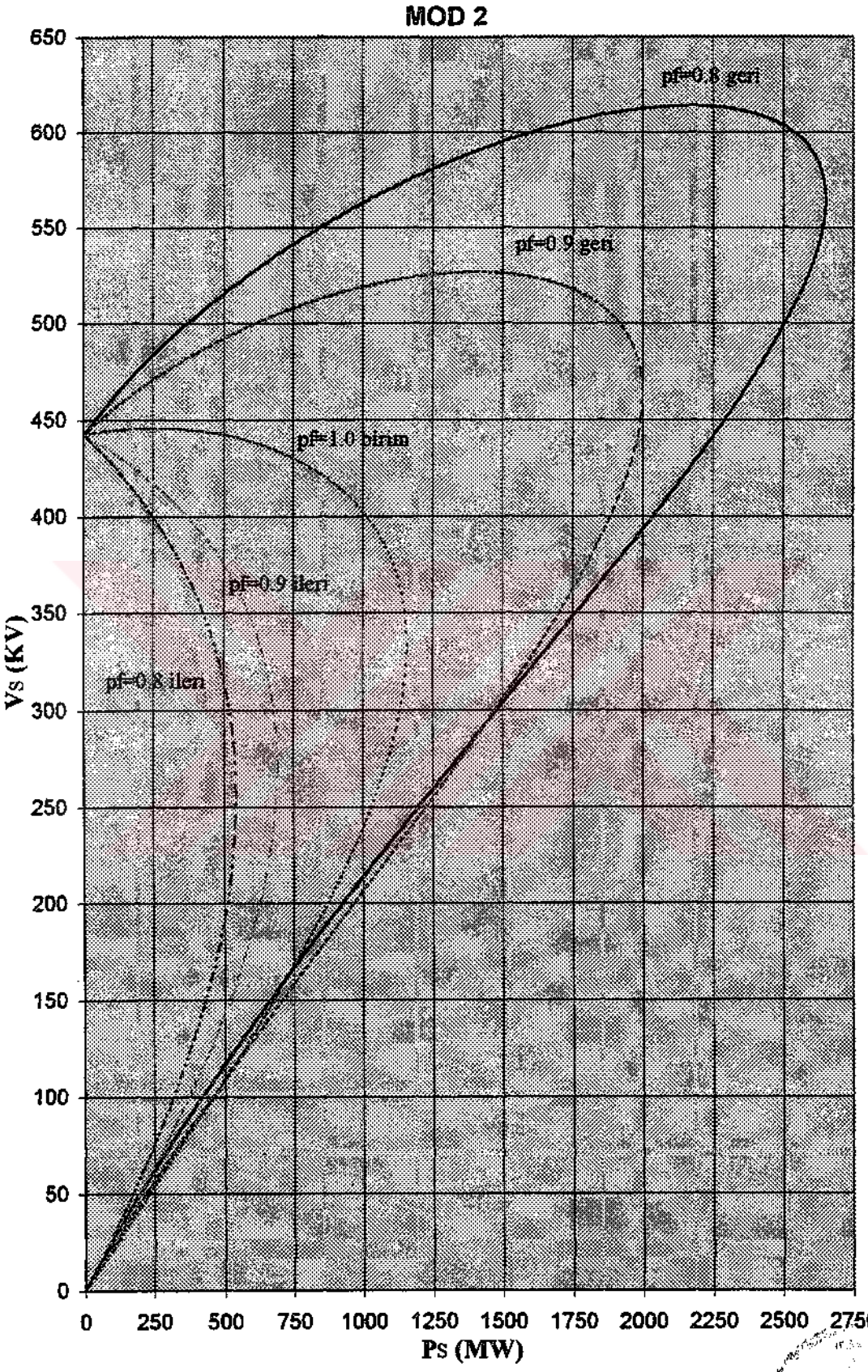

**Grafik 2.4.1.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.00)



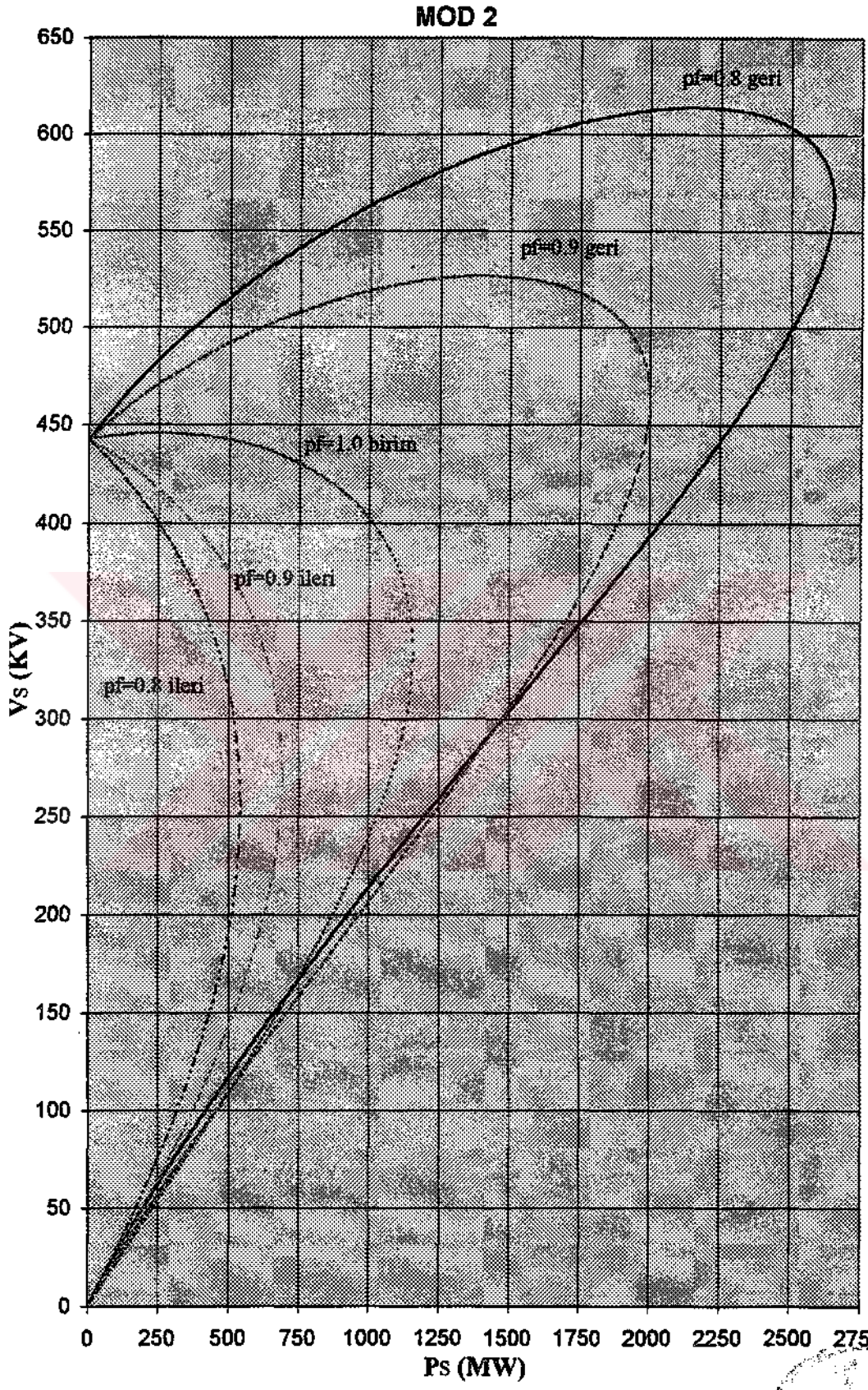

**Grafik 2.4.2.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.05)



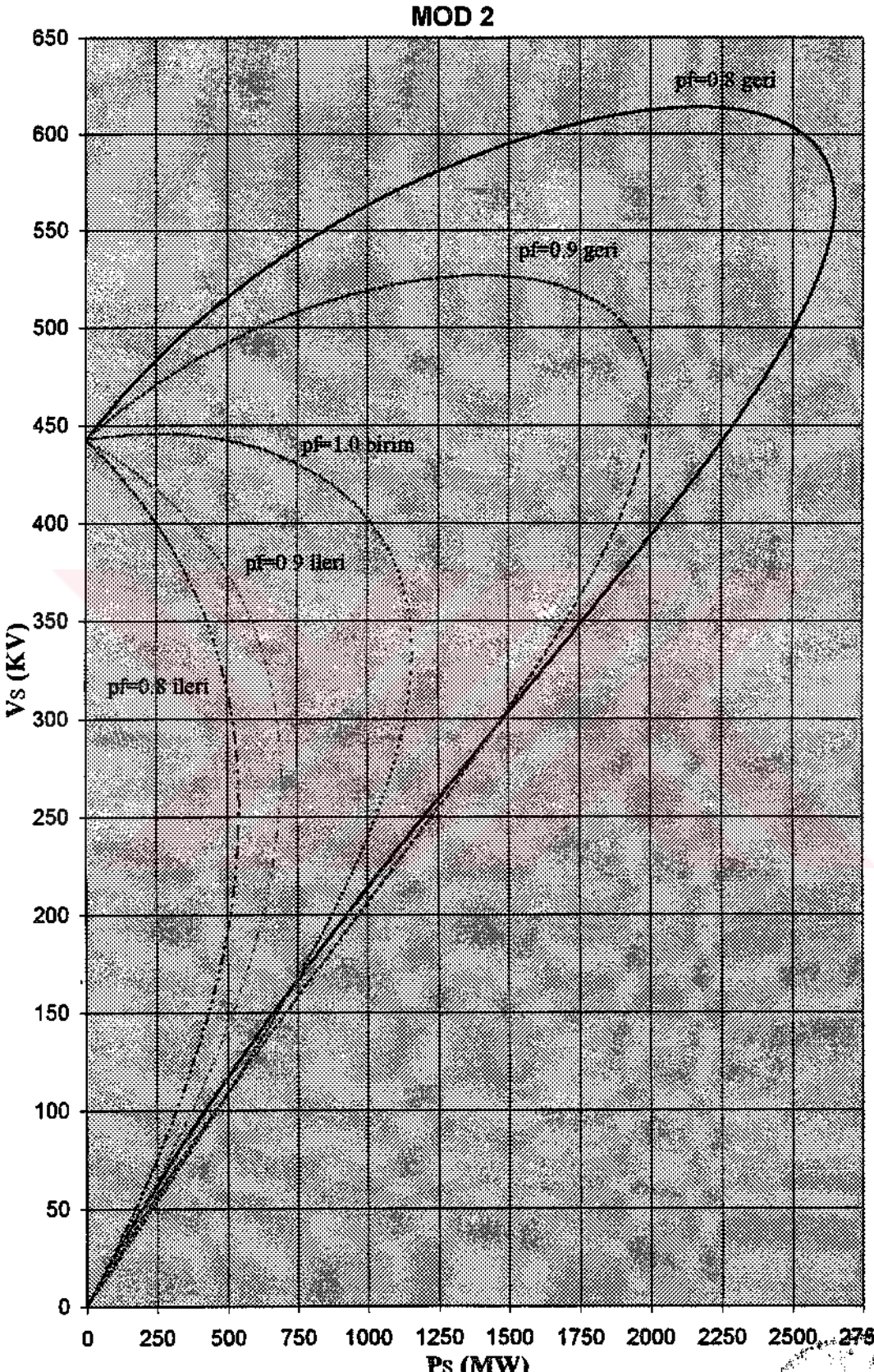

**Grafik 2.4.3.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.10)



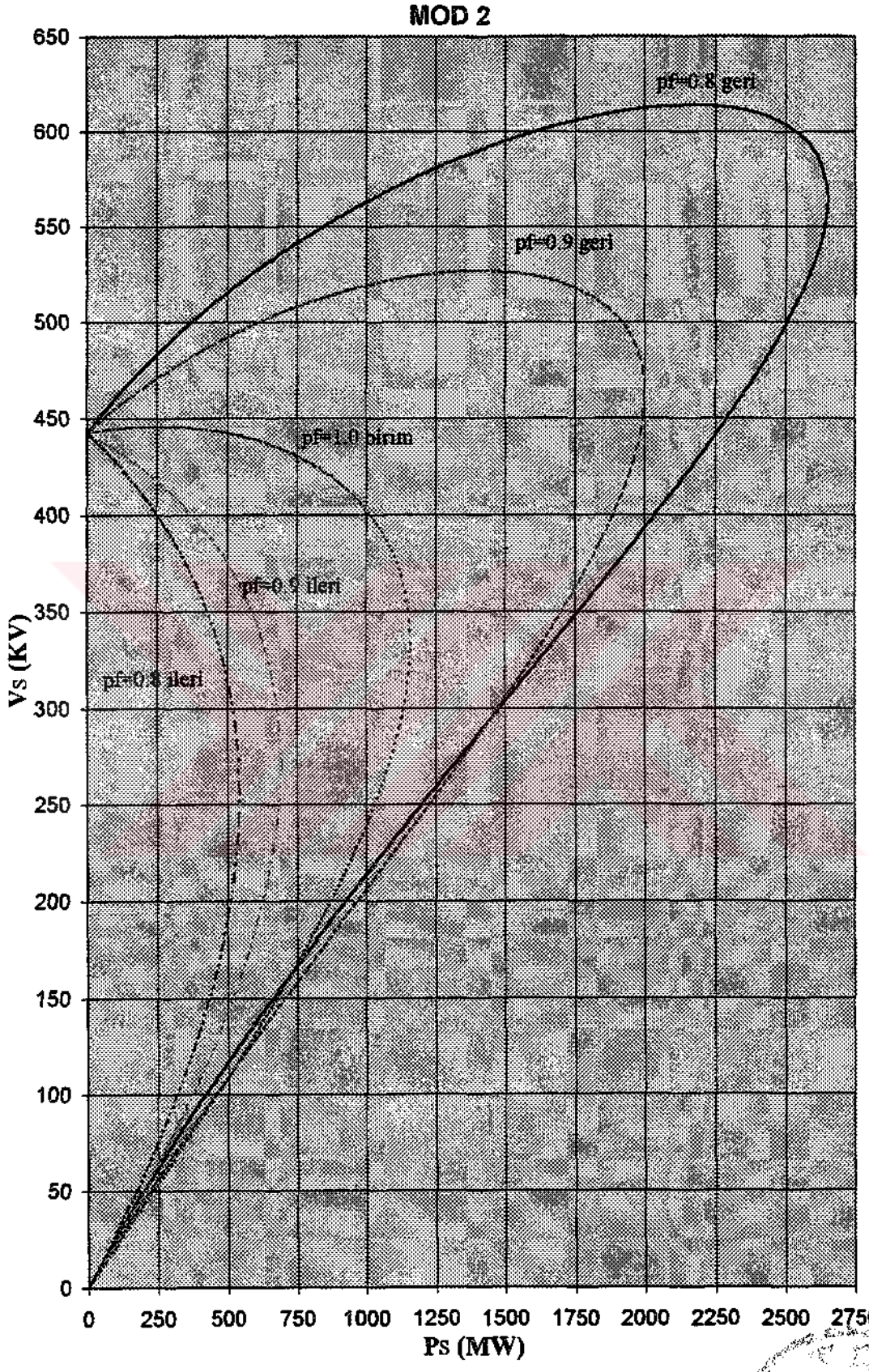

**Grafik 2.4.4.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.15)



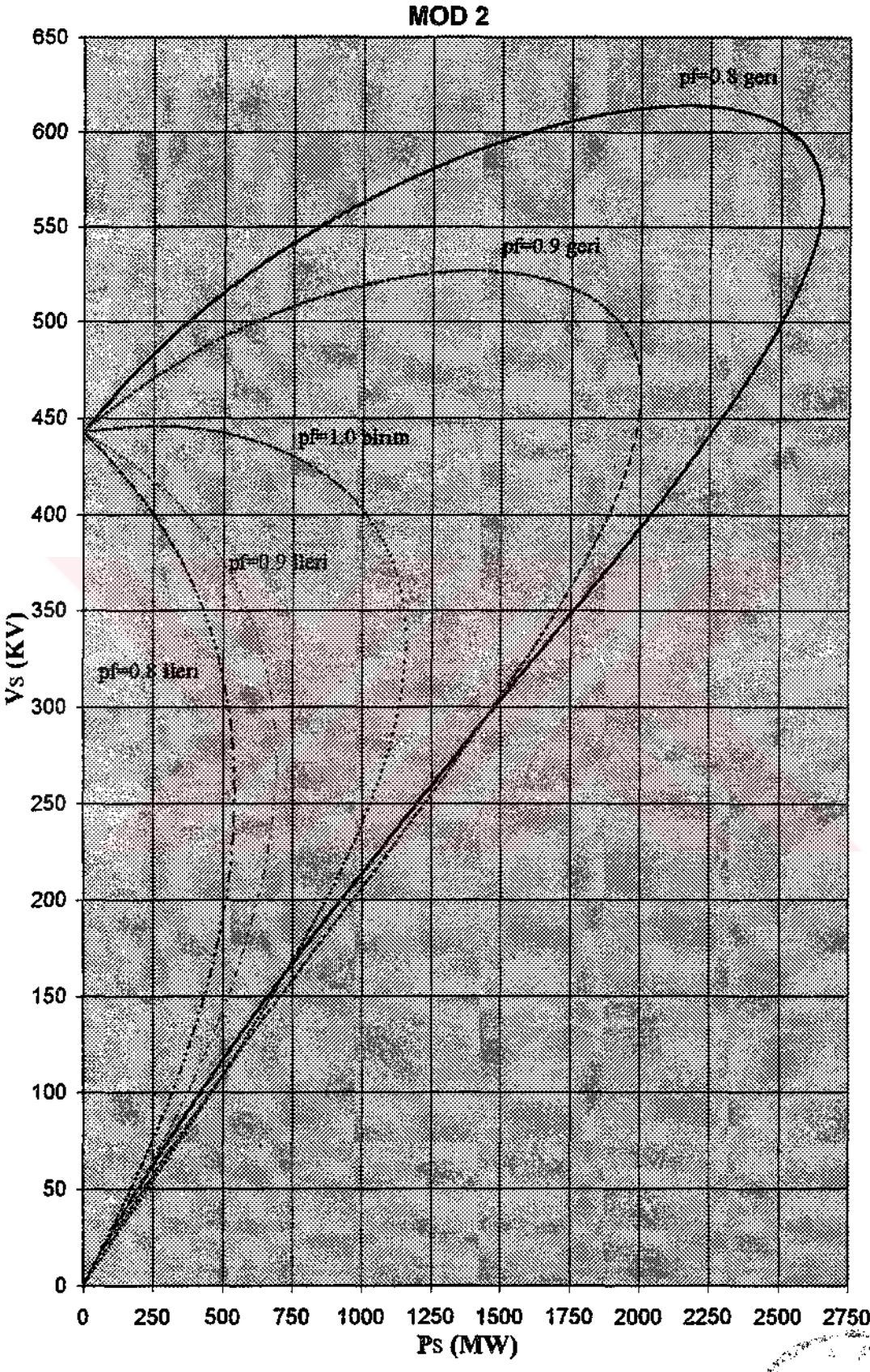

**Grafik 2.4.5.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.20)



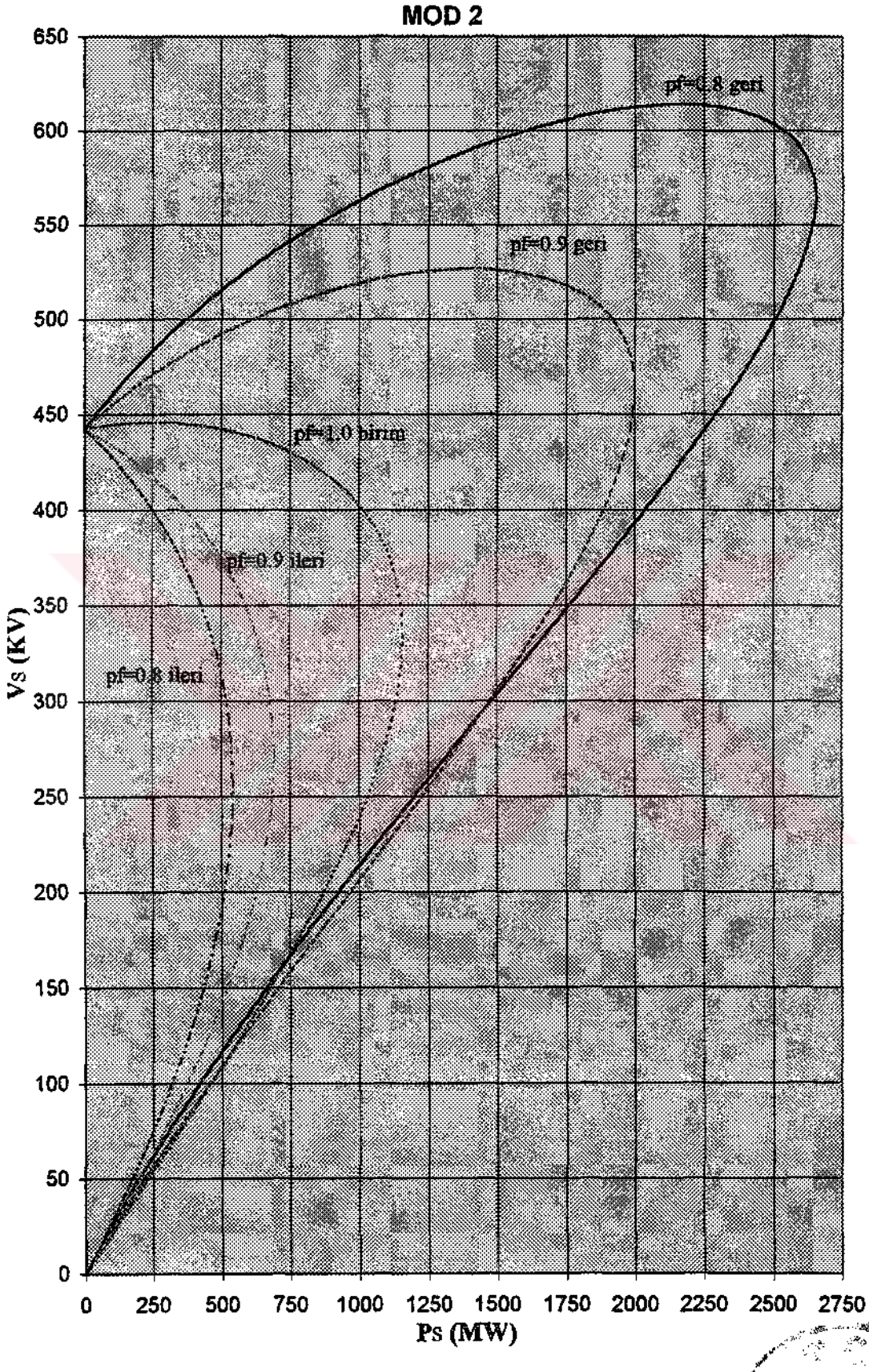

**Grafik 2.4.6.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.25)



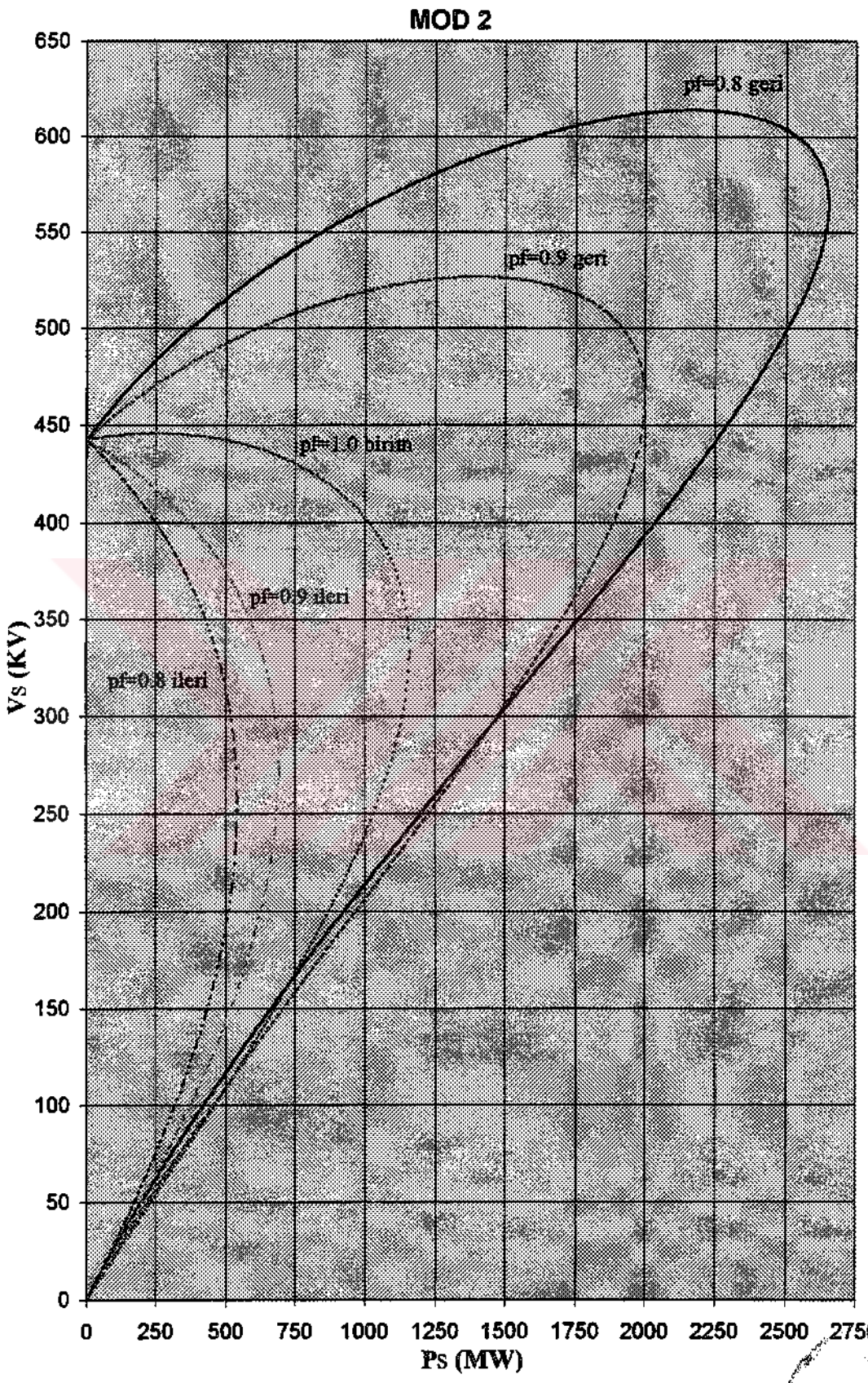

**Grafik 2.4.7.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.30)



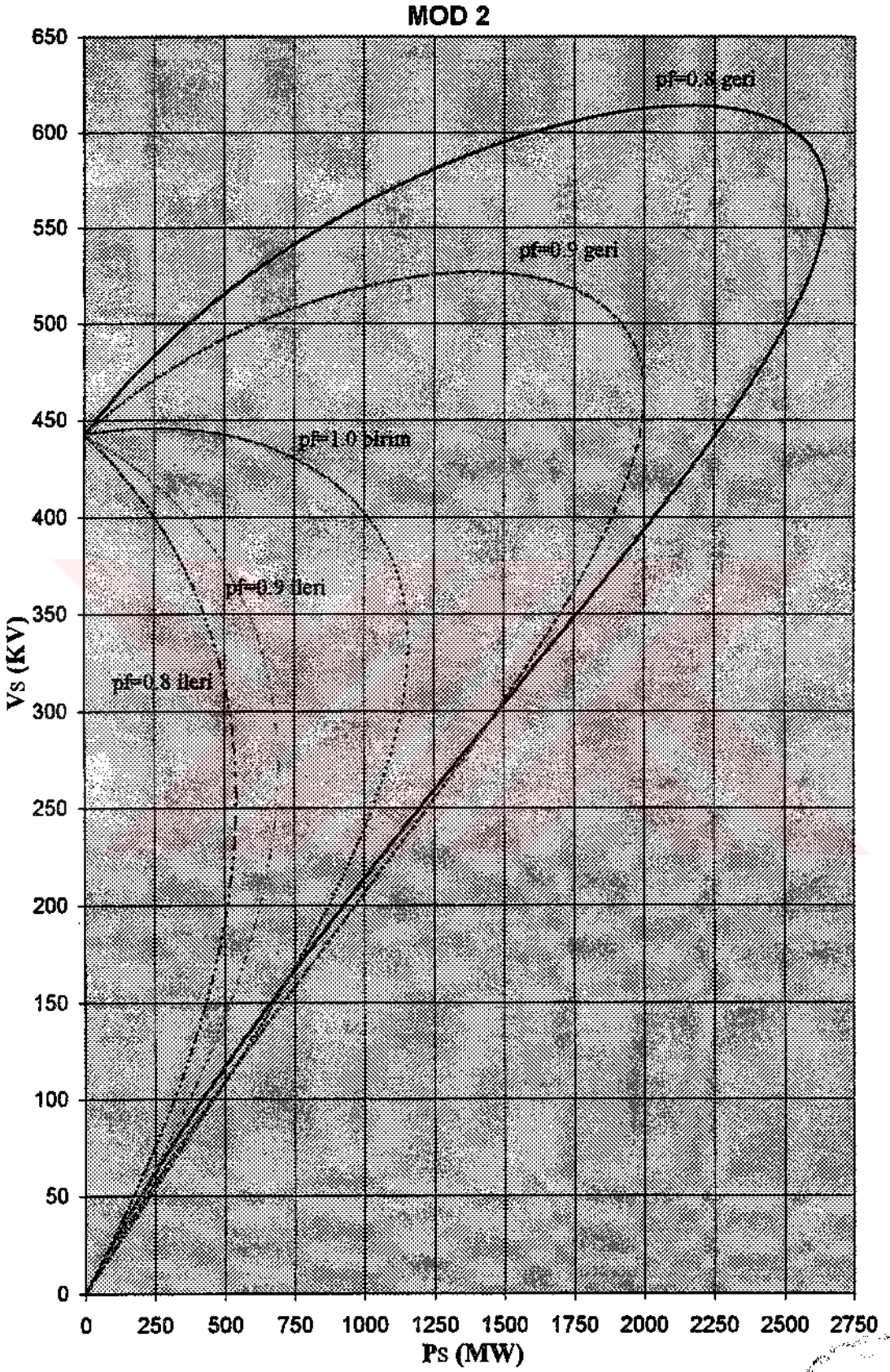

**Grafik 2.4.8.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.35)



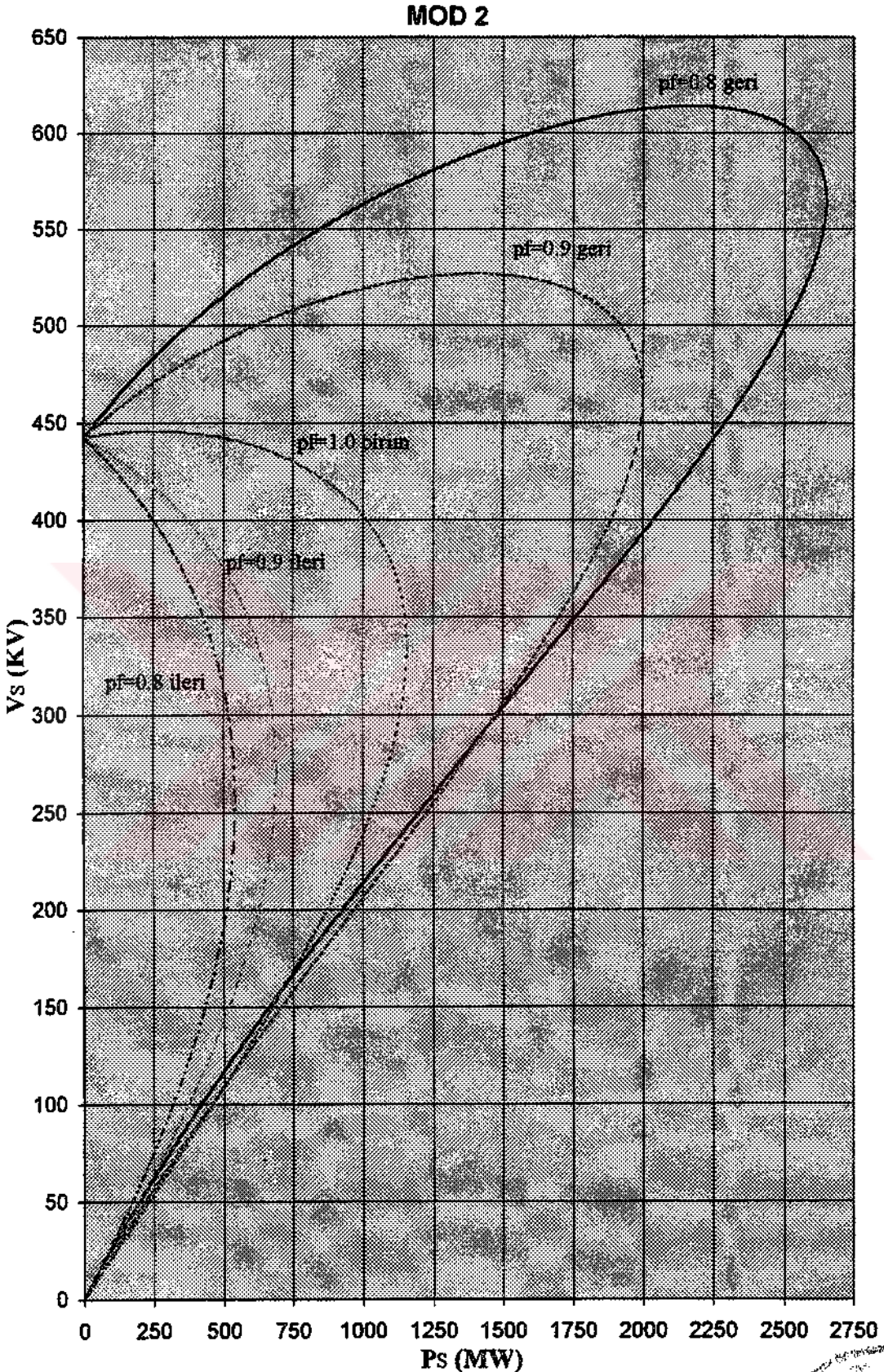

**Grafik 2.4.9.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.40)



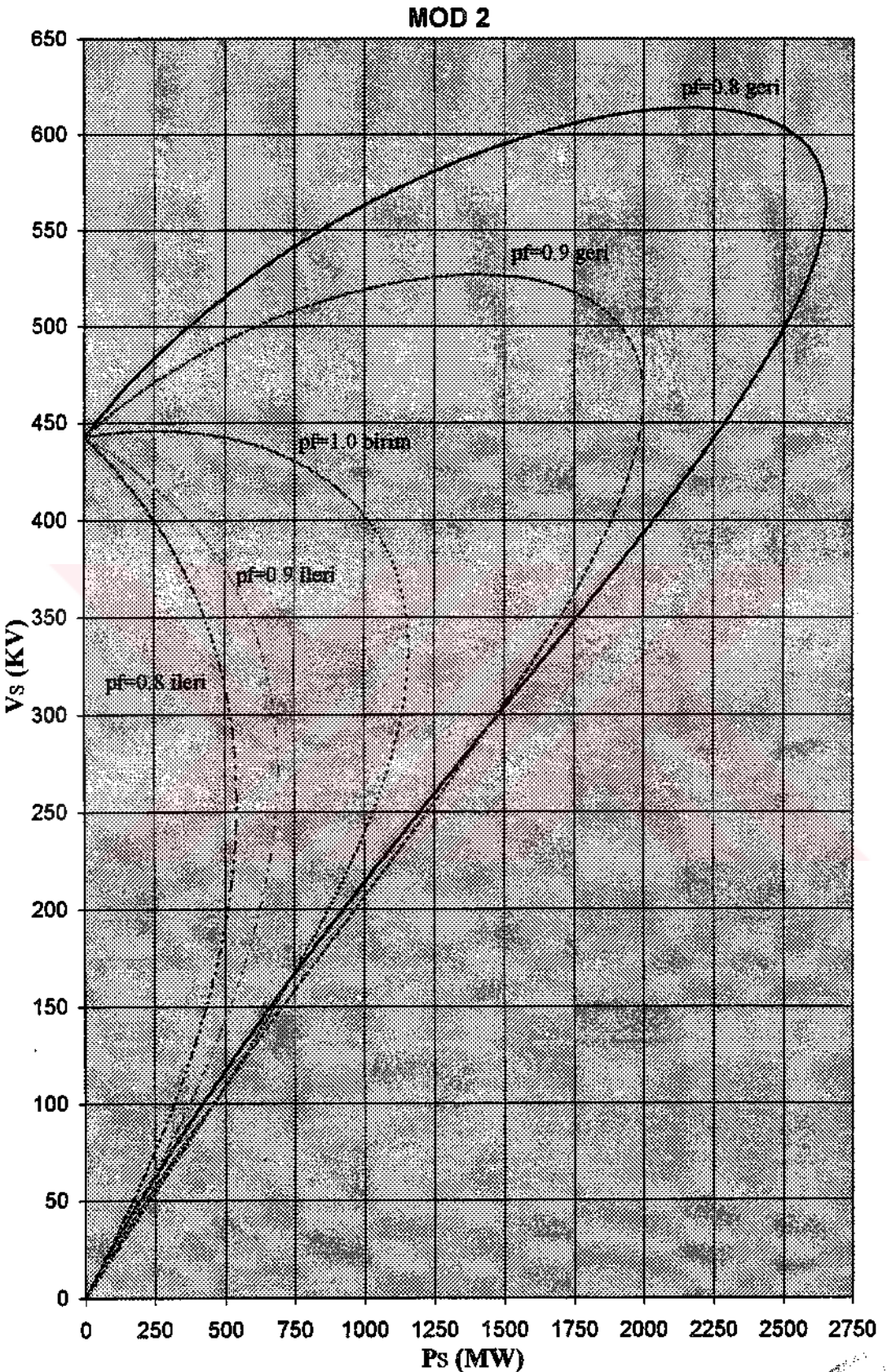

**Grafik 2.4.10.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.45)



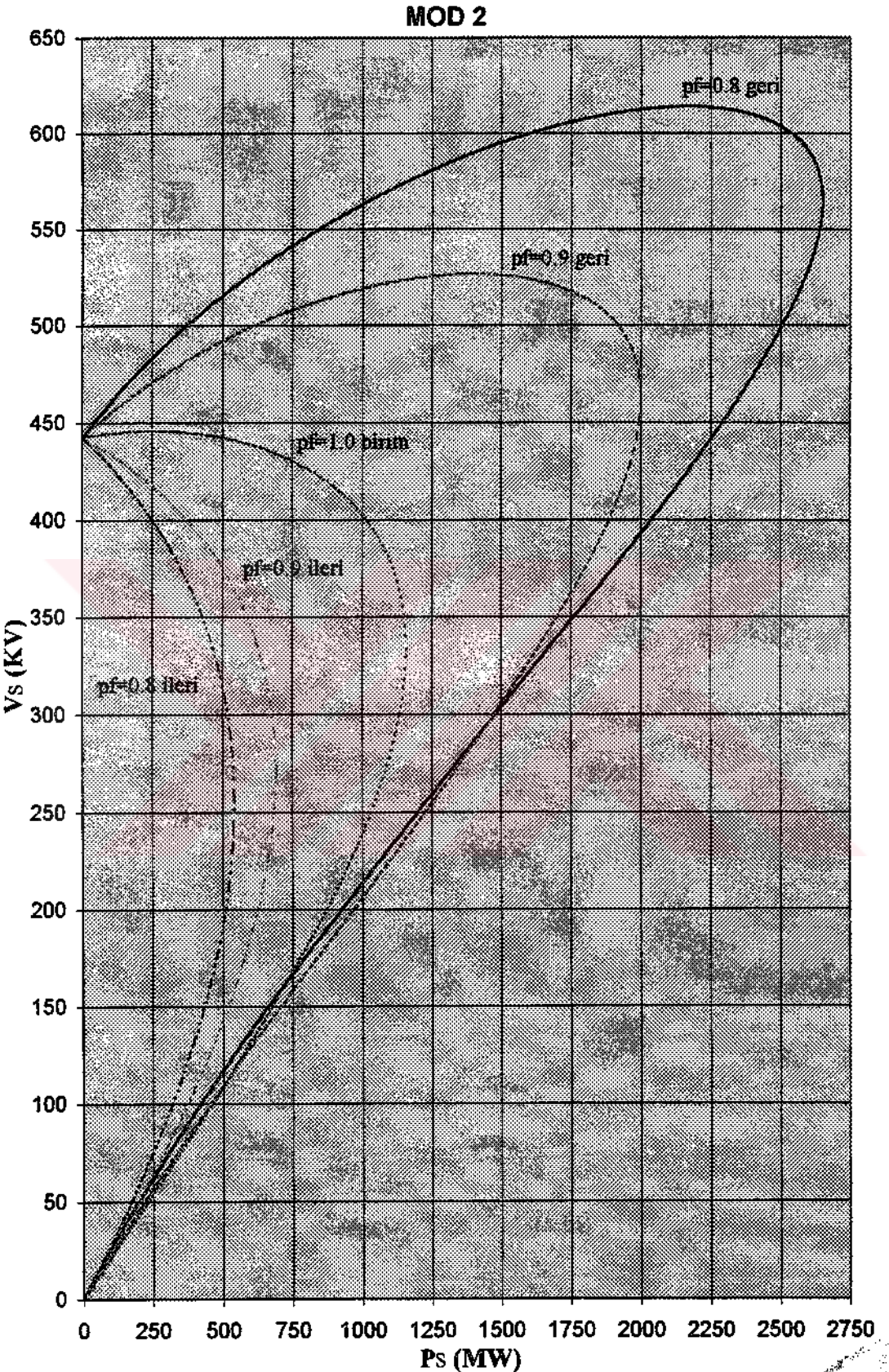

**Grafik 2.4.11.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.50)



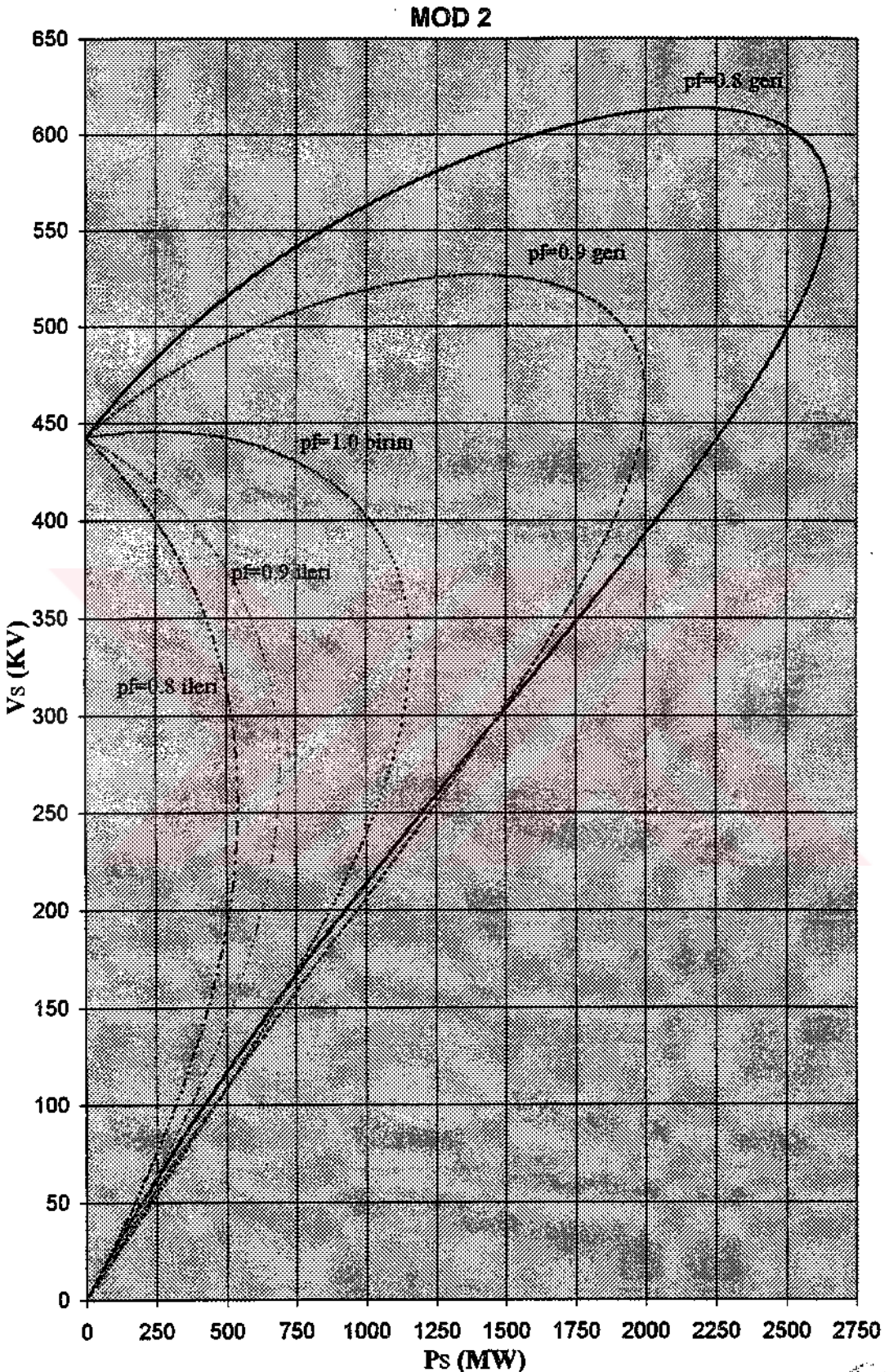

**Grafik 2.4.12.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.55)



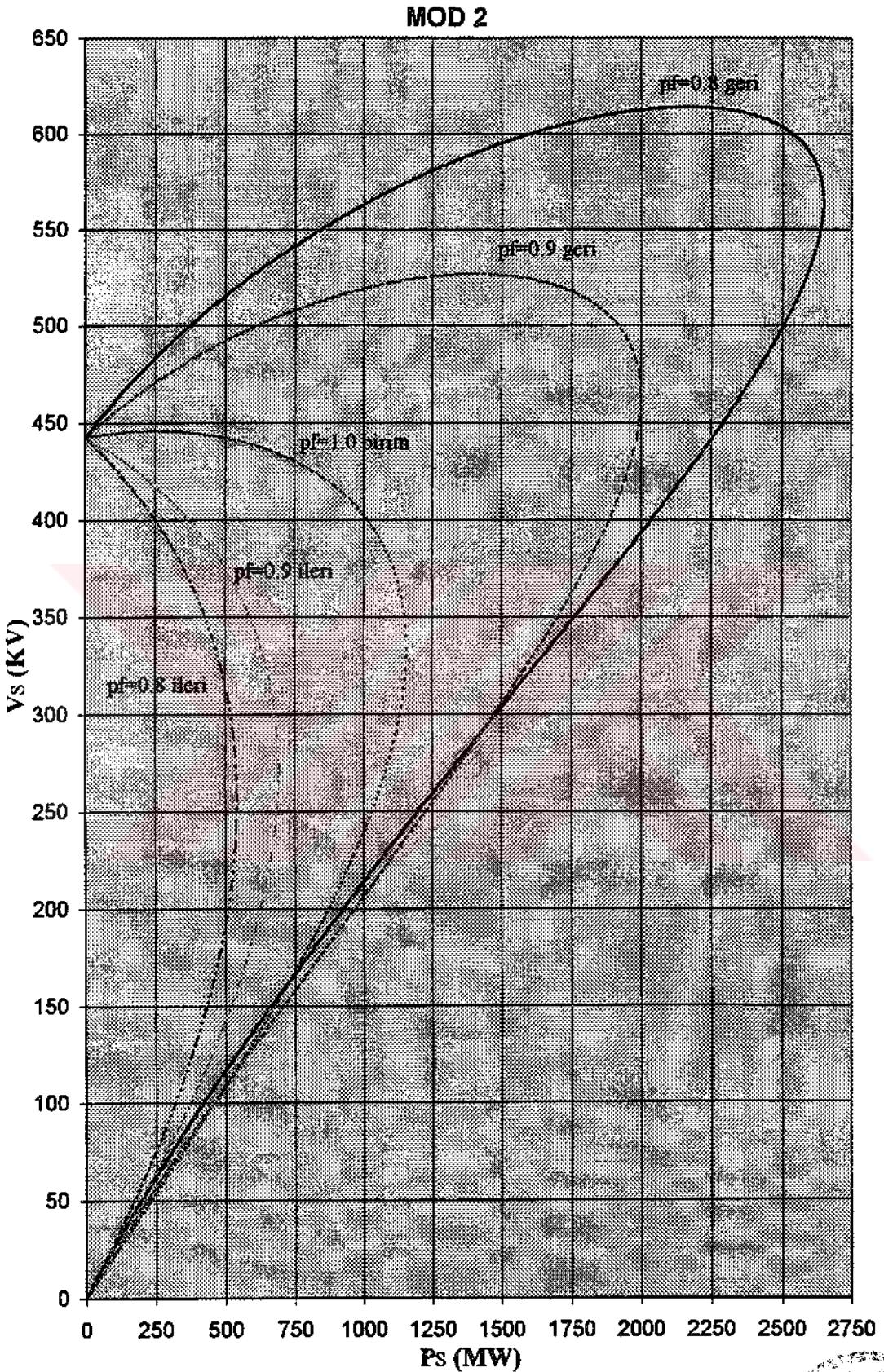

**Grafik 2.4.13.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.60)



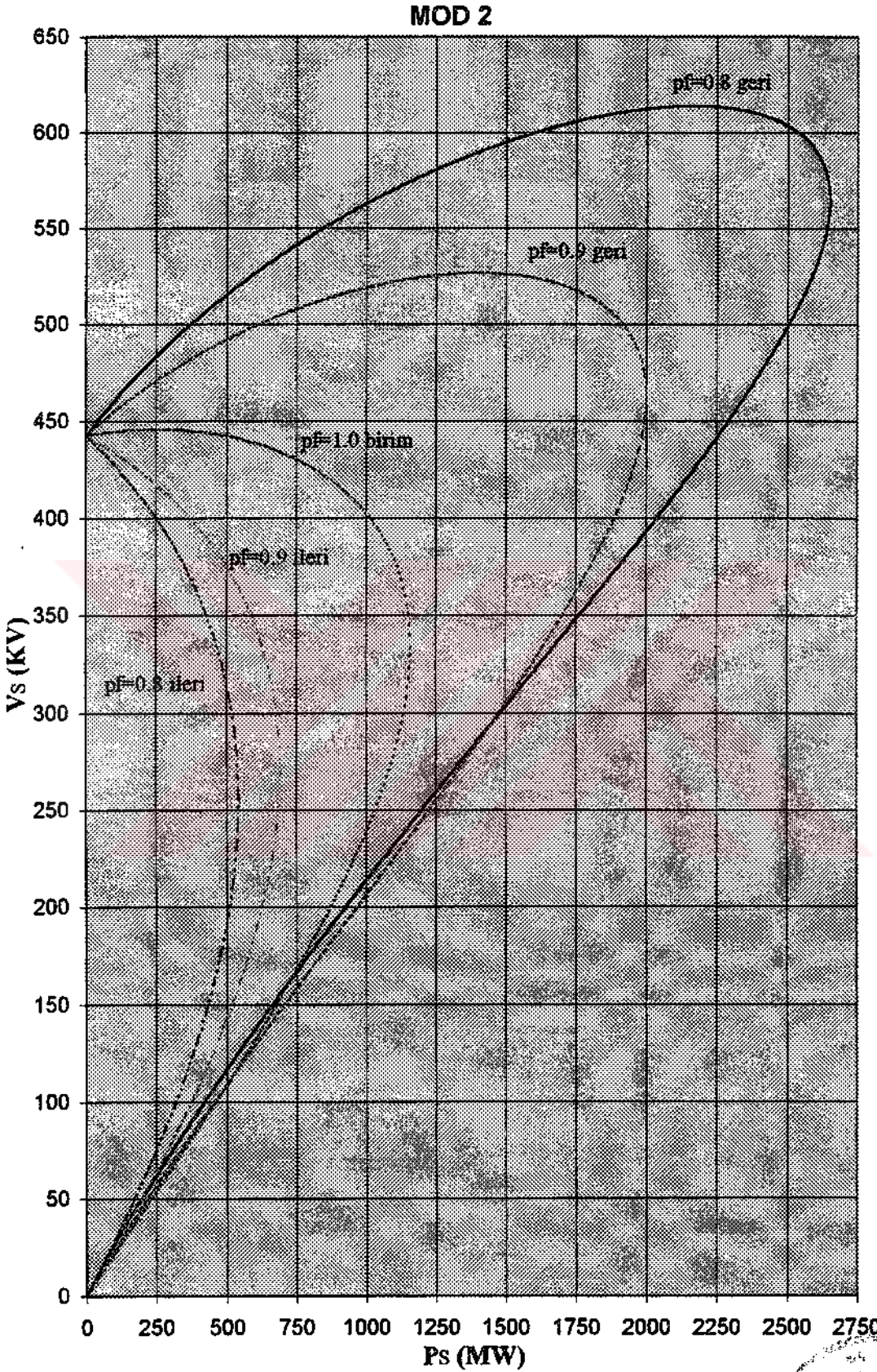

**Grafik 2.4.14.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.65)



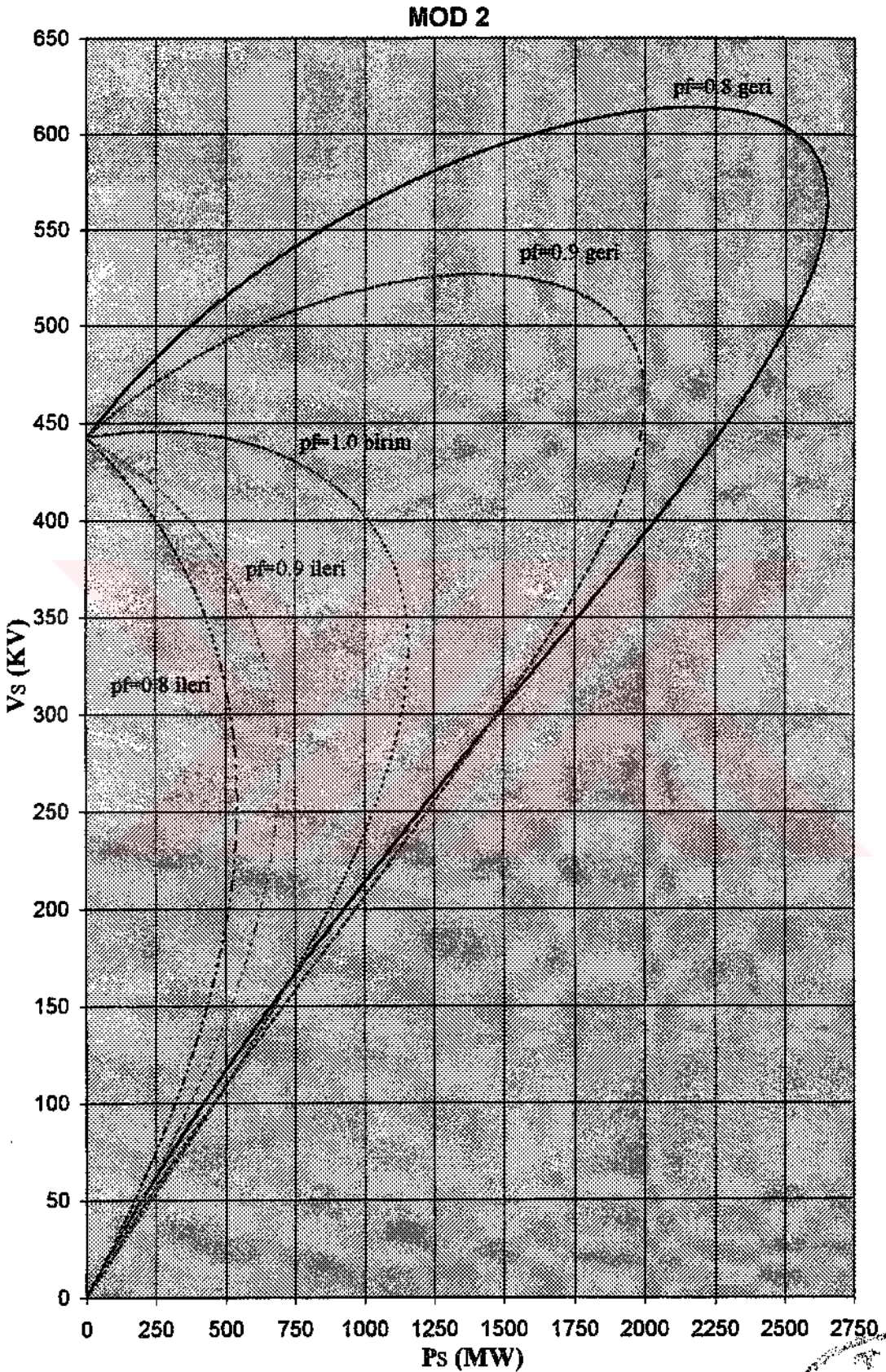

**Grafik 2.4.15.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.70)



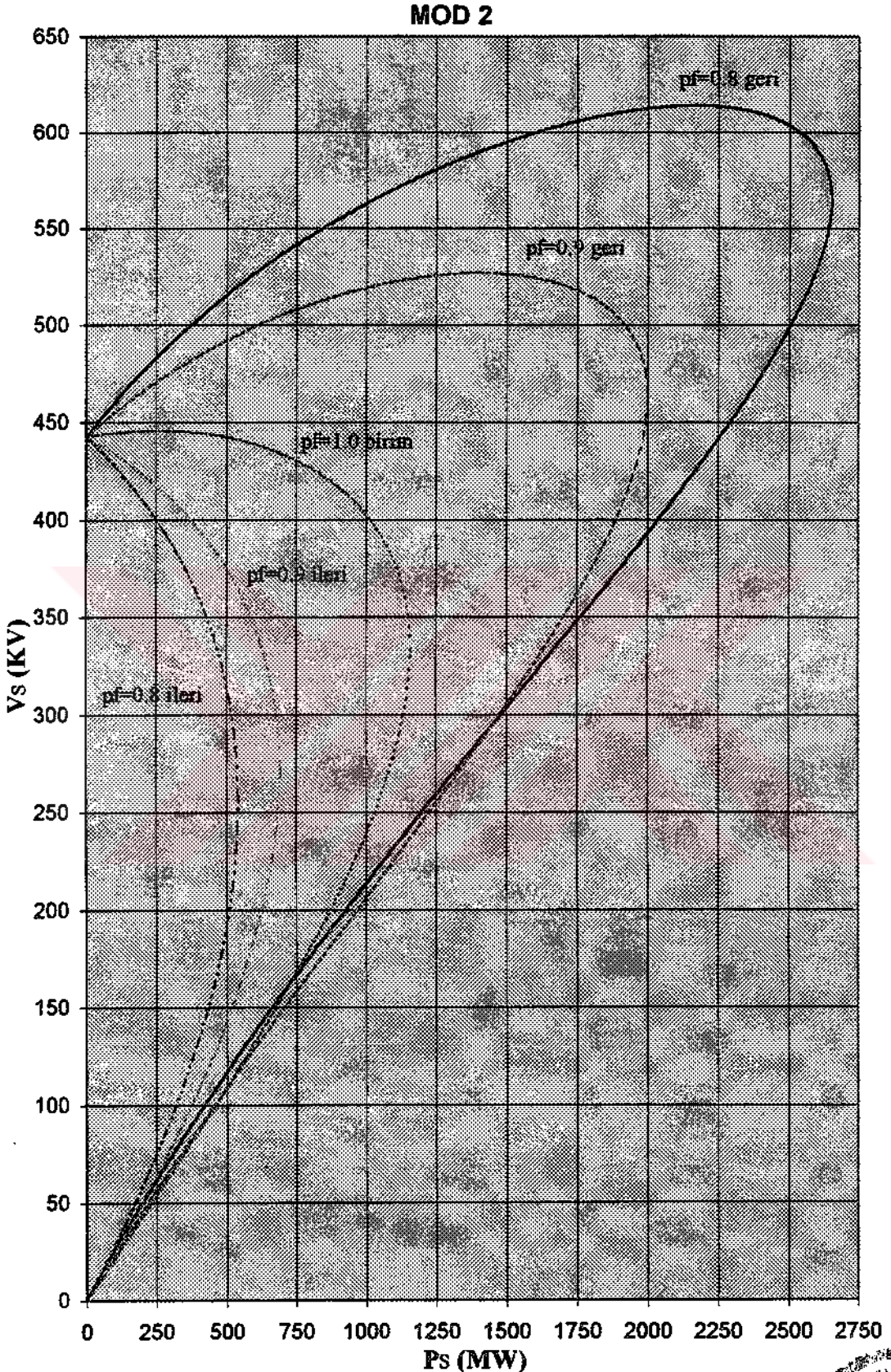

**Grafik 2.4.16.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.75)



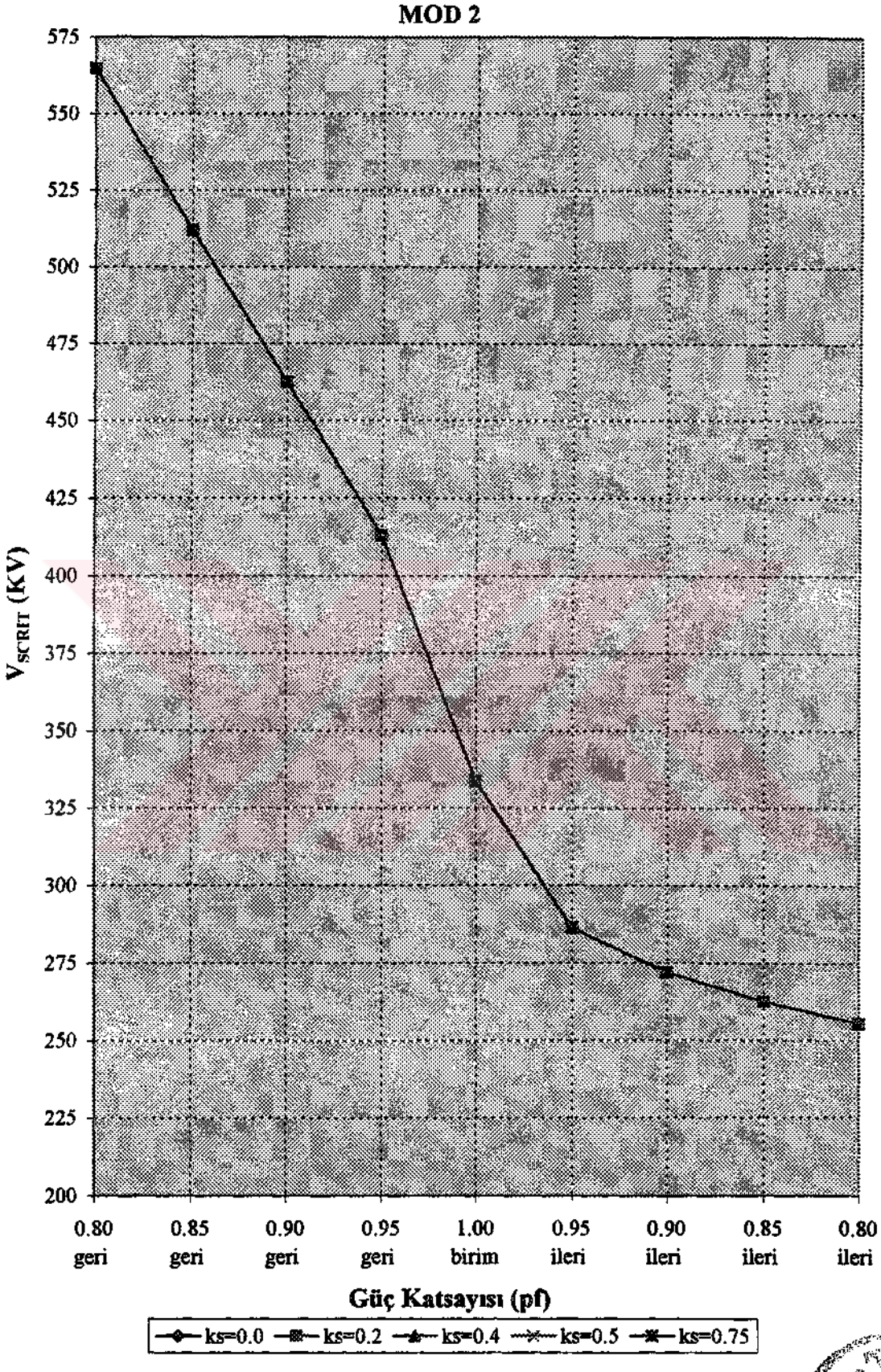

**Grafik 2.4.17.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.80)



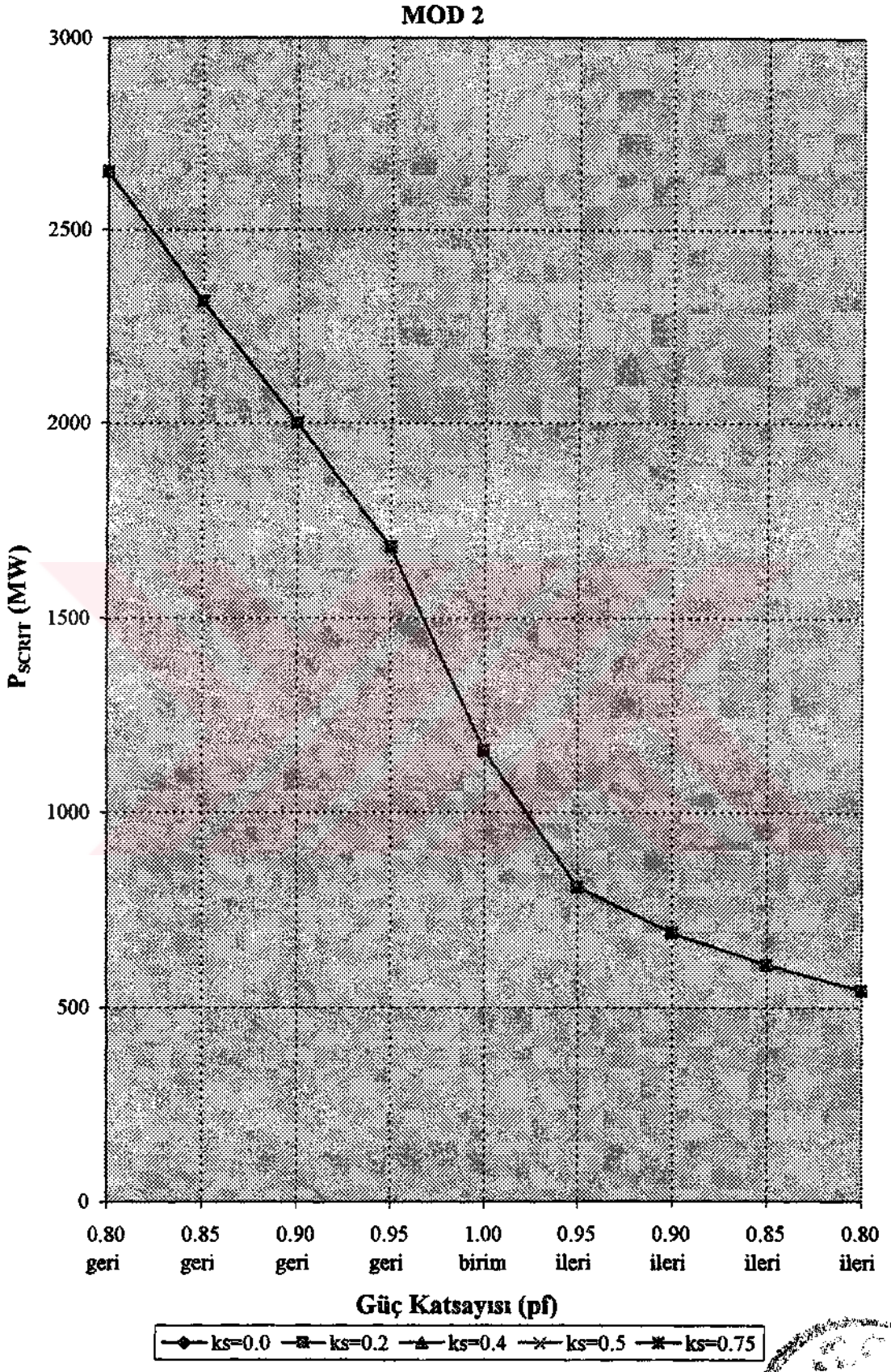

**Grafik 2.4.18.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.85)



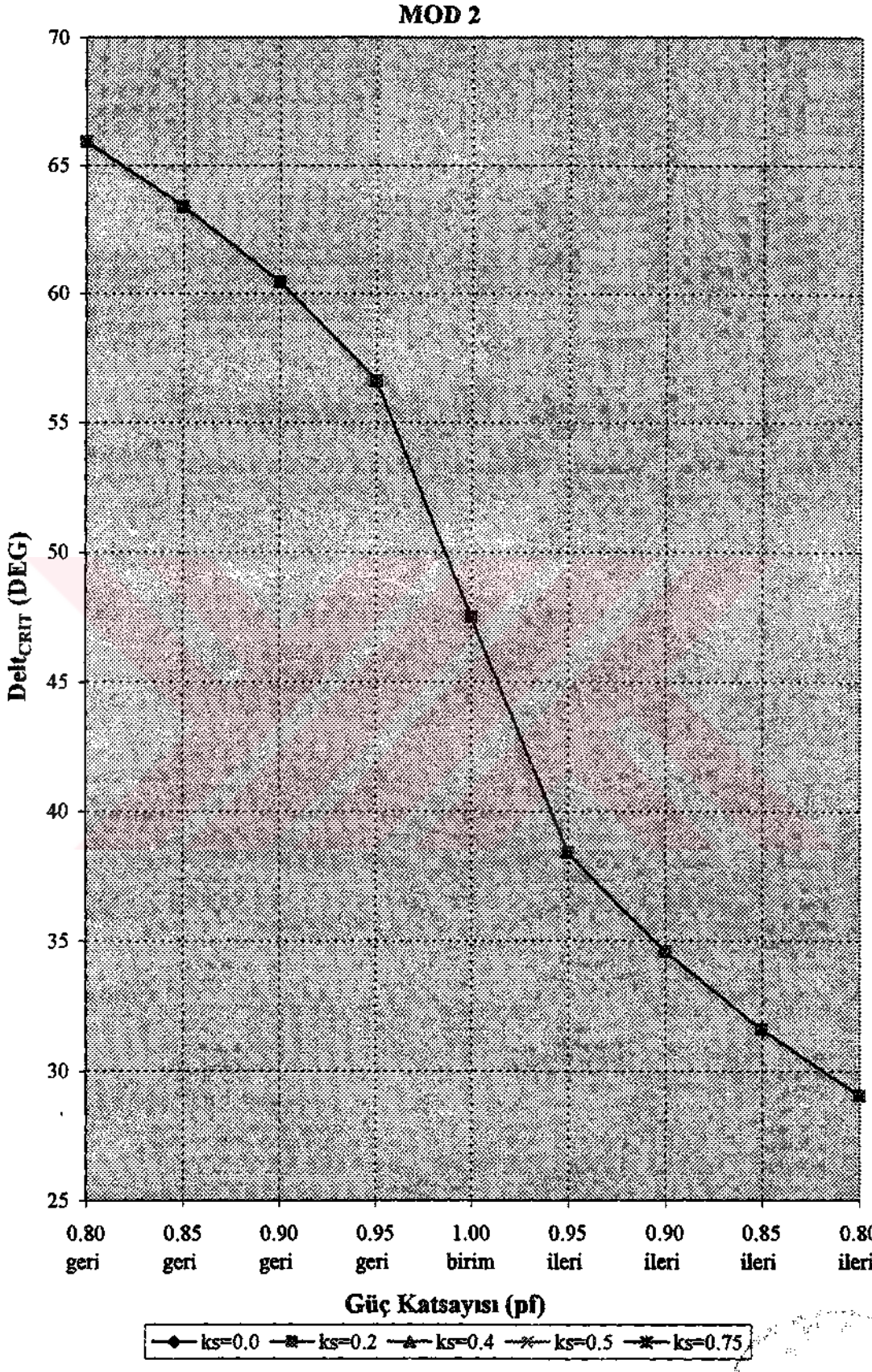

**Grafik 2.4.19.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.90)




**Grafik 2.5.1.** Güç Katsayısı (pf) - $V_{SCRIT}$




**Grafik 2.5.2.** Güç Katsayısı (pf) - $P_{SCRIT}$



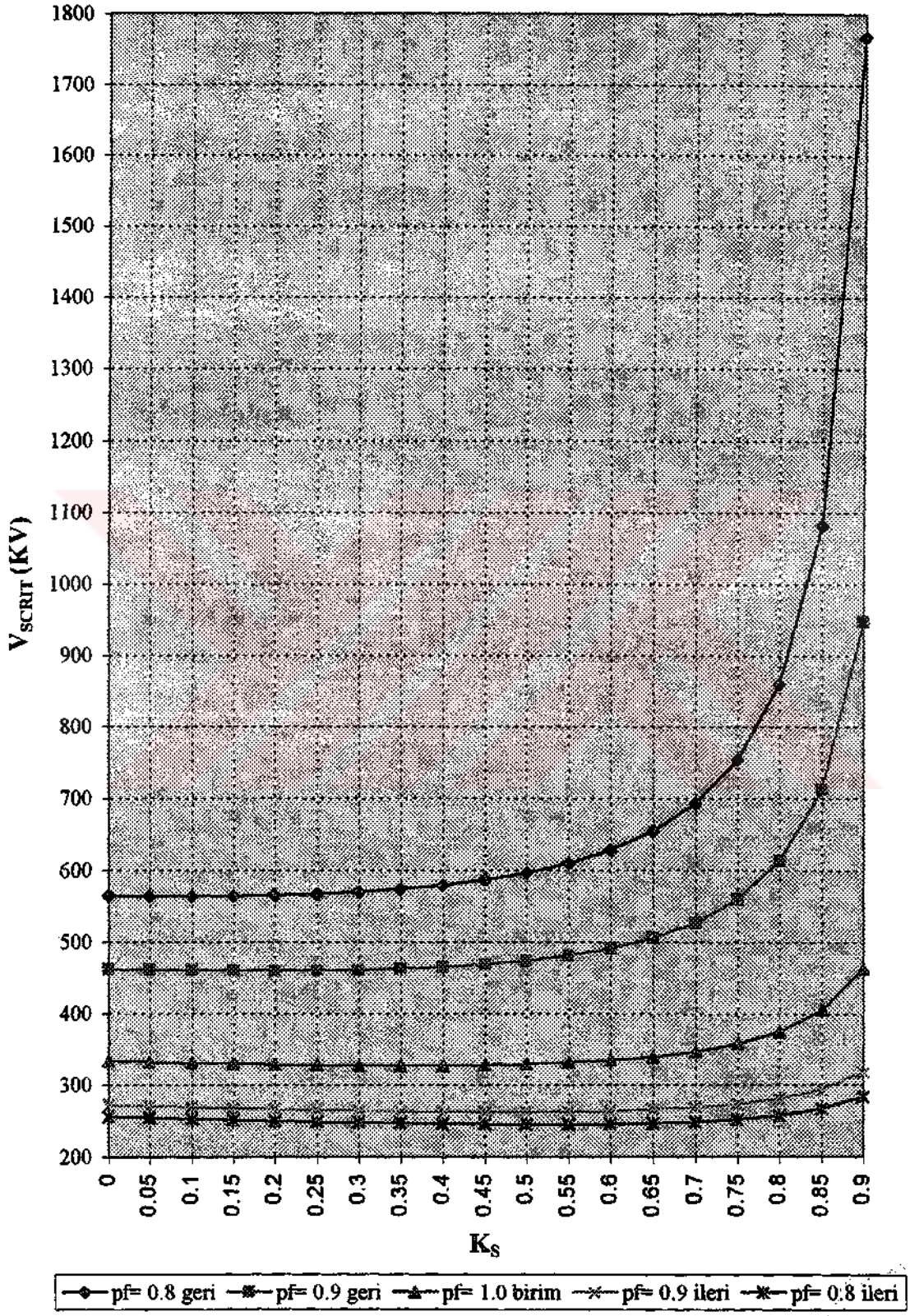

**Grafik 2.5.3.** Güç Katsayısı (pf) - Delt$_{CRIT}$

## MOD 3

| | Vscr(KV) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| Ks | | | | | |
| 0 | 564.772689 | 462.515213 | 333.885019 | 272.010945 | 255.619099 |
| 0.05 | 564.129052 | 461.318712 | 332.358759 | 270.451096 | 254.055573 |
| 0.1 | 563.951659 | 460.425116 | 330.97844 | 268.977758 | 252.563702 |
| 0.15 | 564.317353 | 459.880562 | 329.762809 | 267.600104 | 251.150347 |
| 0.2 | 565.324489 | 459.743819 | 328.735676 | 266.329834 | 249.824298 |
| 0.25 | 567.10079 | 460.090749 | 327.927617 | 265.182012 | 248.596912 |
| 0.3 | 569.814928 | 461.020805 | 327.378441 | 264.176263 | 247.483023 |
| 0.35 | 573.694006 | 462.666716 | 327.140785 | 263.338518 | 246.502269 |
| 0.4 | 579.050815 | 465.209352 | 327.285555 | 262.703624 | 245.681071 |
| 0.45 | 586.327805 | 468.90128 | 327.910338 | 262.31935 | 245.055671 |
| 0.5 | 596.171029 | 474.10552 | 329.152902 | 262.252746 | 244.676947 |
| 0.55 | 609.560759 | 481.36223 | 331.213693 | 262.600598 | 244.618307 |
| 0.6 | 628.056393 | 491.5097 | 334.395087 | 263.50737 | 244.989185 |
| 0.65 | 654.291041 | 505.918646 | 339.173709 | 265.197563 | 245.959302 |
| 0.7 | 693.069883 | 526.984431 | 346.342822 | 268.037648 | 247.804786 |
| 0.75 | 754.139512 | 559.276112 | 357.316574 | 272.663399 | 251.002188 |
| 0.8 | 860.549647 | 612.631129 | 374.851591 | 280.26554 | 256.436595 |
| 0.85 | 1082.172521 | 712.421927 | 405.011204 | 293.303639 | 265.910833 |
| 0.9 | 1768.376038 | 947.667277 | 463.651784 | 317.547314 | 283.548571 |
| 0.95 | 91481.11876 | 1962.30449 | 605.447207 | 368.990631 | 320.215652 |

**Tablo 3.1.** $K_S$ - $V_{SCRIT}$

**MOD 3**

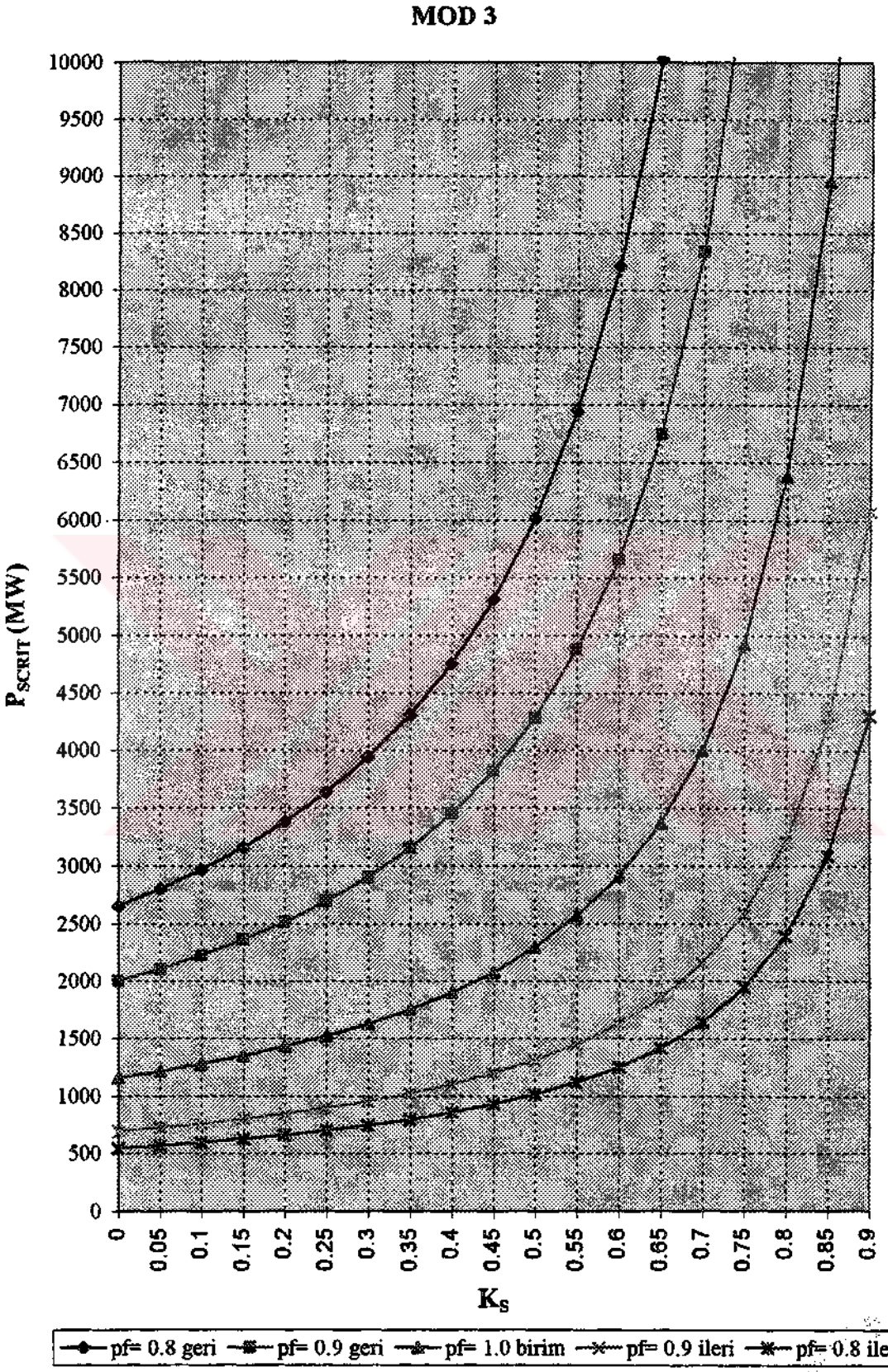



**Grafik 3.1.** $K_S$ - $V_{SCRIT}$

## MOD 3

| | Pscr(MW) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| $K_S$ | | | | | |
| 0 | 2650.514094 | 1999.803435 | 1157.94151 | 691.684469 | 542.961885 |
| 0.05 | 2797.592566 | 2104.661219 | 1213.813054 | 723.365096 | 567.394324 |
| 0.1 | 2964.751901 | 2223.182601 | 1276.480018 | 758.734552 | 594.629524 |
| 0.15 | 3156.247917 | 2358.12557 | 1347.217326 | 798.453037 | 625.160978 |
| 0.2 | 3377.615956 | 2513.037622 | 1427.638854 | 843.34802 | 659.605124 |
| 0.25 | 3636.183954 | 2692.556747 | 1519.81715 | 894.470425 | 698.741921 |
| 0.3 | 3941.850594 | 2902.859966 | 1626.457348 | 953.174952 | 743.572536 |
| 0.35 | 4308.301227 | 3152.350318 | 1751.155986 | 1021.237454 | 795.403102 |
| 0.4 | 4754.974342 | 3452.742736 | 1898.796894 | 1101.030817 | 855.969353 |
| 0.45 | 5310.371908 | 3820.844094 | 2076.176105 | 1195.79611 | 927.627193 |
| 0.5 | 6017.90203 | 4281.598343 | 2293.024883 | 1310.074489 | 1013.653409 |
| 0.55 | 6946.792978 | 4873.566519 | 2563.757444 | 1450.421738 | 1118.737679 |
| 0.6 | 8213.944341 | 5659.410317 | 2910.611644 | 1626.644057 | 1249.822393 |
| 0.65 | 10031.64314 | 6747.517524 | 3369.647733 | 1854.051131 | 1417.609555 |
| 0.7 | 12824.12863 | 8341.072657 | 4003.09787 | 2157.833498 | 1639.431189 |
| 0.75 | 17558.87492 | 10864.21512 | 4927.307097 | 2582.257246 | 1945.128544 |
| 0.8 | 26917.22353 | 15347.19608 | 6384.209493 | 3211.961477 | 2390.222894 |
| 0.85 | 51159.97828 | 24943.90392 | 8957.388997 | 4227.900645 | 3088.939553 |
| 0.9 | 167632.094 | 54159.1973 | 14404.62015 | 6081.032685 | 4309.856935 |
| 0.95 | 555831035.3 | 287716.7697 | 30432.83638 | 10173.32826 | 6810.28005 |

**Tablo 3.2.** $K_S$ - $P_{SCRIT}$



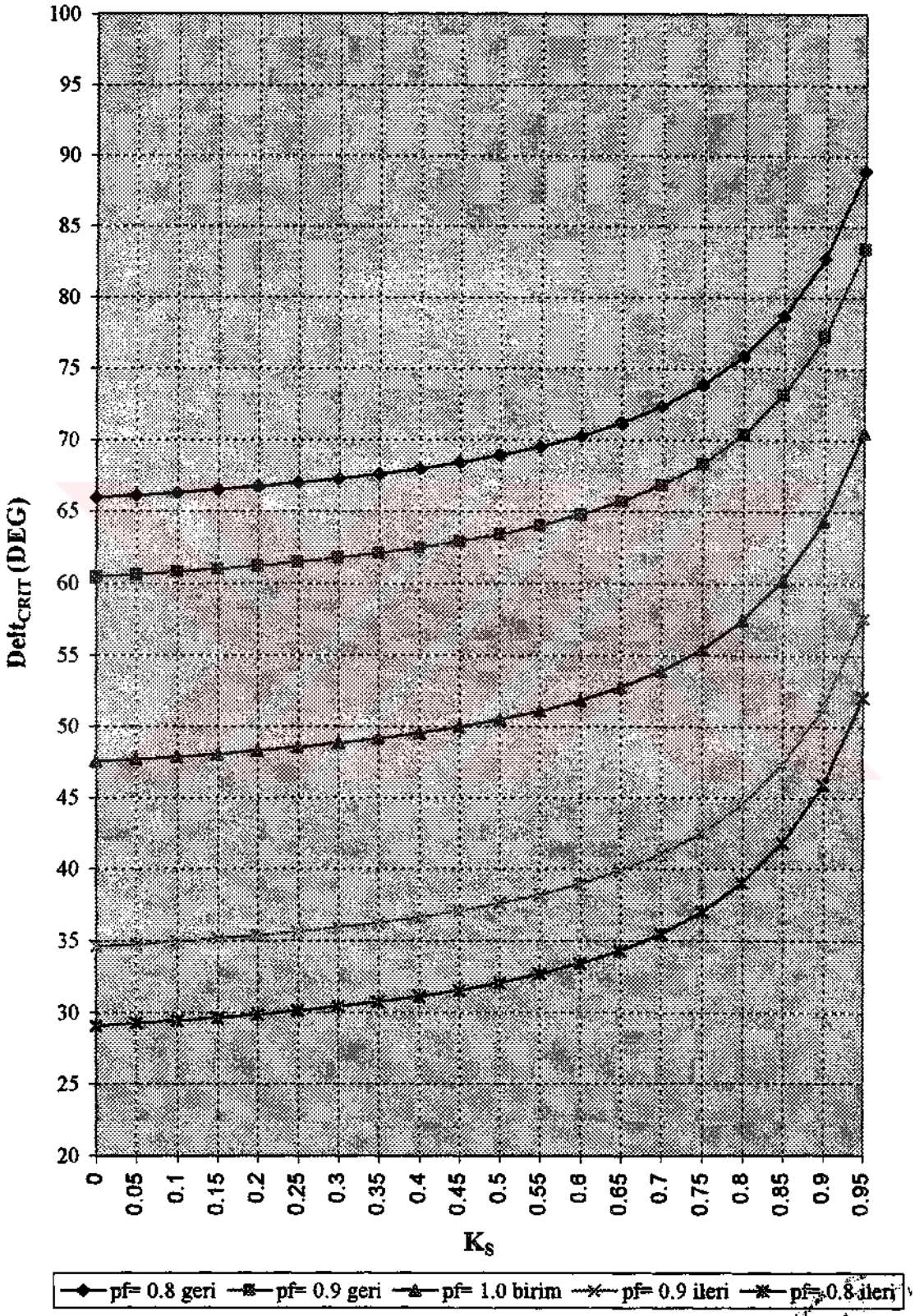

**Grafik 3.2.** $K_S$ - $P_{SCRIT}$

## MOD 3

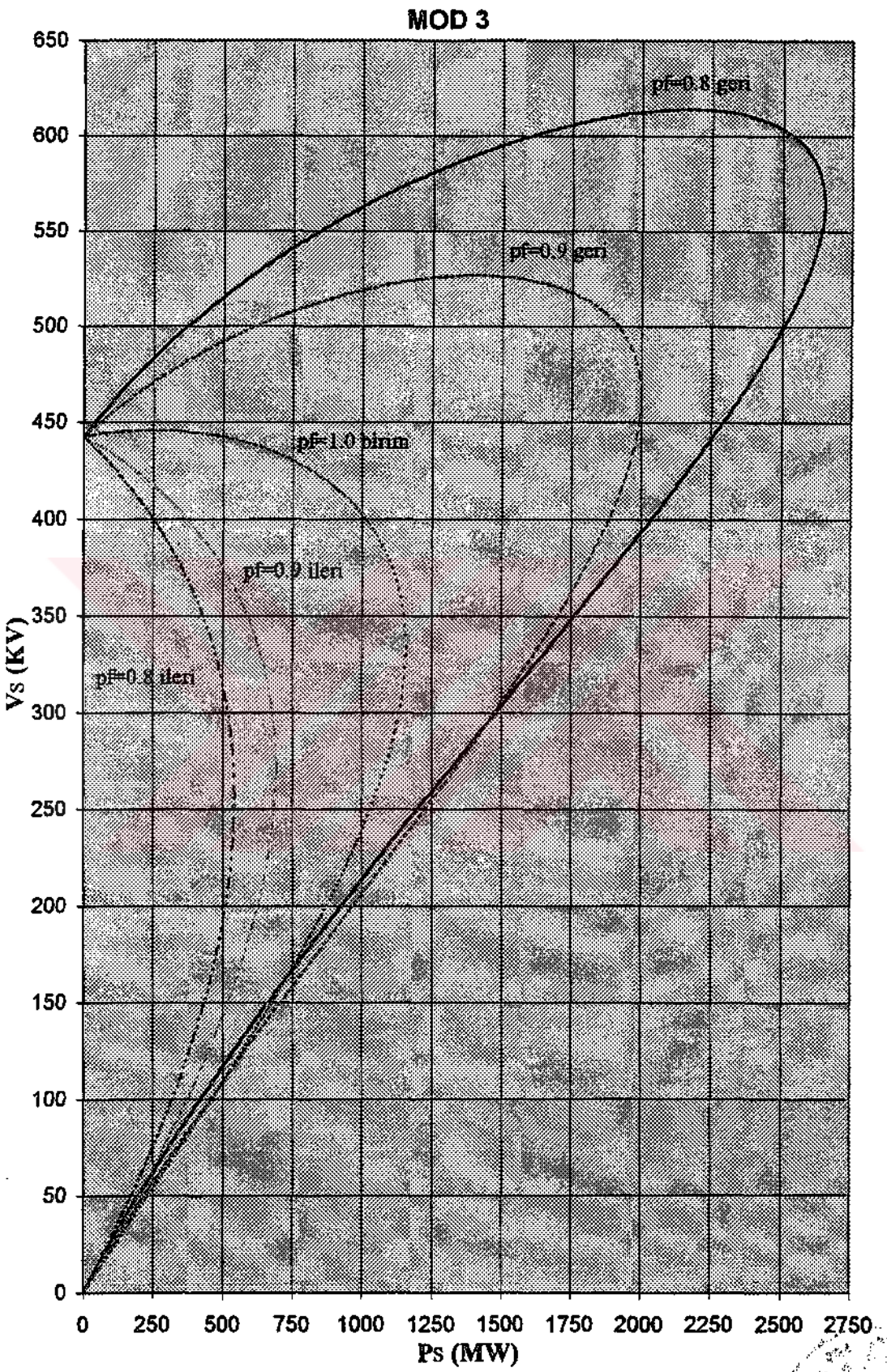
| | delter(DEG) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| Ks | | | | | |
| 0 | 65.941288 | 60.427306 | 47.506339 | 34.585373 | 29.07139 |
| 0.05 | 66.107139 | 60.593156 | 47.67219 | 34.751223 | 29.237241 |
| 0.1 | 66.290046 | 60.776064 | 47.855097 | 34.934131 | 29.420148 |
| 0.15 | 66.492824 | 60.978841 | 48.057875 | 35.136909 | 29.622926 |
| 0.2 | 66.718935 | 61.204952 | 48.283986 | 35.36302 | 29.849037 |
| 0.25 | 66.972686 | 61.458704 | 48.537737 | 35.616771 | 30.102788 |
| 0.3 | 67.259503 | 61.745521 | 48.824554 | 35.903588 | 30.389605 |
| 0.35 | 67.586312 | 62.07233 | 49.151364 | 36.230397 | 30.716415 |
| 0.4 | 67.962094 | 62.448111 | 49.527145 | 36.606179 | 31.092196 |
| 0.45 | 68.398689 | 62.884707 | 49.963741 | 37.042774 | 31.528792 |
| 0.5 | 68.912022 | 63.39804 | 50.477074 | 37.556107 | 32.042125 |
| 0.55 | 69.52398 | 64.009998 | 51.089031 | 38.168065 | 32.654083 |
| 0.6 | 70.265417 | 64.751434 | 51.830468 | 38.909501 | 33.395519 |
| 0.65 | 71.181094 | 65.667111 | 52.746145 | 39.825179 | 34.311196 |
| 0.7 | 72.338124 | 66.824142 | 53.903176 | 40.982209 | 35.468227 |
| 0.75 | 73.840927 | 68.326944 | 55.405978 | 42.485012 | 36.971029 |
| 0.8 | 75.858602 | 70.344619 | 57.423653 | 44.502687 | 38.988704 |
| 0.85 | 78.675631 | 73.161649 | 60.240682 | 47.319716 | 41.805733 |
| 0.9 | 82.779856 | 77.265874 | 64.344907 | 51.423941 | 45.909958 |
| 0.95 | 88.960766 | 83.446783 | 70.525817 | 57.604851 | 52.090868 |

**Tablo 3.3.** $K_S$ - $delt_{CRIT}$

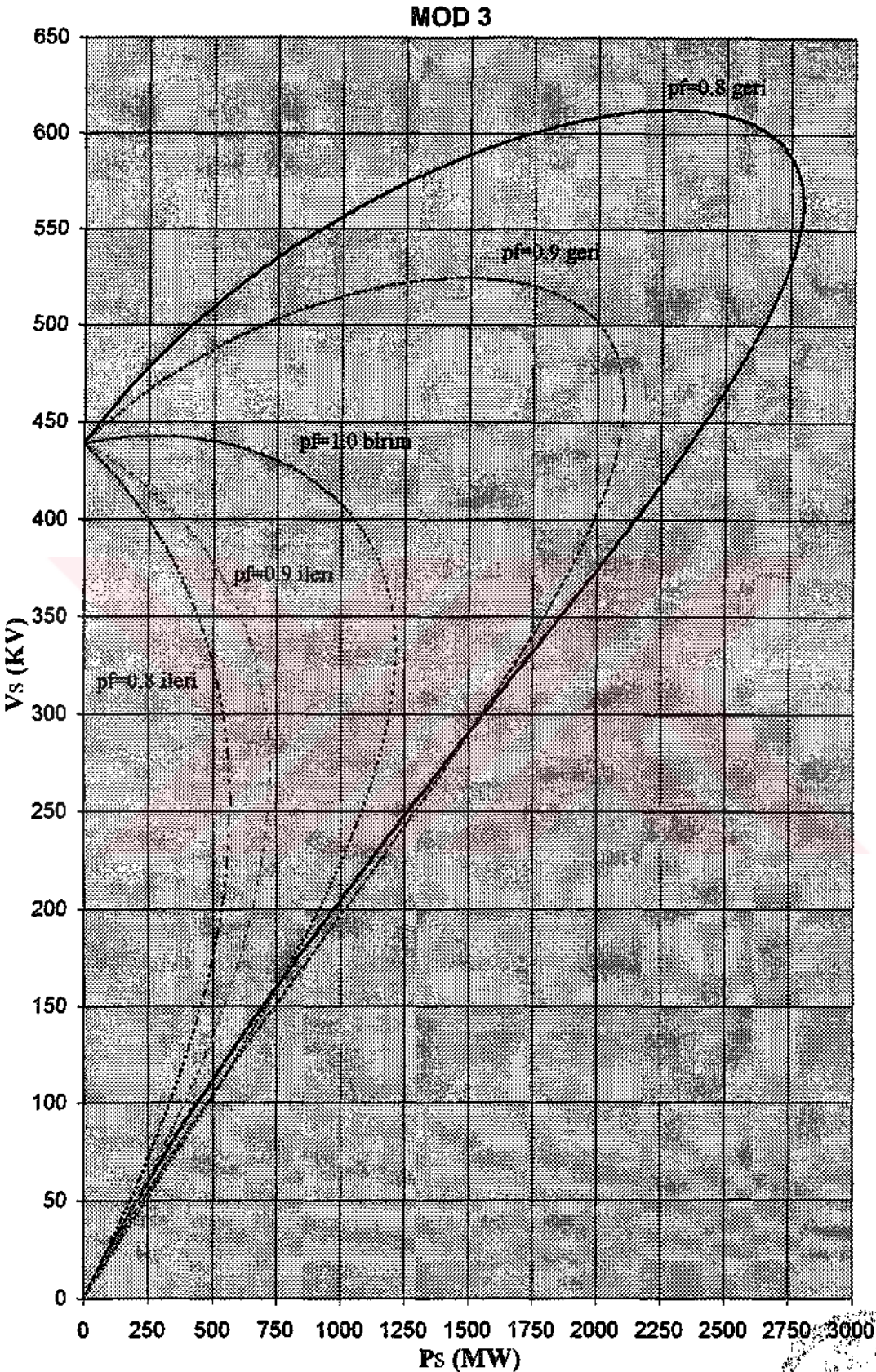
**MOD 3**



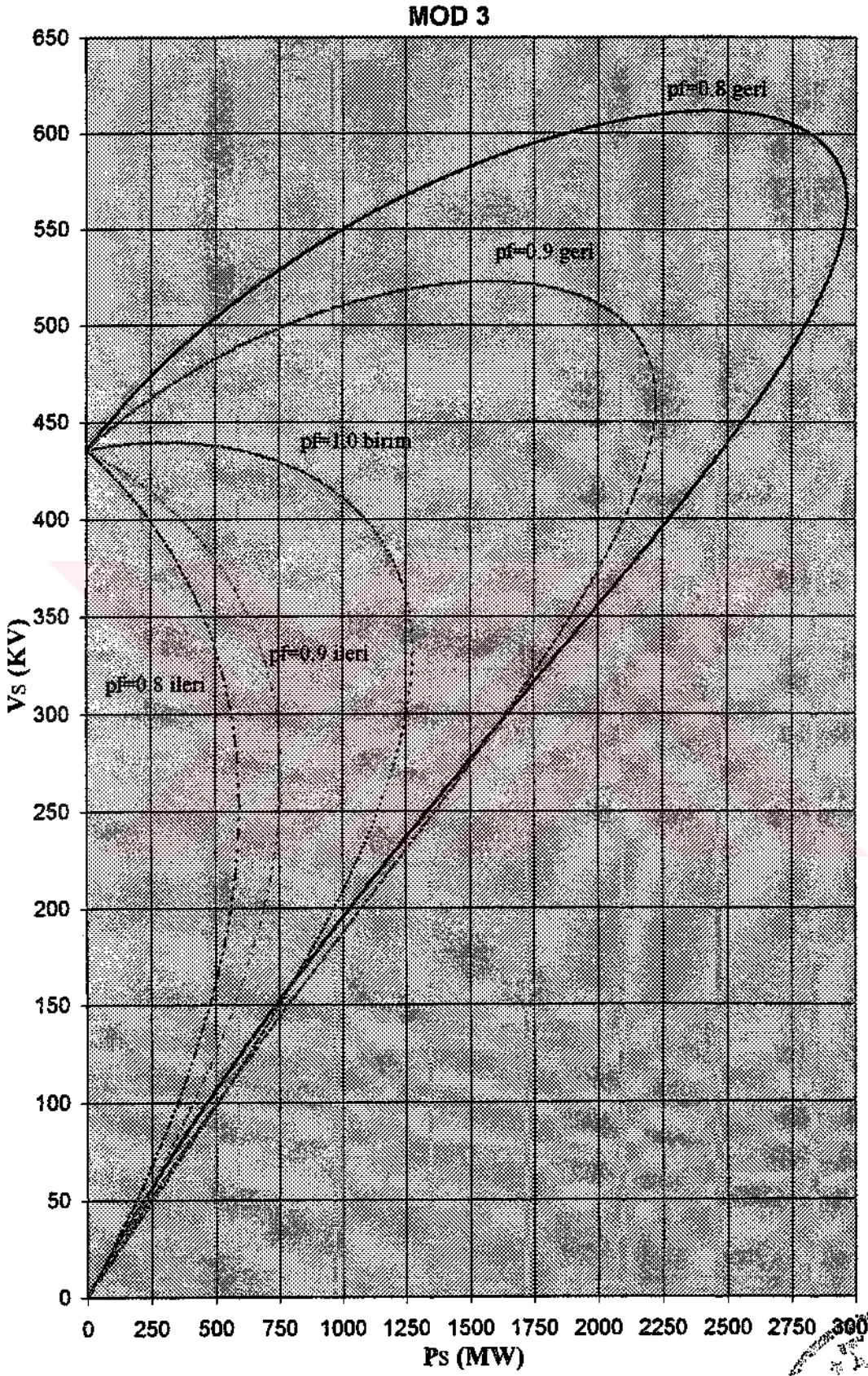

**Grafik 3.3.** $K_S$ - $Delt_{CRIT}$



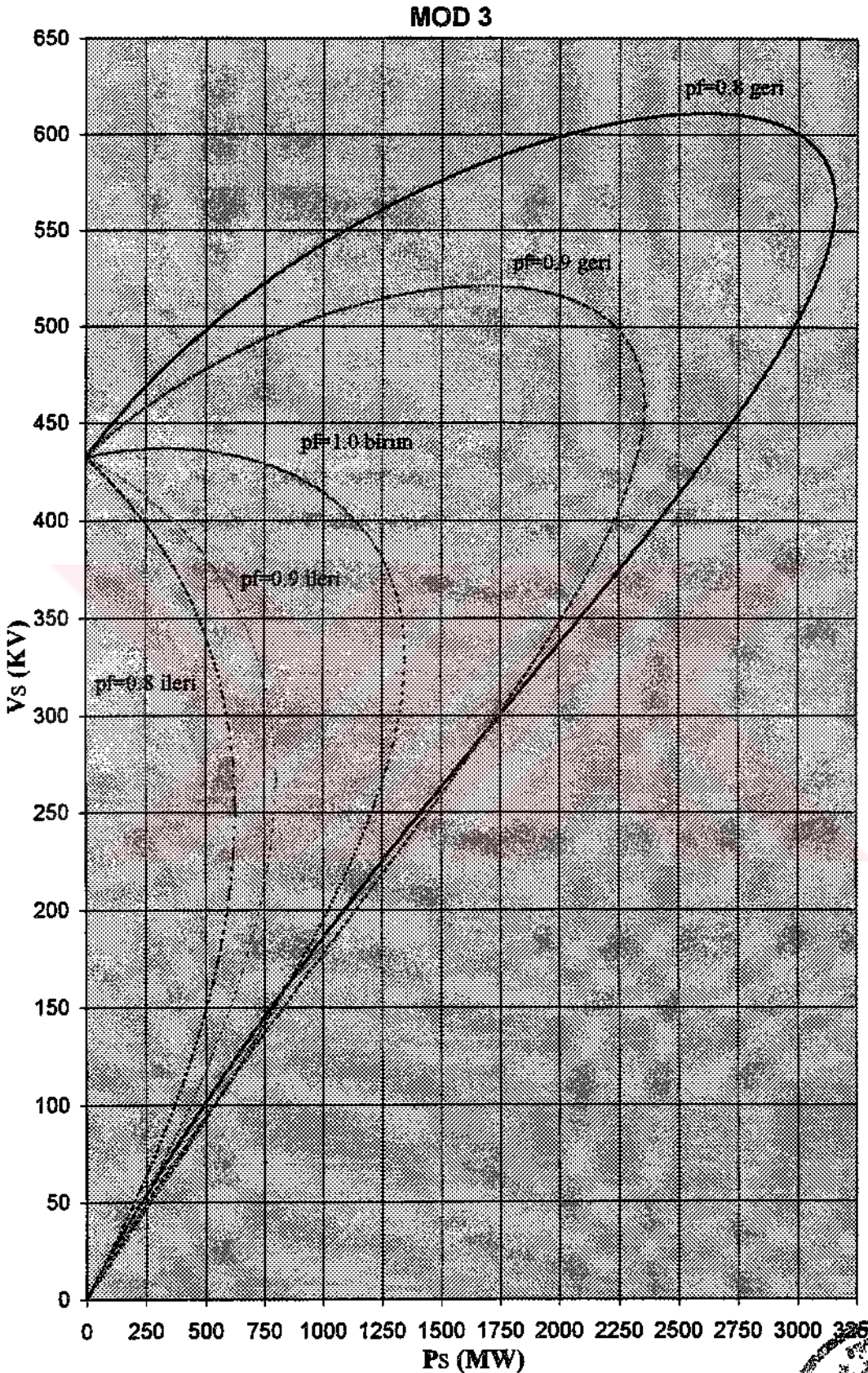

**Grafik 3.4.1.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.00)



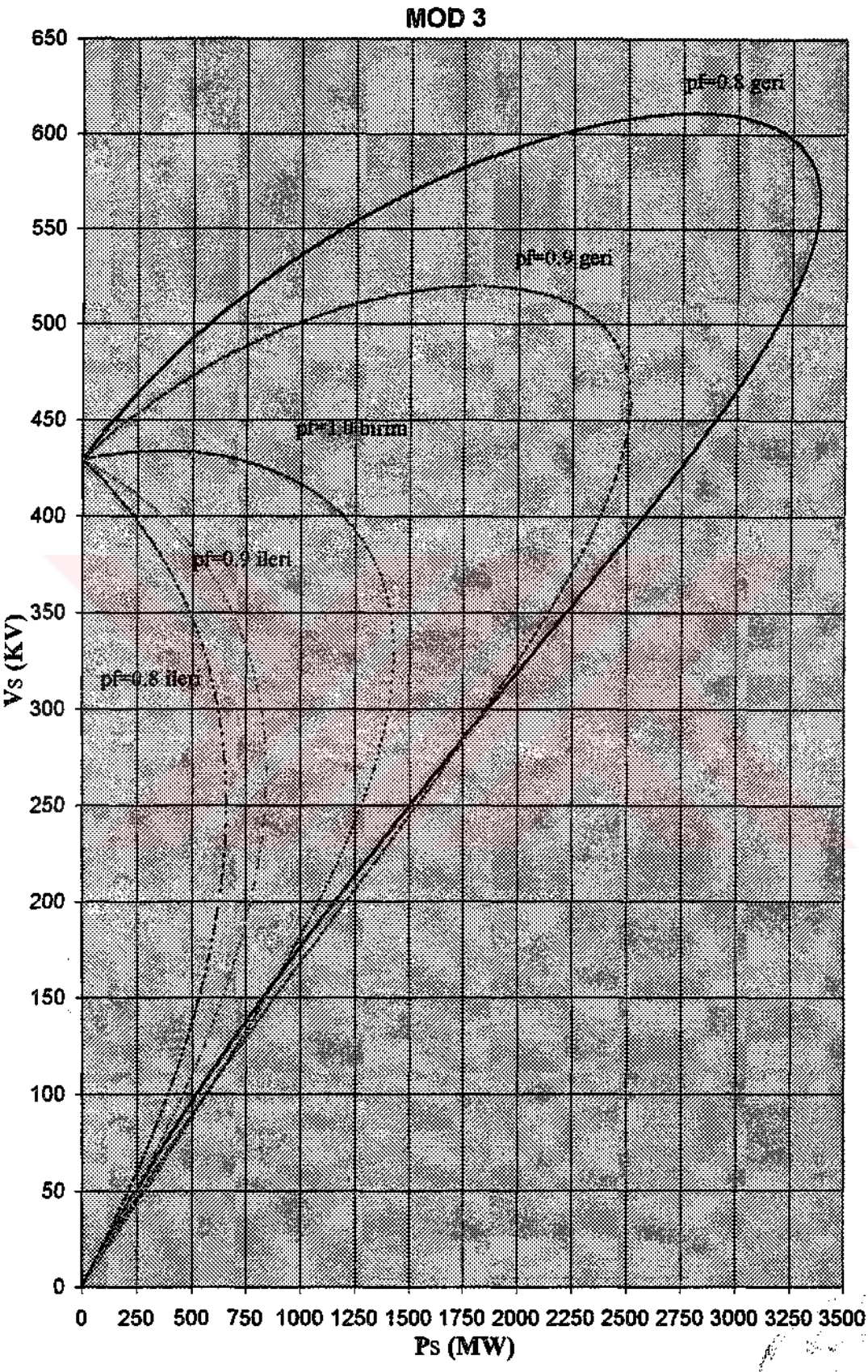

**Grafik 3.4.2.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.05)



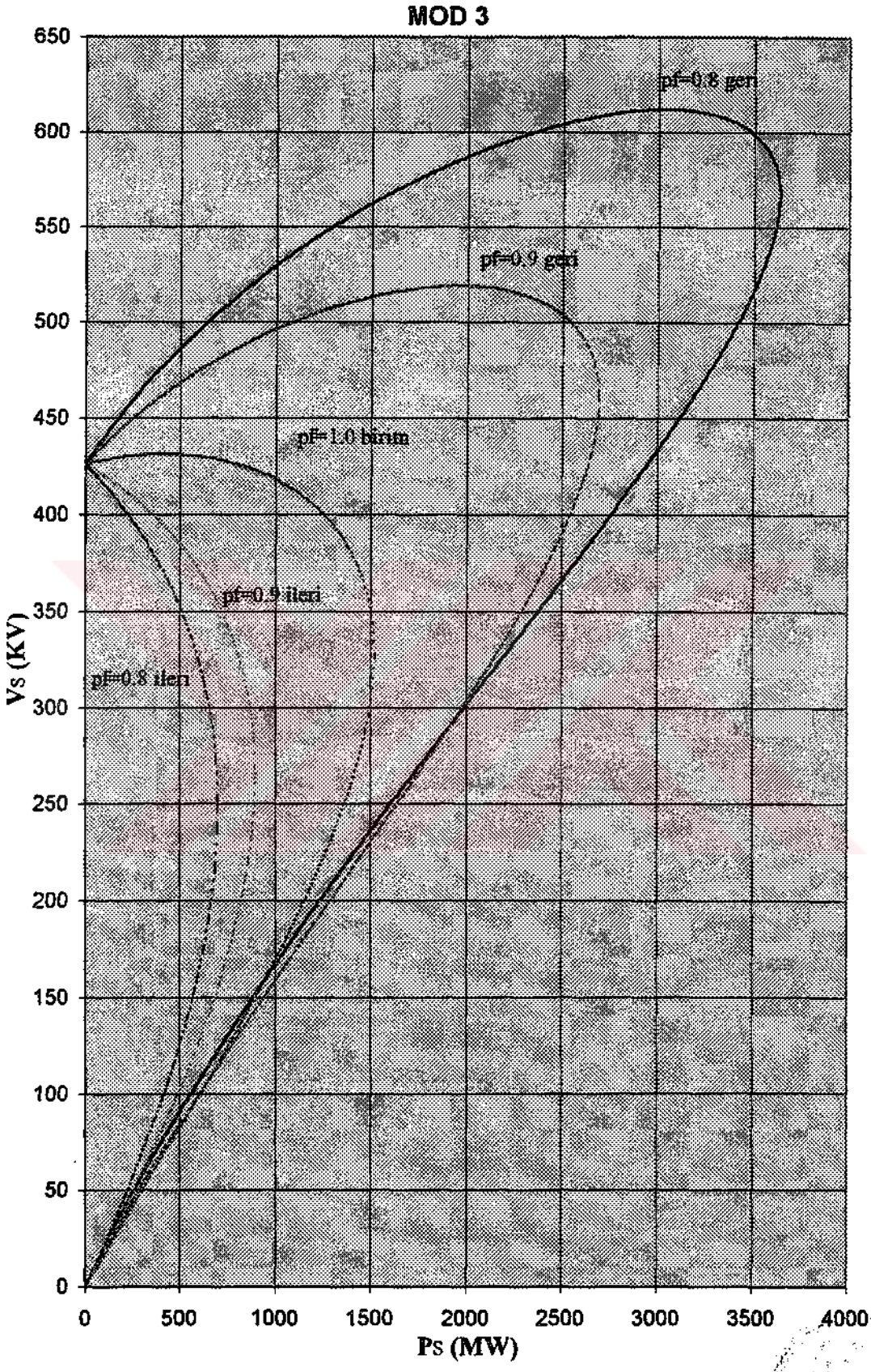

Grafik 3.4.3. $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.10)



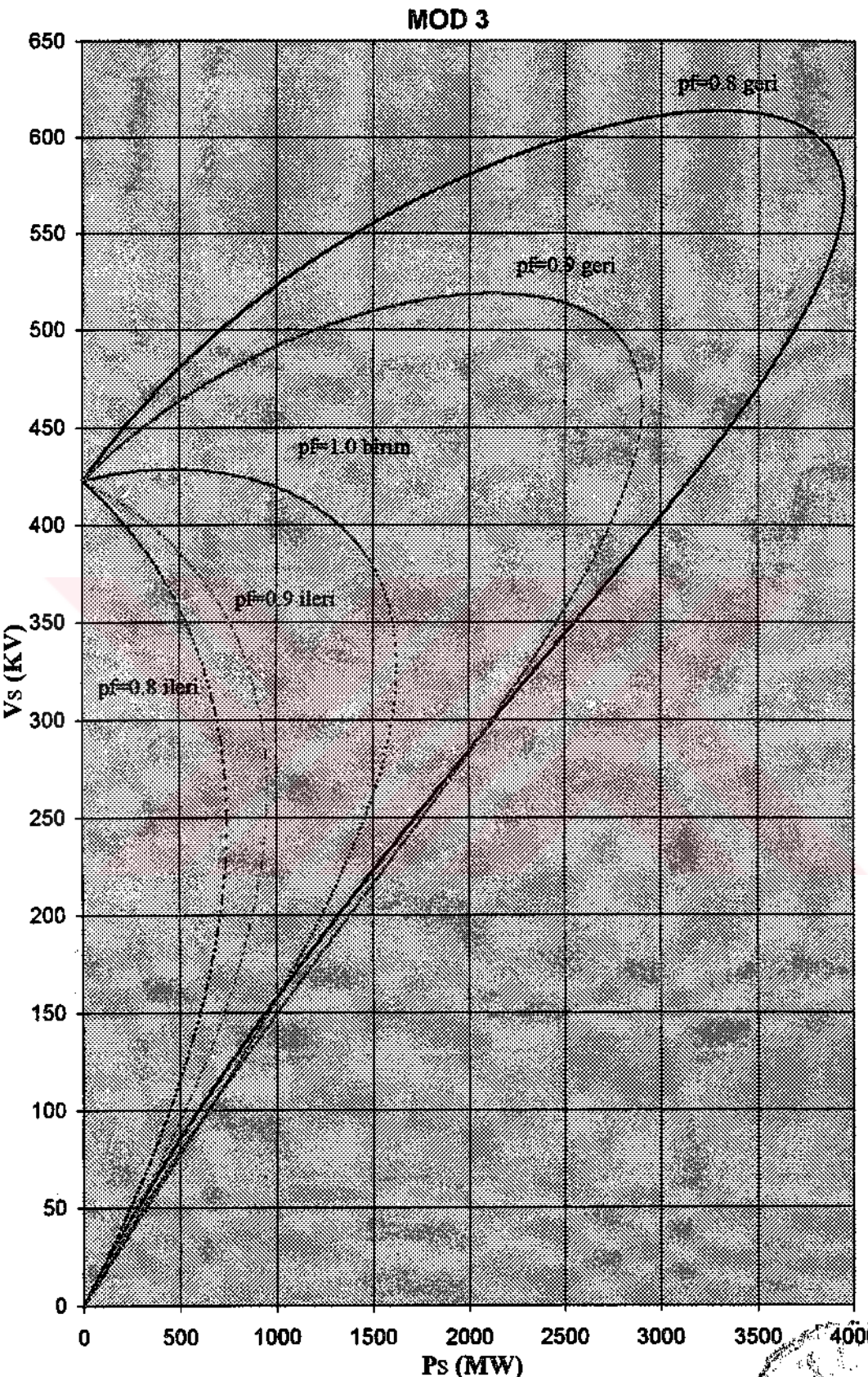

**Grafik 3.4.4.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.15)



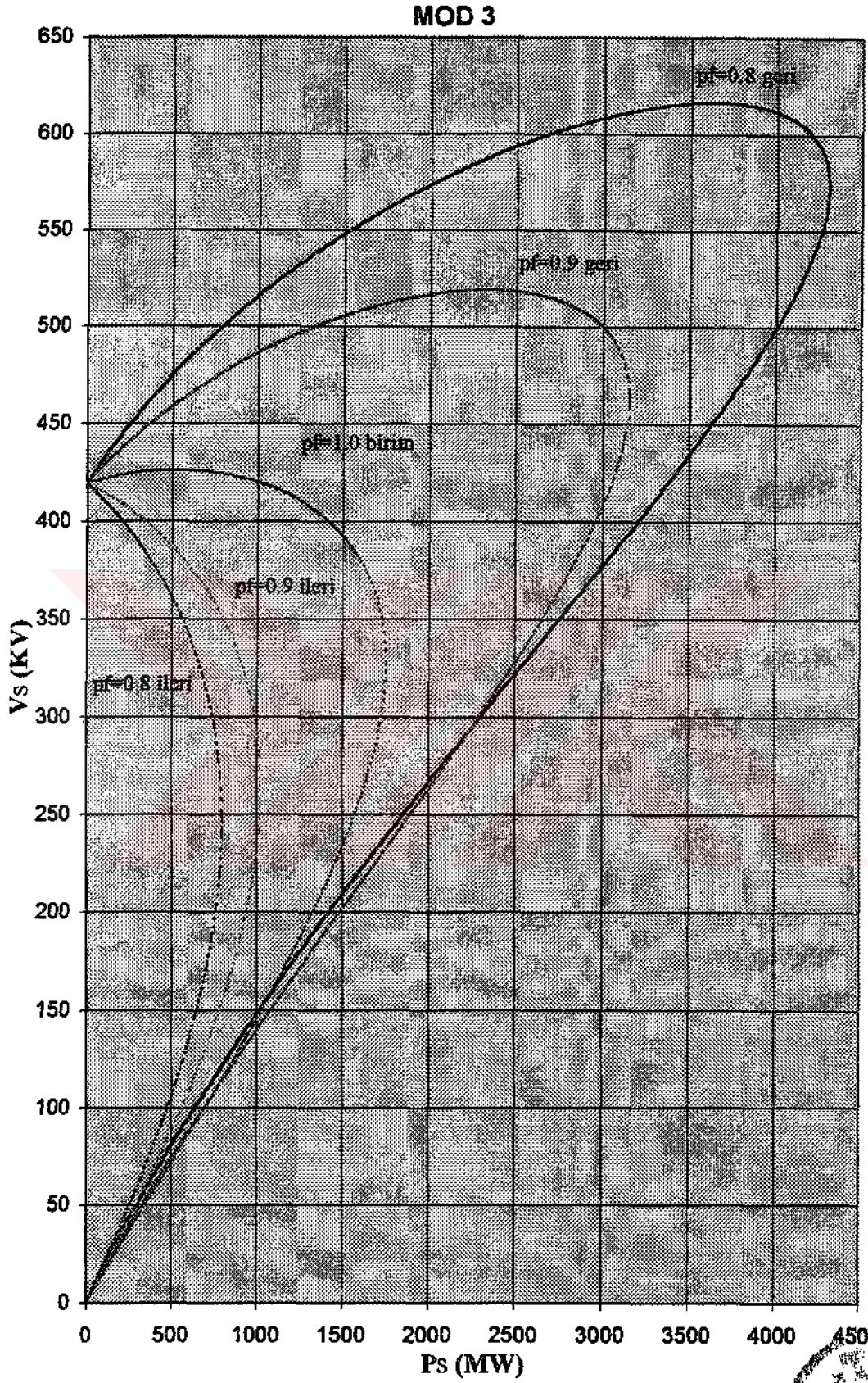

**Grafik 3.4.5.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.20)



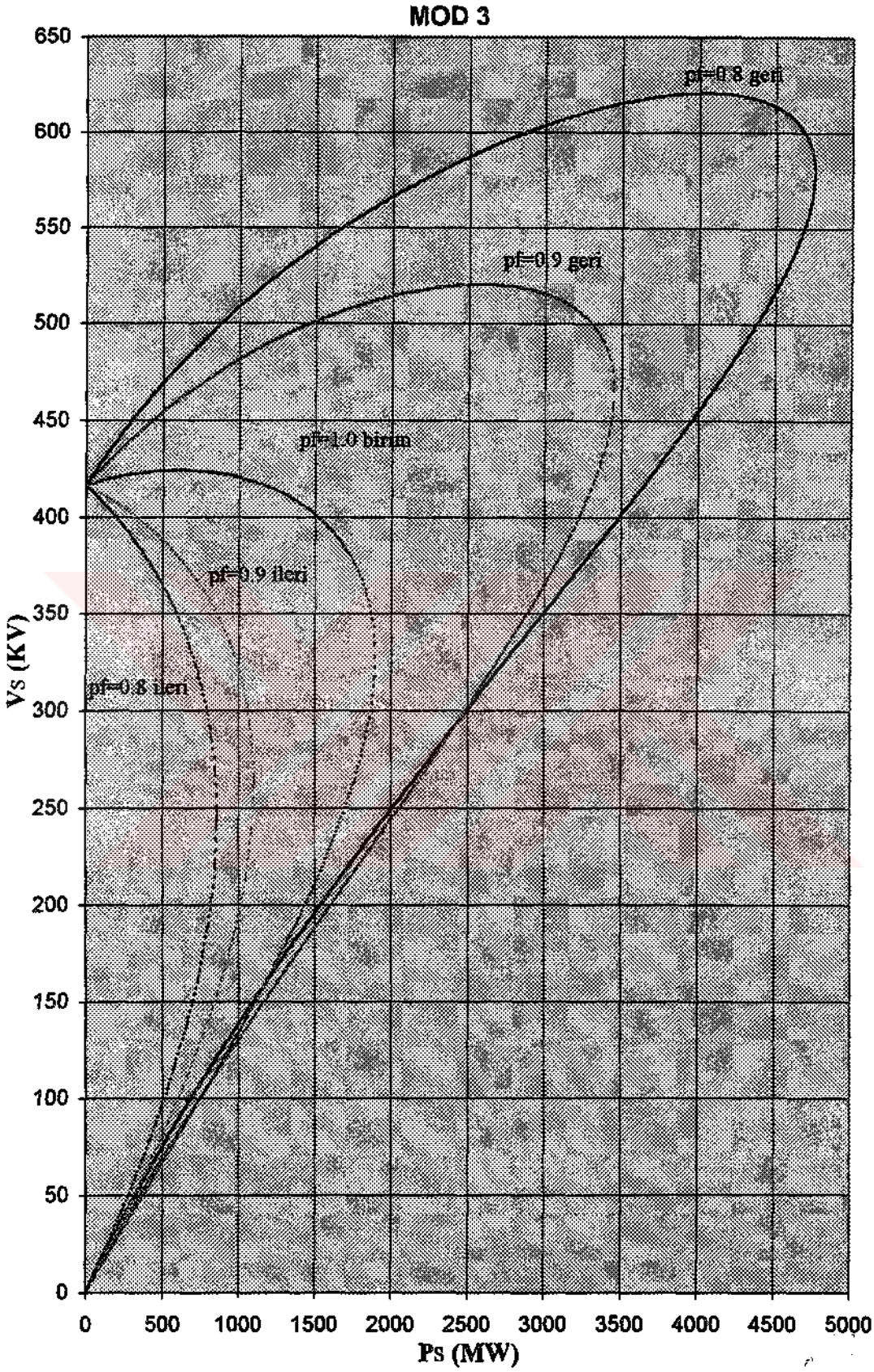

**Grafik 3.4.6.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.25)



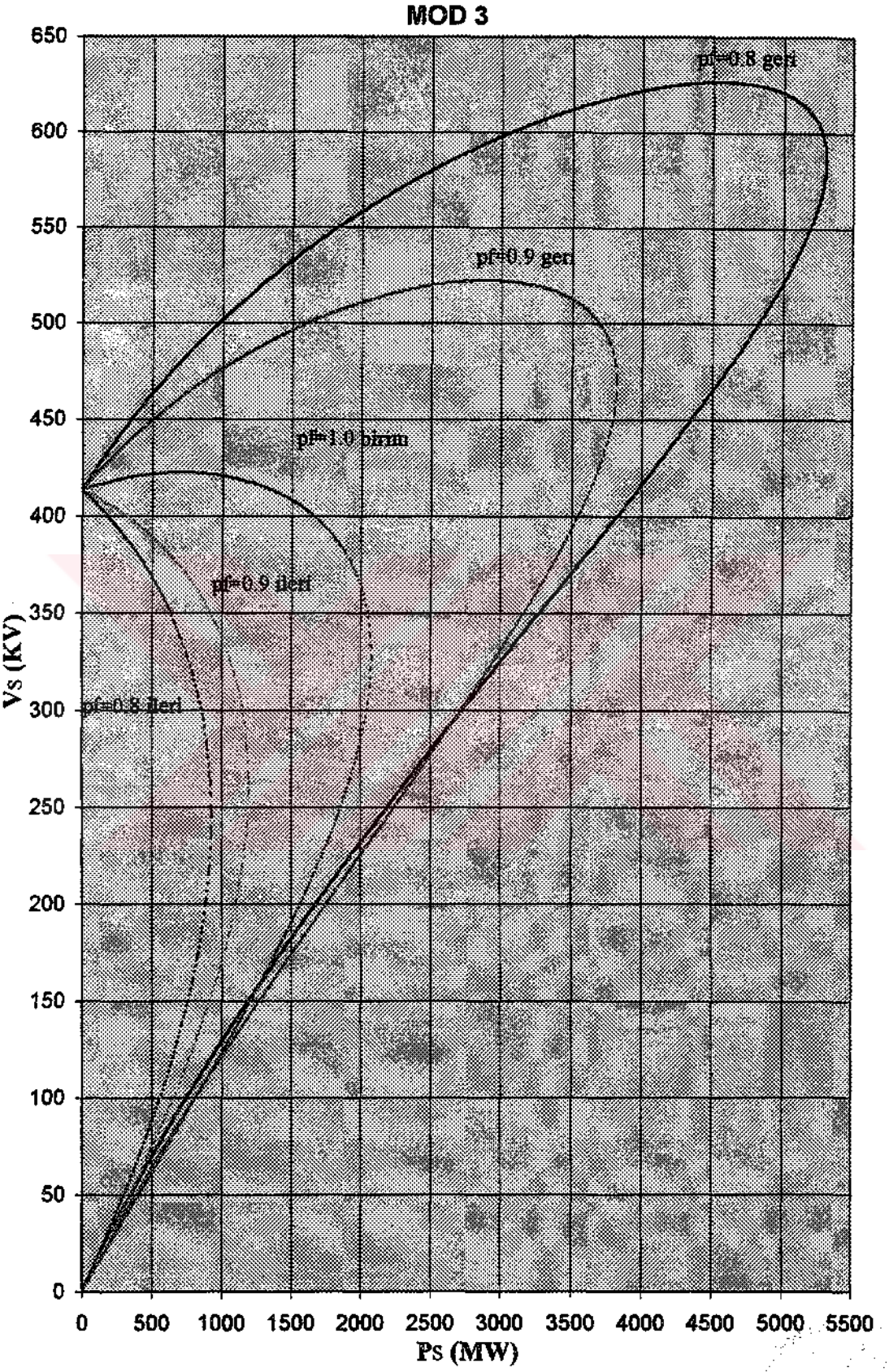

**Grafik 3.4.7.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.30)



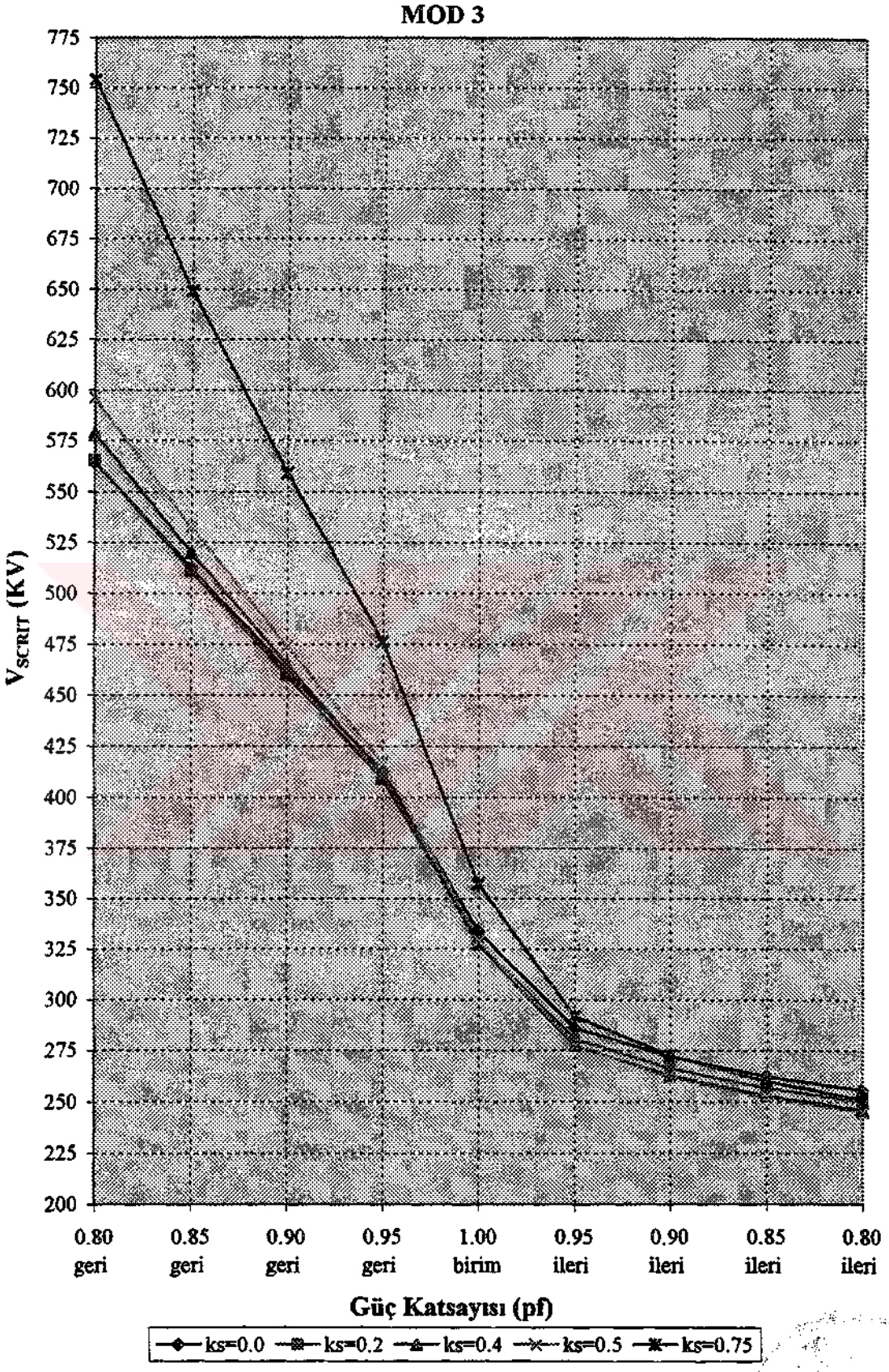

**Grafik 3.4.8.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.35)



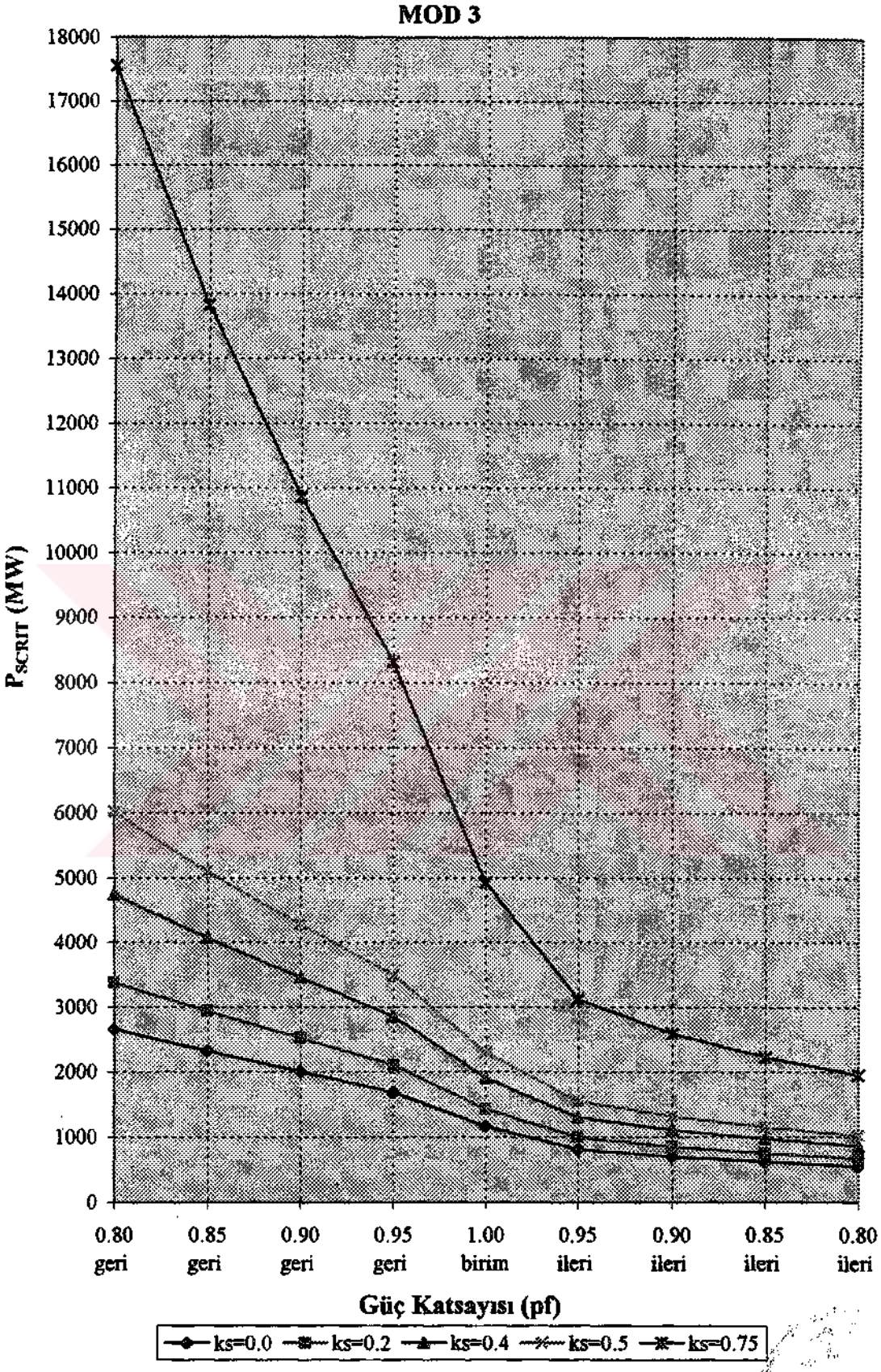

**Grafik 3.4.9.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.40)



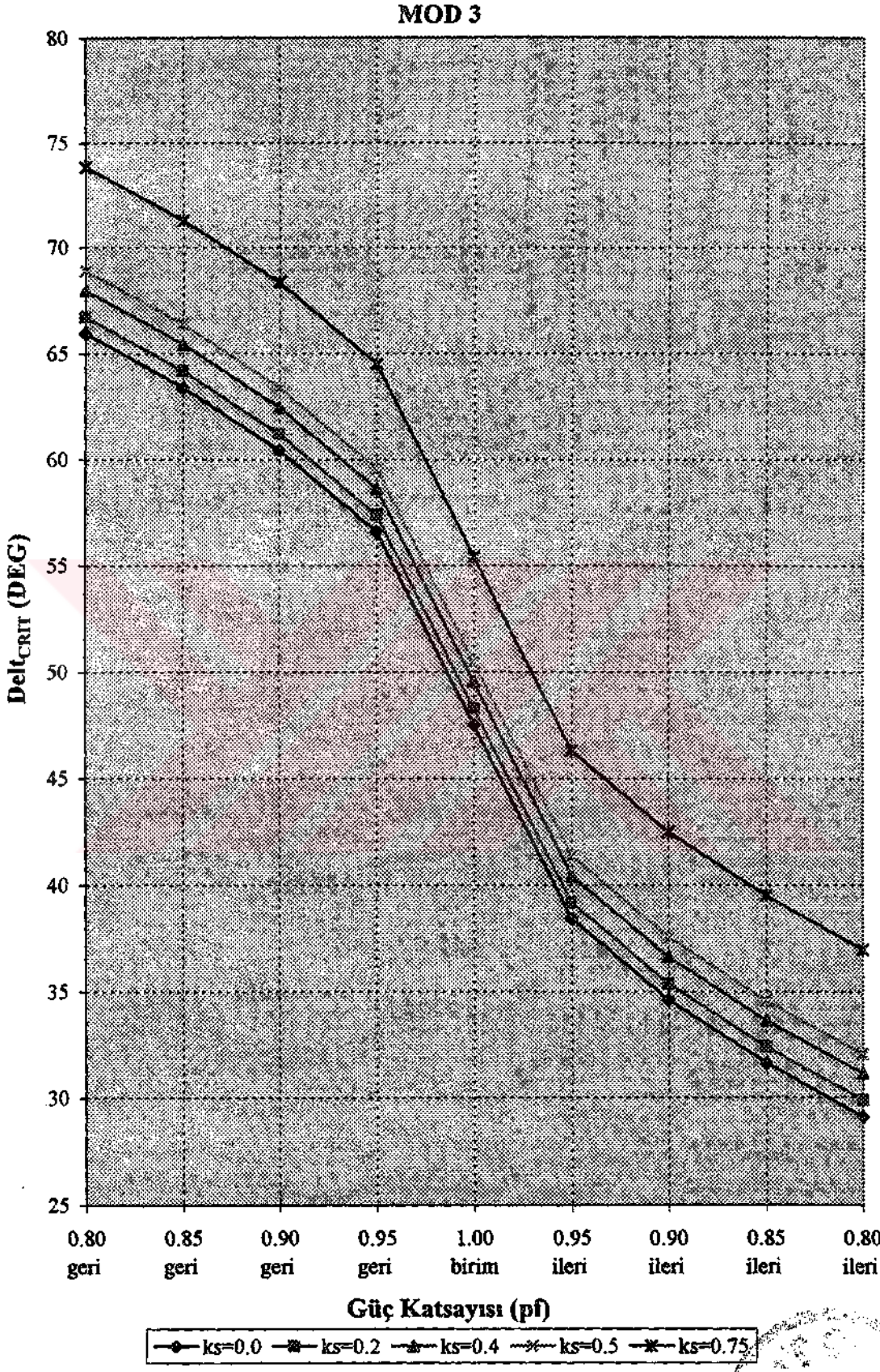

**Grafik 3.4.10.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.45)




**Grafik 3.5.1.** Güç Katsayısı (pf) - $V_{SCRIT}$




**Grafik 3.5.2.** Güç Katsayısı (pf) - $P_{SCRIT}$

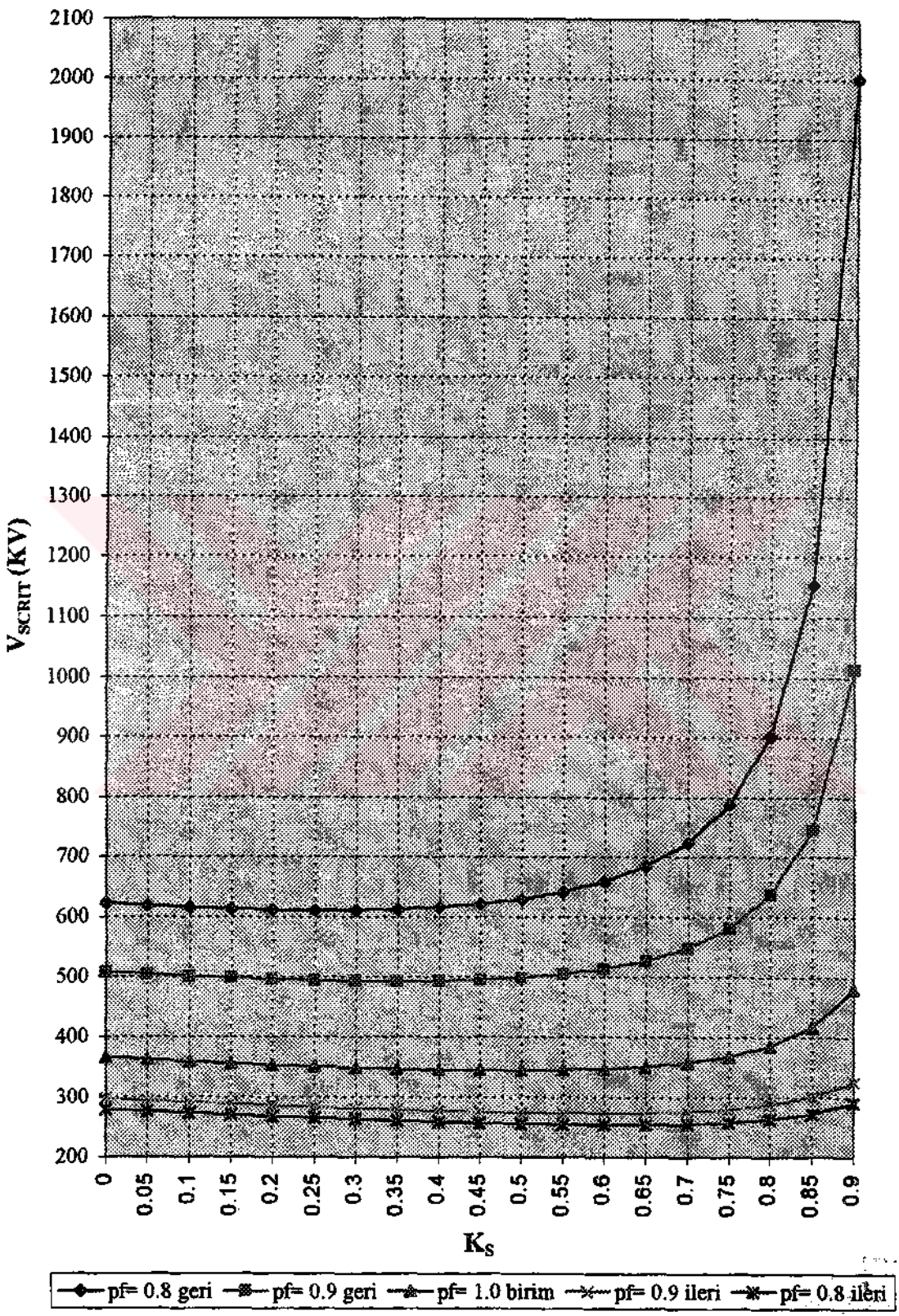



**Grafik 3.5.3.** Güç Katsayısı (pf) - Delt$_{CRIT}$

| | Vscr(KV) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Gülç Katsayısı | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| Ks | | | | | |
| 0 | 622.287892 | 508.155731 | 365.391313 | 296.992448 | 278.883679 |
| 0.05 | 618.485325 | 504.322958 | 361.92287 | 293.83587 | 275.815812 |
| 0.1 | 615.289111 | 500.90324 | 358.676808 | 290.827177 | 272.877075 |
| 0.15 | 612.774539 | 497.940252 | 355.6693 | 287.973196 | 270.072068 |
| 0.2 | 611.039967 | 495.491186 | 352.921962 | 285.283524 | 267.407524 |
| 0.25 | 610.215187 | 493.631457 | 350.463641 | 282.771386 | 264.892974 |
| 0.3 | 610.473803 | 492.461583 | 348.332985 | 280.454883 | 262.541684 |
| 0.35 | 612.051986 | 492.117482 | 346.582231 | 278.35882 | 260.372043 |
| 0.4 | 615.277841 | 492.786334 | 345.282935 | 276.517437 | 258.409633 |
| 0.45 | 620.619001 | 494.731817 | 344.534886 | 274.97863 | 256.690434 |
| 0.5 | 628.763101 | 498.335841 | 344.480456 | 273.810681 | 255.2659 |
| 0.55 | 640.760862 | 504.170735 | 345.328636 | 273.113358 | 254.211334 |
| 0.6 | 658.296519 | 513.131129 | 347.397191 | 273.03707 | 253.640288 |
| 0.65 | 684.239513 | 526.691458 | 351.190849 | 273.817608 | 253.730556 |
| 0.7 | 723.886069 | 547.452751 | 357.556473 | 275.843106 | 254.773951 |
| 0.75 | 788.147847 | 580.437367 | 368.018027 | 279.792862 | 257.278575 |
| 0.8 | 903.448517 | 636.647171 | 385.581747 | 286.952128 | 262.197457 |
| 0.85 | 1153.311514 | 745.243673 | 416.968945 | 300.009599 | 271.494914 |
| 0.9 | 2001.041537 | 1014.046824 | 480.198196 | 325.378866 | 289.731132 |
| 0.95 | 13399.73184 | 2370.616717 | 640.240536 | 381.257714 | 329.147687 |

**Tablo 4.1.** $K_S$ - $V_{SCRIT}$

**MOD 4**



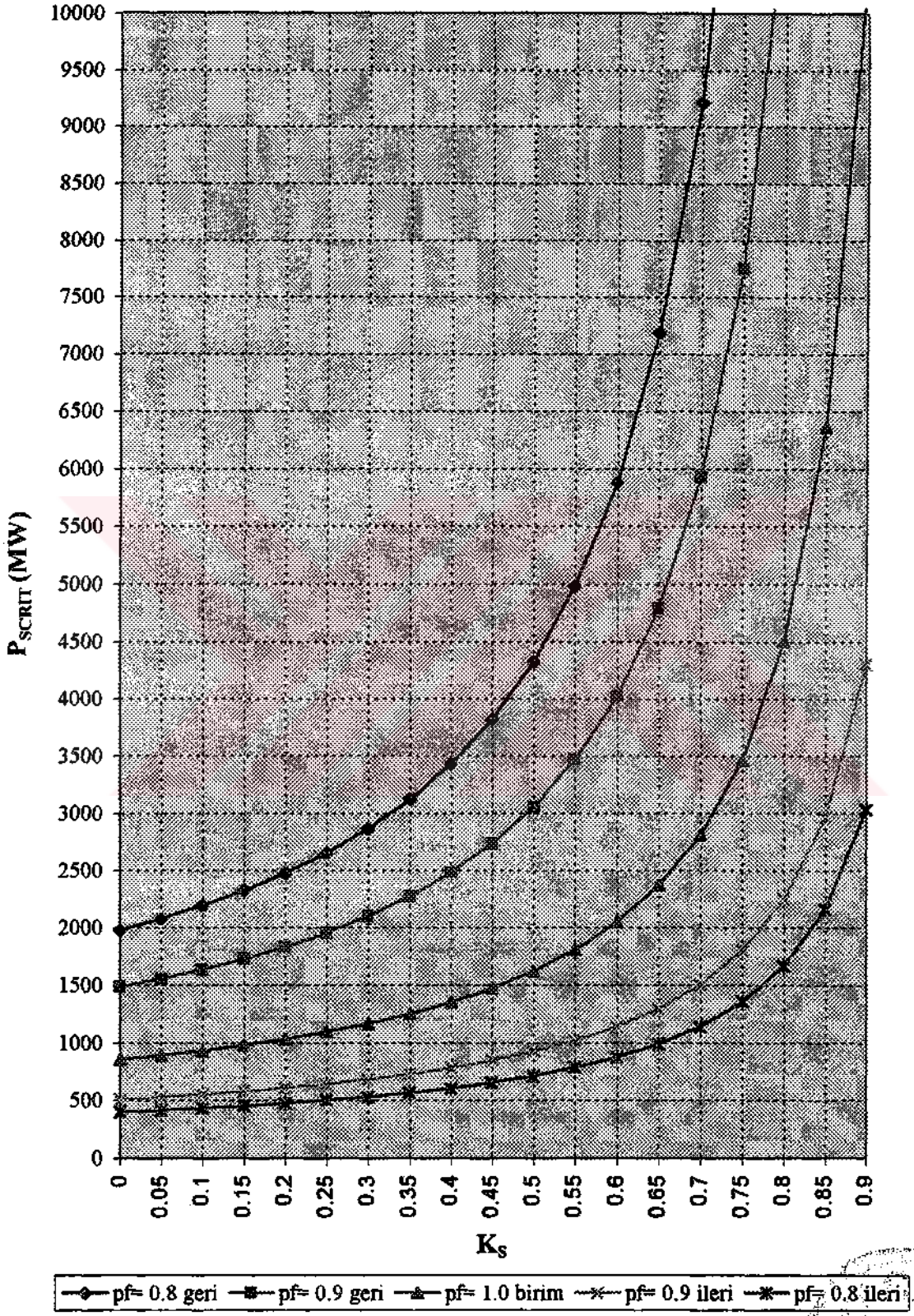

**Grafik 4.1.** $K_S$ - $V_{SCRIT}$

## MOD 4

| | Pscr(MW) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı Ks | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| 0 | 1977.601844 | 1483.550505 | 852.280604 | 506.756692 | 397.193704 |
| 0.05 | 2077.267149 | 1553.830187 | 889.151204 | 527.467492 | 413.115866 |
| 0.1 | 2191.137823 | 1633.696737 | 930.738852 | 550.723659 | 430.968314 |
| 0.15 | 2322.223492 | 1726.081361 | 977.92458 | 576.97799 | 451.08868 |
| 0.2 | 2474.447483 | 1830.473292 | 1031.825813 | 606.799073 | 473.899503 |
| 0.25 | 2653.016353 | 1953.134181 | 1093.880428 | 640.910434 | 499.936427 |
| 0.3 | 2864.982145 | 2097.418491 | 1165.969183 | 680.246616 | 529.888374 |
| 0.35 | 3120.124282 | 2269.265862 | 1250.598404 | 726.035351 | 564.65603 |
| 0.4 | 3432.382025 | 2476.982301 | 1351.180326 | 779.921041 | 605.439106 |
| 0.45 | 3822.278302 | 2732.526456 | 1472.477232 | 844.155745 | 653.870191 |
| 0.5 | 4321.223941 | 3053.721647 | 1621.331675 | 921.904581 | 712.226755 |
| 0.55 | 4979.61809 | 3468.261786 | 1807.920307 | 1017.753231 | 783.779503 |
| 0.6 | 5883.217014 | 4021.434471 | 2048.020826 | 1138.59036 | 873.390025 |
| 0.65 | 7189.303826 | 4792.207462 | 2367.374324 | 1295.226751 | 988.589696 |
| 0.7 | 9216.444413 | 5930.192312 | 2810.750346 | 1505.565867 | 1141.650091 |
| 0.75 | 12705.23705 | 7752.30115 | 3462.705719 | 1801.329536 | 1353.862714 |
| 0.8 | 19770.89643 | 11045.10102 | 4501.554254 | 2243.835234 | 1665.238688 |
| 0.85 | 38963.91447 | 18302.83835 | 6366.295013 | 2966.143435 | 2159.199257 |
| 0.9 | 144796.6543 | 41832.6002 | 10423.11145 | 4307.02631 | 3035.544795 |
| 0.95 | 8075857.94 | 284362.0681 | 23045.8539 | 7355.060644 | 4872.794219 |

**Tablo 4.2.** $K_S$ - $P_{SCRIT}$

**MOD 4**

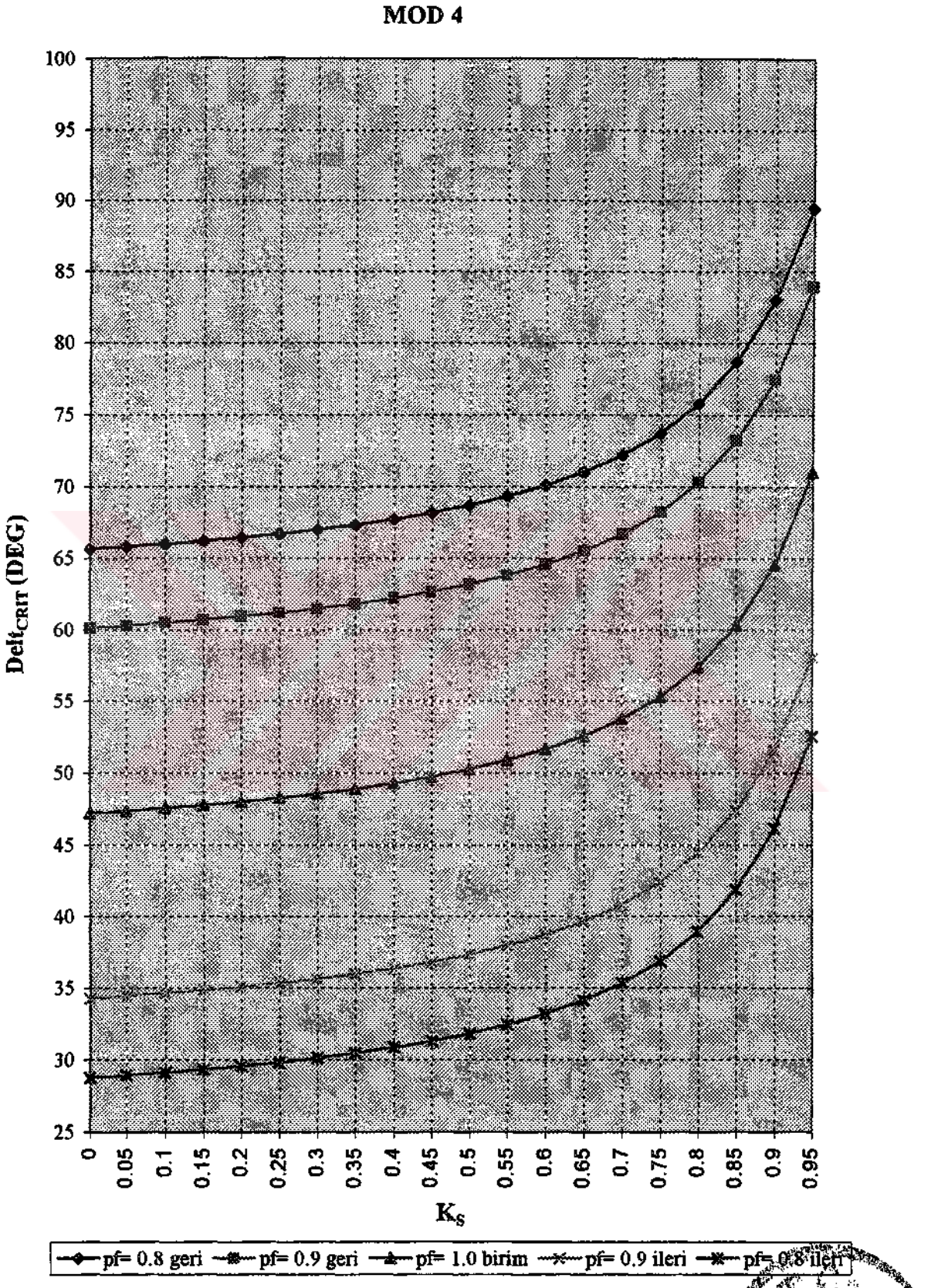



**Grafik 4.2.** $K_S$ - $P_{SCRIT}$

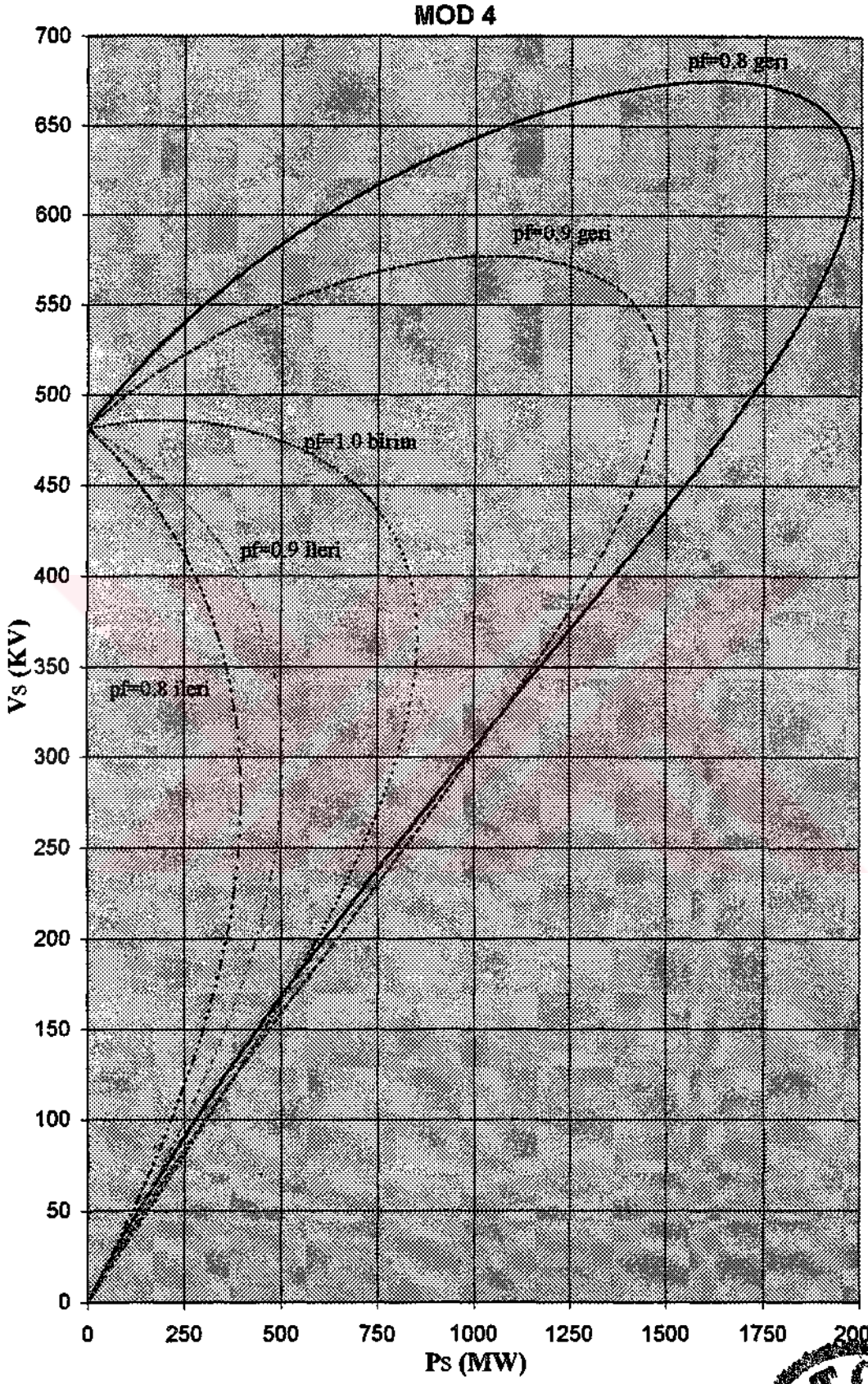
## MOD 4

| | delter(DEG) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| Ks | | | | | |
| 0 | 65.626683 | 60.112701 | 47.191735 | 34.270768 | 28.756786 |
| 0.05 | 65.798916 | 60.284934 | 47.363967 | 34.443001 | 28.929019 |
| 0.1 | 65.988232 | 60.47425 | 47.553283 | 34.632317 | 29.118334 |
| 0.15 | 66.197497 | 60.683515 | 47.762549 | 34.841582 | 29.3276 |
| 0.2 | 66.430242 | 60.91626 | 47.995293 | 35.074327 | 29.560344 |
| 0.25 | 66.690861 | 61.176878 | 48.255912 | 35.334946 | 29.820963 |
| 0.3 | 66.984895 | 61.470912 | 48.549946 | 35.62898 | 30.114997 |
| 0.35 | 67.319428 | 61.805446 | 48.884479 | 35.963513 | 30.44953 |
| 0.4 | 67.703658 | 62.189675 | 49.268709 | 36.347743 | 30.83376 |
| 0.45 | 68.149735 | 62.635753 | 49.714787 | 36.79382 | 31.279838 |
| 0.5 | 68.674035 | 63.160053 | 50.239087 | 37.31812 | 31.804138 |
| 0.55 | 69.299122 | 63.78514 | 50.864173 | 37.943207 | 32.429224 |
| 0.6 | 70.056896 | 64.542913 | 51.621947 | 38.70098 | 33.186998 |
| 0.65 | 70.993797 | 65.479814 | 52.558848 | 39.637882 | 34.123899 |
| 0.7 | 72.179734 | 66.665751 | 53.744785 | 40.823819 | 35.309836 |
| 0.75 | 73.723975 | 68.209992 | 55.289026 | 42.36806 | 36.854077 |
| 0.8 | 75.804373 | 70.290391 | 57.369425 | 44.448458 | 38.934476 |
| 0.85 | 78.721575 | 73.207593 | 60.286627 | 47.36566 | 41.851678 |
| 0.9 | 82.992085 | 77.478102 | 64.557136 | 51.63617 | 46.122187 |
| 0.95 | 89.44227 | 83.928288 | 71.007321 | 58.086355 | 52.572372 |

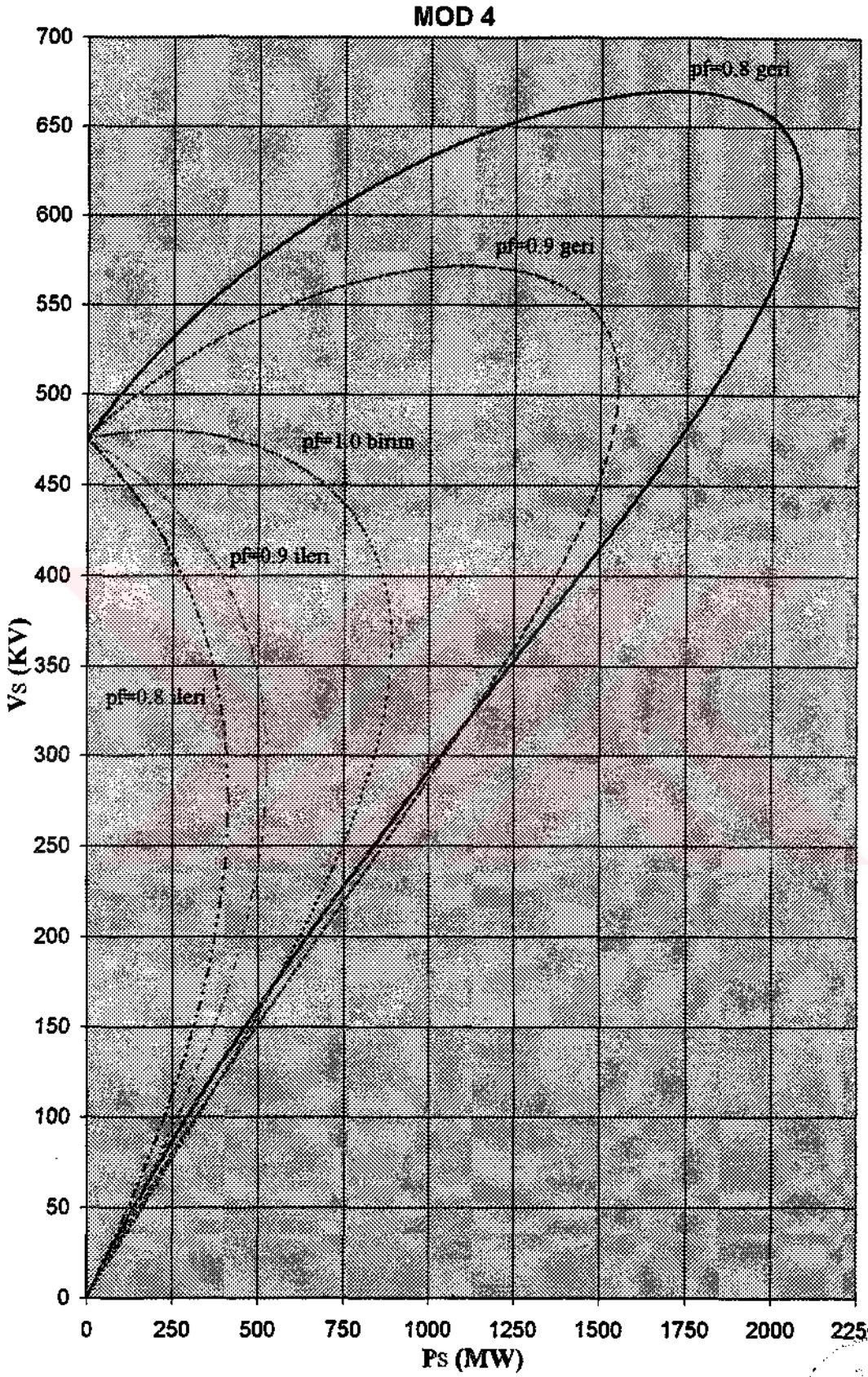
**Tablo 4.3.** $K_S$ - $delt_{CRIT}$



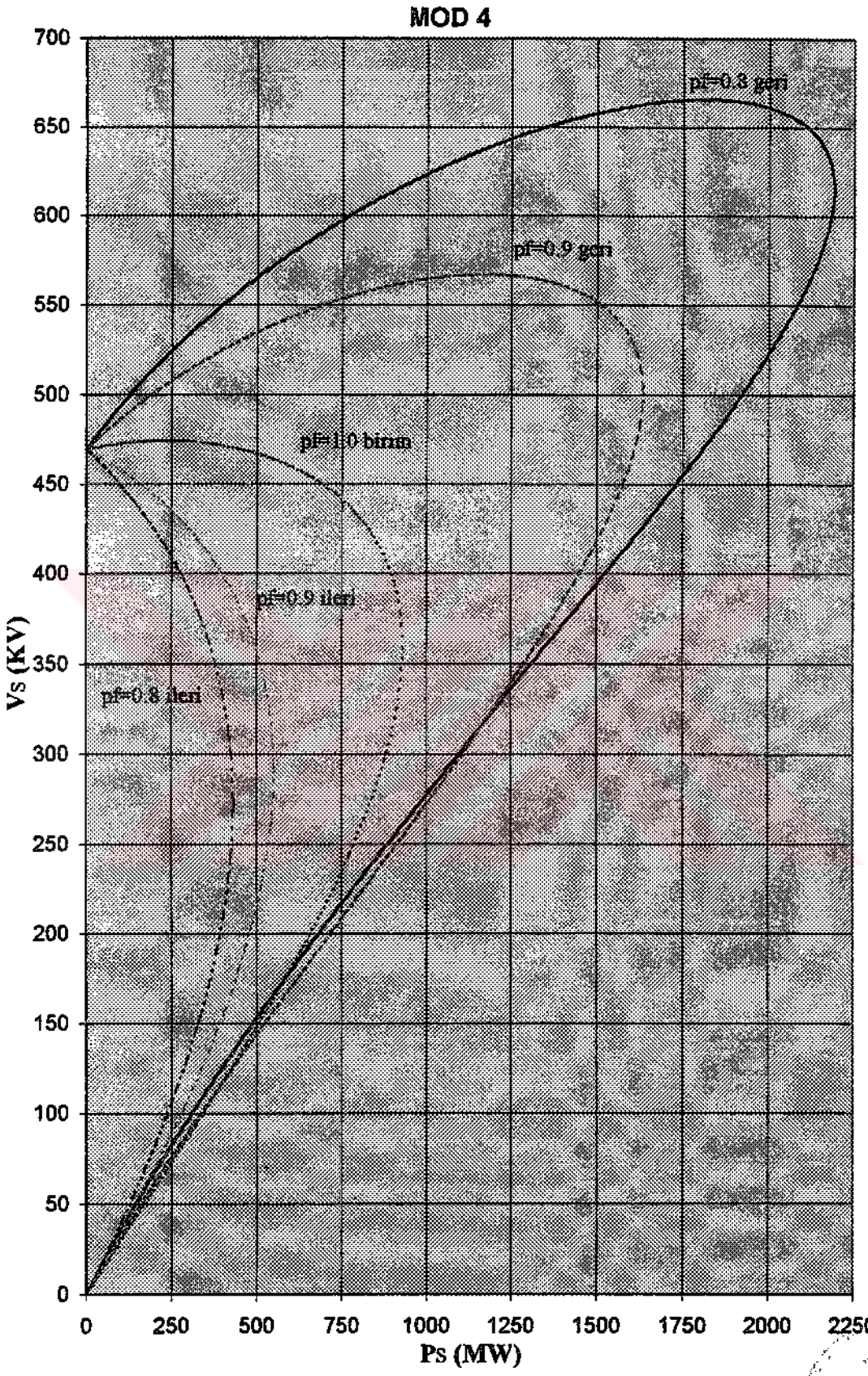

**Grafik 4.3.** $K_S$ - $Delt_{CRIT}$



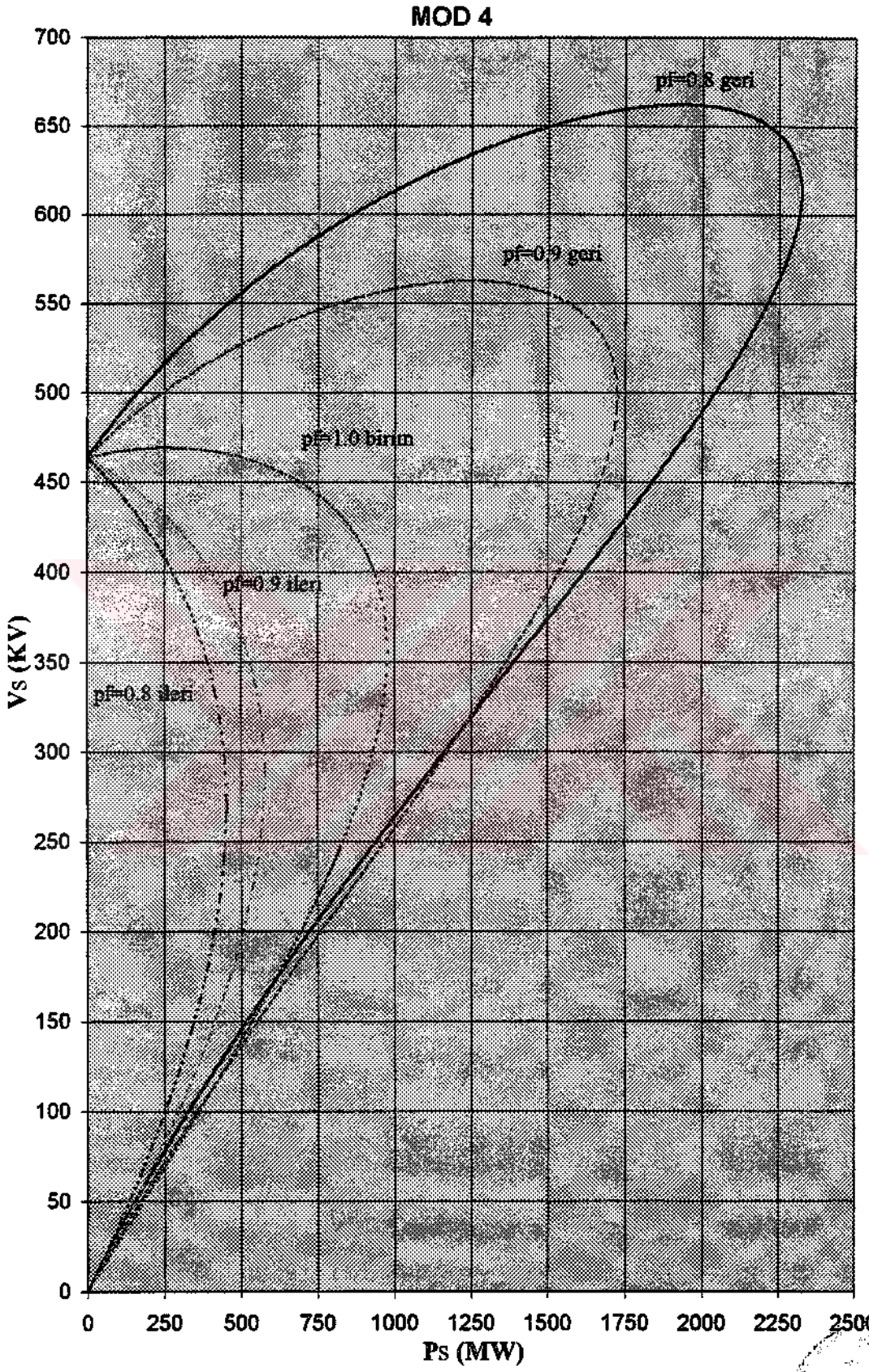

**Grafik 4.4.1.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.00)



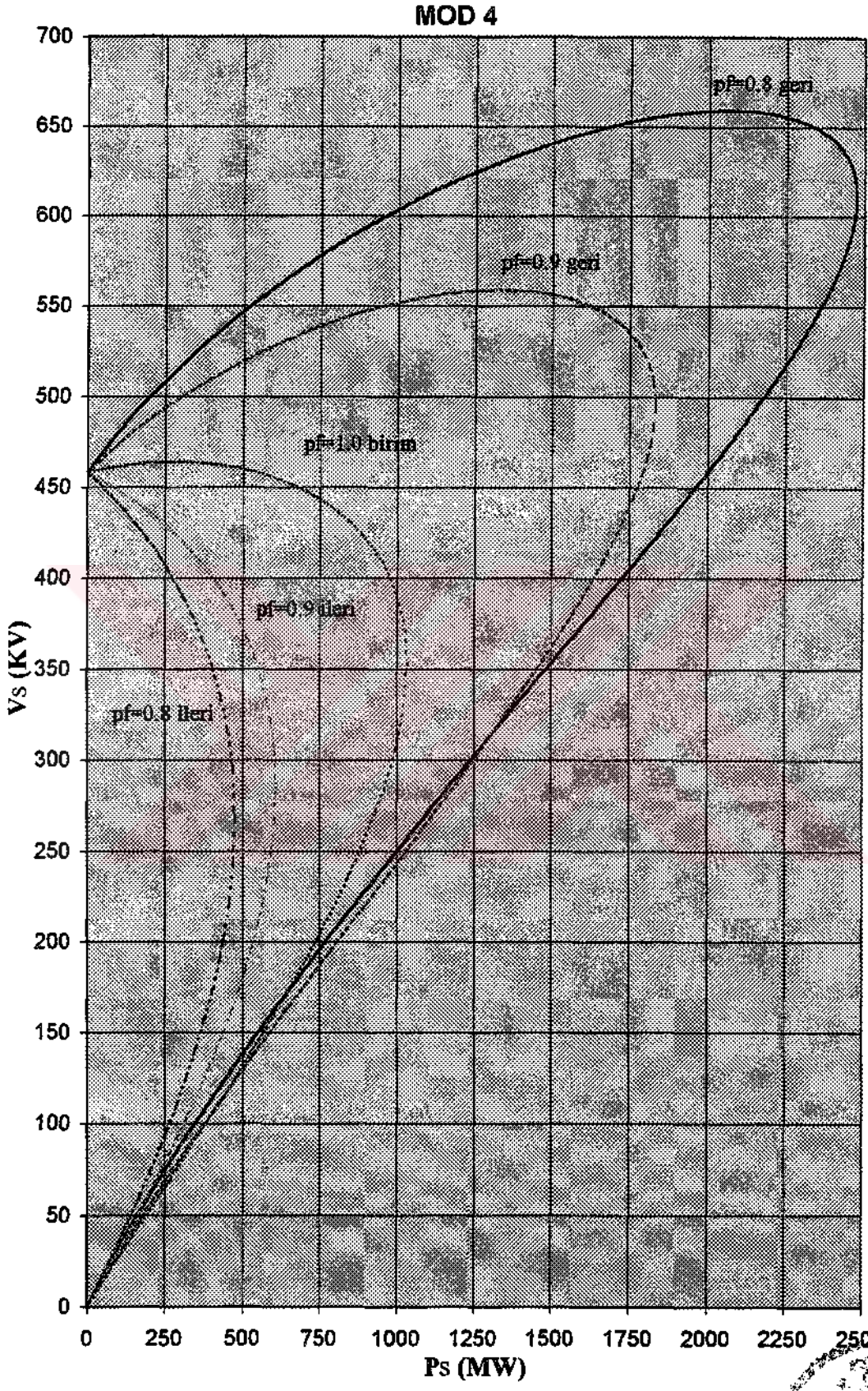

**Grafik 4.4.2.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.05)



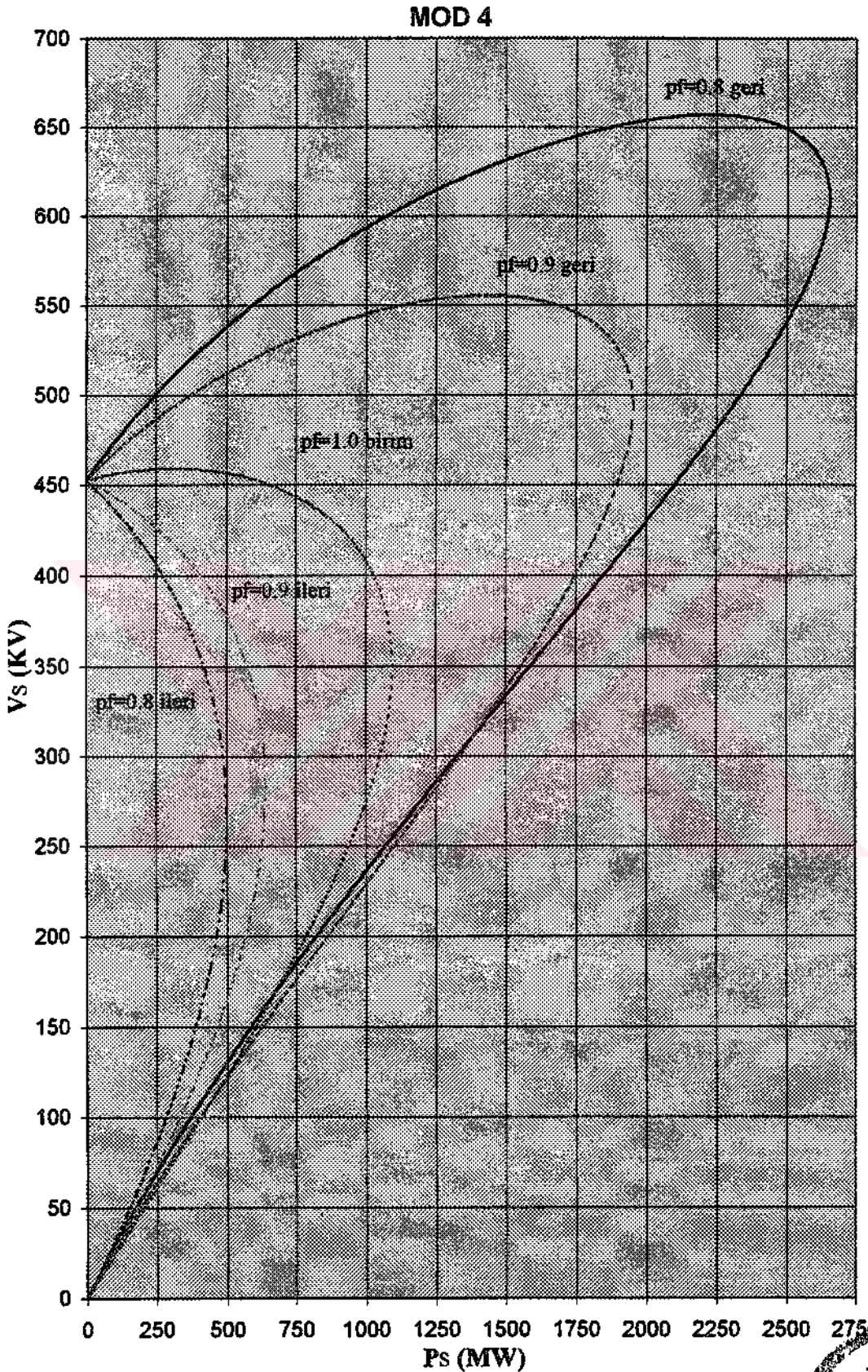

**Grafik 4.4.3.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.10)



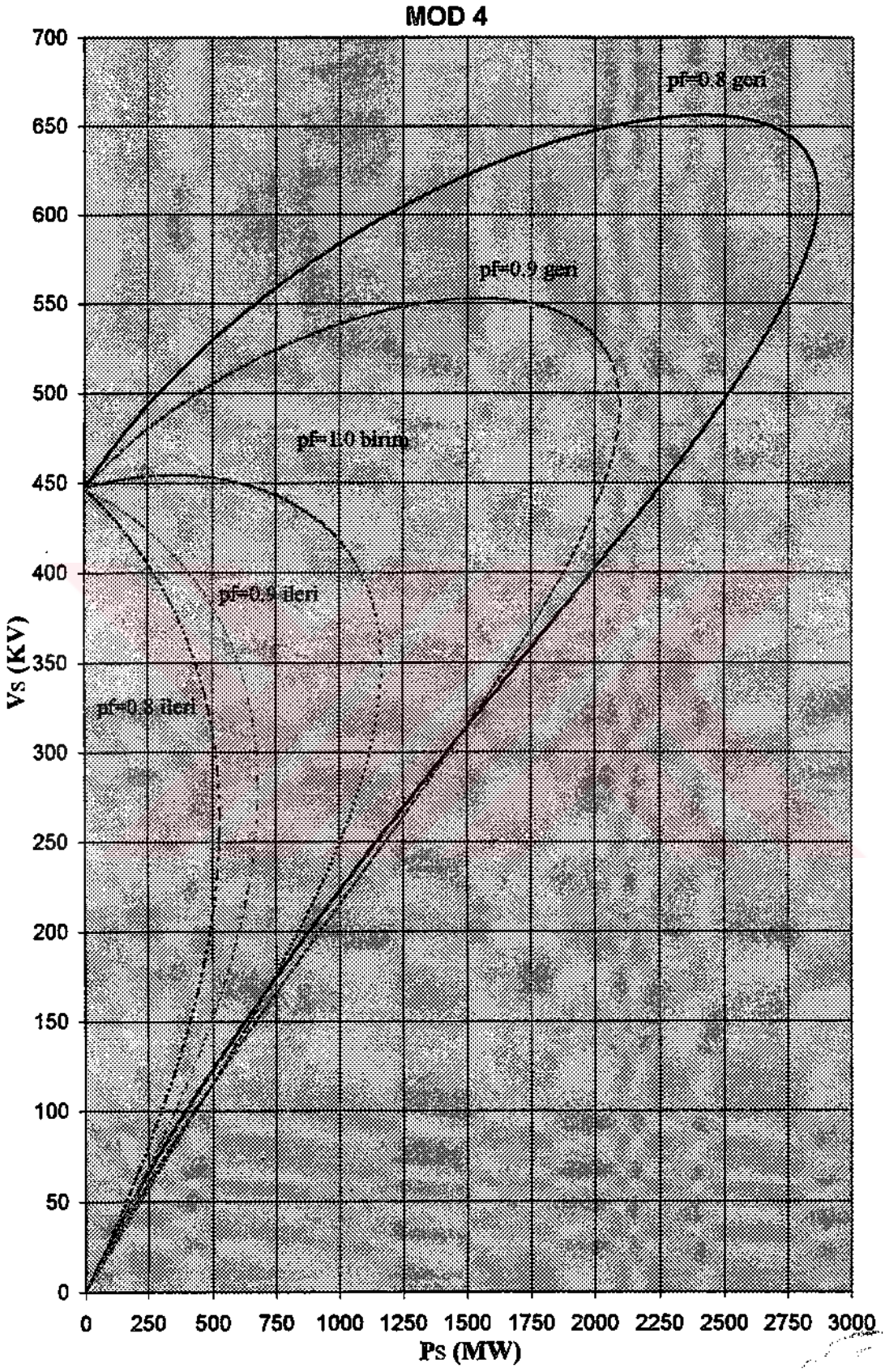

**Grafik 4.4.4.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.15)



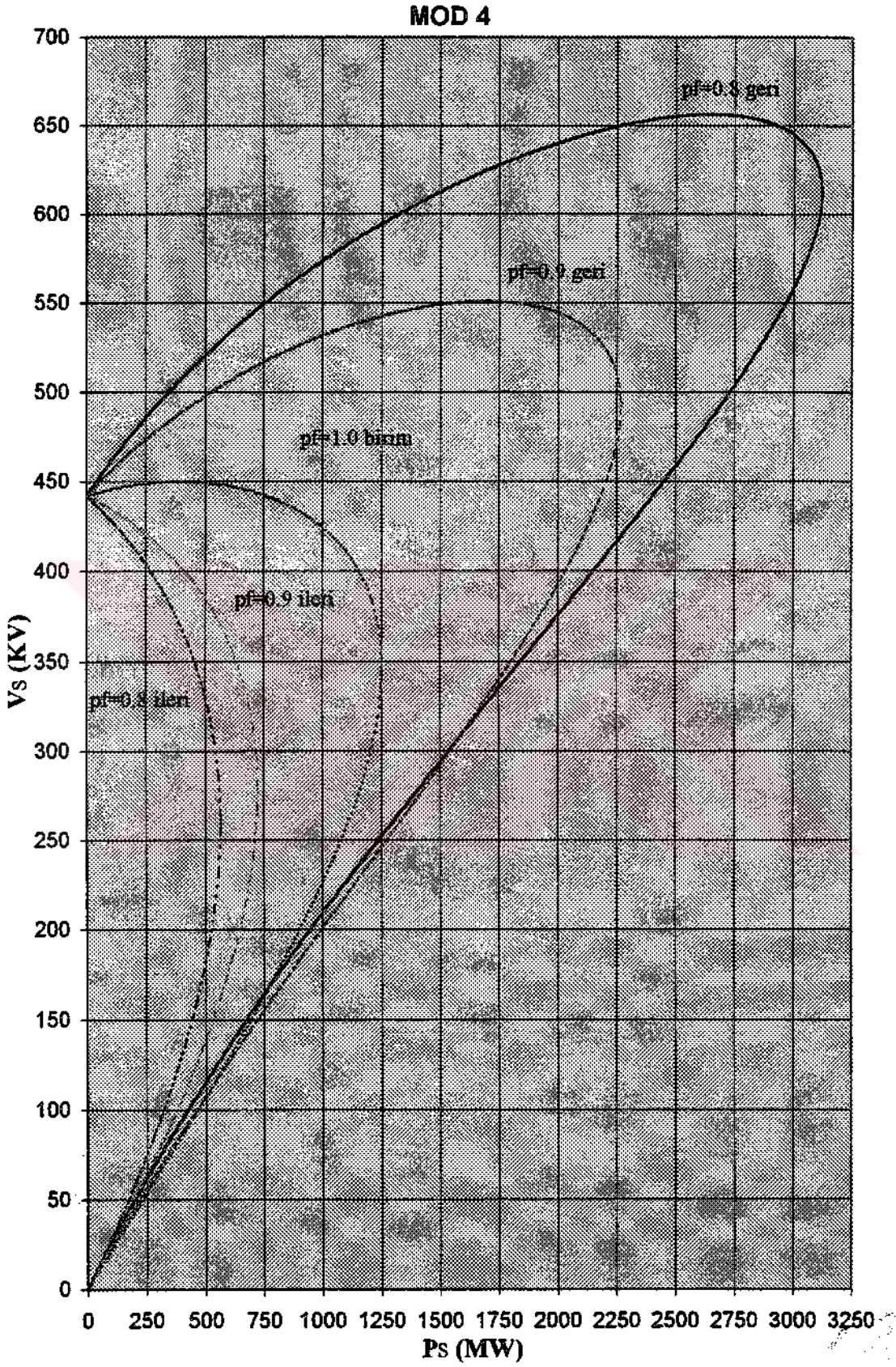

**Grafik 4.4.5.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.20)



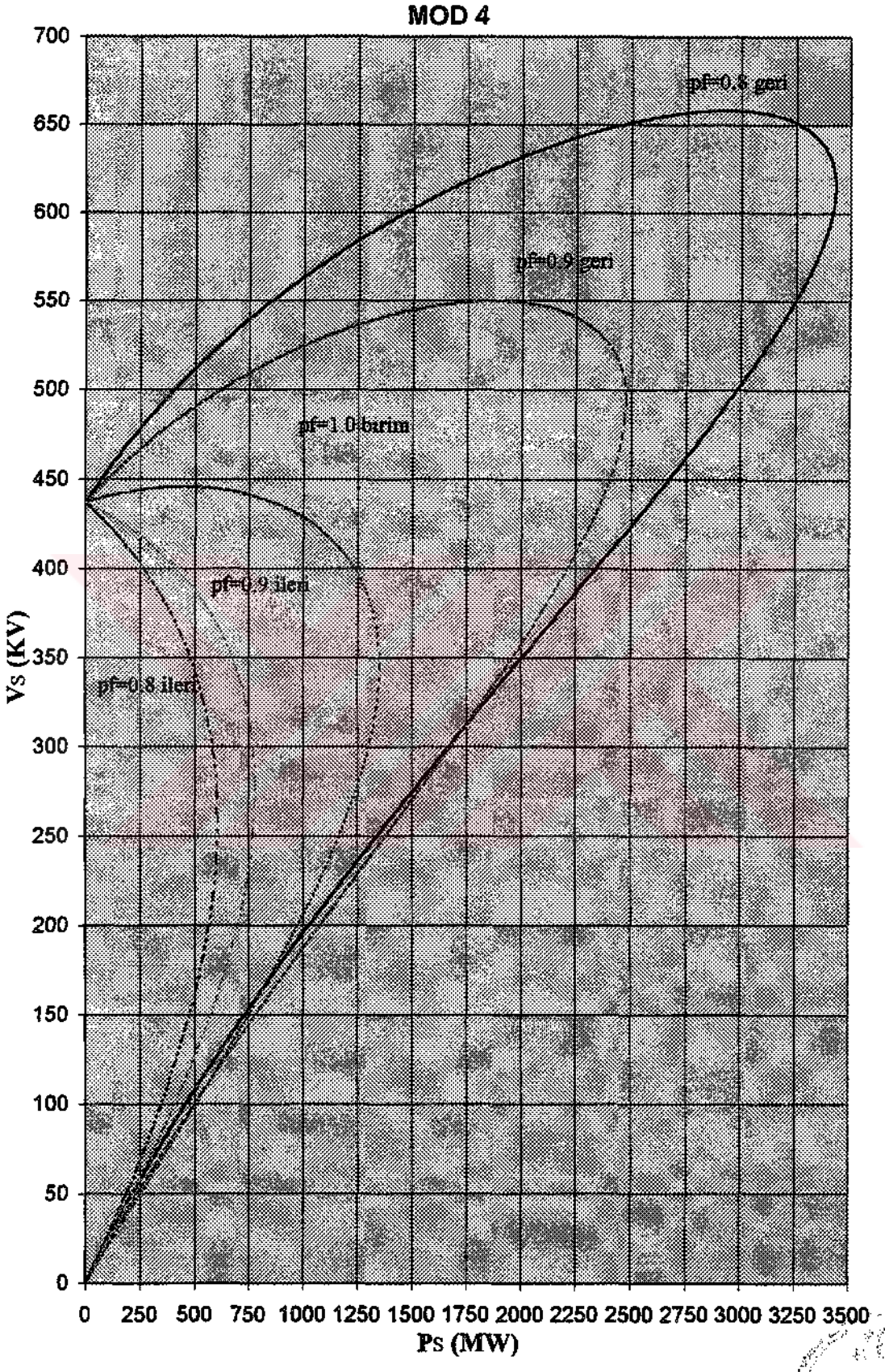

**Grafik 4.4.6.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.25)



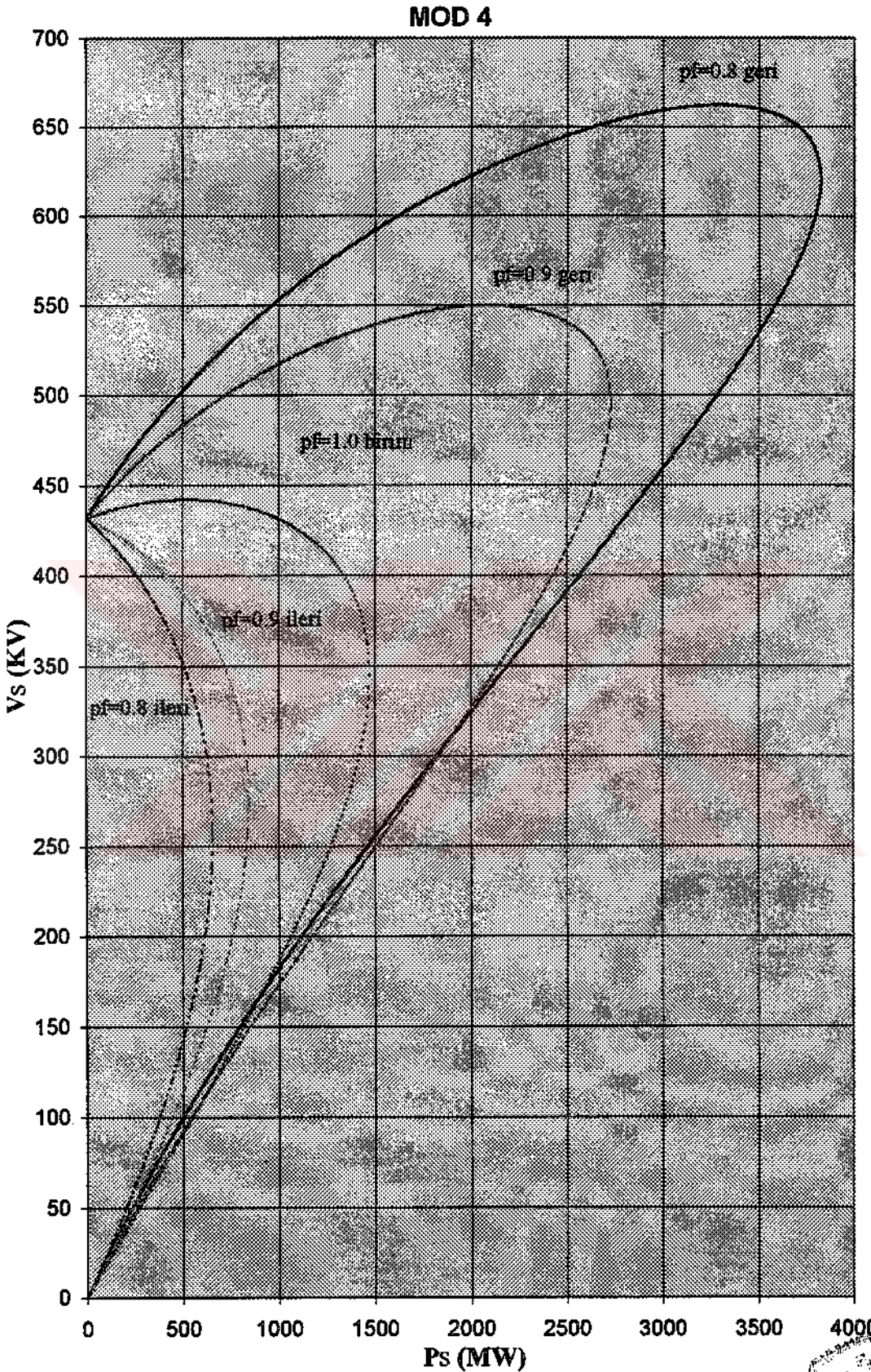

**Grafik 4.4.7.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.30)



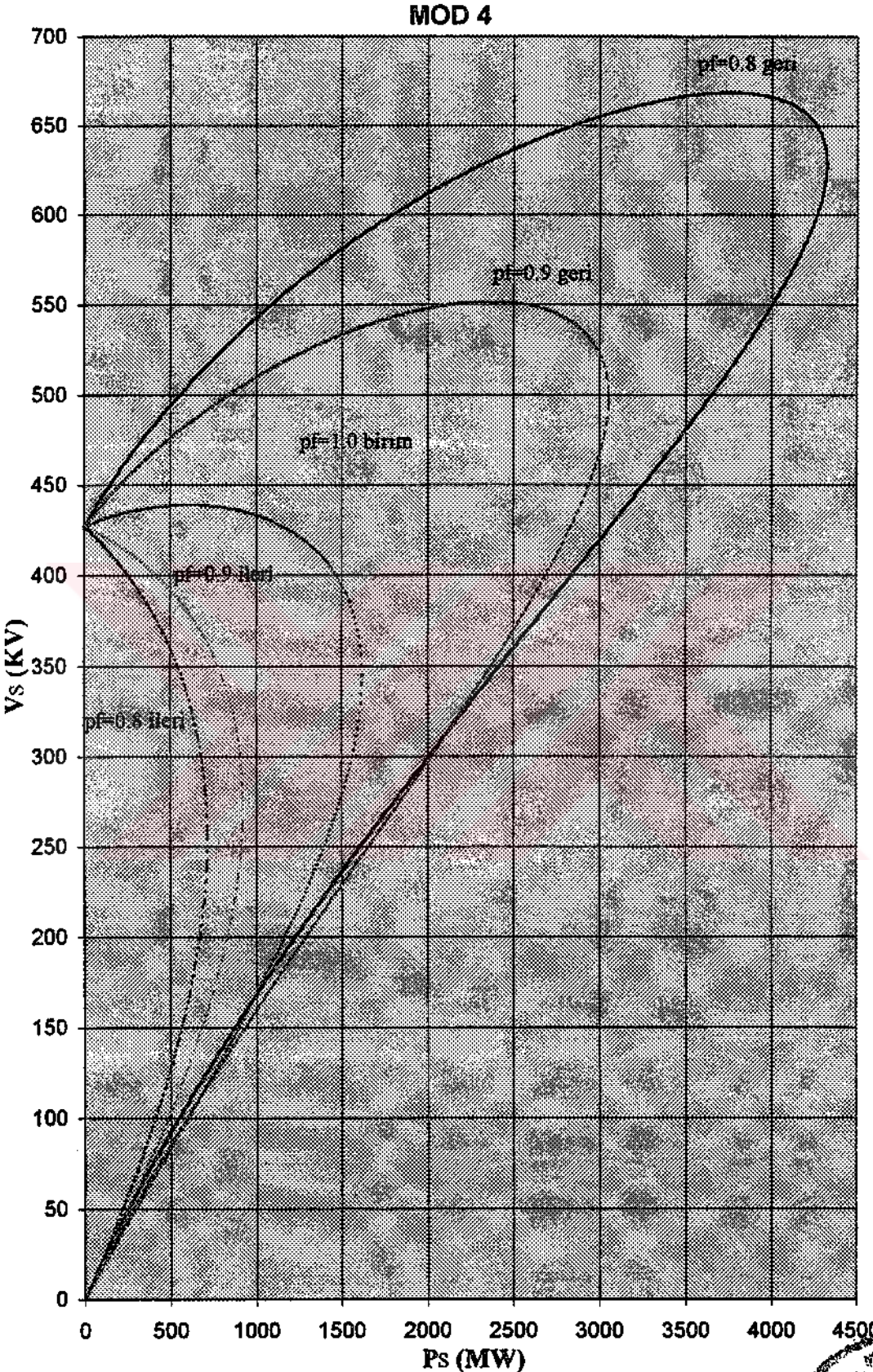

**Grafik 4.4.8.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.35)



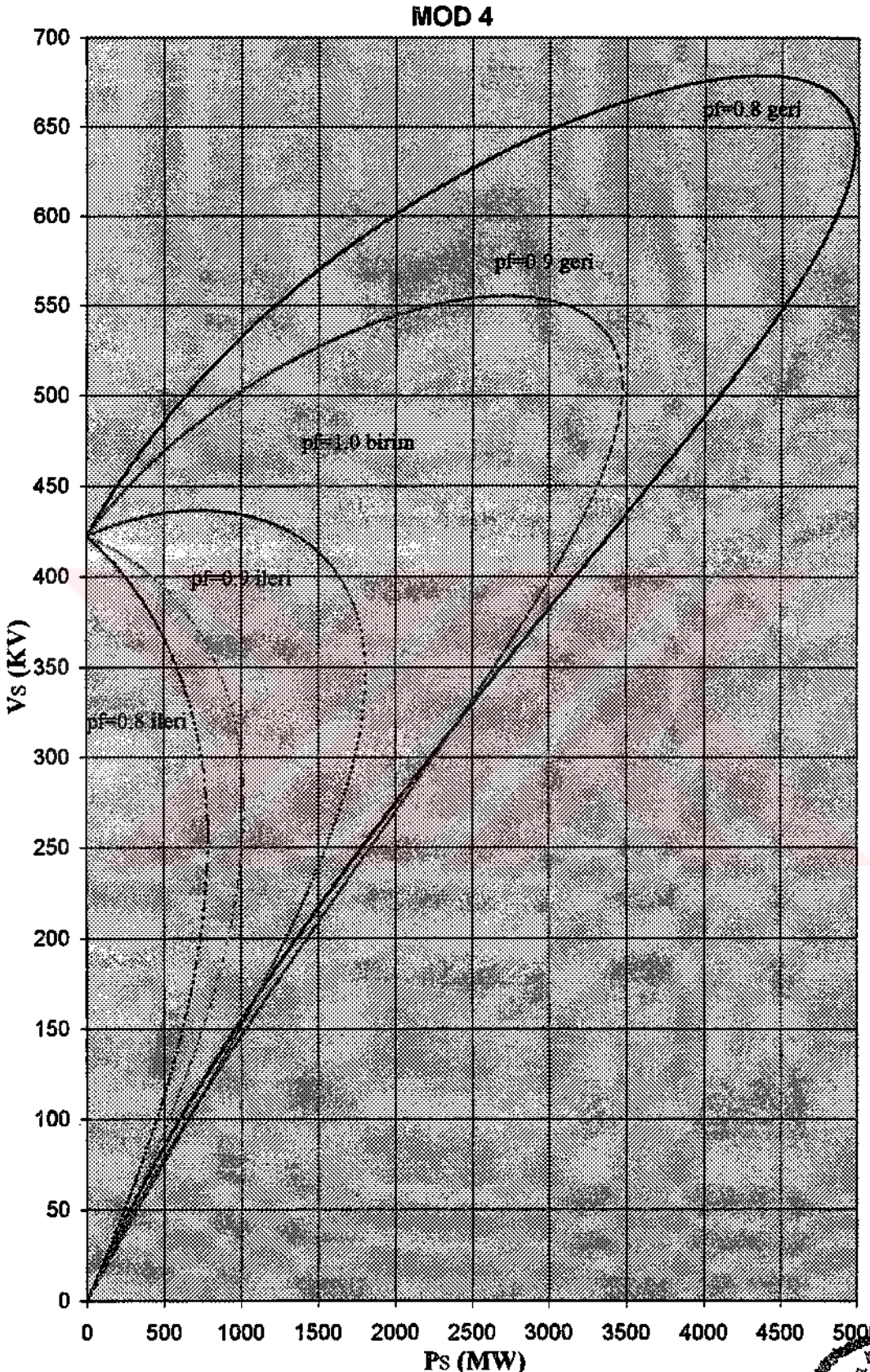

**Grafik 4.4.9.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.40)



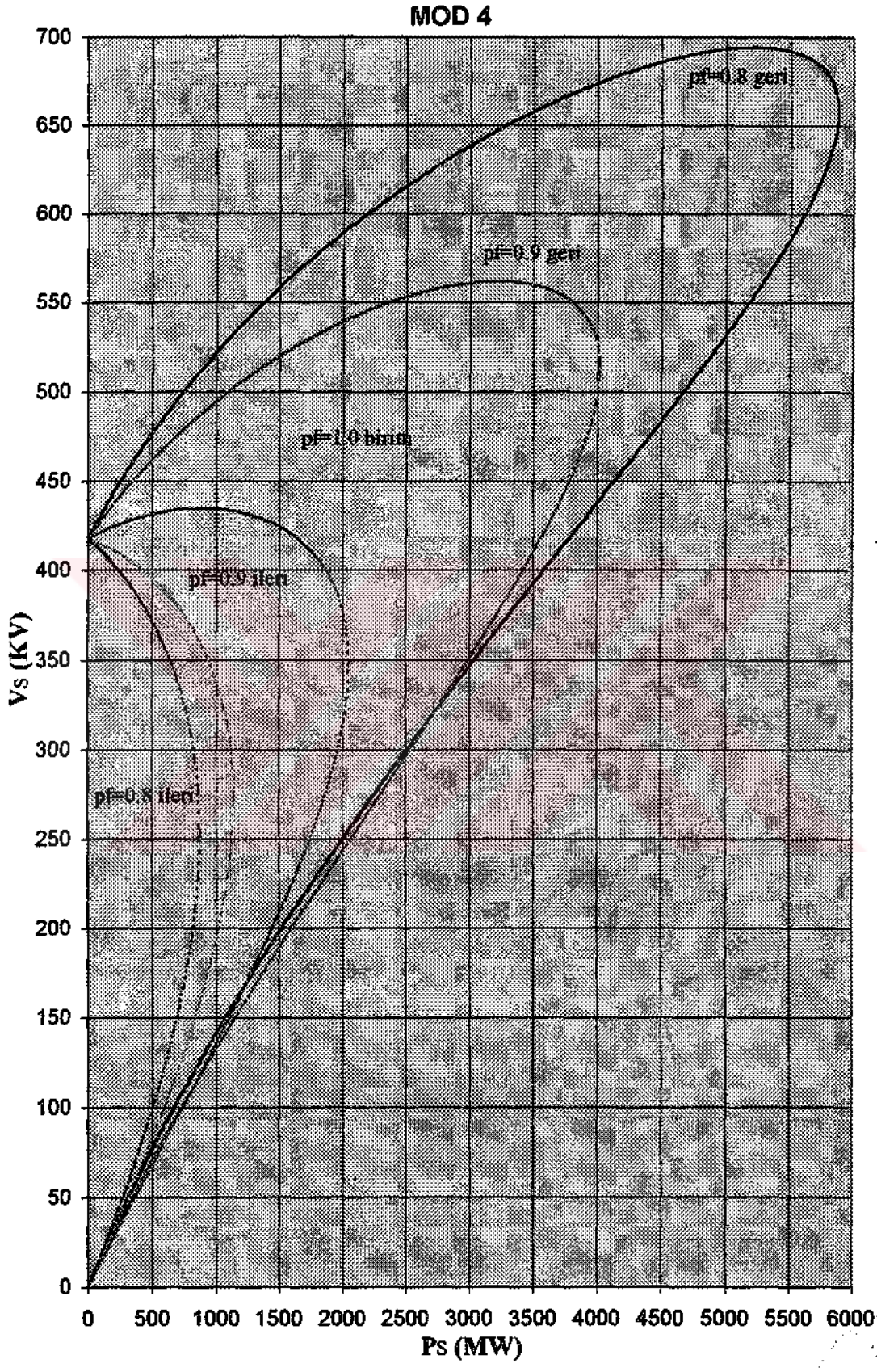

**Grafik 4.4.10.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.45)



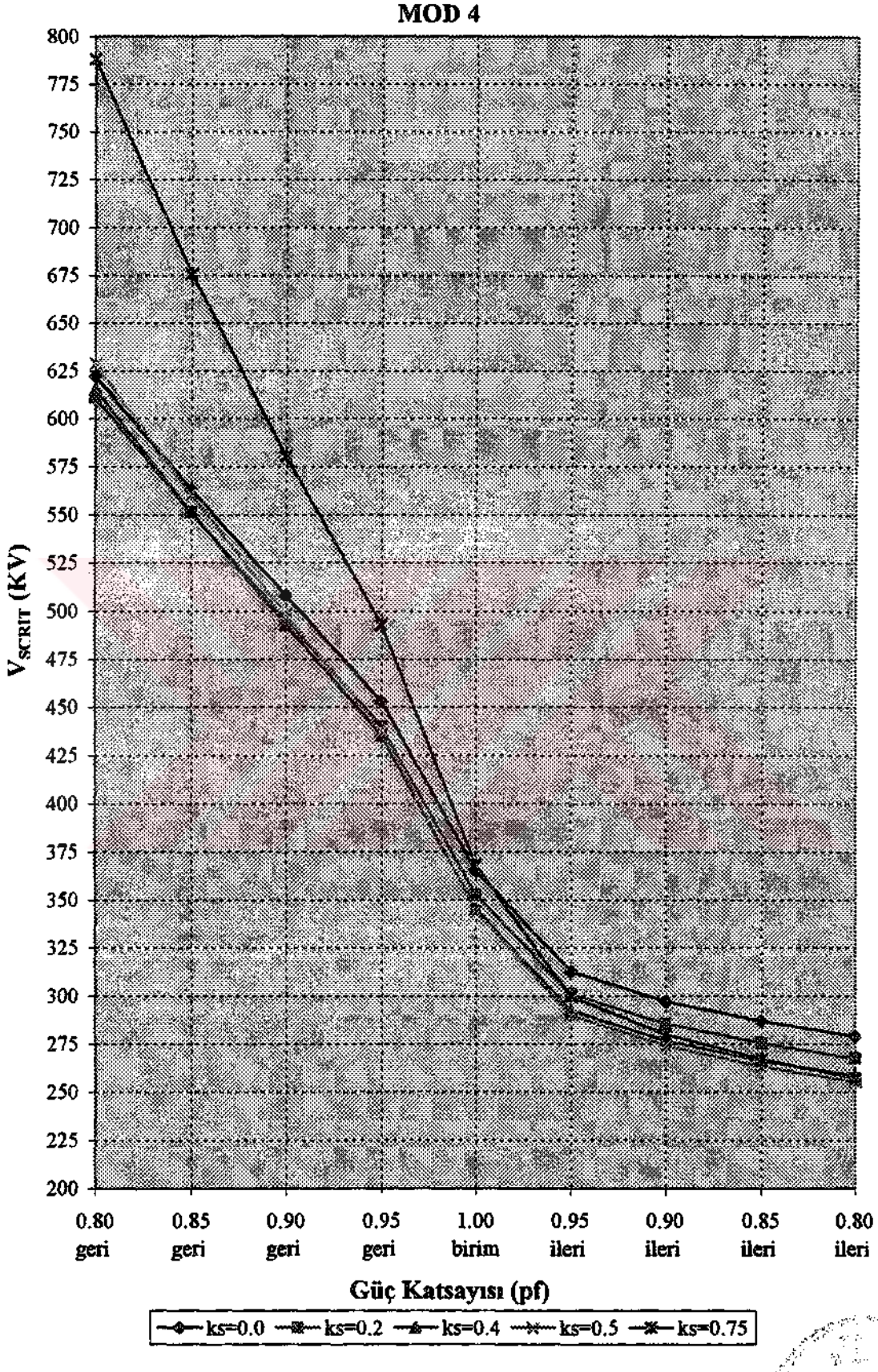

**Grafik 4.4.11.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.50)



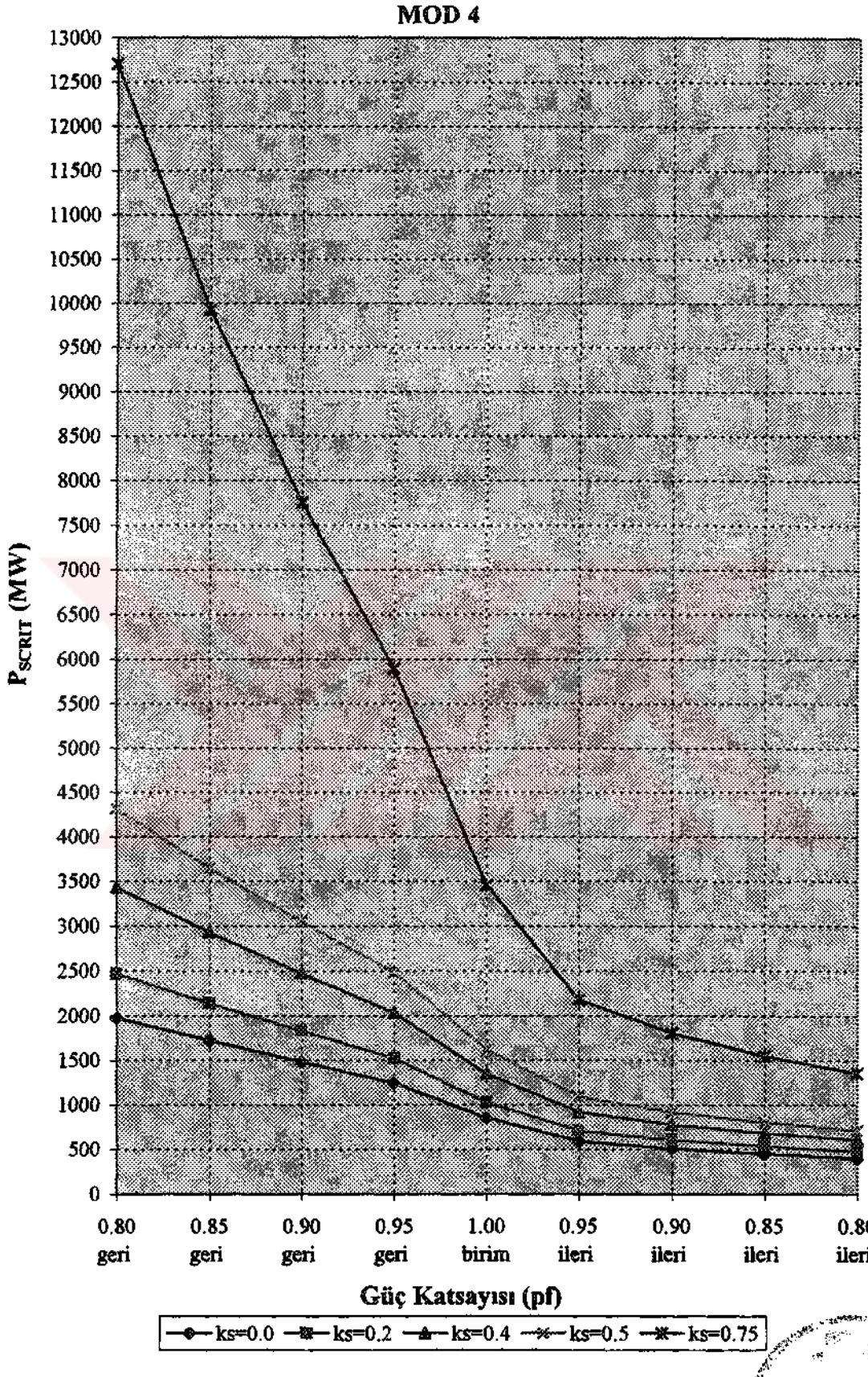

**Grafik 4.4.12.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.55)



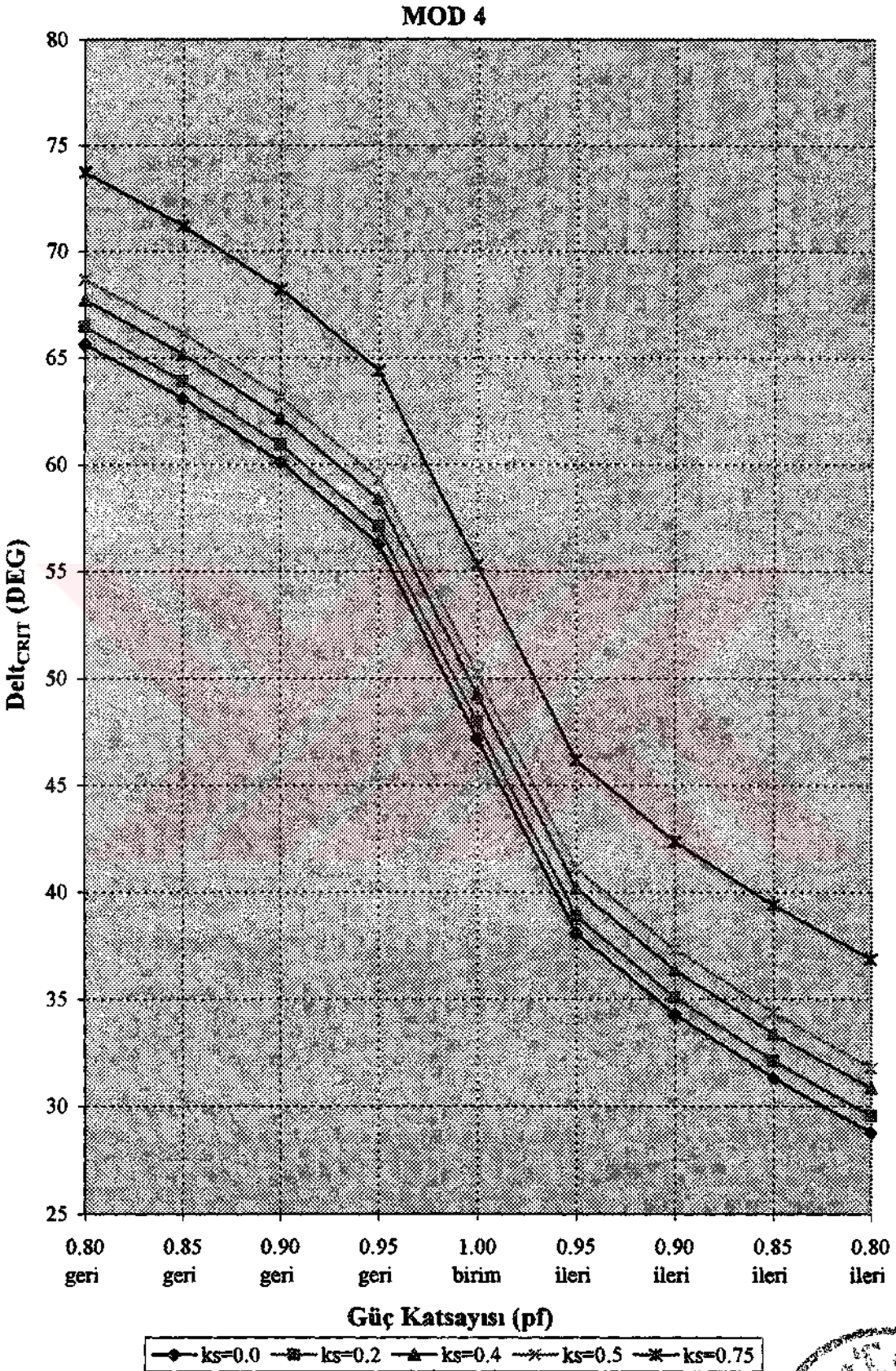

**Grafik 4.4.13.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.60)




**Grafik 4.5.1.** Güç Katsayısı (pf) - $V_{SCRIT}$




**Grafik 4.5.2.** Güç Katsayısı (pf) - $P_{SCRIT}$



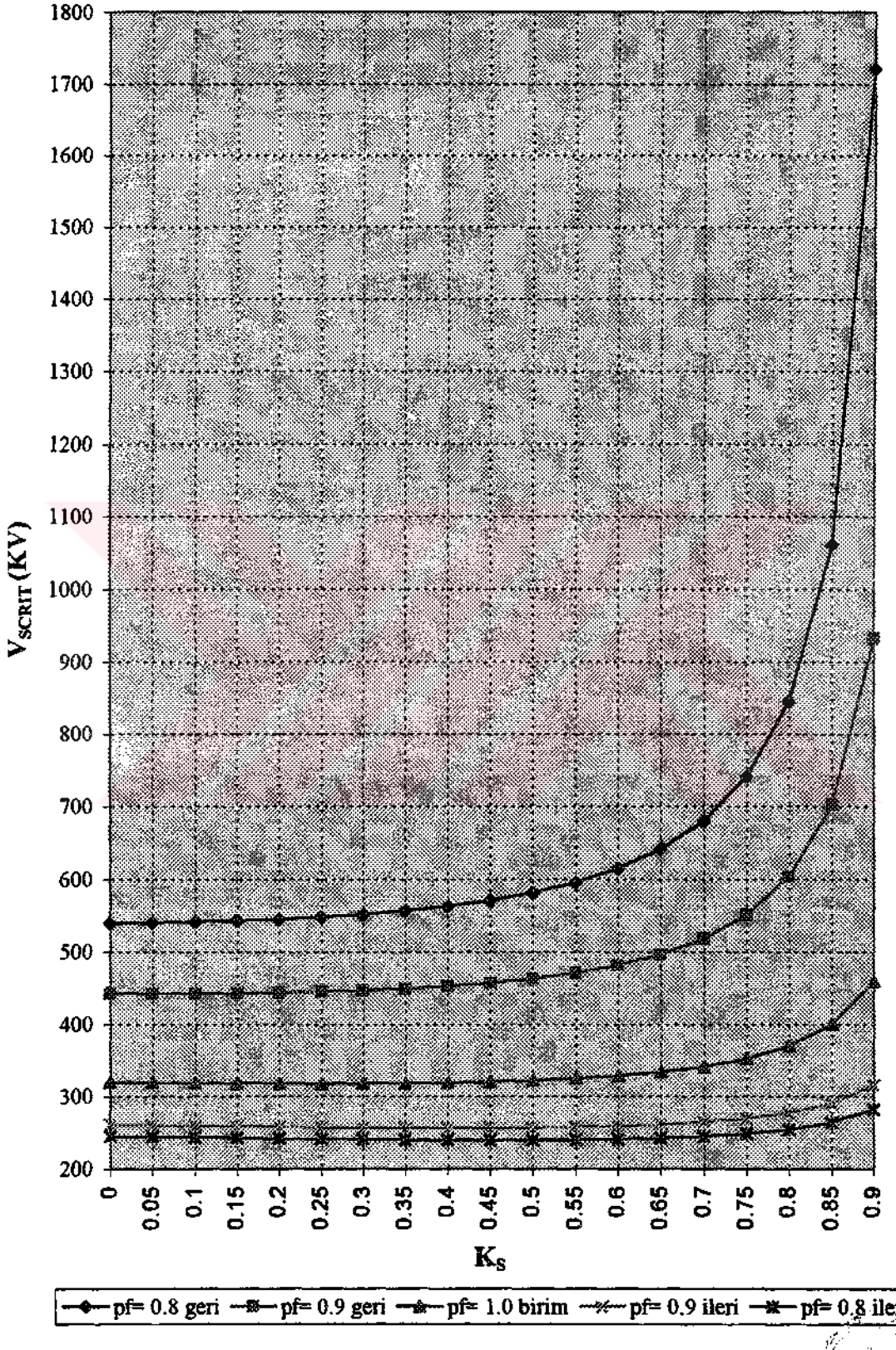

**Grafik 4.5.3.** Güç Katsayısı (pf) - Delt$_{CRIT}$

## MOD 5

| | Vscr(KV) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı Ks | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| 0 | 539.795845 | 442.615199 | 320.071772 | 261.022889 | 245.37536 |
| 0.05 | 540.345924 | 442.425448 | 319.297351 | 260.085856 | 244.400043 |
| 0.1 | 541.324677 | 442.509477 | 318.648814 | 259.219191 | 243.481235 |
| 0.15 | 542.808533 | 442.91353 | 318.145268 | 258.43244 | 242.626165 |
| 0.2 | 544.895021 | 443.696275 | 317.810811 | 257.737638 | 241.84396 |
| 0.25 | 547.710476 | 444.933201 | 317.676222 | 257.15014 | 241.146275 |
| 0.3 | 551.421395 | 446.723014 | 317.781395 | 256.689806 | 240.548201 |
| 0.35 | 556.251584 | 449.197172 | 318.178904 | 256.382733 | 240.069577 |
| 0.4 | 562.508857 | 452.53452 | 318.939374 | 256.26384 | 239.736951 |
| 0.45 | 570.628103 | 456.984454 | 320.15981 | 256.38084 | 239.586602 |
| 0.5 | 581.243642 | 462.905035 | 321.976941 | 256.800541 | 239.669299 |
| 0.55 | 595.316923 | 470.828516 | 324.589451 | 257.619204 | 240.058135 |
| 0.6 | 614.375705 | 481.580151 | 328.296767 | 258.980313 | 240.861902 |
| 0.65 | 640.996373 | 496.50806 | 333.570481 | 261.106628 | 242.249128 |
| 0.7 | 679.873023 | 517.965549 | 341.194906 | 264.361504 | 244.493783 |
| 0.75 | 740.505762 | 550.4352 | 352.567181 | 269.374923 | 248.068401 |
| 0.8 | 845.284851 | 603.54909 | 370.408349 | 277.326103 | 253.850184 |
| 0.85 | 1061.671707 | 702.069923 | 400.696024 | 290.649316 | 263.625049 |
| 0.9 | 1722.015317 | 932.326535 | 459.030613 | 315.049896 | 281.47561 |
| 0.95 | 40860.79494 | 1906.226098 | 598.983136 | 366.32046 | 318.149868 |

**Tablo 5.1.** $K_S$ - $V_{SCRIT}$

**MOD 5**




**Grafik 5.1.** $K_S$ - $V_{SCRIT}$

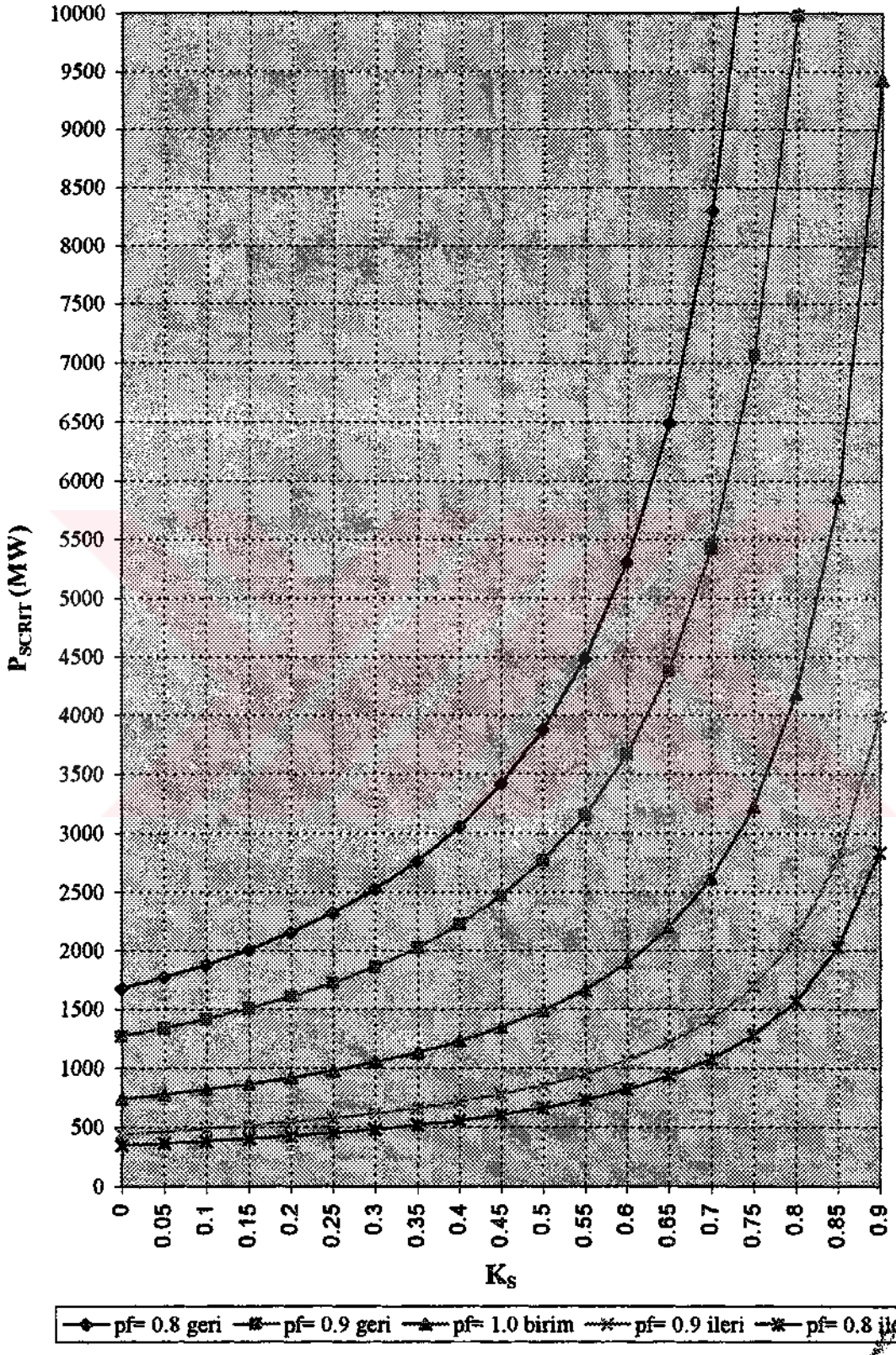
## MOD 5

| | Pscr(MW) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı Ks | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| 0 | 1674.963168 | 1266.926312 | 736.12395 | 440.611567 | 346.105171 |
| 0.05 | 1771.73123 | 1336.247179 | 773.311957 | 461.785267 | 362.457121 |
| 0.1 | 1881.576441 | 1414.503059 | 814.968535 | 485.392476 | 380.65997 |
| 0.15 | 2007.270857 | 1503.498721 | 861.933171 | 511.869467 | 401.040206 |
| 0.2 | 2152.418801 | 1605.554996 | 915.268347 | 541.762961 | 424.005596 |
| 0.25 | 2321.790169 | 1723.705327 | 976.338251 | 575.767207 | 450.071993 |
| 0.3 | 2521.825677 | 1861.988577 | 1046.923106 | 614.776989 | 479.901453 |
| 0.35 | 2761.425934 | 2025.897313 | 1129.38926 | 659.965064 | 514.357565 |
| 0.4 | 3053.226736 | 2223.086063 | 1226.94929 | 712.898182 | 554.587764 |
| 0.45 | 3415.744289 | 2464.531717 | 1344.072446 | 775.715897 | 602.149171 |
| 0.5 | 3877.158005 | 2766.517364 | 1487.156323 | 851.41532 | 659.207108 |
| 0.55 | 4482.368955 | 3154.199675 | 1665.673824 | 944.322057 | 728.859802 |
| 0.6 | 5307.112333 | 3668.42709 | 1894.233166 | 1060.904369 | 815.692435 |
| 0.65 | 6488.720595 | 4379.787682 | 2196.509899 | 1211.256841 | 926.77087 |
| 0.7 | 8301.099099 | 5420.436405 | 2613.334911 | 1411.981249 | 1073.53355 |
| 0.75 | 11367.11572 | 7065.750818 | 3220.973686 | 1692.233329 | 1275.66397 |
| 0.8 | 17405.40205 | 9982.874477 | 4177.817231 | 2107.715117 | 1569.75854 |
| 0.85 | 32940.07219 | 16205.30904 | 5865.217705 | 2777.379275 | 2031.03499 |
| 0.9 | 106148.6635 | 35004.92271 | 9428.309341 | 3997.161667 | 2836.103328 |
| 0.95 | 73927480.14 | 181006.2725 | 19857.81608 | 6684.47269 | 4481.834082 |

**Tablo 5.2.** $K_S$ - $P_{SCRIT}$

DOKU

**MOD 5**



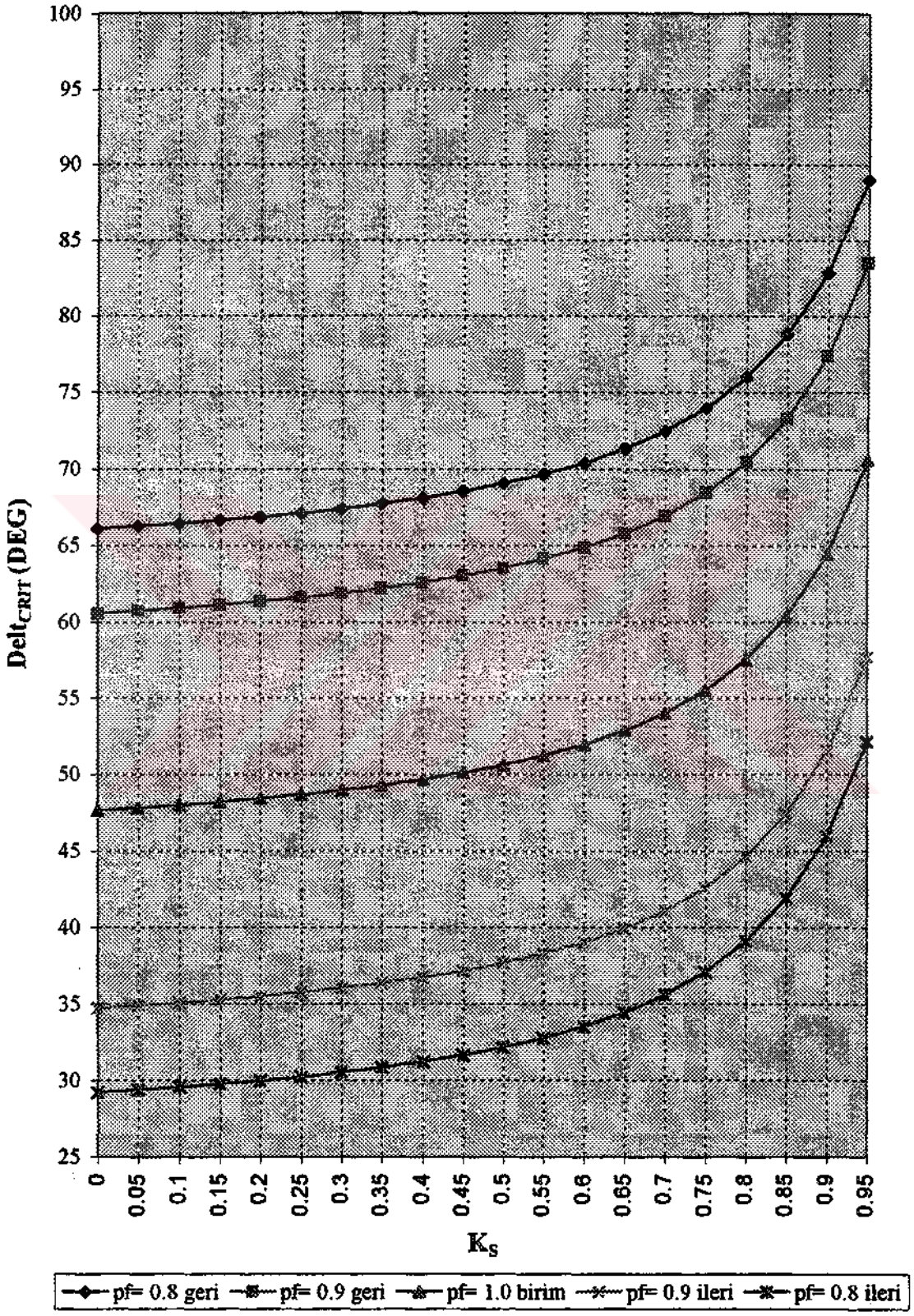

**Grafik 5.2.** $K_S$ - $P_{SCRIT}$

## MOD 5

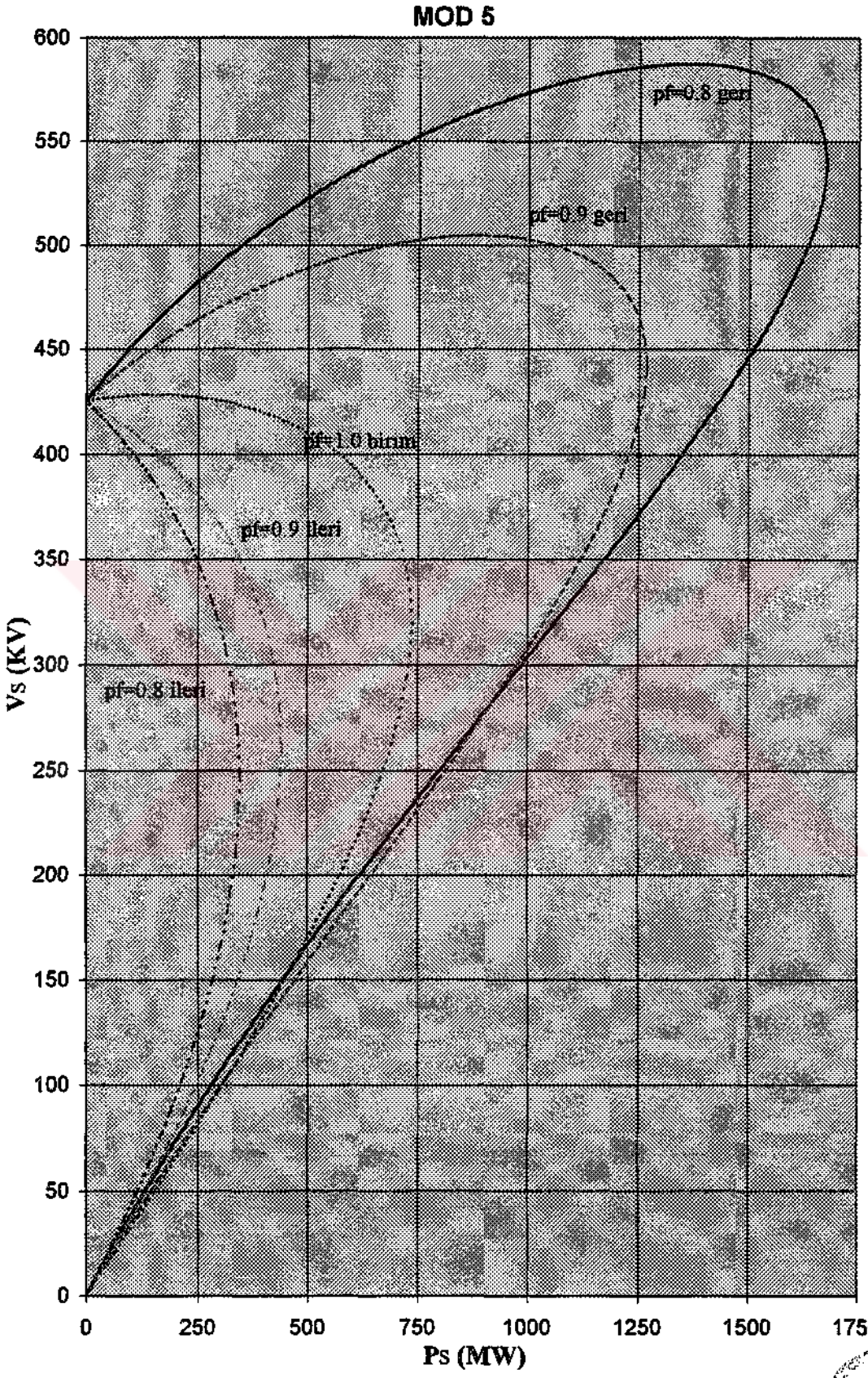
| | delter(DEG) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| Ks | | | | | |
| 0 | 66.079671 | 60.565689 | 47.644722 | 34.723756 | 29.209774 |
| 0.05 | 66.243983 | 60.73 | 47.809034 | 34.888067 | 29.374085 |
| 0.1 | 66.425364 | 60.911382 | 47.990415 | 35.069449 | 29.555466 |
| 0.15 | 66.626626 | 61.112644 | 48.191677 | 35.270711 | 29.756728 |
| 0.2 | 66.851227 | 61.337244 | 48.416278 | 35.495312 | 29.981329 |
| 0.25 | 67.103468 | 61.589486 | 48.66852 | 35.747553 | 30.233571 |
| 0.3 | 67.38877 | 61.874787 | 48.953821 | 36.032855 | 30.518872 |
| 0.35 | 67.714049 | 62.200067 | 49.2791 | 36.358134 | 30.844152 |
| 0.4 | 68.088274 | 62.574292 | 49.653326 | 36.732359 | 31.218377 |
| 0.45 | 68.523272 | 63.00929 | 50.088323 | 37.167357 | 31.653374 |
| 0.5 | 69.034943 | 63.520961 | 50.599994 | 37.679028 | 32.165045 |
| 0.55 | 69.645143 | 64.13116 | 51.210194 | 38.289228 | 32.775245 |
| 0.6 | 70.384676 | 64.870694 | 51.949728 | 39.028761 | 33.514779 |
| 0.65 | 71.298232 | 65.784249 | 52.863283 | 39.942317 | 34.428334 |
| 0.7 | 72.452802 | 66.938819 | 54.017853 | 41.096887 | 35.582904 |
| 0.75 | 73.952605 | 68.438623 | 55.517656 | 42.59669 | 37.082707 |
| 0.8 | 75.966398 | 70.452415 | 57.531449 | 44.610482 | 39.0965 |
| 0.85 | 78.778061 | 73.264078 | 60.343112 | 47.422145 | 41.908163 |
| 0.9 | 82.874457 | 77.360474 | 64.439508 | 51.518541 | 46.004559 |
| 0.95 | 89.044067 | 83.530085 | 70.609118 | 57.688152 | 52.174169 |

**Tablo 5.3.** $K_S$ - $delt_{CRIT}$

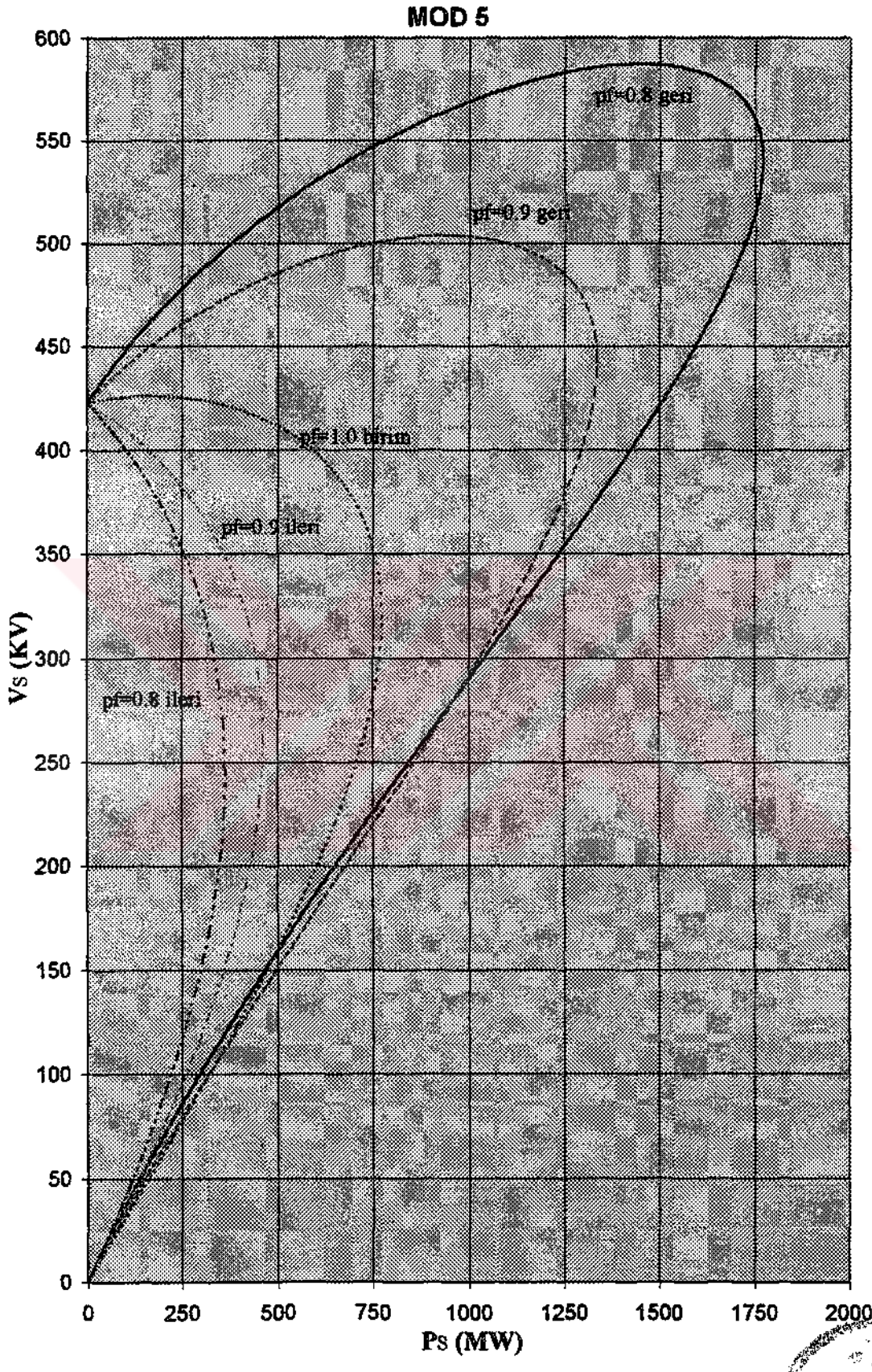
**MOD 5**



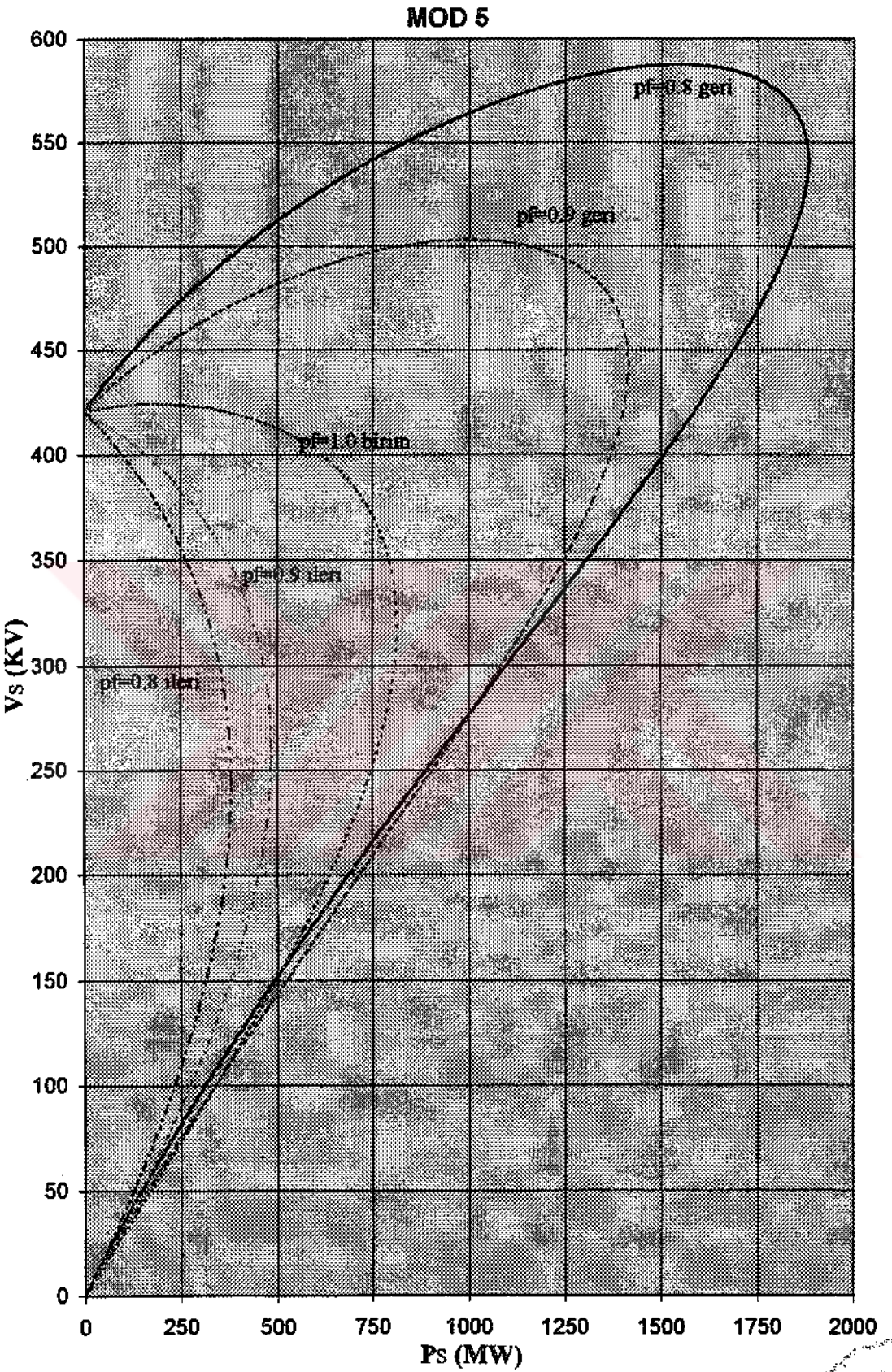

**Grafik 5.3.** $K_S$ - $Delt_{CRIT}$



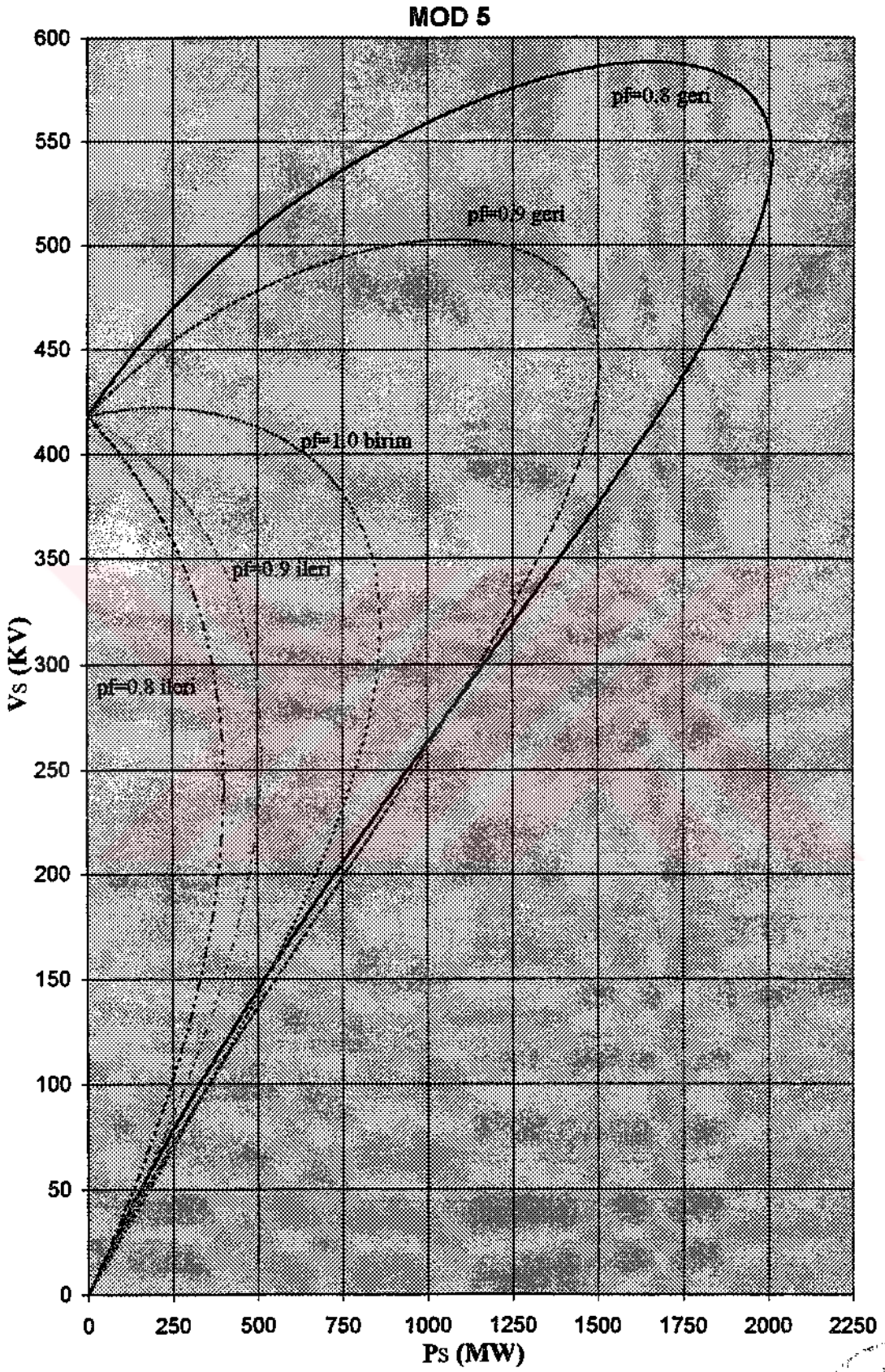

**Grafik 5.4.1.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.00)



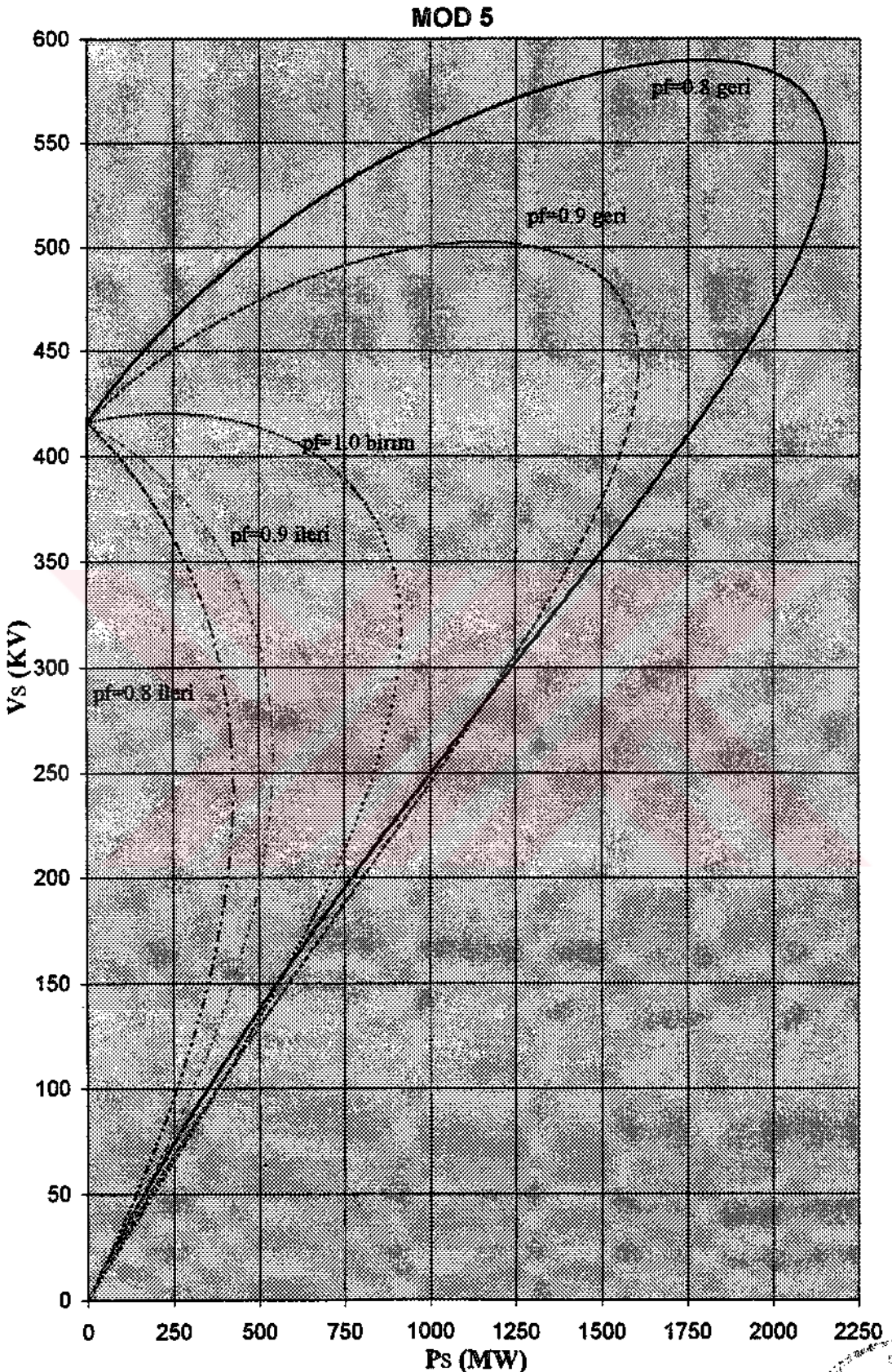

**Grafik 5.4.2.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.05)



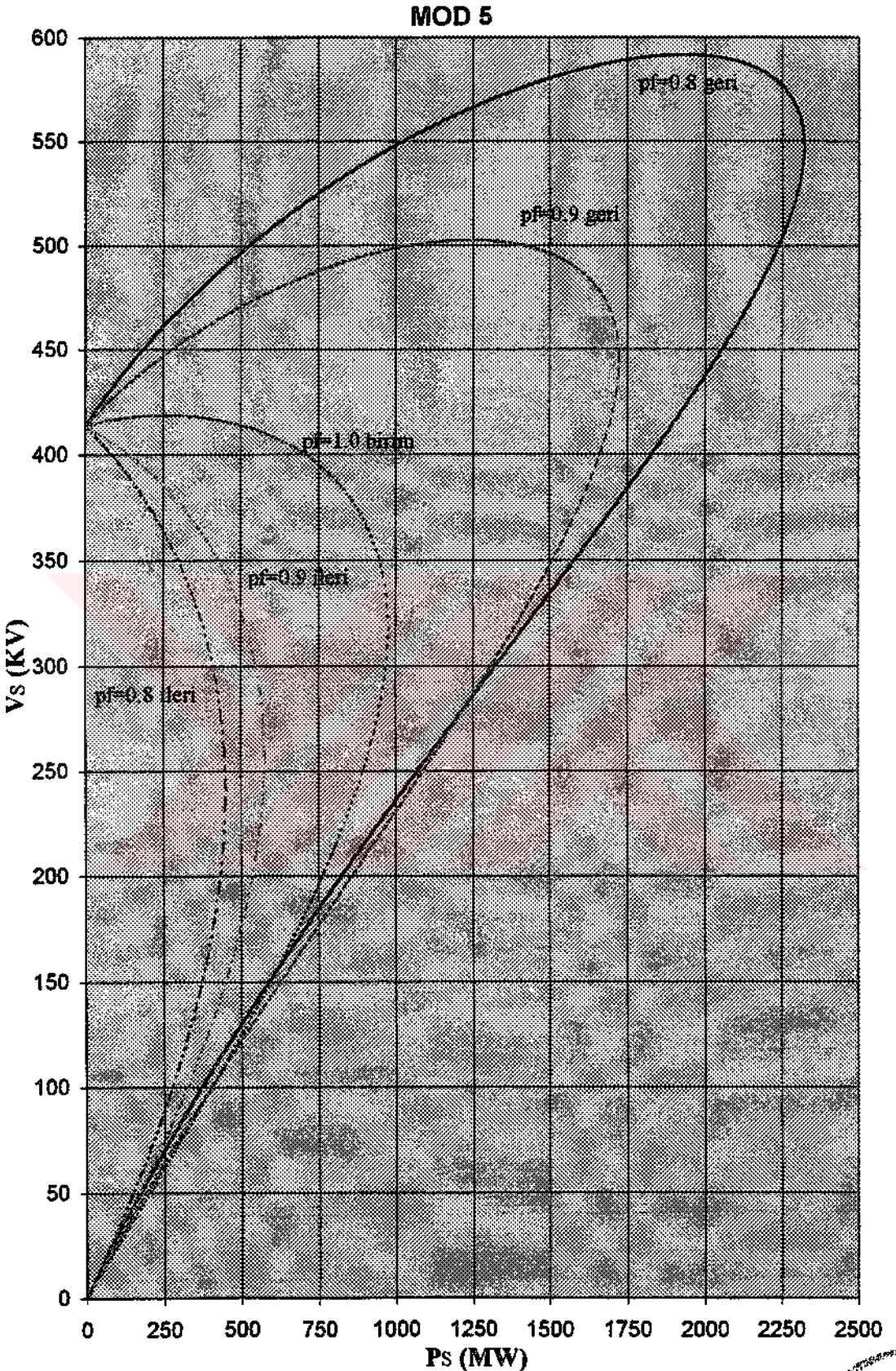

**Grafik 5.4.3.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.10)



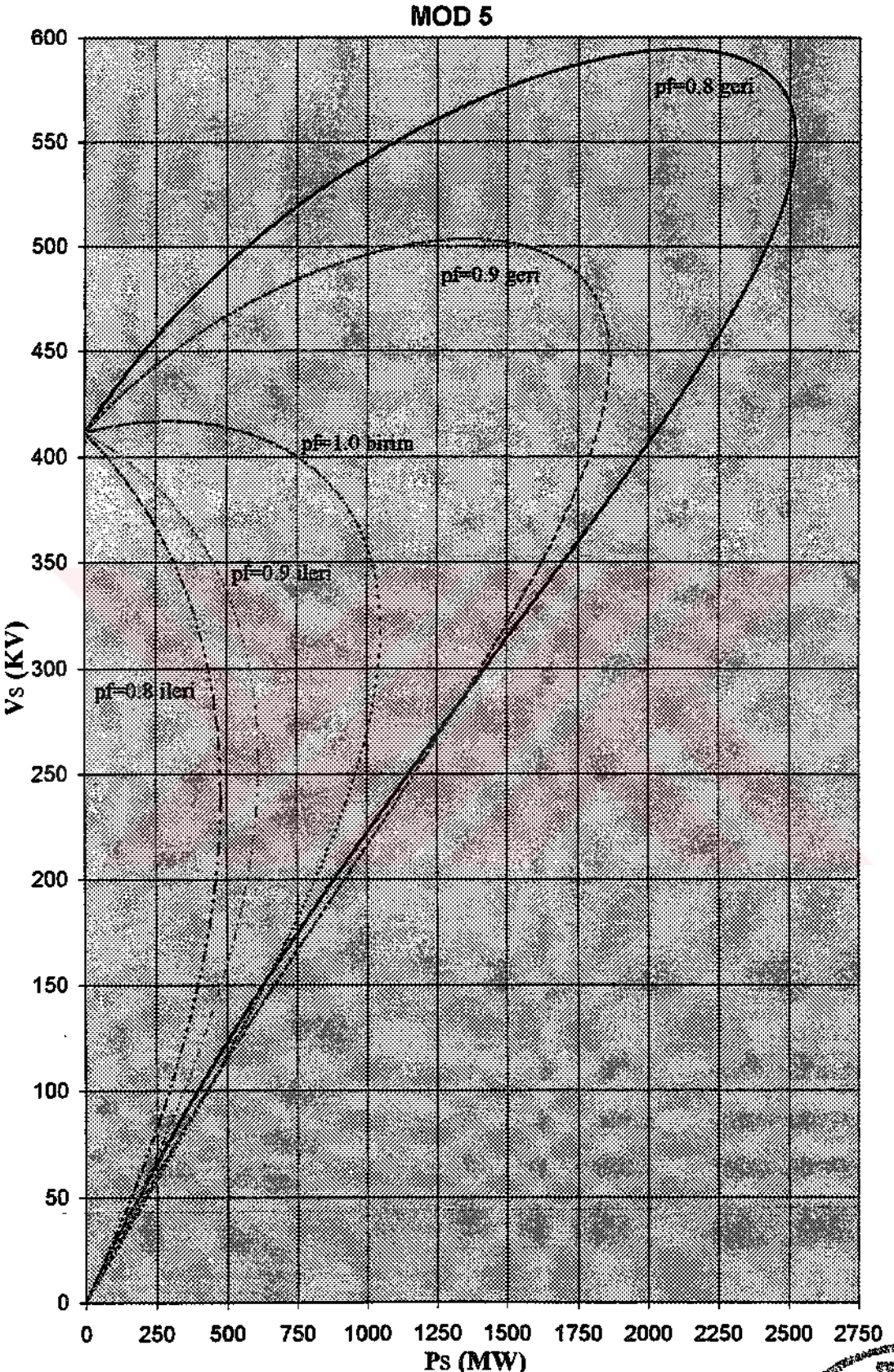

**Grafik 5.4.4.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.15)



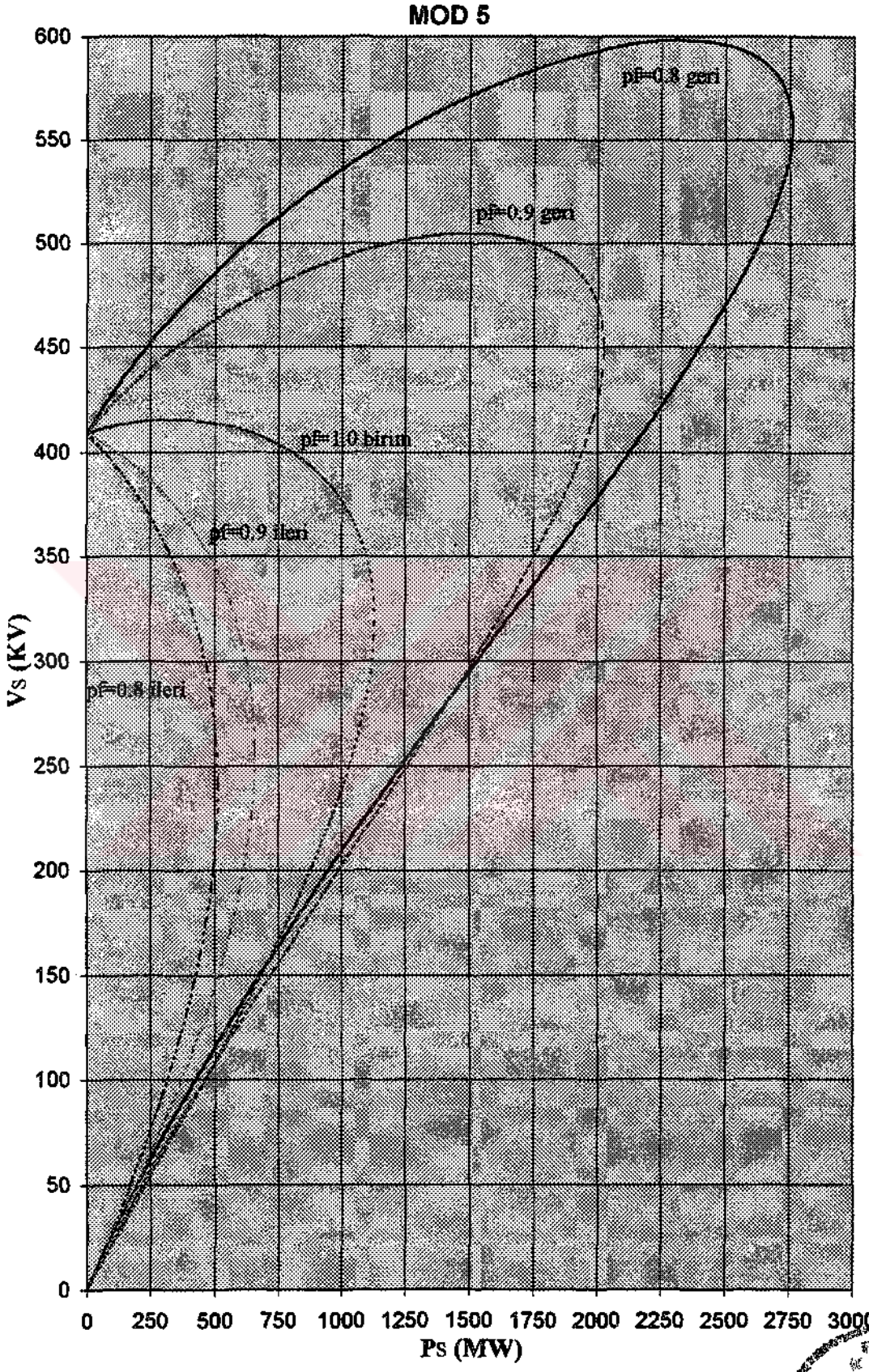

**Grafik 5.4.5.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.20)



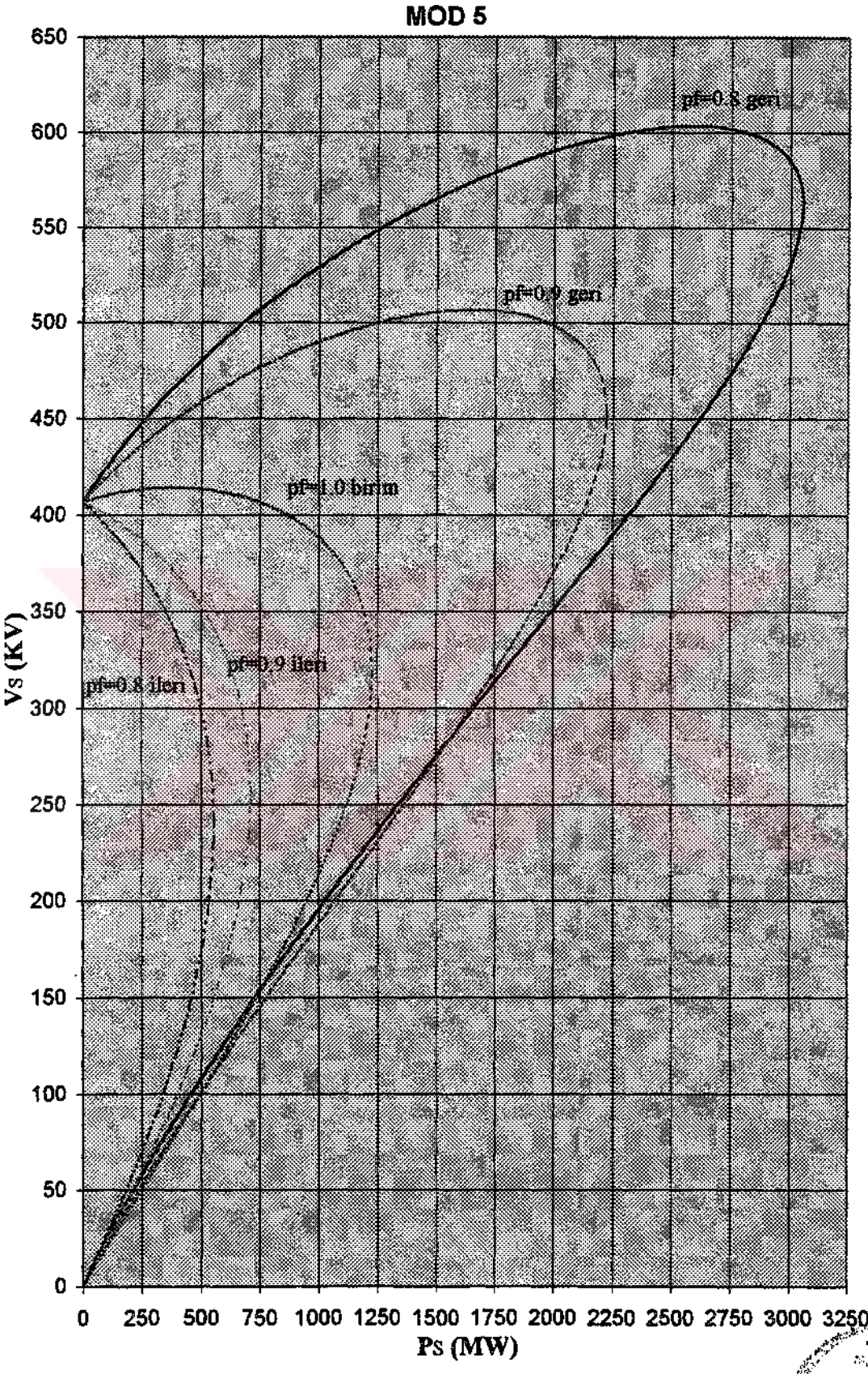

**Grafik 5.4.6.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.25)



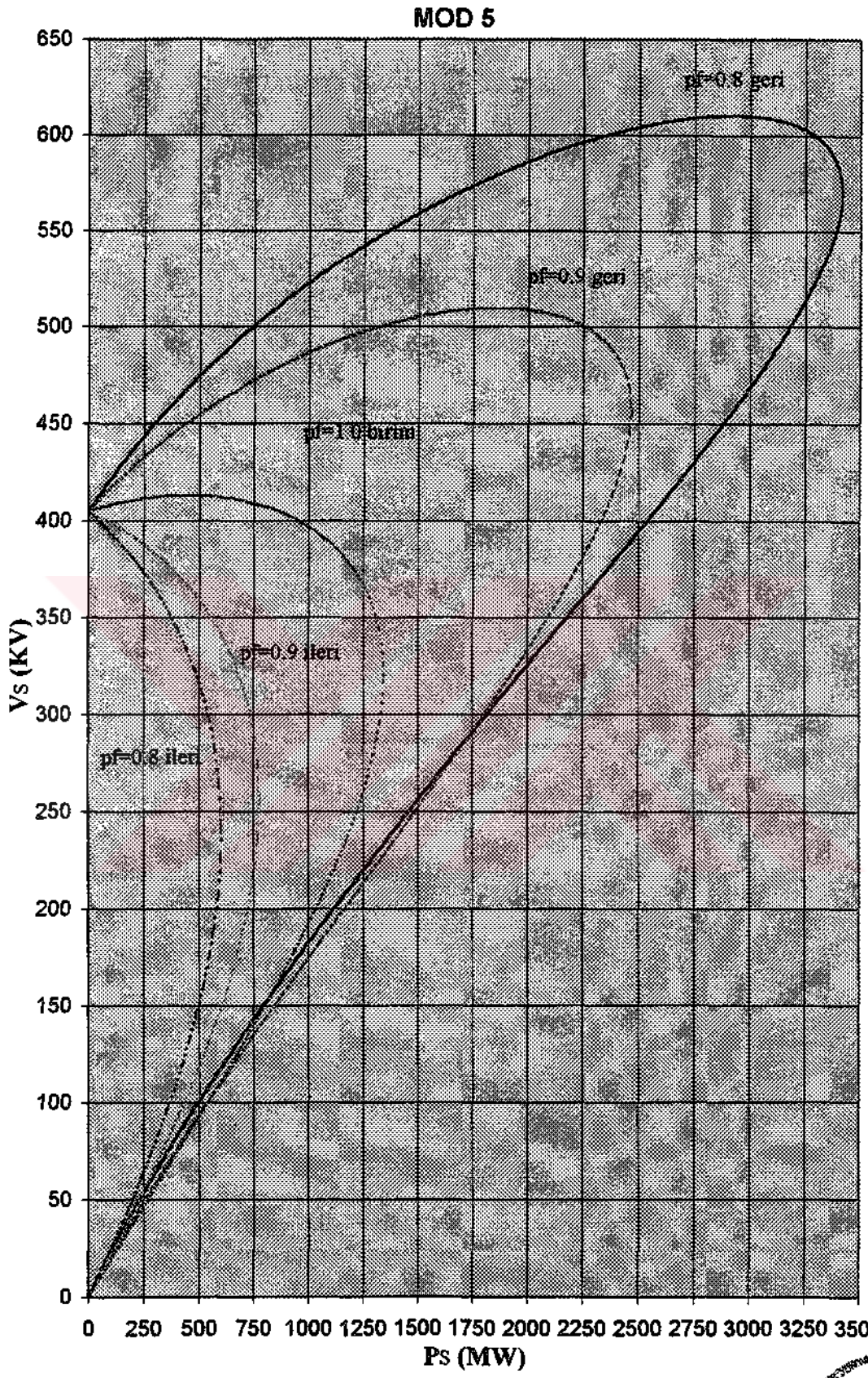

**Grafik 5.4.7.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.30)



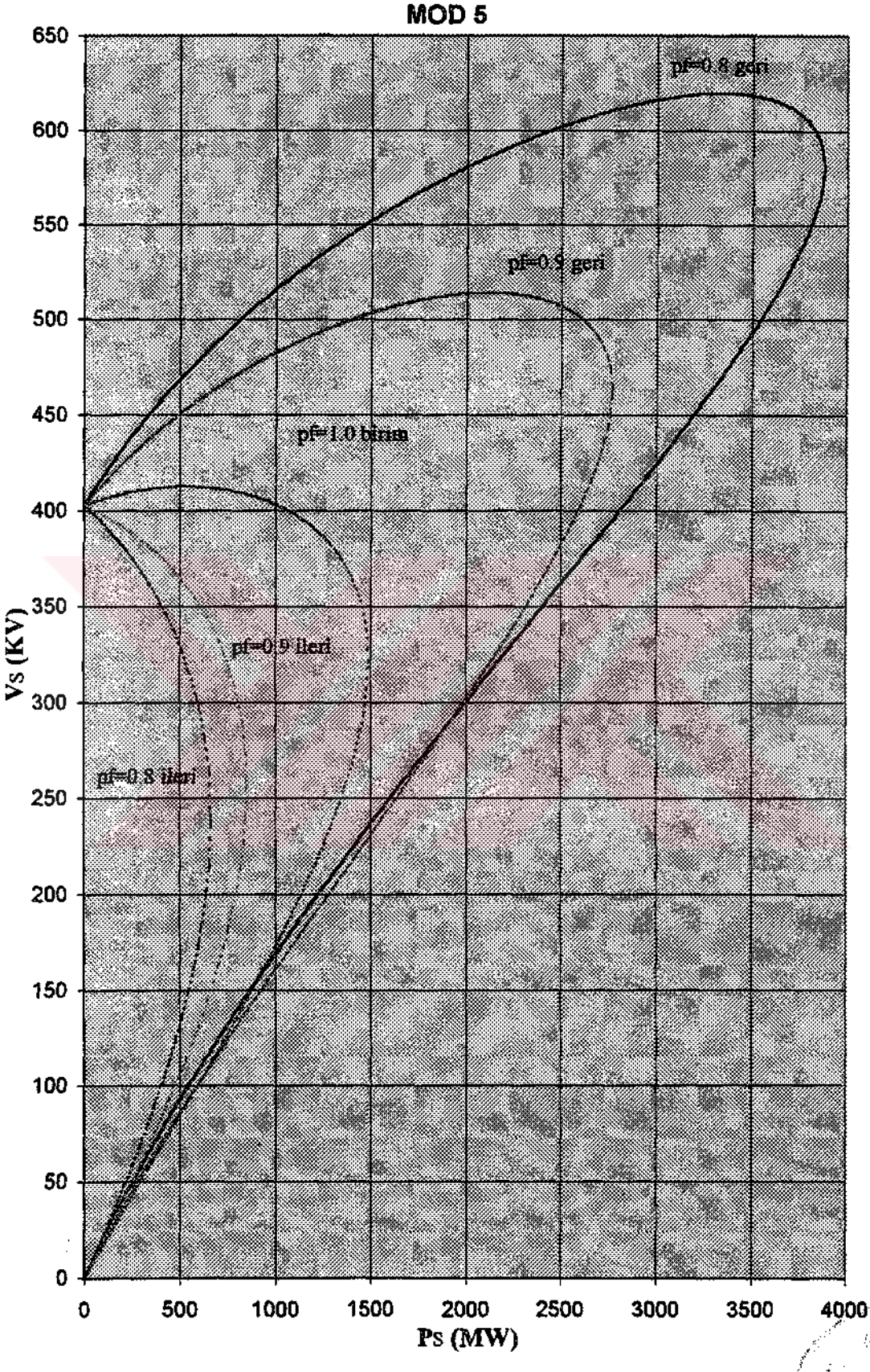

**Grafik 5.4.8.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.35)



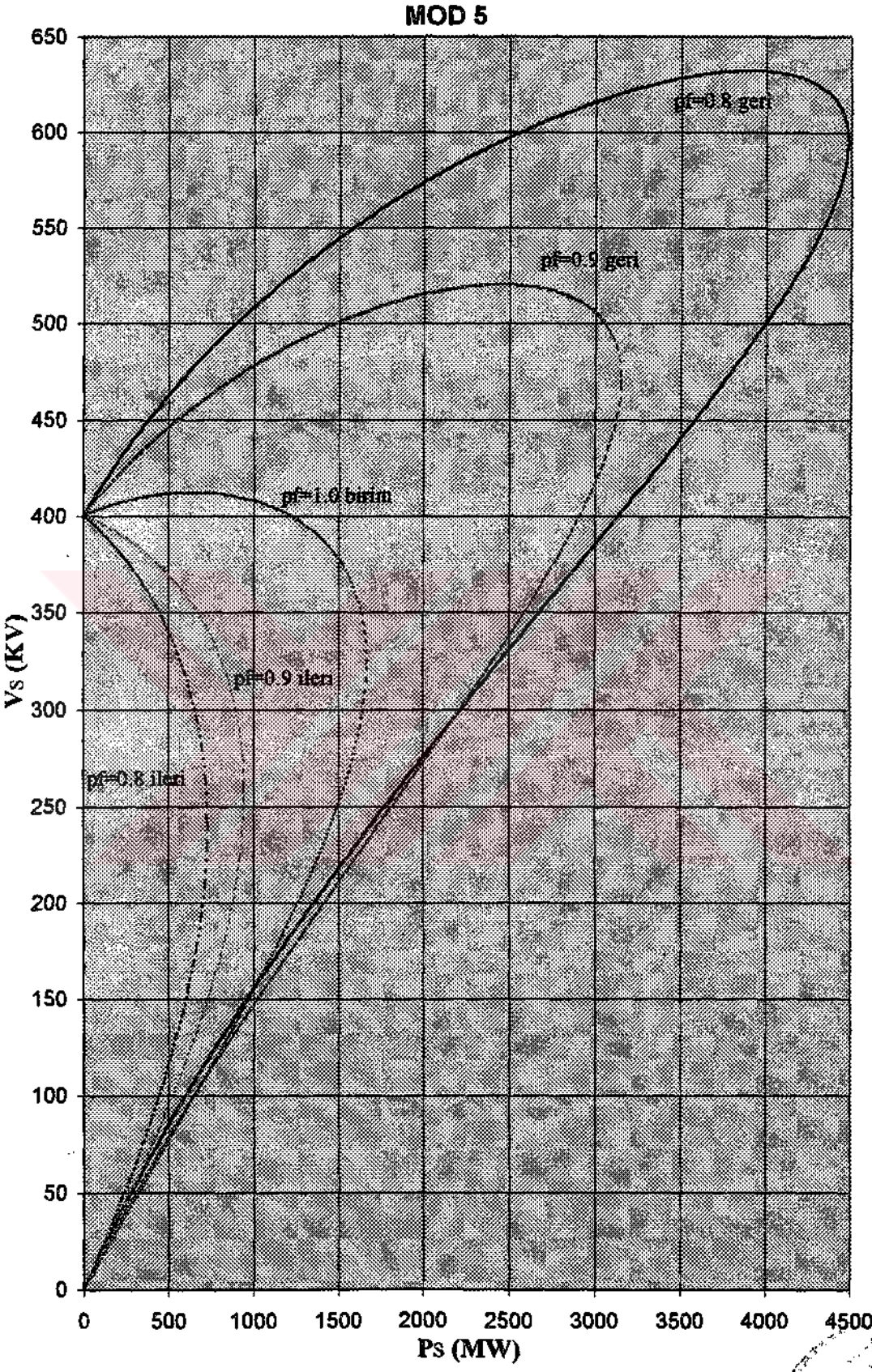

**Grafik 5.4.9.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.40)



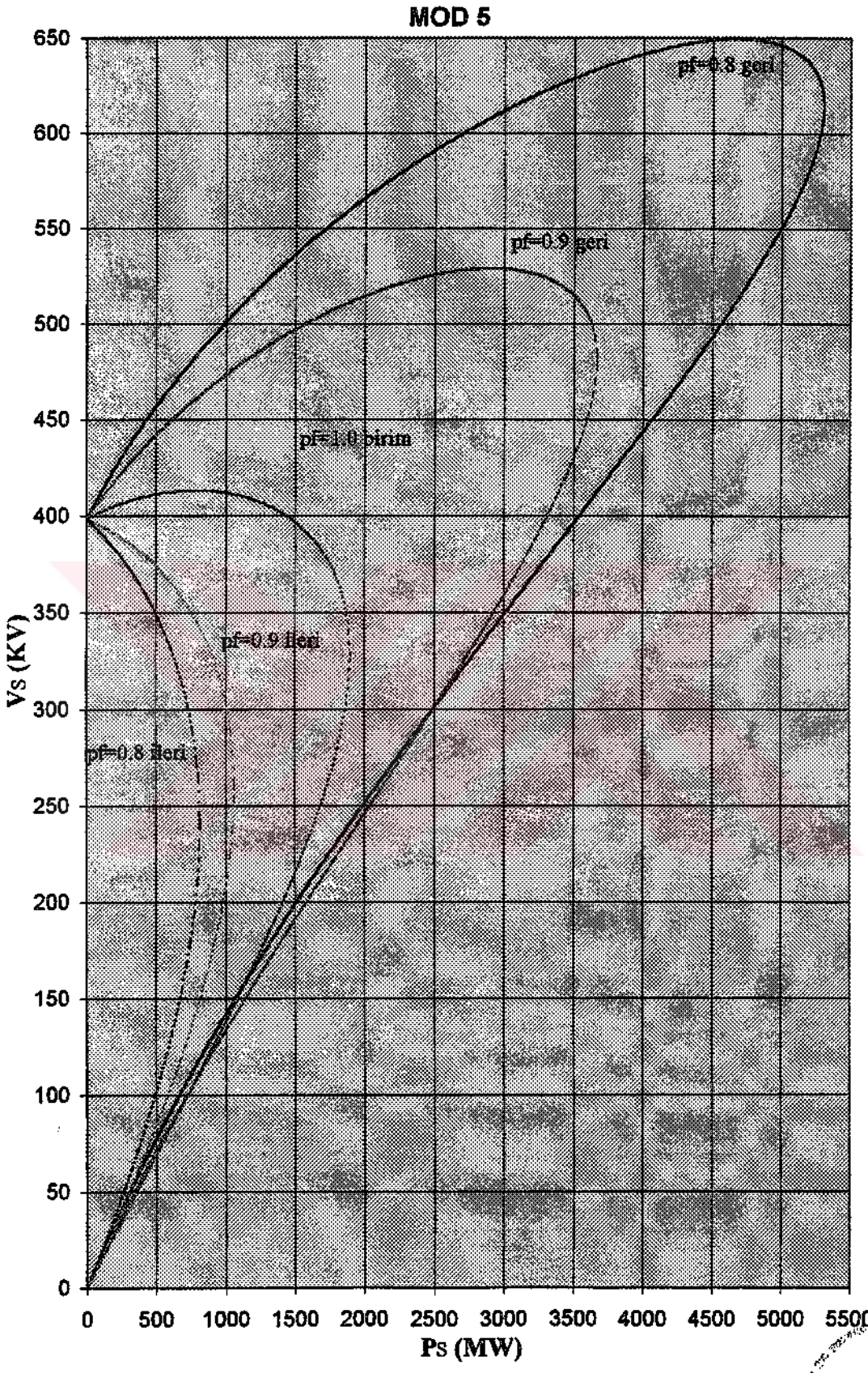

**Grafik 5.4.10.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.45)



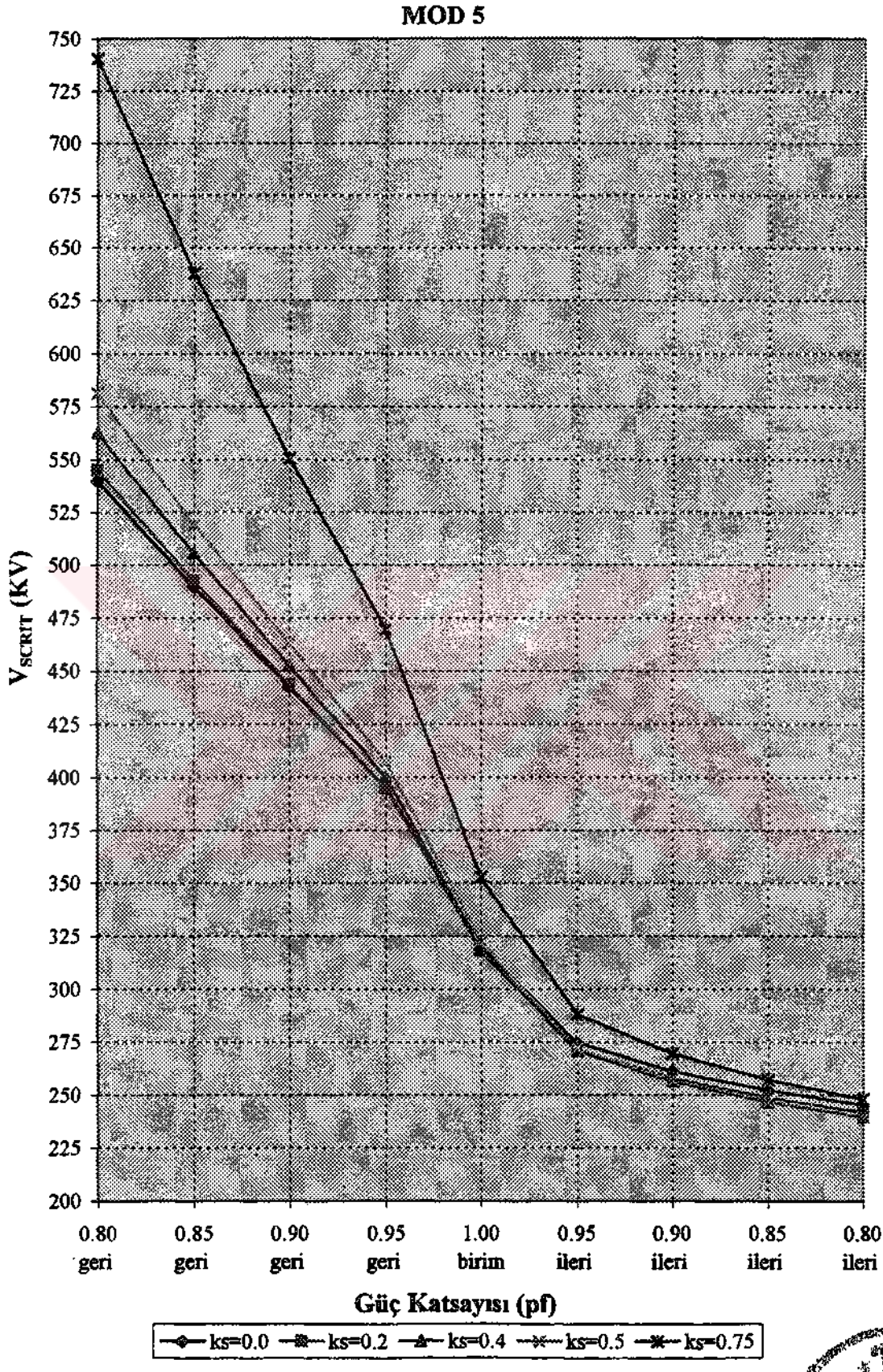

**Grafik 5.4.11.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.50)



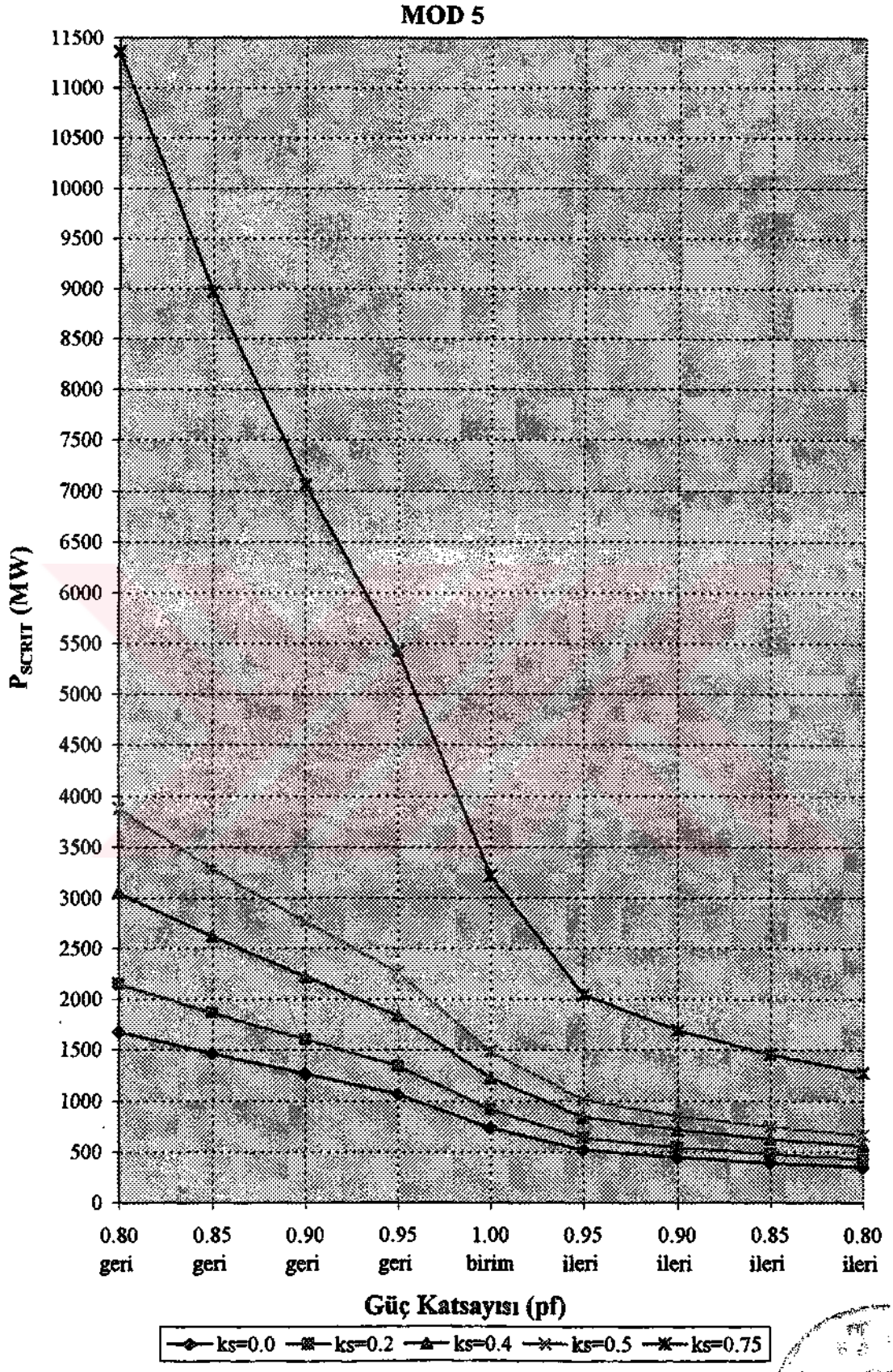

**Grafik 5.4.12.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.55)



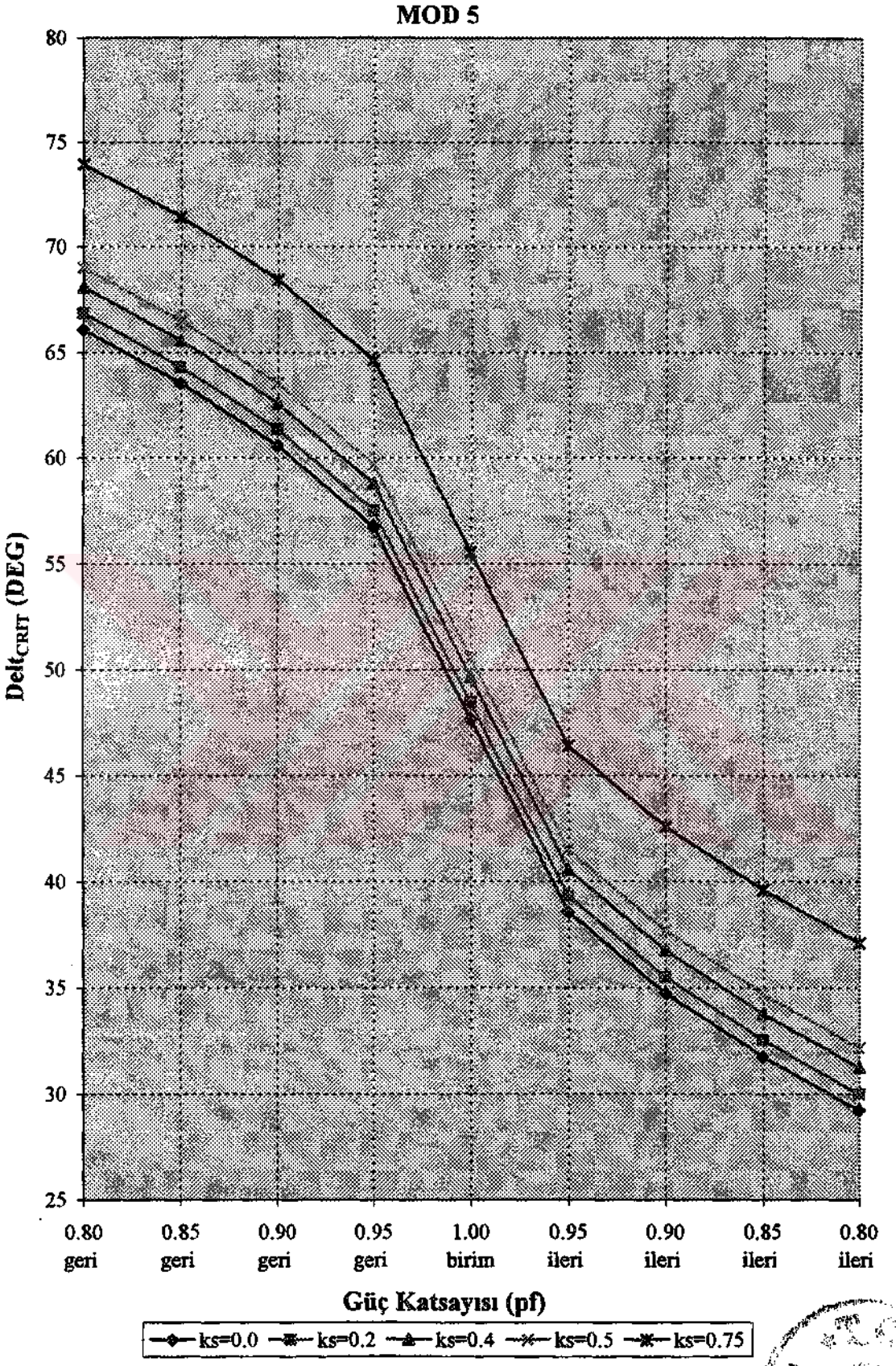

**Grafik 5.4.13.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.60)




**Grafik 5.5.1.** Güç Katsayısı (pf) - $V_{SCRIT}$




**Grafik 5.5.2.** Güç Katsayısı (pf) - $P_{SCRIT}$



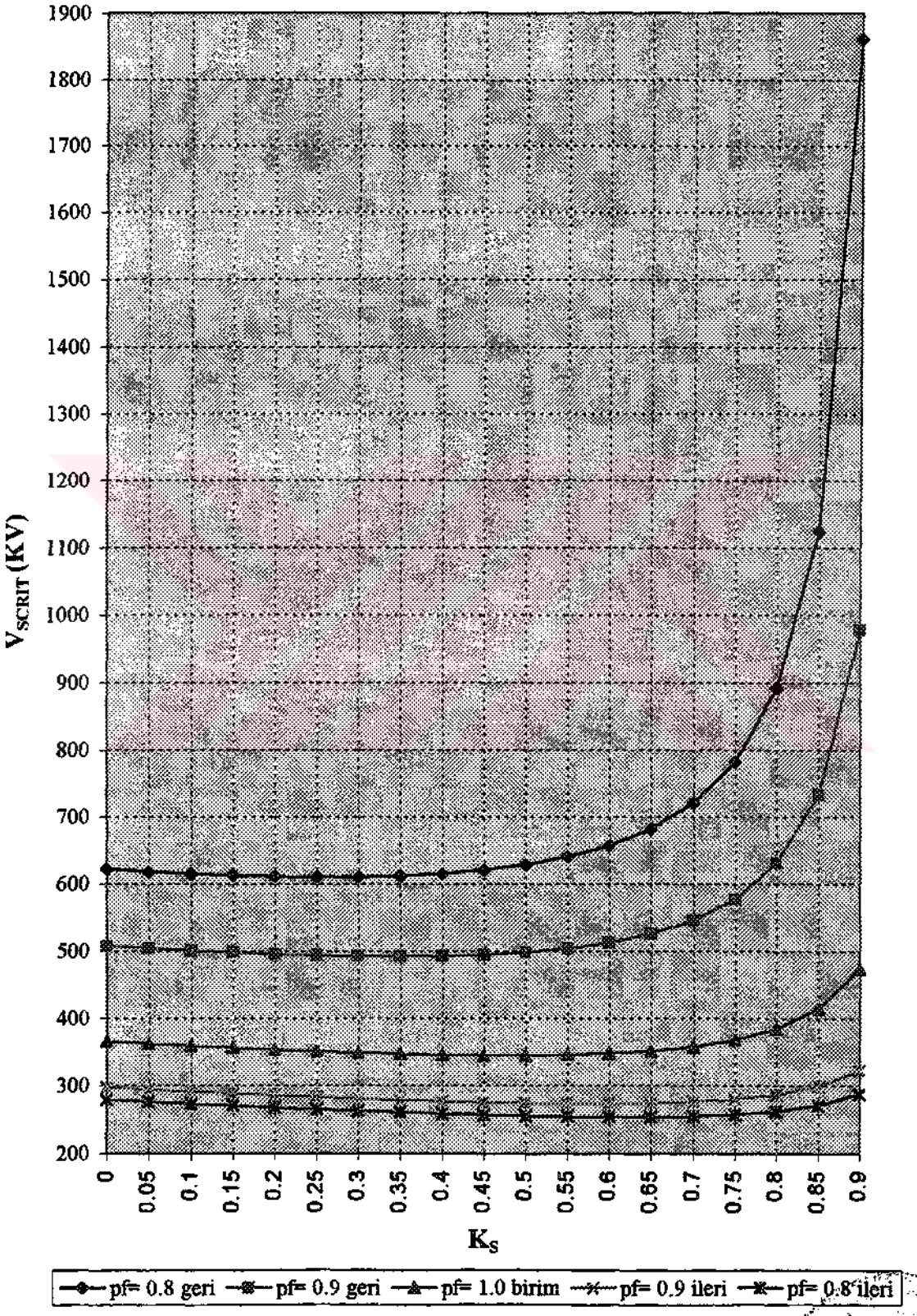

**Grafik 5.5.3.** Güç Katsayısı (pf) - Delt$_{CRIT}$

## MOD 6

| | Vscr(KV) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| Ks | | | | | |
| 0 | 622.287892 | 508.155731 | 365.391313 | 296.992448 | 278.883679 |
| 0.05 | 618.501639 | 504.339839 | 361.93848 | 293.850197 | 275.829769 |
| 0.1 | 615.315803 | 500.932989 | 358.7059 | 290.854432 | 272.903774 |
| 0.15 | 612.804486 | 497.978168 | 355.709486 | 288.01187 | 270.110215 |
| 0.2 | 611.064364 | 495.53159 | 352.970482 | 285.331934 | 267.455707 |
| 0.25 | 610.222829 | 493.667277 | 350.517199 | 282.8276 | 264.949592 |
| 0.3 | 610.449988 | 492.483735 | 348.387509 | 280.516601 | 262.604864 |
| 0.35 | 611.976826 | 492.113921 | 346.632515 | 278.423195 | 260.439502 |
| 0.4 | 615.123534 | 492.740558 | 345.322086 | 276.580808 | 258.478478 |
| 0.45 | 620.34529 | 494.620426 | 344.553444 | 275.036104 | 256.756839 |
| 0.5 | 628.309339 | 498.124363 | 344.464933 | 273.855441 | 255.324583 |
| 0.55 | 640.031388 | 503.80618 | 345.259 | 273.13549 | 254.234675 |
| 0.6 | 657.131856 | 512.527837 | 347.24229 | 273.021474 | 253.656754 |
| 0.65 | 682.354717 | 525.702252 | 350.899599 | 273.740068 | 253.701757 |
| 0.7 | 720.72372 | 545.804447 | 357.039565 | 275.662386 | 254.668767 |
| 0.75 | 782.471849 | 577.568188 | 367.106343 | 279.433531 | 257.04051 |
| 0.8 | 891.952332 | 631.222454 | 383.919952 | 286.263397 | 261.714819 |
| 0.85 | 1123.82197 | 733.301365 | 413.696443 | 298.65407 | 270.522272 |
| 0.9 | 1861.868959 | 977.960978 | 472.746673 | 322.482979 | 287.653839 |
| 0.95 | 75908.02712 | 2072.100657 | 617.703447 | 374.08144 | 324.167993 |

**Tablo 6.1.** $K_S$ - $V_{SCRIT}$

**MOD 6**



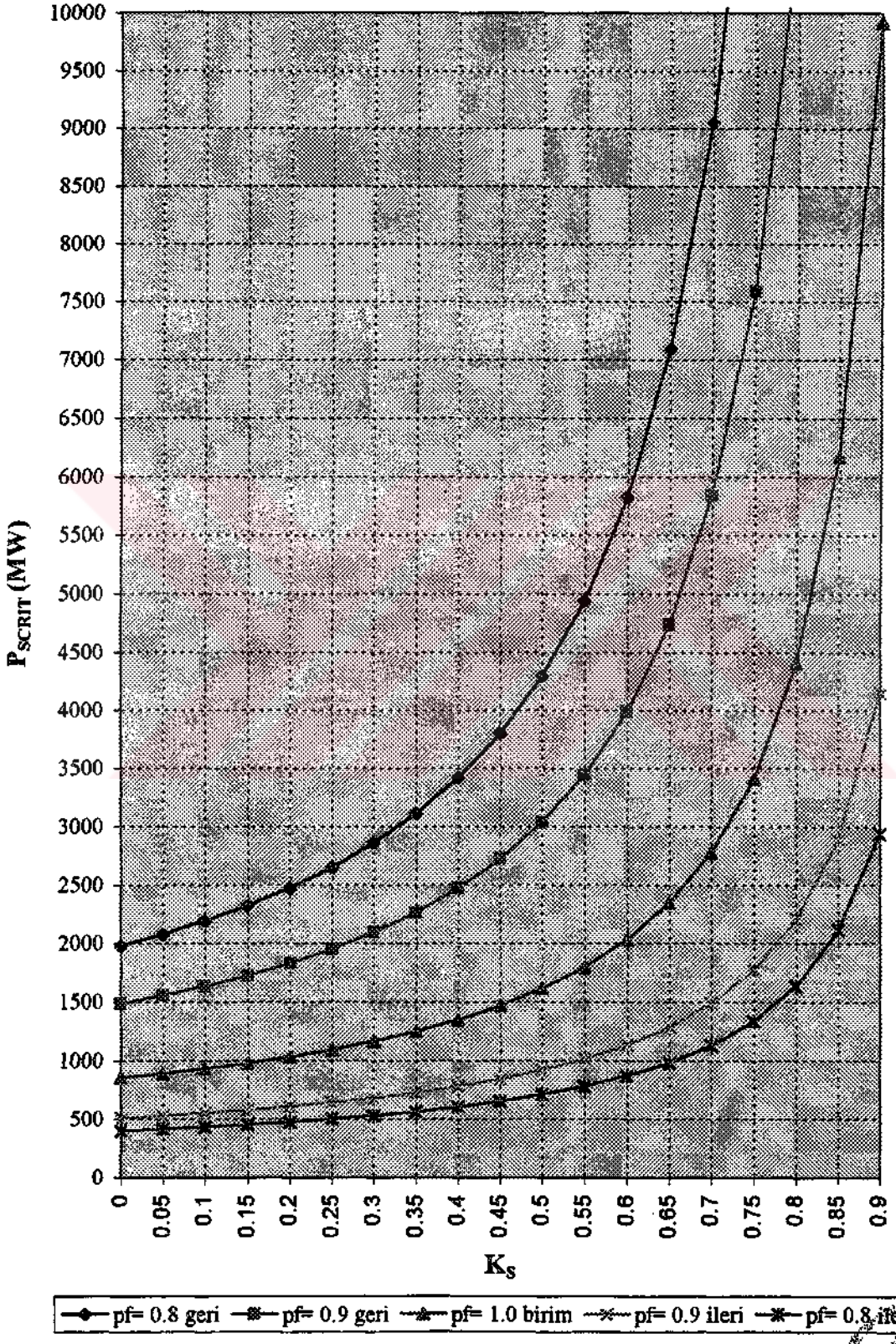

**Grafik 6.1.** $K_S$ - $V_{SCRIT}$

## MOD 6

| Güç Katsayısı Ks | Pscr(MW) pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1977.601844 | 1483.550505 | 852.280604 | 506.756692 | 397.193704 |
| 0.05 | 2076.773325 | 1553.482836 | 888.969612 | 527.365703 | 413.037666 |
| 0.1 | 2190.00583 | 1632.905008 | 930.328199 | 550.494555 | 430.79258 |
| 0.15 | 2320.261646 | 1723.718009 | 977.223712 | 576.589044 | 450.790866 |
| 0.2 | 2471.396989 | 1828.368851 | 1030.754855 | 606.208307 | 473.448054 |
| 0.25 | 2648.521195 | 1950.059019 | 1092.333442 | 640.062894 | 499.290222 |
| 0.3 | 2858.541954 | 2093.055271 | 1163.803221 | 679.069226 | 528.992997 |
| 0.35 | 3111.018124 | 2263.166002 | 1247.61675 | 724.429178 | 563.438215 |
| 0.4 | 3419.540556 | 2468.494802 | 1347.106083 | 777.749384 | 603.798249 |
| 0.45 | 3804.059716 | 2720.676864 | 1466.910273 | 841.225223 | 651.664988 |
| 0.5 | 4295.000538 | 3036.996434 | 1613.675627 | 917.934014 | 709.253447 |
| 0.55 | 4940.964143 | 3444.202356 | 1797.252869 | 1012.320303 | 779.73504 |
| 0.6 | 5824.185612 | 3985.819275 | 2032.850312 | 1131.035669 | 867.806755 |
| 0.65 | 7094.395772 | 4737.259925 | 2345.150791 | 1284.470929 | 980.713074 |
| 0.7 | 9051.890602 | 5840.208169 | 2776.79852 | 1489.735644 | 1130.194102 |
| 0.75 | 12385.01912 | 7591.337311 | 3407.634674 | 1776.923778 | 1336.479757 |
| 0.8 | 19016.97984 | 10714.59247 | 4404.02356 | 2203.648988 | 1637.249561 |
| 0.85 | 36416.66202 | 17443.05738 | 6168.487458 | 2893.306863 | 2110.139422 |
| 0.9 | 123090.7453 | 38205.22424 | 9919.599854 | 4154.256386 | 2938.106461 |
| 0.95 | 2543633418 | 213232.4677 | 21054.70575 | 6949.666416 | 4638.946657 |

**Tablo 6.2.** $K_S$ - $P_{SCRIT}$

**MOD 6**

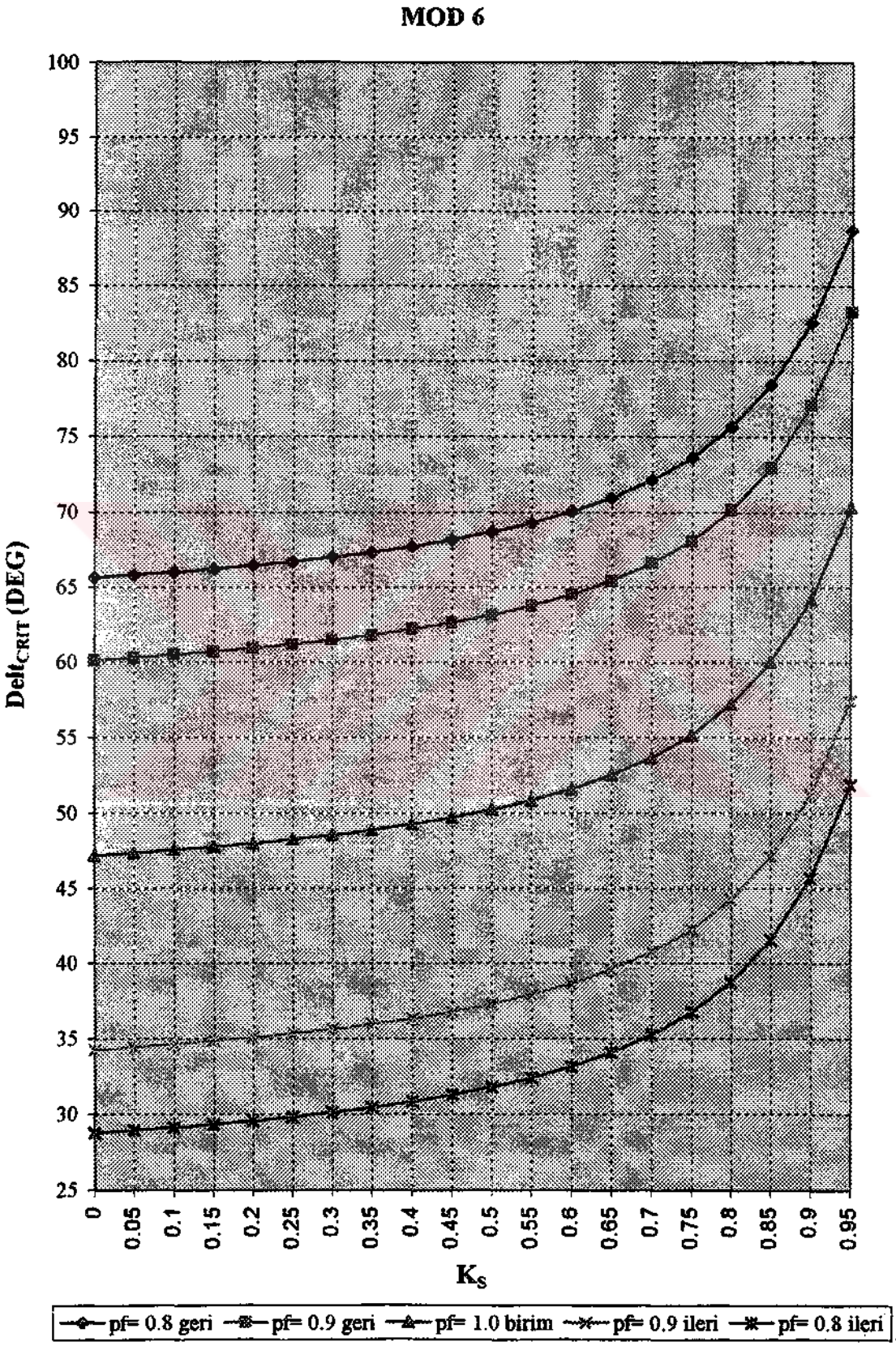



**Grafik 6.2.** $K_S$ - $P_{SCRIT}$

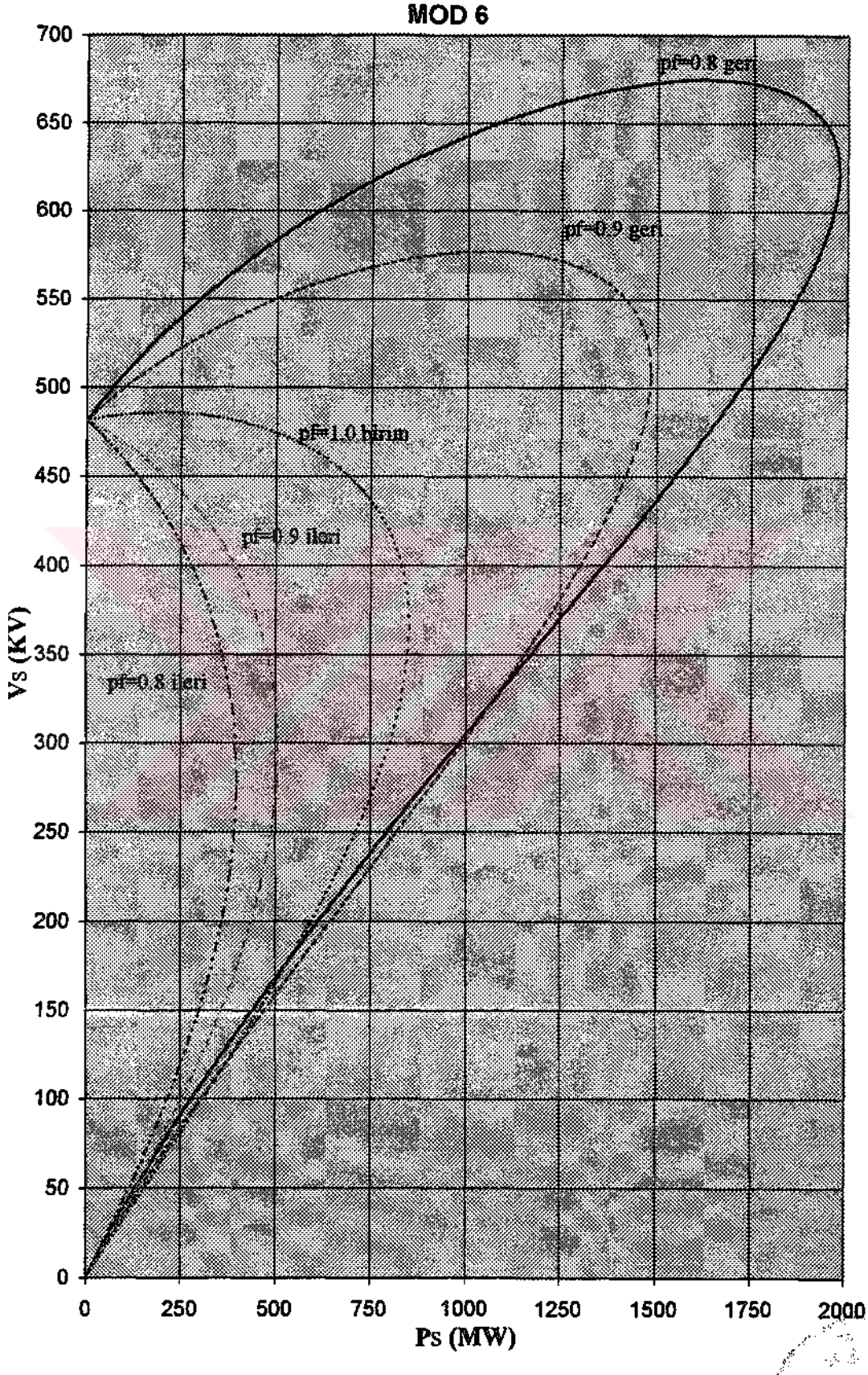
## MOD 6

| | delter(DEG) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı Ks | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 deri | pf= 0.8 ileri |
| 0 | 65.626683 | 60.112701 | 47.191735 | 34.270768 | 28.756786 |
| 0.05 | 65.798079 | 60.284096 | 47.36313 | 34.442163 | 28.928181 |
| 0.1 | 65.986386 | 60.472404 | 47.551437 | 34.630471 | 29.116488 |
| 0.15 | 66.194429 | 60.680446 | 47.75948 | 34.838513 | 29.324531 |
| 0.2 | 66.425678 | 60.911696 | 47.990729 | 35.069763 | 29.55578 |
| 0.25 | 66.684452 | 61.170469 | 48.249503 | 35.328537 | 29.814554 |
| 0.3 | 66.976187 | 61.462205 | 48.541238 | 35.620272 | 30.10629 |
| 0.35 | 67.307824 | 61.793841 | 48.872875 | 35.951909 | 30.437926 |
| 0.4 | 67.688357 | 62.174374 | 49.253408 | 36.332442 | 30.818459 |
| 0.45 | 68.129649 | 62.615666 | 49.6947 | 36.773734 | 31.259751 |
| 0.5 | 68.647649 | 63.133666 | 50.2127 | 37.291734 | 31.777751 |
| 0.55 | 69.264281 | 63.750298 | 50.829332 | 37.908366 | 32.394383 |
| 0.6 | 70.01045 | 64.496468 | 51.575501 | 38.654535 | 33.140553 |
| 0.65 | 70.930998 | 65.417016 | 52.496049 | 39.575083 | 34.0611 |
| 0.7 | 72.09316 | 66.579178 | 53.658212 | 40.737245 | 35.223263 |
| 0.75 | 73.60156 | 68.087578 | 55.166611 | 42.245645 | 36.731662 |
| 0.8 | 75.625647 | 70.111665 | 57.190698 | 44.269732 | 38.755749 |
| 0.85 | 78.450511 | 72.936529 | 60.015562 | 47.094596 | 41.580614 |
| 0.9 | 82.564981 | 77.050998 | 64.130032 | 51.209066 | 45.695083 |
| 0.95 | 88.759556 | 83.245573 | 70.324607 | 57.403641 | 51.889658 |

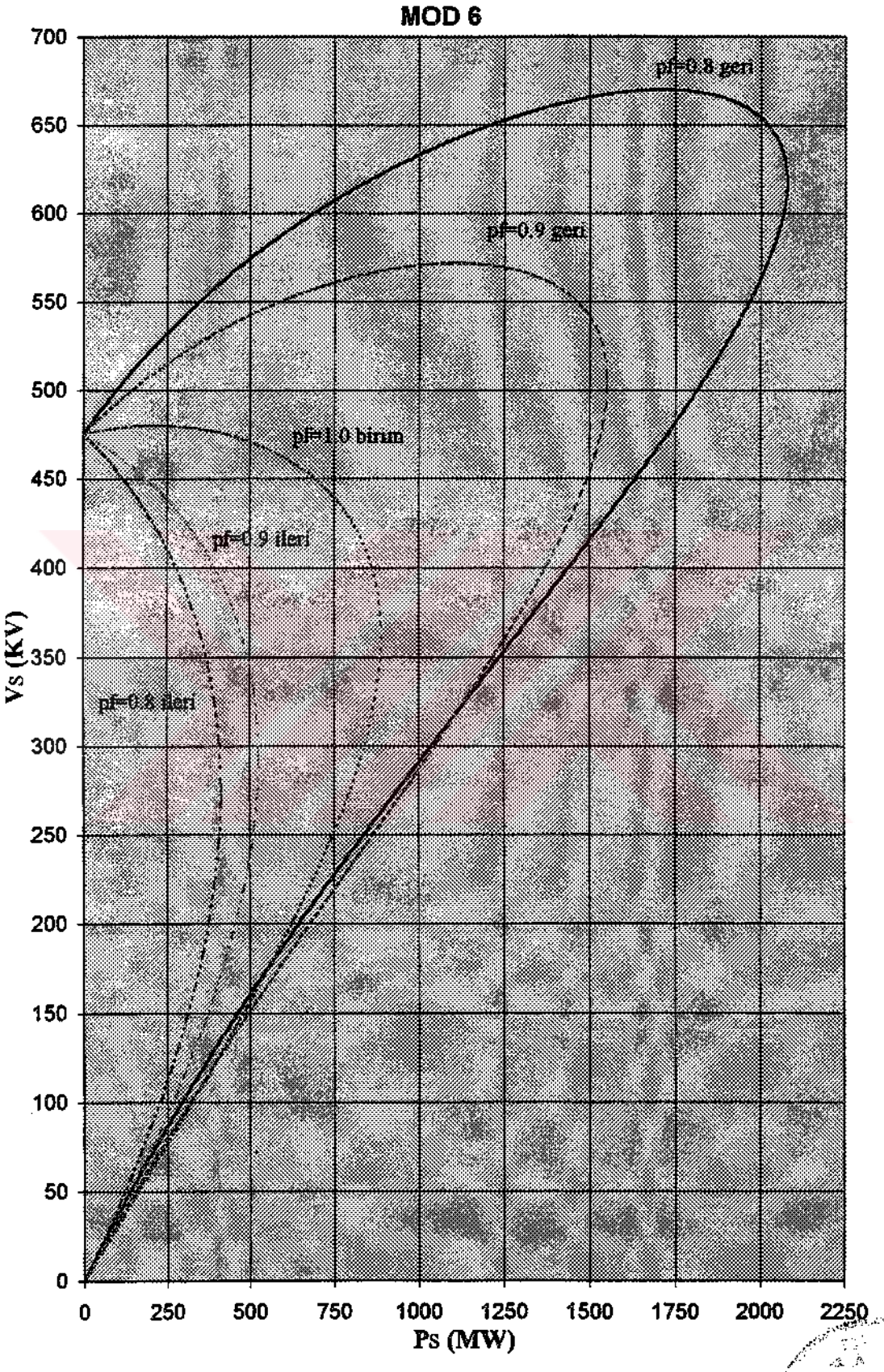
**Tablo 6.3.** $K_S$ - $delt_{CRIT}$



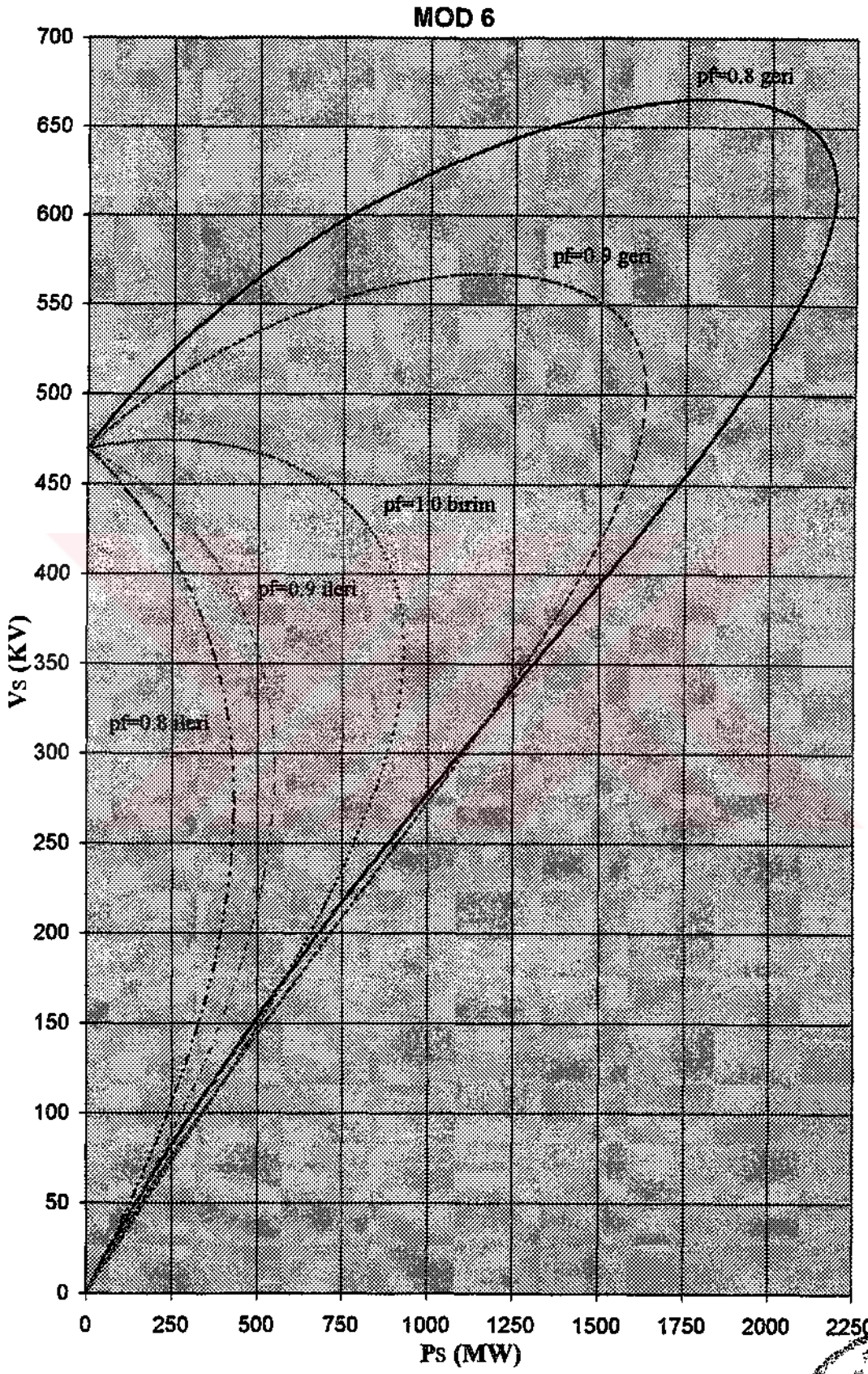

**Grafik 6.3.** $K_S$ - $Delt_{CRIT}$



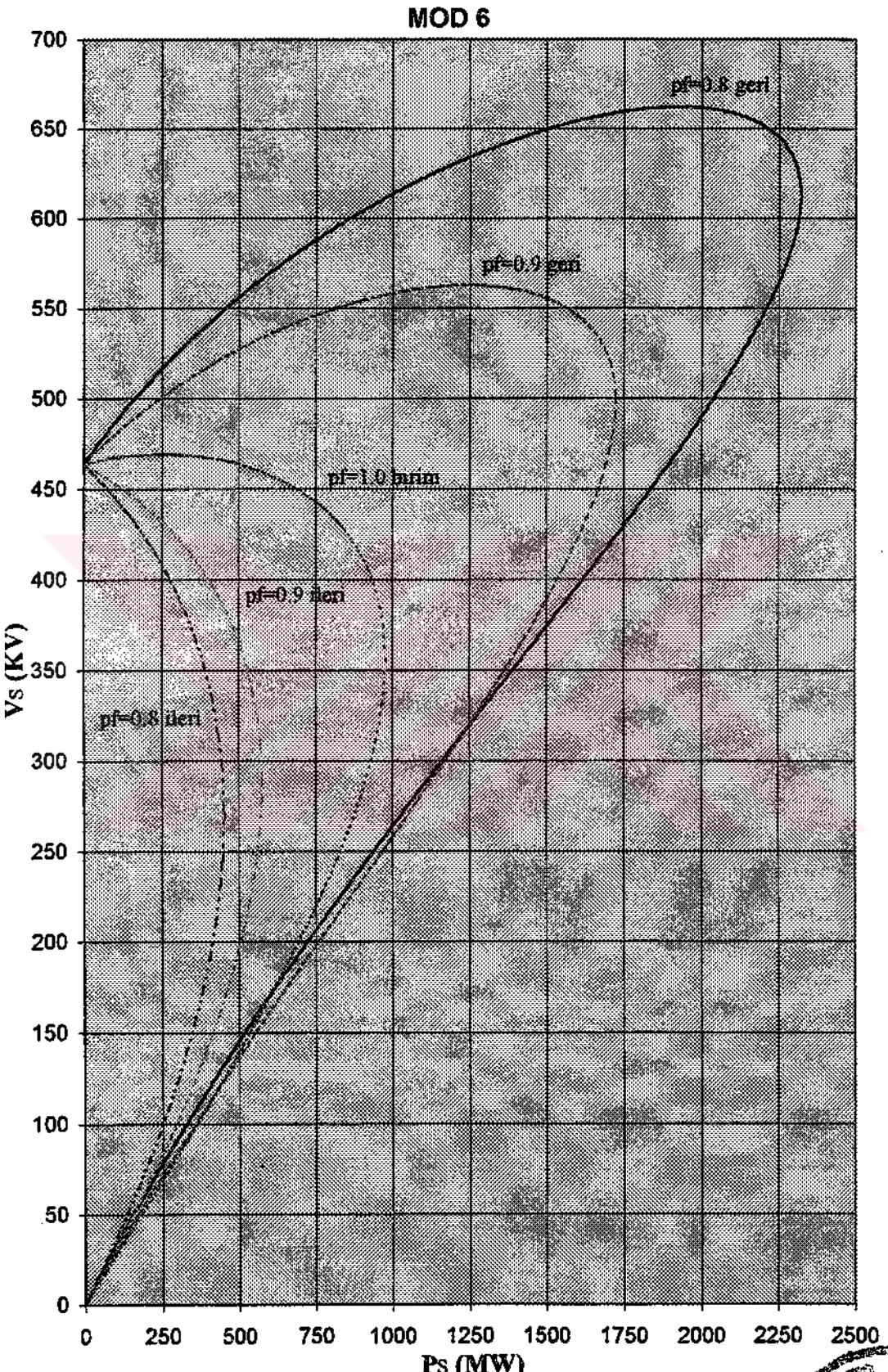

**Grafik 6.4.1.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.00)



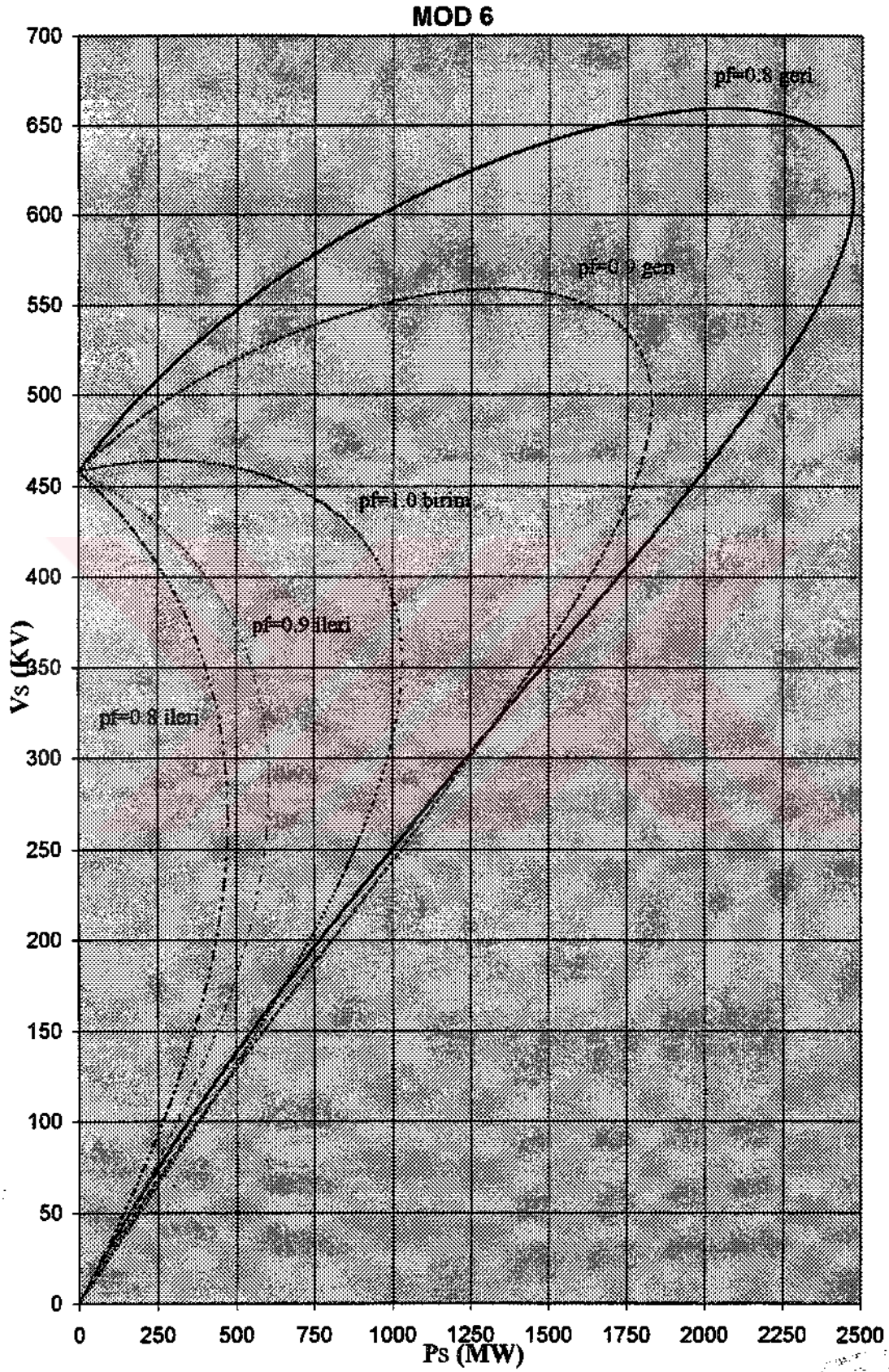

**Grafik 6.4.2.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.05)



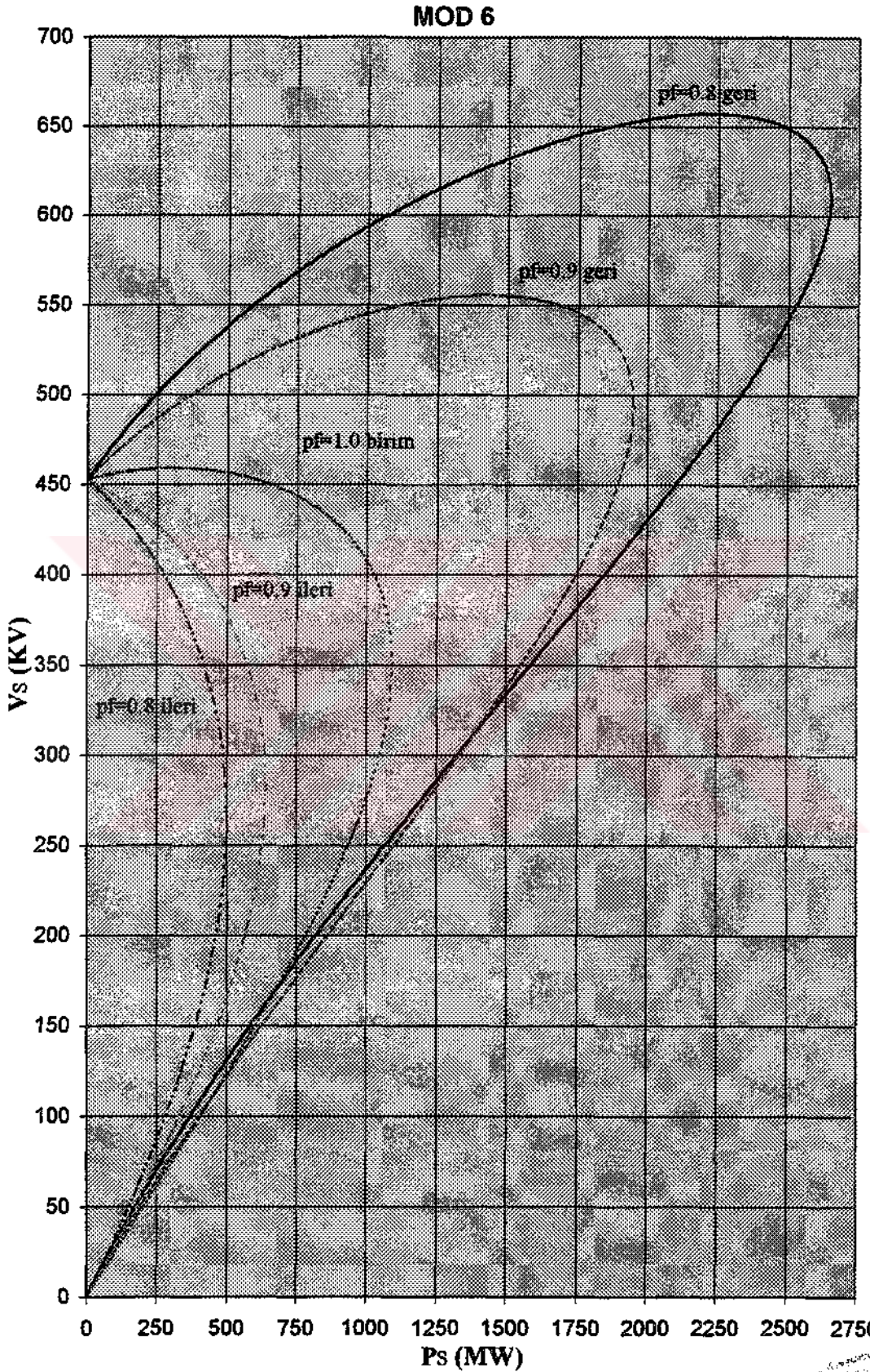

**Grafik 6.4.3.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.10)



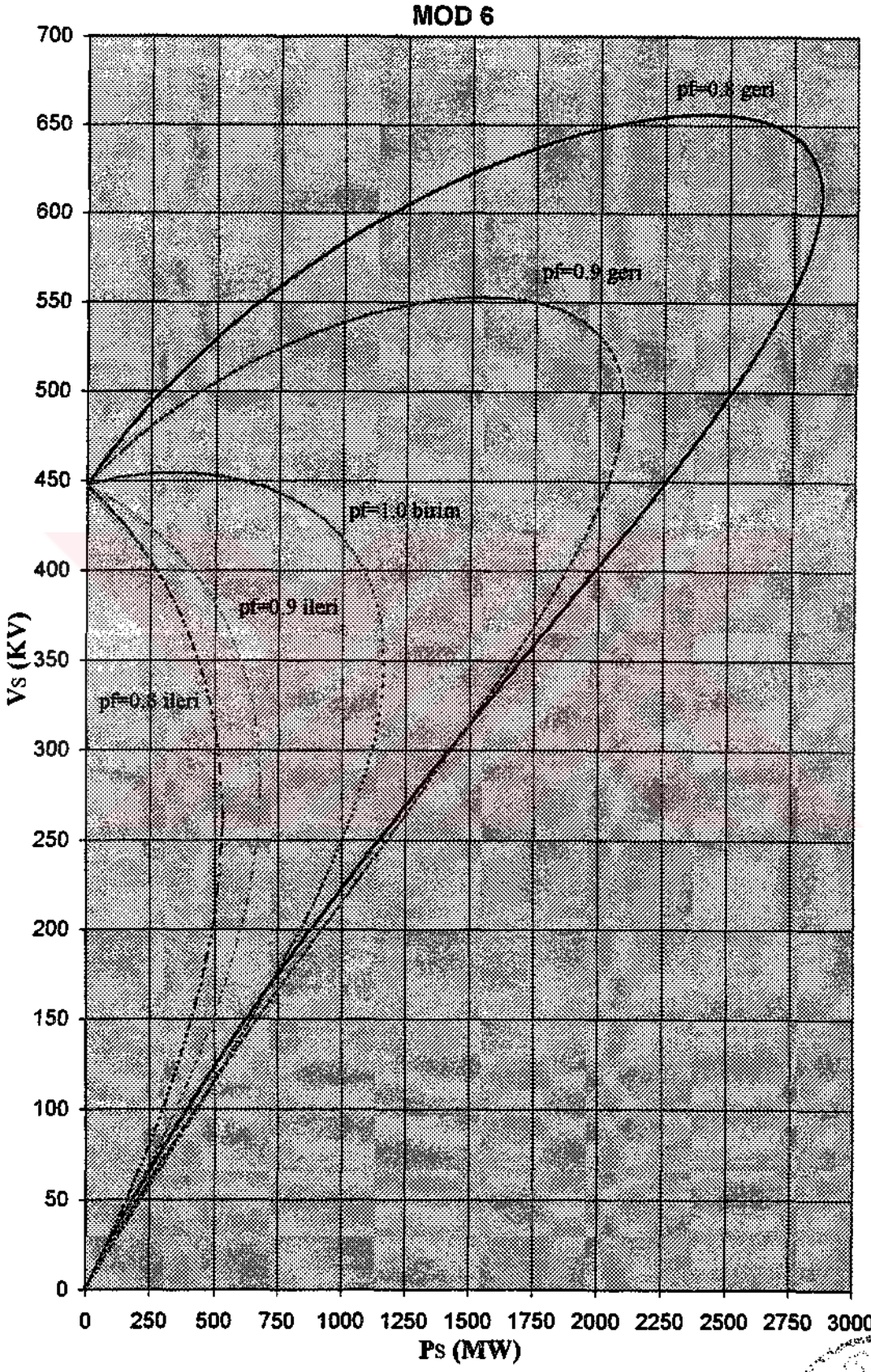

**Grafik 6.4.4.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.15)



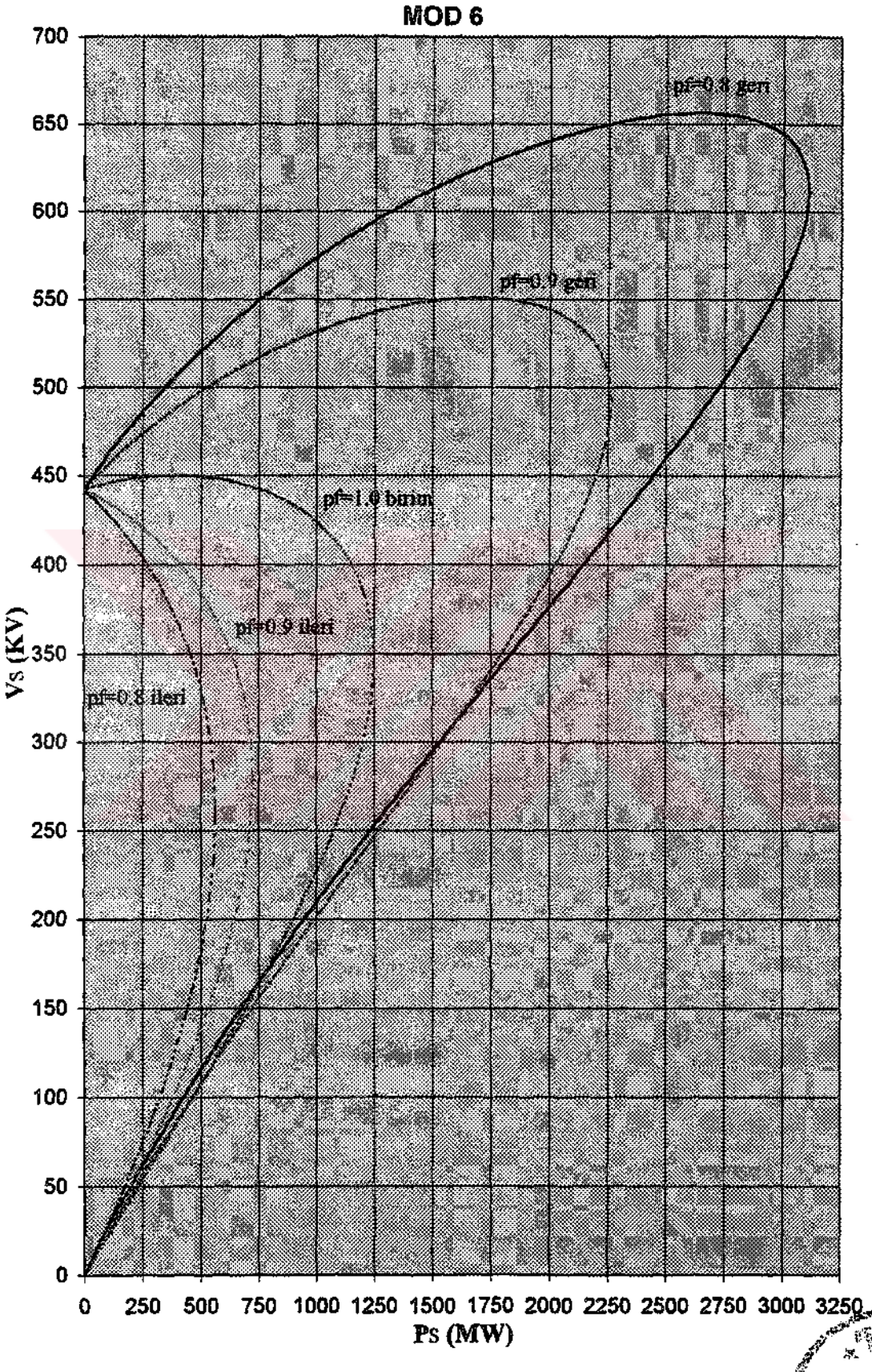

**Grafik 6.4.5.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.20)



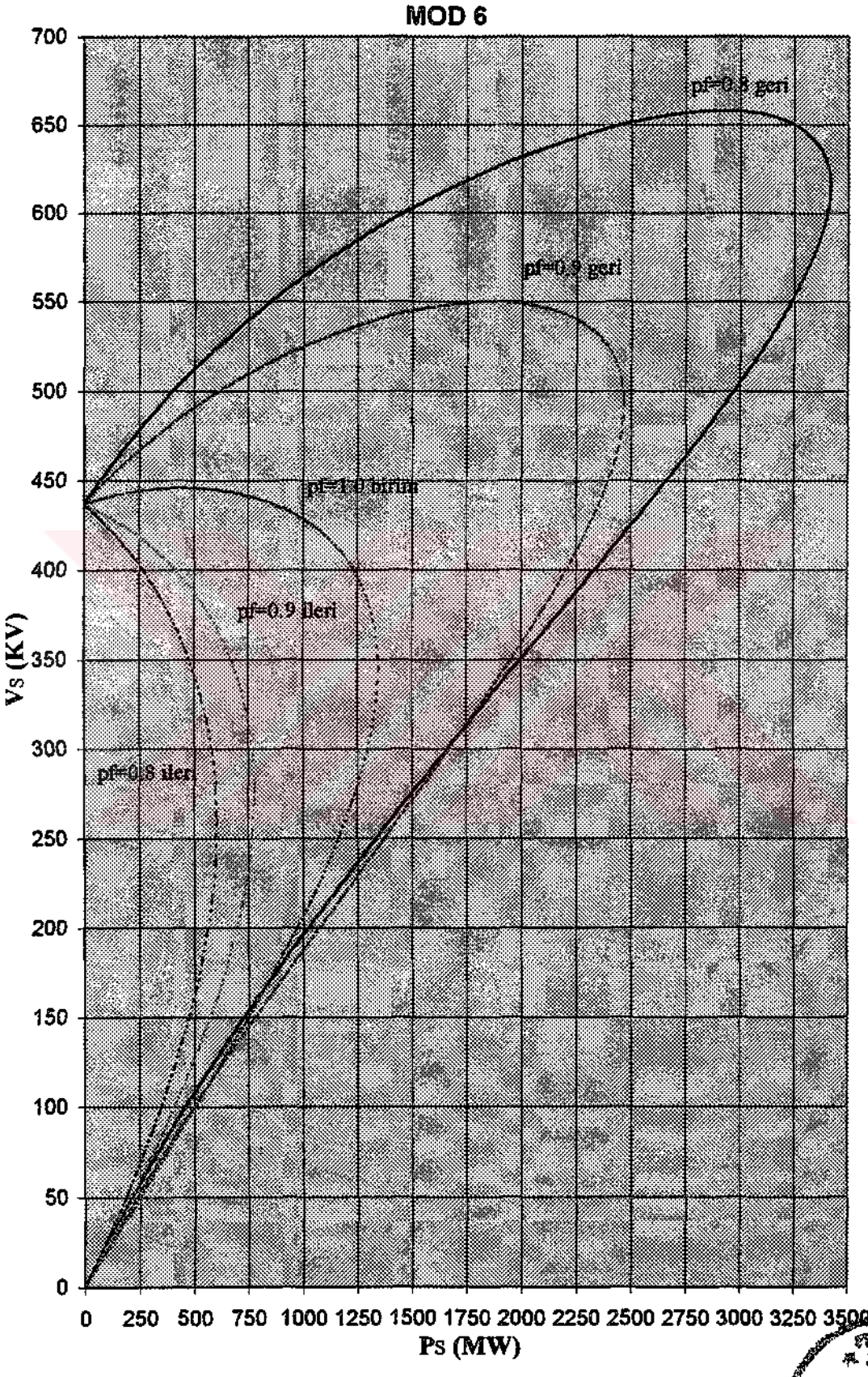

**Grafik 6.4.6.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.25)



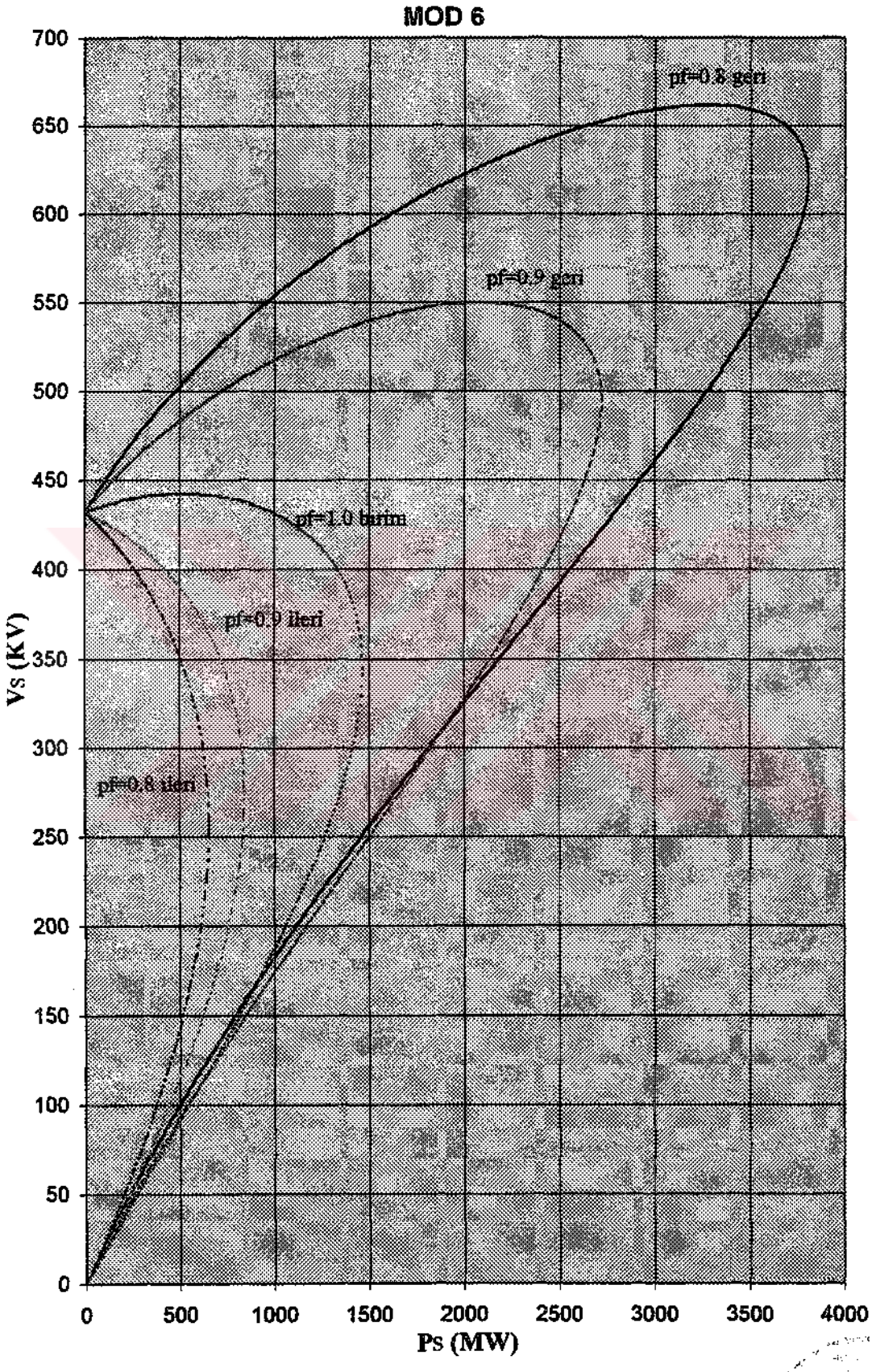

**Grafik 6.4.7.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.30)



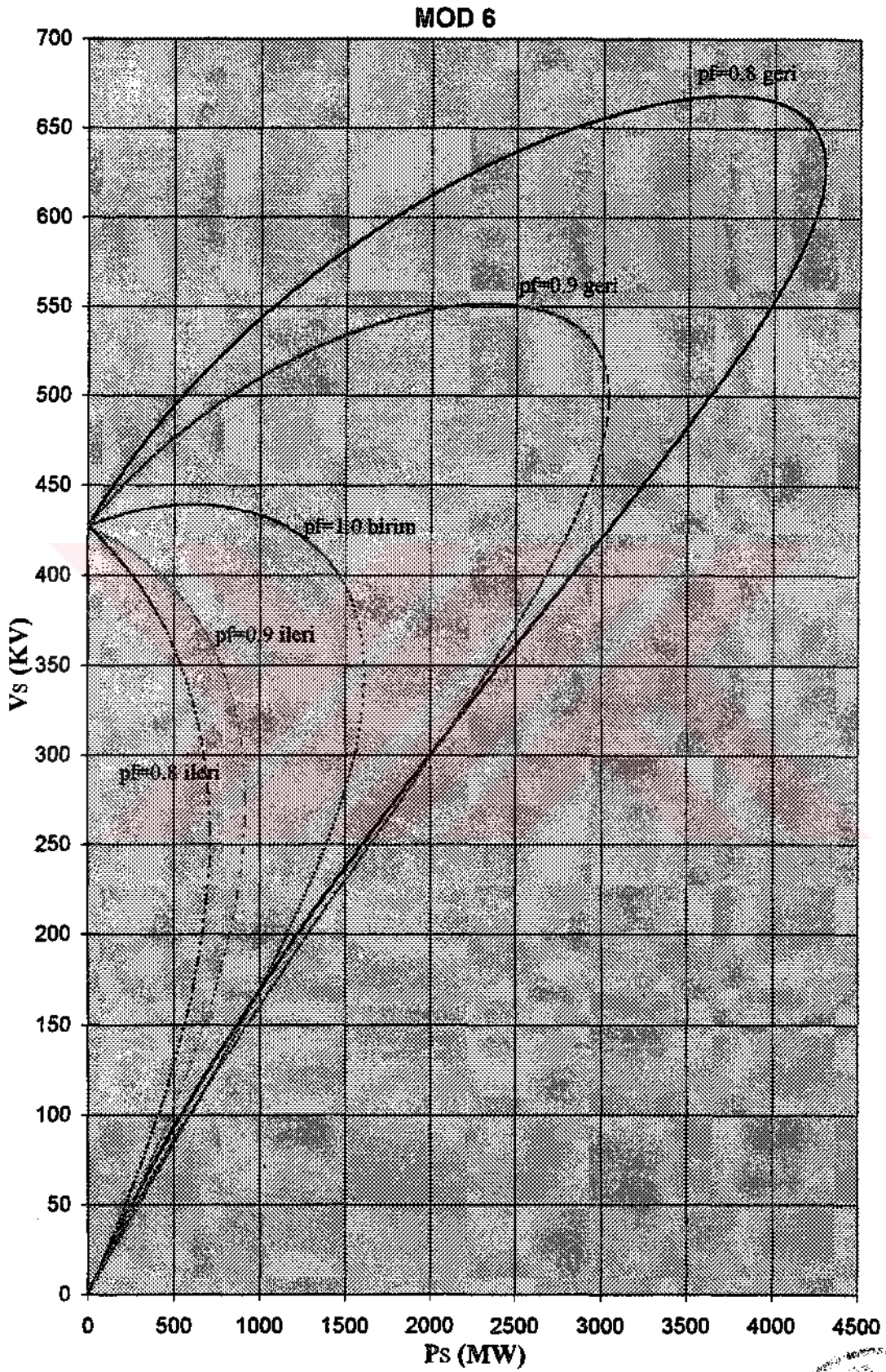

**Grafik 6.4.8.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.35)



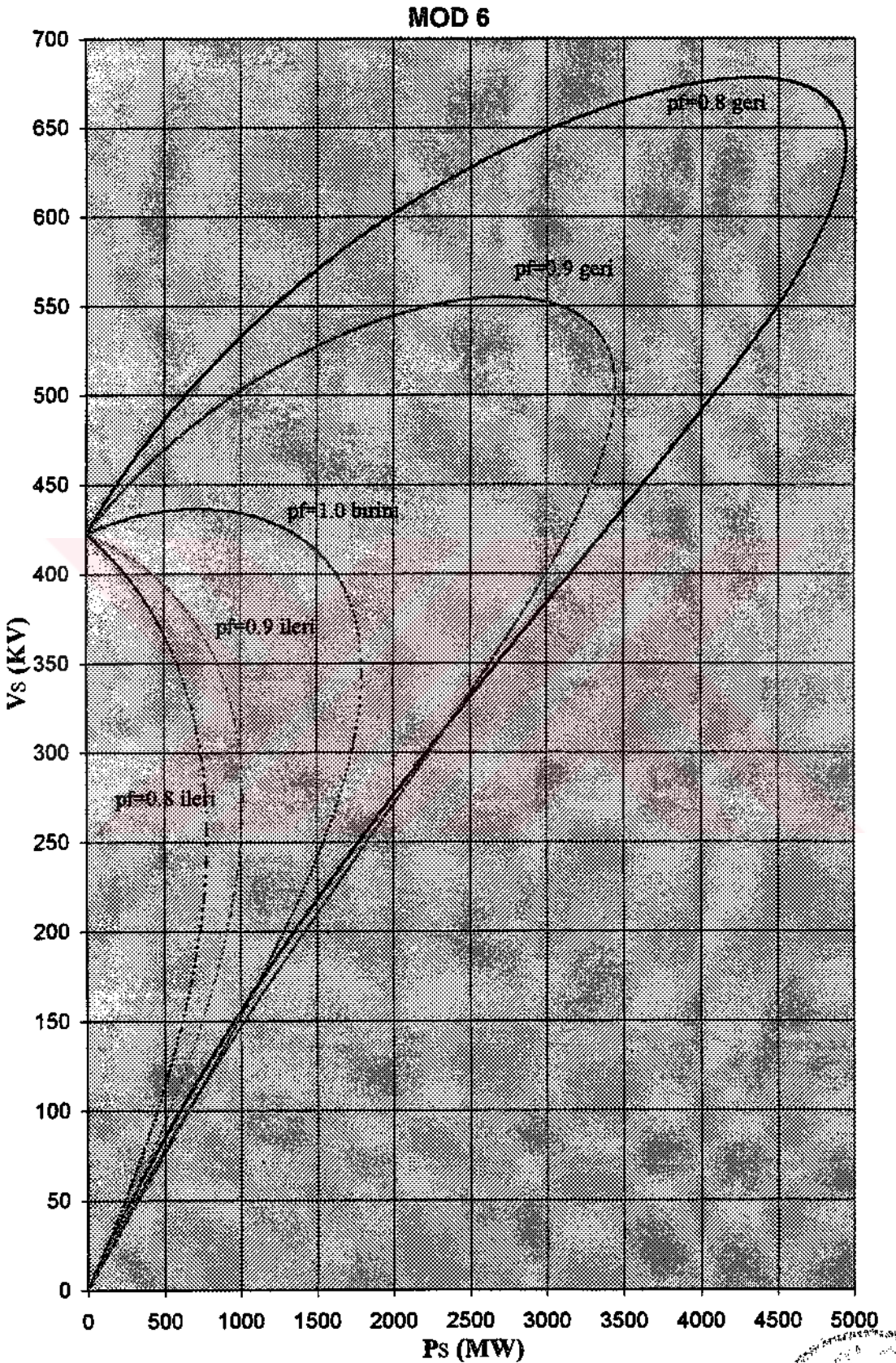

**Grafik 6.4.9.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.40)



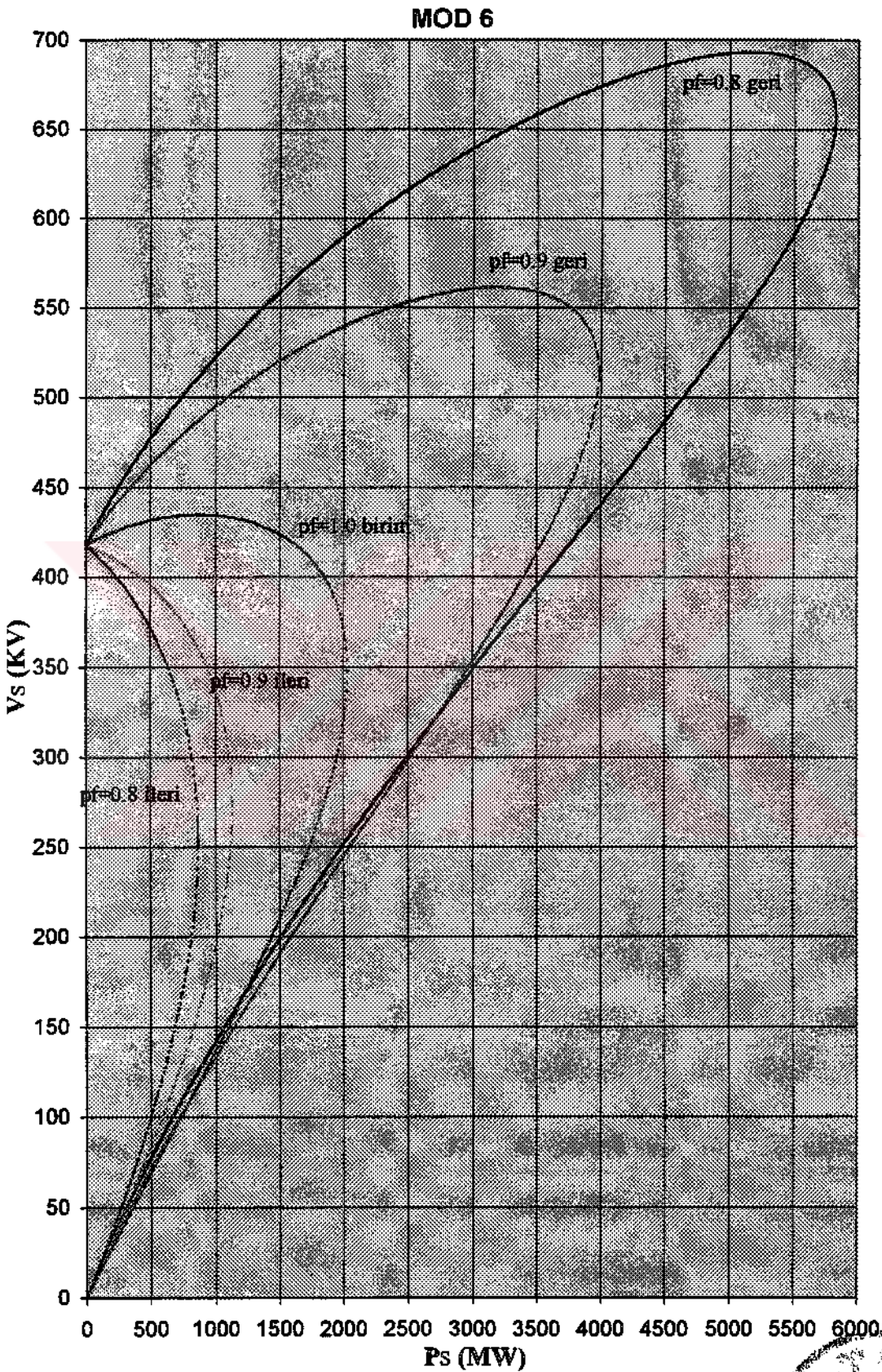

**Grafik 6.4.10.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.45)



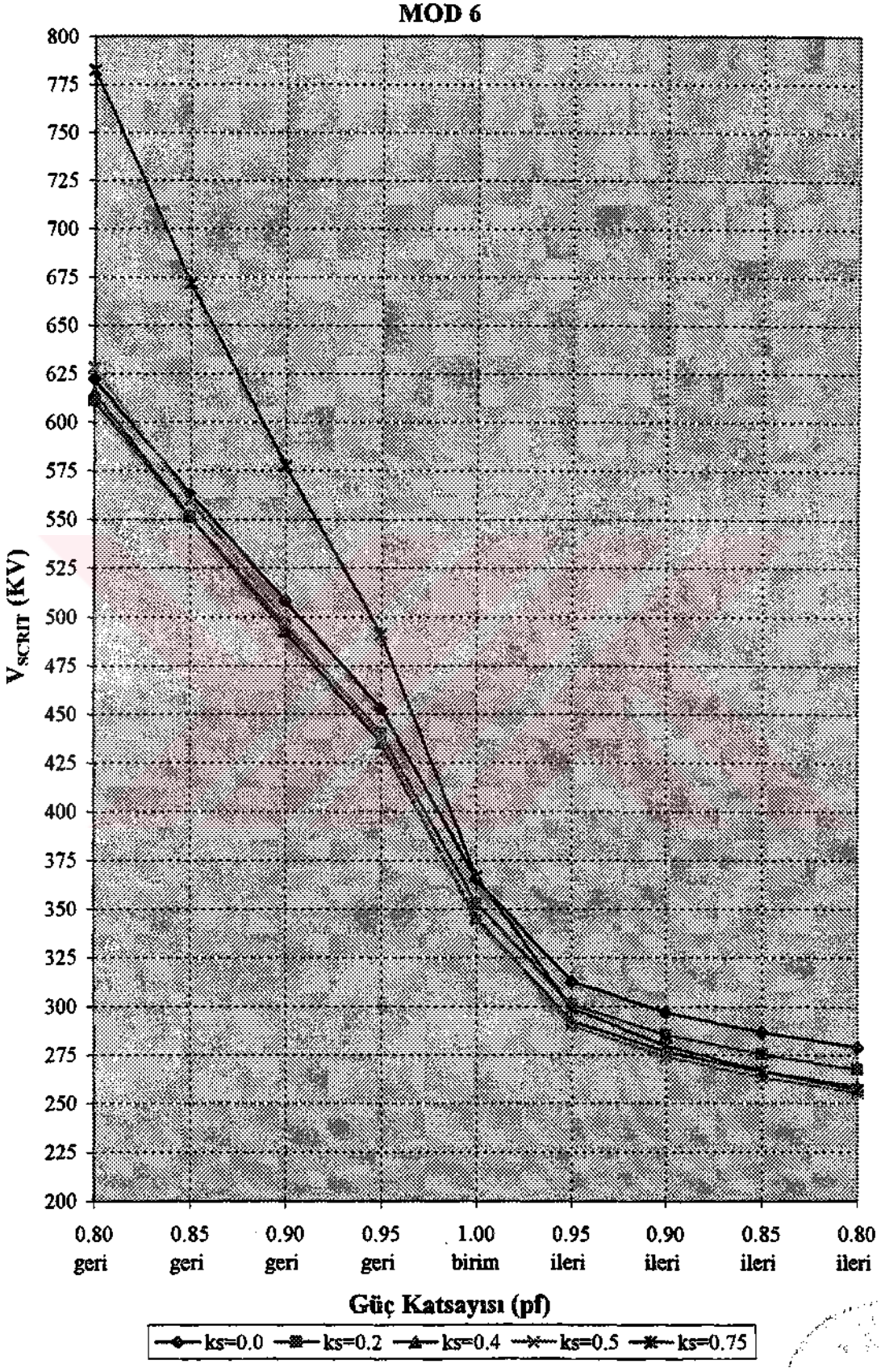

**Grafik 6.4.11.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.50)



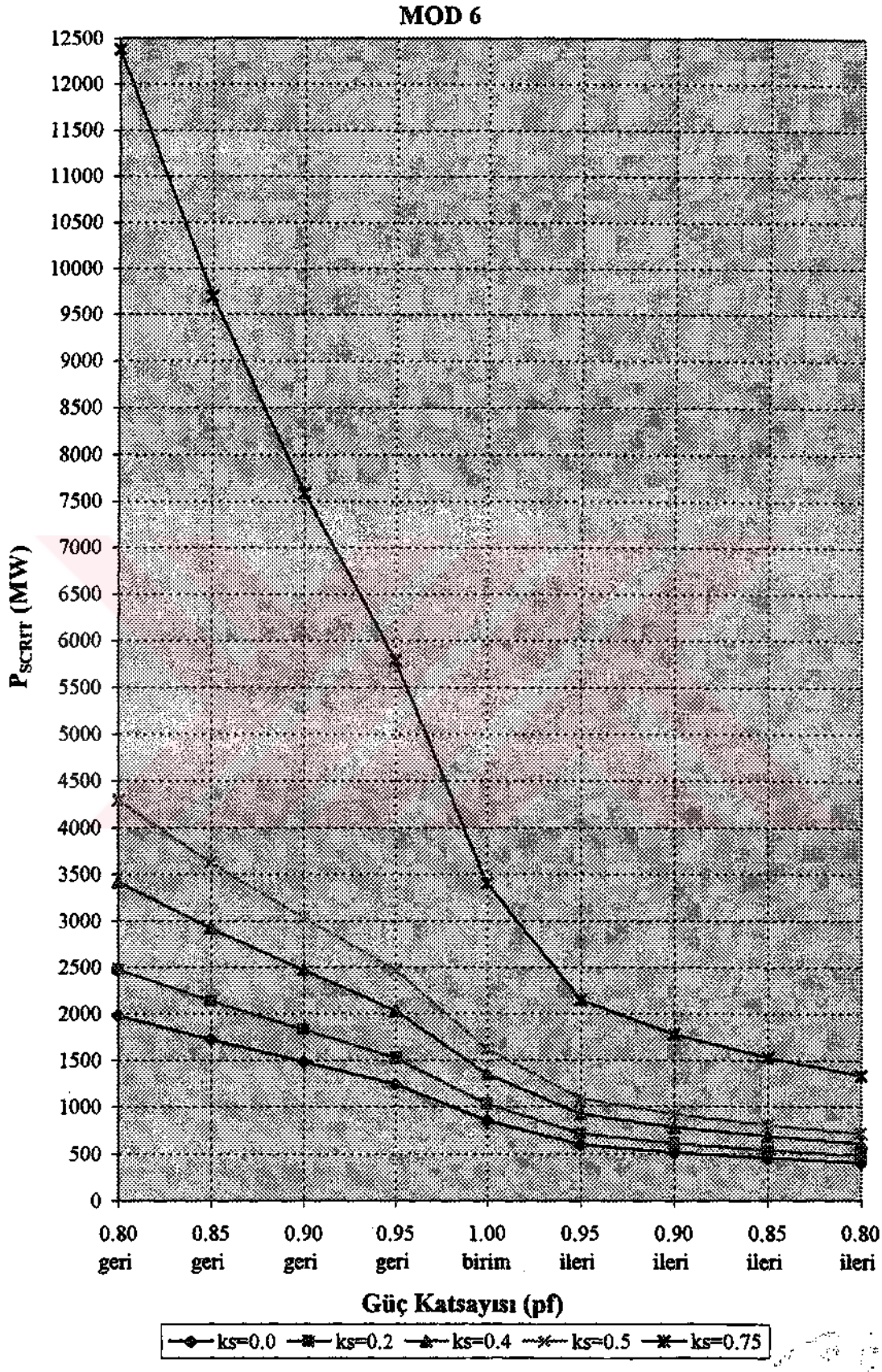

**Grafik 6.4.12.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.55)



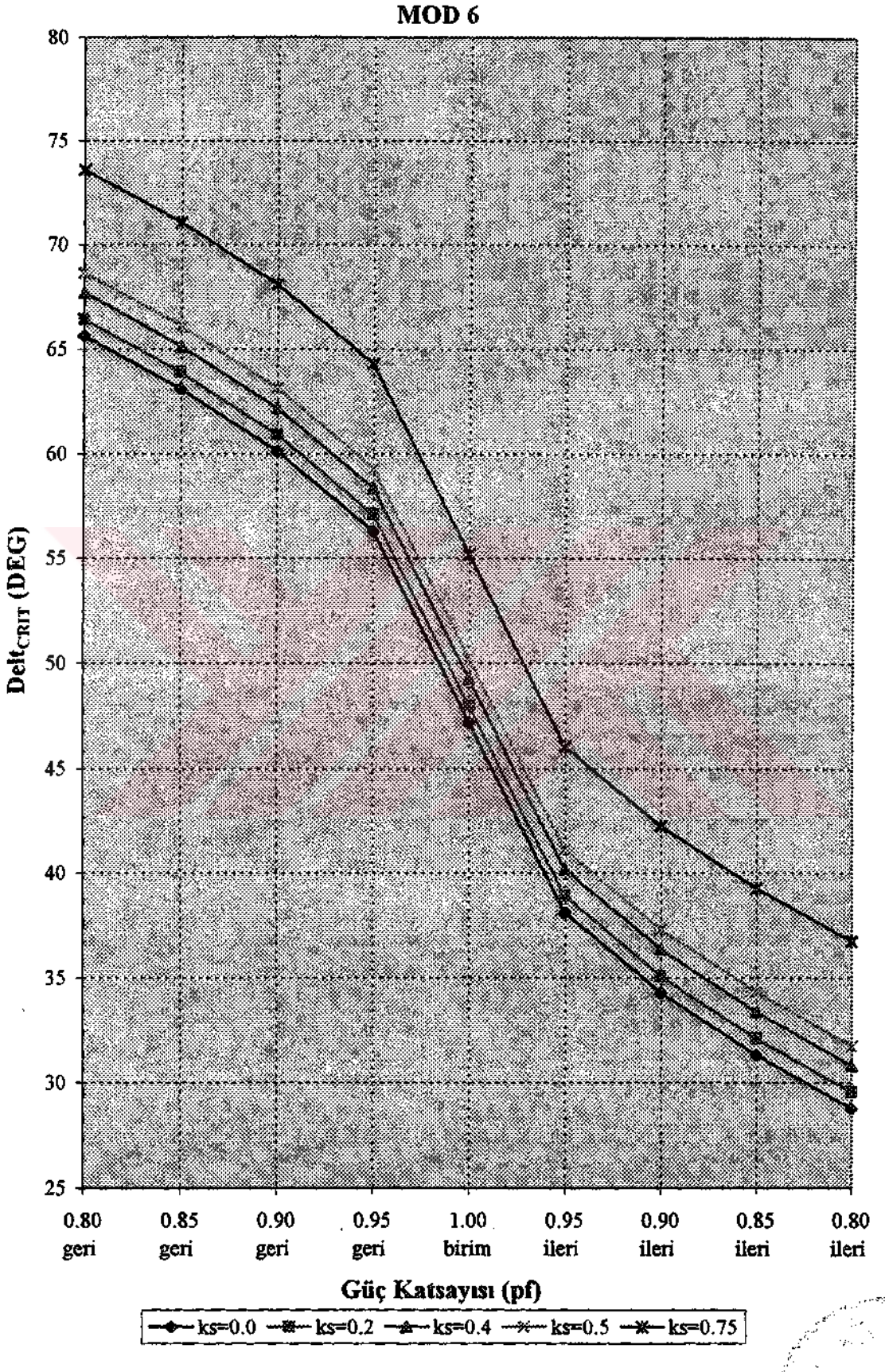

**Grafik 6.4.13.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.60)




**Grafik 6.5.1.** Güç Katsayısı (pf) - $V_{SCRIT}$



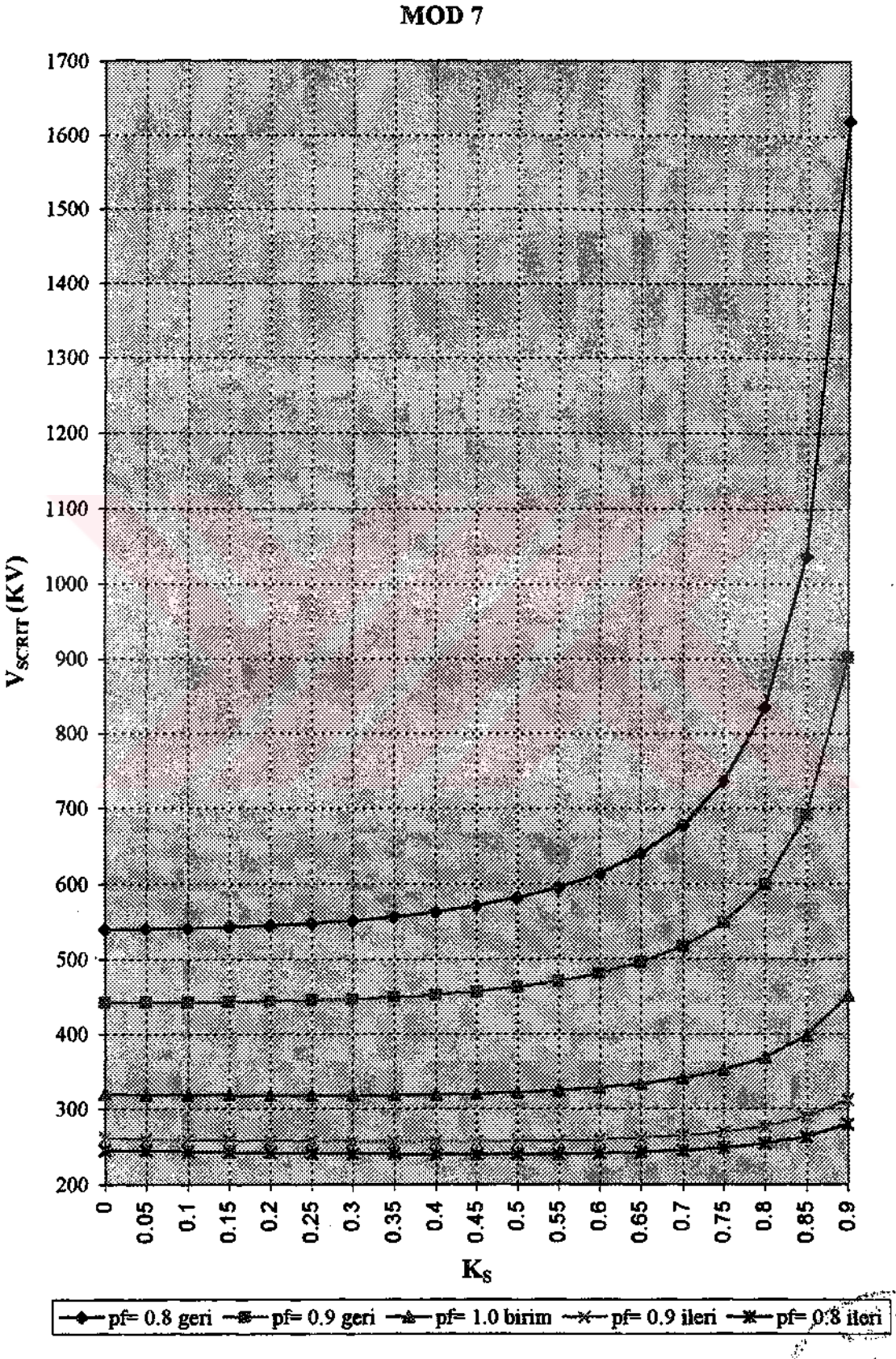

**Grafik 6.5.2.** Güç Katsayısı (pf) - $P_{SCRIT}$




**Grafik 6.5.3.** Güç Katsayısı (pf) - $Delt_{CRIT}$

| | Vscr(KV) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| Ks | | | | | |
| 0 | 539.795845 | 442.615199 | 320.071772 | 261.022889 | 245.37536 |
| 0.05 | 540.34243 | 442.425728 | 319.300671 | 260.090053 | 244.404449 |
| 0.1 | 541.31339 | 442.507303 | 318.654205 | 259.226892 | 243.489491 |
| 0.15 | 542.783967 | 442.905449 | 318.151186 | 258.442805 | 242.637606 |
| 0.2 | 544.850044 | 443.677852 | 317.815311 | 257.749625 | 241.857765 |
| 0.25 | 547.635655 | 444.898632 | 317.676804 | 257.162432 | 241.161418 |
| 0.3 | 551.303991 | 446.664554 | 317.774782 | 256.7007 | 240.563359 |
| 0.35 | 556.074001 | 449.104258 | 318.160708 | 256.389977 | 240.08301 |
| 0.4 | 562.246165 | 452.39239 | 318.90358 | 256.264381 | 239.746313 |
| 0.45 | 570.243913 | 456.771901 | 320.097951 | 256.370431 | 239.588635 |
| 0.5 | 580.682955 | 462.590592 | 321.876742 | 256.773093 | 239.659349 |
| 0.55 | 594.49305 | 470.363677 | 324.432495 | 257.565691 | 240.029322 |
| 0.6 | 613.144749 | 480.886606 | 328.054282 | 258.886836 | 240.803658 |
| 0.65 | 639.103311 | 495.451921 | 333.195283 | 260.950781 | 242.144476 |
| 0.7 | 676.825276 | 516.300485 | 340.604821 | 264.105137 | 244.313937 |
| 0.75 | 735.212098 | 547.661589 | 351.607816 | 268.948551 | 247.761255 |
| 0.8 | 835.008501 | 598.505112 | 368.759336 | 276.591997 | 253.313462 |
| 0.85 | 1036.751605 | 691.42857 | 397.596201 | 289.303308 | 262.636549 |
| 0.9 | 1620.330369 | 902.33327 | 452.277998 | 312.319245 | 279.487665 |
| 0.95 | 11936.78974 | 1714.267374 | 579.770839 | 359.847827 | 313.593646 |

**Tablo 7.1.** $K_S$ - $V_{SCRIT}$

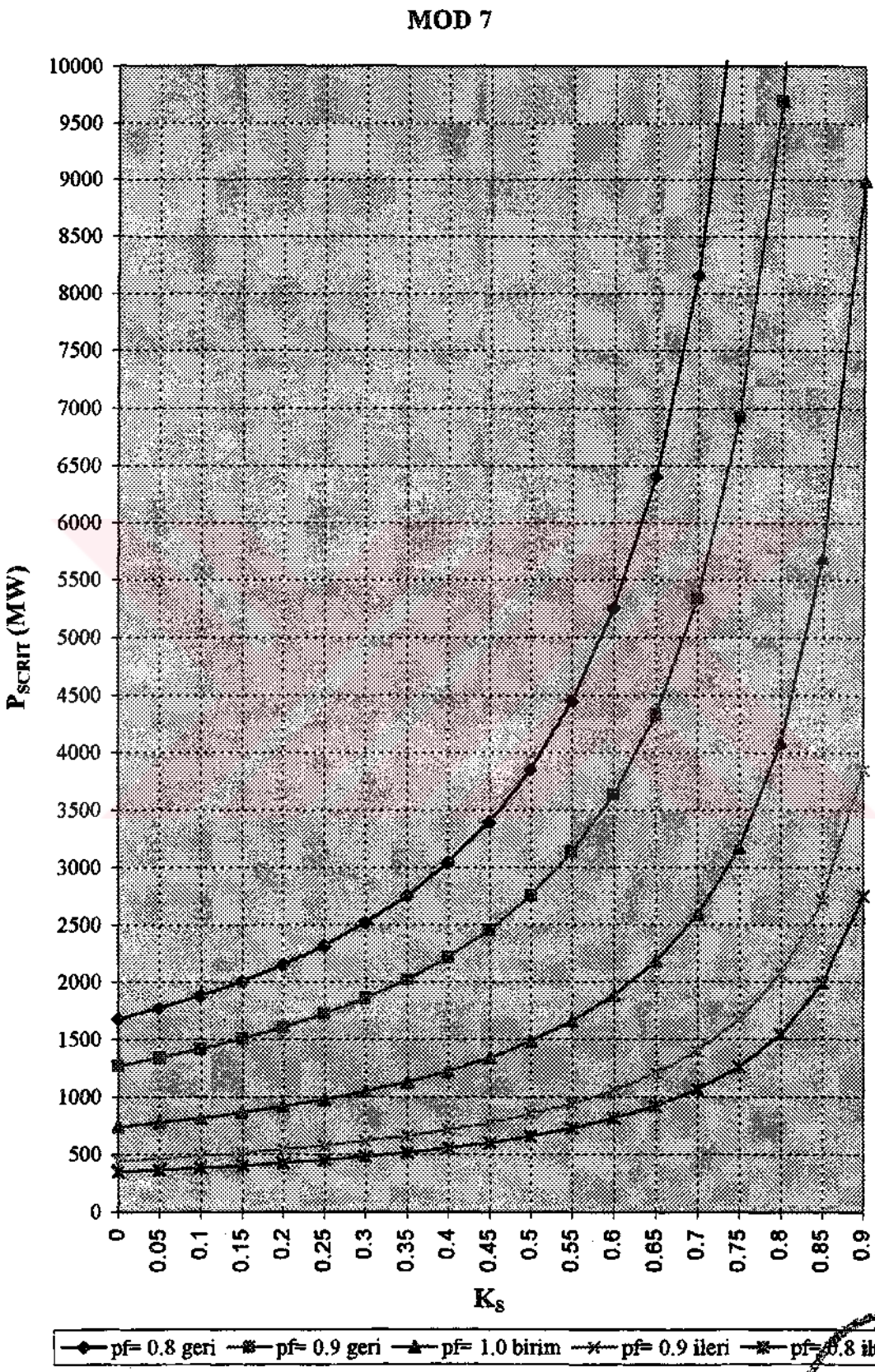



**Grafik 7.1.** $K_S$ - $V_{SCRIT}$

## MOD 7

| | Pscr(MW) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı Ks | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| 0 | 1674.963168 | 1266.926312 | 736.12395 | 440.611567 | 346.105171 |
| 0.05 | 1771.253316 | 1335.905705 | 773.129436 | 461.681575 | 362.377101 |
| 0.1 | 1880.487715 | 1413.729655 | 814.558503 | 485.160672 | 380.481377 |
| 0.15 | 2005.394871 | 1502.17472 | 861.237609 | 511.478393 | 400.739454 |
| 0.2 | 2149.51757 | 1603.522435 | 914.211462 | 541.172381 | 423.552345 |
| 0.25 | 2317.536874 | 1720.750419 | 974.819577 | 574.924465 | 449.426707 |
| 0.3 | 2515.762105 | 1857.816428 | 1044.807234 | 613.612115 | 479.011851 |
| 0.35 | 2752.893986 | 2020.092117 | 1126.490177 | 658.383464 | 513.153344 |
| 0.4 | 3041.254145 | 2215.046331 | 1223.005789 | 710.769407 | 552.972566 |
| 0.45 | 3398.845625 | 2453.360702 | 1338.708205 | 772.855875 | 599.987981 |
| 0.5 | 3852.970274 | 2750.829138 | 1479.812554 | 847.557258 | 656.305817 |
| 0.55 | 4446.942477 | 3131.756763 | 1655.490351 | 939.06682 | 724.930787 |
| 0.6 | 5253.423647 | 3635.417405 | 1879.826783 | 1053.631767 | 810.293879 |
| 0.65 | 6403.245609 | 4329.259129 | 2175.533257 | 1200.957805 | 919.193948 |
| 0.7 | 8154.883867 | 5338.536678 | 2581.524413 | 1396.917835 | 1062.578748 |
| 0.75 | 11088.26388 | 6921.364514 | 3169.87174 | 1669.189235 | 1259.161457 |
| 0.8 | 16770.79081 | 9693.039867 | 4088.535835 | 2070.157992 | 1543.434799 |
| 0.85 | 30938.97005 | 15481.16301 | 5687.886017 | 2710.289855 | 1985.485612 |
| 0.9 | 92340.70004 | 32216.06428 | 8993.048895 | 3859.544332 | 2747.333039 |
| 0.95 | 6194056.491 | 143717.5205 | 18265.13233 | 6332.72115 | 4274.98487 |

**Tablo 7.2.** $K_S$ - $P_{SCRIT}$

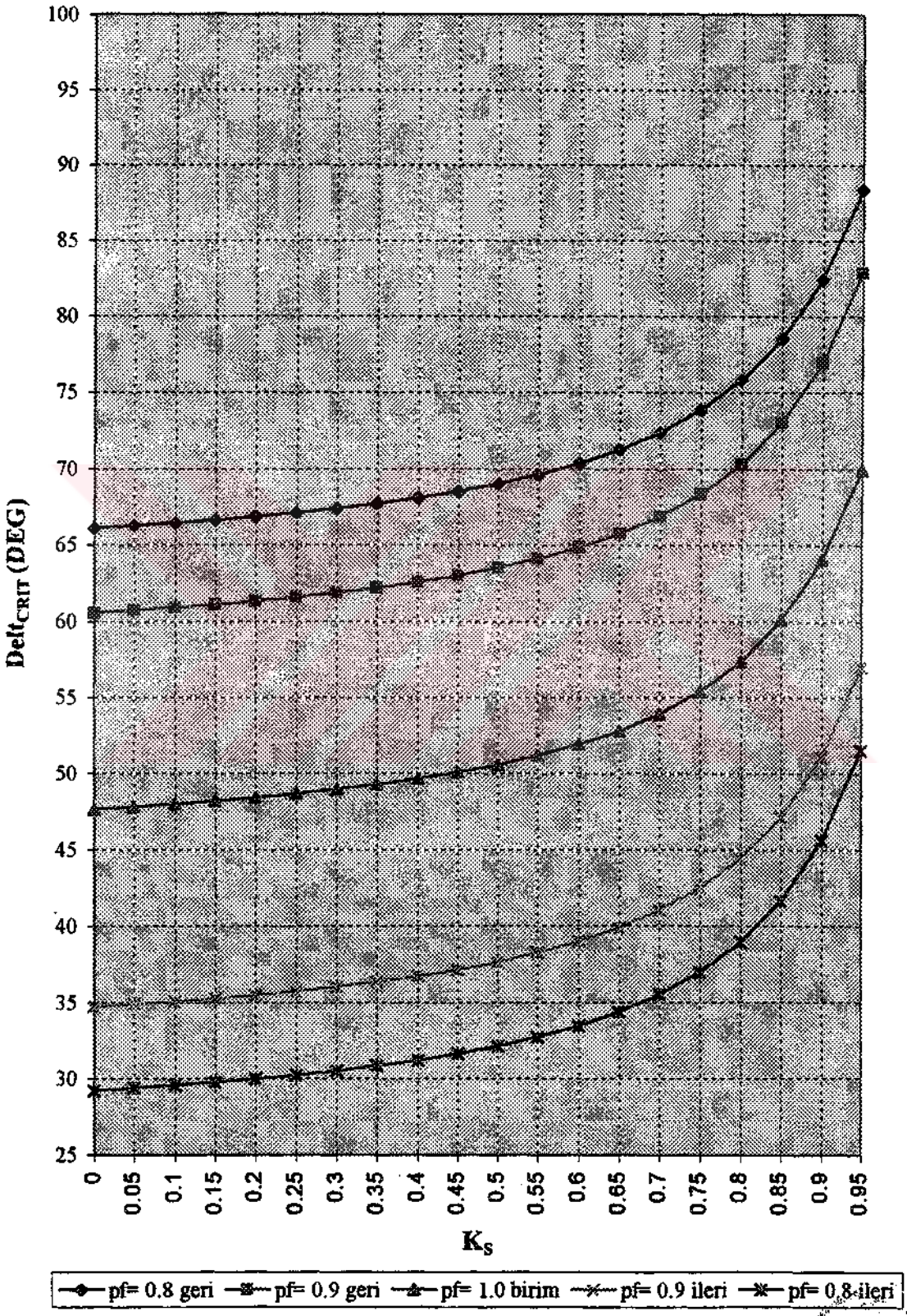



**Grafik 7.2.** $K_S$ - $P_{SCRIT}$

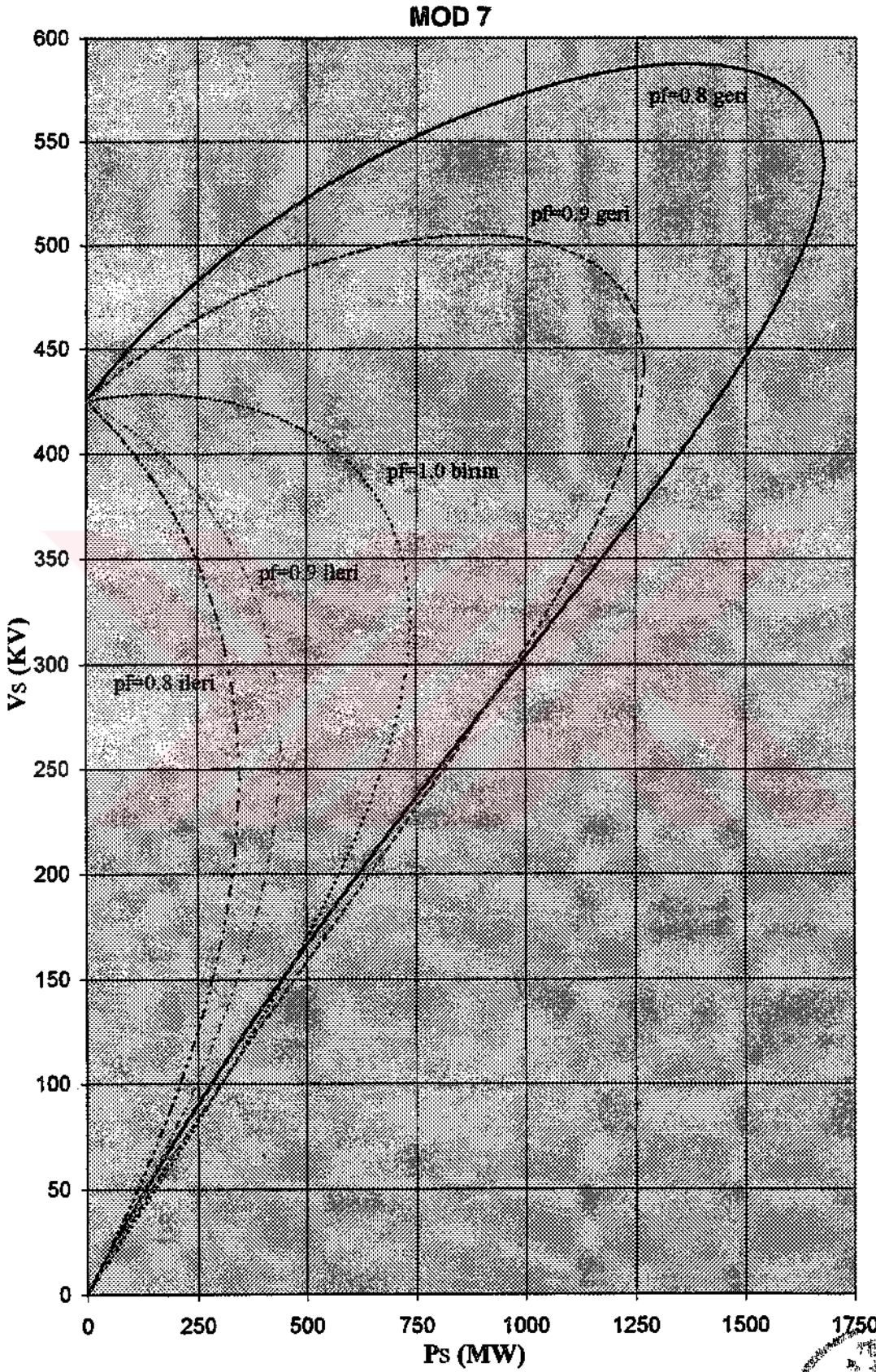
| | delter(DEG) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Güç Katsayısı | pf= 0.8 geri | pf= 0.9 geri | pf= 1.0 birim | pf= 0.9 ileri | pf= 0.8 ileri |
| Ks | | | | | |
| 0 | 66.079671 | 60.565689 | 47.644722 | 34.723756 | 29.209774 |
| 0.05 | 66.243182 | 60.729199 | 47.808233 | 34.887267 | 29.373284 |
| 0.1 | 66.423592 | 60.90961 | 47.988643 | 35.067677 | 29.553694 |
| 0.15 | 66.62367 | 61.109687 | 48.188721 | 35.267754 | 29.753772 |
| 0.2 | 66.846816 | 61.332833 | 48.411867 | 35.490901 | 29.976918 |
| 0.25 | 67.097258 | 61.583275 | 48.662309 | 35.741342 | 30.22736 |
| 0.3 | 67.380312 | 61.866329 | 48.945363 | 36.024397 | 30.510414 |
| 0.35 | 67.702756 | 62.188774 | 49.267807 | 36.346841 | 30.832858 |
| 0.4 | 68.073362 | 62.55938 | 49.638413 | 36.717447 | 31.203465 |
| 0.45 | 68.503676 | 62.989693 | 50.068727 | 37.147761 | 31.633778 |
| 0.5 | 69.009187 | 63.495204 | 50.574238 | 37.653271 | 32.139289 |
| 0.55 | 69.611132 | 64.09715 | 51.176183 | 38.255217 | 32.741235 |
| 0.6 | 70.339362 | 64.82538 | 51.904413 | 38.983447 | 33.469464 |
| 0.65 | 71.237034 | 65.723051 | 52.802085 | 39.881118 | 34.367136 |
| 0.7 | 72.368596 | 66.854613 | 53.933647 | 41.012681 | 35.498698 |
| 0.75 | 73.833868 | 68.319886 | 55.398919 | 42.477953 | 36.963971 |
| 0.8 | 75.793692 | 70.279709 | 57.358743 | 44.437777 | 38.923794 |
| 0.85 | 78.51734 | 73.003358 | 60.082392 | 47.161425 | 41.647443 |
| 0.9 | 82.465524 | 76.951542 | 64.030575 | 51.109609 | 45.595627 |
| 0.95 | 88.390826 | 82.876844 | 69.955878 | 57.034911 | 51.520929 |

**Tablo 7.3.** $K_S$ - $delt_{CRIT}$

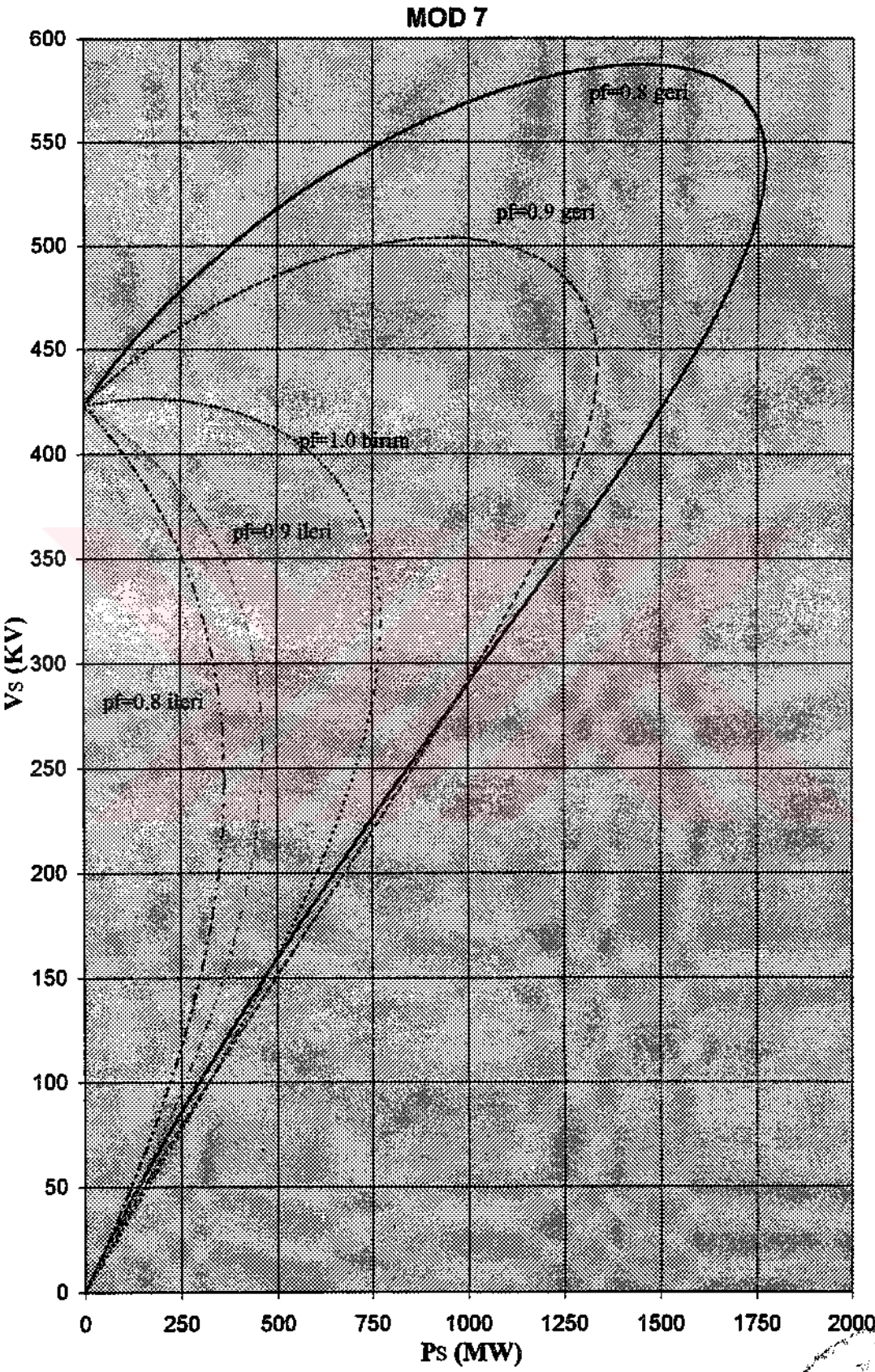
**MOD 7**



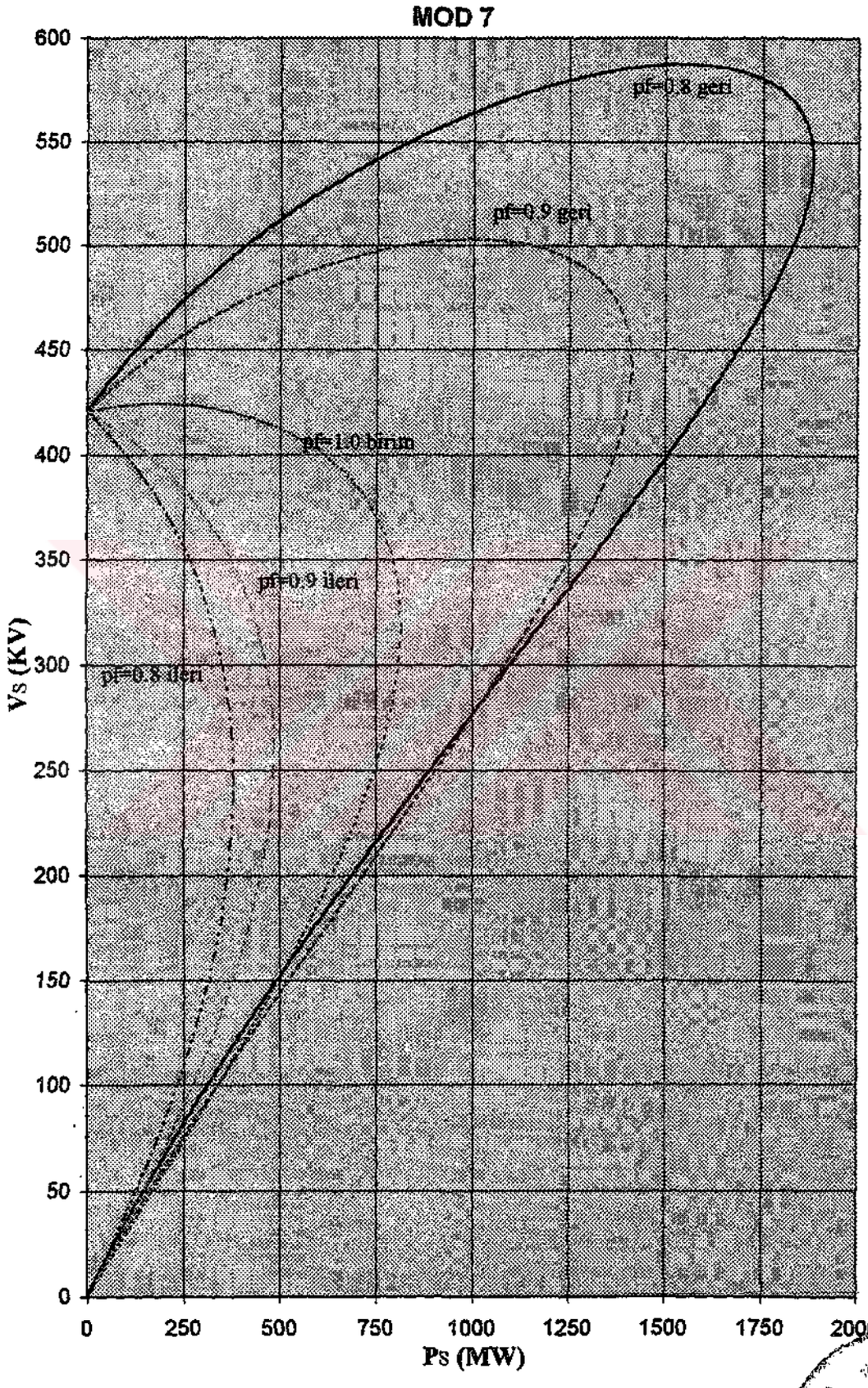

**Grafik 7.3. $K_S$ - Delt$_{CRIT}$**



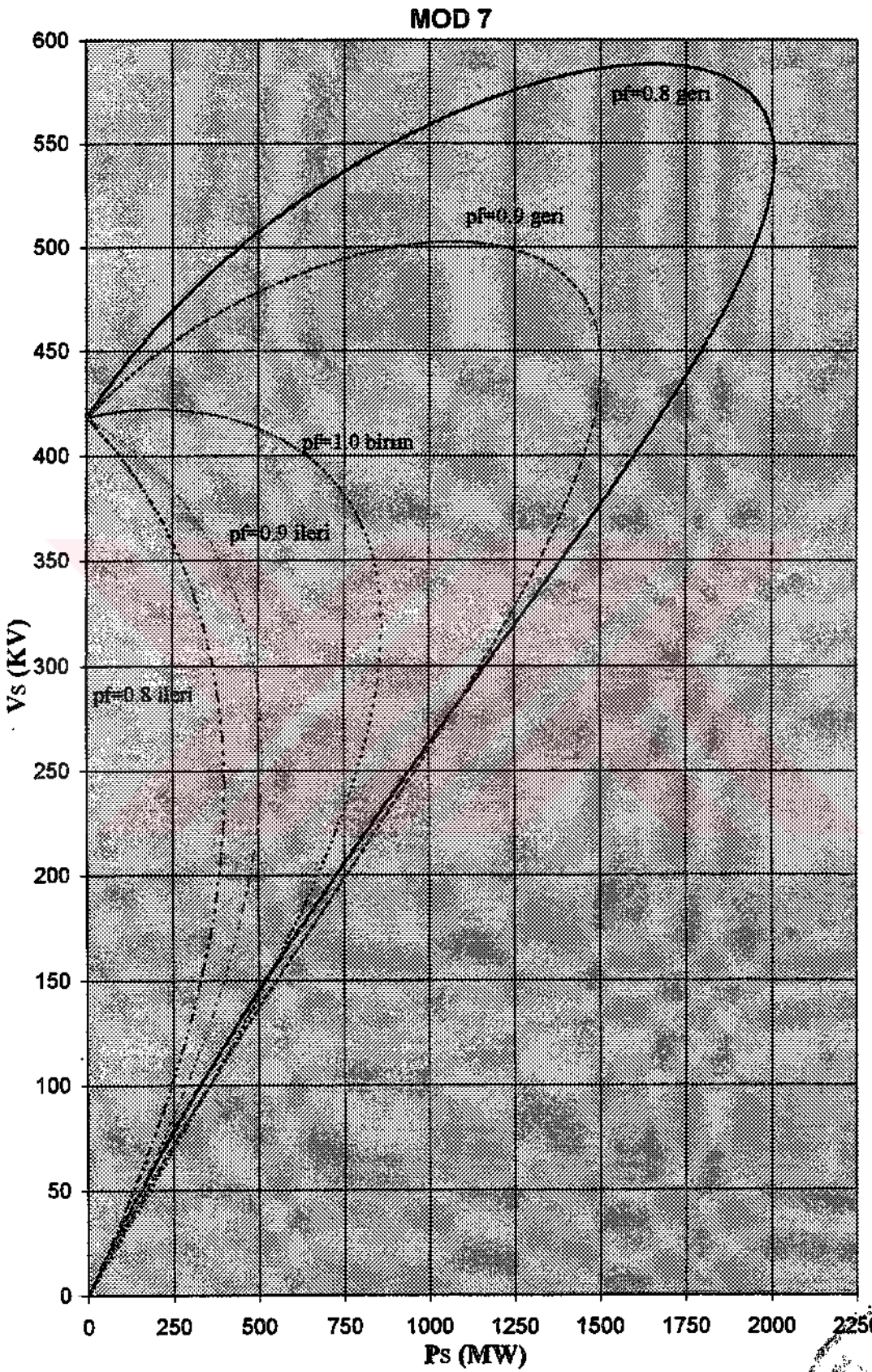

**Grafik 7.4.1.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.00)



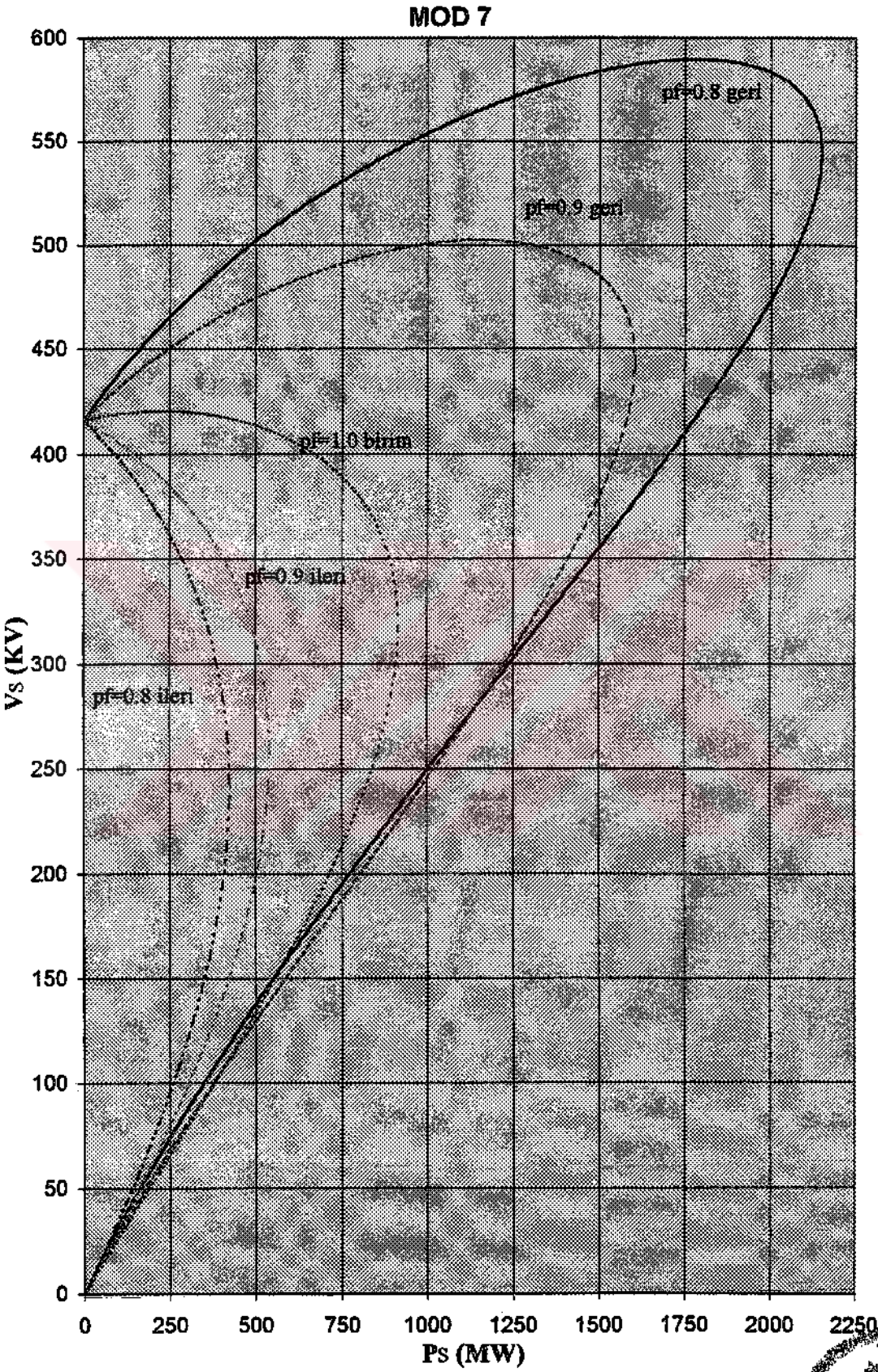

**Grafik 7.4.2.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.05)



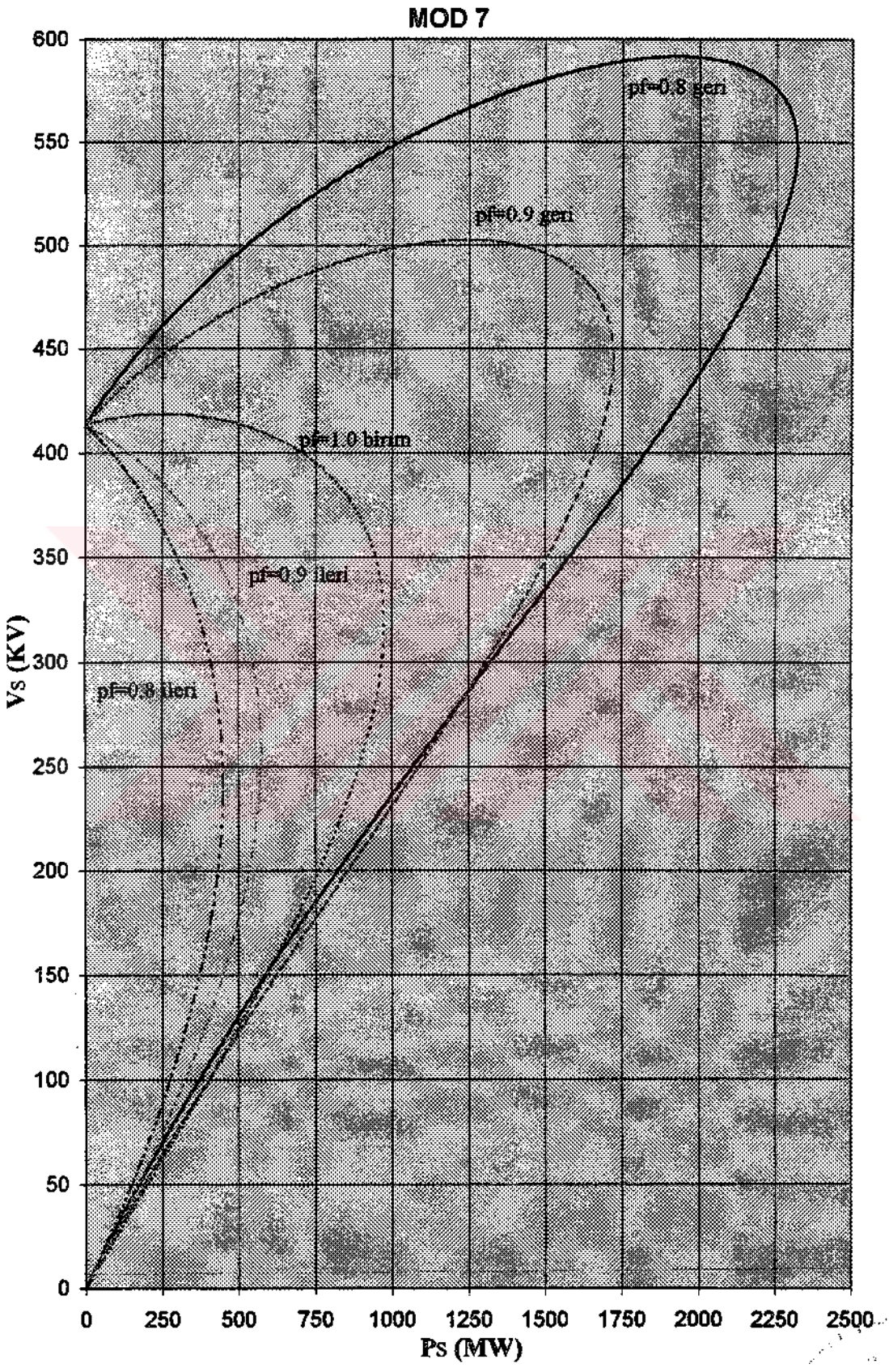

**Grafik 7.4.3.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.10)



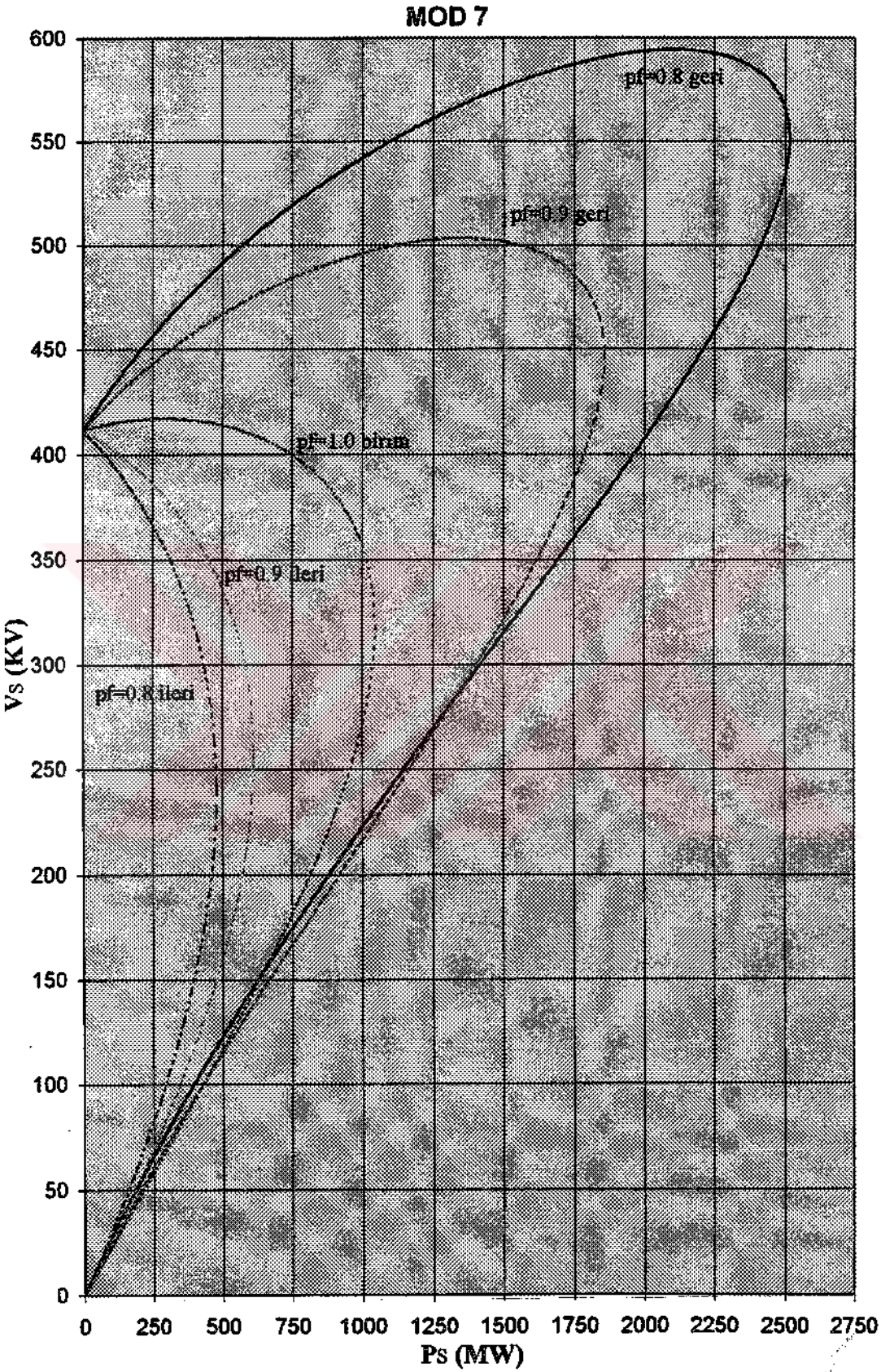

**Grafik 7.4.4.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.15)



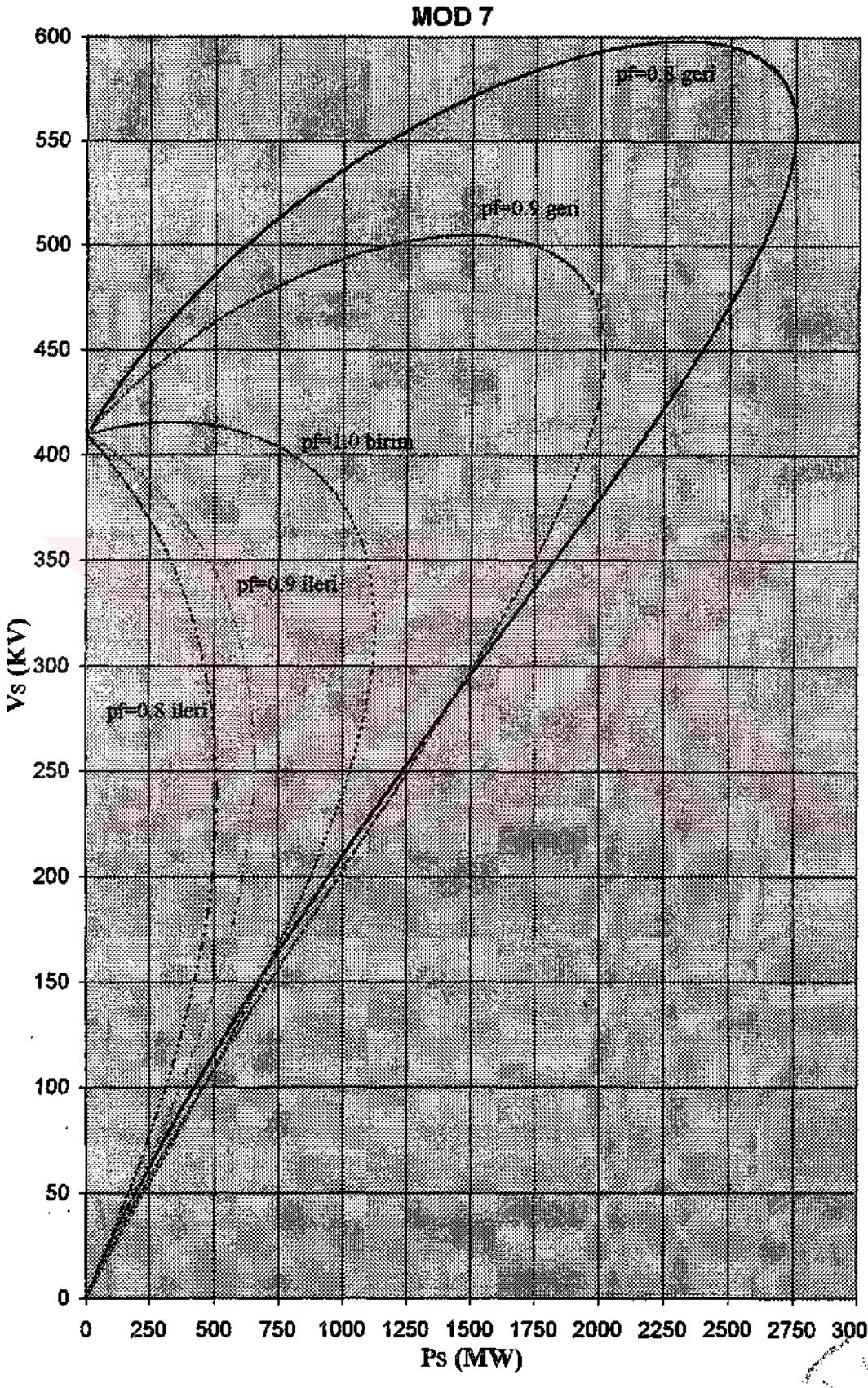

**Grafik 7.4.5.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.20)



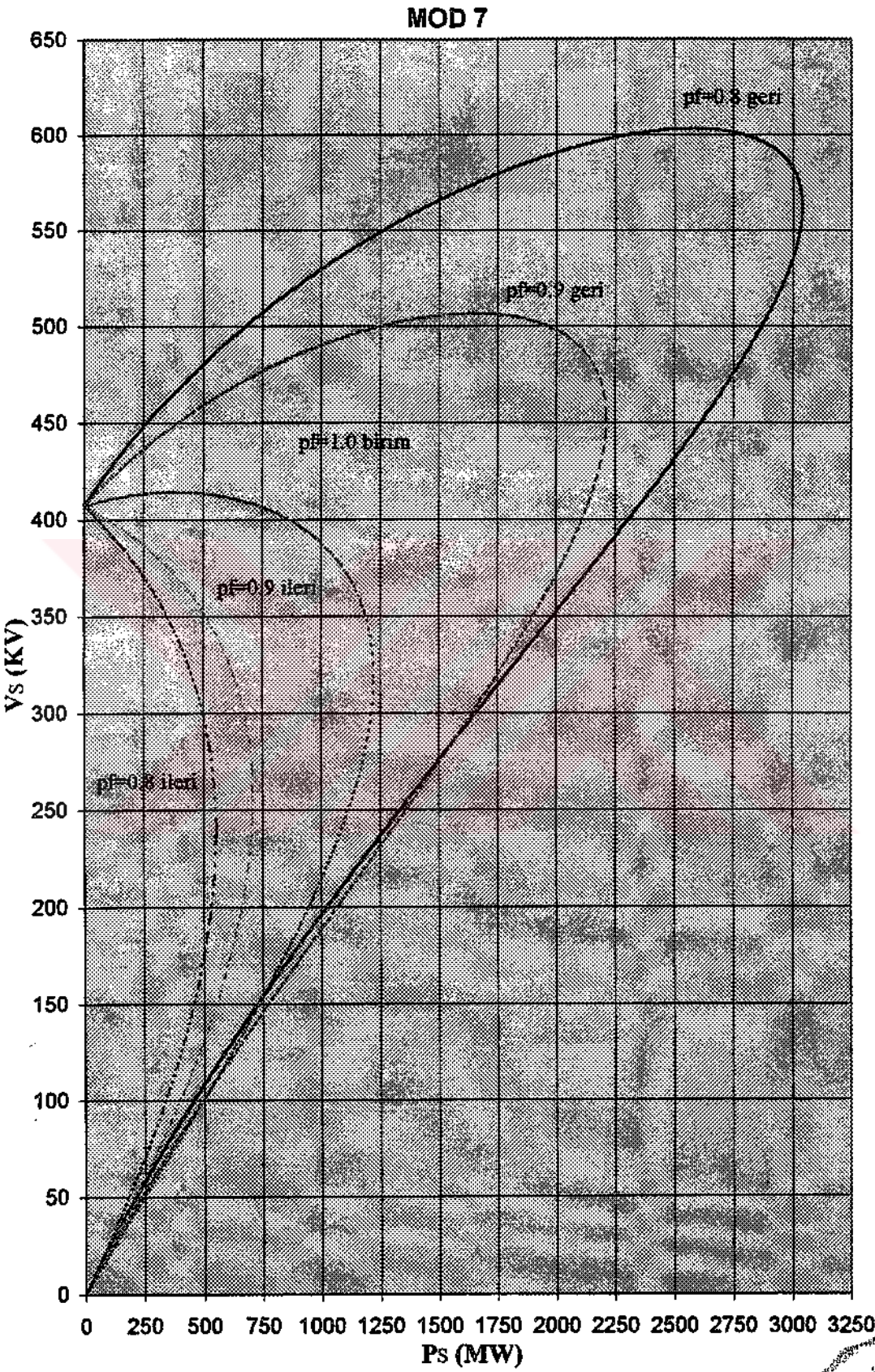

**Grafik 7.4.6.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.25)



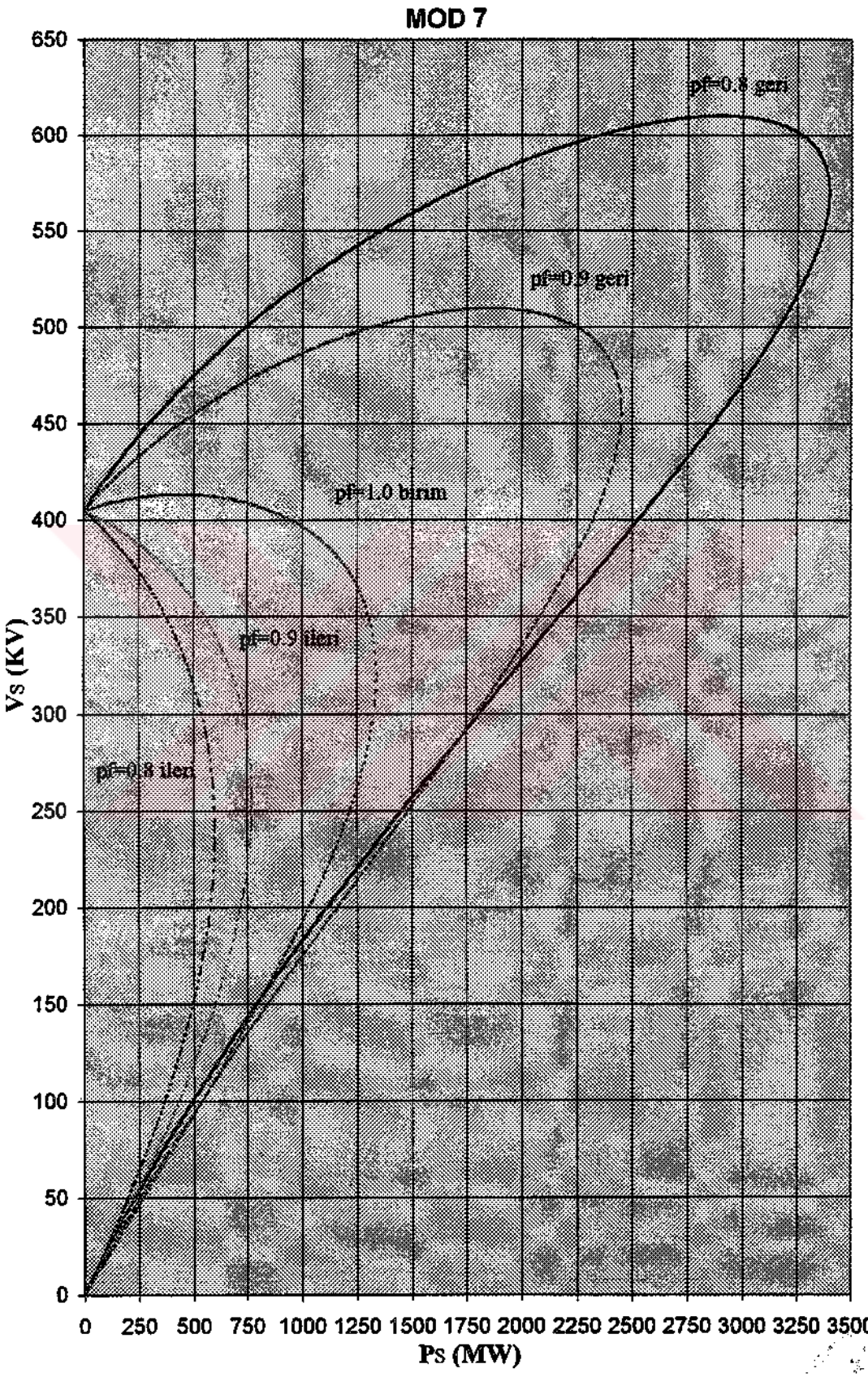

**Grafik 7.4.7.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.30)



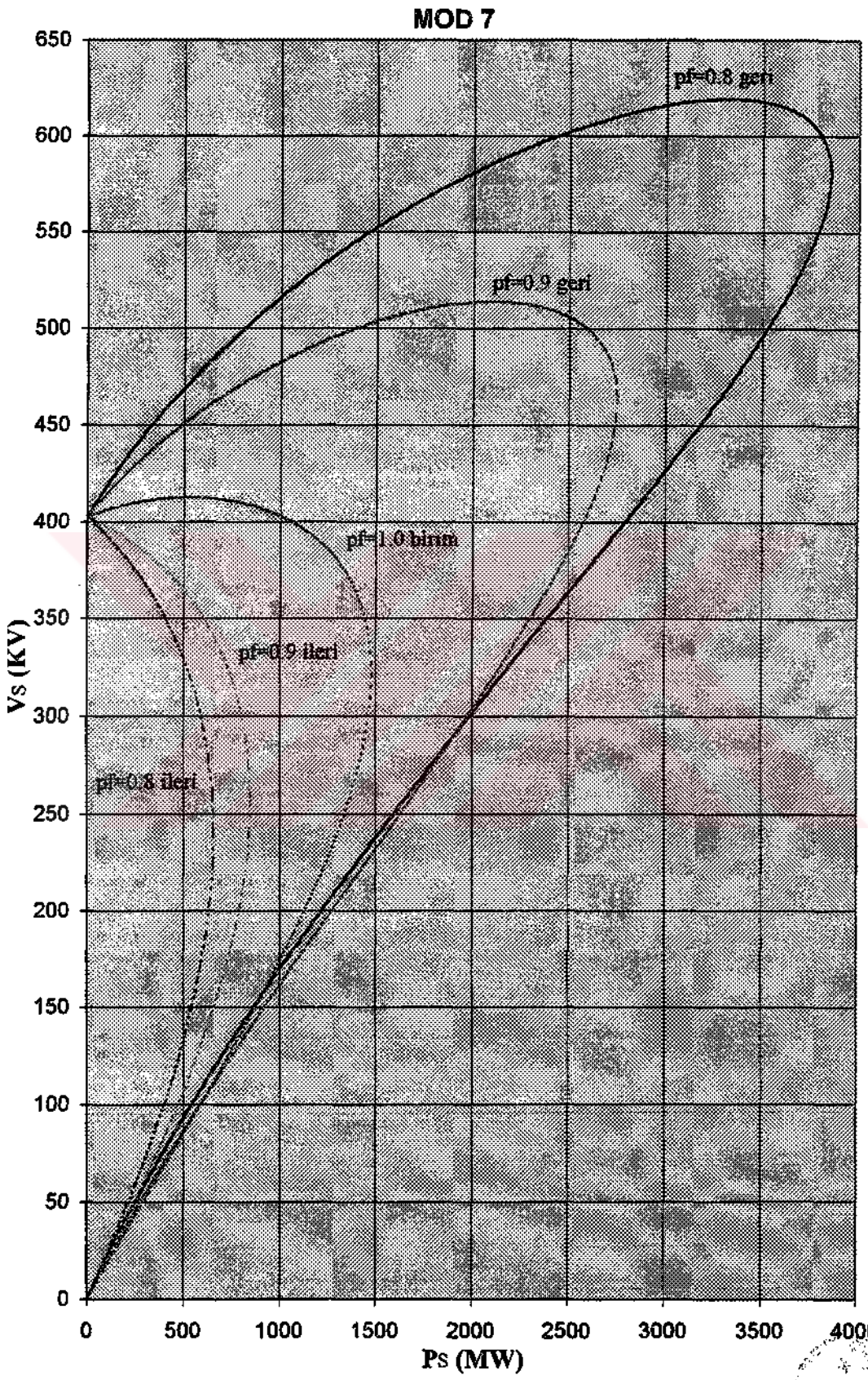

**Grafik 7.4.8.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.35)



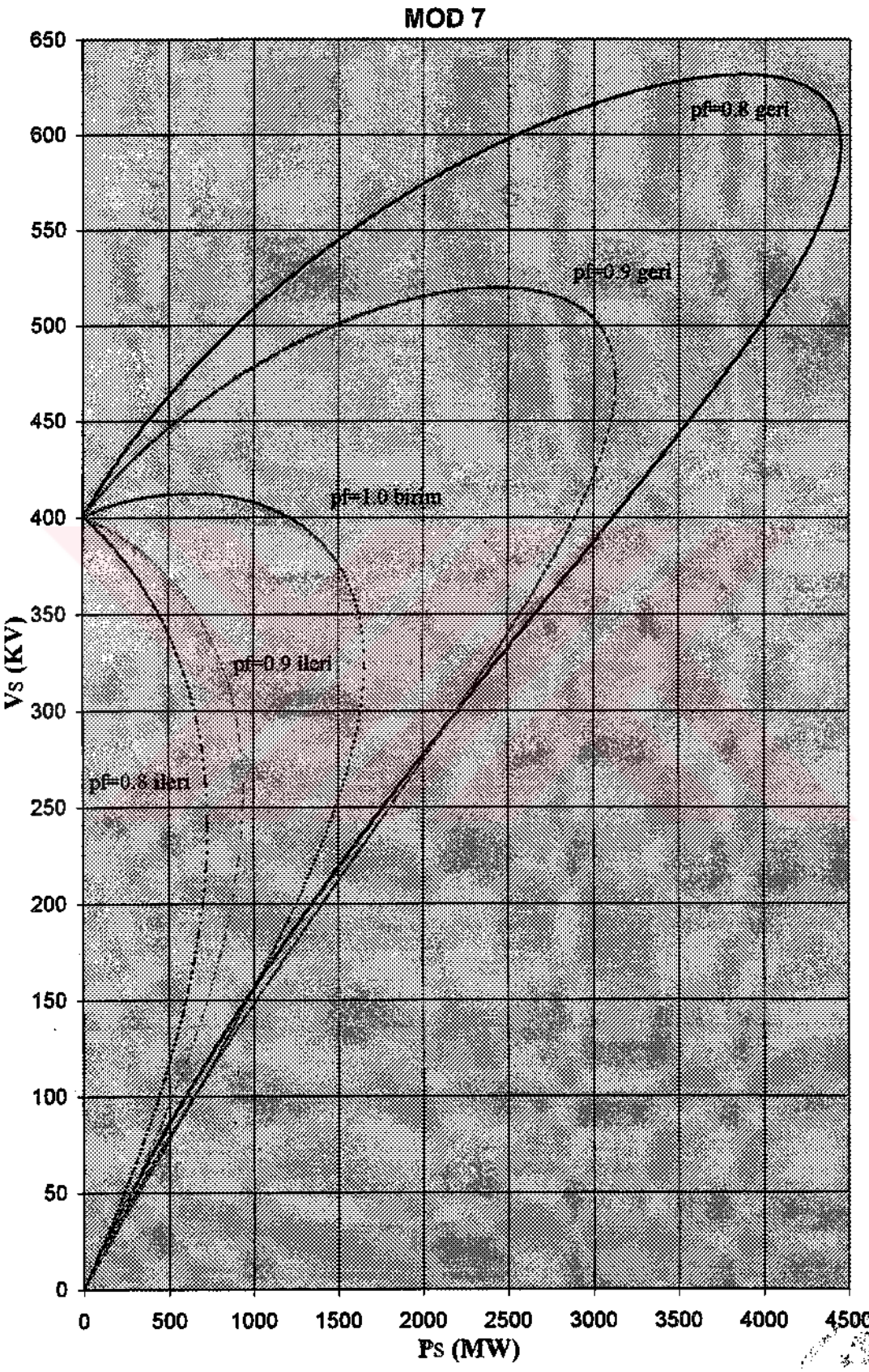

**Grafik 7.4.9.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.40)



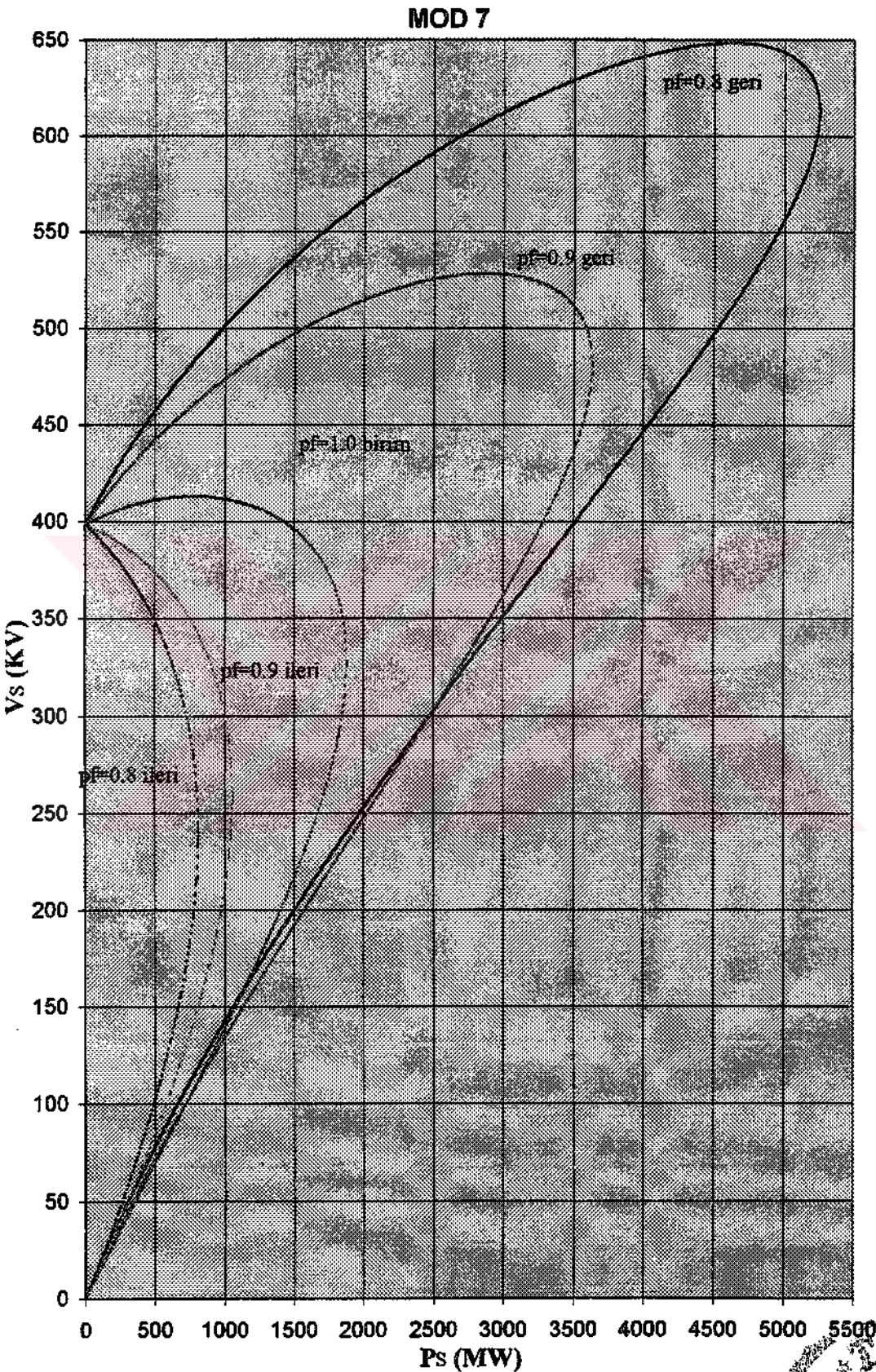

**Grafik 7.4.10.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.45)



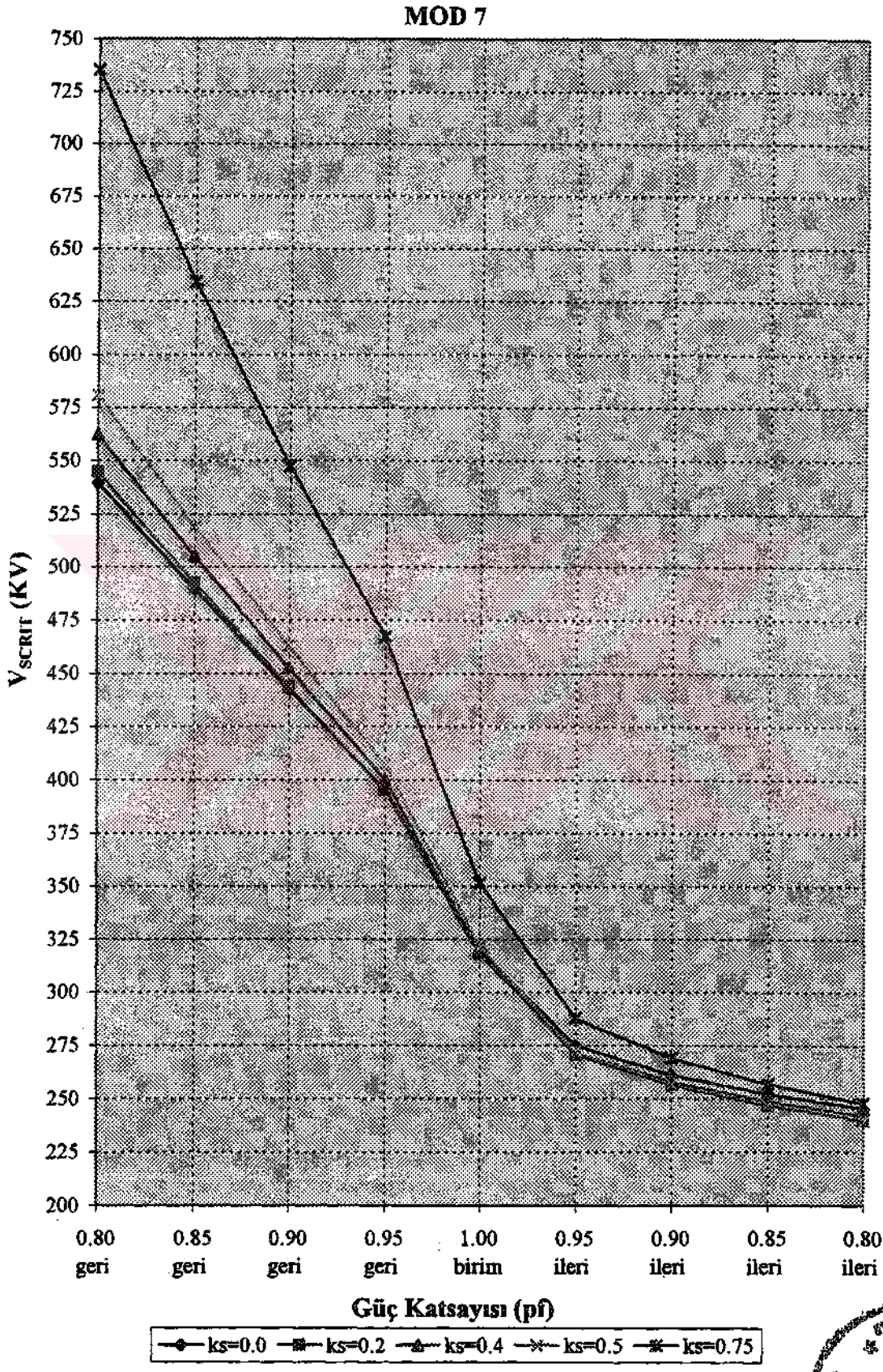

**Grafik 7.4.11.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.50)




**Grafik 7.4.12.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.55)

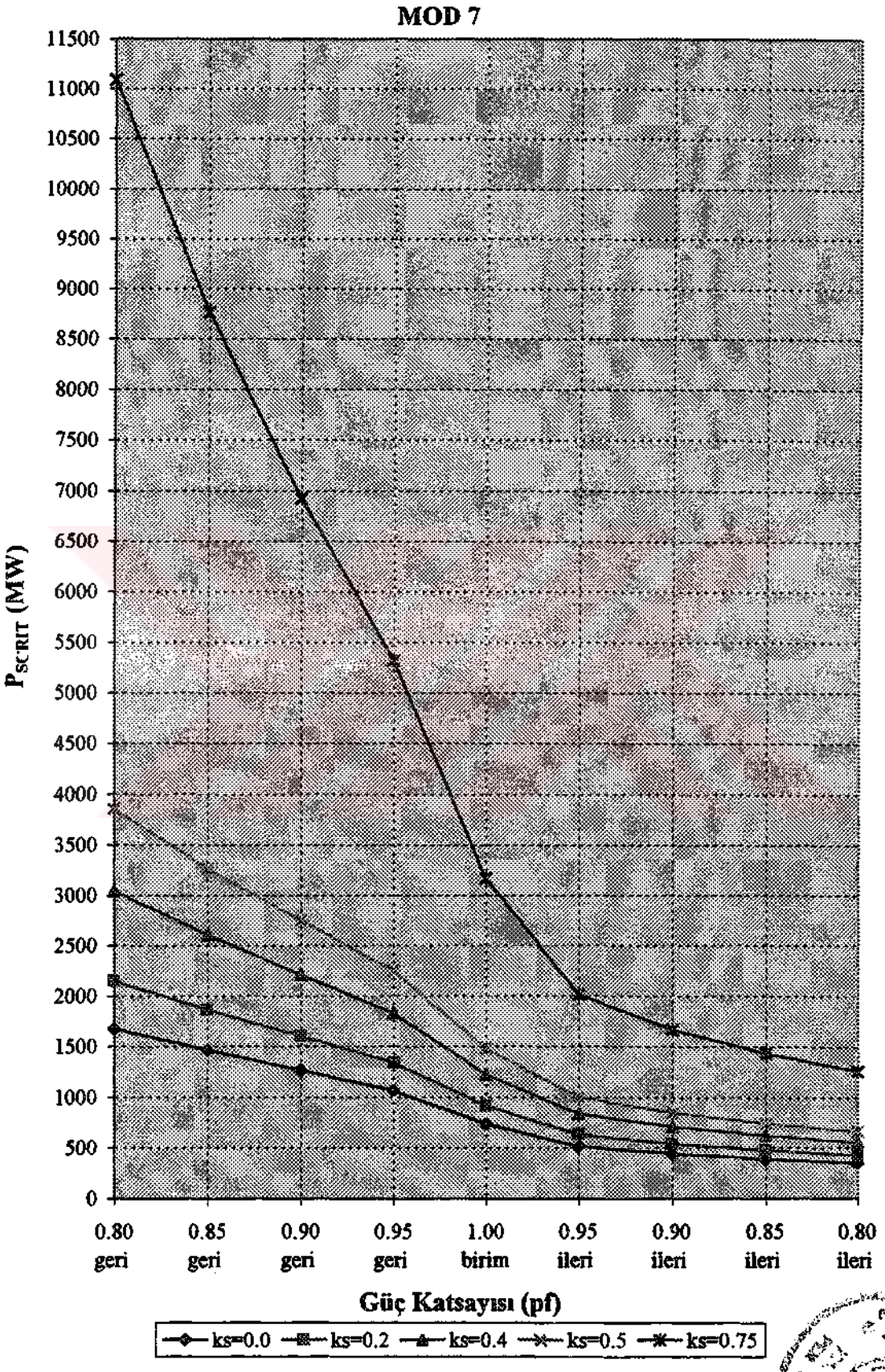



**Grafik 7.4.13.** $V_S$ - $P_S$ ($K_S$=0.60)

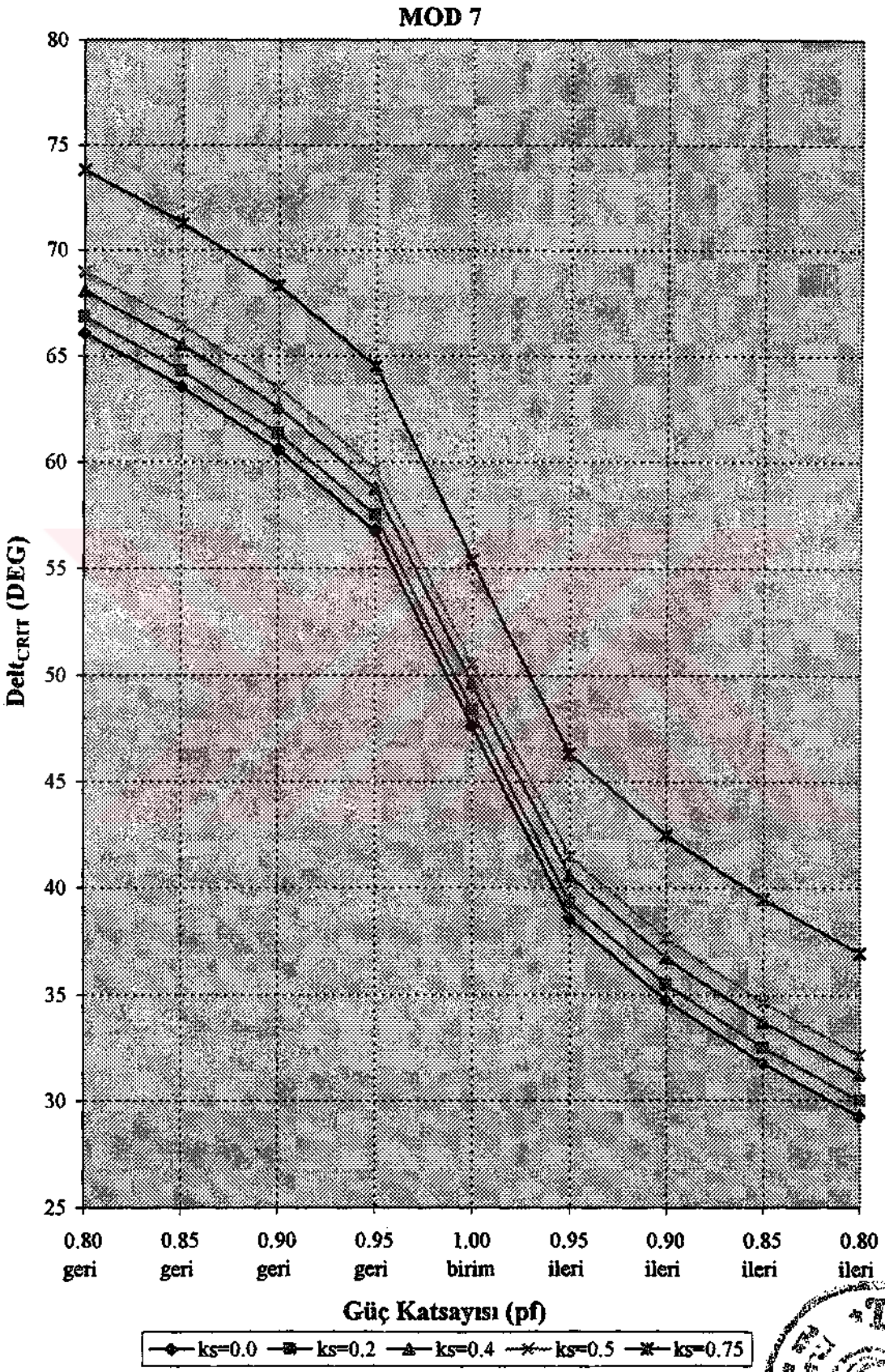



**Grafik 7.5.1.** Güç Katsayısı (pf) - $V_{SCRIT}$

T.C.




**Grafik 7.5.2.** Güç Katsayısı (pf) - $P_{SCRIT}$




**Grafik 7.5.3.** Güç Katsayısı (pf) - Delt$_{CRIT}$

## EK 2

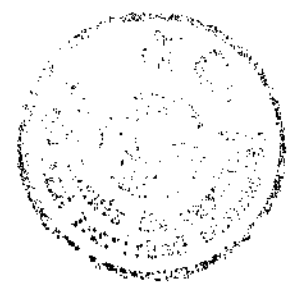
## $P_S$ - $V_S$ Karakteristik Eğrilerinin Çizim Programının Kaynak Kodu

```
'Programda kullanılan değişkenlerin tanımlanması

Global MyMode, N As Integer
Global MyPF As Single
Global MyKS As Single
Global MAXX, MINX, MAXY, MINY, DIFX, DIFY As Single
Global DMAXX, DMINX, DMAXY, DMINY, DDIFX, DDIFY, drawdif
Global ArrayX(5000), ArrayY(5000) As Single
Global XPos, YPos
Global ModeNoText, PFComboText, KSComboText
Global mycolor
Global outputfilename
Global Vn, Pop, Plim, Pcr, deltVop, deltVlim, myVcr
Global mypath

'
'Açılan bir formu ekranda ortalayan fonksiyon
'
Sub CenterForm (whatform As Form)
   whatform.Top = (screen.Height - whatform.Height) / 2
   whatform.Left = (screen.Width - whatform.Width) / 2
End Sub


'Renk seçimi için kullanılan sabit değerler

Const CC_RGBINIT = &H1&
Const CC_FULLOPEN = &H2&
Const CC_PREVENTFULLOPEN = &H4&
Const CC_SHOWHELP = &H8&

'
'Oluşan verileri ekrana grafik olrak çizen fonksiyon
'
Sub CmdDraw_Click ()

   Dim FName, FNum, i, j, temp
   Dim TextData As String

   frmdraw.Show

   FNum1 = FreeFile
   FName = mypath + "\c\data\" + outputfilename
   Open FName For Input As FNum1

   FNum2 = FreeFile
   FName = mypath + "\c\data\" + Left(outputfilename, Len(outputfilename) - 3) + "TXT"
   Open FName For Output As FNum2

   i = 0

   Do While Not EOF(FNum1)
```

```
    i = i + 1

        Line Input #FNum1, TextData

        Found% = InStr(1, TextData, ",")
        temp = Mid$(TextData, 1, Found% - 1)
        ArrayX(i) = Val(temp)
        LastFound% = Found%
        Found% = InStr(LastFound% + 1, TextData, ",")

        temp = Mid$(TextData, LastFound% + 1, Found% - 1)
        ArrayY(i) = Val(temp)
        Print #FNum2, i, ArrayX(i), ArrayY(i)
        LastFound% = Found%

    i = i + 1

        ArrayX(i) = ArrayX(i - 1)

        temp = Mid$(TextData, LastFound% + 1, Len(TextData))
        ArrayY(i) = Val(temp)
        Print #FNum2, i, ArrayX(i), ArrayY(i)

    Loop

    N = i

    Vn = ArrayY(2)
    myVcr = ArrayY(N)
    Pcr = ArrayX(N)

Close FNum1

    'Oluşan verinin en küçük ve en büyük değerlerinin bulunması

MAXX = ArrayX(1)
MINX = ArrayX(1)

MAXY = ArrayY(1)
MINY = ArrayY(1)

For i = 2 To N

    If MAXX < ArrayX(i) Then
        MAXX = ArrayX(i)
    ElseIf ArrayX(i) < MINX Then
        MINX = ArrayX(i)
    End If

    If MAXY < ArrayY(i) Then
        MAXY = ArrayY(i)
    ElseIf ArrayY(i) < MINY Then
        MINY = ArrayY(i)
    End If
```

```
Next i

Print #FNum2, "----"
Print #FNum2, MAXX, MINX, MAXY, MINY


Dim lastx, lasty

        XPos = (frmdraw.ScaleWidth - drawdif) * ((ArrayX(1) - DMINX) / DDIFX) + drawdif
        YPos = (-frmdraw.ScaleHeight - drawdif) * ((ArrayY(1) - DMINY) / DDIFY) + drawdif
        frmdraw.PSet (XPos, YPos), mycolor
        Print #FNum2, XPos, YPos
        lastx = XPos
        lasty = YPos

   For i = 2 To N
        lastx = XPos
        lasty = YPos
        XPos = (frmdraw.ScaleWidth - drawdif) * ((ArrayX(i) - DMINX) / DDIFX) + drawdif
        YPos = (-frmdraw.ScaleHeight - drawdif) * ((ArrayY(i) - DMINY) / DDIFY) + drawdif
        frmdraw.PSet (XPos, YPos), mycolor
        Print #FNum2, XPos, YPos
   Next i

Close FNum2

        frmdraw.Line (XPos, YPos)-(lastx, lasty), mycolor

End Sub

Sub CmdExit_Click ()
   Unload Me
End Sub

'
'Seçilen mod, pf ve Ks değerlerine göre yeni verileri oluşturan C programının çalıştırılması
'
Sub CmdRedraw_Click ()

   FNum = FreeFile
   FName = mypath + "\c\input.dat"
   Open FName For Output As FNum

   Print #FNum, ModeNo.Text

   Print #FNum, Trim$(Str(PFCombo.ListIndex))

   If KSCombo.ListIndex < 10 Then
        Print #FNum, "0" + Trim$(Str(KSCombo.ListIndex))
   Else
        Print #FNum, Trim$(Str(KSCombo.ListIndex))
   End If

   Close FNum
```

```
    If Trim(txtfname) > "" Then
        outputfilename = Trim(txtfname) + ".DAT"
        x = Shell(mypath + "\c\findvals.exe " + outputfilename, 2)
    Else
        outputfilename = "output.dat"
        x = Shell(mypath + "\c\findvals.exe", 2)
    End If

    CmdDraw.Enabled = True

End Sub

Sub CmdSelect_Click ()
    frmselect.Show
End Sub

'
'Renk seçiminin yapılması
'
Sub CmdSelectColor_Click ()
    ColorDialog.Color = mycolor
    ColorDialog.Flags = CC_RGBINIT Or CC_PREVENTFULLOPEN
    ColorDialog.Action = 3
    mycolor = ColorDialog.Color
End Sub

Sub CmdShowFrmDraw_Click ()
    Unload frmdraw
    frmdraw.Show
End Sub

'
'Gereken değişkenlere ana form yüklenirken atanan ilk değerler
'
Sub Form_Load ()

    mypath = App.Path
    App.Title = "Gerilim Stabilitesinin İncelenmesi"

    drawdif = 1000
    DMAXX = 6000
    DMINX = 0
    DMAXY = 800
    DMINY = 0
    DDIFX = (DMAXX - DMINX)
    DDIFY = (DMAXY - DMINY)

    mycolor = 8388608
    Left = 10100
    Top = 100
    Height = 8400
    Width = 1800

    frmdraw.Show
```



```
    PFCombo.AddItem "0.8 ileri"
    PFCombo.AddItem "0.9 ileri"
    PFCombo.AddItem "1 birim"
    PFCombo.AddItem "0.9 geri"
    PFCombo.AddItem "0.8 geri"

    PFCombo.ListIndex = 0


    FNum = FreeFile
    FName = mypath + "\c\input.dat"
    Open FName For Input As FNum

    Line Input #FNum, ModeNoText
    ModeNo.Text = ModeNoText

    KSCombo.Clear

Select Case (ModeNoText)

Case 1, 2

    KSCombo.AddItem "0.00"
    KSCombo.AddItem "0.05"
    KSCombo.AddItem "0.10"
    KSCombo.AddItem "0.15"
    KSCombo.AddItem "0.20"
    KSCombo.AddItem "0.25"
    KSCombo.AddItem "0.30"
    KSCombo.AddItem "0.35"
    KSCombo.AddItem "0.40"
    KSCombo.AddItem "0.45"
    KSCombo.AddItem "0.50"
    KSCombo.AddItem "0.55"
    KSCombo.AddItem "0.60"
    KSCombo.AddItem "0.65"
    KSCombo.AddItem "0.70"
    KSCombo.AddItem "0.75"
    KSCombo.AddItem "0.80"
    KSCombo.AddItem "0.85"
    KSCombo.AddItem "0.90"
    KSCombo.AddItem "0.95"
    KSCombo.ListIndex = 0

Case 3

    KSCombo.AddItem "0.00"
    KSCombo.AddItem "0.05"
    KSCombo.AddItem "0.10"
    KSCombo.AddItem "0.15"
    KSCombo.AddItem "0.20"
    KSCombo.AddItem "0.25"
    KSCombo.AddItem "0.30"
    KSCombo.AddItem "0.35"
    KSCombo.AddItem "0.40"
```

```
    KSCombo.AddItem "0.45"
    KSCombo.ListIndex = 0

Case 4, 5, 6, 7

    KSCombo.AddItem "0.00"
    KSCombo.AddItem "0.05"
    KSCombo.AddItem "0.10"
    KSCombo.AddItem "0.15"
    KSCombo.AddItem "0.20"
    KSCombo.AddItem "0.25"
    KSCombo.AddItem "0.30"
    KSCombo.AddItem "0.35"
    KSCombo.AddItem "0.40"
    KSCombo.AddItem "0.45"
    KSCombo.AddItem "0.50"
    KSCombo.AddItem "0.55"
    KSCombo.AddItem "0.60"
    KSCombo.ListIndex = 0

End Select

    Line Input #FNum, PFComboText
    PFCombo.ListIndex = Val(PFComboText)

    Line Input #FNum, KSComboText
    KSCombo.ListIndex = Val(KSComboText)
    Close FNum

End Sub

Sub Form_Resize ()
    If mainform.WindowState = 1 Then
        frmdraw.Hide
    Else
        frmdraw.Show
    End If
End Sub

Sub Form_Unload (Cancel As Integer)
Unload frmdraw
End Sub

'
'Seçilen moda göre Ks için seçilecek değerler
'
Sub ModeNo_Change ()

KSCombo.Clear

Select Case (ModeNo.Text)

Case 1, 2

    KSCombo.AddItem "0.00"
```

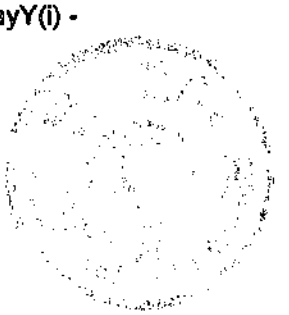
```
    KSCombo.AddItem "0.05"
    KSCombo.AddItem "0.10"
    KSCombo.AddItem "0.15"
    KSCombo.AddItem "0.20"
    KSCombo.AddItem "0.25"
    KSCombo.AddItem "0.30"
    KSCombo.AddItem "0.35"
    KSCombo.AddItem "0.40"
    KSCombo.AddItem "0.45"
    KSCombo.AddItem "0.50"
    KSCombo.AddItem "0.55"
    KSCombo.AddItem "0.60"
    KSCombo.AddItem "0.65"
    KSCombo.AddItem "0.70"
    KSCombo.AddItem "0.75"
    KSCombo.AddItem "0.80"
    KSCombo.AddItem "0.85"
    KSCombo.AddItem "0.90"
    KSCombo.AddItem "0.95"
    KSCombo.ListIndex = 0

Case 3

    KSCombo.AddItem "0.00"
    KSCombo.AddItem "0.05"
    KSCombo.AddItem "0.10"
    KSCombo.AddItem "0.15"
    KSCombo.AddItem "0.20"
    KSCombo.AddItem "0.25"
    KSCombo.AddItem "0.30"
    KSCombo.AddItem "0.35"
    KSCombo.AddItem "0.40"
    KSCombo.AddItem "0.45"
    KSCombo.ListIndex = 0

Case 4, 5, 6, 7

    KSCombo.AddItem "0.00"
    KSCombo.AddItem "0.05"
    KSCombo.AddItem "0.10"
    KSCombo.AddItem "0.15"
    KSCombo.AddItem "0.20"
    KSCombo.AddItem "0.25"
    KSCombo.AddItem "0.30"
    KSCombo.AddItem "0.35"
    KSCombo.AddItem "0.40"
    KSCombo.AddItem "0.45"
    KSCombo.AddItem "0.50"
    KSCombo.AddItem "0.55"
    KSCombo.AddItem "0.60"
    KSCombo.ListIndex = 0

End Select

End Sub
```

```
Sub OptionFazArası_Click (Value As Integer)
   Unload frmdraw
   frmdraw.Show
End Sub

Sub OptionToprakArası_Click (Value As Integer)
   Unload frmdraw
   frmdraw.Show
End Sub

'
'Grafik çiziminin yapıldığı formun hazırlanması
'
Sub Form_Load ()

Dim CX, CY, i

If Mainform.OptionToprakArası.Value = True Then


   Left = 100
   Top = 100
   Height = 8400
   Width = 10000
   ScaleMode = 1
   Scale (0, 9000)-(10000, 0)


   CX = ScaleWidth
   CY = ScaleHeight
   DrawWidth = 1

   Fontsize = 8

   For i = drawdif To CX - 2000 Step 1000
         ForeColor = 16711680
         Line (drawdif, i)-(CX, i)

         CurrentX = 500
         CurrentY = i + 100
         ForeColor = 255
         Print (i - drawdif) / 10

   Next i

   For i = drawdif To -CY + 500 Step 900
         ForeColor = 16711680
         Line (i, drawdif)-(i, -CY)

         CurrentX = i - 250
         CurrentY = 900
         ForeColor = 255
         Print DDIFX * (i - drawdif) / (CX - drawdif)
```

```
Next i

        CurrentX = 5000
        CurrentY = 500
        Print "Ps (MW)"

        CurrentX = 200
        CurrentY = 5100
        Print "Vs"

        CurrentX = 100
        CurrentY = 4800
        Print "(KV)"

    DrawWidth = 2

Else

    Left = 100
    Top = 100
    Height = 8400
    Width = 10000
    ScaleMode = 1
    Scale (0, 9000)-(10000, 0)


    CX = ScaleWidth
    CY = ScaleHeight
    DrawWidth = 1

    Fontsize = 8

    For i = drawdif To CX - 2000 Step 1000
        ForeColor = 16711680
        Line (drawdif, i)-(CX, i)

        CurrentX = 500
        CurrentY = i + 100
        ForeColor = 255
        Print Int((i - drawdif) / (Sqr(3) * 10))

    Next i

    For i = drawdif To -CY + 500 Step 900
        ForeColor = 16711680
        Line (i, drawdif)-(i, -CY)

        CurrentX = i - 250
        CurrentY = 900
        ForeColor = 255
        Print Int((DDifFX * (i - drawdif) / (CX - drawdif)) / 3)

    Next i
```

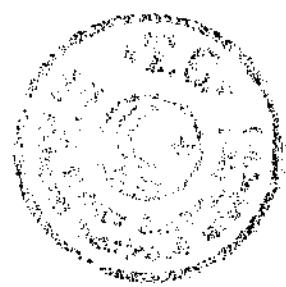
```
        CurrentX = 5000
        CurrentY = 500
        Print "Ps (MW)"

        CurrentX = 200
        CurrentY = 5100
        Print "Vs"

        CurrentX = 100
        CurrentY = 4800
        Print "(KV)"

    DrawWidth = 2


End If

End Sub

'
'Grafik üzerinde seçilen bir noktanın durumunun bulunması
'
Sub Form_MouseDown (Button As Integer, Shift As Integer, x As Single, y As Single)

    ReDim found(500, 2), absval(500)

    If Button = 2 Then
        If Point(x, y) = mycolor Then
        XX = ((((x - drawdif) * DDIFX) / (ScaleWidth - drawdif)) + DMINX)
        YY = ((((y - drawdif) * DDIFY) / (-ScaleHeight - drawdif)) + DMINY)


                J = 0

                i = 1
                Do While i <= N
                    If Abs(YY - ArrayY(i)) < 5 Then
                        J = J + 1
                        found(J, 1) = i - 2
                        found(J, 2) = 0          'Pop aşağıda
                    End If
                    i = i + 2
                Loop


                i = 2
                Do While i <= N
                    If Abs(YY - ArrayY(i)) < 5 Then
                        J = J + 1
                        found(J, 1) = i - 2
                        found(J, 2) = 1          'Pop yukarda
                    End If
                    i = i + 2
                Loop
```

```
            M = J

            i = 1
            Do While (XX > ArrayX(i)) And (i <= N)
               i = i + 1
            Loop

            If i = N + 1 Then i = N

         If i > 1 Then

            absval(1) = Abs(ArrayX(i - 1) - ArrayX(found(1, 1)))
            myval = 1
            For J = 2 To M
               absval(J) = Abs(ArrayX(i - 1) - ArrayX(found(J, 1)))
               If absval(J) < absval(myval) Then myval = J
            Next J

            If found(myval, 2) = 0 Then

               MsgBox "Çalışma Noktası geçersiz!"

            Else

               Pop = ArrayX(found(myval, 1))
               OldDrawWidth = DrawWidth
               DrawWidth = 5
               If Vn > myVcr Then
                     deltVop = Vn - ArrayY(found(myval, 1))

                        i = 2
                        Do While .9 * Vn < ArrayY(i) And (i <= N)

                              XPos = (frmdraw.ScaleWidth - drawdif) * ((ArrayX(i) - DMINX) /
DDIFX) + drawdif
                              YPos = (-frmdraw.ScaleHeight - drawdif) * ((ArrayY(i) -
DMINY) / DDIFY) + drawdif
                              frmdraw.PSet (XPos, YPos)

                              i = i + 2
                        Loop
                        Plim = ArrayX(i)
               Else

                     deltVop = ArrayY(found(myval, 1)) - Vn

                        i = 2
                        Do While 1.1 * Vn > ArrayY(i) And (i <= N)
                              XPos = (frmdraw.ScaleWidth - drawdif) * ((ArrayX(i) - DMINX) /
DDIFX) + drawdif
                              YPos = (-frmdraw.ScaleHeight - drawdif) * ((ArrayY(i) -
DMINY) / DDIFY) + drawdif
                              frmdraw.PSet (XPos, YPos)
```



```
                    i = i + 2
                Loop
                Plim = ArrayX(i)

            End If

            DrawWidth = OldDrawWidth

            OldDrawStyle = DrawStyle
            OldForeColor = ForeColor

            DrawStyle = 4
            X1Pos = (frmdraw.ScaleWidth - drawdif) * ((Pcr - DMINX) / DDIFX) +
drawdif
            Y1Pos = (-frmdraw.ScaleHeight - drawdif) * ((0 - DMINY) / DDIFY) + drawdif
            X2Pos = (frmdraw.ScaleWidth - drawdif) * ((Pcr - DMINX) / DDIFX) +
drawdif
            Y2Pos = (-frmdraw.ScaleHeight - drawdif) * ((myVcr - DMINY) / DDIFY) +
drawdif
            Line (X2Pos, Y2Pos)-(X1Pos, Y1Pos)
            CurrentX = X1Pos - 100
            CurrentY = 750

            ForeColor = QBColor(1)
            Print "Pcr"
            ForeColor = OldForeColor

            DrawStyle = OldDrawStyle
            deltVlim = .1 * Vn

            If deltVop <= deltVlim Then
            MsgBox "Kvyk=%" + Str(Int((deltVop / deltVlim) * 100)) + "  ,Kpyk=%" +
Str(Int((Pop / Plim) * 100)) + "  ,Ksyk=%" + Str(Int((Pop / Pcr) * 100))
            Else
            MsgBox "Seçilen çalışma noktası limit değeri aşıyor!"
            End If

            MsgBox "Vn=" + Str(Vn) + ",Pcr=" + Str(Pcr) + ",Plim=" + Str(Plim) +
",Pop=" + Str(Pop) + ",deltVop=" + Str(deltVop)
          End If

      End If


    End If
  End If


End Sub

Dim oldmode

Sub CmdCancel_Click ()
  ModeNo.Text = oldmode
  mainform.ModeNo.Text = oldmode
```

```
    Unload Me
End Sub

Sub CmdExit_Click ()

    FNum = FreeFile
    FName = mypath + "\c\input.dat"
    Open FName For Output As FNum

    Print #FNum, ModeNo.Text

    Print #FNum, PFComboText

    Print #FNum, KSComboText

    Close FNum
    Unload Me
End Sub

Sub cmdmode1_Click ()
    MyMode = 1
    ModeNo.Text = "1"
    mainform.ModeNo.Text = "1"
End Sub

Sub cmdmode2_Click ()
    MyMode = 2
    ModeNo.Text = "2"
    mainform.ModeNo.Text = "2"
End Sub

Sub cmdmode3_Click ()
    MyMode = 3
    ModeNo.Text = "3"
    mainform.ModeNo.Text = "3"
End Sub

Sub cmdmode4_Click ()
    MyMode = 4
    ModeNo.Text = "4"
    mainform.ModeNo.Text = "4"
End Sub

Sub cmdmode5_Click ()
    MyMode = 5
    ModeNo.Text = "5"
    mainform.ModeNo.Text = "5"
End Sub

Sub cmdmode6_Click ()
    MyMode = 6
    ModeNo.Text = "6"
    mainform.ModeNo.Text = "6"
End Sub
```



```
Sub cmdmode7_Click ()
   MyMode = 7
   ModeNo.Text = "7"
   mainform.ModeNo.Text = "7"
End Sub

Sub Form_Load ()
   CenterForm Me

   FNum = FreeFile
   FName = mypath + "\c\input.dat"
   Open FName For Input As FNum

   Line Input #FNum, ModeNoText
   ModeNo.Text = ModeNoText
   oldmode = ModeNoText

   Line Input #FNum, PFComboText

   Line Input #FNum, KSComboText

   Close FNum

End Sub
```

**EK 3**

**Arıza Simulasyon Programının**
**Kaynak Kodu**

```
Sub CenterForm (whatform As Form)
   whatform.Top = (screen.Height - whatform.Height) / 2
   whatform.Left = (screen.Width - whatform.Width) / 2
End Sub

Dim Color, ErrorNo

'
'Seçilen hataya göre ekrandaki işlemlerin yapılması
'
Sub CmdOK_Click ()

ResetWindow
ErrorNo = Errorlist.ListIndex
Color = 1

Select Case ErrorNo
   Case 0
      Error0_1.Visible = True
   Case 1
      Error1_1.Visible = True
      Error1_2.Visible = True
      Error1_3.Visible = True
   Case 2
      Error1_1.Visible = True
      Error1_2.Visible = True
      Error1_3.Visible = True
      Error2_4.Visible = True
   Case 3
      Error1_1.Visible = True
      Error1_2.Visible = True
      Error1_3.Visible = True
      Error3_5.Visible = True
      Error3_6.Visible = True
   Case 4
      Error1_1.Visible = True
      Error1_2.Visible = True
      Error1_3.Visible = True
      Error2_4.Visible = True
      Error3_5.Visible = True
      Error3_6.Visible = True

End Select

ErrorTimer.Enabled = True

End Sub

Sub CmdStop_Click ()
ResetWindow
ErrorTimer.Enabled = False
End Sub

'
```

```
'Ekrandaki animasyonların yapılması
'
Sub ErrorTimer_Timer ()

Color = (Color + 11) Mod 22

Select Case ErrorNo
   Case 0
      Linen.BorderColor = QBColor(Color)
      Linea.BorderColor = QBColor(Color)
      Error0_1.BorderColor = QBColor(Color)
   Case 1
      Lineb.BorderColor = QBColor(Color)
      Linec.BorderColor = QBColor(Color)
      Error1_1.BorderColor = QBColor(Color)
      Error1_2.BorderColor = QBColor(Color)
      Error1_3.BorderColor = QBColor(Color)
   Case 2
      Linen.BorderColor = QBColor(Color)
      Lineb.BorderColor = QBColor(Color)
      Linec.BorderColor = QBColor(Color)
      Error1_1.BorderColor = QBColor(Color)
      Error1_2.BorderColor = QBColor(Color)
      Error1_3.BorderColor = QBColor(Color)
      Error2_4.BorderColor = QBColor(Color)
   Case 3
      Linea.BorderColor = QBColor(Color)
      Lineb.BorderColor = QBColor(Color)
      Linec.BorderColor = QBColor(Color)
      Error1_1.BorderColor = QBColor(Color)
      Error1_2.BorderColor = QBColor(Color)
      Error1_3.BorderColor = QBColor(Color)
      Error3_5.BorderColor = QBColor(Color)
      Error3_6.BorderColor = QBColor(Color)
   Case 4
      Linen.BorderColor = QBColor(Color)
      Linea.BorderColor = QBColor(Color)
      Lineb.BorderColor = QBColor(Color)
      Linec.BorderColor = QBColor(Color)
      Error1_1.BorderColor = QBColor(Color)
      Error1_2.BorderColor = QBColor(Color)
      Error1_3.BorderColor = QBColor(Color)
      Error2_4.BorderColor = QBColor(Color)
      Error3_5.BorderColor = QBColor(Color)
      Error3_6.BorderColor = QBColor(Color)

End Select

End Sub

'
'Ana formun yüklenmesi
'
Sub Form_Load ()
   CenterForm Me
```

```
    Errorlist.AddItem "Tek Faz Toprak Arızası"
    Errorlist.AddItem "Faz Arası Arıza"
    Errorlist.AddItem "Çift Faz Toprak Arızası"
    Errorlist.AddItem "Dengeli Üç Faz Arızası"
    Errorlist.AddItem "Toprak Temaslı Dengeli Üç Toprak Arızası"
End Sub

'
'Çizimlerin yenilenmesi
'
Sub ResetWindow ()
    Linen.Visible = True
    Linen.BorderColor = QBColor(1)
    Linea.Visible = True
    Linea.BorderColor = QBColor(1)
    Lineb.Visible = True
    Lineb.BorderColor = QBColor(1)
    Linec.Visible = True
    Linec.BorderColor = QBColor(1)
    Error0_1.BorderColor = QBColor(1)
    Error0_1.Visible = False
    Error1_1.BorderColor = QBColor(1)
    Error1_1.Visible = False
    Error1_2.BorderColor = QBColor(1)
    Error1_2.Visible = False
    Error1_3.BorderColor = QBColor(1)
    Error1_3.Visible = False
    Error2_4.BorderColor = QBColor(1)
    Error2_4.Visible = False
    Error3_5.BorderColor = QBColor(1)
    Error3_5.Visible = False
    Error3_6.BorderColor = QBColor(1)
    Error3_6.Visible = False

End Sub
```

## EK 4

## C++ İle Yazılan Programların Kaynak Kodları

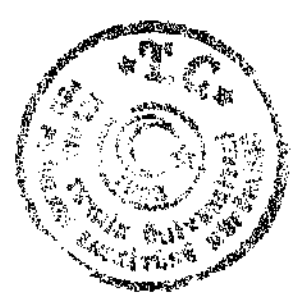
```
/*
  Bu program Turbo C++ile yazılmıştır ve kullanıcı arabirimi Visual Basic
  ile yazılmış gerilim stabiletisinin 7 farklı mod, değişik Ks ve pf
  değerleri için incelenmesini sağlayan program için grafik verilenin
  oluşturulmasını sağlar. Windows altında çalışan arabirim programında
  seçilen parametrelere göre işlemler yapılır ve oluşan veri bir dosyaya
  kaydedilir. Daha sonra bu veriler buradan okunarak grafikler çizilir.
*/

#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <complex.h>
#include <string.h>

double ps,aa,bb,cc,qs,disk,vs1,vs2;
char side='e',pfst,chpar,myfile[50];
char *mypath = "c:/demos/doc/c/data/",*mysourcepath="c:/demos/doc/c/";
char mymode[10],mypf[10],myks0[10],myks10[10],dummy[10],*myfname="";

int i=0,j,l,k,mode,pfl,ptr;
double a1,a2,b1,b2,d1,d2,pf,th,k1,k2,k3,k4,h,h1,h2,delt1,delt2,deltcr,pscr,
  ps1,ps2,vscr,vs,vr=220000,ks,x,r,a,b,c,disc;
complex at[20],bt[20],ct[20],dt[20],yc,yl,zc,zl,imp,impe=complex(9.5,86.5),
  impw=complex(9.4,85.3);
FILE *fp,*fp1;

void ycirc() {                          //Şönt kompanzasyon bölgesi parametreleri
  if (side=='w') yc=complex(0,-0.0001452);                    //Kd sabit
  if (side=='e') yc=complex(0,-0.000121);
  at[i]=1;  bt[i]=0;  ct[i]=yc;  dt[i]=1;  i++;
}
void zcirc() {                  //Seri kompanzasyon bölgesi parametreleri
  at[i]=1;  bt[i]=zc;  ct[i]=0;  dt[i]=1;  i++;
}
void picirc() {                 //PI modelinde hat bölgesi parametreleri
  if (side=='w') { yl=complex(0,0.000937);  zl=impw; }
  if (side=='e') { yl=complex(0,0.000950);  zl=impe; }
  at[i]=1+zl*yl/2;  bt[i]=zl;  ct[i]=yl+zl*yl*yl/4;  dt[i]=1+zl*yl/2;  i++;
}

//Gönderici uçtan başlayarak seri bağlı iki devrenin parametreleri

void serct(int ix) {
  at[i]=at[ix]*at[i-1]+bt[ix]*ct[i-1]; bt[i]=at[ix]*bt[i-1]+bt[ix]*dt[i-1];
  ct[i]=ct[ix]*at[i-1]+dt[ix]*ct[i-1]; dt[i]=ct[ix]*bt[i-1]+dt[ix]*dt[i-1]; i++;
}

//Paralel bağlı iki devrenin parametreleri
void parct(int ix) {
  at[i]=(at[ix]*bt[i-1]+bt[ix]*at[i-1])/(bt[ix]+bt[i-1]);
  bt[i]=bt[ix]*bt[i-1]/(bt[ix]+bt[i-1]);
  ct[i]=ct[ix]+ct[i-1]+(at[ix]-at[i-1])*(dt[i-1]-dt[ix])/(bt[ix]+bt[i-1]);
  dt[i]=(dt[ix]*bt[i-1]+bt[ix]*dt[i-1])/(bt[ix]+bt[i-1]);  i++;
}
```

```
//Seçilen Ks ve mod için ABCD ve Zc değerlerinin hesaplanması
void lineparam() {
 i=0;
 if (mode==1) {
  x=imag((impe+impw)/2); r=real((impe+impw)/2);  a=x*x+r*r;
  b=(a/x+2*ks*x)/(ks+1); c=a*ks/(ks+1);          disc=sqrt(b*b-4*c);
  zc=complex(0,-b+disc);
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); zcirc();  serct(i-2); side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc();  serct(i-2); k=i-1;   side='e';
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); side='w';  picirc();  serct(i-2);
  ycirc(); serct(i-2); parct(k);  side='e';
 }
 if (mode==2) {
  zc=complex(0,0);     ycirc(); picirc();  serct(i-2); side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc(); serct(i-2); parct(i-1); side='e';
 }
 if (mode==3) {
  zc=complex(0,-ks*imag(impe+impw));
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); zcirc();  serct(i-2); side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc();  serct(i-2); parct(i-1); side='e';
 }
 if (mode==4) {
  zc=complex(0,-ks*imag(2*impe+impw));
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); zcirc(); serct(i-2); parct(i-1);
  side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc(); serct(i-2);
  side='e';
 }
 if (mode==5) {
  zc=complex(0,-ks*imag(impe+impw/2)); ycirc(); picirc(); serct(i-2);
  zcirc();  serct(i-2); k=i-1;  side='w'; picirc(); ycirc();
  serct(i-2); parct(i-1); serct(k); side='e';
 }
 if (mode==6) {
  zc=complex(0,-ks*imag(impe/2+impw));
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); parct(i-1); zcirc();  serct(i-2);
  side='w'; picirc(); serct(i-2); ycirc();  serct(i-2); side='e';
 }
 if (mode==7) {
  zc=complex(0,-ks*imag(impe+2*impw));
  ycirc(); picirc(); serct(i-2);
  k=i-1; zcirc(); side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc(); serct(i-2); parct(i-1); serct(k); side='e';
 }
}

//Kritik değerlerin ilgili formüller ile bulunması
void critparam() {
 a1=real(at[i-1]); a2=imag(at[i-1]); b1=real(bt[i-1]); b2=imag(bt[i-1]);
 d1=real(dt[i-1]); d2=imag(dt[i-1]);
 k1=d1*(b1*tan(th)-b2)-d2*(b1+b2*tan(th));
 k2=-d1*(b1+b2*tan(th))-d2*(b1*tan(th)-b2);
 if (k1==0) {
  if (k2>0) deltcr=M_PI;
  if (k2<0) deltcr=0;
```

```
 }
 else deltcr=M_PI/2+atan(k2/k1);
 deltcr=deltcr/2;
 k3=b1*cos(deltcr)-b2*sin(deltcr);  k4=d1*cos(deltcr)-d2*sin(deltcr);
 vscr=vr/(2*k4);  pscr=vr*vr*((d1*b1+d2*b2)-2*k3*k4)/(4*k4*k4*(b1*b1+b2*b2));
}

//Güç-Gerilim verilerinin elde edilmesi
void vspsdat() {

   strcpy(myfile,mypath);
   strcat(myfile,myfname);
   fp1=fopen(myfile,"w");

   lineparam();

if (pf<1 && pfl ==1)
 {

    th=acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }
 }

 else
 {

    th=-acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
```

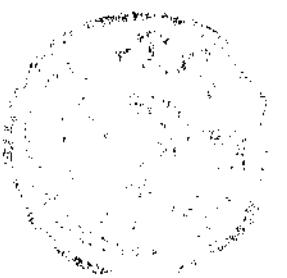
```
   }
  }
 fclose(fp1);
}

//Dışardan okunan parametrelere göre istenen mod,Ks ve pf için hesaplamaların
//yapılmasını ve bir metin dosyasına verilerin yazılması
void main(int argc,char *argv[])

{
 FILE *in;

 if (argc==1) myfname="output.dat";
 else sprintf(myfname,"%s",argv[1]);

 strcpy(myfile,mysourcepath);
 strcat(myfile,"input.dat");
 in=fopen(myfile,"r");

 fgets(mymode, 2, in);
 fgets(dummy, 10, in);

 switch(*mymode) {
        case '1': mode=1; break;
        case '2': mode=2; break;
     case '3': mode=3; break;
     case '4': mode=4; break;
     case '5': mode=5; break;
     case '6': mode=6; break;
     case '7': mode=7; break;
         }

 fgets(mypf, 2, in);
 fgets(dummy, 10, in);

 switch(*mypf) {
        case '0': pf=0.8;pfl=0;break;
        case '1': pf=0.9;pfl=0;break;
     case '2': pf=1.0;pfl=1;break;
     case '3': pf=0.9;pfl=1;break;
     case '4': pf=0.8;pfl=1;break;
        }

 fgets(myks10, 2, in);
 fgets(myks0, 2, in);

  switch(*myks10) {
   case '0':
    switch(*myks0) {
        case '0': ks=0.00;break;
        case '1': ks=0.05;break;
     case '2': ks=0.10;break;
     case '3': ks=0.15;break;
     case '4': ks=0.20;break;
        case '5': ks=0.25;break;
```

```
            case '6': ks=0.30;break;
          case '7': ks=0.35;break;
          case '8': ks=0.40;break;
          case '9': ks=0.45;break;
          } break;
        case '1':
         switch(*myks0) {
          case '0': ks=0.50;break;
              case '1': ks=0.55;break;
          case '2': ks=0.60;break;
          case '3': ks=0.65;break;
          case '4': ks=0.70;break;
              case '5': ks=0.75;break;
              case '6': ks=0.80;break;
          case '7': ks=0.90;break;
          case '8': ks=0.95;break;
           } break;
          }
 fclose(in);
 vspsdat();
}
```



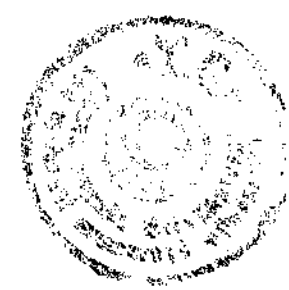
```
/*
  Bu program Turbo C++ ile yazılmıştır ve gerilim stabilitisinin 7
  değişik mod ,Ks ve pf değerleri için mevcut tüm durumların verilerini
  oluşturarak metin dosyalarına kaydedilmesini sağlar.
*/
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <complex.h>
#include <string.h>

double ps,aa,bb,cc,qs,disk,vs1,vs2;
char side='e',pfst,chpar,*mypath = "c:/demos/doc/c/data",myfile[50],*tmps="";

char mymode[10],mypf[10],myks0[10],myks10[10],dummy[10],myfname[11];

int i=0,j,l,k,mode,pfl,ptr,ss;
double a1,a2,b1,b2,d1,d2,pf,th,k1,k2,k3,k4,h,h1,h2,delt1,delt2,deltcr,pscr,
  ps1,ps2,vscr,vs,vr=220000,ks,x,r,a,b,c,disc;
complex at[20],bt[20],ct[20],dt[20],yc,yl,zc,zl,imp,impe=complex(9.5,86.5),
  impw=complex(9.4,85.3);
FILE *fp,*fp1;

void ycirc() {                          //Şönt kompanzasyon bölgesi parametreleri
  if (side=='w') yc=complex(0,-0.0001452);                    //Kd sabit
  if (side=='e') yc=complex(0,-0.000121);
  at[i]=1;  bt[i]=0;  ct[i]=yc;  dt[i]=1;  i++;
}
void zcirc() {                  //Seri kompanzasyon bölgesi parametreleri
  at[i]=1;  bt[i]=zc;  ct[i]=0;  dt[i]=1;  i++;
}
void picirc() {                 //PI modelinde hat bölgesi parametreleri
  if (side=='w') { yl=complex(0,0.000937);  zl=impw; }
  if (side=='e') { yl=complex(0,0.000950);  zl=impe; }
  at[i]=1+zl*yl/2;  bt[i]=zl;  ct[i]=yl+zl*yl*yl/4;  dt[i]=1+zl*yl/2;  i++;
}

//Gönderici uçtan başlayarak seri bağlı iki devrenin parametreleri

void serct(int ix) {
  at[i]=at[ix]*at[i-1]+bt[ix]*ct[i-1]; bt[i]=at[ix]*bt[i-1]+bt[ix]*dt[i-1];
  ct[i]=ct[ix]*at[i-1]+dt[ix]*ct[i-1]; dt[i]=ct[ix]*bt[i-1]+dt[ix]*dt[i-1]; i++;
}

//Paralel bağlı iki devrenin parametreleri
void parct(int ix) {
  at[i]=(at[ix]*bt[i-1]+bt[ix]*at[i-1])/(bt[ix]+bt[i-1]);
  bt[i]=bt[ix]*bt[i-1]/(bt[ix]+bt[i-1]);
  ct[i]=ct[ix]+ct[i-1]+(at[ix]-at[i-1])*(dt[i-1]-dt[ix])/(bt[ix]+bt[i-1]);
  dt[i]=(dt[ix]*bt[i-1]+bt[ix]*dt[i-1])/(bt[ix]+bt[i-1]);   i++;
}

//Seçilen Ks ve mod için ABCD ve Zc değerlerinin hesaplanması
void lineparam() {
  i=0;
  if (mode==1) {
```

```
  x=imag((impe+impw)/2); r=real((impe+impw)/2);  a=x*x+r*r;
  b=(a/x+2*ks*x)/(ks+1); c=a*ks/(ks+1);          disc=sqrt(b*b-4*c);
  zc=complex(0,-b+disc);
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); zcirc();  serct(i-2); side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc();  serct(i-2); k=i-1;  side='e';
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); side='w';  picirc();  serct(i-2);
  ycirc(); serct(i-2); parct(k);  side='e';
 }
 if (mode==2) {
  zc=complex(0,0);  ycirc(); picirc();  serct(i-2); side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc(); serct(i-2); parct(i-1); side='e';
 }
 if (mode==3) {
  zc=complex(0,-ks*imag(impe+impw));
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); zcirc();  serct(i-2); side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc();  serct(i-2); parct(i-1); side='e';
 }
 if (mode==4) {
  zc=complex(0,-ks*imag(2*impe+impw));
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); zcirc(); serct(i-2); parct(i-1);
  side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc(); serct(i-2);
  side='e';
 }
 if (mode==5) {
  zc=complex(0,-ks*imag(impe+impw/2)); ycirc(); picirc(); serct(i-2);
  zcirc();  serct(i-2); k=i-1;  side='w'; picirc(); ycirc();
  serct(i-2); parct(i-1); serct(k); side='e';
 }
 if (mode==6) {
  zc=complex(0,-ks*imag(impe/2+impw));
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); parct(i-1); zcirc();  serct(i-2);
  side='w'; picirc(); serct(i-2); ycirc();  serct(i-2); side='e';
 }
 if (mode==7) {
  zc=complex(0,-ks*imag(impe+2*impw));
  ycirc(); picirc(); serct(i-2);
  k=i-1; zcirc(); side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc(); serct(i-2); parct(i-1); serct(k); side='e';
 }
}

//Kritik değerlerin ilgili formüller ile bulunması
void critparam() {
 a1=real(at[i-1]); a2=imag(at[i-1]); b1=real(bt[i-1]); b2=imag(bt[i-1]);
 d1=real(dt[i-1]); d2=imag(dt[i-1]);
 k1=d1*(b1*tan(th)-b2)-d2*(b1+b2*tan(th));
 k2=-d1*(b1+b2*tan(th))-d2*(b1*tan(th)-b2);
 if (k1==0) {
  if (k2>0) deltcr=M_PI;
  if (k2<0) deltcr=0;
 }
 else deltcr=M_PI/2+atan(k2/k1);
 deltcr=deltcr/2;
 k3=b1*cos(deltcr)-b2*sin(deltcr); k4=d1*cos(deltcr)-d2*sin(deltcr);
```



```
  vscr=vr/(2*k4);  pscr=vr*vr*((d1*b1+d2*b2)-2*k3*k4)/(4*k4*k4*(b1*b1+b2*b2));
}

//Güç-Gerilim verilerinin elde edilmesi

void vspsdat() {

for (mode=1;mode<=7;mode++)
        {

      /////////////// mode = 1,2 başlangıcı ///////////////

      if ((mode == 1 ) || (mode == 2  ))
       {
      for (ks=0.0;ks<1.0;ks=ks+0.05)
       {


           /////pf=0.8 ileri


                  strcpy(myfile,mypath);
           sprintf(tmps,"/M%i",mode);
           strcat(myfile,tmps);
                  sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
                  strcat(myfile,tmps);
           pf=-0.8;
                  sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
                  strcat(myfile,tmps);

                  fp1=fopen(myfile,"w");

                  lineparam();

if (pf>0)
 {
    th=acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }
 }

else
```

```
{
   pf=-pf;
   th=-acos(pf);
   critparam();
   for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
   qs=ps*tan(th);
   aa=(d1*d1+d2*d2);
   bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
   cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
   disk=bb*bb-4*aa*cc;
   disk=sqrt(disk);
   vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
   vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
   vs1=sqrt(vs1);
   vs2=sqrt(vs2);
   fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }

}
 fclose(fp1);

        //////pf=0.9 ileri

                strcpy(myfile,mypath);
           sprintf(tmps,"/M%i",mode);
           strcat(myfile,tmps);
                sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
                strcat(myfile,tmps);
           pf=-0.9;
                sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
                strcat(myfile,tmps);

                fp1=fopen(myfile,"w");

                lineparam();

if (pf>0)
{
   th=acos(pf);
   critparam();
   for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
   qs=ps*tan(th);
   aa=(d1*d1+d2*d2);
   bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
   cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
   disk=bb*bb-4*aa*cc;
   disk=sqrt(disk);
   vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
   vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
   vs1=sqrt(vs1);
   vs2=sqrt(vs2);
   fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }
```



```
}

else
{
   pf=-pf;
   th=-acos(pf);
   critparam();
   for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
   qs=ps*tan(th);
   aa=(d1*d1+d2*d2);
   bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
   cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
   disk=bb*bb-4*aa*cc;
   disk=sqrt(disk);
   vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
   vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
   vs1=sqrt(vs1);
   vs2=sqrt(vs2);
   fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }

 }
  fclose(fp1);



        //////pf=1.0 birim


              strcpy(myfile,mypath);
          sprintf(tmps,"/M%i",mode);
          strcat(myfile,tmps);
              sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
              strcat(myfile,tmps);
          pf=1.0;
              sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
              strcat(myfile,tmps);

              fp1=fopen(myfile,"w");

              lineparam();

 if (pf>0)
  {

    th=acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
   {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
```

```
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }
 }

else
{

    th=-acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }

 }
  fclose(fp1);



      //////pf=0.9 geri


                strcpy(myfile,mypath);
          sprintf(tmps,"/M%i",mode);
          strcat(myfile,tmps);
                sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
                strcat(myfile,tmps);
          pf=0.9;
                sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
                strcat(myfile,tmps);

                fp1=fopen(myfile,"w");

                lineparam();

if (pf>0.0)
{

    th=acos(pf);
    critparam();
```

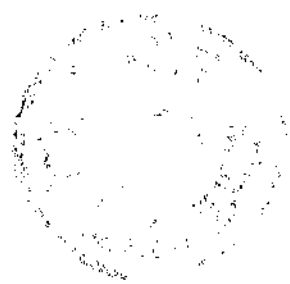
```
   for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
   qs=ps*tan(th);
   aa=(d1*d1+d2*d2);
   bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
   cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
   disk=bb*bb-4*aa*cc;
   disk=sqrt(disk);
   vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
   vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
   vs1=sqrt(vs1);
   vs2=sqrt(vs2);
   fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }
 }

else
 {

   th=-acos(pf);
   critparam();
   for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
   qs=ps*tan(th);
   aa=(d1*d1+d2*d2);
   bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
   cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
   disk=bb*bb-4*aa*cc;
   disk=sqrt(disk);
   vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
   vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
   vs1=sqrt(vs1);
   vs2=sqrt(vs2);
   fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }

 }
 fclose(fp1);


     //////pf=0.8 geri


              strcpy(myfile,mypath);
         sprintf(tmps,"/M%i",mode);
         strcat(myfile,tmps);
              sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
              strcat(myfile,tmps);
         pf=0.8;
              sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
              strcat(myfile,tmps);

              fp1=fopen(myfile,"w");
```

```
                lineparam();

if (pf>0)
 {

    th=acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
   {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
   }
 }

else
 {

    th=-acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
   {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
   }

 }
  fclose(fp1);


   }//KS For döngüsünün sonu

       goto son;
     }
     ////////////   m o d e = 1 , 2 sonu ///////////////
```

```
//////// m o d e = 3 başlangıcı ////////////

if (mode == 3 )
 {
for (ks=0.0;ks<0.80;ks=ks+0.05)
 {

/////pf=0.8 ileri

        strcpy(myfile,mypath);
    sprintf(tmps,"/M%i",mode);
    strcat(myfile,tmps);
        sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
        strcat(myfile,tmps);
    pf=-0.8;
        sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
        strcat(myfile,tmps);

        fp1=fopen(myfile,"w");

        lineparam();

if (pf>0)
 {
   th=acos(pf);
   critparam();
   for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
   qs=ps*tan(th);
   aa=(d1*d1+d2*d2);
   bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
   cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
   disk=bb*bb-4*aa*cc;
   disk=sqrt(disk);
   vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
   vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
   vs1=sqrt(vs1);
   vs2=sqrt(vs2);
   fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }
 }

else
 {
   pf=-pf;
   th=-acos(pf);
   critparam();
   for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
   qs=ps*tan(th);
   aa=(d1*d1+d2*d2);
```

```
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }

 }
  fclose(fp1);

        //////pf=0.9 ileri

              strcpy(myfile,mypath);
          sprintf(tmps,"/M%i",mode);
          strcat(myfile,tmps);
              sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
              strcat(myfile,tmps);
          pf=-0.9;
              sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
              strcat(myfile,tmps);

              fp1=fopen(myfile,"w");

              lineparam();

if (pf>0)
 {
    th=acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
   {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
   }
 }

else
 {
    pf=-pf;
    th=-acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
```

```
  {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }

 }
  fclose(fp1);



        //////pf=1.0 birim


              strcpy(myfile,mypath);
          sprintf(tmps,"/M%i",mode);
          strcat(myfile,tmps);
              sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
              strcat(myfile,tmps);
          pf=1.0;
              sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
              strcat(myfile,tmps);

              fp1=fopen(myfile,"w");

              lineparam();

if (pf>0)
 {

    th=acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }
 }
```



```
else
{

   th=-acos(pf);
   critparam();
   for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
   qs=ps*tan(th);
   aa=(d1*d1+d2*d2);
   bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
   cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
   disk=bb*bb-4*aa*cc;
   disk=sqrt(disk);
   vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
   vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
   vs1=sqrt(vs1);
   vs2=sqrt(vs2);
   fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }

}
 fclose(fp1);



     //////pf=0.9 geri


                strcpy(myfile,mypath);
          sprintf(tmps,"/M%i",mode);
          strcat(myfile,tmps);
                sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
                strcat(myfile,tmps);
          pf=0.9;
                sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
                strcat(myfile,tmps);

                fp1=fopen(myfile,"w");

          ---   --- lineparam();

if (pf>0.0)
{

   th=acos(pf);
   critparam();
   for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
   qs=ps*tan(th);
   aa=(d1*d1+d2*d2);
   bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
   cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
   disk=bb*bb-4*aa*cc;
   disk=sqrt(disk);
```

T.C. Y... DOKÜM...

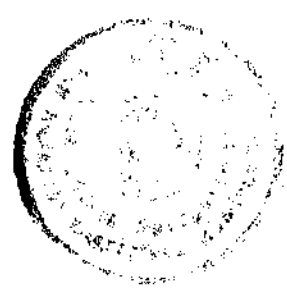
```
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
   }
 }

else
 {

    th=-acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
   {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
   }

 }
  fclose(fp1);



      //////pf=0.8 geri


                strcpy(myfile,mypath);
            sprintf(tmps,"/M%i",mode);
            strcat(myfile,tmps);
                sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
                strcat(myfile,tmps);
            pf=0.8;
                sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
                strcat(myfile,tmps);

                fp1=fopen(myfile,"w");

                lineparam();

if (pf>0)
 {

    th=acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
```

```
  {
   qs=ps*tan(th);
   aa=(d1*d1+d2*d2);
   bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
   cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
   disk=bb*bb-4*aa*cc;
   disk=sqrt(disk);
   vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
   vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
   vs1=sqrt(vs1);
   vs2=sqrt(vs2);
   fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }
 }

else
 {

   th=-acos(pf);
   critparam();
   for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
   qs=ps*tan(th);
   aa=(d1*d1+d2*d2);
   bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
   cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
   disk=bb*bb-4*aa*cc;
   disk=sqrt(disk);
   vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
   vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
   vs1=sqrt(vs1);
   vs2=sqrt(vs2);
   fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }

 }
 fclose(fp1);


  }//KS For döngüsünün sonu
    goto son;
    }

   ////////  m o d e = 3  sonu  ////////////////

   ////////  m o d e = 4 , 5 , 6 , 7  başlangıcı ////////////

   if ((mode == 4 ) || (mode == 5  ) || (mode == 6 ) || (mode == 7  ))
   {
   for (ks=0.0;ks<0.85;ks=ks+0.05)
    {
```

```
////pf=0.8 ileri

            strcpy(myfile,mypath);
        sprintf(tmps,"/M%i",mode);
        strcat(myfile,tmps);
            sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
            strcat(myfile,tmps);
        pf=-0.8;
            sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
            strcat(myfile,tmps);

            fp1=fopen(myfile,"w");

            lineparam();

if (pf>0)
 {
   th=acos(pf);
   critparam();
   for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
   qs=ps*tan(th);
   aa=(d1*d1+d2*d2);
   bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
   cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
   disk=bb*bb-4*aa*cc;
   disk=sqrt(disk);
   vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
   vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
   vs1=sqrt(vs1);
   vs2=sqrt(vs2);
   fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }
 }

else
 {
   pf=-pf;
   th=-acos(pf);
   critparam();
   for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
   qs=ps*tan(th);
   aa=(d1*d1+d2*d2);
   bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
   cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
   disk=bb*bb-4*aa*cc;
   disk=sqrt(disk);
   vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
   vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
   vs1=sqrt(vs1);
   vs2=sqrt(vs2);
   fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }
```

```
}
 fclose(fp1);

        //////pf=0.9 ileri

                strcpy(myfile,mypath);
            sprintf(tmps,"/M%i",mode);
            strcat(myfile,tmps);
                sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
                strcat(myfile,tmps);
            pf=-0.9;
                sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
                strcat(myfile,tmps);

                fp1=fopen(myfile,"w");

                lineparam();

if (pf>0)
{
    th=acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }
}

else
{
    pf=-pf;
    th=-acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
```

```
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
   }

 }
  fclose(fp1);
        //////pf=1.0 birim
                strcpy(myfile,mypath);
           sprintf(tmps,"/M%i",mode);
           strcat(myfile,tmps);
                sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
                strcat(myfile,tmps);
           pf=1.0;
                sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
                strcat(myfile,tmps);

                fp1=fopen(myfile,"w");

                lineparam();
if (pf>0)
 {

    th=acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
   {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
   }
 }
else
 {
    th=-acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
   {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
```



```
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  } }
 fclose(fp1);
     //////pf=0.9 geri
                strcpy(myfile,mypath);
          sprintf(tmps,"/M%i",mode);
          strcat(myfile,tmps);
                sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
                strcat(myfile,tmps);
          pf=0.9;
                sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
                strcat(myfile,tmps);
                fp1=fopen(myfile,"w");
                lineparam();
if (pf>0.0)
 {
    th=acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  } }
else
 {
    th=-acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  } }
 fclose(fp1);
     //////pf=0.8 geri
                strcpy(myfile,mypath);
          sprintf(tmps,"/M%i",mode);
          strcat(myfile,tmps);
```

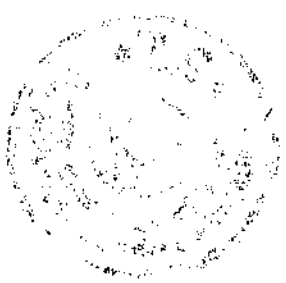
```
                sprintf(tmps,"K%g",100*ks);
                strcat(myfile,tmps);
        pf=0.8;
                sprintf(tmps,"P%g.dat",10*pf);
                strcat(myfile,tmps);
                fp1=fopen(myfile,"w");
                lineparam();
if (pf>0)
 {
    th=acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  }
 }
else
 {
    th=-acos(pf);
    critparam();
    for (ps=0; ps<pscr; ps=ps+1000000)
  {
    qs=ps*tan(th);
    aa=(d1*d1+d2*d2);
    bb=-2*(ps*(b1*d1+b2*d2)+qs*(b2*d1-b1*d2))-vr*vr;
    cc=(ps*ps+qs*qs)*(b1*b1+b2*b2);
    disk=bb*bb-4*aa*cc;
    disk=sqrt(disk);
    vs1=(-bb-disk)/(2*aa);
    vs2=(-bb+disk)/(2*aa);
    vs1=sqrt(vs1);
    vs2=sqrt(vs2);
    fprintf(fp1,"%f,%f,%f\n",3*ps/1000000,sqrt(3)*vs1/1000,sqrt(3)*vs2/1000);
  } }
  fclose(fp1);
   }//KS For döngüsünün sonu
        goto son;
      }
      ////////  m o d e = 4 , 5 , 6 , 7  sonu  ////////////
  son:
 }//mod For döngüsünün sonu
}
void main()
{
 vspsdat();}
```

```
/*
  Bu program Turbo C++ ile yazılmıştır ve gerilim stabiletisinde 7 farklı
  mod, Ks ve pf için kritik değerleri bularak metin dosyalarına kaydeder.
*/
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <complex.h>
#include <string.h>

double ps,aa,bb,cc,qs,disk,vs1,vs2;
char side='e',pfst,chpar,*mypath = "c:/demos/doc/c/data3/";
char myfile[50],*temp="",*mystring="";
int i=0,j,l,k,mode;
double a1,a2,b1,b2,d1,d2,pf,th,k1,k2,k3,k4,h,h1,h2,delt1,delt2,deltcr,pscr,
  ps1,ps2,vscr,vs,vr=220000,ks,x,r,a,b,c,disc;
complex at[20],bt[20],ct[20],dt[20],yc,yl,zc,zl,imp,impe=complex(9.5,86.5),
  impw=complex(9.4,85.3);
FILE *fp,*fp1;

void ycirc() {                          //Şönt kompanzasyon bölgesi parametreleri
  if (side=='w') yc=complex(0,-0.0001452);                    //Kd sabit
  if (side=='e') yc=complex(0,-0.000121);
  at[i]=1;  bt[i]=0;  ct[i]=yc;  dt[i]=1;  i++;
}
void zcirc() {                  //Seri kompanzasyon bölgesi parametreleri
  at[i]=1;  bt[i]=zc;  ct[i]=0;  dt[i]=1;  i++;
}
void picirc() {                 //Pi modelinde hat bölgesi parametreleri
  if (side=='w') { yl=complex(0,0.000937);  zl=impw; }
  if (side=='e') { yl=complex(0,0.000950);  zl=impe; }
  at[i]=1+zl*yl/2;  bt[i]=zl;  ct[i]=yl+zl*yl*yl/4;  dt[i]=1+zl*yl/2;  i++;
}

//Gönderici uçtan başlayarak seri bağlı iki devrenin parametreleri

void serct(int ix) {
  at[i]=at[ix]*at[i-1]+bt[ix]*ct[i-1]; bt[i]=at[ix]*bt[i-1]+bt[ix]*dt[i-1];
  ct[i]=ct[ix]*at[i-1]+dt[ix]*ct[i-1]; dt[i]=ct[ix]*bt[i-1]+dt[ix]*dt[i-1]; i++;
}

//Paralel bağlı iki devrenin parametreleri
void parct(int ix) {
  at[i]=(at[ix]*bt[i-1]+bt[ix]*at[i-1])/(bt[ix]+bt[i-1]);
  bt[i]=bt[ix]*bt[i-1]/(bt[ix]+bt[i-1]);
  ct[i]=ct[ix]+ct[i-1]+(at[ix]-at[i-1])*(dt[i-1]-dt[ix])/(bt[ix]+bt[i-1]);
  dt[i]=(dt[ix]*bt[i-1]+bt[ix]*dt[i-1])/(bt[ix]+bt[i-1]);  i++;
}

//Seçilen Ks ve mod için ABCD ve Zc değerlerinin hesaplanması
void lineparam() {
  i=0;
  if (mode==1) {
    x=imag((impe+impw)/2);  r=real((impe+impw)/2);   a=x*x+r*r;
    b=(a/x+2*ks*x)/(ks+1);  c=a*ks/(ks+1);          disc=sqrt(b*b-4*c);
    zc=complex(0,-b+disc);
```

```
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); zcirc(); serct(i-2); side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc(); serct(i-2); k=i-1; side='e';
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); side='w'; picirc(); serct(i-2);
  ycirc(); serct(i-2); parct(k); side='e';
 }
 if (mode==2) {
  zc=complex(0,0); ycirc(); picirc(); serct(i-2); side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc(); serct(i-2); parct(i-1); side='e';
 }
 if (mode==3) {
  zc=complex(0,-ks*imag(impe+impw));
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); zcirc(); serct(i-2); side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc(); serct(i-2); parct(i-1); side='e';
 }
 if (mode==4) {
  zc=complex(0,-ks*imag(2*impe+impw));
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); zcirc(); serct(i-2); parct(i-1);
  side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc(); serct(i-2);
  side='e';
 }
 if (mode==5) {
  zc=complex(0,-ks*imag(impe+impw/2)); ycirc(); picirc(); serct(i-2);
  zcirc(); serct(i-2); k=i-1; side='w'; picirc(); ycirc();
  serct(i-2); parct(i-1); serct(k); side='e';
 }
 if (mode==6) {
  zc=complex(0,-ks*imag(impe/2+impw));
  ycirc(); picirc(); serct(i-2); parct(i-1); zcirc(); serct(i-2);
  side='w'; picirc(); serct(i-2); ycirc(); serct(i-2); side='e';
 }
 if (mode==7) {
  zc=complex(0,-ks*imag(impe+2*impw));
  ycirc(); picirc(); serct(i-2);
  k=i-1; zcirc(); side='w';
  picirc(); serct(i-2); ycirc(); serct(i-2); parct(i-1); serct(k); side='e';
 }
}

//Kritik değerlerin ilgili formüller ile bulunması
void critparam() {
 a1=real(at[i-1]); a2=imag(at[i-1]); b1=real(bt[i-1]); b2=imag(bt[i-1]);
 d1=real(dt[i-1]); d2=imag(dt[i-1]);
 k1=d1*(b1*tan(th)-b2)-d2*(b1+b2*tan(th));
 k2=-d1*(b1+b2*tan(th))-d2*(b1*tan(th)-b2);
 if (k1==0) {
  if (k2>0) deltcr=M_PI;
  if (k2<0) deltcr=0;
 }
 else deltcr=M_PI/2+atan(k2/k1);
 deltcr=deltcr/2;
 k3=b1*cos(deltcr)-b2*sin(deltcr); k4=d1*cos(deltcr)-d2*sin(deltcr);
 vscr=vr/(2*k4); pscr=vr*vr*((d1*b1+d2*b2)-2*k3*k4)/(4*k4*k4*(b1*b1+b2*b2));
}
```

```
void critdat() { //Oluşan kritik değerleri ilgili dosyaya kaydeder

 for (mode=1;mode<=7;mode=mode+1)

{
 chpar='k';

 strcpy(myfile,mypath);

 if (mode==1) {
  if (chpar=='p') {
                temp="m1pf.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }

  if (chpar=='k') {
                temp="m1ks.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }
           }
 if (mode==2) {
  if (chpar=='p') {
                temp="m2pf.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }

  if (chpar=='k') {
                temp="m2ks.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }
 }
 if (mode==3) {
  if (chpar=='p') {
                temp="m3pf.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }

  if (chpar=='k') {
                temp="m3ks.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }
 }
 if (mode==4) {
  if (chpar=='p') {
                temp="m4pf.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }
```

```
  if (chpar=='k') {
                temp="m4ks.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }
}
if (mode==5) {
  if (chpar=='p') {
                temp="m5pf.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }

  if (chpar=='k') {
                temp="m5ks.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }
}
if (mode==6) {
  if (chpar=='p') {
                temp="m6pf.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }

  if (chpar=='k') {
                temp="m6ks.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }
}

if (mode==7) {
  if (chpar=='p') {
                temp="m7pf.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }

  if (chpar=='k') {
                temp="m7ks.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }
}


if (chpar=='p') {
  fprintf(fp,"pf,vscr,pscr,deltcr\n");
  for (j=1; j<=5; j++) {
    if (j==1) ks=0.0;
    if (j==2) ks=0.20;
    if (j==3) ks=0.40;
```



```
    if (j==4) ks=0.50;
    if (j==5) ks=0.75;
    lineparam();
    fprintf(fp,"zc= %f,ks= %f\n",imag(zc),ks);
    for (pf=0.80; pf<1; pf=pf+0.05) {            //geri pf'ler
        th=acos(pf);   critparam();
        fprintf(fp,"%f lag ,%f,%f,%f\n",pf,sqrt(3)*vscr/1000,3*pscr/1000000,180*deltcr/M_PI);
    }
    for (pf=1; pf>=0.8; pf=pf-0.05) {            //ileri pf'ler
        th=-acos(pf);    critparam();
        fprintf(fp,"%f lead ,%f,%f,%f\n",pf,sqrt(3)*vscr/1000,3*pscr/1000000,180*deltcr/M_PI);
    }  } }
if (chpar=='k') {
  fprintf(fp,"Ks,Vscr(KV),Pscr(MW),deltcr(DEG)\n");
  for (j=1; j<=5; j++) {
    if (j==1) { th=acos(0.8);   fprintf(fp,"\t pf= %f lag \n",cos(th)); }
    if (j==2) { th=acos(0.9);   fprintf(fp,"\t pf= %f lag \n",cos(th)); }
    if (j==3) { th=acos(1);     fprintf(fp,"\t pf= %f unity \n",cos(th)); }
    if (j==4) { th=-acos(0.9);  fprintf(fp,"\t pf= %f lead \n",cos(th)); }
    if (j==5) { th=-acos(0.8);  fprintf(fp,"\t pf= %f lead \n",cos(th)); }
    for (ks=0.0; ks<=1; ks=ks+0.05) {
        lineparam();
        critparam();
        fprintf(fp,"%f,%f,%f,%f\n",ks,sqrt(3)*vscr/1000,3*pscr/1000000,180*deltcr/M_PI);
    }  }  }
fclose(fp);
chpar='p';
strcpy(myfile,mypath);

if (mode==1) {
  if (chpar=='p') {
            temp="m1pf.dat";
            strcat(myfile,temp);
                fp=fopen(myfile,"w");
            }
  if (chpar=='k') {
            temp="m1ks.dat";
            strcat(myfile,temp);
                fp=fopen(myfile,"w");
            }
        }
if (mode==2) {
  if (chpar=='p') {
            temp="m2pf.dat";
            strcat(myfile,temp);
                fp=fopen(myfile,"w");
            }

  if (chpar=='k') {
            temp="m2ks.dat";
            strcat(myfile,temp);
                fp=fopen(myfile,"w");
            }
}
if (mode==3) {
```

```
  if (chpar=='p') {
                temp="m3pf.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }

  if (chpar=='k') {
                temp="m3ks.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }
}
if (mode==4) {
  if (chpar=='p') {
                temp="m4pf.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }

  if (chpar=='k') {
                temp="m4ks.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }
}
if (mode==5) {
  if (chpar=='p') {
                temp="m5pf.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }

  if (chpar=='k') {
                temp="m5ks.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }
}
if (mode==6) {
  if (chpar=='p') {
                temp="m6pf.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }

  if (chpar=='k') {
                temp="m6ks.dat";
                strcat(myfile,temp);
                        fp=fopen(myfile,"w");
                }
}

if (mode==7) {
  if (chpar=='p') {
                temp="m7pf.dat";
```

```
                strcat(myfile,temp);
                    fp=fopen(myfile,"w");
                }
  if (chpar=='k') {
                temp="m7ks.dat";
                strcat(myfile,temp);
                    fp=fopen(myfile,"w");
                }
 }
 if (chpar=='p') {
  fprintf(fp,"pf,vscr,pscr,deltcr\n");
  for (j=1; j<=5; j++) {
   if (j==1) ks=0.0;
   if (j==2) ks=0.20;
   if (j==3) ks=0.40;
   if (j==4) ks=0.50;
   if (j==5) ks=0.75;
   lineparam();
   fprintf(fp,"zc= %f,ks= %f\n",imag(zc),ks);
   for (pf=0.80; pf<1; pf=pf+0.05) {          //geri pf'ler
       th=acos(pf);  critparam();
       fprintf(fp,"%f lag ,%f,%f,%f\n",pf,sqrt(3)*vscr/1000,3*pscr/1000000,180*deltcr/M_PI);
   }
   for (pf=1; pf>=0.75; pf=pf-0.05) {          //ileri pf'ler
       th=-acos(pf);   critparam();
       fprintf(fp,"%f lead ,%f,%f,%f\n",pf,sqrt(3)*vscr/1000,3*pscr/1000000,180*deltcr/M_PI);
   }
  }
}

 if (chpar=='k') {
  fprintf(fp,"Ks,Vscr(KV),Pscr(MW),deltcr(DEG)\n");
  for (j=1; j<=5; j++) {
   if (j==1) { th=acos(0.8);   fprintf(fp,"\t pf= %f lag \n",cos(th)); }
   if (j==2) { th=acos(0.9);   fprintf(fp,"\t pf= %f lag \n",cos(th)); }
   if (j==3) { th=acos(1);     fprintf(fp,"\t pf= %f unity \n",cos(th)); }
   if (j==4) { th=-acos(0.9);  fprintf(fp,"\t pf= %f lead \n",cos(th)); }
   if (j==5) { th=-acos(0.8);  fprintf(fp,"\t pf= %f lead \n",cos(th)); }
   for (ks=0.0; ks<=1; ks=ks+0.05) {
       lineparam();
       critparam();
       fprintf(fp,"%f,%f,%f,%f\n",ks,sqrt(3)*vscr/1000,3*pscr/1000000,180*deltcr/M_PI);
   }
  }
 }
 fclose(fp);

}
}

void main() {
critdat();
}
```

## ÖZGEÇMİŞ

| | | |
|---|---|---|
| Adı, Soyadı | : | Mustafa SAVAŞAN |
| Doğum Tarihi | : | 22.06.1962 |
| Doğum Yeri | : | Balıkesir |

Eğitim

| | | |
|---|---|---|
| Muharrem Hasbi Koray Lisesi , Balıkesir | : | 1976-1979 |
| Lisans | | |
| Boğaziçi Ünivesitesi | : | 1979-1984 |
| Lisans Üstü | | |
| Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü | : | 1985-1988 |
| Doktora | | |
| Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü | : | 1988- |

Mesleki Deneyim

| | |
|---|---|
| Boğaziçi Ünivesitesi Bilgi İşlem Merkezi | 1982-1984 |
| Toshiba- Elektromak Büro Makinaları-Teknik Koodinatör | 1984-1988 |
| Gipaş A.Ş.- Delta Ltd. Teknik Danışman | 1988-1989 |
| Kets Ltd. Şti. Başkan | 1989- |

Askerlik

| | | |
|---|---|---|
| Burdur 58. Topçu Er Eğitim Tugayı | : | 1993 |

| | | |
|---|---|---|
| Yabancı Dil | : | İngilizce |