

14102

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DURUM GEÇİŞ MATRİSİ YÖNTEMİ İLE YÜKSEK GERİLİM
HAVA İLETİM HATLARININ GÜVENİLİRLİK
DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Ertan YANIKOĞLU

**T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Eylül 1989

Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Aralık 1989

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ö. Vural AYGEN

Diğer Jüri Üyeleri

: Prof. Dr. Nesrin TARKAN

Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR

ARALIK – 1989

ÖNSÖZ

Ülkemiz elektrik enerjisi enterkonnekte şebekesinin, artan enerji gereksinimine karşılık büyümesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu gelişme sürecinde yeterli enerjinin sağlanması yanısıra ekonomik ve verimli dizaynda olmasıda önemli bir faktördür.

Tüketici şikayetlerinin ağırlığını oluşturan enerji kesintilerini minimuma indirme zorunluluğu, enerji tesislerinin kurulması ve işletmesinde ekonomik sıkıntılar yarattığı bir gerçektir. Tüketicinin gereksinmesi olan enerjinin sürekliliğini sağlamak, enerji tesislerinin görevini arızasız olarak sürdürmesine veya yıllık arıza oranını minimuma yaklaştırmasına bağlıdır. Bu yüzden enerji sisteminin işletmesi sürecinde elde edilen verilerin modern istatistik yöntemleri ile saptanıp, güvenilirlik hesaplamalarının yapılması kaçınılmaz olmuştur. Böylece sistemin tanımlanan görevini belirli bir zaman aralığı içinde başarma olasılığı bulunur.

Sistemin güvenilirlik değerinin ölçütü olan bu olasılık değerlendirilerek, en ekonomik ve güvenilir sistem tasarımlarına geçilebilir. Sürekli çalışma süreci gerektiren bazı endüstri kuruluşlarında, sistemin güvenilirlik analizleri ile enerji sürekliliği olasılığını arttırmak ekonomik kazançlar sağlayacaktır. Ayrıca toplu taşımacılıkta kullanılan elektrikli trenlerin sürekli çalışması bireylerin ve işletmecilerin yararına olacaktır. Bütün bu nedenlerden dolayı bu çalışmada enerji sistemlerinin en büyük bölümünü oluşturan iletim hatlarında güvenilirlik hesaplamaları ile enerjinin sürekliliğine matematiksel bağıntılarla çözüm sağlanmaya çalışılmıştır.

Tez konusunun saptanmasında ve onu izleyen tez yönetiminde, çalışmalarım boyunca değerli ilgi ve katkılarını gördüğüm sayın hocam Prof.Dr.Ö.Vural AYGİN'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	ii
NOTASYON	vi
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvi
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Güvenilirliğin Tanımı	2
1.2. Genel Güvenilirlik Fonksiyonunun Elde Edilmesi	3
1.3. Arıza Oranının Sabit Olması Durumu .	9
1.3.1. Üstel Dağılımda Arıza Zamanı İfadesi	10
1.3.2. Sistem Güvenilirliği	12
1.3.2.1. Seri Sistem Güvenilirliği	14
1.3.2.2. Paralel Sistem Güvenilirliği	16
1.4. Onarım, Bakım ve Eleman Değiştirme- nin Güvenilirliğe Etkileri	19
1.5. Güvenilirlik Parametrelerinin Ölçümü	24
BÖLÜM 2. ARIZA BİÇİMLERİ VE ENERJİ İLETİM SİSTEMİ GÜVENİLİRLİK PROBLEMİNİN GEREK DUYDUĞU VERİLER	27
2.1. Giriş	27
2.2. Bir Elemanın Arıza Biçimleri	28
2.3. Bir Yük Barasının Arıza Durumları ..	29
2.4. Enerji İletim Sistemi Çalışmasına Hava Koşullarının Etkisi	30
2.5. Güvenilirlik İndisleri	31
2.6. Güvenilirlik İndislerinin Seçimi ..	32
2.7. Enerji İletim Sistemi Güvenilirlik Çalışması İçin Gerekli Eleman Parametreleri	33

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3. ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE GÜVENİLİRLİK ANALİZİNDE KULLANILAN TEKNİKLER	35
3.1. Giriş	35
3.2. Sürekli Devredışı Kalmanın Hesaplanması	35
3.2.1. Yaklaşıklık Tekniği	36
3.2.2. Markov Tekniği	38
3.3. Normal ve Ağır Hava Koşullarında Güvenilirlik Analizi	43
3.3.1. Yaklaşıklık Tekniği	46
3.3.2. Markov Tekniği	51
3.4. Bakım ve Geçici Devredışı Kalmaların İncelenmesi	55
3.4.1. Bakım Devredışı Kalma ile Çakışan Sürekli Devredışı Kalmalar	55
3.4.2. Elemanın Bakım Devredışı Kalması ile Çakışan Geçici Devredışı Kalmalar ..	62
3.4.3. Elemanın Sürekli Devredışı Kalması ile Çakışan Geçici Devredışı Kalmalar	63
3.5. Aşırı Yüklenme Nedenli Devredışı Kalma	64
3.5.1. Giriş	64
3.5.2. Aşırı Yüklenme Nedenli Devredışı Kalmaların Hesabı	66
3.5.3. İki Durum Modeli	76
 BÖLÜM 4. GÜVENİLİRLİK İNDİSLERİNİN DURUM GEÇİŞ MATRİSİ İLE HESABI	 83
4.1. Giriş	83
4.2. Bağlantı Nedenli Devredışı Kalmalar ve Yük Barası Ek Arıza Durumları ...	84
4.2.1. Durum Geçiş Diyagramı ve Durum Geçiş Matrisi	85
4.2.2. Sistemin Sürekli Hal Durum Olasılıklarının Bulunması	89
4.2.3. İki Elemanlı Sistemin Durum Olasılıkları	91
4.2.4. n Elemanlı Sistem İçin Çalışırlık ve Arızalı Durum Matrisleri	93
4.3. Sistemin Arıza Oranı, Onarım Süresi ve Devredışı Kalma Zamanının Hesabı .	95

	<u>Sayfa</u>
4.3.1. İki Elemanlı Bir Sistem İçin Arıza Oranı ve Onarım Süresi	99
4.4. Normal ve Ağır Hava Koşulları Altında Güvenilirlik İndisleri	105
4.5. Bakım, Geçici ve Bağlantı Devredışı Kalma Değerlerinin Saptanması	129
4.5.1. Giriş	129
4.5.2. Bakım ve Bağlantı Çalışmaları ile İlgili Kabuller	132
4.5.3. Elemanların Sürekli Devredışı Kalmaları ile Çakışan, Elemanların Bakım Devredışı Kalmaları	133
4.6. Sürekli Devredışı Kalma ile Çakışan Eleman Geçici Devredışı Kalmalar ...	146
4.7. Bağlantı Nedenli Devredışı Kalmalar.	151
4.7.1. Giriş	151
4.7.2. Sistemin Yapısal Değişiminin Etkisi.	152
4.8. Elemanın Sürekli Devredışı Kalmalarıyla Çakışan, Elemanın Bağlantı Nedenli Devredışı Kalmaları	155
 BÖLÜM 5. SİSTEM UYGULAMASI	 161
 BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	 197
 KAYNAKLAR	 201
 EKLER	 204
 ÖZGEÇMİŞ	 217

NOTASYON

P_x	: x kere arıza oluşma olasılığı
$P_O(t)$	: t zamanında hiçbir arıza oluşmama olasılığı
$R(t)$	: Güvenilirlik fonksiyonu
$f(t)$	: Arıza yoğunluk fonksiyonu
$Q(t)$	: Güvensizlik fonksiyonu
λ_i	: Elemanın arıza oranı
$E(x)$	: Matematiksel umu
R_s	: Seri sistem güvenilirlik fonksiyonu
R_p	: Paralel sistem güvenilirlik fonksiyonu
Q_s	: Seri sistem güvensizlik fonksiyonu
Q_p	: Paralel sistem güvensizlik fonksiyonu
$R_{yp}(t)$	: Yedek elemanlı sistemin güvenilirlik fonksiyonu
$f_{yp}(t)$	: Yedek elemanlı sistemin arıza yoğunluk fonksiyonu
m_{yp}	: Yedek elemanlı sistemin arızaları arası süresi
M	: Elemanın yorulma Ömrü
σ	: Standard sapma
λ'_i	: Elemanın ağır hava koşulundaki arıza oranı
λ_i	: Elemanın normal hava koşulundaki arıza oranı
λ''	: Elemanın bakım devredışı kalma nedenli arıza oranı
λ_s	: Seri sistem arıza oranı
r_s	: Seri sistem onarım oranı
λ_p	: Paralel sistem arıza oranı
r_p	: Paralel sistem onarım süresi
μ_i	: Elemanın onarım oranı

P : Stokastik geçiş olasılıkları matrisi
 λ_{or_i} : Elemanın ortalama arıza oranı
 N : Normal hava koşulu süresi
 S : Ağır hava koşulu süresi
 $n_{—}$: Normal hava koşulu kesri
 m : Ağır hava koşulu kesri
 r_i : Elemanın onarım süresi
 λ_{SL} : Elemanın sürekli devre dışı kalmalarının çakışması nedeniyle oluşan yük barası arıza oranı
 r_{SL} : λ_{SL} , ile ilgili ortalama onarım süresi
 λ_{mL}'' : Yük barası bakım nedenli arıza oranı
 r_{mL}'' : λ_{mL}'' , ile ilgili ortalama onarım süresi
 r'' : Elemanın bakım süresi
 λ_{iT} : Elemanın geçici devre dışı kalma nedenli arıza oranı
 λ_{TL} : Yük barası geçici arıza oranı
 λ_{OL} : Yük barası aşırı yük nedenli arıza oranı
 r_{OL} : λ_{OL} , ile ilgili ortalama onarım süresi
 λ_L : $l(t) > L$ yük düzeyinin oluşma olasılığı
 r_L : $l(t) > L$ yük düzeyi ortalama süresi
 $[K]$: Sistemin durum matrisi
 $[A]$: Geçiş oranı matrisi
 $[D]$: Sistemin durum geçiş matrisi
 $[a]$: Çalışırlık durumu kolon matrisi
 $[q]$: Arızalı durum kolon matrisi
 $[a_s]$: Seri sistem çalışırlık durumu kolon matrisi
 $[q_s]$: Seri sistem arızalı durum kolon matrisi
 $[a_p]$: Paralel sistem çalışırlık durumu kolon matrisi
 $[q_p]$: Paralel sistem arızalı durum kolon matrisi

[T] : Çalışırılık durumu olasılıkları matrisi
[F] : Çalışırılık durumu sıklık matrisi
[L] : Arızalı durum olasılıkları matrisi
[G] : Arızalı durum sıklık matrisi
[T_s] : Seri sistem çalışırılık durumu olasılıkları matrisi
[L_s] : Seri sistem arızalı durum olasılıkları matrisi
[T_p] : Paralel sistem çalışırılık durumu olasılıkları matrisi
[L_p] : Paralel sistem arızalı durum olasılıkları matrisi
 λ_{iB} : Elemanın bağlantı devre dışı kalma nedenli arıza oranı
 μ_{iB} : Elemanın bağlantı oranı
 r_{iB} : Elemanın bağlantı süresi

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1a. Arıza Yoğunluk Fonksiyonu	5
1.1b. Arıza Oranı Foksiyonu	5
1.2. Üstel Dağılımda Güvenilirlik Eğrisi	12
1.3. Üstel Dağılımda Arıza Yoğunluk Fonksiyonu ..	12
1.4. Seri Sistem İçin Güvenilirlik Eğrisi	15
1.5. Paralel Sistem İçin Güvenilirlik Eğrisi	17
1.6. Yedek Paralel Sistem	17
1.7. Düzenli Olarak Bakıma Alınmış ve Korunmuş Sistemin Arızaları Arasındaki Ort. Zaman ...	21
1.8. Sistemin Önleyici Bakımlı ve Bakımsız Arıza Oranı	23
1.9. Seri-Paralel Bir Sistemin Ortalam Arıza Oranı	23
2.1. Bir Eleman İçin Arıza Biçimleri	28
2.2. Yük Barası Arıza Durumu İçin Örnek Sistem ...	29
3.1. Basit Bir Sistem Yapısı	37
3.2. Bir Elemanın Durum Uzak Diyagramı	38
3.3. İki Elemanlı Durum Uzak Diyagramı	42
3.4. Tipik İletim Sistemi	44
3.5. Değişken İki Durumlu Hava Modeli	45
3.6. Hava Koşullarının Hariç Tutulması Nedeniyle Sistem Arıza Oranında Öngörülen Hata	47
3.7. Bir Elemanın Değişken Hava Koşulunda Durum Uzak Diyagramı	51
3.8. İki Elemanlı Sistemin Değişken Hava Koşulunda Durum Uzak Diyagramı	53
3.9. Üç Elemanlı Sistemin Değişken Hava Koşulunda Durum Uzak Diyagramı	54
3.10. Bakım Durumlarını İçeren İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Durum Uzak Diyagramı	57
3.11. Bakım Durumlarını İçeren Üç Paralel Elemanlı Sistem İçin Durum Uzak Diyagramı	58
3.12. Yalnız Normal Hava Koşullarında Bakım Durumlarını İçeren İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Durum Uzak Diyagramı	59

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.13. İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Bakım, Sürekli, Geçici Arıza Durumlarını İçeren Durum Uzay Diyagramı	65
3.14. Sürekli Devredışı Kalma ve Aşırı Yük Devredışı Kalmalar İçin Durum Uzay Diyagramı	68
3.15. Eleman Aşırı Yük Devredışı Nedeniyle Sistem Devredışı Kalma Oranı	71
3.16. Eleman Aşırı Yük Devredışı Nedeniyle Sistemin Ortalama Onarım Süresi	72
3.17. Sistem Devredışı Kalma Oranında Yük Artımının Etkisi	73
3.18. İki Yük Baralı Sistem	74
3.19. Bir Hafta İçin Sistemin Kronolojik Yük Eğrisi	75
3.20. İki Durum Yük Modeli	81
4.1. Bir Elemanın Ayrık Arıza Biçimleri	84
4.2. Ağır Hava Koşulunda Oluşan Arızaların Sistem Devredışı Kalmasına Etkisi	119
4.3. Değişik Onarım Sürelerinin Sistem Devredışı Kalmasına Etkisi	120
4.4. Ağır Hava Koşulunda Onarım Olup Olmamasının Sistem Devredışı Kalmasına Etkisi	121
4.5. Ağır Hava Süresinin Devredışı Kalmaya Etkisi	122
4.6. Eleman Arıza Oranının Değişiminin Sistem Arıza Oranında Etkileri (Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok)	123
4.7. Ağır Hava Koşulunda Onarım Yapılıp Yapılmamasının Değişik Onarım Süreleri İçin Sistemin Devredışı Kalma Süresine Etkisi	128
4.8. Seri-Paralel Bir Sistemde Seri Elemanın Arıza Oranına Etkisi (Ağır Havada Onarım Yok İken)	131
4.9. Elemanın Bakımı Nedeniyle Sistemin Arıza Oranı	141
4.10. Elemanın Geçici Devredışı Kalması Nedeniyle Sistemin Geçici Devredışı Kalma Oranı	150
4.11. Örnek Bir Sistem	152
4.12. Şekil 4.11'deki Sistemin Adım Adım Gelişimi..	153
5.1. Bursa Yöresi Enerji İletim Sistemi Yapısı ..	163
5.2. Asilçelik Yük Barası İçin Bağlantı Nedenli Devredışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi ..	188
5.3. Gemlik-II Yük Barası İçin Bağlantı Nedenli Devredışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi ..	189
5.4. Orhangazi-II Yük Barası İçin Bağlantı Nedenli Devredışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi ..	190

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.5. Yalova-II Yük Barası İçin Bağlantı Nedenli Devredışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi ..	191
5.6. Karamürsel Yük Barası İçin Bağlantı Nedenli Devredışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi ..	192
5.7. İnegöl-II Yük Barası İçin Bağlantı Nedenli Devredışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi ..	193
5.8. Kestel Yük Barası İçin Bağlantı Nedenli Devredışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi ..	194
5.9. Bursa Yük Barası İçin Bağlantı Nedenli Devredışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi ..	195
5.10. Akçalar Yük Barası İçin Bağlantı Nedenli Devredışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi ..	196
A.1. Bir Eleman İçin Çalışma Ömrünün Fonksiyonu Olarak Arıza Oranı Eğrileri	205
A.2. Olasılık Dağılımları	206
A.3. Güvenilirlik Hesaplamaları İçin Bilgisayar Akış Diyagramı	207

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Şekil 3.1'deki Sistem Elemanları İçin Arıza Oranı ve Onarım Süreleri	37
3.2. Şekil 3.1'deki Sistem İçin Güvenilirlik İndisleri	38
3.3. Ağır Hava Süresince Oluşan Arıza Yüzdesi İçin Sistem Arıza Oranının Değişimi	44
3.4. Şekil 3.4'deki Sistem Elemanları İçin Arıza Oranı ve Onarım Süreleri	45
3.5. Bir Sistem İçin Yük Parametreleri	67
3.6. Şekil 3.18'deki Sistem İçin Var Sayılan Olası Durumlar (Yük Azaltımı Halinde)	74
3.7. Şekil 3.18'deki Sistem İçin Var Sayılan Olası Durumlar (Yük Kaldırılması Halinde)	76
3.8. Şekil 3.18'deki Sistemde 1. Yük Barası İçin Güvenilirlik İndisleri (Yük Azaltımı Durumunda)	77
3.8a. Şekil 3.18'deki Sistemde 2.Yük Barası İçin Güvenilirlik İndisleri (Yük Azaltımı Durumunda)	78
3.9. Şekil 3.18'deki Sistemde 1. Yük Barası İçin Güvenilirlik İndisleri (Yük Kaldırılması Durumunda)	79
3.9a. Şekil 3.18'deki Sistemde 2. Yük Barası İçin Güvenilirlik İndisleri (Yük Kaldırılması Durumunda)	80
4.1. n Elemanlı Sistem İçin Durum Geçiş Diyagramı.	86
4.2. Üç Paralel Elemanlı Sistem İçin Devredışı Kalma Oranı (Ağır Hava Koşulunda Onarım Var).	115
4.3. İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Devredışı Kalma Oranı (Ağır Hava Koşulunda Onarım Var).	116
4.4. İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Devredışı Kalma Oranı (Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok).	117
4.5. Üç Paralel Elemanlı Sistem İçin Devredışı Kalma Oranı (Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok).	118
4.6. İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Onarım Süresi (Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok)	124
4.7. İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Onarım Süresi (Ağır Hava Koşulunda Onarım Var)	125

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
4.8. Üç Paralel Elemanlı Sistem İçin Onarım Süresi (Ağır Hava Koşulunda Onarım Var)	126
4.9. Üç Paralel Elemanlı Sistem İçin Onarım Süresi (Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok)	127
4.10. İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Devre dışı Kalma Oranının Uzun Ağır Hava Koşulundaki Değeri (Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok)	130
4.11. Üç Paralel Elemanlı Sistem İçin Devre dışı Kalma Oranının Uzun Ağır Hava Koşulundaki Değeri (Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok)	130
4.12. İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Bakım Devre dışı Kalma Oranı (Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok)	140
4.13. Üç Paralel Elemanlı Sistem İçin Bakım Devre dışı Kalma Oranı (Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok)	140
4.14. Dört Paralel Elemanlı Sistem İçin Bakım Nedenli Güvenilirlik İndisleri	142
4.15. İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Bakım Nedenli Güvenilirlik İndisleri (Yalnız Normal Hava Koşulunda)	146
4.16. Üç Paralel Elemanlı Sistem İçin Bakım Nedenli Güvenilirlik İndisleri (Yalnız Normal Hava Koşulunda)	147
4.17. İki Paralel Elemanlı Sistemin Geçici Devre dışı Kalma Oranı	149
4.18. Şekil 4.11'deki Sistem Elemanları İçin Arıza Oranı ve Onarım Süreleri	152
4.19. Şekil 4.11 ve 4.12'deki Sistemler İçin Güvenilirlik İndisleri	154
4.20. Şekil 4.11 ve 4.12'deki 1. Yük Barası İçin Güvenilirlik Değerleri	154
5.1. Bursa Yöresi Güvenilirlik Çalışması İçin Eleman Parametreleri	164
5.2. Bursa Yöresi İçin Olası Arızalar	164
5.3. Asilçelik Yük Barası Güvenilirlik İndisleri .	165
5.4. Gemlik-II Yük Barası Güvenilirlik İndisleri .	167
5.5. Orhangazi-II Yük Barası Güvenilirlik İndisleri	169
5.6. Yalova-II Yük Barası Güvenilirlik İndisleri .	171
5.7. Karamürsel-II Yük Barası Güvenilirlik İndisleri	173
5.8. İnegöl-II Yük Barası Güvenilirlik İndisleri .	175

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
5.9. Kestel Yük Barası Güvenilirlik İndisleri ..	177
5.10. Bursa Yük Barası Güvenilirlik İndisleri ...	179
5.11. Akçalar Yük Barası Güvenilirlik İndisleri ..	181
5.12. Asilçelik, Gemlik-II, Orhangazi-II Yük Baraları İçin Güvenilirlik Değerleri	182
5.13. Yalova-II, Karamürsel, İnegöl-II Yük Baraları İçin Güvenilirlik Değerleri	183
5.14. Kestel, Bursa, Akçalar Yük Baraları İçin Güvenilirlik Değerleri	184
5.15. Asilçelik, Gemlik-II, Orhangazi-II Yük Baraları İçin Güvenilirlik Değerleri (Bağlantı Devredışı Kalma Var İken)	185
5.16. Yalova-II, Karamürsel, İnegöl-II Yük Baraları İçin Güvenilirlik Değerleri (Bağlantı Devredışı Kalma Var İken)	186
5.17. Kestel, Bursa, Akçalar Yük Baraları İçin Güvenilirlik Değerleri (Bağlantı Devredışı Kalma Var İken)	187

ÖZET

Sayısal güvenilirlik değerlendirilmesi sistemin uygun çalışmasını öngörüm için önemli bir ölçüdür. Bu çalışma da enterkonnekte şebekenin iletim hatları ile ilgili güvenilirlik hesaplamaları yapılmıştır.

İletim hatlarında oluşan sürekli, geçici, aşırı yüklenme ve bakım devre dışı kalma arıza biçimlerine ek olarak bağlantı nedenli devre dışı kalmalar incelenmiştir ve bunların çakışma olasılıkları ifade edilmiştir. İletim hatlarının değişik yük baralarında devre dışı kalma sıklığı ve süresi gibi genel olarak kabul edilen güvenilirlik ölçümleri hesaplanmıştır. Güvenilirlik hesaplamalarında kullanılan yaklaşıklık ve Markov yöntemleri anlatılmıştır. Ağır hava koşullarında oluşan arıza yüzdesinin, sistemin güvenilirlik değeri üzerindeki etkisi açıklanmıştır.

Bu çalışma da durum geçiş matrisi olarak adlandırılan yeni bir güvenilirlik hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Sistemin gireceği durumları içeren bir durum matrisi yardımıyla durum geçiş diyagramı oluşturulmuş bununla durum geçiş matrisi elde edilmiştir. Sistemin çalışırılık ve arızalı durumlarını gösteren matrisler tanımlanmıştır. Bir sistemin güvenilirlik ölçümleri olan arıza oranı ve onarım süreleri durum geçiş matrisi, çalışırılık durumu ve arızalı durum kolon matrisleri ile hesaplanmıştır. Ayrıca sistemin gireceği durum olasılıklarının eldesi için ifadeler verilmiştir. Bağlantı işlemi nedenli devre dışı kalmalar sonrası sistemdeki yapısal değişimin, farklı yük baralarındaki güvenilirlik değerinde yapmış olduğu olumlu veya olumsuz etki gösterilmiştir.

Buradan sisteme eklenen her yeni tesis elemanından sonra güvenilirlik hesaplamasının gerekliliği sonucuna varılmıştır. Bursa Yöresi iletim hatları sistemi için güvenilirlik değerlendirilmesi yapılmıştır. Bölüm 6'da bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar kısa bir özet halinde verilmiştir.

SUMMARY

RELIABILITY EVALUATION OF HIGH VOLTAGE OVERHEAD TRANSMISSION LINES BY THE STATE TRANSITIONAL MATRIX METHOD

Reliability is probability of a system or a network weather it will succeed its duty at a specified time duration or not. Reliability has a quantitative property. Nowadays reliability studies have been performed from computers to space-ships and balistic missiles, from public or private exchanges to automobile factories, and in other fields.

An adequate supply of power is an essential ingredient in any scheme to improve the standard of living in a developing country. The annual consumption of energy per head of population is usually an accurate measure of the degree of advancement or of prosperity. The economic implications associated with power development are relatively straight forward. The determination of what is an adequate supply, however, is not an easy problem. The increasing criticality of industrial processes as well as load concentration and customer reliance on electric energy calls for a virtually continuous uninterrupted supply. It is not possible to absolutely guarantee this requirement and any attempt to do so is impractical and uneconomical.

It becomes essential to evaluate where the limited available funds should be utilized to produce the maximum returns. The incremental benefits associated with equipment and configuration changes cannot be evaluated by qualitative reliability criteria. Such measures are based on simple rules of thumb and do not adequately reflect the effect of equipment performance characteristics, network configuration, system operating conditions and in fact those elements that do influence the reliability of the system.

These factors can only be incorporated in the analysis through quantitative reliability techniqgues which

utilize probabilistic models of the system components. One objection often raised to the utilization of probability techniques is the absence of accurate component data. It should be appreciated, however, that the results obtained are simply estimation based upon the available information. As such, they can be extremely valuable in consistently comparing alternative configurations and the relative benefits of configuration changes.

The maximum contribution to the total number of customer supply interruptions arises from the overhead distribution system. This is primarily due to the environment in which these systems operate. In heavy weather conditions, the physical stresses placed upon the system components can be very much higher than those encountered under normal weather conditions. Transmission facilities are normally concentrated over a relatively small area and therefore are more liable to be totally affected by heavy weather conditions.

The application of probability techniques in the quantitative evaluation of transmission and distribution schemes received its present impetus with the publication of two papers in 1964 [4,5]. A considerable amount of work has been done in the establishment of consistent techniques since that time. The approximate equations described in reference [5] included the weather conditions by assuming a two state model in which weather was classified into normal and heavy periods. The method presented in this thesis gives results which compare very closely with those obtained by a Markov approach and is flexible enough to consider the occurrence or nonoccurrence of repair of components during heavy weather conditions.

This work also presents a method for the quantitative evaluation of temporary and permanent load bus interruptions. Temporary outages of components can cause many load bus outages and can be a major reason of customer dissatisfaction. This aspect is extended to include the two state weather environment.

Maintenance of components is another event which can result in load bus interruptions. This study presents some matrices to represent the occurrence of this event. A useful approach in the study of systems involving a large number of components is that of failure mode and effect analysis.

This technique has been used in this thesis and requires a thorough knowledge of the operation of the

system and the effect of component failures on load buses. The recognition of failure modes and their cause effect relationships is a valuable tool in improving customer service continuity. If the reliability predictions do not meet a predetermined goal, a logical improvement procedure is to look for ways to mitigate the causes underlying the events that contributed most to failure.

In the fourth part of this study, a new method has been developed for evaluation of power system reliability. This method has been named as the state-transitional matrix. The state matrix [K] contains all states of the system and the state-transitional diagram with the aid of this [K] matrix has been obtained. The state matrix [K] and the state-transitional diagram can be written as follows for a two component system in the normal weather condition.

$$[K] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = [K]^T$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline d_{1,1} & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ \hline \mu_2 & d_{2,2} & 0 & \lambda_1 \\ \hline \mu_1 & 0 & d_{3,3} & \lambda_2 \\ \hline 0 & \mu_1 & \mu_2 & d_{4,4} \\ \hline \end{array}$$

Elements $d_{1,1}$, $d_{2,2}$, $d_{3,3}$, $d_{4,4}$ of the state-transitional diagram are found as explained in the 4.2.1 paragraph of this study. Thus [D], the state-transitional matrix can be expressed as

$$[D] = \begin{bmatrix} -\lambda_1 - \lambda_2 & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ \mu_2 & -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ \mu_1 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{bmatrix}$$

The steady state probabilities have been found with the aid of the state-transitional matrix. New $[D_{yi}]$ matrix has been obtained by removing the first y_i column and i th row elements of $[D]$, the state-transitional matrix.

If $y_i = |D_{yi}| (-1)^{2k+1}$ then i th probability of state is evaluated as;

$$P_i = \frac{y_i}{\Delta} = \frac{|D_{yi}| (-1)^{2k+1}}{\sum_{i=1}^n y_i}$$

($i = 1, 2, \dots, n$ and $k = \text{number of component}$)

The metrics containing the operable and failure states of system have been defined as $[a]$ and $[q]$, respectively. As explained in the paragraph 4.3 of this study the operable state $[T]$, the frequency of operable state $[F]$, failure state $[L]$ and frequency of failure state $[G]$ matrices have been obtained with the aid of $[a]$, $[q]$ and $[D]$ matrices. The failure rate λ_s and repair time r_s of the series system can be written as follows with the aid of the state-transitional matrix.

$$\lambda_s = (-1)^{2n+1} \frac{|F|}{|T|} \quad \text{and} \quad r_s = (-1)^{2n+1} \frac{|L|}{|F|}$$

where n ; the number of components. The failure rate λ_p and repair time r_p of the parallel system are given as;

$$\lambda_p = (-1)^{2^{n+1}} \frac{|G|}{|T|} \quad \text{and} \quad r_p = (-1)^{2^{n+1}} \frac{|L|}{|G|}$$

Apart from these, in this study, the connection failure mode has been added to the failure modes of a component. Thus, addition to the load bus failure modes have appeared. The positive and negative effects of the connection procedure on the reliability indices of developing systems have been established. Following an additional connection made at the transmission lines which comprises a part of an electrical installation, a change has been observed at the system's probable failures which are found by minimal cut method [2].

Due to this change, there has been found change in the reliability indices of each load bus of the system. Following a connection incidence, the change in the reliability indices of a load bus at the system has been given below for the development of the sample system of figure 4.11 to the system showned in figure 4.12.

<u>Failure Rate of Component</u>		<u>Repair Time of Component</u>
$\lambda_{or} = 0.5 \text{ f/y}$		$r = 2.5 \text{ Hours}$
Component Failures Occurring During Heavy Weather = %50		
Figure	<u>Failure Rate of System</u> (1/1000) f/y	<u>Repair Time of System</u> Hours
4.11	2.917	2.77
4.12a	5.834	2.77
4.12b	11.668	2.77
4.12c	5.834	2.77
4.12d	0.191	2.37

When more than one connection to the system is programmed, it has been observed that it is necessary to make load flow calculations for the new planned system. The results obtained by using the matrices developed in this thesis have been continually compared with those obtained by a more sophisticated Markov approach. Within the bounds of distributional assumptions, all the applications considered can be analysed by the method of the state-transitional matrix.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektrik santrallerinde üretilen enerjinin, tüketiciye ulaştırılmasının en ekonomik biçimde gerçekleşmesi ve enerjinin sürekliliği, kalitesinin amaçlanan düzeyde sağlanması modern bir enterkonnekte şebekenin başlıca görevidir. Elektrik enerjisinin üretim yerinden, tüketiciye ulaştırılmasında kullanılan elektrik enerji iletim tesislerinin güvenilirliğine, artan ilgi özellikle aşağıdaki şu etkenlere dayanır.

1) Tüketicinin her geçen gün artan elektrik enerjisi gereksinimini kaliteli bir biçimde karşılayabilme ve güvenilirliğini hesaplayabilme sorumluluğu,

2) Artan elektrik enerjisi talebini karşılayabilmek için var olan enterkonnekte şebekeye bağlanacak yeni iletim hatlarının güvenilirlik ölçütünün önceden saptanarak, bu güvenilirlik değeri ile uygun tesis planlamasının yapılması zorunluluğu,

3) Güvenilir olmayan elektrik enerjisi iletim tesislerinin, saptanıp ülke ekonomisine vereceği zarar ve mali kaybın planlamada gözönünde tutulmasıdır.

Güvenilirlik analizlerine, enerji ağı sistemine yeni bağlanacak şebekeler için var olan sistemden zamanla elde edilmiş olan bilgi ve deneyime dayanarak kalıplaşmış bazı matematiksel ifadelerin kullanılmasıyla başlanmıştır. Bilgisayar destekli modern istatistik öngörüm ve mühendislik yöntemlerinin geliştirilmesi ile enerji iletim sistemlerinin güvenilirliğini hesaplama ve gelecek için öngörülerde bulunmak artan elektrik enerjisi gereksinimi karşısında zorunluluk haline gelmiştir. Üstelik günümüzde

güvenilirlik çalışmaları teknolojik ürünlerin çoğunda yaygınlaşmıştır. Güvenilirlik bir sistem veya şebekenin tanımlanan görevini belirli bir zaman aralığı içinde başarma olasılığı olup sayısal bir özelliğe sahiptir. Güvenilirlik hesaplamalarının tanımlanmasında yapılan yanlış yaklaşımın nedenleri, elektrik enerjisi iletim tesislerinde güvenilirlik etüdüleri için gerekli arıza oranı ve onarım süresi verileri toplama çalışmalarının bilinçli olarak yapılmaması, uygun analiz modellerinin araştırılmaması ve en önemlisi ise bir analize gerek olmadığı kanısıdır. Ancak, dünyadaki enerji kurumları artık, elektrik enerjisi iletim tesisinin planlanması, üretimi, iletimi ve işletmesi aşamalarındaki doğal kaynak etkisinin, maliyet kısıtlamalarının doğadaki zararının bilincine varmışlar ve en az yatırımla en güvenilirli aramaya koyulmuşlardır. Bundan dolayı güvenilirlik hesaplaması, elektrik enerjisi üretimi ve iletim tesislerinin istatistiksel verilerinden yararlanarak yapılan, mühendislik ve ekonomi yöntemlerini kullanan bir öngörüm çalışması ve planlamanın doğal unsurudur.

1.1. Güvenilirliğin Tanımı

Güvenilirliğe bir olasılıktır demek yeterli değildir. En basit ve en genel şekilde güvenilirlik çalışır olabilmenin olasılığıdır. Daha doğrusu birelemanın veya bir sistemin içinde bulunduğu çalışma koşullarında tasarlanan bir zaman süresinde, amacına uygun olarak çalışma olasılığıdır veya belirli bir süre için arıza olmaksızın çalışabilme olasılığıdır [1]. Bundan başka güvenilirlik, bir elemanın servise konulduğunda arızasız çalışma yeteneğinin bir ölçütüdür. Güvenilirlik umulan çalışma koşulları altında elemanın davranışını matematiksel olarak tahmin eder.

Güvenilirliğin matematiksel formülü için bir parametre kullanılır. Bu parametre arıza oranıdır. Bu değer tersi arızalar arasındaki ortalama zamandır. Bir

elemanın arıza oranı çalışma süresince ya güvenilirlik testleri yada gözlemlerle deneysel olarak elde edilir. Güvenilirlikte bir elemanın çalışma ömrü süresince maruz kaldığı üç arıza tipi vardır. Bunlar sırasıyla şöyledir; birinci tip arızalar eleman yaşamının ilk sürecinde oluşur. Elemanın üretimi esnasında yetersiz kalite kontrol tekniklerinden kaynaklanır. Bu arıza tipi, kusurların giderilmesi işlemiyle yok edilebilir. İkinci tip arızalar elemanların yorulması nedeniyle oluşan arızalardır. Yorulma arızaları elemanın yaşlanmasının bir belirtisidir. Bu arıza, yorulmaya neden olan elemanların düzenli aralıklarla değiştirilmesi ile önlenabilir. Üçüncü tip arızalar risk arızaları rastgele periyodik olmayan aralıklarda oluşur. Oluşumları hakkında öngörüm yapılamaz. Yeterli miktardaki uzun sürelerde (periyodlarda) oluşma sıklığı yaklaşık sabit olduğu varsayılır. Bu arızaları elimine etmek için güvenilirlik teknikleri geliştirilmiştir. Birinci ve üçüncü tip arızalar rastgele olduğundan bunlar rastgele olaylar kategorisine yahut stokastik sürece aittirler [1]. Bir eleman için çalışma ömrünün fonksiyonu olarak arıza oranı eğrileri şekil A.1'de verilmiştir [1].

1.2. Genel Güvenilirlik Fonksiyonunun Elde Edilmesi

Güvenilirlik ifadesi, zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanmış bir olasılıkla tayin edilir. Bundan dolayı güvenilirlik fonksiyonu, zamana göre yeterli çalışma olasılığına bağlı matematiksel bir ifadedir. Bu ilişkinin tam açıklaması eleman arıza zamanlarının dağılımına bağlıdır. Bu dağılımlar, Normal yahut Gaussian, üstel dağılım, Weibull dağılımı, Gamma dağılımı, Rayleigh dağılımı olarak bilinir. Normal dağılım, diğer dağılımlara karşı bu alanda önemsizdir ortalama değer ve standard sapma, σ parametrelerine bağlıdır. Weibull dağılımı, deneysel verilerin istatistik analizi açısından önemlidir. Weibull ve Gamma dağılımları, şekil parametresi, β ve

ölçü parametresi α 'ya bağılırlar. Rayleigh dağılımı, Weibull dağılımının özel bir hali olup, tek parametrelili olarak üstel dağılıma benzerlik gösterir. Üstel dağılım, güvenilirlik hesaplamalarında çok yaygın olarak kullanılır. Uygulanabilir olmasının önemli faktörü, arıza oranının sabit olması ve tek parametreye bağılılığıdır. Şöyleki; $(0,t)$ zaman aralığında, x kere arıza oluşumu olasılığı;

$$P_x = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!} \quad (1.1)$$

ifadesi ile verilir.

Aynı zaman aralığında hiç arıza olmama olasılığı yani $x=0$ olması halinde,

$$P_0 = \frac{(\lambda t)^0 e^{-\lambda t}}{0!} = e^{-\lambda t} \quad (1.2)$$

olarak yazılır. Buradan üstel dağılımda güvenilirlik işlevi

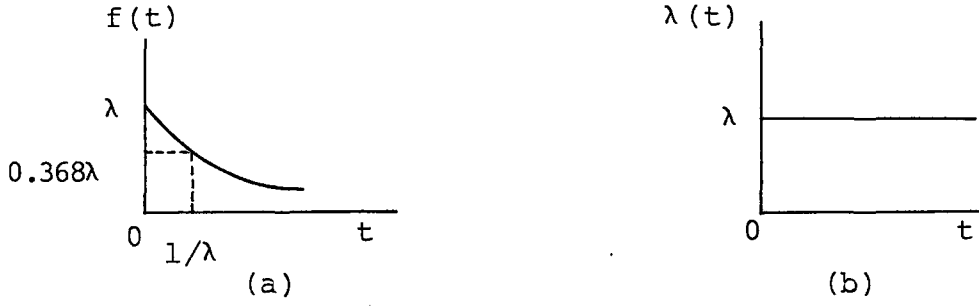
$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1.3)$$

olur.

Arıza yoğunluk işlevi $f(t) = -\frac{d}{dt} R(t)$ olduğundan,

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1.4)$$

olarak bulunur. Şekil 1.1 de üstel dağılım için sırasıyla arıza yoğunluğu ve arıza oranı ifadelerinin zamana bağlı eğrileri görülmüyor [2]. Diğer dağılımlar için eğriler şekil A.2 de verilmiştir [3].



Şekil 1.1. a) Arıza Yoğunluk Fonksiyonu
b) Arıza Oranı

Genel bir güvenilirlik formülünü matematiksel olarak türetebiliriz. Bu formülde arıza oranı ister sabit, ister değişken olarak alınabilir. Bunun için temel olasılık tanımından X adet deney sonucu A ile, Y adet deney sonucu B ile belirlensin. A ve B olaylarının oluşma olasılıkları;

$$P(A) = \frac{x}{x+y} \quad (1.5)$$

$$P(B) = \frac{y}{x+y} \quad (1.6)$$

Bu olasılıkların gerçek değerleri deney sayısının sonsuza gitmesi ile oluşturulabilir. Fakat $X+Y$ deney sayısı uygun büyüklükte alındığında, değerler gerçeğe yaklaşır. A olayını bir elemanın sağlam kalması, B olayını arızalanması ile ifade edip, yukarıdaki olasılık tanımını kullanarak, testin başlangıcında mevcut toplam eleman sayısına göre test süresince sağlam kalan elemanların miktarından eleman güvenilirliğini saptayabiliriz [1]. N_0 sayıda özdeş eleman sınıandığında, bir t zaman sonra, N_s sayıda eleman sağlam, N_f sayıda eleman arızalıysa, $N_0 = N_s + N_f$ test süresince sabittir. Test süresince N_s sağlam eleman sayısı azalırken, N_f arızalı eleman sayısı artacaktır. Buna göre test esnasında herhangi bir t anında güvenilirlik,

$$R(t) = \frac{N_s}{N_0} = \frac{N_s}{N_s + N_f} \quad (1.7)$$

dir.

Burada N_s azalırken, doğal olarak güvenilirlikte azalacaktır. Buradan ölçülen güvenilirliğin, çalışma zamanı t 'nin bir fonksiyonu olduğu görülür. Aynı yolla arıza olma olasılığı,

$$Q(t) = \frac{N_f}{N_o} = \frac{N_f}{N_s + N_f} \quad (1.8)$$

dir.

$$R(t) + Q(t) = 1 \quad (1.9)$$

Eleman sağlamlığı olasılığı ve arızalanma olasılığı birbirinin tümleyenidir.

$$N_s = N_o - N_f \quad \text{olup}$$

eşitlik (1.7) de yerine konursa,

$$R(t) = \frac{N_o - N_f}{N_o} = 1 - \frac{N_f}{N_o} \quad (1.10)$$

elde edilir. Her iki tarafında t 'ye göre türevi alınarak

$$\frac{dR}{dt} = \frac{d(1 - N_f/N_o)}{dt} = -\frac{1}{N_o} \frac{dN_f}{dt} \quad (1.11)$$

elde edilir. Bulunan eşitlikte dN_f/dt herhangi bir zaman da arızaların oluşma sıklığıdır. Test süresince eleman yenilenmesi yapılmamıştır. t zamana göre dN_f/dt çizildiğinde, tüm orijinal N_o adet elemanın arıza zamanı dağılımını elde ederiz. $(1/N_o)(dN_f/dt)$ yi bir eğri olarak çizdiğimizde ise, eleman başına zamana göre arızaların dağılımını elde ederiz. Böylece bu eğrinin dN_f/dt eğrisi ile aynı karakterde olduğu görülür. Yalnız tüm ordinat değerleri $(1/N_o)$ ile bölünür. Böylece arıza yoğunluk

fonksiyonu $f(t)$ birim sıklık eğrisi olarak adlandırılır. Yoğunluk fonksiyonu,

$$f(t) = \frac{1}{N_0} \frac{dN_f}{dt} = - \frac{dR}{dt} \quad (1.12)$$

olarak bulunur. Birim sıklık eğrisi altındaki toplam alan 1'e eşittir. Eşitlik (1.12),

$$Q(t) = \frac{N_f}{N_0} = \frac{N_f}{N_s + N_f}$$

ile

$$f(t) = \frac{1}{N_0} \frac{dN_f}{dt} = \frac{dQ}{dt} \quad (1.13)$$

olarak ifade edilebilir. Her iki tarafın integrali alınırsa arıza olasılığı,

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt$$

bulunur. t zaman süresince arıza olasılığı $t=0$ dan t 'ye kadar arıza yoğunluğu eğrisi altındaki alana eşittir. Bu alan daha uzun çalışma zamanı t için artar ve bundan dolayı arıza olasılığı t ile çoğalır. Tam tersine sağlamlık olasılığı yahut güvenilirlik daha uzun çalışma zamanı için azalmalıdır. Eşitlik (1.9) dan

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt$$

yazılabilir.

$$\int_0^\infty f(t) dt = 1$$

olduğundan,

$$R(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt - \int_0^t f(t) dt = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

Buradan genel güvenirlilik fonksiyonu,

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

olarak bulunur [1].

Eşitlik (1.11) tekrar düzenlenirse,

$$\frac{dN_f}{dt} = -N_0 \frac{d}{dt} R(t) \quad (1.14)$$

$$\frac{dN_f}{dt} = \frac{d(N_0 - N_s)}{dt} = -\frac{dN_s}{dt}$$

ifadeleri elde edilir.

dN_f/dt terimi t ve $t+dt$ zamanları arasındaki dt aralığında arızalanan eleman sayısı olarak'ta yorumlanabilir. (1.14) eşitliğinin her iki tarafınıda N_s ile bölersek bir eleman başına ani arızalanma olasılığı yahut arıza oranı elde edilir.

$$\lambda = \frac{1}{N_s} \frac{dN_f}{dt} = - \frac{N_0}{N_s} \frac{d}{dt} R(t) \quad (1.15)$$

$$\frac{N_0}{N_s} = \frac{1}{R(t)}$$

olarak bilinmektedir. Eşitlik (1.15) de yerine konursa genel arıza oranı formülü,

$$\lambda = - \frac{1}{R(t)} \frac{d}{dt} R(t) \quad (1.16)$$

olarak yazılabilir. Güvenilirlik fonksiyonunu arıza

oranı λ , cinsinden ifade etmek istersek eşitlik (1.16) tekrar düzenlenerek,

$$\lambda \, dt = \frac{-dR(t)}{R(t)}$$

bulunur. Burada λ , $R(t)$, $dR(t)/R(t)$ terimleri t çalışma zamanının bir fonksiyonudurlar.

$$\int_0^t \lambda \, dt = - \int_1^R \frac{dR}{R} = - \ln R$$

$$\ln R = - \int_0^t \lambda \, dt \quad \text{olur ve buna göre}$$

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda \, dt \right] \quad (1.17)$$

olarak bulunur [1].

1.3. Arıza Oranı'nın Sabit Olması Durumu

Daha öncede açıklandığı gibi üstel dağılımda arıza oranı λ sabittir. Paragraf 1.2'deki test'te λ 'nın sabit olması durumunda $\left(\frac{1}{N_s}\right)\left(\frac{dN_f}{dt}\right)$ çarpımının test süresi boyunca sabit olması gereklidir. $1/N_s$ ve $\frac{dN_f}{dt}$ ya aynı oranda azalmalıdır yada sabit tutulmalıdır. Bu gereklilik test boyunca arızalı eleman yerine sağlamının konulmasıyla gerçekleşir. Böylece N_s sayısı N_0 sayısına eşit olur. Eğer testin başlangıcından zamanla doğrusal olarak N_f arızalı eleman sayısı artacak olursa yalnız N_f/dt sabit kalır. Sabit arıza oranında, t zaman başına arızalanmış eleman sayısı N_f/t olacaktır.

O halde dN_f/dt yerine N_f/t , $1/N_s$ yerinede $1/N_0$ koyabiliriz. Bundan dolayı eşitlik (1.15),

$$\lambda = \frac{1}{N_s} \frac{dN_f}{dt} = \frac{1}{N_0} \frac{N_f}{t}$$

halini alır. Böylece yalnız N_f arıza sayısı ile t çalışma saatlerine gerek duyarız. O zaman sabit arıza oranı, toplam test zamanına bölünmüş arıza sayısıdır ve test'deki elemanların sayısı N_0 'da sabit tutulur. $N_0 \cdot t$ bu çarpım test boyunca yapılan toplam birim saatlerin sayısıdır. Birçok eleman olması halinde $N_0 \cdot t$ çarpımı test altındaki tüm elemanların çalışma zamanlarının toplamıdır. Eşitlik (1.17)'de λ değeri sabit alınırsa,

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda \, dt \right]$$

Buradan üstel dağılımda güvenilirlik fonksiyonu bulunur.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1.18)$$

Eşitlik (1.12)'den üstel dağılımda yoğunluk fonksiyonu

$$f(t) = - \frac{dR}{dt} = - \frac{d}{dt} e^{-\lambda t}$$

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1.19)$$

olarak bulunur. Üstel dağılım için güvenilirlik ve arıza yoğunluğu fonksiyonlarının eğrileri sırasıyla şekil 1.2 ve 1.3'de görülmektedir [1].

1.3.1.Üstel Dağılımda Arıza Zamanı İfadesi

Eğer $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olasılık yoğunluk fonksiyonları $f(x_1), f(x_2), f(x_3), \dots, f(x_n)$ olan sürekli bir rastlantı değişkenleriyse umu değeri,

$$E(x) = \sum_{i=1}^n x_i f(x_i) \quad (1.20)$$

olarak tanımlanır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(x_i)$ 'in $(0, \infty)$ aralığında sürekli olması durumunda matematiksel umu,

$$E(x) = \int_0^{\infty} x f(x) dx$$

dir. Bu tanımdan hareketle üstel dağılan arıza yoğunluk fonksiyonu durumunda,

$$E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt \quad (1.21)$$

ifadesi yazılabilir.

$$E(t) = - \int_0^{\infty} t dR(t)$$

kısmi integral alınarak,

$$E(t) = [-tR(t)]_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt$$

$$E(t) = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

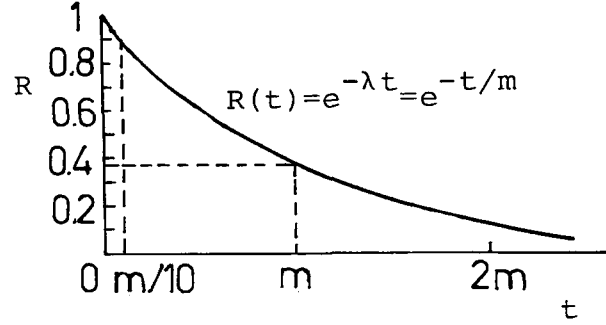
bulunur. Bu umu değeri güvenilirlikte m ortalama arıza oluşma süresi,

$$m = E(t) = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (1.22)$$

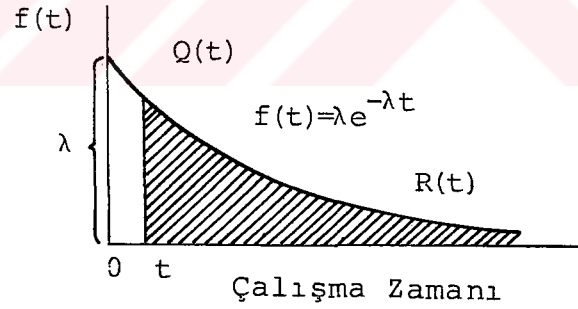
$$m = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt$$

$$m = \frac{1}{\lambda}$$

olarak bulunur. Ortalama arıza oluşma süresi, arıza oranının tersi olarak bulunur.



Şekil 1.2 Üstel Dağılımda Güvenilirlik Fonksiyonu[1] .



Şekil 1.3 Üstel Dağılımda Arıza Yoğunluk Fonksiyonu[1] .

1.3.2.Sistem Güvenilirliği

Sistem güvenilirliği hesaplamalarında aşağıdaki temel olasılık bağıntıları kullanılır;

1- Eğer A ve B, $P(A)$, $P(B)$ olasılıklarına sahip iki bağımsız olay ise, her iki olayın oluşma olasılığı,

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$$

olacaktır.

2- İki olay aynı anda oluşuyorsa, ya A yada B, yahut A ve B'nin olasılıkları,

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B)$$

dır.

3- İki olay karşılıklı özel olay ise biri olduğunda diğeri oluşmuyorsa o zaman,

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

olur.

4- İki olay birbirinin tümleyeni ise yani A olayı oluşmadığında B olayı oluşuyor ise,

$$P(A) + P(B) = 1$$

olacaktır.

Güvenilirlik hesaplamalarında sistemin arızalanma olasılığı ile sağlam kalma olasılığı, $P(A) + P(B) = 1$ ifadesine uygun olarak birbirinin tümleyenidir. Sistem elemanlarının arızalı ve sağlam olma olasılığı için dört durum vardır. Bunları iki elemanlı bir sistem için verelim,

a) Bir elemanın güvenilirliği R_1 , diğeri R_2 ise her iki elemanın sağlam kalma olasılığı

$$R_s(t) = R_1(t) R_2(t) \quad (1.23)$$

b) Elemanların ya biri yada her ikisinin arızalanması olasılığı,

$$\begin{aligned} Q_s(t) &= Q_1(t) + Q_2(t) - Q_1(t)Q_2(t) \\ &= 1 - R_1(t)R_2(t) = 1 - R_s(t) \end{aligned} \quad (1.24)$$

c) Elemanların ya biri yada her ikisinin sağlam kalma olasılığı,

$$R_p(t) = R_1(t) R_2(t) - R_1(t) R_2(t) \quad (1.25)$$

d) Elemanlarının her ikisinde arızalanması olasılığı,

$$Q_p(t) = Q_1(t) Q_2(t)$$

$$Q_p(t) = 1 - R_p(t) \quad (1.26)$$

1.3.2.1. Seri Sistem Güvenilirliği

Sistem elemanlarının arızalı ve sağlam olma olasılığı için verilen dört durumda, a ve b durumları birbirinin tümleyenidir. Öyleki,

$$R_s(t) + Q_s(t) = 1$$

dir. Bu durumdaki olaylar üç olasılık içerir. Ya elemanın biri arızalanır, ya diğeri yada her ikisi arızalanır. Buradan seri sistemlerde herbir elemanın arızasında sistem arızası olacağı görülür. Eleman sayısı n olan seri bir sistem için güvenilirlik,

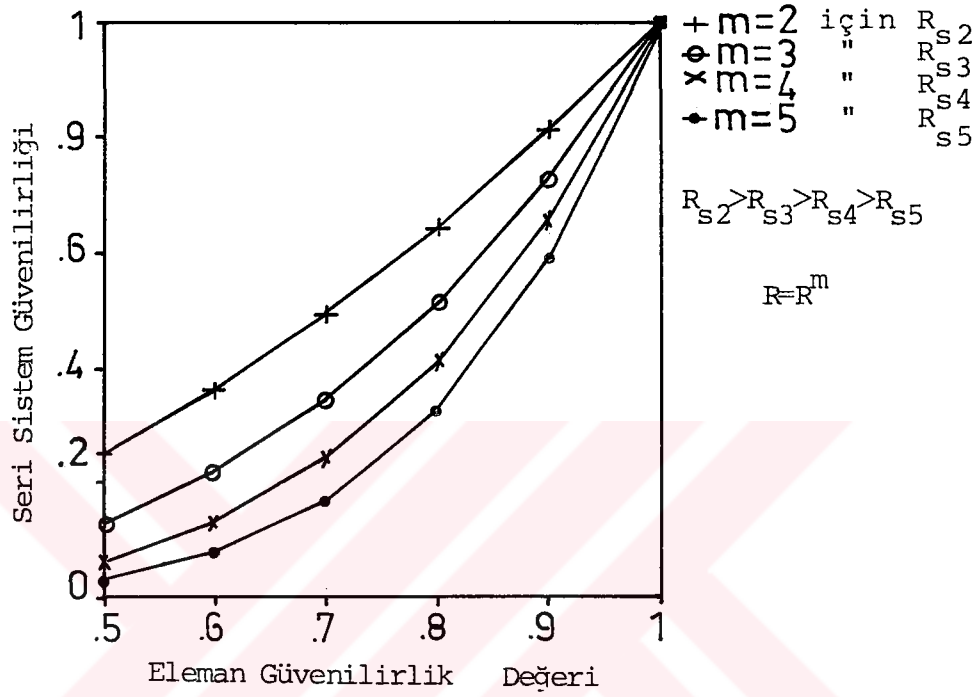
$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i \quad (1.27)$$

$$R_s = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t}$$

$$R_s = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t} \quad \text{ise}$$

$$R_s = \exp \left[- \sum_{i=1}^n \lambda_i t \right] \quad (1.28)$$

olarak ifade edilir. Seri sistemdeki eleman sayısına göre değişen sistem güvenilirliği için şekil 1.4'de eğriler görülmüyor. Buradan eleman sayısı arttıkça güvenilirliğin azaldığı açıkça görülmektedir.



Şekil 1.4 Seri Sistem İçin Güvenilirlik Eğrisi.

Eşitlik (1.22)'den,

$$m_s = \int_0^{\infty} R_s(t) dt$$

$$R_s = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t} \quad \text{ise}$$

$$m_s = \int_0^{\infty} e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t} dt$$

$$m_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (1.29)$$

olarak seri sistem için arızalar arası zaman elde

edilir[2].

1.3.2.2.Paralel Sistem Güvenilirliği

Eşitlik (1.25) ve (1.26) birbirinin tümleyenidir. Eşitlik (1.25)'e göre iki elemanlı bir sistemde, elemanlardan biri çalışma durumunda ise sistem çalışır durumdadır. Eşitlik (1.26)'ya göre her iki eleman arızalandığında sistem arızalanır. Güvenilirlik açısından bu iki durum paralel sistemin davranışını açıklar, n paralel elemanlı bir sistem için güvenilirlik,

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

arıza oranı, λ 'nın sabit olması hali için

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (1.30)$$

olarak bulunur. Eşitlik (1.22) ve (1.30) dan, paralel sistem için arızalar arası zaman,

$$m_p = \int_0^{\infty} [1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t})] dt$$

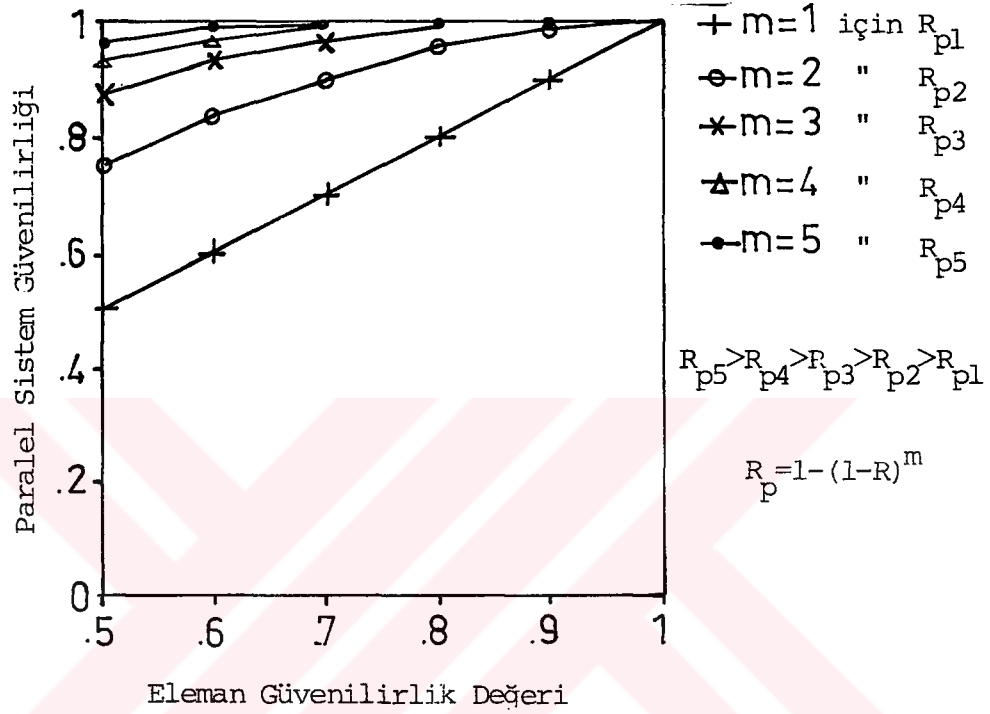
$$m_p = \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \right) - \left(\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} + \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_3} + \dots \right) + \left(\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} + \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4} + \dots \right) + (-1)^{n+1} \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \dots = \lambda_n$ olması halinde

$$m_p = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \quad (1.31)$$

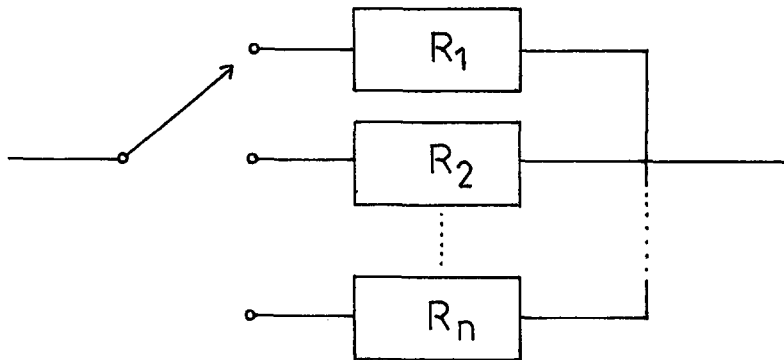
olarak bulunur. Paralel elemanlı sistemde, değişik

eleman sayılarına karşın hesaplanan güvenilirlik değerleri için şekil 1.5 de eğriler çizilmiştir. Bu eğriden eleman sayısı artarken güvenilirliğin de arttığı görülmektedir[2].



Şekil 1.5 Paralel Sistem İçin Güvenilirlik Eğrisi.

Yedek paralel sistem, bir paralel eleman çalışırken diğer n birim yedekte bekler. Böyle bir düzenleme şekil 1.6 da görülmüyor.



Şekil 1.6 Yedek Paralel Sistem.

$n+1$ birimli bir sistemin güvenilirliği, bir birim çalıştığı ve çalışan birimin arızalanmasına kadar yedek görevde olan n birimli sistemin güvenilirliği,

$$R_{yp}(t) = \sum_{i=0}^n \frac{(\lambda t)^i e^{-\lambda t}}{i!} \quad (1.32)$$

olur. Bu eşitlik aşağıdaki beş koşulün gerçekleşmesi durumunda geçerlidir.

- 1) Anahtarlama düzeni mükemmeldir.
- 2) Elemanlar benzerdir.
- 3) Elemanların arıza oranları sabittir.
- 4) Yedek elemanlar yenisi kadar iyidir.
- 5) Eleman arızaları istatistiksel olarak bağımsızdır.

$n+1$ elemanlı durumda, benzer olmayan elemanların arıza yoğunluğu farklıdır. Yedek paralel sistemin arıza yoğunluğu,

$$f_{yp}(t) = \int_{y_n=0}^t \int_{y_{n-1}=0}^{y_n} \int_{y_1=0}^{y_2} f_1(y_1) f_2(y_2 - y_1) \dots \quad (1.33)$$

$$f_{n+1}(t - y_n) dy_1 dy_2 \dots dy_n$$

ifadesi ile verilir. Böylece (t, ∞) zaman aralığı içinde,

$$R_{yp}(t) = \int_t^{\infty} f_{yp}(t) dt \quad (1.34)$$

eşitliği ile sistem güvenilirliği bulunur[2]. Arıza zamanı,

$$m_{yp} = \int_0^{\infty} R_{yp}(t) dt$$

$$m_{yp} = \int_0^{\infty} \sum_{i=0}^n \frac{(\lambda t)^i e^{-\lambda t}}{i!} dt \quad (1.35)$$

olur.

Örneğin üç elemanlı sistemde,

$$m_{yp} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} (1 + \lambda + \frac{\lambda^2 t^2}{2!}) dt$$

$$m_{yp} = \frac{3}{\lambda}$$

olarak bulunur.

1.4. Tamir, Bakım ve Eleman Değiştirmenin Güvenilirliğe Etkileri

Herbir eleman için onun fiziksel karakteristiğine sistemde ki yerine göre gerek duyulan bir bakım zamanı vardır. Benzer elemanlar için bile sistemde ki yerine göre bakım zamanı değişir. Tüm bakım zamanları yaklaşık olarak normal dağılım gösterir. Açıkcası, normal olasılık eğrisinden, bakım işlemi M ortalama yorulma zamanının % 50 sine eşit bir zamanda tamamlanır. Bir sistemin arızaları arasındaki ortalama zaman m olduğunda eğer sistem iki bakım arasında yorulma arızalarından etkilenmezse, iki bakım arasındaki T_0 çalışma saati için güvenilirlik,

$$R(T_0) = e^{-T_0/m} \quad (1.36)$$

olur. Daha açıkcası elemanın, T_0 saat arıza olmaksızın çalışma olasılığıdır. Örneğin 800 saat lik bir çalışma zamanı ve 4000 saat lik bir arıza zamanına sahip bir elemanın arıza olmaksızın çalışabilme olasılığı, (1.36). ifadesinden 0,81873 olarak bulunur. Bu bize elemanın iki bakım arasındaki arıza olmaksızın çalışma için %82 lik bir umu olduğunu gösterir. T_0 zamanından önce %18 lik bir arıza olasılığı vardır. Bundan dolayı bu elemanlar için ortalama umulan bakım zamanı 800 saat'ten küçüktür. Ortalama bakım zamanı,

$$T_{ort} = \int_0^{\infty} T_0 R dt \quad (1.37)$$

ifadesi ile bulunur. Üstel durumda,

$$T_{ort} = \int_0^{T_0} e^{-t/m} dt = m(1 - e^{-T_0/m}) = mQ(T_0) \quad (1.38)$$

olacaktır. Arıza olasılığı 0,18 ve arıza zamanı 4000 saat ise, ortalama bakım zamanı 720 saat olur. Eğer çalışma süresi 1000 saat olursa çalışır olma olasılığı 0,78 ve ortalama bakım zamanı 880 saat olacaktır. Buradan elemanın arızalanma yüzdesi %18 den %22 ye çıkarken, bakım sayısı azalır. Bakım periyodlarının uzaması elemanın yorulma arızasına uğramıyacağından emin olduğumuz sürece eleman güvenilirliğini etkilemez. Diğer bir yönden bakımın ana fonksiyonu yorulmayı önlemektir.

Rastgele ve yorulma arızalarının T_0 zamanı içinde olmaması olasılığı,

$$R(T_0) = R_r(T_0) R_y(T_0) \quad (1.39)$$

dır. Eleman değiştirme, yorulma arızalarının oluşumunu minimum yapmak içindir. Her iki tip arızada oluşuyorsa her ikisinin kombinasyonu düşünülmelidir. Eğer düzenli eleman değiştirme zamanı T_0 ise, yorulma pratik olarak elenir o zaman yalnız rastgele arızalar düşünülür. Arıza zamanı 10^6 saat ve ortalama yorulma ömrü 10^5 saat ise, bu eleman bir yıl sürekli çalıştıktan sonra yorulmadan dola- yı yüksek bir arızalanma olasılığına maruz kalacaktır. Bununla beraber bir yılda rastgele arızalar nedeni ile arızalanma olasılığı çok küçük olacaktır. Yaklaşık 0,00876 dır. Böylece yalnız rastgele arızaların olduğu 8760 saat içinde güvenilirlik 0,99124 olup 10^5 saat için 0,99 olacaktır. Onarım yapılabilen sistemler için arızalar arası ortalama zaman,

$$m_T = \frac{T_{ort}}{Q(T)} = \frac{\int_0^T R(t) dt}{Q(T)} \quad (1.40)$$

olur. Buradan arıza olasılığı, $Q(T) = \frac{\int_0^T R(t) dt}{m_T}$

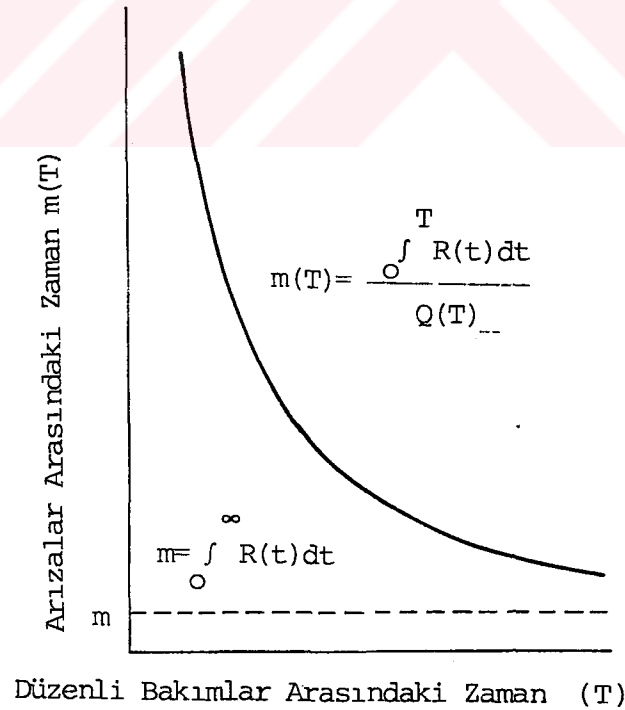
olacaktır. Seri sistemlerde üstel dağılım için, ortalama arıza oluşma süresi,

$$m_T = m = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad \text{olup}$$

ortalama arıza oranı,

$$\lambda_{\text{ort}} = \frac{1}{m_T} = \frac{Q(T)}{\int_0^T R(t) dt} \quad (1.41)$$

olacaktır. Şekil 1.7 de T eleman bakım zamanının bir fonksiyonu olarak düzenli bir şekilde bakıma alınmış sistemin arızaları arasındaki ortalama zaman değişimi görülmüyor.



Şekil 1.7 Düzenli Olarak Bakıma Alınmış ve Korunmuş Sistemin Arızaları Arasındaki Ortalama Zaman.

Sistem sık sık bakıma alınırsa T de çok kısalabilir. Bu durumda m_T ise oldukça uzun olacaktır. $T = \infty$ a gittiğinden yani hiç bakım yapılmadığında m_T oldukça kısalır. Şekil 1.8 de T, T_1, T_2 bakım zamanlarının fonksiyonu olarak arıza oranının değişimi gösterilmiştir. Eğer sistem bakıma alınmazsa $\lambda(t), \lambda$, limit değerine ulaşır. Fakat sistem düzenli olarak T saatlerinde bakıma alınırsa onun ani arıza oranı λ her T_1 saatinde sıfıra düşer. Bu olay zigzag bir eğri ile gösterilir. Bu eğriyi sabit bir ortalama arıza oranı ile ifade edersek,

$$\lambda_{\text{ort}}(T_1) = \frac{Q(T_1)}{\int_0^{T_1} R(t)dt}$$

eşitliği elde edilir. Eğer sistem yalnız T_2 zamanlarında bakıma alınırsa, bunun için sabit bir ortalama arıza oranı ifadesi,

$$\lambda_{\text{ort}}(T_2) = \frac{Q(T_2)}{\int_0^{T_2} R(t)dt}$$

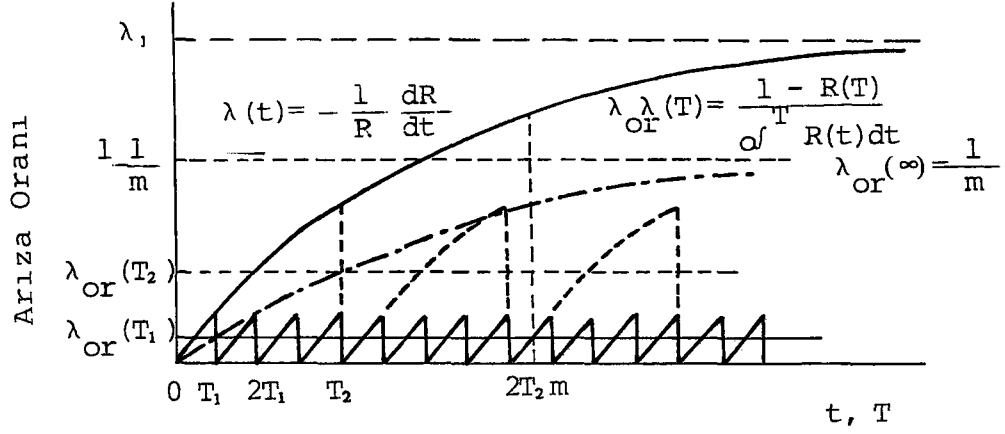
elde edilir. Şekil 1.8'den de görüldüğü gibi bakım zamanı kısaltıldıkça arıza oranı görülür bir oranda düşmektedir. Şekil 1.9'da ise birçok seri elemandan oluşan sistemin toplam arıza oranı ve T zamanlarında yapılan bakımlar sonucu λ_{ort} arıza oranı görülüyor. Buradan sistemin arıza oranı λ_s elde edilir[1].

$$\lambda_s = \lambda_o + \lambda_{\text{ort}}(T) \quad (1.42)$$

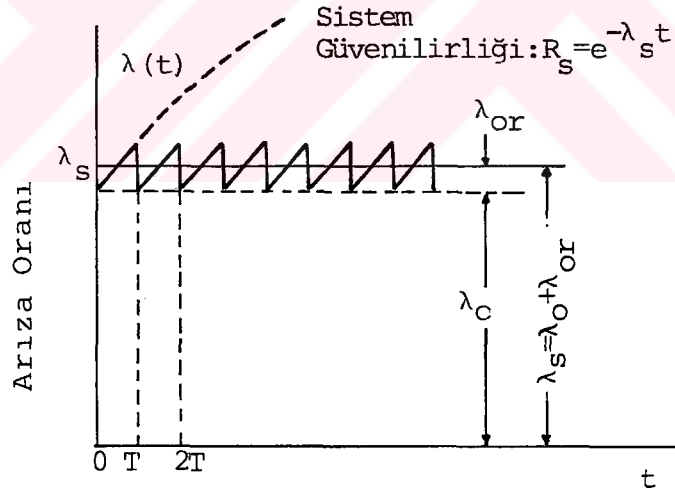
üstel dağılımda sistem güvenilirliği,

$$R_s = \exp(-\lambda_s t)$$

olarak bulunur.



Şekil 1.8 Sistemin Önleyici Bakımlı ve Bakımsız Hali İçin Arıza Oranının Değişimi[1].



Şekil 1.9 Seri-Paralel Bir Sistemin Ortalama Arıza Oranı[1]. (T Zamanlarında Düzenli Olarak Bakım Yapılır.)

1.5. Güvenilirlik Parametrelerinin Ölçümü

Temel olarak güvenilirlik ölçümleri zaman domeninde saptanmış olayların olasılığıdır. Bir olayın olasılığını bulmak için olayların oluşum verileri istatistiksel olarak toplanmalıdır. Elemanların zaman domeninde arızasız olarak çalışmasına ait istatistiksel verileri listelemek için, elemanların çalışma peryodunda onlara ait arızasız çalışma zamanları ölçülür. Eğer gözlem süresince arıza oluşursa bu arızalar kaydedilir. Arıza zamanı, t_i , t_0 başlangıç anında arıza oluşuncaya kadar arızasız çalışma zamanıdır. Bu parametre güvenilirlik ölçümlerinde önemlidir. Arıza zamanları hakkında uygun veriler sağlandığında ortalama arıza zamanı veya arızalar arasındaki ortalama zaman m olarak saptanır. Arızalar arasındaki ortalama zaman onarım yapılabilir sistem yahut elemanlarda kullanılır. Burada t_i zamanı, elemanın iki arızası arasında ölçülmüş çalışma zamanıdır. n adet arızadan sonra n adet t_i zamanı elde edilir. Elemanın arızaları arasındaki m ortalama zamanı, t_i zamanlarının n arıza sayısına bölümüne eşittir. Açıkça görüldüğü gibi onarım yapılabilir elemanlar durumunda, ayrı ayrı olarak iki arıza arasındaki her bir zamanı ölçmeye gerek yoktur. Çünkü t_i zamanlarının toplamı n arızanın oluşması süresince elemanın toplam çalışma zamanı T 'dir. Böylece basit olarak elemanların toplam çalışma zamanı T , t_0 'dan n . arızanın oluşmasına kadar geçen zamandır ve arızalar arasındaki zaman ise,

$$m = \frac{T}{n} \quad (1.43)$$

olarak elde edilir. Rastgele ve yorulma arızaları farklı bir dağılım gösterirler. Rastgele arızalar sabit arıza oranı ve sabit bakım oranları ile üstel olarak dağılırken yorulma arızaları yorulma peryodunda arıza oranının adım adım artması ile normal olarak bir dağılım gösterir. Rastgele arızaların zamanı üstel dağılırken, yorulma arıza zamanları normal dağılımda olacaktır. Çünkü bu arızaların oluş nedenleri farklıdır. Yorulma arızaları

arasındaki ortalama zaman, M olarak adlandırılır. σ , yorulma arızalarının standart sapmasıdır. M , m , σ , bu üç parametre saat olarak bulunur. Güvenilirlik ölçmelerinde rastgele arızaların olasılığı ve yorulma arızalarının olasılığı arasındaki farklılık bilinmelidir. İlk olasılık, faydalı ömür periyodunda elemanın nasıl güvenilir olacağını ve ikinci olasılık, elemanın tehlikeye atılmaksızın emin olarak nasıl yaşıyacağını gösterir. Rastgele arızalar ve yorulma arızaları için istatistiksel hesaplamalar ve ölçme yöntemleri farklıdır. Rastgele arızalarda bir tek parametre olan arızalar arasındaki zaman ile ilgilenilir. Bu parametre bilindiğinde

$$R = \exp(-t/m)$$

formülü ile t görev süresi için güvenilirlik değeri hesaplanır. m değerinin tahmini değeri,

$$\hat{m} = \frac{\sum t_i}{n} \quad (1.44)$$

dir. Gözlem başlangıcında eleman sayısı n ve $t_1, t_2, \dots, t_k$ zamanlarında k eleman arızalanmış, t_k zamanında k . eleman arızası oluşmuş olarak gözlem bitirilmiş ise, arızalar arasındaki ortalama zaman için ifade,

$$\hat{m} = \frac{\sum_{i=1}^k t_i + (n-k)t_k}{K} \quad (1.45)$$

olarak yazılabilir. Gözlem süresince arızalanan eleman yerine yeni bir tanesi derhal koyuluyor ise, bu durumda n eleman sayısı gözlem süresince sabit kalır. Gözlemin başlangıcından bitimine kadar t süresi geçip, k . arıza da bu süre içinde oluşmuş ise, n elemanın toplanmış çalışma zamanı $T = nt'$ 'dir. Buradan arızalar arası ortalama za-

olarak bulunur. Ortalama tahmini onarım zamanı, aynı eleman tipinden servis dışı kalan k elemanın toplam arıza zamanını ölçerek bunun k ile bölünmesinden aşağıdaki gibi bulunur.

$$\hat{r} = \frac{\sum_{i=1}^k t_i}{k} \quad (1.47)$$

Yorulma ölçmelerinde, kullanılan örneklemeler, rastgele arıza oranı ölçmelerine kıyasla daha azdır. Fakat gözlem zamanı oldukça uzundur. Yorulma arızalarına ait ortalama yorulma ömrü,

$$\hat{M} = \frac{\sum_{i=1}^{K_w} t_{iw}}{K_w} \quad (1.48)$$

ve standart sapma,

$$\sigma = \left[\frac{\sum_{i=1}^{K_w} (t_{iw} - M)^2}{K_w} \right]^{1/2} \quad (1.49)$$

olarak ifade edilir. Burada t_{iw} , i. elemanında yorulma arıza zamanını içeren çalışma ömrü ve K_w , yorulma nedeniyle arızalanmış eleman sayısıdır. $(n-K_w)$ 'den rastgele arızaların sayısı bulunur[1].

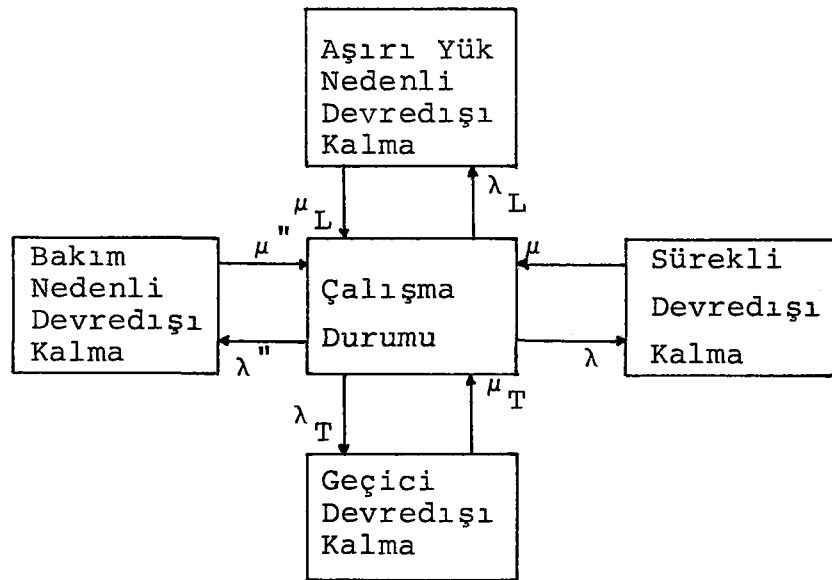
BÖLÜM 2. ARIZA BİÇİMLERİ VE ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİ GÜVENİLİRLİK PROBLEMİNİN GEREK DUYDUĞU VERİLER

2.1. Giriş

Bir enerji iletim sistemi, elektrik enerjisi santalleri arasında ki, elektrik enerji tesisinin bir kısmıdır. Enerji iletim sisteminde bir tek gerilim düzeyi olası değildir. Çünkü sistem değişik hizmetler verir. Geçen yirmi yılda sistemin bu kısmının güvenilirlik hesabına gereken önemin verildiği bilinmektedir. Bu çalışmalara ilk 1964'de Billington, yayınları ile başlamıştır [4,5]. Mevcut sağlanabilirlik tekniklerinden hesaplanan güvenilirlik indisleri, sistem çalışırılığı ve arızasını saptayan yöntemlere çok bağımlıdır. Bundan dolayı farklı eleman arıza biçimlerine ve yük barasında, bu arızaların etkisine gerek duyar. Bu teknikler, mükemmel bir mühendislik öngörümü ve sistem çalışmasının değerlendirilmesini içerir. Herbir kuantitatif güvenilirlik probleminin ana kısmı, sistemin çalışmasını karşılaştırabilir uygun kriteri saptamaktır. Enerji iletim sistemi alanında devredışı kalma sıklığı, ortalama devredışı kalma süresi uygun indisler olarak kabul edilir. Bu indislerin hesabı için uygun eleman ve sistem verilerinin toplanması gereklidir. Güvenilirlik hesaplarında, saptanan sonuçların geçerliği, kullanılan verilerin gerçekliğine bağlıdır. Gerekli verilerin özelliği, sistem davranışını açıklamak için seçilen güvenilirlik indisleriyle ilişkilidir. İletim sistemi elemanları için veri miktarı sınırlıdır. Bu konu da IEEE'nin ilk ayrıntılı yayını 1968'de yayınlanmıştır[6].

2.2. Bir Elemanın Arıza Biçimleri

Eleman arıza biçimleri şekil 2.1'de görüldüğü gibidir. Bir elemanın sürekli devredışı kalması elemanın onarımı süresince servis dışına alınmasını gerektirir. Asıl devredışı kalma süresi, yedek elemanın yerleştirilmesi için gerekli zaman olabilir. İletim sistemlerindeki bazı devredışı kalmalar geçici bir özelliğe sahiptir. Eğer eleman arızası, bir devre kesicinin tekrar kapanması yahut otomatik bir anahtarlama işlemi ile yok edilebiliyorsa bu devredışı kalma geçici devredışı kalmadır. Bu biçimdeki eleman devredışı kalmalar genel olarak bir kaç dakika sürelidir. Elemanlar bakım ve kontrol içinde servis dışına alınabilirler. Bu işlem koruyucu bakımdan ziyade önleyici bakım olarak seçilmiştir. Belirli devredışı kalma ve sistem koşulları altında, elemanlar onların kapasitelerini aşan yükler taşıyabilirler. Bu elemanın aşırı yük devredışı kalması ile sonuçlanabilir. Çalışan bir sistemde, sistem yapısına ve aşırı yük miktarına bağlı olarak, elemanların aşırı yükü taşımasına izin verilebilir. Yahut kalıcı zarar ve hayatı kaybı önlemek için elemanlar servisten kaldırılır.

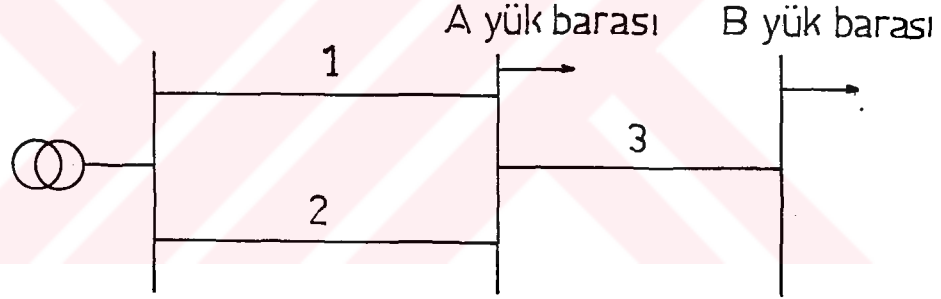


Şekil 2.1 Bir Eleman İçin Arıza Biçimleri[7] .

Bazı durumlar'da sistem yükü, elemanlarda ki aşırı yükü hafifletmek için azaltılabilir. Eleman aşırı yüklenmesi gerçek bir devre dışı kalmayla sonuçlanabilir ve tersi'de olabilir. Bu yüzden diğer devre dışı kalmalardan farklıdır[7]. Çeşitli devre dışı kalma deyimleri EK'de verilmiştir.

2.3. Bir Yük Barasının Arıza Durumları

Elemanların devre dışı kalması, sistem konfigirasyonuna bağlı olarak, yük barasında enerji kesilmesine neden olabilir veya olmayabilirler. Yük barası arızasına yol açan değişik başlıca durumlar şekil 2.2'deki sistem için aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.2 Yük Barası Arıza Durumu İçin Örnek Sistem.

1) 1. elemanın sürekli devre dışı kalmasının 2. elemanın sürekli devre dışı kalması ile çakışması, A ve B yük barasında enerji kesilmesine neden olur.

2) 3. elemanın sürekli yahut geçici devre dışı kalması B yük barasında enerji kesilmesine yol açar.

3) 1. elemanın bakım için devre dışı kalması, 2. elemanın sürekli yahut geçici devre dışı kalmasıyla çakışması durumunda yahut ikinci elemanın bakım için devre dışı

kalması 1. elemanın sürekli veya geçici devredışı kalmasıyla çakışması A ve B yük baralarında bir enerji kesilmesine yol açar.

4) 1. elemanın sürekli devredışı kalmasının 2. elemanın geçici devredışı kalmasıyla çakışması yahut bunun tersi A ve B yük barasında bir enerji kesilmesine yol açar.

5) 1. elemanın sürekli devredışı kalmasında ve bunun onarım süresi esnasında, A ve B yük baralarındaki yük, 2. elemanın aşırı yüklenmesine neden olacak bir değere yükselir. Bu durumda, 2. eleman servis dışına alınabilir veya yük baralarının birinde yük azaltımına gidilebilir [7].

İlk durumda her iki yük barası'nda tüm enerji kesilmesine uğramış olacaktır. Son durumda ise toplam sistem yükünün bir kısmı kalkmış olacaktır. Geçici devredışı kalmaların çakışmasını içeren bir olayın oluşma olasılığı çok küçük'tür. Geçici devredışı kalmalarla ilgili çok küçük süreler esnasında bir elemanın aşırı yüklenmesi olasılığı ihmal edilebilir. Yukarıda açıklanan yük barası arıza durumlarına ilaveten, sistem çalışması ile ilgili birkaç durum daha vardır. Bunlar yük barasında, istenilen azami gerilim düzeyi sınırlarını, geçici kararlılık sınırlarını, frekans sınırlarını zorlama durumlarıdır. İletim sistemlerinde gerilim düzeyi kriteri önemli olmasına karşın bu çalışmada gözönüne alınmamıştır.

2.4. Enerji İletim Sistemi Çalışmasında Hava Koşullarının Etkisi

Enerji iletim sistemi yüksek gerilim hava hatları ve yeraltı kablo tesisleri olarak ikiye ayrılır. Hava hattı tesisleri değişken bir ortamda çalışmak zorundadır. Ağır hava koşulları altında elemanlar, sık sık

arızalanabilirler. Bir çok eleman arızası kısa ağır hava koşulları süresince oluşabilir. Bu zaman süresince oluşan eleman arızaları olayı ağır hava koşulları ile ilgili arızaların bir demeti olarak adlandırılır. Ele aldığımız enerji iletim sistemi elemanları aynı yerel sınırlar içinde kaldıkça ağır hava koşulları ile fazlaca etkilenirler. Hava koşullarını dikkate almadan yapılan güvenilirlik öngörömleri tamamen iyimserdir ve sonuçların hatalı olduğu varsayılabilir.

2.5. Güvenilirlik İndisleri

Enerji iletim sistemi güvenilirliği için bir tek ölçüm sistemin yeteneğini tam olarak belirleyemez. Sistem güvenilirliği hesabı için bir çok yayında, indislerin sayısı belirtilmektedir [4, 5, 8, 9]. Bunlara göre indisler;

- a) Yıl ve tüketici başına servis kesilmeleri ortalama sayısı
- b) Kesilme sayısı başına ortalama yenileme zamanı
- c) Yıl ve tüketici başına ortalama toplam kesilme zamanı
- d) Herhangi bir tüketicinin maruz kaldığı kesilmelerin umulan maksimum sayısı
- e) Herhangi bir tüketicinin maruz kaldığı umulan maksimum yenileme zamanı
- f) Özel bir süreden daha uzun herhangi bir zamanda, herhangi bir tüketicinin servis dışı kalma olasılığı olarak özetlenebilir.

ilk üç ölçüm, tüketici ile ilgili yeterli derecede ortalama servis güvenilirliğini verir.

2.6. Güvenilirlik İndislerinin Seçimi

Tüketiciler açısından yeterli beslenme, devredışı kalmaların sıklık ve süresiyle oldukça etkilendir. Tüketicinin şikayet dökümanlarından, sıklık ve sürenin kabul edilebilir sınırlarını'da saptamak olasıdır. Yük baraları için bulunan indislerden, bu yük barası ile ilişkili tüketicilerin belirlenmesi ile kolayca, tüketici indislerine geçilebilir. Bu çalışmada hesaplanmış güvenilirlik ölçümleri aşağıdaki gibidir.

- a) Yıl ve yük barası başına servis kesilmelerinin ortalama sayısı
- b) Herbir yük barasındaki ortalama onarım zamanı
- c) yıl ve yük barası başına ortalama toplam kesilme zamanı

yukarıdaki yük barası ölçümlerinden elde edilebilen tüketiciye yönelik indisler;

Yıl ve tüketici başına servis kesilmelerinin ortalama sayısı,

$$= \frac{\text{Yıl başına tüketici kesilmelerinin sayısı}}{\text{Yük barası ile beslenen tüketici sayısı}}$$

Kesilme başına saat olarak ortalama onarım süresi,

$$= \frac{\text{Yıl süresince tüketici kesilmelerinin saat olarak süresi}}{\text{Yıl süresince tüketici kesilmelerinin sayısı}}$$

Yıl ve tüketici başına ortalama toplam kesilme süresi,

$$= \frac{\text{Yıl başına tüketici kesilmelerinin saat olarak süresi}}{\text{Yük barasıyla beslenen tüketici sayısı}}$$

Servis kesilmelerinin sayısı, onarım zamanı ile doğrudan doğruya ilişkilidir.

2.7. Enerji İletim Sistemi Güvenilirlik Çalışması İçin Gerekli Eleman Parametreleri

Yük barası arızalarının sıklık ve süre indislerinin hesabında geçerli eleman parametreleri aşağıda verilmiştir.

Gerekli eleman arıza oranları;

a) Normal hava koşullarında sürekli arıza oranı,

$$\lambda = \frac{C}{Y}$$

ile ifade edilir.

Burada C, gözlem süresince normal hava koşullarında'ki eleman arızaları sayısıdır. Y, gözlem süresince elemanın maruz kaldığı normal hava sürelerinin saat olarak toplamıdır.

b) Ağır hava koşullarında sürekli devre dışı kalma oranı,

$$\lambda' = \frac{C'}{Y'}$$

dir. Burada C', gözlem süresince ağır hava koşullarında'ki eleman arızalarının sayısıdır ve Y', ise maruz kalınan ağır hava koşulu sürelerinin saat olarak toplamıdır.

c) Geçici devre dışı kalma oranı,

Eğer normal ve ağır hava koşullarında'ki geçici devre dışı kalmalar arasında ayrılık yapılmaz ise, gözlem süresince oluşan eleman geçici arıza sayısının aynı sürede elemanın maruz kaldığı birim takvim yıllarının sayısına bölümü ile bulunur.

d) Bakım devre dışı kalma oranı,

$$\lambda'' = \frac{C''}{Y''}$$

olacaktır. Burada C'' , gözlem süresince, elemanın bakım devre dışı kalmaları sayısı ve Y'', eleman için gözlemin

saat olarak süresidir. Eleman onarım zamanları farklı devredışı kalma koşulları altında saptanır.

Onarım zamanı,

$$r = \frac{\text{Gözlem süresince herhangi bir arıza tipi için elemanın saat olarak toplam devredışı kalma süresi}}{\text{Gözlem süresince herhangi bir tip devredışı kalmanın toplam sayısı}}$$

olarak hesaplanır.



BÖLÜM 3. ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE GÜVENİLİRLİK ANALİZİNDE KULLANILAN TEKNİKLER

3.1. Giriş

İlk yayınlarda enerji iletim sistemlerinin kuantitatif güvenilirlik analizinde, sürekli devre dışı kalmaların önem açısından ilk sırada olduğu görülmektedir[4,5,10]. Tüm uygulamalarda elemanların zorlanmış devre dışı kalmalarının rastgele ve bağımsız olduğu kabul edilmiştir. Güvenilirlik, basit olasılık teknikleri uygulanarak ortalama yıllık tüketici kesilmeleri oranı şeklinde bulunabilir Todd[4,11]. Bu yöntem esas olarak, seri ve paralel sistem elemanlarının kombinasyonlarında güç akışı için etkili olan eşzamanlı koşulları inceler. Aynı zamanda bir gün de oluşan devre dışı kalmaların eşzamanlı olduğunu kabul ettiğinden, karamsar sonuçlar verir. Diğer bir yöntem istatistiksel olarak bağımsız kabullere dayandığından farklı yük baralarındaki devre dışı kalma oranları uygun olmayan değerler verir. Bazı yayınlarda analitik çalışmalar yapılmıştır [5,12,13,14,15]. Bu çalışmalar ağır hava koşulları süresince oluşan bağımlı arızaları içeren modelleri kapsar. Gelecek bölümlerde görüleceği gibi, elemanların zorlanmış devre dışı kalmaları, yük barası arızalarının diğer arıza biçimlerinden ayrılmaz bir parçasıdır. Bu, güvenilirlik probleminin hesaplanmasında gerçek modelin oluşumu için çok önemlidir.

3.2. Sürekli Devre dışı Kalmanın Hesaplanması

Enerji iletim sistemlerinin güvenilirlik hesabı için var olan kaynaklarda sıklık ve süre indisleri şeklinde iki temel teknik vardır.

- 1) Yaklaşıklık tekniği[5,16]
- 2) Markov tekniği[13,16]

Dağılım varsayımları geçerli ise, güç sistemlerinin güvenilirlik hesaplanması için Markov işlemi formun da sistem modellemesi gerçekçi bir gösterimdir. Büyük sistemler için Markov modellemesi bilgisayar gereksinimleri ile ilgili sınırlamalar nedeniyle zorlaştığından, yaklaşıklik tekniğinin yararları ortaya çıkar. Yaklaşıklık tekniği ile sistem yük baraları arızalarının oranı ve süresinin nümerik hesapları basit eşitliklerin bir kombinasyonundan elde edilir. Bu yöntem, esas olarak koşullu olasılığın basit kurallarını kullanır [17].

3.2.1. Yaklaşıklık Tekniği

Bu tekniğin başlıca temel varsayımları şunlardır,

- 1) Eleman çalışma zamanları üstel olarak dağılır.
- 2) Elemanın arızalı olma zamanları üstel olarak dağılır.

Seri iki elemandan oluşan bir sistemde elemanların arıza oranları λ_1, λ_2 , onarım süreleri ise r_1, r_2 , olduğundan güvenilirlik indisleri;

Sistem devredışı kalma oranı,

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (3.1)$$

sistem ortalama devredışı kalma süresi,

$$r_s = \frac{\lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2}{\lambda_s} \quad (3.2)$$

dir.

Sistemin ortalama toplam devredışı kalma zamanı, U_s ,

$$U_s = \frac{\lambda_s r_s}{1 + \lambda_s r_s} \quad (3.3)$$

olur.

Gözönüne alınan elemanların paralel bağlanması halinde, arıza oranı,

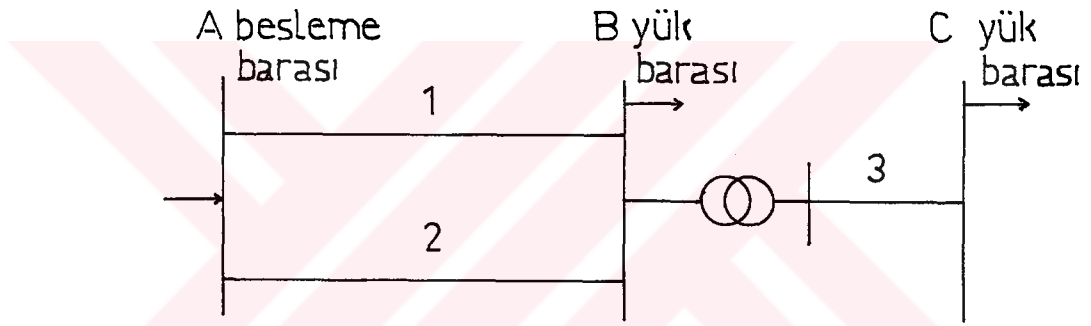
$$\lambda_p = \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2) \quad (3.4)$$

olup onarım süresi,

$$r_p = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \quad (3.5)$$

olacaktır.

Bu eşitlikleri şekil 3.1'deki sistem için uyguluyalım,



Şekil 3.1 Basit Bir Sistem Yapısı.

Bu sistem elemanları için veriler tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Şekil 3.1'deki Sistem Elemanları İçin Arıza Oranı ve Onarım Süreleri

Eleman Num.	Eleman Cinsi	Arıza Oranı a/yıl	Umulan Onarım Süresi Saat
1	Hat-1	0,5	7,5
2	Hat-2	0,5	7,5
3	Hat-3	0,1	2,5
4	Hat-4	0,1	20

Tablo 3.2'de bu veriler için güvenilirlik indisleri verilmiştir.

Tablo 3.2. Şekil 3.1'deki Sistem İçin Güvenilirlik İndisleri

Yük Barası	Arıza Oranı a/yıl (1/1000)	Ort. Devredışı Kalma Süresi saat	Ort. Devredışı Kalma Zamanı s/yıl (1/100)
B	0,42810	3,75	0,1605
C	110,430	4,10	46,8000

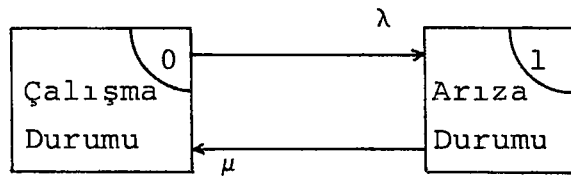
3.2.2. Markov Tekniği

Bir elemanın risk'ine (şans faktör'üne) bağlı sonuçları kapsayan olaylar serisi stokastik süreç olarak adlandırılır. Markov yöntemi, gelecek durumları yalnız en yakın geçmişteki durumlara bağlı olan, stokastik süreç'in özel bir halidir. Enerji iletim sistemi güvenilirliği problemi, uzayda ayrık ve zamanda sürekli olan Markov süreci ile gösterilir. Markov modelinin ilk kullanımına 1964 yılında başlamıştır[10]. Markov sürecinin iletim sistemi güvenilirliğine uygulanması 1968 yılına raslar[13]. Arıza ve onarım oranları üstel dağılımla karakterize edilen basit bir sistem elemanını düşünelim.

λ = Elemanın arıza oranı, (arıza/yıl)

μ = Elemanın onarım oranı, (onarım/yıl)

Tek elemanlı sistem için durum uzay diyagramı şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.2 Bir Elemanın Durum Uzay Diyagramı.

t zamanında elemanın çalışır olma olasılığı $P_0(t)$
t zamanında elemanın arızalı olma olasılığı $P_1(t)$
olsun, bir dt sonsuz küçük zaman aralığında iki olayın oluşma olasılığını ihmal edelim. Elemanın $t+dt$ zamanında 'O' durumunda olma olasılığı t zamanında 'O' durumunda olma ve dt zaman aralığında 'I' durumuna geçmeme olasılığından türetilir. Bu taktirde,

$$P_0(t+dt) = P_0(t)(1-\lambda dt) + P_1(t)\mu dt \quad (3.6)$$

olacaktır.

Benzer şekilde,

$$P_1(t+dt) = P_0(t)\lambda dt + P_1(t)(1-\mu dt) \quad (3.7)$$

olarak yazılır.

Bu denklemler, diferansiyel eşitlik şeklinde düzenlenirse,

$$P'_0(t) = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t)$$

$$P'_1(t) = \lambda P_0(t) - \mu P_1(t)$$

elde edilir.

Matrisyel olarak,

$$\begin{bmatrix} P'_0(t) \\ P'_1(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda & \mu \\ \lambda & -\mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0(t) \\ P_1(t) \end{bmatrix}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Buradan, sürekli hal durum olasılıkları, matrisin sıfıra eşitlenip çözülmesi ile bulunur.

$$\begin{bmatrix} P'_i(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_i(t) \end{bmatrix} \quad i=0,1,\dots,n$$

Bu bağıntıda, $[A]$ matrisine geçiş oranı matrisi denir.

Yukarıda'ki matris açılıp sıfıra eşitlendiğinde oluşan eşitliklerin çözümünden,

$$-\lambda P_0 + \mu P_1 = 0$$

$$\lambda P_0 - \mu P_1 = 0$$

$$P_0 + P_1 = 1$$

$$P_0 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad P_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (3.8)$$

olarak bulunur. P_0 , elemanın çalışır olma, P_1 elemanın arızalı olma olasılığını gösterir.

Herbir i . elemanın, arıza oranı λ_i ile onarım oranı μ_i ile gösterilir ise, bu durumda çalışır olma ve arızalı olma olasılıkları,

$$P_i(\text{Arızalı olma}) = \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i}, \quad P_i(\text{Çalışır olma}) = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i}$$

olarak bulunur. Toplam eleman sayısı n ve m adet eleman devredışı iken, B_i belirli bir devredışı kalma durumu olsun ve $(n-m)$ elemanın çalışmakta olduğu varsayalım. Olayların bağımsız oldukları varsayımı ile, bu durumun sürekli hal olasılığı,

$$P(B_i) = \prod_{i=1}^m \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \right) \times \prod_{k=1}^{n-m} \left(\frac{\mu_k}{\lambda_k + \mu_k} \right) \quad (3.9)$$

bağıntısı ile ifade edilir. B_i 'inci durumdan ayrılma oranı,

$$D(B_i) = \sum_{i=1}^m \mu_i + \sum_{k=1}^{n-m} \lambda_k$$

olacaktır.

Eğer diğer bir arıza veya onarım oluşuyorsa, B_i 'den ayrılır. B_i 'inci durumda kalma süresi, ayrılma oranının tersiyle bulunur[18].

$$R = \frac{1}{D(B_i)} \quad (3.10)$$

Herhangi bir durumun oluşma sıklığı, durumun mevcut sürekli hal olasılığı ve durumdan ayrılma oranı çarpımına eşittir.

Sistemin arıza oranı, ayrık markov zinciri kavramı ile'de bulunabilir[19]. İki elemanlı bir sistem için stokastik geçiş olasılığı matrisi $[P]$, aşağıdaki gibidir.

$$[P] = \begin{bmatrix} 1-(\lambda_1+\lambda_2) & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ \mu_2 & 1-(\lambda_1+\mu_2) & 0 & \lambda_1 \\ \mu_1 & 0 & 1-(\lambda_2+\mu_1) & \lambda_2 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & 1-(\mu_1+\mu_2) \end{bmatrix}$$

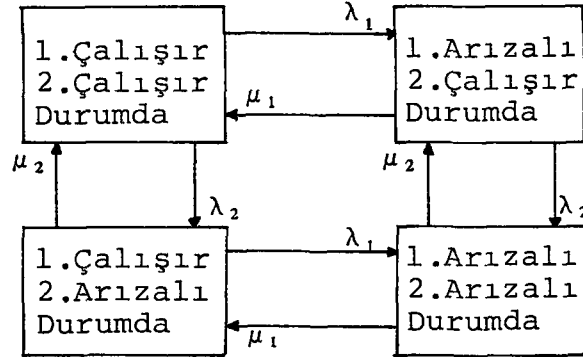
Bu matris şekil 3.3'de verilen durum uzay diyagramından yazılır. 4. durum bir absorblama durumu olarak gösterilir ve bu absorblama durumuna ait satır ve kolon matrisinden kaldırılarak yeni bir Q matrisi elde edilir.

$$[Q] = \begin{bmatrix} 1-(\lambda_1+\lambda_2) & \lambda_2 & \lambda_1 \\ \mu_2 & 1-(\lambda_1+\mu_2) & 0 \\ \mu_1 & 0 & 1-(\lambda_2+\mu_1) \end{bmatrix}$$

$[I]$, birim matris olmak üzere,

$$[I-Q] = \begin{bmatrix} \lambda_1+\lambda_2 & -\lambda_2 & -\lambda_1 \\ -\mu_2 & \lambda_1+\mu_2 & 0 \\ -\mu_1 & 0 & \lambda_2+\mu_1 \end{bmatrix}$$

ifadesi elde edilir.



Şekil 3.3 İki Elemanlı Sistem İçin Durum Uzay Diyagramı.

$[N] = [I - Q]$ olsun, bu taktirde

$$[N]^{-1} = -\frac{1}{D} \begin{bmatrix} (\lambda_2 + \mu_1)(\lambda_1 + \mu_2) & \lambda_1(\lambda_1 + \mu_2) & \lambda_2(\lambda_2 + \mu_1) \\ \mu_1(\lambda_1 + \mu_2) & (\lambda_1 + \lambda_2)(\lambda_1 + \mu_2) - \lambda_2\mu_2 & \lambda_2\mu_1 \\ \mu_2(\lambda_2 + \mu_1) & \lambda_1\mu_2 & (\lambda_1 + \lambda_2)(\lambda_2 + \mu_1) - \lambda_1\mu_1 \end{bmatrix}$$

$$D = \lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)$$

elde edilir. Arızalar arasındaki zaman,

$$T_s = \frac{(\lambda_2 + \mu_1)(\lambda_1 + \mu_2) + \lambda_1(\lambda_1 + \mu_2) + \lambda_2(\lambda_2 + \mu_1)}{\lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}$$

$\mu \gg \lambda$, için

$$T_s = \frac{\mu_1 \mu_2 + \lambda_1 \mu_2 + \lambda_2 \mu_1}{\lambda_1 \lambda_2 (\mu_1 + \mu_2)} = \frac{1 + \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2}{\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)} \quad \lambda_p = \frac{1}{T_s}$$

olacaktır.

yahut $\lambda_p \cong \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)$ dir.

Bu ifade, (3.4) eşitliğinin aynısıdır. Matris evriği yaklaşımı sürecin başlangıç durumu hakkında bir ön bilgiye gerek duyar.

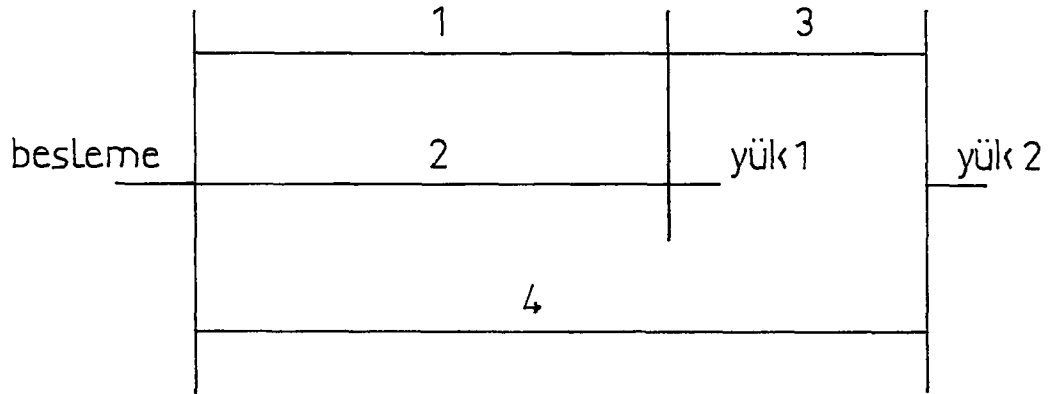
3.3. Normal ve Ağır Hava Koşullarında Güvenilirlik Analizi

Paragraf 2.4'de açıklandığı gibi sistem güvenilirliği ortam koşullarından oldukça etkilenir. Kapalı bir yerde bulunan üretim ünitesi veya bir sistem elemanı için ortam koşulları genel olarak sabittir. Bu gibi elemanlar için arıza oranı iklim koşullarından bağımsız olarak düşünülebilir. Bununla beraber, yüksek gerilim hava hatları ortam koşullarına direk olarak maruz kalırlar. Ağır hava koşulları altında hatların veya diğer elemanların arıza oranları hızla artar. Ağır hava koşulu sonrasında evvelki değerine döner. Ağır hava koşulunun değişken etkisinden dolayı, elemanların arıza oranları da değişecektir. Ağır hava koşullarının tüm çeşitlerini güvenilirlik hesaplamalarına dahil etmek oldukça zordur. Bundan dolayı, normal ve ağır hava koşulları olmak üzere değişken iki durumlu hava modeli seçilir. Bunların süre dağılımları üstel olarak kabul edilir[5]. Bu model şekil 3.5, a-b'de gösterilmiştir. Tablo 3.3'de ağır hava süresince oluşan arızaların değişik yüzdeleri için sistem arıza oranındaki değişimler verilmektedir.

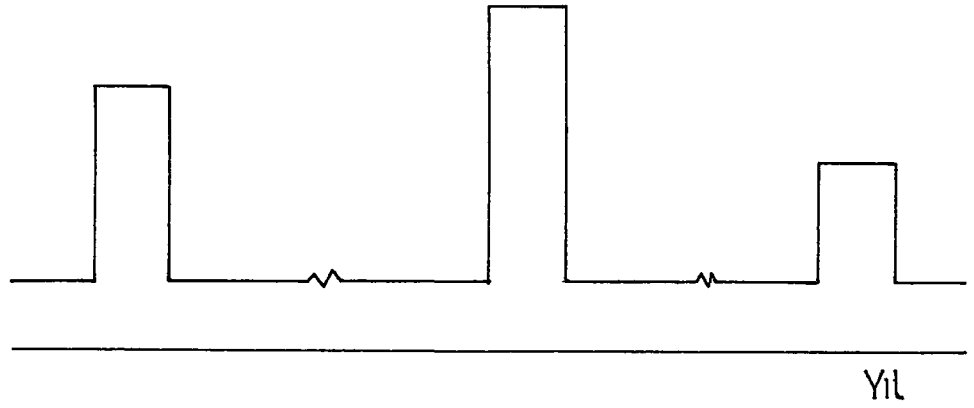
Şekil 3.4'de gösterilen tipik iletim sistemiyle hava koşulu kavramının ihmakinin ortaya çıkardığı hata miktarı görülebilir. Bu sistem için eleman verileri tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Ağır Hava Süresince Oluşan Arıza Yüzdesi İçin Sistem Arıza Oranının Değişimi

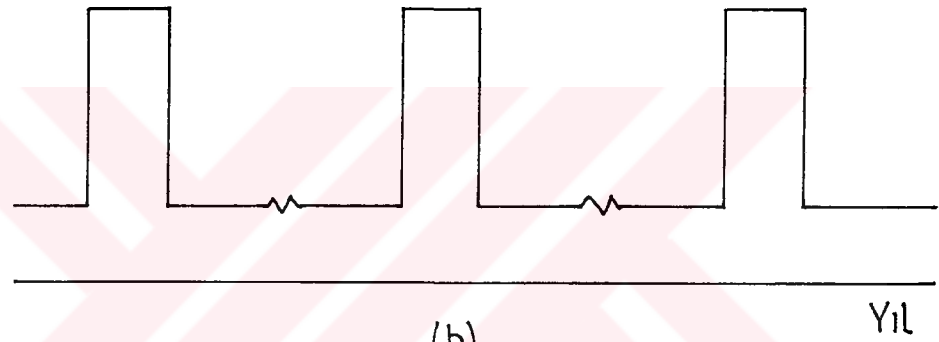
$\lambda_{or_1} = \lambda_{or_2} = \lambda_{or_3} = 0,5 \text{ A/yıl}$ $r_1 = r_2 = r_3 = 7,5 \text{ saat}$		
Ağır Hava Koşulu Ort. Süresi = 1,5 saat		
Normal Hava Koşulu Ort. Süresi=200 saat		
Ağır Hava Arıza Yüzdesi %	İki Paralel Eleman Arıza Oranı a/yıl (1/1000)	Üç Paralel Eleman Arıza Oranı a/yıl (1/10E+06)
0	0.43	0.27
20	0.72	2.60
40	1.88	17.00
60	3.71	53.78
80	6.27	123.30
100	9.58	233.00



Şekil 3.4. Tipik iletim sistemi.



(a)



(b)

Şekil 3.5. Değişken İki Durumlu Hava Modeli
 a) Rasgele Oluşan Ağır Hava Modeli
 b) İki Durumlu Düzenlenmiş Hava Modeli

Tablo 3.4. Şekil 3.4'deki Sistem Elemanları İçin Arıza Oranı ve Onarım Süreleri

Hatlar	Arıza Oranı a/yıl	Umulan Onarım Süresi Saat
1	0.5	7.5
2	0.5	7.5
3	0.1	2.5
4	0.6	12.5
Normal Hava Koşulu Ort. Süresi : 200 saat		
Ağır Hava Koşulu Ort. Süresi : 1.5 saat		

Eşitlik (3.4)'ün kullanımıyla hesaplanmış bara arıza oranı değerleri arasındaki fark, ağır hava koşulları ile ilgili arızalar artarken, hızlıca yükselir. Şekil 3.6'da ağır hava koşullarını düşünmeden yapılan hesaplama, düşünerek yapılan hesabın oranlaması ile gerçekleştirilen eğrilerden, yapılan hata şekil 3.4'deki sistem için gösterilmiştir.

3.3.1. Yaklaşıklık Tekniği

Bu bölümde alt paragrafta basit seri ve paralel sistemler için değişik güvenilirlik indislerinin hesaplanmasında gerekli matematiksel ifadeler gösterilmiştir. Sürekli devre dışı kalma koşullarının matematiksel modellemesine uygun varsayımlar aşağıda verilmiştir.

1) Her iki halde, yani normal ve ağır hava koşulu sürelerinde arıza ve onarım zamanları üstel olarak dağılır.

2) Normal ve ağır hava koşulu süreleri üstel olarak dağılır.

3) Ağır hava koşulu süreleri, elemanın arıza zamanlarına oranla çok kısa sürelidir. Ayrıca, elemanın ortalama onarım zamanlarına oranla da kısa olduğu varsayılır.

4) Elemanın onarım oranları, onların arıza oranlarına kıyasla daha çok büyüktür.

λ_i : i. elemanın normal hava koşulundaki arıza oranı, a/yıl

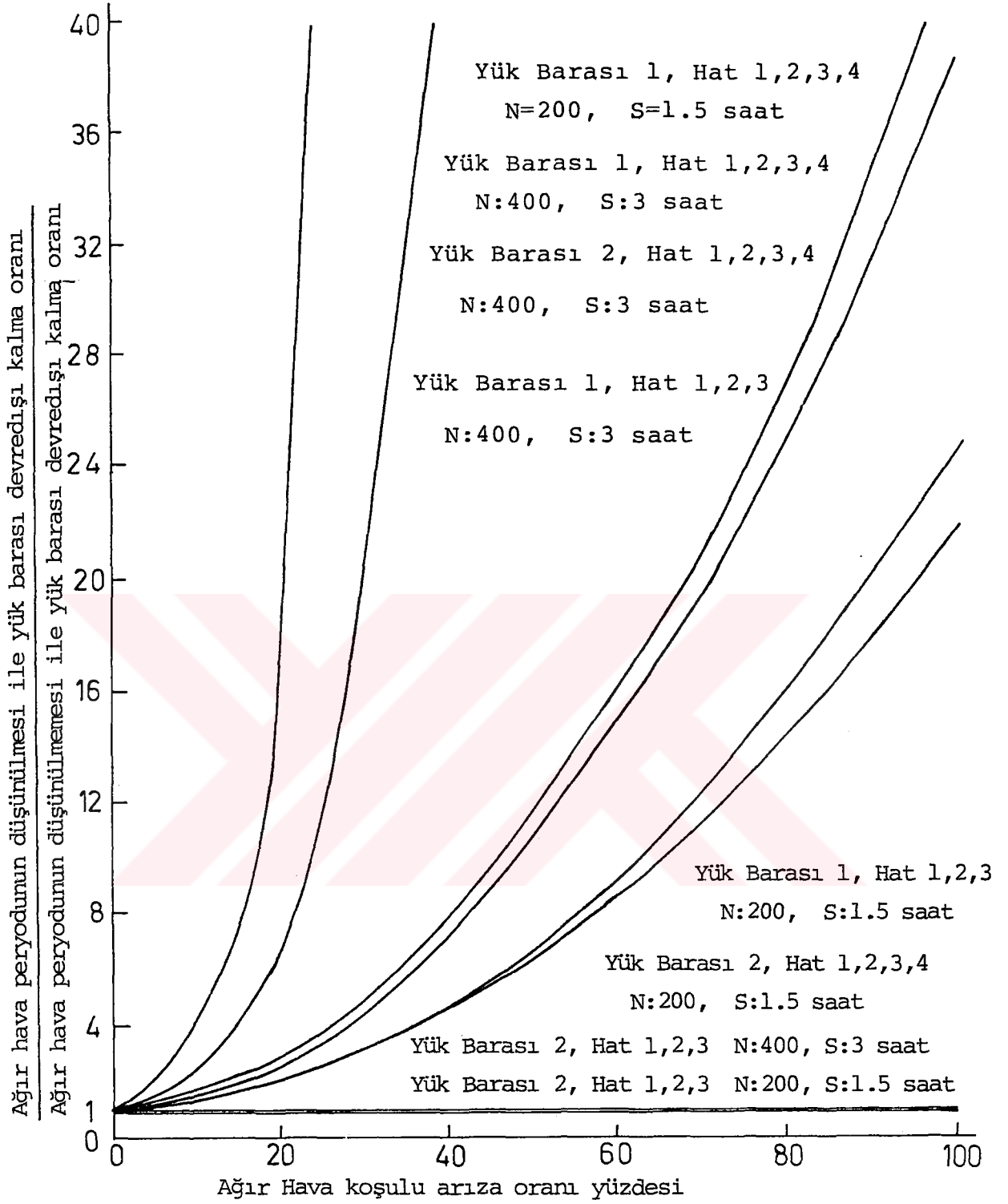
λ'_i : i. elemanın ağır hava koşulundaki arıza oranı, a/yıl

r_i : Tüm sürekli devre dışı kalmalar için umulan onarım zamanı, saat

N : Normal hava periyodunun umulan süresi, yıl

S : Ağır hava periyodunun umulan süresi, yıl

i. eleman için yaklaşık ayrıntılı arıza oranı,



Şekil 3.6. Hava Koşullarının Hariç Tutulması Nedeniyle Sistem Arıza Oranında Öngörülen Hata.

$$\lambda_{ori} = \frac{N}{N+S} \lambda_i + \frac{S}{N+S} \lambda'_i \quad (3.11)$$

ile ifade edilir.

Bir seri sistem için ayrıntılı devredışı kalma oranı,

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_{ori} \quad \text{arıza/yıl}$$

dır.

Umulan onarım süresi,

$$r_s = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{ori} r_i}{\lambda_s} \quad (3.11a)$$

olacaktır.

Ortalama toplam devredışı kalma zamanı,

$$U_s = \frac{r_s}{r_s + \frac{1}{\lambda_s}} = \frac{r_s \lambda_s}{1 + \lambda_s r_s}$$

ifadesi ile verilir. Bu ifadeden

$$U_s \approx \lambda_s r_s \quad \text{saat/yıl}$$

olarak yazılır.

Paralel sistemde, sistem elemanlarının eşdeğeri düşünülür ve gelecek kombinasyon için bir eşdeğer elemana indirgenir. İki paralel eleman için ortalama devredışı kalma ifadesinin geliştirilmesi dört farklı adımı içerir.

1) İlk arıza normal hava süresince ve ikinci arıza da normal hava süresince oluşursa arıza oranı;

$(N/N+S)$, normal hava koşulu kesri

$(1-r_1)/N$ 1. eleman onarımında iken ağır hava koşulunun oluşmama olasılığıdır.

$$e^{-r_1/N} = 1 - \frac{r_1}{N} \quad \text{dir.}$$

$\lambda_2 r_1$ = 1. elemanın onarımı süresince ikinci elemanın arızalanma olasılığı

$$1 - e^{-\lambda_2 r_1} \cong \lambda_2 r_1 \quad \text{dir.}$$

r_1 ve r_2 , N normal hava süresinden çok küçük olduklarından arıza oranı basitleştirilerek

$$(\text{Arıza oranı})_1 = (N/N+S) [\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)]$$

ifadesi elde edilir.

2) İlk arıza normal havada, ikinci arıza ağır havada olursa, arıza oranı

$$(\text{Arıza Oranı})_2 = (N/N+S) [\lambda_1 (r_1/N) \lambda'_2 S + \lambda_2 (r_2/N) \lambda'_1 S]$$

$r_1/N \cong 1 - e^{-r_1/N}$, 1. elemanın onarımının normal hava süresinde tamamlanamama olasılığı

$\lambda'_2 S \cong 1 - e^{-\lambda'_2 S}$, ağır hava süresince 2. elemanın arızalanma olasılığı

$$(\text{Arıza oranı})_2 = (N/N+S) (S/N) [\lambda_1 \lambda'_2 r_1 + \lambda_2 \lambda'_1 r_2]$$

olacaktır.

3) İlk arıza ağır hava koşulunda, ikinci arızada ağır hava koşulunda oluşursa arıza oranı,

$$(\text{Arıza oranı})_3 = (S/N+S) [\lambda'_1 (\lambda'_2 S) + \lambda'_2 (S \lambda'_1)]$$

olacaktır. Burada

$S/N+S$, ağır hava koşulu kesridir.

$S\lambda'_2 \cong 1-e^{-S\lambda'_2}$, ağır hava koşulu süresince ikinci elemanın arızalanma olasılığı

Bu durumda arıza oranı aşağıdaki gibi olacaktır.

$$(Arıza\ oranı)_3 = (N/N+S)[(2S^2/N)\lambda'_1\lambda'_2]$$

4) İlk arıza ağır hava süresinde, ikinci arıza normal hava süresinde oluşursa arıza oranı,

$$(Arıza\ oranı)_4 = (S/N+S)[\lambda'_1(1-S\lambda'_2)(\lambda_2 r_1) + \lambda'_2(1-S\lambda'_1)(\lambda_1 r_2)]$$

olacaktır. Burada

$1-S\lambda'_2 \cong e^{-S\lambda'_2}$, ağır hava süresince ikinci elemanın arızalanmama olasılığı

$\lambda_2 r_1 \cong 1-e^{-\lambda_2 r_1}$, 1. elemanın onarımı süresinde ikinci elemanın arızalanma olasılığıdır.

Yukarıdaki dört ifadeden iki paralel elemanlı sistem için ayrıntılı devredışı kalma oranı,

$$\lambda_{SL} = (N/N+S)[\lambda_1\lambda_2(r_1+r_2) + (S/N)(\lambda_1\lambda'_2 r_1 + \lambda_2\lambda'_1 r_2) + (S/N)(\lambda'_1\lambda_2 r_1 + \lambda'_2\lambda_1 r_2) + (2S^2/N)\lambda'_1\lambda'_2] \quad (3.12)$$

ile ifade edilir [16] .

İki arızanın çakışması sonucu umulan onarım süresi,

$$r_{SL} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

olur.

3.3.2. Markov Tekniği

3.3.1 paragrafındaki varsayımlar aynen bu teknik içinde geçerlidir. Markov tekniği, iki durumlu değişken ortam koşullarında çalışan bir tek elemana uygulanırsa,

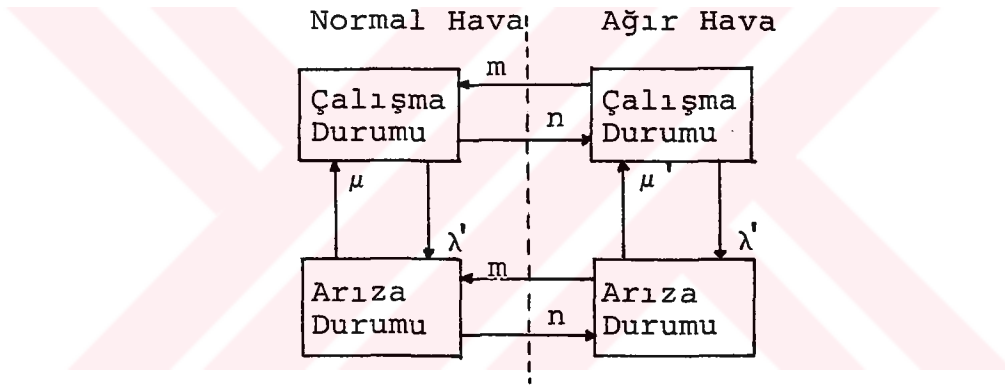
λ, μ : Normal hava koşulunda arıza ve onarım oranı

λ', μ' : Ağır hava koşulunda arıza ve onarım oranı

$n = 1/N$, N normal hava koşulunun ortalama sũresi

$m = 1/S$, S ağır hava koşulunun ortalama sũresi

olsun. şekil 3.7'de tek elemanlı bir sistem için durum uzay diyagramı gũsterilmiřtir.



şekil 3.7. Bir Eleman İçin Durum Uzay Diyagramı.

Durum uzay diyagramından sistemin diferansiyel eşitlikle--ri matris formunda

$$\begin{bmatrix} P'_0(t) \\ P'_1(t) \\ P'_2(t) \\ P'_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(\lambda+n) & m & \mu & 0 \\ n & -(m+\lambda') & 0 & \mu' \\ \lambda & 0 & -(\mu+n) & m \\ 0 & \lambda' & n & -(\mu'+m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0(t) \\ P_1(t) \\ P_2(t) \\ P_3(t) \end{bmatrix}$$

olarak yazılır [20]. Bu matrisin sıfıra eşitlenmesiyle durum olasılıklarını bulabiliriz. $\mu = \mu'$ olduğunu varsayalım. Matris inversi yoluyla elemanın ortalama çalışma süresi,

$$\text{ortalama çalışma süresi} = \frac{m + \lambda' + n}{\lambda\lambda' + \lambda m + \lambda'n}$$

olarak bulunur. Buradan ortalama çalışma süresinin tersi alınarak ortalama arıza oranı'nda

$$\lambda_{or} = \frac{\lambda\lambda' + \lambda m + \lambda'n}{m + \lambda' + n}$$

olacaktır.

$$\lambda\lambda' \ll \lambda m + \lambda'n \quad \text{ve} \quad \lambda' \ll m+n \quad \text{olduğundan}$$

$$\lambda_{or} \cong \frac{m}{m+n} \lambda + \frac{n}{m+n} \lambda'$$

veya

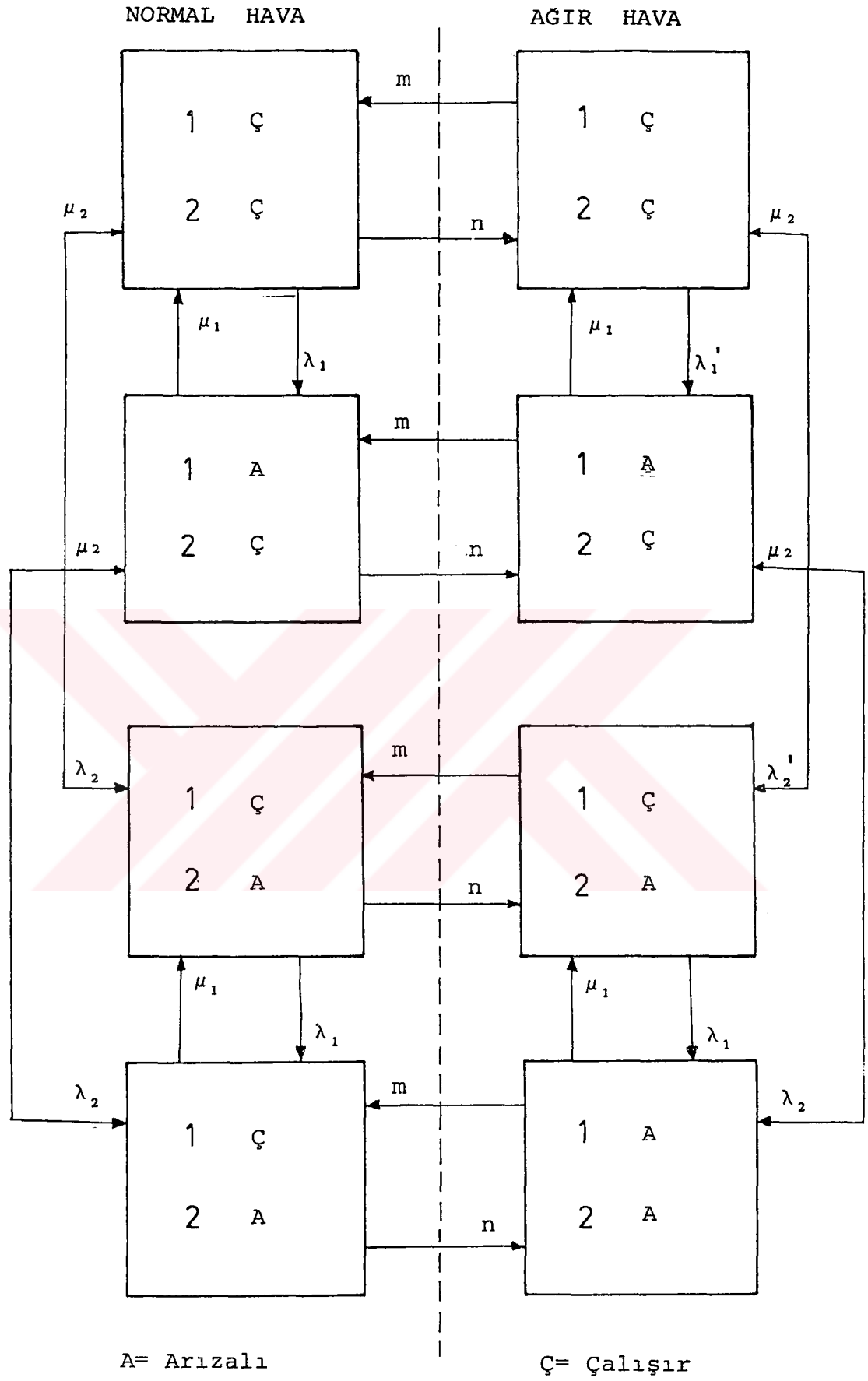
$$\lambda_{or} \cong \frac{N}{N+S} \lambda + \frac{S}{N+S} \lambda'$$

ifadesi elde edilmiştir. Bu ifade (3.11) eşitliğinin aynısıdır. Sistemde elemanların sayısı artarken sistem durum uzay diyagramının çizimi zorlaşır. İki ve üç elemanlı sistem için durum uzay diyagramları şekil 3.8 ile şekil 3.9'da gösterilmiştir. Aşağıda matris formundaki li-
neer eşitlikler gurubunun çözümü ile sistemin durum olasılıkları bulunabilir. İki elemanlı bir sistem için şekil 3.8'de verilen durum uzay diyagramında,

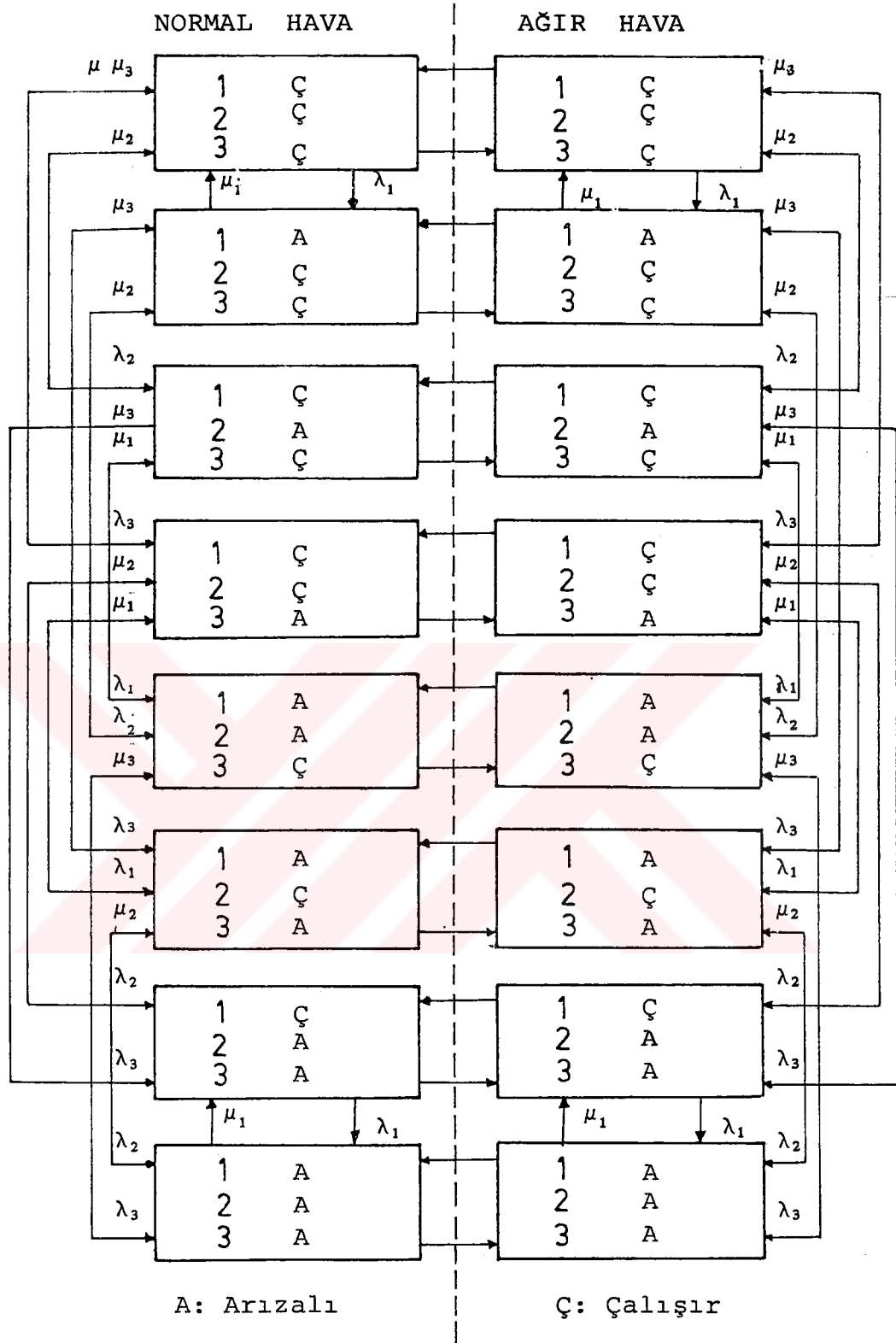
$$[O] = \begin{bmatrix} DN & mI \\ nI & DS \end{bmatrix} [P] \quad (3.13)$$

yazılır.

Üç elemanlı bir sistem için durum uzay diyagramı şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.8. İki Elemanlı Sistemin Değişken Hava Koşulunda Durum Uzay Diyagramı.



Şekil 3.9. Üç Elemanlı Sistemin Değişken Hava Koşulunda Durum Uzay Diyagramı.

[DN] ve [DS] matrisleri sırasıyla, normal ve ağır hava koşullarındaki durumlardan ayrılış oranlarına karşılıktır. [I] birim matrisidir. [P] matrisi durum olasılıklarının bir kolon matrisidir. Durum olasılıklarını saptamak için gerekli olan (3.13) matris ifadesi aşağıdaki koşul altında çözülebilir.

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad \text{yani durum olasılıklarının toplamı 1 olmalıdır. [DN] ve [DS] matrisleri aşağıda verilmiştir.}$$

$$DN = \begin{bmatrix} -\lambda_1 - \lambda_2 - n & \mu_2 & \mu_1 & 0 \\ \lambda_2 & -\lambda_1 - \mu_2 - n & 0 & \mu_1 \\ \lambda_1 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 - n & \mu_2 \\ 0 & \lambda_1 & \lambda_2 & -\mu_1 - \mu_2 - n \end{bmatrix}$$

$$DS = \begin{bmatrix} -\lambda'_1 - \lambda'_2 - m & \mu'_2 & \mu'_1 & 0 \\ \lambda'_2 & -\lambda'_1 - \mu'_2 - m & 0 & \mu'_1 \\ \lambda'_1 & 0 & -\mu'_1 - \lambda'_2 - m & \mu'_2 \\ 0 & \lambda'_1 & \lambda'_2 & -\mu'_1 - \mu'_2 - m \end{bmatrix}$$

Daha büyük sayıda elemanlı sistem için aynı yolla [DN] ve [DS] matrisleri yazılabilir.

3.4. Bakım ve Geçici Devredışı Kalmaların İncelenmesi

3.4.1. Bakım Devredışı Kalma ile Çakışan Sürekli Devredışı Kalmalar

Bir eleman bakım için servis dışına alındığında diğer eleman veya elemanlar, yük barasının enerjisinin kesilmesine neden olacak zorlanmış devredışı kalmaya

uğrayabilirler. Bu arıza biçimini iki yolla hesaplayabiliriz.

1) Markov yöntemi;

Markov yönteminde yapılan durum uzay diyagramının normal hava bölümüne bakım devredışı kalma durumları eklenir.

λ_i : i. elemanın normal hava koşulunda arıza oranı

λ_i'' : i. elemanın bakım devredışı kalma oranı

μ_i : i. elemanın ortalama onarım oranı ($\mu_i = \frac{1}{r_i}$)

μ_i'' : i. elemanın ortalama bakım oranı ($\mu_i'' = \frac{1}{r_i''}$)

Şekil 3.10 ve 3.11'de bakım durumlarını içeren iki ve üç paralel elemanlı sistem için durum uzay diyagramları verilmiştir. İki elemanlı sistem için durum uzay diyagramı 12 durumdan, üç elemanlı sistem 28 durumdan, dört elemanlı sistem 64 durumdan oluşur. Eğer yalnız normal hava koşulu düşünülürse, iki elemanlı sistem için 8 durumlu bir durum uzay diyagramı çizilir. Böyle bir diyagram şekil 3.12'de gösterilmiştir. P_j , şekil 3.12'deki sistemin j. durumda olma olasılığı olsun, böylece 1. elemanın bakım için servis dışına alınma durumu ile karşı karşıya gelme sıklığı ve 2. elemanın sürekli devredışı kalması ile çakışma sıklığı,

$$f = P_j(\mu_1'' + \mu_2)$$

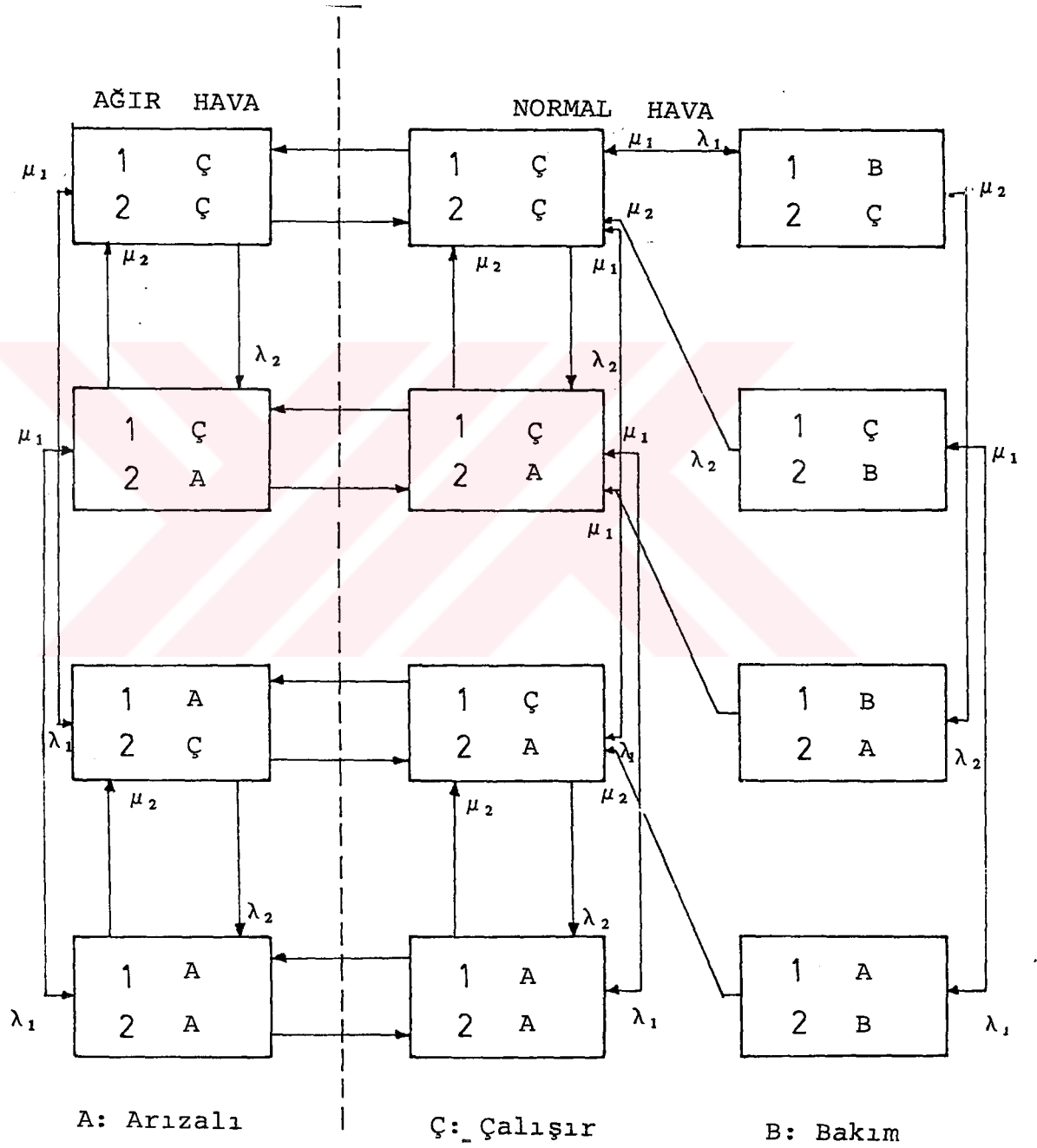
$$= \lambda_2 \lambda_1'' r_1''$$

olacaktır.

Buradan, iki paralel elemanlı sistemin bakım devredışı kalma oranı,

$$\lambda_{mL}'' = \lambda_1'' \lambda_2 r_1'' + \lambda_2'' \lambda_1 r_2'' \quad (3.14)$$

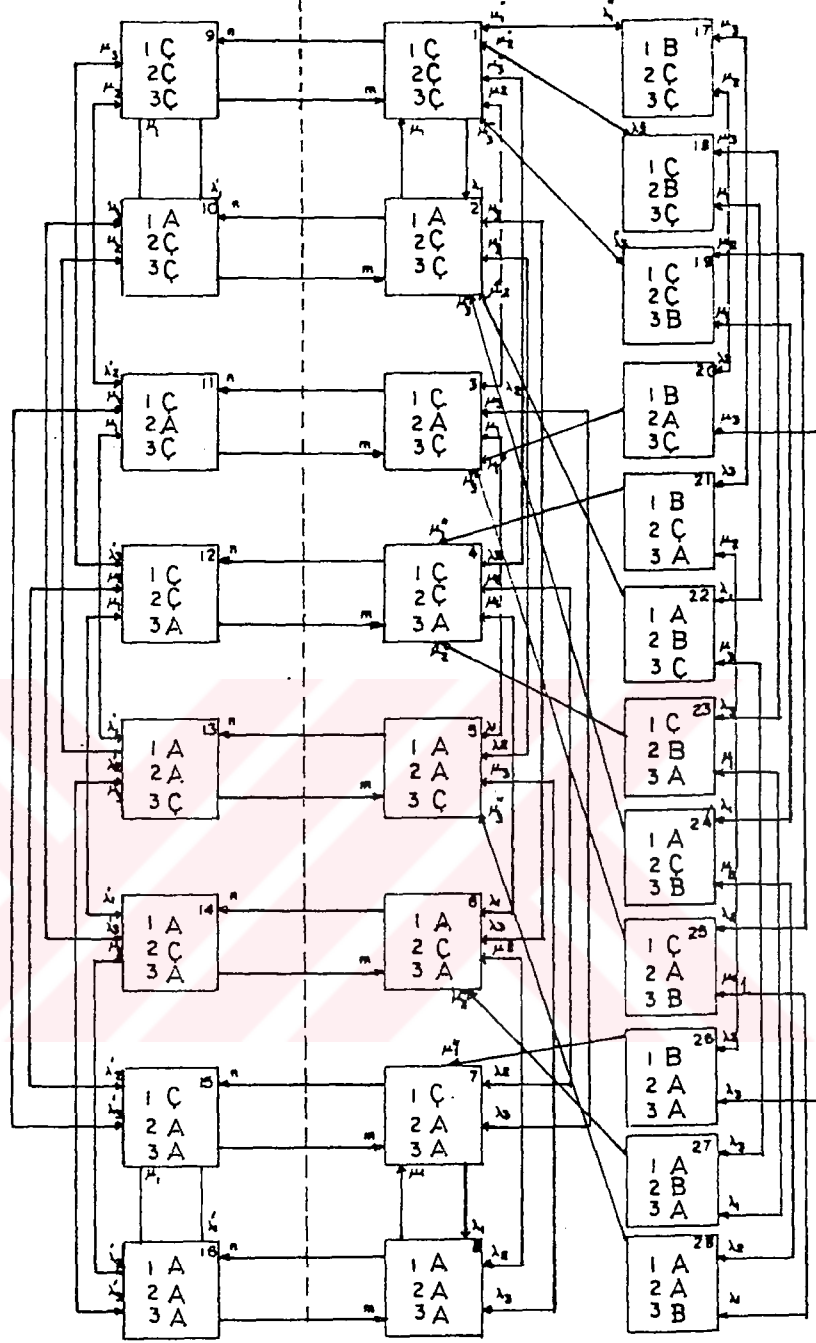
olacaktır.



Şekil 3.10. Bakım Durumlarını İçeren İki Paralel Elemanlı Sistem için Durum Uzay Diyagramı.

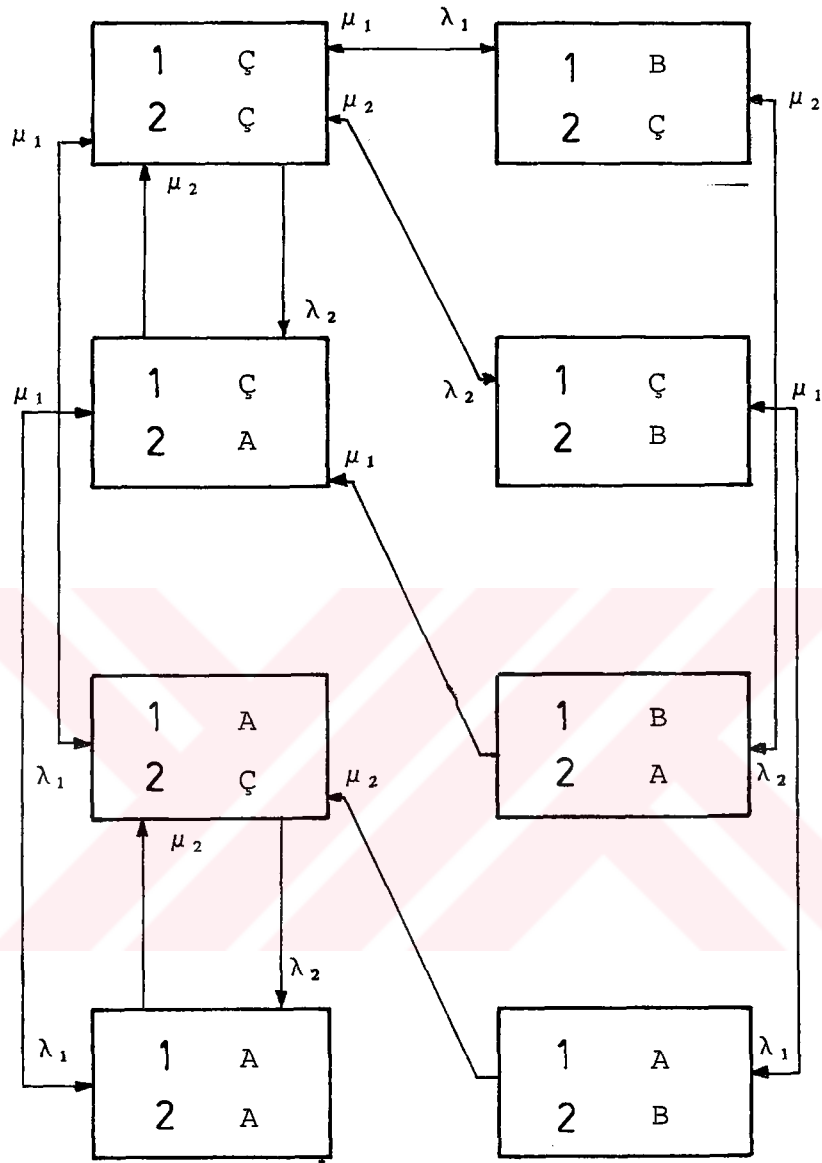
Normal Hava

Ağır Hava



Ç: Çalışır, A: Arızalı, B: Bakım

Şekil 3.11. Bakım Durumlarını İçeren Üç Paralel Elemanlı Sistem için Durum Uzay Diyagramı.



A: Arızalı Ç: Çalışır B: Bakım

Şekil 3.12. Yalnız Normal Hava Koşullarında Bakım Durumlarını İçeren İki Paralel Elemanlı Sistem için Durum Uzay Diyagramı.

Sistem eleman sayısı artarken durum uzay diyagramındaki durum sayısı çok hızlı artar. Bilgisayar belleği ve hatalardan dolayı çok büyük sistemlere markov yaklaşımını uygulamak çok zordur. Bundan dolayı güvenilirlik indislerini hesaplamak için bazı yaklaşık formüllerin türetilmesi zorunludur.

2) Yaklaşıklık Yöntemi

Yaklaşıklık yöntemine göre, n elemanlı seri sistemin bakım devredışı kalma oranı,

$$\lambda''_{SE} = \sum_{i=1}^n \lambda''_i$$

dır.

Bakım devredışı kalma nedeniyle seri sistem onarım süresinin umulan değeri,

$$r''_{SE} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda''_i r''_i}{\lambda''_{SE}}$$

olacaktır. Bir elemanın bakım devredışı kalmasının diğer bir elemanın sürekli devredışı kalması ile çakışmasından oluşan arıza oranı,

$$\lambda''_{mL} = \lambda''_1 (\lambda_2 r''_1) \quad \text{dır.}$$

Burada, λ''_1 : 1. elemanın bakım devredışı kalma oranı

$\lambda_2 r''_1 \cong 1 - e^{-\lambda_2 r''_1}$: 1. elemanın bakım periyodu süresince 2. elemanın arızalanması olasılığıdır.

Buradan, iki paralel elemanlı sistem için, bakım devredışı kalma oranı,

$$\lambda''_{mL} \cong \lambda''_1 \lambda_2 r''_1 + \lambda''_2 \lambda_1 r''_2$$

yazılır.

Bu ifade eşitlik (3.14)'ün aynısıdır. Bakım devredışı kalma nedeniyle iki paralel elemanlı sistem için onarım süresi,

$$r_{mL}'' = \frac{\lambda_1'' \lambda_2 r_1''}{\lambda_{mL}''} \left(\frac{r_2 r_1''}{r_2 + r_1''} \right) + \frac{\lambda_2'' \lambda_1 r_2''}{\lambda_{mL}''} \left(\frac{r_1 r_2''}{r_1 + r_2''} \right) \quad (3.15)$$

ile verilir [21]. Burada,

$\lambda_1'' \lambda_2 r_1''$: 1. eleman bakım için servis dışı iken , 2. eleman arızalandığında eleman bakım devredışı kalmalarını içerir.

$\frac{r_2 r_1''}{r_2 + r_1''}$: 1. eleman bakım için servis dışı iken 2. elemanın arızasını içeren sistemin onarım süresinin umulan değerini verir.

λ_{mL}'' : İki paralel eleman sistem için bakım devredışı kalma oranıdır.

Diğer terimler yukarıdaki gibi benzer olarak açıklanabilir. Bir eleman bakım için servis dışına alındığında iki veya daha çok elemanın zorlanmış devredışı kalmasının çakışması hali için bir eşdeğer eleman tekniği öngörülmüştür[14]. Bu yaklaşıma göre, üç paralel elemanlı sistem için bir elemanın bakımı ve iki elemanın zorlanmış devredışı kalmasının çakışması sonucu sistem arıza oranı,

$$\lambda_{mL}'' = \lambda_1'' \lambda_{2-3} r_1'' + \lambda_2'' \lambda_{1-3} r_2'' + \lambda_3'' \lambda_{1-2} r_3'' \quad (3.16)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada

λ_1'' : 1. elemanın bakım devredışı kalma oranı

λ_{2-3} : 2. ve 3. elemanın ayrıntılı devredışı kalma oranı

$\lambda_{2-3} r_1''$: 1. elemanın bakımı süresince 2. ve 3. elemanın devredışı kalma olasılığıdır.

Kalan terimler aynı düşünce biçimiyle tanımlanır. Ortalama devredışı kalma süresi ise;

$$r''_{mL} = \frac{\lambda''_1 \lambda_{2-3} r''_1}{\lambda''_{mL}} \frac{r_{2-3} r''_1}{r_{2-3} + r''_1} + \frac{\lambda''_2 \lambda_{1-3} r''_2}{\lambda''_{mL}} \frac{r_{1-3} r''_2}{r_{1-3} + r''_2} + \frac{\lambda''_3 \lambda_{1-2} r''_3}{\lambda''_{mL}} \frac{r_{1-2} r''_3}{r_{1-2} + r''_3} \quad (3.17)$$

r_{i-j} , i ve j elemanlarının çakışan devredışı kalma süresi

kalan terimler, eşitlik (3.16)'daki terimlerin açıklanması gibi aynı düşünce biçimiyle tanımlanır.

3.4.2. Eleman Bakım Devredışı Kalması ile Çakışan Eleman Geçici Devredışı Kalmalar

Sistem işletmesinde geçici kesilmeler önemlidir. Geçici devredışı kalmaların bakım periyodu süresince oluşması olasıdır. Geçici devredışı kalmanın matematiksel formülü için aşağıdaki varsayımlar yapılır.

λ_{iT} : 1. elemanın geçici devredışı kalma oranı olsun 2. elemanın bakım devredışı kalması ile 1. elemanın geçici devredışı kalmasının çakışması nedeniyle sistemin geçici devredışı kalma oranı,

$$\lambda_{TL} = \lambda''_2 \lambda_{1T} r''_2 \quad (3.18)$$

ile ifade edilir.

$\lambda_{1T} r''_2$: 2. elemanın bakımı süresince 1. elemanın geçici devredışı kalma olasılığıdır.

İki paralel elemanlı sistem için arıza oranı,

$$\lambda_{TL} = \lambda''_1 \lambda_{2T} r''_1 + \lambda''_2 \lambda_{1T} r''_2 \quad (3.19)$$

dır.

Eğer geçici devredışı kalmalar normal ve ağır hava koşullarındaki arızalar olarak ayrılırsa, yukarıdaki eşitliklerde λ_{TL} değeri elemanların normal hava koşulundaki geçici devredışı kalma oranını gösterir.

3.4.3. Elemanın Sürekli Devredışı Kalması ile Çakışan Geçici Devredışı Kalmalar

n seri elemanlı bir sistem için geçici devredışı kalma oranı,

$$\lambda_{TS} = \sum_{i=1}^n \lambda_{iT}$$

dir. Eğer geçici devredışı kalmalar normal ve ağır hava koşullarındaki arızalar olarak ayrılmazlarsa, iki paralel elemanlı sistemin devredışı kalma oranı (ağır havada onarım var iken),

$$\begin{aligned} \lambda_{TL} &= (N/N+S)(\lambda_1 \lambda_{2T} r_1 + \lambda_2 \lambda_{1T} r_2) + (S/N+S)(\lambda'_1 \lambda_{2T} r_1 + \lambda'_2 \lambda_{1T} r_2) \\ &= (\lambda_1 (N/N+S) + \lambda'_1 (S/N+S)) \lambda_{2T} r_1 + (\lambda_2 (N/N+S) + \lambda'_2 (S/N+S)) \lambda_{1T} r_2 \\ \lambda_{TL} &= \lambda_{OR} \lambda_{2T} r_1 + \lambda_{OR} \lambda_{1T} r_2 \end{aligned} \quad (3.20)$$

olacaktır [21]. İki paralel elemanlı sistem için, elemanın geçici devredışı kalması nedeniyle sistem arıza oranı, ağır hava koşulları süresince oluşan eleman arızalarının yüzdesi ile değişmez. Eşitlik (3.20)'den bu özellik açıkça görülmüyor. Bu ifadelerde elemanların ortalama yıllık zorlanmış devredışı kalma oranları görülmektedir. Bazen geçici devredışı kalmaları normal hava süresince ve ağır hava süresindeki arızalar olarak ayırmak zorunludur. Bu durumu göstermek üzere iki paralel elemanlı sistem için,

* Bazı ifadelerde $\tau = T$ olarak yazılmıştır.

$$\lambda_{TL} = (N/N+S)[\lambda_1 \lambda_{2T} r_1 + \lambda_2 \lambda_{1T} r_2 + (S/N)(\lambda'_1 \lambda_{2T} r_1 + \lambda'_2 \lambda_{1T} r_2) + (S/N)(\lambda_1 \lambda'_{2T} r_1 + \lambda_2 \lambda'_{1T} r_2) + (S/N)(\lambda'_1 \lambda'_{2T} S + \lambda'_2 \lambda'_{1T} S)] \quad (3.21)$$

yazılabilir. Burada,

λ_{iT} : i. elemanın normal havada geçici devredışı kalma oranı

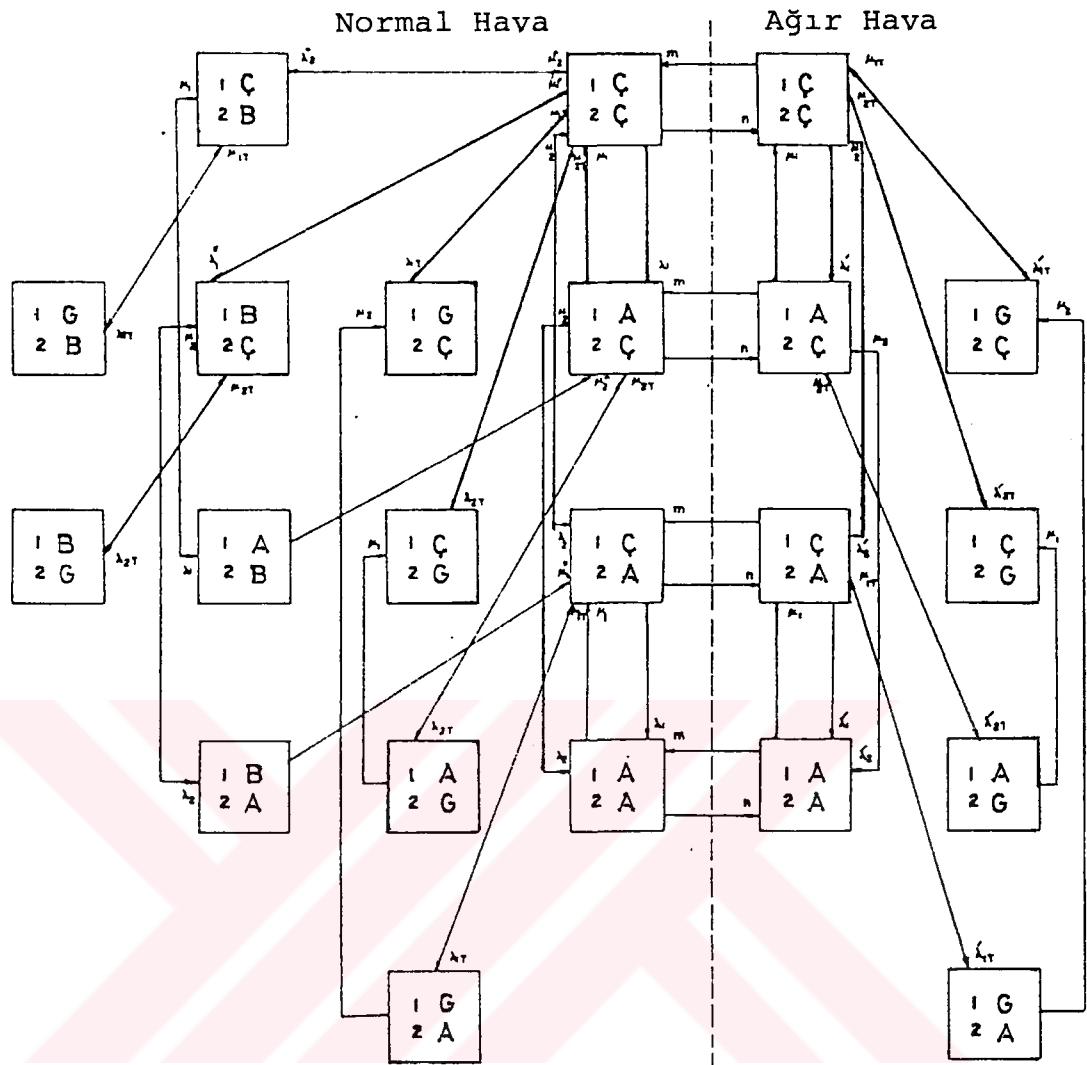
λ'_{iT} : i. elemanın ağır havada geçici devredışı kalma oranıdır.

Eşitlik (3.21), ağır hava süresince onarım yapılmadığı varsayımı ile geliştirilmiştir. Şekil 3.13'de gösterildiği gibi iki paralel elemanlı bir sistem için 22 durumlu durum uzay diyagramının kurulmasıyla (3.19) eşitliği ve (3.21) eşitliğinin gerçekliği denenir. Her iki eşitlikle elde edilen sonuçlar tam olarak uyumludur.

3.5. Aşırı Yükleme Nedenli Devredışı Kalmalar

3.5.1. Giriş

Önceki bölümlerde yük barasının beslenmesinin sürekliliği tek başarı kriteri olarak benimsendi. Bu kriter, bir paralel sistemdeki her bir elemanın herhangi bir olasılıkla maruz kalacağı maksimum yükü taşıyabileceğini varsaymaktadır. Böyle bir sistem tam paralel olarak adlandırılır. Tam paralel bir sistem çok güvenilir olmasına rağmen yüksek eleman kapasiteleri nedeniyle nispeten pahalıdır. Sistem maliyetini azaltmanın en basit yolu, paralel bağlı eleman kapasitelerini olasılık koşulları altında taşımak zorunda kalabileceği maksimum yük değerlerine göre azaltmaktır. Fakat sistem maliyetindeki bu indirim, sistem güvenilirliği pahasına olacaktır. Çünkü her ne kadar devredışı kalma durumunda yük ile besleme



A: Arızalı, Ç: Çalışır, B: Bakım, G: Geçici Arıza

Şekil 3.13. İki Paralel Elemanlı Sistem için Bakım, Sürekli, Geçici Arıza Durumlarını İçeren Durum Uzay Diyagramı.

baraları arasında süreklilik var ise de yük barasında bir yük kaybı olasılığı vardır. Bu olasılık sistem yük düzeyinin sistem yapısının sistemdeki kalan elemanların kapasitelerinin bir fonksiyonudur. Evvelce açıklandığı gibi sistem devredışı kalma durumları süresince eğer yük, bir elemanın kapasitesini aşarsa iki durum ortaya çıkabilir. Eleman aşırı yükü taşıma zorunda kalabilir, yada aşırı yükü azaltmak için bir miktar yük çıkarılabilir. Bu durumların herbirisi farklı bir yük barası güvenilirlik değerini ortaya çıkaracaktır. Aşırı yük devredışı kalma öngörünümde ilk adım bir elemanın bir yükü taşıyamama olasılığını hesaplamaktır.

3.5.2. Aşırı Yüklenme Devredışı Kalmanın Hesaplanması

λ_L : $l(t) > L$, yük düzeyinin oluşma olasılığıdır. (Oluşum/yıl)

r_L : $l(t) > L$, yük düzeyi ortalama süresi (yıl) olsun,

bu iki indise ait eşiklikler iki durum modeli yardımıyla bulunur [22,23].

$$\lambda_L = \frac{n_T}{1 - n_L / 8760} \quad (3.27)$$

$$r_L = \frac{n_L}{8760 n_T} \quad (3.28)$$

Şekil 3.19'da bir yük barası için saat olarak bir haftalık yük verilerinden oluşturulmuş yük eğrisinden bu parametreler elde edilerek bunlar tablo 3.5'de verilmiştir. Bu tablodan devredışı kalma oranlarının ve sürelerinin yük düzeyinin belli bir fonksiyonu olduğu görülebilir. Bu yük parametrelerinin kullanımıyla ortalama kesilme oranı ve kesilmelerinin ortalama süreleri için eşitlikler türetilir. Şekil 3.14'de yalnız normal hava koşulları altında iki elemanlı paralel sistem için bir durum uzay

diyagramı veriliyor. Bu diyagramda,

$\lambda_L : l(t) > L$ yük düzeyi oluşma oranı

$\mu_L : l(t) > L$ yük düzeyinin ortalama süresinin tersi olsun.

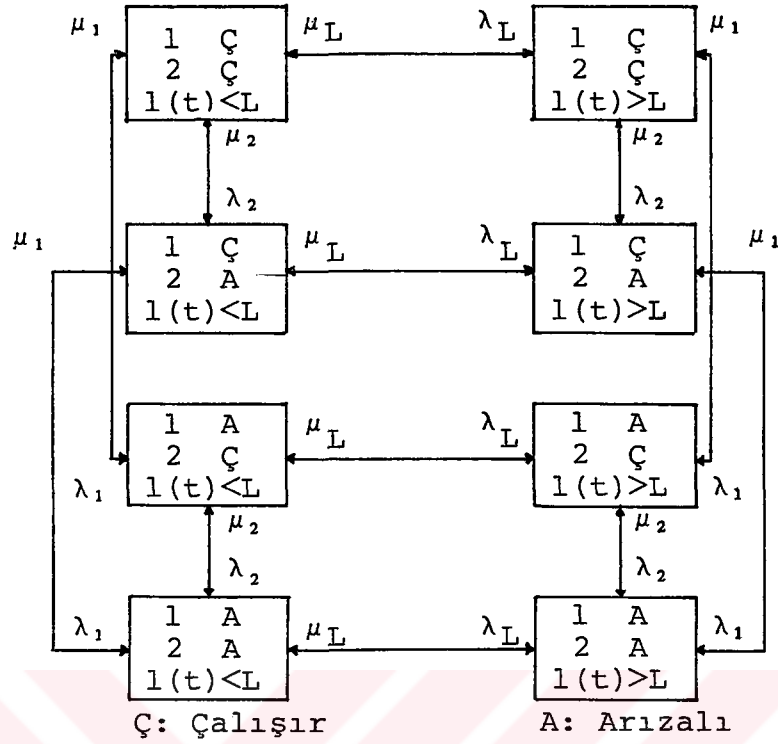
Tablo 3.5. Bir Sistem İçin Yük Parametreleri

Yıllık % Tepe Yük	Yük Oranı Sayı/Hafta	Ortalama Süre (saat)	% Sağlanabilirlik
40	-	168	100.00
45	-	168	100.00
50	33.6	163	97.02
55	32.3	28	84.52
60	25	17	70.83
65	22	10	60.12
70	16.8	8	46.42
75	14.9	7	39.88
80	14.1	3	22.02
85	10.1	2	10.71
90	8.6	1	7.14
95	1	1	0.59
100	1	1	0.59

Burada 6. durum, 2. eleman sürekli devredışı kalma halinde iken 1. elemanın aşırı yüklendiğini gösterir. Böyle bir durumun oluşma sıklığı (3.9) ve (3.10) eşitliğinden yararlanarak aşağıdaki gibi yazılabilir. Aşırı yüklenme devredışı kalma oranı,

$$\lambda_{OL} = P(2)\lambda_L + P(5)\lambda_2 + P(8)\mu_1$$

dır.



Şekil 3.14. Sürekli Devredışı Kalma ve Aşırı Yük Devredışı Kalmalar İçin Durum Uzay Diyagramı.

Burada,

$P(j)$: j . durumun oluşma olasılığı

$$\lambda_{OL} = \lambda_L P_r(2. \text{ eleman zorlanmış devredışı}) P_r(1. \text{ eleman çalışır}) (1 - P_r(l(t) > L)) + \lambda_2 P_r(l(t) > L) (1 - P_r(2. \text{ eleman zorlanmış devredışı}) P_r(1. \text{ eleman çalışır})) \quad (3.29)$$

λ_{OL} , devredışı kalma oranı ile ilgili umulan devredışı kalma süresi,

$$r_{OL} = \frac{r_2 r_L}{r_2 + r_L} \quad (3.30)$$

olarak yazılır. Bu ifadeleri kullanarak iki paralel elemanlı sistemler için oluşturulan sonuçlar, ağır hava koşulları süresince oluşan eleman arıza yüzdeleri için

şekil 3.15 ve şekil 3.16'da verilmiştir. Şekil 3.15 sistem devredışı kalma oranını, şekil 3.16'da sistemin umulan devredışı kalma süresini gösterir. Bu eğrilerden iki paralel elemanlı sistem için, ağır hava peryodundaki arızaların değişimi ile sistem devredışı kalma oranı ve umulan devredışı kalma süresinde hiçbir değişim olmadığı görülüyor. Eğer iki elemanda devredışı ise hiçbir aşırı yüklenme olası değildir. Bununla beraber üç paralel elemanlı sistemde iki elemanın devredışı kalmaları çakışırsa, üçüncü eleman aşırı yüklenerek aşırı yüklenme devredışı kalmasına uğrar. İki elemanın arızalarının çakışması olasılığı ağır hava peryodundaki arızalar yükselirken artar. Eğer birden çok elemanın sürekli devredışı kalması sonucu, kalan elemanlar aşırı yükleniyorsa (3.29) eşitliği aşağıdaki gibi yazılır.

$$\lambda_{OL} = P_r(\text{Kalan elemanlar zorlanmış devredışı kalmaya uğramıyor}) ((\lambda_L P_r(1-l(t)>L) P_r(\text{zorlanmış devredışı kalan elemanlar}) + (\text{Zorlanmış devredışı kalmaların oranı}) P_r(l(t)>L) (1-P_r(\text{Zorlanmış devredışı kalan elemanlar})))$$

Burada,

$$P_r(\text{Zorlanmış devredışı kalmayan elemanlar}) \cong 1$$

ve

$$P_r(\text{Zorlanmış devredışı kalan elemanlar}) \cong \lambda_{SL} r_{SL} \quad \text{ise}$$

Buradan arıza oranı,

$$\lambda_{OL} = \lambda_L P_r(1-l(t)>L) (\lambda_{SL} r_{SL}) + \lambda_{SL} P_r(l(t)>L) (1-\lambda_{SL} r_{SL}) \quad (3.31)$$

elde edilir.

(3.30) ve (3.31) eşitliklerinin kullanılmasıyla, sistem güvenilirliğinde yük artımının etkisi elde edilebilir. Artan yük eleman kapasitesindeki ayrıntılı bir azalmaya

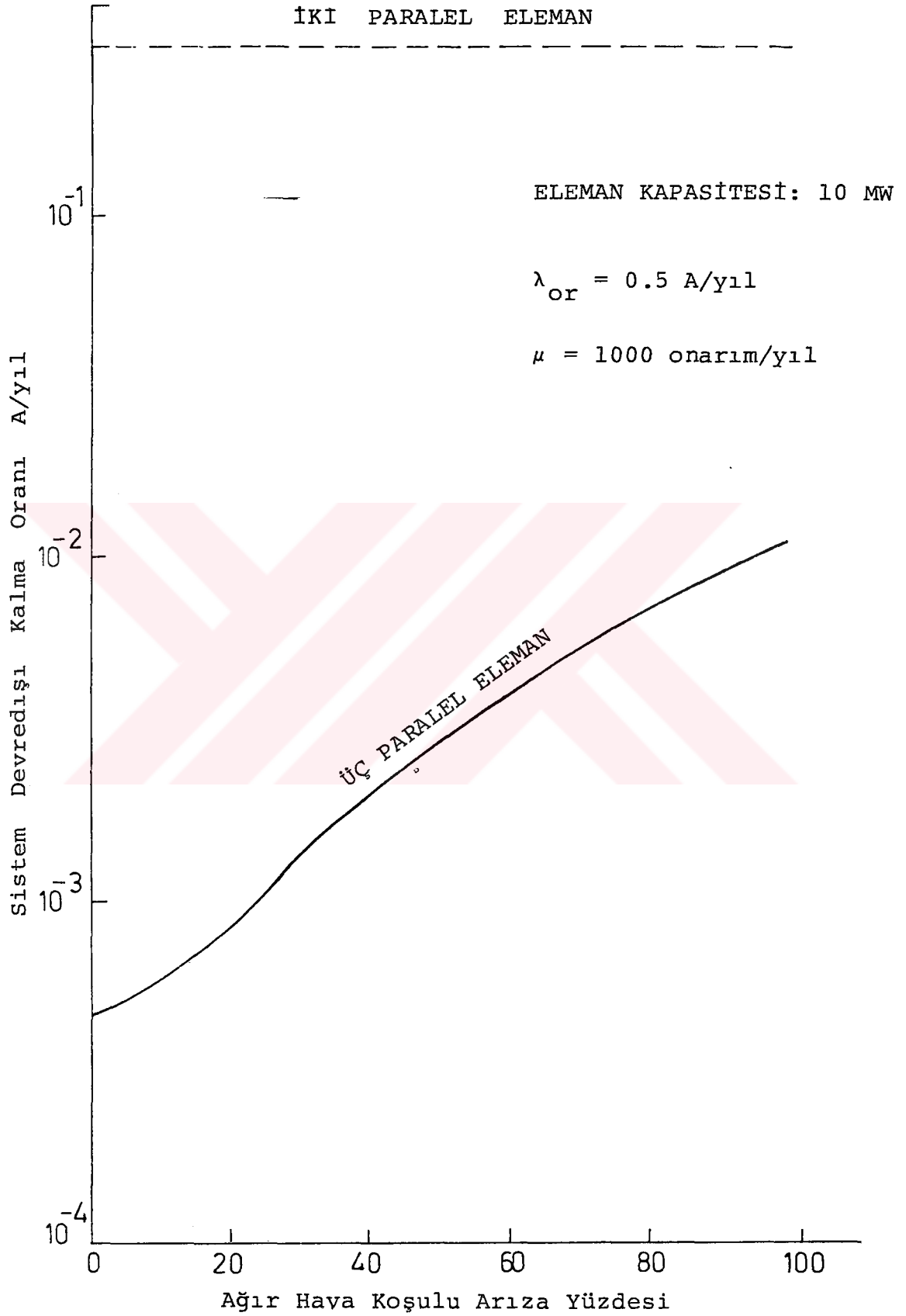
eşdeğerdir. Şekil 3.17'de iki ve üç paralel elemanlı sistem için, yıllık tepe yükünün yüzdeleri olarak verilen eleman kapasitelerine karşılık sistemin arıza oranı elde edilmiştir. Buradan görülmüştür ki sistem devre dışı kalma oranı çok hızlı yükselirken, eleman kapasitesi düşer.

Yukarıdaki gösterimde bir tek yük barası durumu düşünüldü.

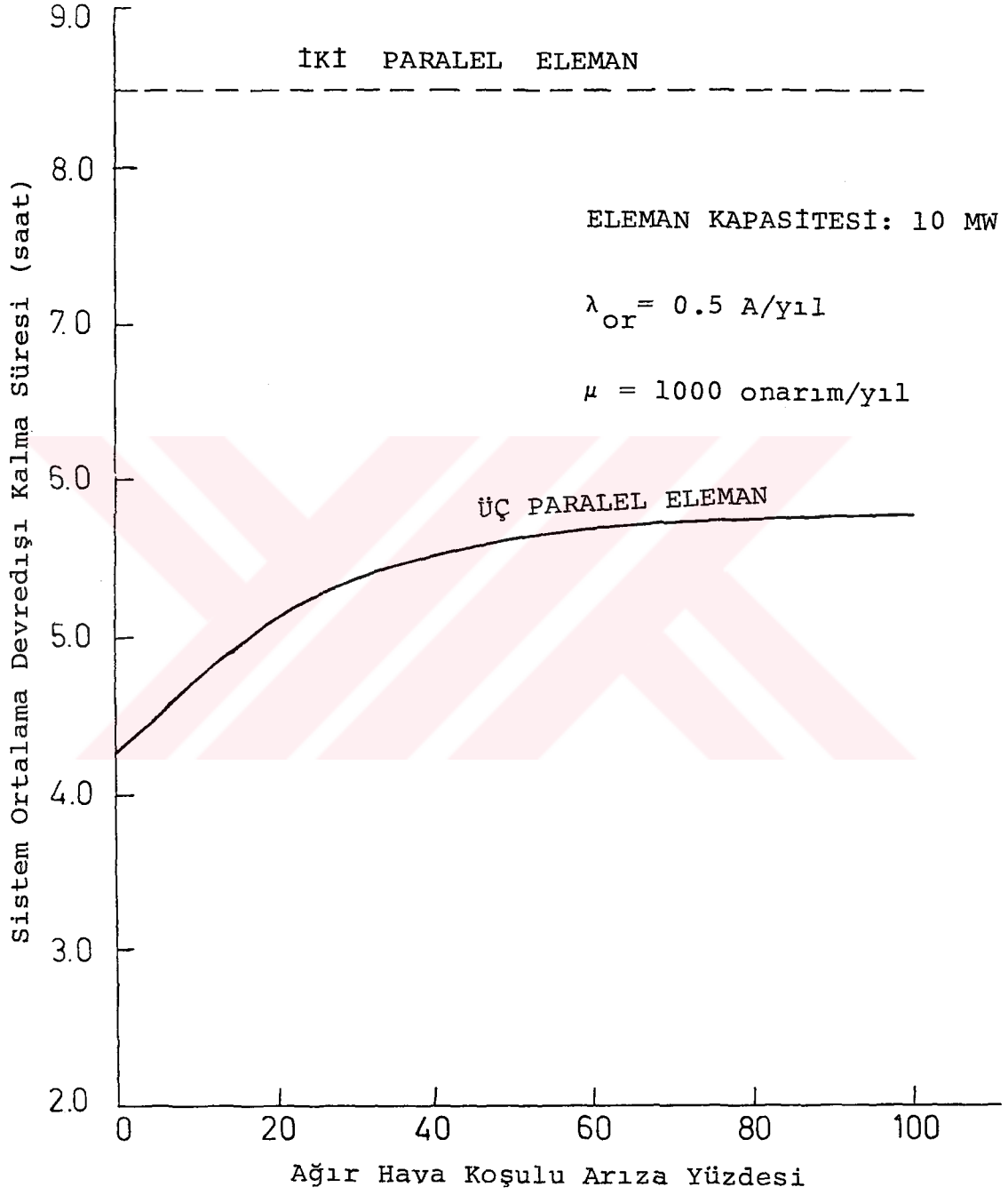
Bir çok yük barasını kapsayan sistem şekilleri durumunda, aşırı yük devre dışı kalma durumlarının değerlendirilmesi oldukça karmaşık hale gelir. Böyle koşullar altında aşırı yük durumunu saptamak için sistem şeklinin her devre dışı kalma durumunun bir yıllık yük eğrisi için 8760 yük akışı hesabı gerekir. Şekil 3.18'deki iki yük baralı bir sistem için yük barasının aşırı yük devre dışı kalması ve aşırı yüklenmeden kaynaklanan bir çok olası yük azaltma durumlarında ikisi incelenmiştir.

- 1) Bir hatta aşırı yüklenme olursa en yakın yük azaltılır.
- 2) Veya bir hatta aşırı yüklenme olursa duruma göre yük tamamen kaldırılır.

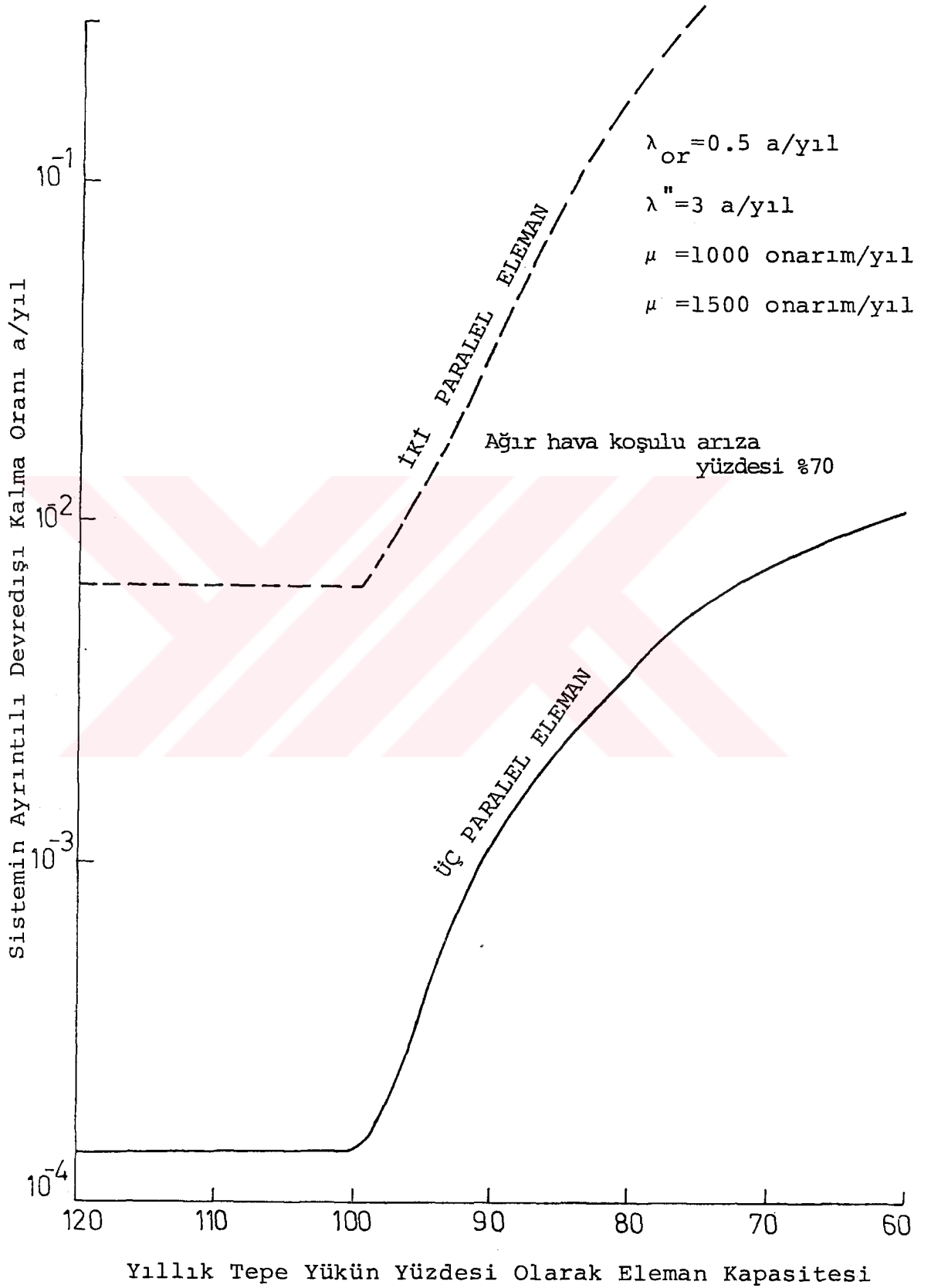
Tablo 3.6'da değişik devre dışı kalma olayları listelenmiştir. Yukarıdaki 1. kritere göre kalan elemanların aşırı yüklenme durumları gösterilmiştir. Tablo 3.7'de ise 2. kritere göre kalan elemanların aşırı yük durumları verilmiştir. Aşırı yük devre dışı kalmalardaki yük düzeyleri bir yük akışı analizi ile elde edilir. Tablo 3.8 ve Tablo 3.9'da bu iki kritere göre iki yük barası için eşitlik (3.29) ve eşitlik (3.30)'la elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu tablolar, farklı yük baralarındaki güvenirlilik indislerinin sistemden yük atma kriterindeki değişikliklerle değişeceğini göstermektedir. İlk durumda bir yük barası yada baralarındaki aşırı yüklenmeyi kaldırmak için yük azaltılabilir. Halbuki ikinci kriterde böyle bir durum olası değildir. Bu nedenden dolayı yük noktasının bağlantısının tamamen kesilmesi tam bir yük barası devre dışı kalma olayıdır.



Şekil 3.15. Eleman Aşırı Yük Devredışı Nedeniyle Sistemin Devredışı Kalma Oranı.

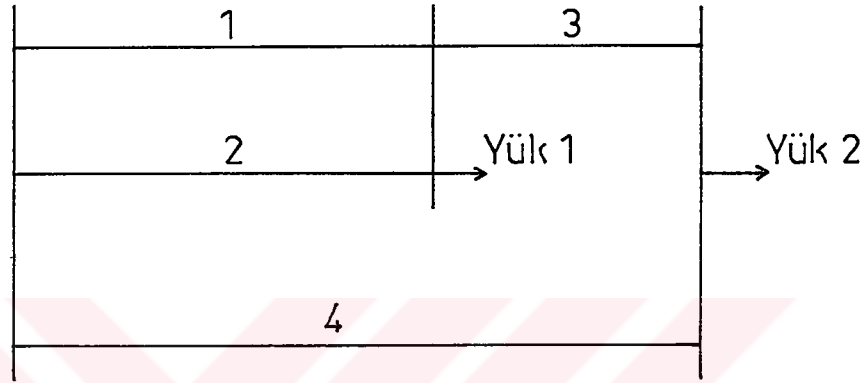


Şekil 3.16. Eleman Aşırı Yük Devredışı Nedeniyle Sistemin Ortalama Onarım Süresi.



Şekil 3.17. Sistem Devredışı Kalma Oranında Yük Artımının Etkisi.

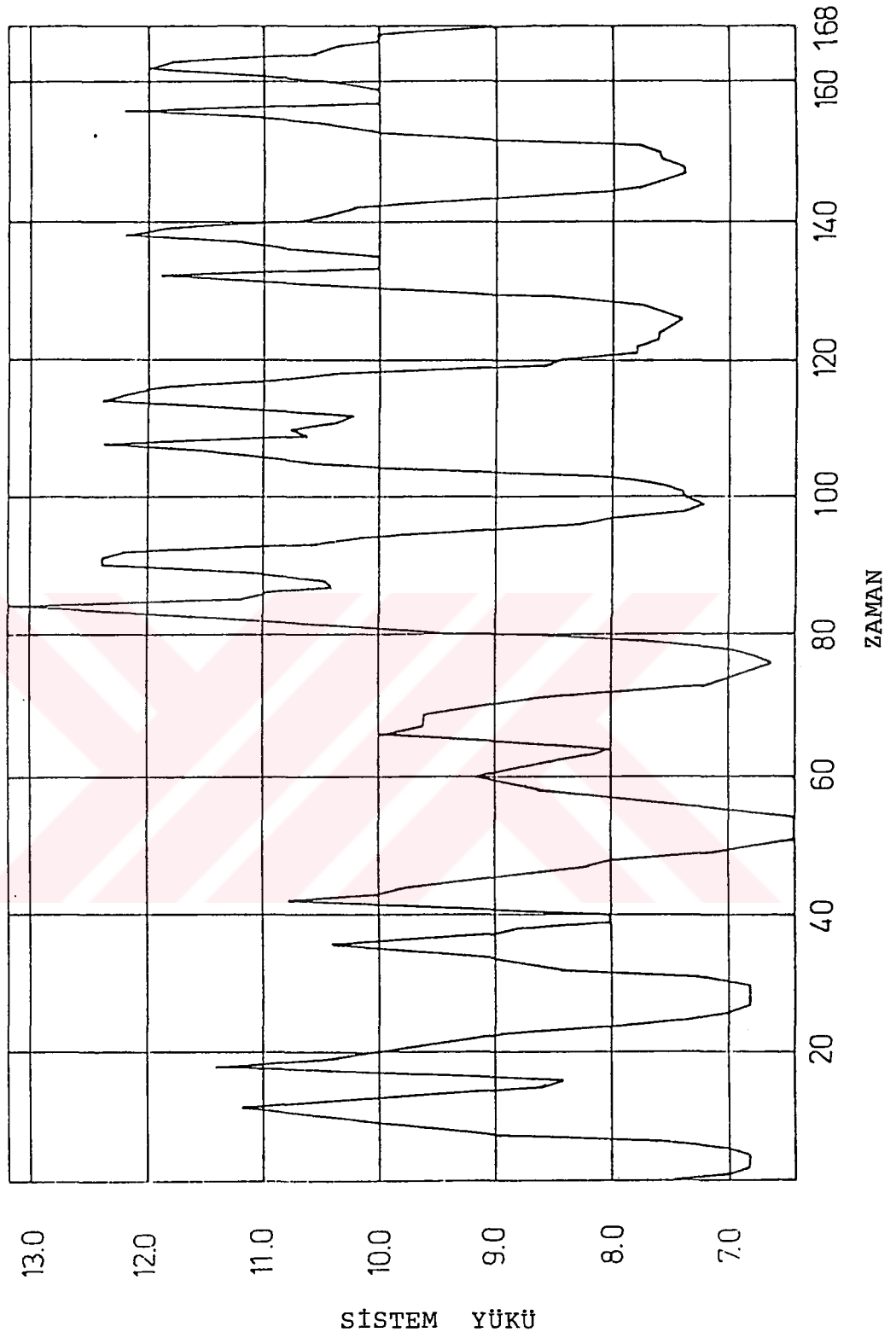
Tablo 3.8 ve 3.9'da güvenilirlik indisleri hesaplanırken, eleman bakım devre dışı durumlarının kalan sistem elemanlarının aşırı yüklenmesine neden olacağı kabul edilmiştir. Bu sistem tepe yükünün yapılacak tahminler sonucunda bakım işlemi ile çakışmayacağı bulunarak bakım işlemi kontrollü olarak yapılır[22] .



Şekil 3.18. İki Yük Baralı Sistem.

Tablo 3.6. Şekil 3.18'deki Sistem İçin Varsayılan Olası Durumlar (Yük Azaltımı Halinde)

Numara	Olası Arıza	Arızalı Bara	
		Yük Barası 1	Yük Barası 2
1	1-2 Hattı Arızalı	---	Yük > %77 ise
2	1-3 " "	Yük > %77 ise	---
3	1-4 " "	Yük > %39 "	Yük > %77 ise
4	2-3 " "	---	---
5	2-4 " "	Yük > %77 ise	---
6	3-4 " "	---	---



Şekil 3.19. Bir Hafta için Sistemin Kronolojik Yük Eğrisi.

Tablo 3.7. Şekil 3.18'deki Sistem İçin Varsayılan Olası Durumlar (Yük kaldırılması Halinde)

Numara	Olası Arıza	Arızalı Bara	
		Yük Barası 1	Yük Barası 2
1	1-2 Hattı Arızalı	Yük > %77 ise	---
2	1-3 " "	Yük > %77 ise	---
3	1-4 " "	" > %77 "	Yük > %39 ise
4	2-3 " "	----	---
5	2-4 " "	----	Yük > %77 ise
6	3-4 " "	----	---

3.5.3. İki Durum Modeli

Koşullu olasılık yaklaşımı[24], olası yükün taşınma olasılığını saptamada olası süreyi gözönüne almaz. Olası eğri tekniği[5,25] doğrudur ancak karmaşık devrelere kolayca uygulanamaz. Markov sürecine dayalı yük modeli [23], sistemde yalnız birkaç yük düzeyini gözönüne alır ve saat olarak yük verisini vermez. İki durum modeli [22,23], belirli bir değeri aşan yükün ne kadar olduğunu ve bu periyodlar arasındaki zamanı tanımlar. Bundan dolayı her bir özel yük düzeyine ait sıklık ve süreyi saptar. Şekil 3.20'de belirli bir zaman periyodu üzerinde sistemin saat olarak yük eğrisini göstermektedir. L değeri, sistemin kapasitesini aşan belirli bir olası yükte yük düzeyini belirler. Şekil 3.20a'dan görüldüğü üzere L yük değerinin alt ve üstündeki değişimler, iki durumlu yineleme sürecini gösterir. İki parametrenin tanımladığı bu yineleme sürecinde parametrenin biri $l(t) > L$ yük durumunun ortalama süresi ve ikincisi bu yükün oluşma oranıdır. Burada $l(t)$, t anındaki yük düzeyidir. Bir yıllık periyod için saat olarak yük verilerinin toplanmasıyla, bu parametreler aşağıdaki gibi bulunabilir. L 'nin her bir değerinden iki büyüklük hesaplanır.

Tablo 3.8. Şekil 3.18'deki Sistem İçin Eleman Aşırı Yük Nedenli Güvenilirlik İndisleri (Yük Azaltımı Halinde)

Yük Barası 1

Olasılıklar		Ağır havada oluşan arıza yüzdesi					
		0	20	40	60	80	
1	A	---	---	---	---	---	
	B	---	---	---	---	---	
2	A	$0,173.10^{-4}$	$0,370.10^{-4}$	$0,974.10^{-4}$	$0,198.10^{-3}$	$0,264.10^{-3}$	
	B	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	
3	A	$0,653.10^{-3}$	$0,109.10^{-2}$	$0,244.10^{-2}$	$0,469.10^{-2}$	$0,616.10^{-2}$	
	B	4,68	4,68	4,68	4,68	4,68	
4	A	---	---	---	---	---	
	B	---	---	---	---	---	
5	A	$0,205.10^{-3}$	$0,345.10^{-3}$	$0,769.10^{-3}$	$0,147.10^{-2}$	$0,193.10^{-2}$	
	B	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	
	A	$0,876.10^{-3}$	$0,147.10^{-2}$	$0,330.10^{-2}$	$0,637.10^{-2}$	$0,836.10^{-2}$	
	B	4,61	4,59	4,58	4,578	4,576	

A : Arıza Oranı, a/yıl

B : Ort. Onarım Süresi, saat

Tablo 3.8a. Şekil 3.18'deki Sistem İçin Eleman Aşırı
Yük Nedenli Güvenilirlik İndisleri
(Yük Azaltımı Halinde)

Yük Barası 2

Olasılıklar	Ağır havada oluşan arıza yüzdesi					
		0	20	40	60	80
1	A	$0,130 \cdot 10^{-3}$	$0,242 \cdot 10^{-3}$	$0,586 \cdot 10^{-3}$	$0,116 \cdot 10^{-2}$	$0,197 \cdot 10^{-2}$
	B	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70
2	A	$0,205 \cdot 10^{-3}$	$0,345 \cdot 10^{-3}$	$0,769 \cdot 10^{-3}$	$0,345 \cdot 10^{-2}$	$0,247 \cdot 10^{-2}$
	B	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60
3	A	---	---	---	---	---
	B	---	---	---	---	---
4	A	---	---	---	---	---
	B	---	---	---	---	---
5	A	---	---	---	---	---
	B	---	---	---	---	---
	A	$0,336 \cdot 10^{-3}$	$0,587 \cdot 10^{-3}$	$0,135 \cdot 10^{-2}$	$0,264 \cdot 10^{-2}$	$0,444 \cdot 10^{-2}$
	B	4,25	4,23	4,21	4,206	4,203

Tablo 3.9 Şekil 3.18'deki Sistem İçin Eleman Aşırı Yük Nedenli Güvenilirlik İndisleri (Yük Kaldırılması Halinde)

Yük Barası 1

Olasılıklar	Ağır havada oluşan arıza yüzdesi					
		0	20	40	60	80
1	A	$0,130.10^{-3}$	$0,242.10^{-3}$	$0,586.10^{-3}$	$0,116.10^{-2}$	$0,196.10^{-2}$
	B	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70
2	A	$0,173.10^{-4}$	$0,370.10^{-4}$	$0,974.10^{-4}$	$0,198.10^{-3}$	$0,340.10^{-3}$
	B	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86
3	A	$0,205.10^{-3}$	$0,345.10^{-3}$	$0,769.10^{-3}$	$0,148.10^{-2}$	$0,247.10^{-2}$
	B	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60
4	A	---	---	---	---	---
	B	---	---	---	---	---
5	A	---	---	---	---	---
	B	---	---	---	---	---
	A	$0,353.10^{-3}$	$0,624.10^{-3}$	$0,145.10^{-2}$	$0,283.10^{-2}$	$0,478.10^{-2}$
	B	4,137	4,09	4,05	4,04	4,037

A : Arıza Oranı, a/yıl

B : Ort. Onarım Süresi, saat

Tablo 3.9a. Şekil 3.18'deki Sistem İçin Eleman Aşırı
Yük Nedenli Güvenilirlik İndisleri
(Yük kaldırılması Halinde)

Yük Barası 2

Olasılıklar	Ağır havada oluşan arıza yüzdesi					
		0	20	40	60	80
1	A	$0,130.10^{-3}$	$0,242.10^{-3}$	$0,586.10^{-3}$	$0,116.10^{-2}$	$0,196.10^{-2}$
	B	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70
2	A	$0,173.10^{-4}$	$0,370.10^{-4}$	$0,974.10^{-4}$	$0,198.10^{-3}$	$0,340.10^{-3}$
	B	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86
3	A	$0,205.10^{-3}$	$0,345.10^{-3}$	$0,769.10^{-3}$	$0,148.10^{-2}$	$0,247.10^{-2}$
	B	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60
4	A	---	---	---	---	---
	B	---	---	---	---	---
5	A	---	---	---	---	---
	B	---	---	---	---	---
	A	$0,353.10^{-3}$	$0,624.10^{-3}$	$0,145.10^{-2}$	$0,283.10^{-2}$	$0,478.10^{-2}$
	B	4,137	4,09	4,05	4,04	4,037

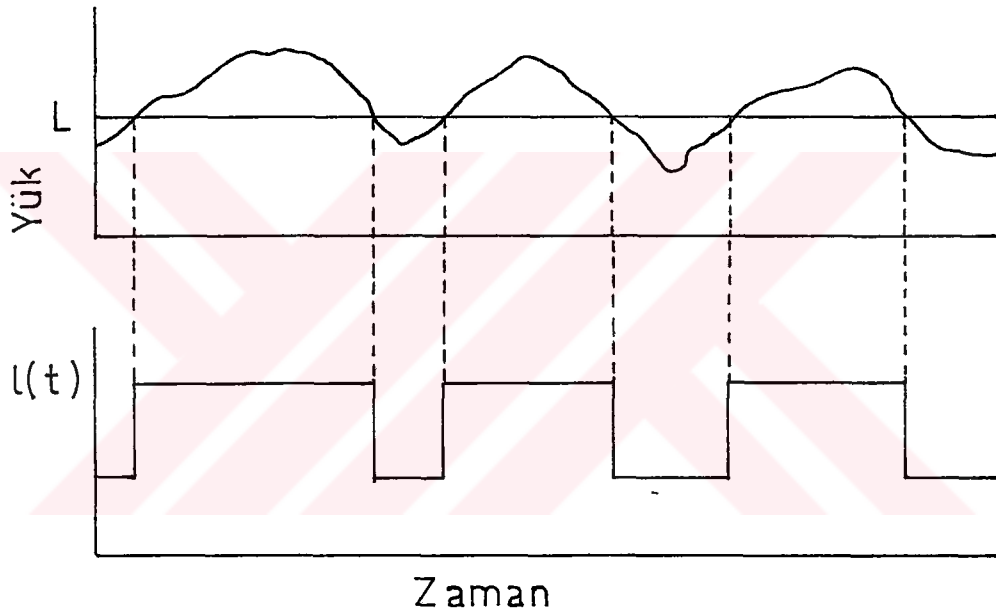
A : Arıza Oranı, a/yıl

B : Ort. Onarım Süresi, saat

Bunlar,

1) n_T , $l(t) > L$ ve $l(t+1) \geq L$ için saat sayısıdır. $l(t)$, t , ($t=1,2,\dots,8760$) saat için yükür. Bu $[l(t)]$, L yük düzeyinden daha düşük bir değerden daha büyük bir değere geçişlerin sayısıdır.

2) n_L , $l(t) > L$ olduğu saat'lerin sayısıdır. Bu iki sayıdan, L yük seviyesi ile ilgili sıklık ve süre parametreleri oluşturulabilir.



Şekil 3.20. İki Durum Yük Modeli.

$l(t) > L$ yük periyodunun oluşma oranı, tepe yükler arasındaki ortalama zamanın tersi olarak tanımlanabilir.

Tepe yükler arasındaki ortalama zaman, $l(t) < L$ düşük yük periyodunun ortalama süresine eşittir.

λ_L : $l(t) > L$ yük düzeyinin oluşma oranı (oluşma/yıl)

r_L : $l(t) > L$ yük düzeyi ortalama süresi (yıl) olsun.

L 'den daha büyük $l(t)$ yükünün oluşma olasılığı,

$$P[l(t) > L] = \frac{\lambda_L}{\lambda_L + \frac{1}{r_L}}$$

olacaktır.

$l(t) > L$ yük düzeyinin oluşma süresi,

$$\frac{1}{\lambda_L} + r_L$$

olacak ve bundan dolayı,

$$\frac{1}{\lambda_L} + r_L = \frac{1}{n_T}$$

yazılır.

Yukarıdaki iki eşitlikten

$$\lambda_L = \frac{n_T}{1 - n_L/8760}$$

ve

$$r_L = \frac{n_L}{8760 n_T}$$

olarak yazılabilir.

BÖLÜM 4. GÜVENİLİRLİK İNDİSLERİNİN DURUM GEÇİŞ MATRİSİ İLE HESABI

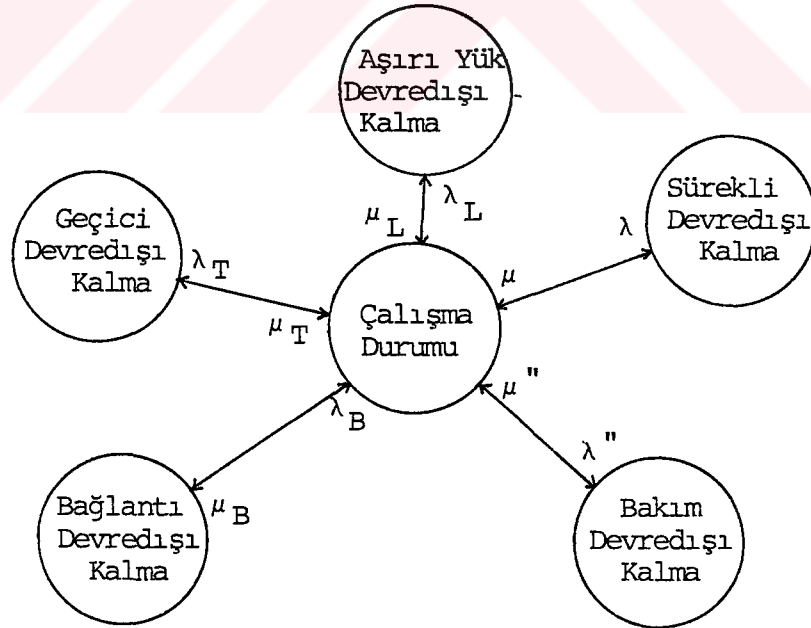
4.1. Giriş

Bölüm 3'te Markov yöntemi ve yaklaşıklık yöntemi ile enerji iletim sistemlerinde güvenilirlik indisleri için normal ve ağır hava koşullarında ayrı ayrı hesaplamalar yapıldı. Markov yöntemin'de sistemin bulunduğu durumların olasılıklarının hesabı, eleman sayısının artması ile güçleştiği, durum uzay diyagramının oluşturulmasının zorlaştığı görülmüştür. Yaklaşıklık yönteminde, gerekli arıza durumu olasılıklarının sırasıyla düşünülüp formülize edilmesinin güçlüğü, açıkça ortaya çıkmıştır. Çalışmanın bu bölümünde durum uzay diyagramına gerek duymadan stokastik geçiş olasılığı matrisinin elde edilebileceği ve lineer diferansiyel denklemlere gerek kalmadan matrislerin determinantı yoluyla durumların olasılıklarının bulunabileceği bir yöntem geliştirildi. Bu yöntem, kullanılan durum geçiş matrisi nedeniyle durum geçiş matrisi yöntemi adı verildi. Durum geçiş matrisi aslında 3.2.2 paragrafındaki $[A]$ geçiş oranı matrisinin devriğidir. Durum geçiş matrisinin birim matrisle toplanması ile stokastik geçiş olasılıkları matrisi elde edilir. Markov ve yaklaşıklık yöntemlerinde kullanılan varsayımlar bu yöntem için de geçerlidir. Durum geçiş matrisi, geliştirilen bir diyagram sayesinde elde edilir. Bu diyagramın giriş ve çıkışları lojik'teki karnaogh diyagramı anlayışıyla oluşturulmuştur[26]. Bu diyagramın farkı 1 ve 0 sayıları dışında ki sayılarda kullanılmasıdır. Ayrıca bu bölümde, eleman arıza biçimlerine bağlantı nedenli devre-dışı kalmalar eklenmiştir. Bu ekleme dolayısıyla, yük barası arıza durumlarında'da bir değişiklik yapılmıştır. Böylece enerji iletim sistemlerinde güvenilirlik

indislerinde daha detaylı değerler elde edilmiştir.

4.2. Bağlantı Nedenli Devre dışı Kalmalar ve Ek Yük Barası Arıza Durumları

Pragraf 2.2'de açıklanan ve şekil 2.1'de verilmiş olan arıza biçimlerine ek olarak bağlantı nedenli devre dışı kalmalar veya bağlantı arızaları da katılmıştır. Sürekli bir gelişme içinde bulunan bir elektrik enerjisi sistemi, ek iletim hatları, santraller ve diğer tesis elemanları ile değişmektedir. Durum böyle olunca enerji iletim sisteminde yapılan bağlantılar, iletim hatlarının güvenilirlik indisleri üzerinde değişikliklere neden olurlar. Bağlantı arızalarını da içeren yeni arıza biçimleri şekil 4.1'de görülmektedir. Bağlantı nedenli devre dışı kalmalar programlanmış bir devre dışı kalma olayıdır.



Şekil 4.1. Elemanın Ayrık Arıza Biçimleri.

Bir yük barasının arıza durumları paragraf 2.3'de, şekil 2.2'deki örnek sistem için beş değişik durum olarak gösterilmiştir. Aynı sistem için eleman bağlantı arızaları nedeni ile yük barası arıza durumlarına eklenen iki durum aşağıda verilmiştir.

1) 1. elemanın bağlantı devredışı kalma sürecinin 2. elemanın sürekli veya geçici devredışı kalmasıyla çakışması durumunda yahut 2. elemanın bağlantı devredışı kalması sürecinin 1. elemanın sürekli devredışı kalmasıyla çakışması A ve B yük baralarının da bir beslenme kesilmesine neden olur.

2) 3. elemanın bağlantı devredışı kalması B yük barasında bir beslenme kesilmesine yol açar. Bağlantı devredışı kalmalar, bakım devredışı kalmalar gibi programlanabilir bir olay olduğundan her iki arıza biçiminin çakışıp, bir yük barası arızası durumunu oluşturması ihmal edilebilir.

4.2.1. Durum Geçiş Diyagramı ve Durum Geçiş Matrisi

Durum geçiş matrisinin elde edilmesinde durum geçiş diyagramı yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım da, sistemin olması gerekli durumların sayısal olarak belirtildiği bir durum matrisi gereklidir. Bu matrisin elde edilmesinde aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır. Yalnız normal hava koşulu düşünüldüğünde,

- 1) Bir elemanın çalışır, sağlam olması durumu 1 rakamı ile
- 2) Sürekli bir arıza olması durumu 0 rakamı ile
- 3) Geçici bir arıza olması durumu 6 rakamı ile
- 4) Bakım devredışı olması durumu 4 rakamı ile
- 5) Bağlantı devredışı olması durumu 5 rakamı ile gösterilmiştir. Ağır hava koşullarında;
- 6) Bir elemanın ağır hava koşullarında çalışır olması durumu 2 rakamı ile,

- 7) Sürekli devre dışı kalması durumu 3 rakamı ile
- 8) Geçici devre dışı kalması durumu 7 rakamı ile gösterilmiştir.

Ağır hava koşullarında bakım ve bağlantı işlemi yapılmadığı kabul edilmiştir. Durum matrisinin, kolon sayısı sistemindeki eleman sayısı n ile satır sayısı ise 2^n ile bulunur. Durum geçiş diyagramında, karnaugh diyagramındaki durum değişkenleri yerine sistem durumları yazılır. $[K]$, durum matrisini göstermek üzere durum geçiş diyagramı, tablo 4.1'deki gibi oluşturulur.

Tablo 4.1. n Elemanlı Sistem İçin Durum Geçiş Diyagramı

Varolanlar Durumlar

Girilecek Durumlar

$[K] =$

$\begin{bmatrix} K_{11} \\ K_{21} \\ \vdots \\ K_{n1} \end{bmatrix}$	d_{11}	d_{12}	$\vdots$	d_{1n}
	d_{21}	d_{22}	$\vdots$	d_{2n}
	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	d_{n1}	d_{n2}	$\vdots$	d_{nn}

$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \end{bmatrix} = [K]^T$

Bu diyagramda ki $d_{11}, d_{12}, d_{32}, \dots, d_{nn}$ çıkışları, $[D]$ durum geçiş matrisinin elemanlarını oluşturacaktır. Bu diyagramdan elemanları aşağıdaki kabullerle çıkarabiliriz.

- a) Bir çalışma durumundan ayrılıp bir arıza durumuna geçiş λ ile
- b) Bir arıza durumundan çıkıp bir çalışma durumuna geçiş μ ile
- c) En az iki elemanlı sistemde, bir durumdan çıkıp diğer bir duruma geçildiğinde eğer sistemin her elemanı aynı anda durum değiştiriyorsa bu

0 rakamı ile gösterilsin. Yani, birinci elemanın çalışır ikincisinin arızalı olduğu bir durumdan, birinci elemanın arızalı ikincisinin çalışır olduğu bir duruma geçiş olamaz.

d) Normal hava koşullarında ki bir durumdan ağır hava koşullarında ki bir duruma geçiş n ile ağır hava koşullarında ki bir durumdan normal hava koşullarında ki bir duruma geçiş m ile gösterilsin.

e) Bir eleman belirli bir hava koşulunda bulunduğu bir durumdan diğer hava koşulunda ki farklı bir duruma geçiş yapamaz bu geçiş 0 rakamı ile tanımlanır.

Yukarıda ki kabullerden [D] durum geçiş matrisinin köşegen elemanları hariç tüm elemanları elde edilir. Köşegen elemanları, ait olduğu satır elemanlarının toplamının negatif işaretlisine eşittir. Paragraf 3.2.2'de Markov yöntemin de sistemin girebileceği durumların oluşma olasılıklarını bulabilmek için oluşturulan eşitlikler,

$$\begin{aligned} P_0(t+dt) &= P_0(t)(1-\lambda dt) + P_1(t)dt \\ P_1(t+dt) &= P_0(t+dt)\lambda dt + P_1(t)(1-\mu dt) \end{aligned} \quad (4.1)$$

dir.

Diferansiyel eşitlik formunda yazılırsa,

$$\begin{aligned} P'_0(t) &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \\ P'_1(t) &= \lambda P_0(t) - \mu P_1(t) \end{aligned}$$

olur. Bu eşitlikleri matris formunda yazarsak,

$$\begin{bmatrix} P'_0(t) \\ P'_1(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda & \mu \\ \lambda & -\mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0(t) \\ P_1(t) \end{bmatrix}$$

daha genel halde

$$[P'_i(t)] = [A] [P_i(t)] \quad i=0,1,\dots,n \quad (4.2)$$

yazılabilir.

Burada $[A]$ matrisi geçiş oranı matrisidir. Diğer taraftan durum geçiş matrisi yönteminde tek elemanlı bir sistem için durum geçiş matrisi yazılsa ilk önce durum matrisi,

$$[K] = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad [K]^T = [1 \quad 0]$$

olacaktır. $[K]$ matrisi ile durum geçiş diyagramı ve buradan durum geçiş matrisi,

$$[K] = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{matrix} & [K]^T \\ & [1 \quad 0] \\ \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} & = \begin{bmatrix} -\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$[D] = \begin{bmatrix} -\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu \end{bmatrix}$$

olarak elde edilir. $[A]$ geçiş oranı matrisinin devriği,

$$[A]^T = \begin{bmatrix} -\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu \end{bmatrix}$$

olacaktır. Buradan açıkça görülüyor ki geçiş oranı matrisinin devriği durum geçiş matrisini vermektedir.

$$[D] = [A]^T \quad (4.3)$$

dir.

4.2.2. Sistemin Sürekli Hal Olasılıklarının Bulunması

Pragraf 4.2.1'de açıklanan durum geçiş matrisi n elemanlı bir sistem için yazılırsa,

$$[D] = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix}$$

olur. Yukarıda ki $[D]$ durum geçiş matrisinden sistemin tüm durum olasılıkları elde edilebilir. k eleman sayısı olmak üzere bu sistemin 2^k sayıda duruma sahip olduğu biliniyor. Hangi durum olasılığını bulmak istiyorsak $[D]$ matrisinde, birinci kolon ve bu duruma ait satır elemanları kaldırılarak yeni $[D_{y1}]$ matrisi elde edilir. n durumlu bir sistem için oluşturulan $[D]$ matrisinden elde edilen $[D_{y1}]$, $[D_{y2}]$, ..., $[D_{yn}]$ matrisleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[D_{y1}] = \begin{bmatrix} d_{22} & d_{23} & \dots & d_{2n} \\ d_{32} & d_{33} & \dots & d_{3n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n2} & d_{n3} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix}$$

$$[D_{y2}] = \begin{bmatrix} d_{12} & d_{13} & \dots & d_{1n} \\ d_{32} & d_{33} & \dots & d_{3n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n2} & d_{n3} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix}$$

$$[D_{yn}] = \begin{bmatrix} d_{22} & d_{23} \cdots \cdots d_{2n} \\ d_{32} & d_{33} \cdots \cdots d_{3n} \\ \vdots & \vdots \cdots \cdots \vdots \\ d_{(n-1)2} & d_{(n-1)3} \cdots \cdots d_{(n-1)(n-1)} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

$[D_{y_1}], [D_{y_2}], \dots, [D_{y_n}]$ matrislerinin determinantları sırasıyla $y_1, y_2, \dots, y_n$ olsun,

$$y_1 = |D_{y_1}| (-1)^{2^{k_1+1}}$$

$$y_2 = |D_{y_2}| (-1)^{2^{k_2+1}}$$

$$\vdots$$

$$y_n = |D_{y_n}| (-1)^{2^{k_n+1}}$$

bu determinantlar daha genel gösteriliş ile,

$$y_i = |D_{y_i}| (-1)^{2^{k_i+1}} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (4.6)$$

olarak da tanımlanabilir. $y_1, y_2, \dots, y_n$ ifadelerinin toplamı,

$$\Delta = y_1 + y_2 + \dots + y_n = \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.7)$$

ile hesaplanır. Buradan her bir durum olasılığı,

$$P_1 = \frac{y_1}{\Delta}$$

$$P_2 = \frac{y_2}{\Delta}$$

$$\vdots$$

$$P_n = \frac{y_n}{\Delta}$$

olur. (4.6) ve (4.7) eşitlikleri kullanılarak durum olasılıkları için genel bir ifade

$$P_i = \frac{y_i}{\Delta} = \frac{|D_{yi}| (-1)^{2k+1}}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad (4.8)$$

$i=1,2,\dots,n$

yazılabilir.

4.2.3. İki Elemanlı Sistemin Durum Olasılıkları

İki elemanlı sistem için [D] durum geçiş matrisi,

$$[D] = \begin{bmatrix} -\lambda_1 - \lambda_2 & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ \mu_2 & -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ \mu_1 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{bmatrix}$$

olarak yazılabilir. Bu sistem dört duruma sahiptir. Birinci durum olasılığını elde etmek için D matrisinin birinci kolon ve satır elemanları kaldırılarak, D_{y1} matrisi oluşturulur.

$$[D_{y1}] = \begin{bmatrix} -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ \mu_1 & \mu_2 & -\mu_2 - \mu_1 \end{bmatrix}$$

$$y_1 = \det D_{y1} (-1)^{4+1}$$

$$y_1 = \mu_1 \mu_2 (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_1 + \lambda_2)$$

$$y_2 = \mu_2 \lambda_1 (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_1 + \lambda_2)$$

$$y_3 = \mu_1 \lambda_2 (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_1 + \lambda_2)$$

$$y_4 = \lambda_1 \lambda_2 (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_1 + \lambda_2)$$

ifadeleri bulunur. Burada

$$\Delta = \sum_{i=1}^4 y_i = (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_1 + \lambda_2) (\mu_1 \mu_2 + \mu_2 \lambda_1 + \mu_1 \lambda_2 + \lambda_1 \lambda_2)$$

dir.

y_1, y_2, y_3, y_4 ve Δ ifadelerinden durum olasılıkları,

$$P_1 = \frac{\mu_1 \mu_2}{A}$$

$$P_2 = \frac{\mu_2 \lambda_1}{A}$$

$$P_3 = \frac{\mu_1 \lambda_2}{A}$$

$$P_4 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{A}$$

(4.9)

dır.

$$A = \mu_1 \mu_2 + \mu_2 \lambda_1 + \mu_1 \lambda_2 + \lambda_1 \lambda_2$$

olmak

üzere

Seri iki elemanlı bir sistem de çalışırılık durumu olasılığı,

$$P(\text{çalışırılık}) = P_1 = \frac{\mu_1 \mu_2}{A}$$

arızalı durum olasılığı ise,

$$\begin{aligned}
 P(\text{arızalı}) &= P_2 + P_3 + P_4 \\
 &= \frac{\mu_2 \lambda_1 + \mu_1 \lambda_2 + \lambda_1 \lambda_2}{A}
 \end{aligned}$$

olarak verilebilir. Paralel iki elemanlı sistem de çalışırılık durumu olasılığı

$$\begin{aligned}
 P(\text{çalışırılık}) &= P_1 + P_2 + P_3 \\
 &= \frac{\mu_1 \mu_2 + \mu_2 \lambda_1 + \mu_1 \lambda_2}{A}
 \end{aligned}$$

ve arızalı durum olasılığı için

$$P(\text{arızalı}) = P_4 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{A}$$

ifadeleri yazılabilir.

4.2.4. n Elemanlı Sistem İçin Çalışırılık ve Arızalı Durum Matrisleri

Sistemin durum kolon matrisi, çalışırılık ve arızalı durum kolon matrisi olarak ikiye ayrılır. Çalışırılık durumu kolon matrisi, sistemin çalışır olduğu durumların 1 rakamı ile diğer durumların 0 rakamı ile gösterildiği bir matristir. Arızalı durum kolon matrisi ise sistemin arızalı olduğu durumların 1 rakamı ile diğer durumların 0 rakamı ile tanımlandığı bir matristir. Bu matrislerin kolon sayısı 1 olup, satır sayısı durum sayısı ile belirlenir. İki elemanlı seri bağlı bir sistemde $[a_s]$ çalışırılık durumu kolon matrisi,

$$[a_s] = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$[q_s]$ arızalı durum kolon matrisi,

$$[q_s] = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

olarak yazılır. Bu iki matristen de görüldüğü gibi $[a_s]$ matrisinde ki 1 rakamı sistemin bulunduğu birinci durumda tüm elemanların çalışır olduğunu gösterir. Çünkü seri bağlı sistemlerde, sistemin çalışır sayılabilmesi için tüm seri elemanların çalışır olması zorunludur. $[q_s]$ matrisinde ise 1 rakamı sistemin ikinci, üçüncü ve dördüncü durumlarda en az bir elemanın arızalı veya her iki elemanın arızalı olduğunu gösterir. Aynı sistemin paralel olması halinde çalışırılık ve arızalı durumu kolon matrisleri,

$$[a_p] = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

arızalı durum kolon matrisi,

$$[q_p] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

olarak bulunur. $[a_p]$ matrisinden'de görüldüğü gibi paralel sistemlerde çalışırılık durumu en az bir elemanın çalışırılığı ile sağlanabilir. Bu halde bir, iki ve üçüncü durumlar çalışırılık durumlarıdır ve matriste 1 rakamı ile gösterilir. $[q_p]$ matrisinden ise, paralel sistemlerde ancak tüm sistem elemanlarının arızalanmasıyla sistem arıza durumu oluşacağı gözlenmektedir.

4.3. Sistemin Arızalı Oranı, Devredışı Kalma Süresi ve Zamanın Hesabı

n elemanlı bir sistem gözönüne alınsa; bu sistem için ilk önce durum geçiş matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[D] = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} \cdots d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} \cdots d_{2n} \\ \vdots & \vdots \quad \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} \cdots d_{nn} \end{bmatrix}$$

Bu sistem için çalışırılık ve arıza durumu kolon matrisleri

$$[a] = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ \vdots \\ a_{n1} \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad [q] = \begin{bmatrix} q_{11} \\ q_{21} \\ \vdots \\ q_{n1} \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

olarak elde edilir. $[a]$ kolon matrisinin elemanlarını, $[D]$ matrisinin birinci kolon elemanları yerine koyarak,

$$[T] = \begin{bmatrix} a_{11} & d_{12} \cdots d_{1n} \\ a_{21} & d_{22} \cdots d_{2n} \\ \vdots & \vdots \quad \vdots \\ a_{n1} & d_{n2} \cdots d_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

$n \times n$ boyutlu bir $[T]$ matrisi oluşturulur. Bu matris çalışırılık durum olasılıkları matrisi olarak adlandırılır. $[T]$ matrisinin birinci kolon elemanlarına göre determinantı,

$$\begin{aligned}
|T| = & a_{11} \times \begin{bmatrix} d_{22} & d_{23} & \cdots & d_{2n} \\ d_{32} & d_{33} & \cdots & d_{3n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n2} & d_{n3} & \cdots & d_{nn} \end{bmatrix} - a_{21} \times \begin{bmatrix} d_{12} & d_{13} & \cdots & d_{1n} \\ d_{32} & d_{33} & \cdots & d_{3n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n2} & d_{n3} & \cdots & d_{nn} \end{bmatrix} + \\
& + (-1)^{i+j} a_{n1} \times \begin{bmatrix} d_{12} & d_{13} & \cdots & d_{1n} \\ d_{22} & d_{23} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{(n-1)2} & d_{(n-1)3} & \cdots & d_{(n-1)n} \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

olarak yazılır.

[T] matrisinin $a_{11}, a_{21}, a_{31}, \dots, a_{n1}$ birinci kolon elemanlarının minörleri $i=1,2,\dots,n$ olmak üzere 4.2.2. paragrafındaki $[D_{y1}], [D_{y2}], [D_{y3}], \dots, [D_{yn}]$ matrislerini ifade eder. Bundan dolayı

$$|T| = a_{11} |D_{y1}| - a_{21} |D_{y2}| + \cdots + (-1)^{i+j} a_{n1} |D_{yn}| \quad (4.11a)$$

olarak yazılabilir. [a] matrisi elemanlarını [D] matrisinin birinci kolon elemanları ile karşılıklı çarparak [D] matrisinde birinci kolona yerleştirirsek,

$$[F] = \begin{bmatrix} (a_{11} \times d_{11}) & d_{12} \cdots d_{1n} \\ (a_{21} \times d_{21}) & d_{22} \cdots d_{2n} \\ \vdots & \vdots \\ (a_{n1} \times d_{n1}) & d_{n2} \cdots d_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

$n \times n$ boyutlu bir [F] matrisi elde edilir. [F] matrisi çalışırılık durumu sıklık matrisi olarak isimlendirilir. [F] matrisinin birinci kolon elemanlarına göre determinantı 4.2.2. paragrafın'daki tanımlama kullanılarak,

$$\begin{aligned}
 |F| &= (a_{1,1} x d_{1,1}) |D_{y_1}| - (a_{2,1} x d_{2,1}) |D_{y_2}| + \dots \\
 &\dots + (-1)^{i+j} (a_{n,1} x d_{n,1}) |D_{y_n}| \quad (4.12a)
 \end{aligned}$$

biçiminde yazılabilir. Sonuçta $[T]$ ve $[F]$ matrislerinden yararlanarak seri sistem devredışı kalma oranı veya arıza oranı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\lambda_s = (-1)^{2n+1} \frac{|F|}{|T|}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_s &= \frac{(a_{1,1} x d_{1,1}) |D_{y_1}| - (a_{2,1} x d_{2,1}) |D_{y_2}|}{a_{1,1} |D_{y_1}| - a_{2,1} |D_{y_2}| + \dots + (-1)^{i+j} a_{n,1} |D_{y_n}|} + \\
 &+ \frac{(-1)^{i+j} (a_{n,1} x d_{n,1}) |D_{y_n}|}{a_{1,1} |D_{y_1}| - a_{2,1} |D_{y_2}| + \dots + (-1)^{i+j} a_{n,1} |D_{y_n}|} \quad (4.13)
 \end{aligned}$$

Birimi arıza/yıl dır. $[q]$ arızalı durum kolon matrisi elemanlarını $[D]$ matrisinin birinci kolon elemanları yerine yerleştirerek $n \times n$ boyutlu bir $[L]$ matrisi elde edilir.

$$[L] = \begin{bmatrix} q_{1,1} & d_{1,2} & \dots & d_{1,n} \\ q_{2,1} & d_{2,2} & \dots & d_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n,1} & d_{n,2} & \dots & d_{n,n} \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

Bu matris arızalı durum olasılıkları matrisi olarak tanımlanır. $[L]$ matrisinin birinci kolon elemanlarına göre determinanı,

$$|L| = q_{1,1} |D_{y_1}| - q_{2,1} |D_{y_2}| + \dots + (-1)^{i+j} q_{n,1} |D_{y_n}| \quad (4.14a)$$

olarak yazılabilir. Buradan da seri sistem için onarım süresi, saat olarak

$$r_s = (-1)^{2^{n+1}} \frac{|L|}{|F|}$$

$$r_s = \frac{q_{1,1} |D_{y_1}| - q_{2,1} |D_{y_2}| + \dots + (-1)^{i+j} q_{n,1} |D_{y_n}|}{(a_{1,1} x d_{1,1}) |D_{y_1}| - (a_{2,1} x d_{2,1}) |D_{y_2}| + \dots + (-1)^{i+j} (a_{n,1} x d_{n,1}) |D_{y_n}|} \quad (4.15)$$

elde edilir. $[q]$ arızalı durum matrisi elemanlarını, $[D]$ matrisinin n . kolon elemanları ile karşılıklı çarparak $[D]$ matrisinde n . kolona yerleştirilirse, $n \times n$ boyutlu bir $[G]$ matrisi elde edilir.

$$[G] = \begin{bmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} & \dots & q_{1,1} & x d_{1,n} \\ d_{2,1} & d_{2,2} & \dots & q_{2,1} & x d_{2,n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ d_{n,1} & d_{n,2} & \dots & q_{n,1} & x d_{n,n} \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

$[G]$ matrisi, arızalı durum sıklık matrisi olarak ifade edilir. $[G]$ matrisinin n . kolon elemanlarına göre determinantı alındığında $(q_{1,1} x d_{1,n})$, $(q_{2,1} x d_{2,n})$, $\dots$, $(q_{n,1} x d_{n,n})$ elemanlarının minörleri 4.2.2. paragrafındaki $[D_{y_1}]$, $[D_{y_2}]$, $[D_{y_n}]$ matrislerinin determinantlarına eşit olduğu saptandığından, G determinantı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$|G| = (-1)^{i+j} (q_{1,1} x d_{1,n}) |D_{y_1}| + (-1)^{i+j} (q_{2,1} x d_{2,n}) |D_{y_2}| + \dots + (-1)^{i+j} (q_{n,1} x d_{n,n}) |D_{y_n}| \quad (4.16a)$$

Buna göre paralel sistemde λ_p devredışı kalma oranı veya arıza oranı,

$$\lambda_p = (-1)^{2^{n+1}} \frac{|G|}{|T|}$$

$$\lambda_p = \frac{(-1)^{i+j} (q_{11} x_{d_{1n}}) |D_{y1}| + (-1)^{i+j} (q_{21} x_{d_{2n}}) |D_{y2}|}{a_{11} |D_{y1}| - a_{21} |D_{y2}| + \dots + (-1)^{i+j} a_{n1} |D_{yn}|} + \frac{(-1)^{i+j} (q_{n1} x_{d_{nn}}) |D_{yn}|}{a_{11} |D_{y1}| - a_{21} |D_{y2}| + \dots + (-1)^{i+j} a_{n1} |D_{yn}|} \quad (4.17)$$

olacaktır ve birimi arıza/yıl dır. Benzer şekilde paralel sistemde r_p onarım süresi, saat olarak

$$r_p = (-1)^{2^{n+1}} \frac{|L|}{|G|} \quad (4.18)$$

$$r_p = \frac{q_{11} |D_{y1}| - q_{21} |D_{y2}| + \dots + (-1)^{i+j} q_{n1} |D_{yn}|}{(-1)^{i+j} (q_{11} x_{d_{1n}}) |D_{y1}| + (-1)^{i+j} (q_{21} x_{d_{2n}}) |D_{y2}| + (-1)^{i+j} (q_{n1} x_{d_{nn}}) |D_{yn}|}$$

elde edilir. Ayrıca seri sistemin devredışı kalma zamanı, saat/yıl olarak

$$U_s = \lambda_s r_s \quad (4.19)$$

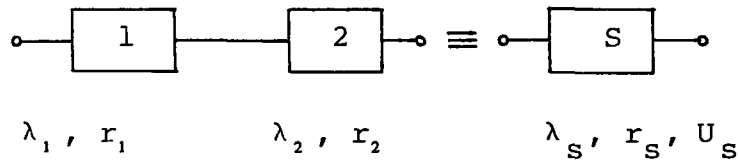
dır. Benzer şekilde paralel sistemin, devredışı kalma zamanı, saat/yıl olarak

$$U_p = \lambda_p r_p \quad (4.20)$$

dir.

4.3.1. İki Elemanlı Bir Sistem İçin Arıza Oranı ve Onarım Süresi

a) İki seri elemanlı sistem



Böyle seri bir sistem için durum geçiş matrisi $[D]$, aşağıdaki gibi yazılsın,

$$[D] = \begin{bmatrix} -\lambda_1 - \lambda_2 & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ \mu_2 & -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ \mu_1 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{bmatrix}$$

Çalışırlık durumu kolon matrisi $[a_s]$ ve arızalı durum kolon matrisi $[q_s]$,

$$[a_s] = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad [q_s] = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{olmak üzere}$$

$[D]$, $[a_s]$ ve $[q_s]$ matrislerinden bu çalışmada paragraf 4.3'de anlatılan durum geçiş matrisi yöntemiyle,

$$[T_s] = \begin{bmatrix} 1 & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ 0 & -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ 0 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{bmatrix}$$

$$[F] = \begin{bmatrix} -\lambda_1 - \lambda_2 & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ 0 & -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ 0 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{bmatrix} \quad [L_s] = \begin{bmatrix} 0 & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ 1 & -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ 1 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ 1 & \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{bmatrix}$$

matrisleri yazılır. $[T_s]$, $[F]$ ve $[L_s]$ matrislerinin birinci kolon elemanlarına göre determinantları sırasıyla,

$$|T_S| = 1 \times \begin{vmatrix} -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{vmatrix}$$

$$|T_S| = -\mu_1 \mu_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) \quad \text{dir.}$$

$$|F| = (-\lambda_1 - \lambda_2) \begin{vmatrix} -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{vmatrix}$$

$$|F| = (-\lambda_1 - \lambda_2) [-\mu_1 \mu_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)]$$

$$|F| = (\lambda_1 + \lambda_2) \mu_1 \mu_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) \quad \text{olur.}$$

$$|L_S| = -1 \times \begin{vmatrix} \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{vmatrix} + 1 \times \begin{vmatrix} \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{vmatrix} - 1 \times \begin{vmatrix} \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \end{vmatrix}$$

$$|L_S| = -\mu_2 \lambda_1 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) - \mu_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) - \lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)$$

$$|L_S| = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) (\mu_2 \lambda_1 + \mu_1 \lambda_2 + \lambda_1 \lambda_2)$$

olacaktır.

$|T_S|$, $|F|$, $|L_S|$ determinantlarından, iki elemanlı seri sistemin λ_s arıza oranı,

$$\lambda_s = -\frac{|F|}{|T_s|} = -\frac{(\lambda_1 + \lambda_2) \mu_1 \mu_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}{-\mu_1 \mu_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}$$

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 \quad \text{arıza/yıl} \quad (4.21)$$

olarak bulunur. Bu eşitlik (3.1) ifadesinin aynısıdır. Seri sistemin devredışı kalma süresi, r_s onarım süresi,

$$r_s = -\frac{|L_s|}{|F|} = -\frac{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)(\mu_2 \lambda_1 + \mu_1 \lambda_2 + \lambda_1 \lambda_2)}{(\lambda_1 + \lambda_2) \mu_1 \mu_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}$$

$\lambda_1, \lambda_2 \ll 1$ olduğu için ihmal edilebilir.

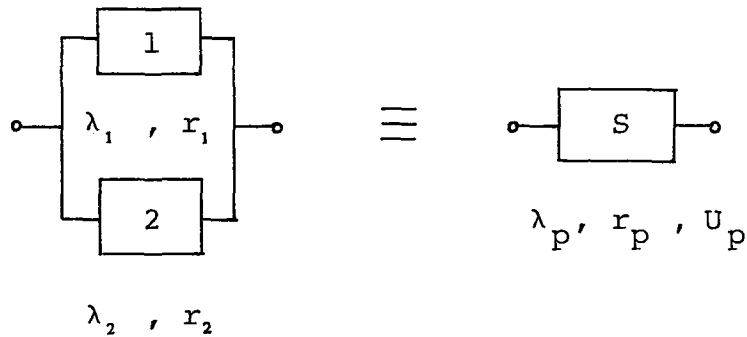
$$r_s = -\frac{\mu_2 \lambda_1 + \mu_1 \lambda_2}{\mu_1 \mu_2 (\lambda_1 + \lambda_2)} = \frac{\frac{\lambda_1}{r_2} + \frac{\lambda_2}{r_1}}{\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{r_1 r_2}}$$

$$r_s = \frac{\lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2}{\lambda_s} \quad \text{saat} \quad (4.22)$$

olacaktır.

(4.22) ifadesi (3.2) ifadesine eşittir.

a) Paralel iki elemanlı sistem için,



$[a_p]$ çalışırlık durumu kolon matrisi ve $[q_p]$ arızalı durum kolon matrisi olmak üzere,

$$[a_p] = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad [q_p] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

değerleri yazılır $[D]$, $[a_p]$, $[q_p]$ matrislerinden faydalanarak,

$$[T_p] = \begin{bmatrix} 1 & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ 1 & -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ 1 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{bmatrix}$$

bu matrisin determinantı,

$$\begin{aligned} |T_p| &= 1x \begin{vmatrix} -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{vmatrix} - 1x \begin{vmatrix} \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{vmatrix} + \\ &+ 1x \begin{vmatrix} \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{vmatrix} \end{aligned}$$

$$|T_p| = -\mu_1 \mu_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) - \mu_2 \lambda_1 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) - \mu_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)$$

$$|T_p| = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) (\mu_1 \mu_2 + \mu_2 \lambda_1 + \mu_1 \lambda_2)$$

dir.

$$[L_p] = \begin{bmatrix} 0 & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ 0 & -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ 0 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \\ 1 & \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{bmatrix}$$

Bu matrisin determinanı,

$$|L_p| = -1 \times \begin{vmatrix} \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & \lambda_1 \\ 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 \end{vmatrix}$$

$$|L_p| = -\lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)$$

olur.

$$[G] = \begin{bmatrix} -\lambda_1 - \lambda_2 & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 \\ \mu_2 & -\mu_2 - \lambda_1 & 0 & 0 \\ \mu_1 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & 0 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 \end{bmatrix}$$

Bu matrisin determinanı ise,

$$|G| = -(\mu_1 + \mu_2) \times \begin{vmatrix} -\lambda_1 - \lambda_2 & \lambda_2 & \lambda_1 \\ \mu_2 & -\mu_2 - \lambda_1 & 0 \\ \mu_1 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 \end{vmatrix}$$

$$|G| = (\mu_1 + \mu_2) \lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) \quad \text{olacaktır.}$$

$|T_p|$, $|L_p|$, $|G|$ determinantlarından, iki elemanlı paralel sistemin λ_p arıza oranı,

$$\lambda_p = \frac{|G|}{|T_p|} = - \frac{(\mu_1 + \mu_2) \lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) (\mu_1 \mu_2 + \mu_2 \lambda_1 + \mu_1 \lambda_2)}$$

$\mu_1, \mu_2 \gg (\lambda_1 \mu_2 + \lambda_2 \mu_1)$ olduğundan

$(\lambda_1 \mu_2 + \lambda_2 \mu_1)$ ihmal edilir.

$$\lambda_p = \frac{\mu_1 + \mu_2}{\mu_1 \mu_2} \lambda_1 \lambda_2 = \frac{(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}) \lambda_1 \lambda_2}{\frac{1}{r_1 r_2}}$$

$$\lambda_p = \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2) \text{ arıza/yıl} \quad (4.23)$$

olur. Sistemin devredışı kalma süresi, r_p onarım süresi,

$$r_p = - \frac{|L_p|}{|G|} = - \frac{-\lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}{(\mu_1 + \mu_2) \lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}$$

$$r_p = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \text{ saat} \quad (4.24)$$

olarak bulunur. (4.23) ve (4.24) ifadeleri sırasıyla eşitlik (3.4) ve (3.5)'in aynısıdır.

4.4. Normal ve Ağır Hava Koşulları Altında Güvenilirlik İndisleri

Paragraf 3.3'de anlatıldığı gibi güvenilirlik indislerinin daha gerçeğe yakın olması için normal ve ağır hava koşulları olarak iki hava koşulu altında indisler bulunmuştur. Burada,

λ_i : Normal hava koşullarında arıza oranı (a/yıl)

λ'_i : Ağır hava koşullarında arıza oranı (a/yıl)

μ_i : Normal hava koşullarında onarım oranı (l/yıl)

μ'_i : Ağır hava koşullarında onarım oranı (l/yıl)

$n = \frac{1}{N}$ burada N, normal hava koşulu ortalama süresi, (saat)

$m = \frac{1}{S}$, S, ağır hava koşulu ortalama süresidir (saat)

Tek bir hava koşulu modelinde tek elemanlı bir sistemin bulunacağı durum sayısı 2 iken, iki hava modelinde durum sayısı iki katı 4'tür. Durum sayıları iki elemanlı sistem için sırasıyla 4 ve 8 olacaktır. Görülüyor ki iki hava koşulu modelinde durum sayısı iki katına çıkmaktadır. Tek elemanlı sistem için paragraf 4.2.1'de verilen kabullere dayanarak, [K] durum matrisi yazılırsa,

$$[K] = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix}$$

olur. Bu matrisin devriği aşağıdaki gibidir.

$$[K]^T = [1 \ 2 \ 0 \ 3]$$

Burada durum matrisinin kolon sayısı, sistemde ki eleman sayısı n ile satır sayısı 2×2^n olarak bulunur. [K] ve K^T matrislerini kullanarak durum geçiş diyagramı,

[K] ^T		1	2	0	3
[K]	1	$-\lambda - n$	n	λ	0
	2	m	$-m - \lambda'$	0	λ'
	0	μ	0	$-\mu - n$	n
	3	0	μ'	m	$-\mu' - m$

şeklinde hazırlanır. Bu sistem için durum olasılıkları aşağıdaki gibi yazılabilir. Durum geçiş matrisi,

$$[D] = \begin{bmatrix} -\lambda - n & n & \lambda & 0 \\ m & -m - \lambda' & 0 & \lambda' \\ \mu & 0 & -\mu - n & n \\ 0 & \mu' & m & -\mu' - m \end{bmatrix}$$

Bu matriste $\mu = \mu'$ olsa buradan durum olasılıkları için,

$$P_1 = \frac{\mu}{(n+m)} \frac{mn + m^2 + \lambda' m + \mu m}{(\lambda + \mu)(\lambda' + \mu) + m(\mu + \lambda) + (\lambda' + \mu')}$$

$$P_2 = \frac{\mu}{(n+m)} \frac{mn + n^2 + \lambda n + \mu n}{(\lambda + \mu)(\lambda' + \mu) + m(\mu + \lambda) + (\lambda' + \mu')}$$

(4.25)

$$P_3 = \frac{1}{(n+m)} \frac{\lambda m^2 + \lambda \lambda' m + \lambda \mu m + \lambda' mn}{(\lambda + \mu)(\lambda' + \mu) + m(\mu + \lambda) + (\lambda' + \mu')}$$

$$P_4 = \frac{1}{(n+m)} \frac{\lambda' n^2 + \lambda \lambda' n + \lambda' \mu n + \lambda mn}{(\lambda + \mu)(\lambda' + \mu) + m(\mu + \lambda) + (\lambda' + \mu')}$$

ifadeleri bulunur. Ağır hava koşulların da onarım yapılmıyorsa, yani $\mu' = 0$ ise ifadeler,

$$P_1 = \frac{1}{(n+m)} \frac{(m + \lambda') m \mu}{\mu(m + \lambda') + \lambda m + n \lambda' + \lambda \lambda'}$$

$$P_2 = \frac{1}{(n+m)} \frac{n m \mu}{\mu(m + \lambda') + \lambda m + n \lambda' + \lambda \lambda'}$$

(4.26)

$$P_3 = \frac{1}{(n+m)} \frac{m(\lambda m + \lambda' n)}{\mu(m + \lambda') + \lambda m + n \lambda' + \lambda \lambda'}$$

$$P_4 = \frac{1}{(n+m)} \frac{\lambda' n \mu + n(\lambda m + \lambda' n)}{\mu(m + \lambda') + \lambda m + n \lambda' + \lambda \lambda'}$$

haline gelir. Aynı sistemin, [a] çalışırılık ve [q] arızalı durum kolon matrisleri,

$$[a] = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad [q] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

olarak yazılabilir. $[a]$, $[q]$ ve $[D]$ matrisleri kullanılarak, çalışırılık durum olasılığı matrisi,

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & n & \lambda & 0 \\ 1 & -m-\lambda' & 0 & \lambda' \\ 0 & 0 & -\mu-n & n \\ 0 & \mu' & m & -\mu' -m \end{bmatrix}$$

arızalı durum olasılığı matrisi,

$$[L] = \begin{bmatrix} 0 & n & \lambda & 0 \\ 0 & -m-\lambda' & 0 & \lambda' \\ 1 & 0 & -\mu-n & n \\ 1 & \mu' & m & -\mu' -m \end{bmatrix}$$

çalışırılık durumu sıklık matrisi,

$$[F] = \begin{bmatrix} -\lambda-n & n & \lambda & 0 \\ m & -m-\lambda' & 0 & \lambda' \\ 0 & 0 & -\mu-n & n \\ 0 & \mu' & m & -\mu' -n \end{bmatrix}$$

olarak yazılabilir. Bütün bu matrislerde $\mu'=0$ alınır,sa,

$$|T| = -m\mu(m+\lambda' +n)$$

$$|F| = m\mu(m\lambda+\lambda\lambda' +\lambda' n)$$

dir.

Buradan, sistemin ortalama devredışı kalma oranı,

$$\lambda_{or} = (-1)^{2+1} \frac{|F|}{|T|} = - \frac{m\mu(m\lambda + \lambda\lambda' + \lambda'n)}{-\mu m(m + \lambda' + n)}$$

$\lambda\lambda' \ll \lambda m + \lambda' n$ ve $\lambda' \ll m + n$ olduğundan yaklaşık

$$\lambda_{or} = \frac{m}{m+n} \lambda + \frac{n}{m+n} \lambda'$$

$$\lambda_{or} = \frac{N}{N+S} \lambda + \frac{S}{N+S} \lambda' \quad (4.27)$$

olarak bulunur. İki elemanlı sistem için [K] durum matrisi 8x2 boyutlu bir matristir. Bu matris,

$$[K] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 2 & 2 \\ 2 & 3 \\ 3 & 2 \\ 3 & 3 \end{bmatrix}$$

olup bunun devriği,

$$[K]^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 2 & 2 & 3 & 3 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 2 & 3 & 2 & 3 \end{bmatrix}$$

olacaktır. [K] durum matrisi yardımıyla durum geçiş diyagramı oluşturulur ve buradan durum geçiş matrisi yazılır. Ancak sistemin eleman sayısı arttıkça yazım açısından kolaylık sağlamak için durum matrisi ve durum geçiş diyagramı sırasıyla alt matrislere ve alt durum geçiş diyagramına ayrılır. Örneğin, iki elemanlı sistem için

yazılan 8x2 boyutunda [K] matrisini aşağıdaki gibi bölelim,

$$[K] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ 2 & 2 \\ 2 & 3 \\ 3 & 2 \\ 3 & 3 \end{bmatrix}$$

[K] matrisi, çizgi çizgi olarak gösterilen yatay eksenle iki alt matrise ayrılır. Bu matris aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[K] = \begin{bmatrix} K_1 \\ \hline K_2 \end{bmatrix}$$

Burada alt matrisler;

$$[K_1] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad [K_2] = \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 2 & 3 \\ 3 & 2 \\ 3 & 3 \end{bmatrix}$$

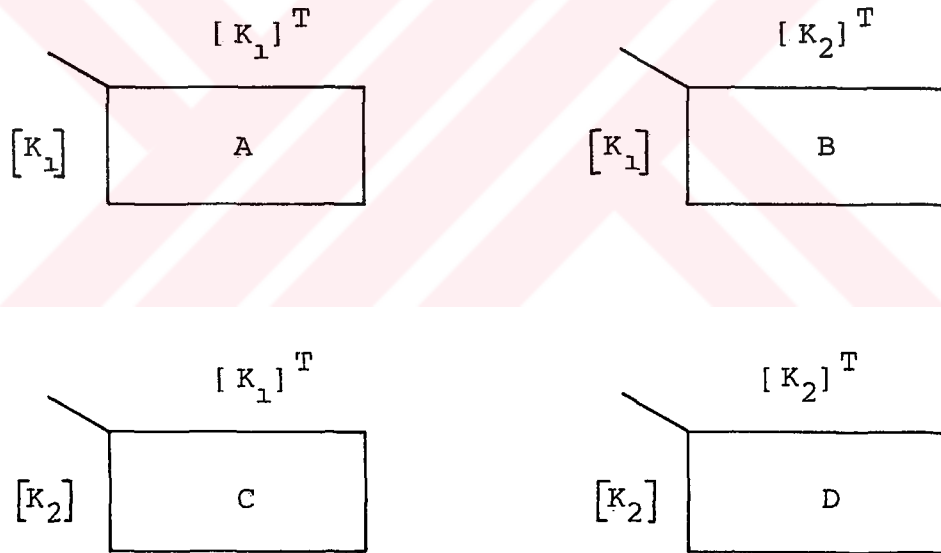
dir. Bu alt matrislerin devriği,

$$[K_1]^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad [K_2]^T = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 3 & 3 \\ 2 & 3 & 2 & 3 \end{bmatrix}$$

olur. 8x2 boyutlu $[K]$ matrisi yardımıyla oluşturulacak durum geçiş diyagramı alt diyagramlarına ayrılmış şekilde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[K] = \begin{bmatrix} [K_1] \\ [K_2] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = [K]^T$$

Burada alt diyagramlar,



olur. Bu alt diyagramlar 4x2 boyutlu $[K_1]$, $[K_2]$ matrisleri için yazılırsa A, B, C, D alt diyagramları sırasıyla,

A		1	1	0	0	Normal hava koşulla- rında oluşan durumlar
		1	0	1	0	

1	1	$d_{1,1}$	λ_2	λ_1	0
1	0	μ_2	$d_{2,2}$	0	λ_1
0	1	μ_1	0	$d_{3,3}$	λ_2
0	0	0	μ_1	μ_2	$d_{4,4}$

Normal hava koşullarında oluşan durumlar

B		2	2	3	3	Ağır hava koşullarında oluşan durumlar
		2	3	2	3	

1	1	n	0	0	0
1	0	0	n	0	0
0	1	0	0	n	0
0	0	0	0	0	n

Normal hava koşullarında oluşan durumlar

C		1	1	0	0	Normal hava koşulla- rında oluşan durumlar
		1	0	1	0	

2	2	m	0	0	0
2	3	0	m	0	0
3	2	0	0	m	0
3	3	0	0	0	m

Ağır hava koşullarında oluşan durumlar

D		2	2	3	3	Ağır hava koşullarında oluşan durumlar
		2	3	2	3	
2	2	d_{55}	λ'_2	λ'_1	0	
2	3	μ'_2	d_{66}	0	λ'_1	
3	2	μ'_1	0	d_{77}	λ'_2	
3	3	0	μ'_1	μ'_2	d_{88}	

Ağır hava koşullarında oluşan durumlar

Bu alt diyagramlar birleştirilerek durum geçiş diyagramı aşağıdaki gibi yazılabilir.

		1	1	0	0	2	2	3	3
		1	0	1	0	2	3	2	3
1	1	d_{11}	λ_2	λ_1	0	n	0	0	0
1	0	μ_2	d_{22}	0	λ_1	0	n	0	0
0	1	μ_1	0	d_{33}	λ_2	0	0	n	0
0	0	0	μ_1	μ_2	d_{44}	0	0	0	n
2	2	m	0	0	0	d_{55}	λ'_2	λ'_1	0
2	3	0	m	0	0	μ'_2	d_{66}	0	λ'_1
3	2	0	0	m	0	μ'_1	0	d_{77}	λ'_2
3	3	0	0	0	m	0	μ'_1	μ'_2	d_{88}

Bu durum geçiş diyagramındaki $d_{11}, d_{22}, \dots, d_{88}$

köşegen elemanları, her köşegen elemanına ait satır elemanlarının toplamının negatif işaretlisi alınarak elde edilir. Buradan iki hava koşulunda iki elemanlı bir sistem için durum geçiş matrisi,

$$[D] = \begin{bmatrix} -\lambda_1 - \lambda_2 - n & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 & n & 0 & 0 & 0 \\ \mu_2 & -\mu_2 - \lambda_1 - n & 0 & \lambda_1 & 0 & n & 0 & 0 \\ \mu_1 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 - n & \lambda_2 & 0 & 0 & n & 0 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 - n & 0 & 0 & 0 & n \\ m & 0 & 0 & 0 & -\lambda_1' - \lambda_2' - m & \lambda_2' & \lambda_1' & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & \mu_2' & -\lambda_1' - \mu_2' - m & 0 & \lambda_1' \\ 0 & 0 & m & 0 & \mu_1' & 0 & -\lambda_2' - \mu_1' - m & \lambda_2' \\ 0 & 0 & 0 & m & 0 & \mu_1' & \mu_2' & -\mu_1' - \mu_2' - m \end{bmatrix}$$

olarak yazılabilir.

Tablo 4.2 ve tablo 4.3'de sırasıyla ağır hava koşullarında onarım işleminin yapılması ve yapılmaması durumları için, üç ve iki paralel elemanlı sistemin, ağır hava da oluşan arıza yüzdelilerine göre sistem arıza oranları verilmiştir. Ayrıca tablo 4.4 ve tablo 4.5'de iki ve üç paralel elemanlı sistem için sistem arıza oranları da gösterilmiştir. Şekil 4.2'de 7,5 saat'lik bir onarım süresi için iki ve üç paralel elemanlı sistemde, sistem arıza oranının ağır hava da oluşan arıza yüzdesi ile değişimi de görülmektedir. Şekil 4.3'de ise değişik onarım süreleri için, sistem arıza oranındaki değişimler, şekil 4.4'de ise değişik onarım süreleri ve ağır hava'da onarım yapılmaması durumunda, sistem arıza oranının değişimi iki ve üç paralel elemanlı sistemler için çizilmiştir. Şekil 4.5'de ağır havanın değişik sürelerinin, iki ve üç paralel elemanlı sistemin arıza oranına etkileri açıkça görülmektedir. Şekil 4.6'da ise, iki, üç ve dört paralel elemanlı sistemde değişik eleman arıza oranlarının, sistem arıza oranında yaptığı değişim görülebilir. Tablo 4.6, tablo 4.7, tablo 4.8 ve tablo 4.9'da ağır hava da onarım yapılması veya yapılmaması durumları için iki ve üç paralel elemanlı sistemler'de,

Tablo 4.2. Üç Paralel Elemanlı Sistem İçin Devredışı Kalma Oranı (Ağır Hava Koşulunda Onarım Var İken)

Ort. Arıza Oranı=0,5 a/yıl S=1,5 saat N=200 saat			
Ağır Havadaki Arıza %	Onarım Süresi saat	Devredışı Kalma Oranı (1x10E-07)	
		Markov Yöntemi	Durum Geçiş Matrisi Yöntemi
10	2,5	1,5	1,55
	7,5	6,1	6,23
	12,5	12,64	13,01
20	2,5	9,95	10
	7,5	26,03	28,1
	12,5	39,61	41,1
30	2,5	31,98	32,06
	7,5	75,95	76
	12,5	104,8	105
40	2,5	74,2	74,7
	7,5	169,2	170,9
	12,5	224	223,9
50	2,5	143	144,5
	7,5	318,9	319,4
	12,5	413,3	415,4
60	2,5	244,8	246,7
	7,5	537,78	537,9
	12,5	687,3	688,5
70	2,5	385,8	386,7
	7,5	838,42	839,5
	12,5	1476,6	1500
80	2,5	527,3	528,1
	7,5	1233,1	1235
	12,5	1549	1551
90	2,5	810,3	811
	7,5	1733,9	1735,8
	12,5	2166,4	2166,9

Tablo 4.3. İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Devredışı Kalma Oranı (Ağır Hava Koşulunda Onarım Var İken)

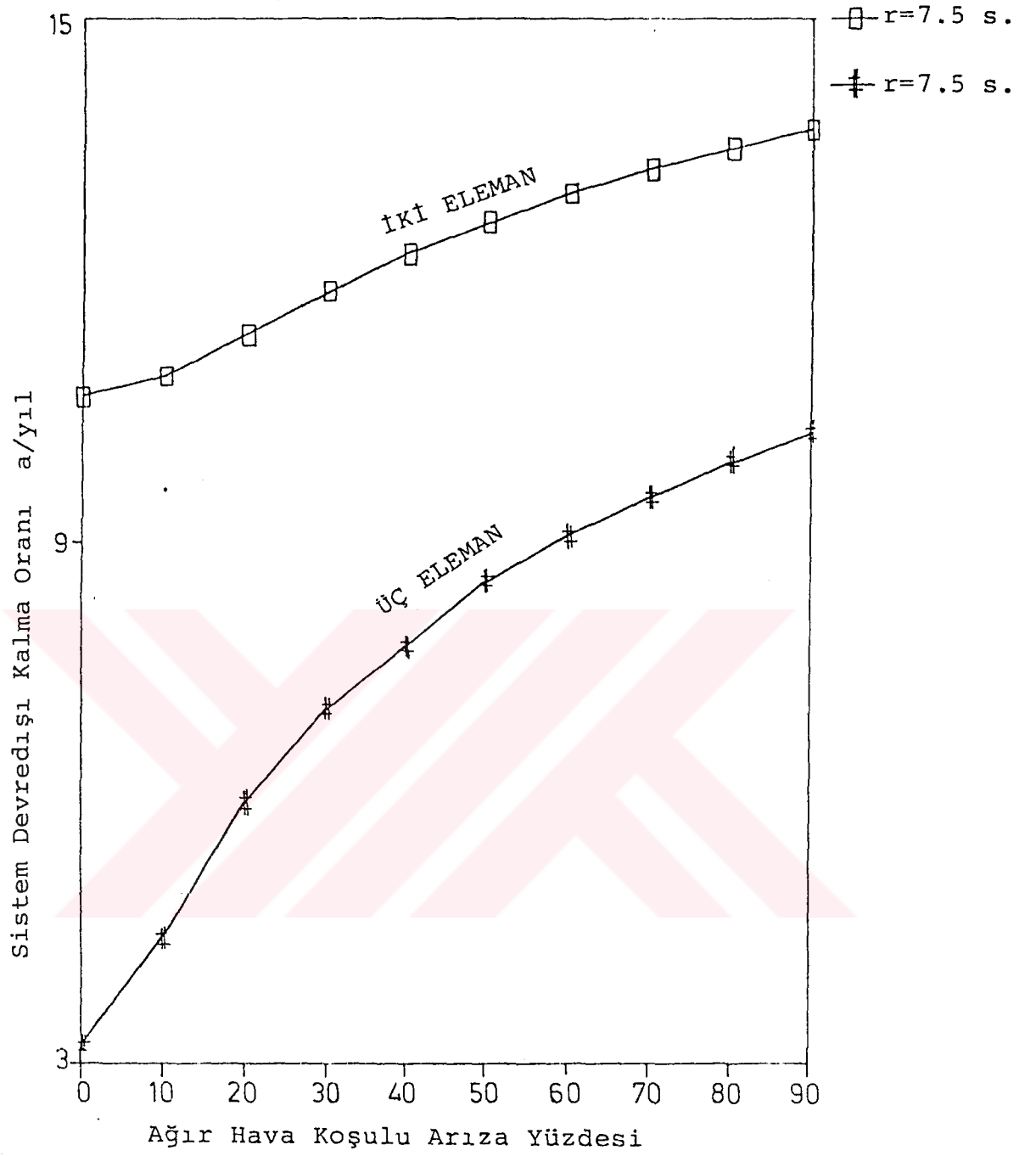
Ort. Arıza Oranı=0,5 a/yıl S=1,5 saat N=200 saat			
Ağır Havadaki Arıza %	Onarım Süresi saat	Devredışı Kalma Oranı (1×10^{-6})	
		Markov Yöntemi	Durum Geçiş Matrisi Yöntemi
0	2,5	143	143
	7,5	430	430
	12,5	718	718
10	2,5	150	206
	7,5	470	489
	12,5	789,9	735
20	2,5	387,8	414,3
	7,5	719,6	763,4
	12,5	1067	1027,5
30	2,5	711,5	764,2
	7,5	1203	1221
	12,5	1588	1511
40	2,5	1257	1257
	7,5	1883	1863
	12,5	2283	2187
50	2,5	1842	1889
	7,5	2668	2689
	12,5	3119	3055
60	2,5	2601	2665
	7,5	3707	3700
	12,5	4214	4114
70	2,5	3533	3583
	7,5	4934	4895
	12,5	5518	5365
80	2,5	4547	4643
	7,5	6272	6273
	12,5	6985	6808
90	2,5	5764	5844
	7,5	7826	7837
	12,5	8670	8442

Tablo 4.4. İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Devredışı Kalma Oranı (Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok İken)

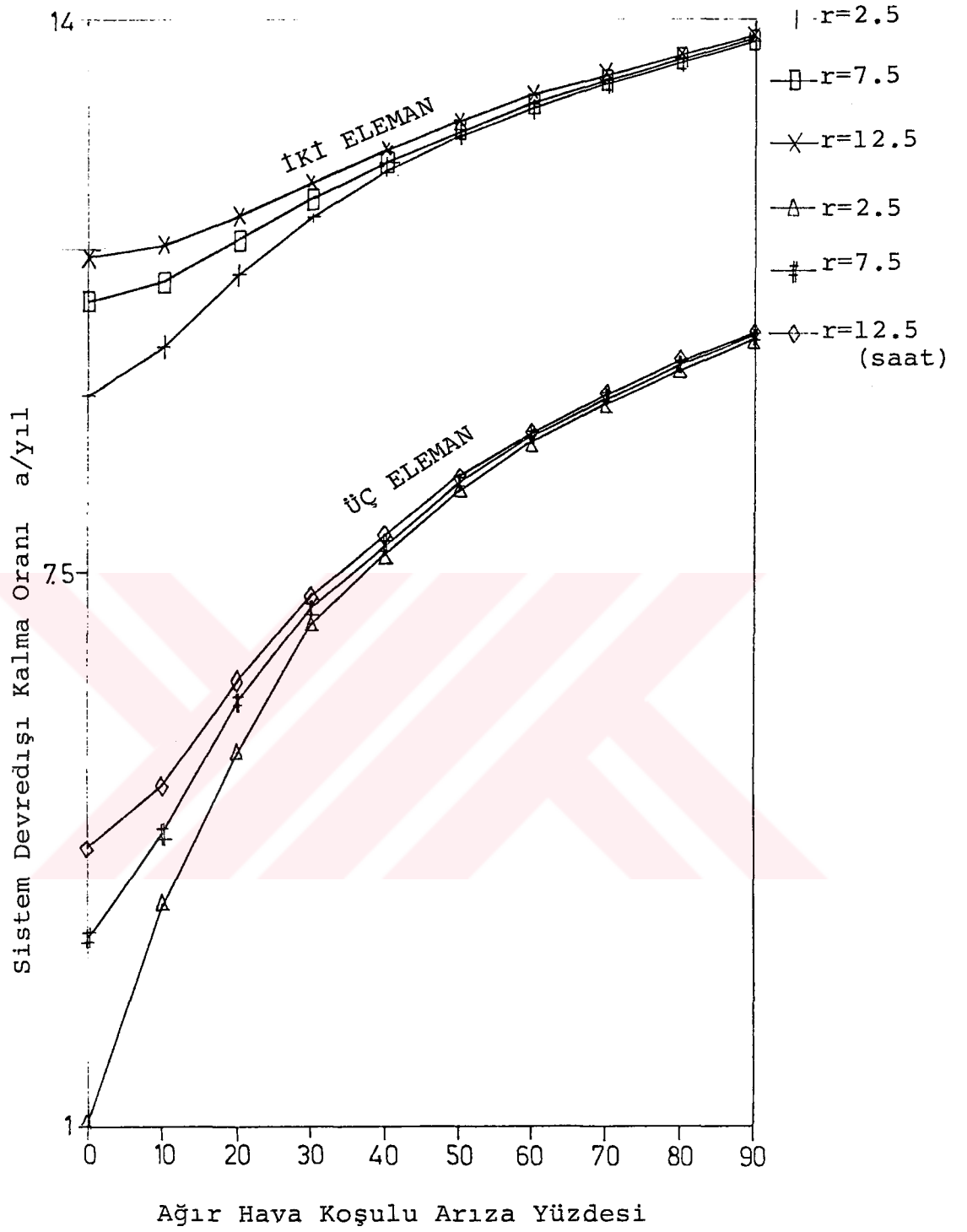
Ort. Arıza Oranı=0,5 a/yıl S=1,5 saat N=200 saat				
Ağır Havadaki Arıza %	Onarım Süresi saat	Devredışı Kalma Oranı (1x10E-03)		
		Markov Yöntemi	Durum Geçiş Matrisi Yöntemi	Yaklaşıklık Yöntemi
0	2,5	0,143	0,143	0,143
	7,5	0,429	0,429	0,431
	12,5	0,715	0,715	0,718
10	2,5	0,258	0,253	0,257
	7,5	0,544	0,539	0,542
	12,5	0,830	0,825	0,826
20	2,5	0,600	0,589	0,598
	7,5	0,886	0,874	0,874
	12,5	1,172	1,159	1,150
30	2,5	1,167	1,147	1,166
	7,5	1,452	1,430	1,427
	12,5	1,736	1,713	1,738
40	2,5	1,956	1,922	1,960
	7,5	2,240	2,203	2,202
	12,5	2,524	2,485	2,443
50	2,5	2,967	2,917	2,983
	7,5	3,249	3,196	3,200
	12,5	3,530	3,475	3,414
60	2,5	4,196	4,124	4,232
	7,5	4,477	4,401	4,416
	12,5	4,757	4,677	4,600
70	2,5	5,640	5,542	5,710
	7,5	5,919	5,817	5,855
	12,5	6,198	6,091	6,002
80	2,5	7,299	7,173	7,410
	7,5	7,575	7,444	7,516
	12,5	7,850	7,714	7,620
90	2,5	9,170	9,013	9,340
	7,5	9,444	9,281	9,397
	12,5	9,718	9,549	9,451

Tablo 4.5. Üç Paralel Elemanlı Sistem İçin Devredışı Kalma Oranı (Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok İken)

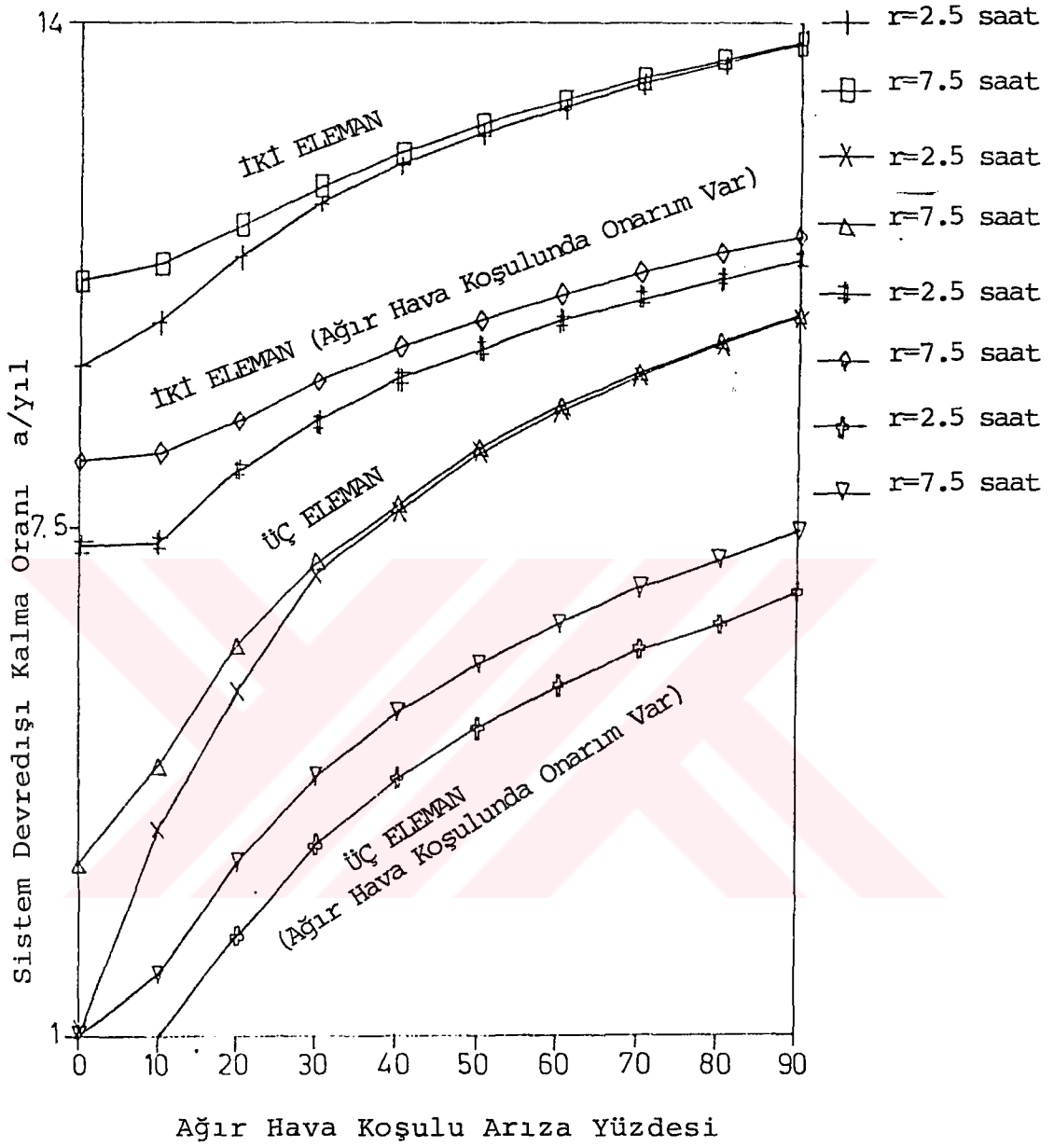
Ort. Arıza Oranı=0,5 a/yıl S=1,5 saat N=200 saat				
Devredışı Kalma Oranı (1x10E-07)				
Ağır Havadaki Arıza %	Onarım Süresi saat	Markov Yöntemi	Durum Geçiş Matrisi Yöntemi	Yaklaşıklık Yöntemi
0	2,5	0,308	0,295	0,300
	7,5	2,774	2,522	2,612
	12,5	7,699	7,300	6,995
10	2,5	4,980	3,900	3,470
	7,5	8,930	8,700	6,940
	12,5	15,330	14,890	12,800
20	2,5	34,530	22,920	23,300
	7,5	42,860	40,300	29,300
	12,5	53,630	50,690	37,610
30	2,5	111,800	100,910	75,330
	7,5	127,300	118,450	84,700
	12,5	145,300	136,460	96,210
40	2,5	258,700	221,530	175,100
	7,5	284,200	244,330	188,050
	12,5	312,380	284,200	202,800
50	2,5	497,300	478,130	338,100
	7,5	535,400	519,120	354,100
	12,5	575,800	557,720	371,700
60	2,5	848,400	823,860	579,900
	7,5	901,800	876,040	597,800
	12,5	957,400	931,490	616,900
70	2,5	1332	1300	916
	7,5	1403	1372	933,900
	12,5	1476	1440	952,270
80	2,5	1968	1967	1361,90
	7,5	2059	2053	1377,30
	12,5	2152	2150	1393,30
90	2,5	2777	2740	1933,30
	7,5	2890	2848	1942,90
	12,5	3006	2965	1952,80



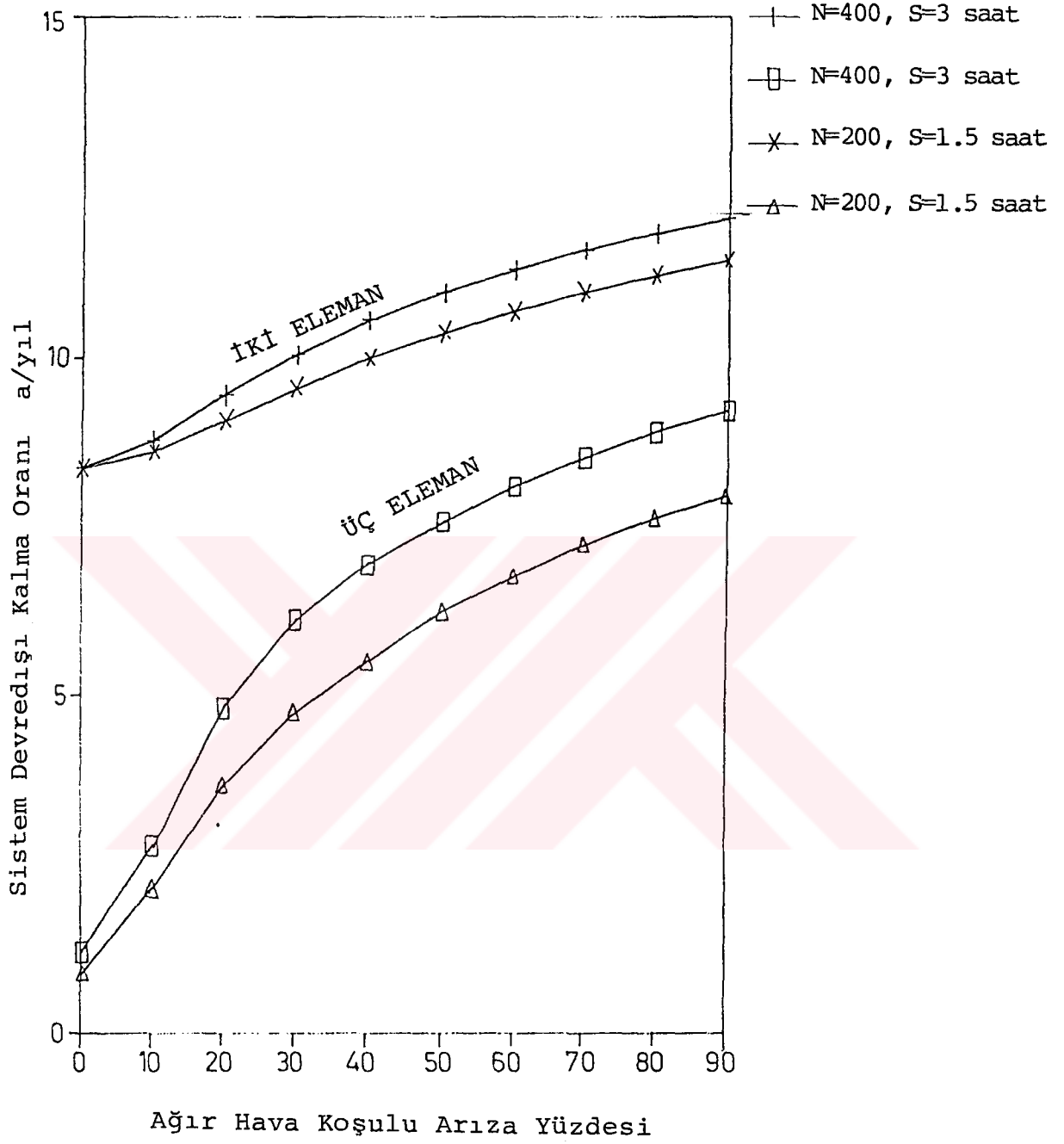
Şekil 4.2. Ağır Hava Koşulunda Oluşan Arızaların Sistem Devredışı Kalmasına Etkisi.



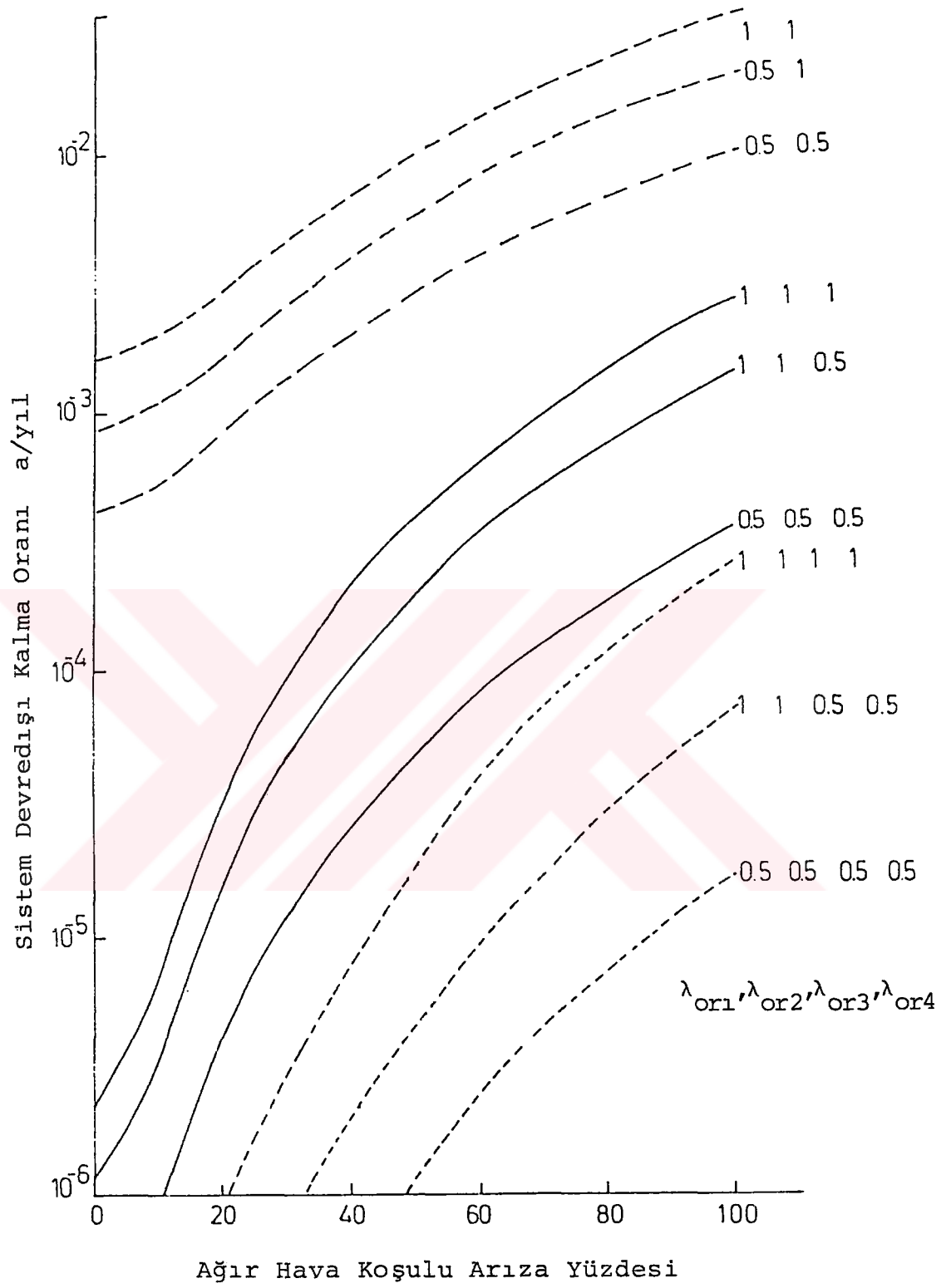
Şekil 4.3. Değişik Onarım Sürelerinin Sistem Devredışı Kalmasına Etkisi.



Şekil 4.4. Ağır Hava Koşulunda Onarım Olup Olmamasının Sistem Devredışı Kalmasına Etkisi.



Şekil 4.5. Ağır Hava Süresinin Devredışı Kalmaya Etkisi.



Şekil 4.6. Eleman Arıza Oranının Değişiminin Sistem Arıza Oranındaki Etkileri.
(Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok)

Tablo 4.6. İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Onarım Süresi
(Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok İken)

Ort. Arıza Oranı=0,5 a/yıl		S=1,5 saat		N=200 saat	
Ağır Havadaki Arıza %	Onarım Süresi saat	Devredışı Kalma Süresi (saat)			Yaklaşıklık Yöntemi
		Markov Yöntemi	Durum Geçiş Matrisi Yöntemi	Yaklaşıklık Yöntemi	
0	2,5	1,259	1,262	1,240	
	7,5	3,778	3,780	3,740	
	12,5	6,297	6,301	6,245	
10	2,5	2,009	2,019	2,006	
	7,5	4,212	4,229	4,204	
	12,5	6,633	6,659	6,631	
20	2,5	2,472	2,506	2,470	
	7,5	4,695	4,745	4,690	
	12,5	7,063	7,128	7,060	
30	2,5	2,631	2,673	2,620	
	7,5	4,968	5,038	4,960	
	12,5	7,365	7,460	7,350	
40	2,5	2,694	2,739	2,680	
	7,5	5,106	5,186	5,090	
	12,5	7,542	7,655	7,530	
50	2,5	2,723	2,770	2,710	
	7,5	5,180	5,266	5,170	
	12,5	7,646	7,770	7,630	
60	2,5	2,739	2,786	2,730	
	7,5	5,221	5,310	5,220	
	12,5	7,707	7,838	7,700	
70	2,5	2,748	2,796	2,740	
	7,5	5,246	5,337	5,230	
	12,5	7,745	7,880	7,740	
80	2,5	2,754	2,802	2,750	
	7,5	5,261	5,354	5,250	
	12,5	7,770	7,907	7,740	
90	2,5	2,757	2,805	2,750	
	7,5	5,271	5,365	5,260	
	12,5	7,786	7,925	7,760	

Tablo 4.7. İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Onarım Süresi
(Ağır Hava Koşulunda Onarım Var İken)

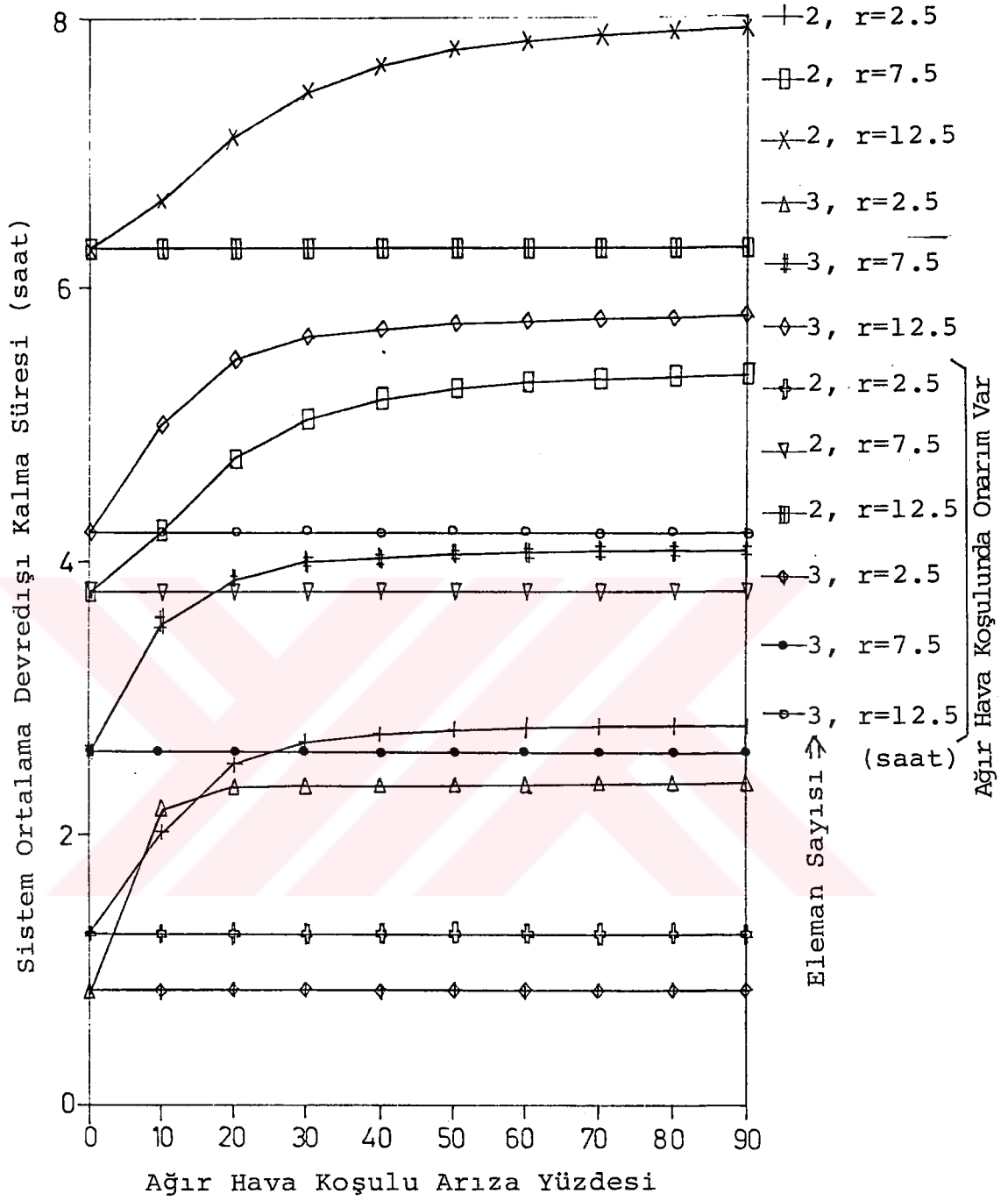
Ort. Arıza Oranı=0,5 a/yıl S=1,5 saat N=200 saat			
Ağır Havadaki Arıza %	Onarım Süresi saat	Onarım Süresi (saat)	
		Markov Yöntemi	Durum Geçiş Matrisi Yöntemi
0	2,5	1,250	1,250
	7,5	3,751	3,750
	12,5	6,253	6,250
10	2,5	1,250	1,250
	7,5	3,751	3,750
	12,5	6,253	6,250
20	2,5	1,250	1,250
	7,5	3,751	3,750
	12,5	6,253	6,250
30	2,5	1,250	1,250
	7,5	3,751	3,750
	12,5	6,253	6,250
40	2,5	1,250	1,250
	7,5	3,751	3,750
	12,5	6,253	6,250
50	2,5	1,250	1,250
	7,5	3,751	3,750
	12,5	6,253	6,250
60	2,5	1,250	1,250
	7,5	3,751	3,750
	12,5	6,253	6,250
70	2,5	1,250	1,250
	7,5	3,751	3,750
	12,5	6,253	6,250
80	2,5	1,250	1,250
	7,5	3,751	3,750
	12,5	6,253	6,250
90	2,5	1,250	1,250
	7,5	3,751	3,750
	12,5	6,253	6,250

Tablo 4.8. Üç Paralel Elemanlı Sistem İçin Onarım Süresi
(Ağır Hava Koşulunda Onarım Var İken)

Ort. Arıza Oranı=0,5 a/yıl S 1,5 saat N 200 saat			
Ağır Havadaki Arıza %	Onarım Süresi saat	Onarım Süresi (saat)	
		Markov Yöntemi	Durum Geçiş Matrise Yöntemi
0	2,5	0,833	0,833
	7,5	2,500	2,500
	12,5	4,166	4,167
10	2,5	0,833	0,833
	7,5	2,500	2,500
	12,5	4,166	4,167
20	2,5	0,833	0,833
	7,5	2,500	2,500
	12,5	4,166	4,167
30	2,5	0,833	0,833
	7,5	2,500	2,500
	12,5	4,166	4,167
40	2,5	0,833	0,833
	7,5	2,500	2,500
	12,5	4,166	4,167
50	2,5	0,833	0,833
	7,5	2,500	2,500
	12,5	4,166	4,167
60	2,5	0,833	0,833
	7,5	2,500	2,500
	12,5	4,166	4,167
70	2,5	0,833	0,833
	7,5	2,500	2,500
	12,5	4,166	4,167
80	2,5	0,833	0,833
	7,5	2,500	2,500
	12,5	4,166	4,167
90	2,5	0,833	0,833
	7,5	2,500	2,500
	12,5	4,166	4,167

Tablo 4.9. Üç Paralel Elemanlı Sistem İçin Onarım Süresi
(Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok İken)

Ort. Arıza Oranı=0,5 a/yıl		S=1,5 saat		N=200 saat
Ağır Havadaki Arıza %	Onarım Süresi saat	Onarım Süresi (saat)		
		Markov Yöntemi	Durum Geçiş Matrisi Yöntemi	Yaklaşıklık Yöntemi
0	2,5	0,839	0,840	0,829
	7,5	2,518	2,616	2,508
	12,5	4,197	4,218	4,180
10	2,5	2,189	2,296	2,109
	7,5	3,487	3,558	3,477
	12,5	4,910	5,001	4,800
20	2,5	2,294	2,350	2,280
	7,5	3,858	3,870	3,810
	12,5	5,415	5,480	5,401
30	2,5	2,316	2,354	2,305
	7,5	3,941	4,003	3,939
	12,5	5,563	5,647	5,550
40	2,5	2,325	2,363	2,314
	7,5	3,973	4,034	3,965
	12,5	5,620	5,705	5,571
50	2,5	2,330	2,370	2,326
	7,5	3,989	4,058	3,978
	12,5	5,649	5,745	5,637
60	2,5	2,333	2,374	2,321
	7,5	3,999	4,069	3,982
	12,5	5,666	5,765	5,650
70	2,5	2,335	2,376	2,323
	7,5	4,006	4,077	4,001
	12,5	5,678	5,777	5,667
80	2,5	2,337	2,378	2,326
	7,5	4,011	4,082	4,006
	12,5	5,686	5,787	5,675
90	2,5	2,338	2,379	2,329
	7,5	4,015	4,086	4,008
	12,5	6,692	5,794	5,680



Şekil 4.7. Ağır Hava Koşulunda Onarım Yapılıp Yapılmamasının, Değişik Onarım Süreleri için Sistemin Devredışı Kalma Süresine Etkisi.

devredışı kalma süreleri hesaplamıştır. Bu bölüm'deki tablolar'da, Markov, yaklaşıklık ve durum geçiş matrisi yöntemleri için sonuçlar verilmiştir. Bu tablolar'da verilen değerler ve çizilmiş olan eğriler, sonuçlar bölümünde ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Ağır hava koşullarında onarım yapılıp yapılmaması durumu için, değişik eleman onarım sürelerinde, sistemin devredışı kalma sürelerinin değişimi şekil 4.7'de çizilmiştir. Şekil 4.5 için değerler tablo 4.10 ve tablo 4.11'den alınmıştır. Seri ve paralel elemanlar'dan oluşmuş bir sistem'de seri elemanın sistemin arıza oranına etkisi şekil 4.8'de görülmektedir.

4.5. Bakım, Geçici ve Bağlantı Devredışı Kalma Değerlerinin Saptanması

4.5.1. Giriş

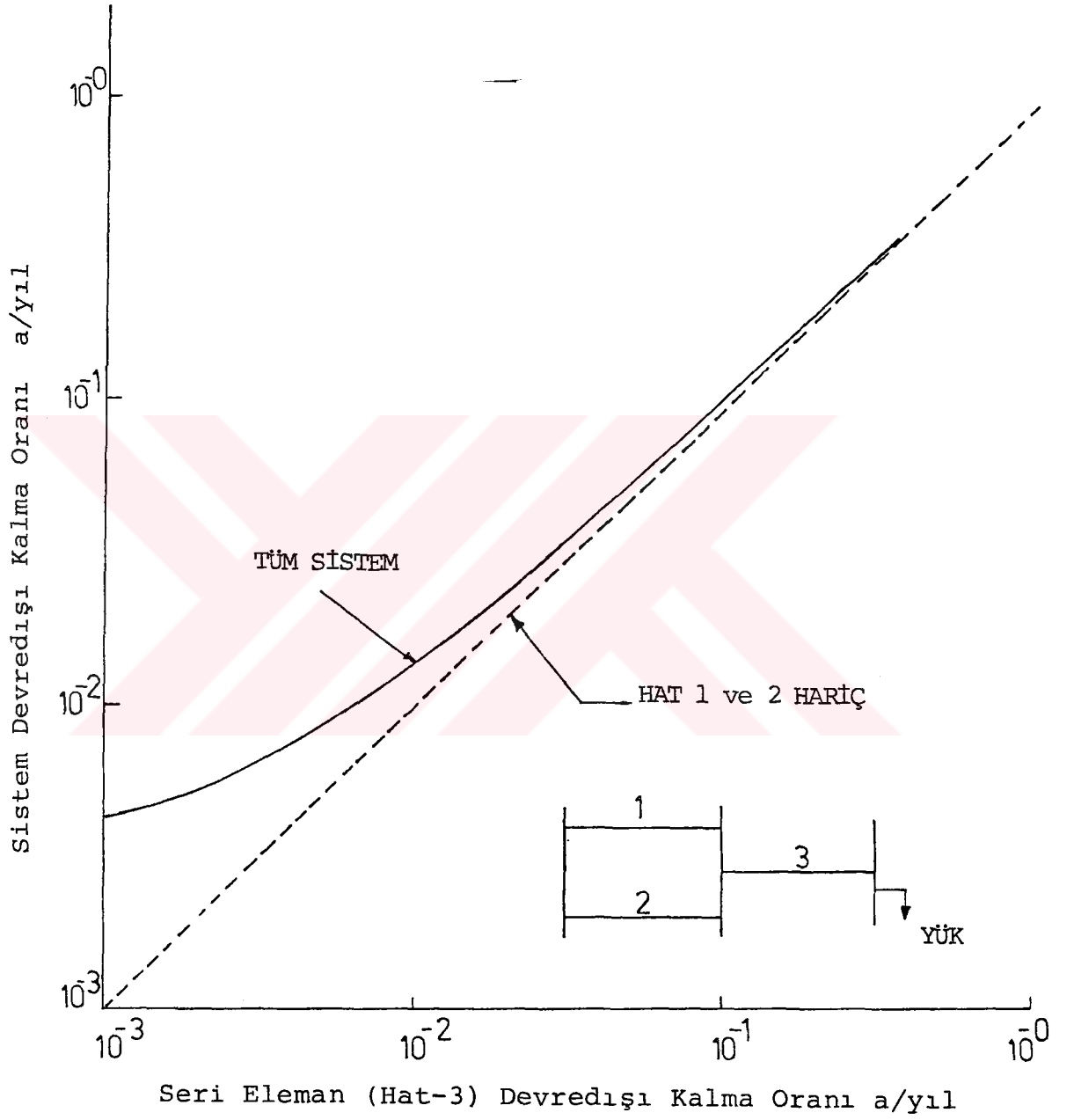
Bakım devredışı kalmaların karakteri temel olarak zorlanmış devredışı kalmalardan farklıdır. Güç sistemi elemanları periyodik yenileme ve bakım için servis dışına alınmalıdır. Bakımdaki amaç olası bir arızayı önlemektir. Bundan dolayı bakım zorunlu bir işlemdir. Bir elemanın sistemden ayrılması, arıza olsun olmasın sistemdeki yük düzeyine de bağlıdır. Geçici devredışı kalmalar oldukça önemlidir. Çünkü geçici enerji kesilmelerinin tüketici şikayetlerine neden olduğu bilinir. Sürekli çalışma zorunluluğu olan bir çok endüstri de, bir anlık devredışı kalma bile ağır bir ekonomik kayıpla sonuçlanan üretim zararına neden olabilir. Geçici ve sürekli devredışı kalmalar arasında ki fark devredışı kalma süresine göre değerlendirilir. Oluşan bir arıza otomatik bir anahtarlama ile yok edilebiliyorsa bu arıza bir geçici arıza olarak adlandırılır.

Tablo 4.10. İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Devredışı Kalma Oranının Uzun Hava Koşulundaki Değeri (Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok İken)

Ort. Arıza Oranı=0,5 a/yıl S=3 saat N=400 saat			
Ağır Havadaki Arıza %	Onarım Süresi saat	Devredışı Kalma Oranı (1x10E-03)	
		Markov Yöntemi	Durum Geçiş Matrisi Yöntemi
0	7,5	0,429	0,429
10	7,5	0,658	0,649
20	7,5	1,336	1,301
30	7,5	2,453	2,379
40	7,5	4,001	3,871
50	7,5	5,973	5,773
60	7,5	8,361	8,079
70	7,5	11,151	10,768
80	7,5	14,340	13,846
90	7,5	17,922	17,303

Tablo 4.11. Üç Paralel Elemanlı Sistem İçin Devredışı Kalma Oranının Uzun Hava Koşulundaki Değeri (Ağır Hava Koşulunda Onarım Yok İken)

Ort. Arıza Oranı=0,5 a/yıl S=3 saat N=400 saat			
Ağır Havadaki Arıza %	Onarım Süresi saat	Devredışı Kalma Oranı (1x10E-03)	
		Markov Yöntemi	Durum Geçiş Matrisi Yöntemi
0	7,5	2,774	9,365
10	7,5	22,820	16,108
20	7,5	143,60	125,140
30	7,5	452,40	442,880
40	7,5	1031	1003,3
50	7,5	1959	1893,3
60	7,5	3309	3202
70	7,5	5147	4959
80	7,5	7544	7285
90	7,5	10560	10193



Şekil 4.8. Seri-Paralel Bir Sistemde Seri Elemanın Arıza Oranına Etkisi.
(Ağır Havada Onarım Yok İken)

Bağlantı nedenli devredışı kalmalar da, bakım devredışı kalmalar gibi programlanabilir devredışı kalmalardır. Ayrıca bağlantı devredışı kalmalar bakım devredışı kalmalar gibi periyodik olmayıp, arz ve talep kanunlarına da bağlıdır. Böylece bağlantı devredışı kalma olayı tüketicilerin gereksinimleri olan elektrik enerjisinin sağlanmasının bir sonucudur diyebiliriz. Bağlantı işlevi sistem yapısında bir değişiklik yapacağından sistemin güvenilirlik indislerinde olumlu veya olumsuz değişiklikler yapabilir. Var olan sisteme yeni bir elektrik santrali bağlantısı sonrası sistemin yük barası güvenirlilik indislerinde olumlu bir değişiklik yapması yanında, sisteme yeni bir yük barası bağlanması durumunda bu değişim olumsuz olabilir. Sisteme yeni bir bağlantı yapılırken, sistemin yük düzeyi de dikkate alınmalıdır.

4.5.2. Bakım ve Bağlantı Çalışmaları ile İlgili Kabuller

Sürekli devredışı kalma hesabı için yapılan kabullere ek olarak, bakım ve bağlantı devredışı kalmalarının hesabında aşağıdaki kabullere gereksinim vardır.

- 1) Sistemin ilgili kısmında bir çok devredışı kalma var ise, bakım ve bağlantı çalışması yapılamaz.
- 2) Bakım ve bağlantı çalışmaları normal hava koşullarında yapılmalıdır. Zorunlu durumlarda bakım işlemi normal hava koşulları dışında da yapılabilir. Zorunlu değilse bakım ve bağlantı çalışmaları tamamlanmadan önce, ağır hava koşulu oluşacağı umuluyorsa çalışmalar durdurulur.
- 3) Bakım ve bağlantı devredışı kalmaları ile ilgili parametreler üstel olarak dağılım gösterir. Bu son kabul, güvenilirlik hesabı için zorunlu değildir.

4.5.3. Elemanların Sürekli Devredışı Kalmalarıyla Çakışan Elemanların Bakım Devredışı Kalmaları

λ_i : i. elemanın normal hava koşulunda ki arıza oranı
(arıza/yıl)

λ_i'' : i. elemanın bakım devredışı kalma oranı
(bakım/yıl)

μ_i : i. elemanın ortalama onarım oranı = $\frac{1}{r_i}$ (1/yıl)

μ_i'' : i. elemanın ortalama bakım oranı = $\frac{1}{r_i''}$ (1/yıl)

r_i : i. elemanın ortalama onarım süresi (saat)

r_i'' : i. elemanın ortalama bakım süresi (saat)

Sürekli devredışı kalmalar ve bakım devredışı kalmaların çakışması durumunda iki elemanlı bir sistem için [K] durum matrisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[K] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 2 & 2 \\ 2 & 3 \\ 3 & 2 \\ 3 & 3 \\ 1 & 4 \\ 0 & 4 \\ 4 & 1 \\ 4 & 0 \end{bmatrix}$$

Normal hava koşullarında
oluşan durumlar

Ağır hava koşullarında
oluşan durumlar

Normal hava koşullarında
oluşan bakım devredışı
kalma durumları

Yukarıdaki durum matrisi, durum geçiş diyagramında yerine koyularak iki elemanlı paralel sistem için durum geçiş matrisi elde edilir. Bu matris 12x12 boyutunda bir matristir. Bu arıza biçiminde 12 durum vardır. [D] durum geçiş matrisini, durum geçiş diyagramını dokuz eşit alt diyagrama bölerek bulabiliriz. İlk önce [K] matrisi alt matrislerine ayrılır.

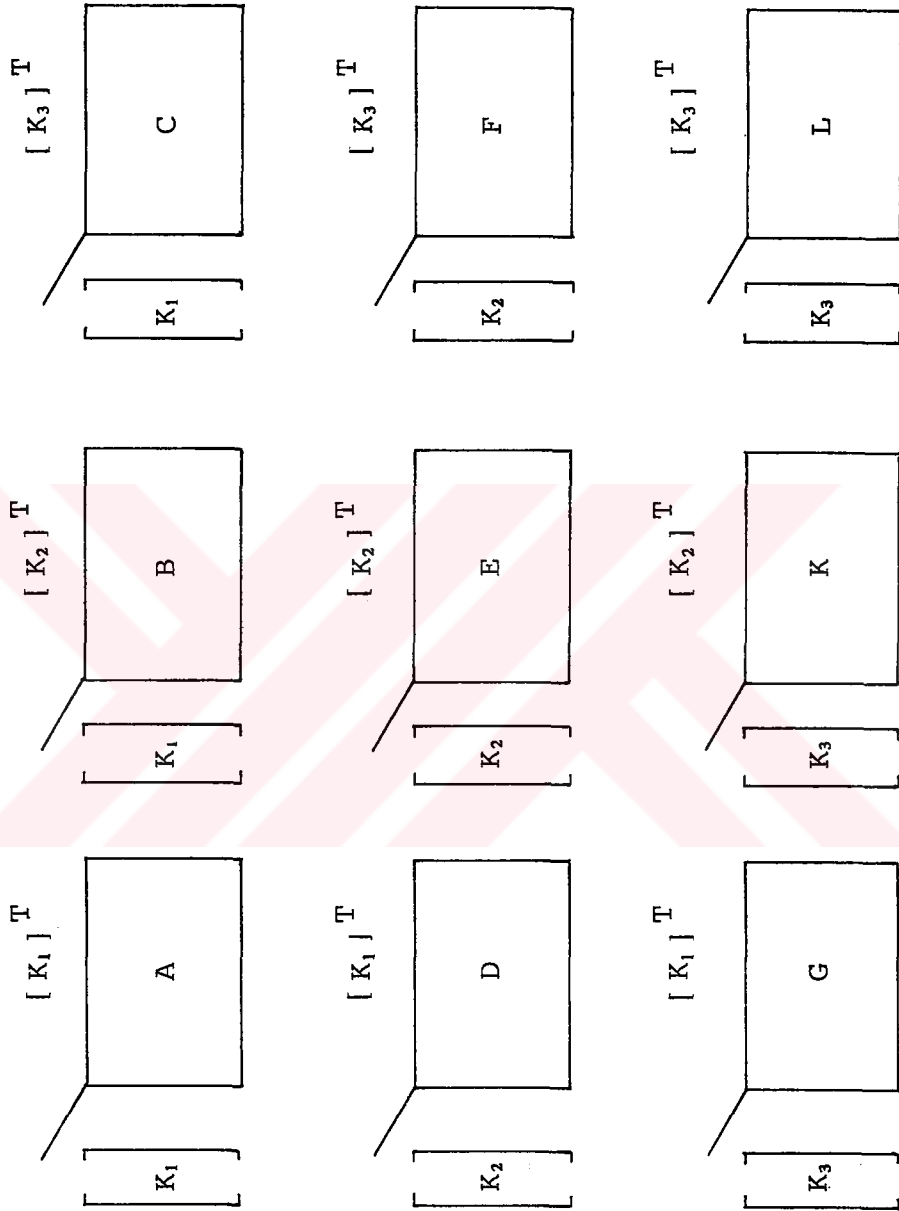
$$[K] = \begin{bmatrix} K_1 \\ \dots \\ K_2 \\ \dots \\ K_3 \end{bmatrix}$$

Burada, 4x2 boyutlu K_1 , K_2 , K_3 matrisleri [K] matrisinin alt matrisidir. Aynı şekilde durum geçiş diyagramı da alt diyagramlarına ayrılır.

$$\begin{bmatrix} K_1 & K_2 & K_3 \end{bmatrix} = [K]^T$$

$$[K] = \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & K & L \end{bmatrix}$$

Böylece durum geçiş diyagramı A, B, C, D, E, F, G, K, L gibi dokuz adet eşit alt diyagrama bölünmüştür. Burada alt diyagramlar,



olur. Bu alt diyagramlar 4×2 boyutlu $[K_1]$, $[K_2]$, $[K_3]$, matrisleri için yazılırsa,

$$[K_1] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad [K_2] = \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 2 & 3 \\ 3 & 2 \\ 3 & 3 \end{bmatrix}, \quad [K_3] = \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 0 & 4 \\ 4 & 1 \\ 4 & 0 \end{bmatrix}$$

Bu matrislerin devrikleri;

$$[K_1]^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad [K_2]^T = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 3 & 3 \\ 2 & 3 & 2 & 3 \end{bmatrix}$$

ve

$$[K_3]^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 4 & 4 \\ 4 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

olarak yazılabilir. Buradan alt durum diyagramları,

A

	1	1	0	0
	1	0	1	0
1	1	$\bar{d}_{1,1}$	λ_2	λ_1
1	0	μ_2	$\bar{d}_{2,2}$	0
0	1	μ_1	0	$\bar{d}_{3,3}$
0	0	0	μ_1	μ_2
				$\bar{d}_{4,4}$

B

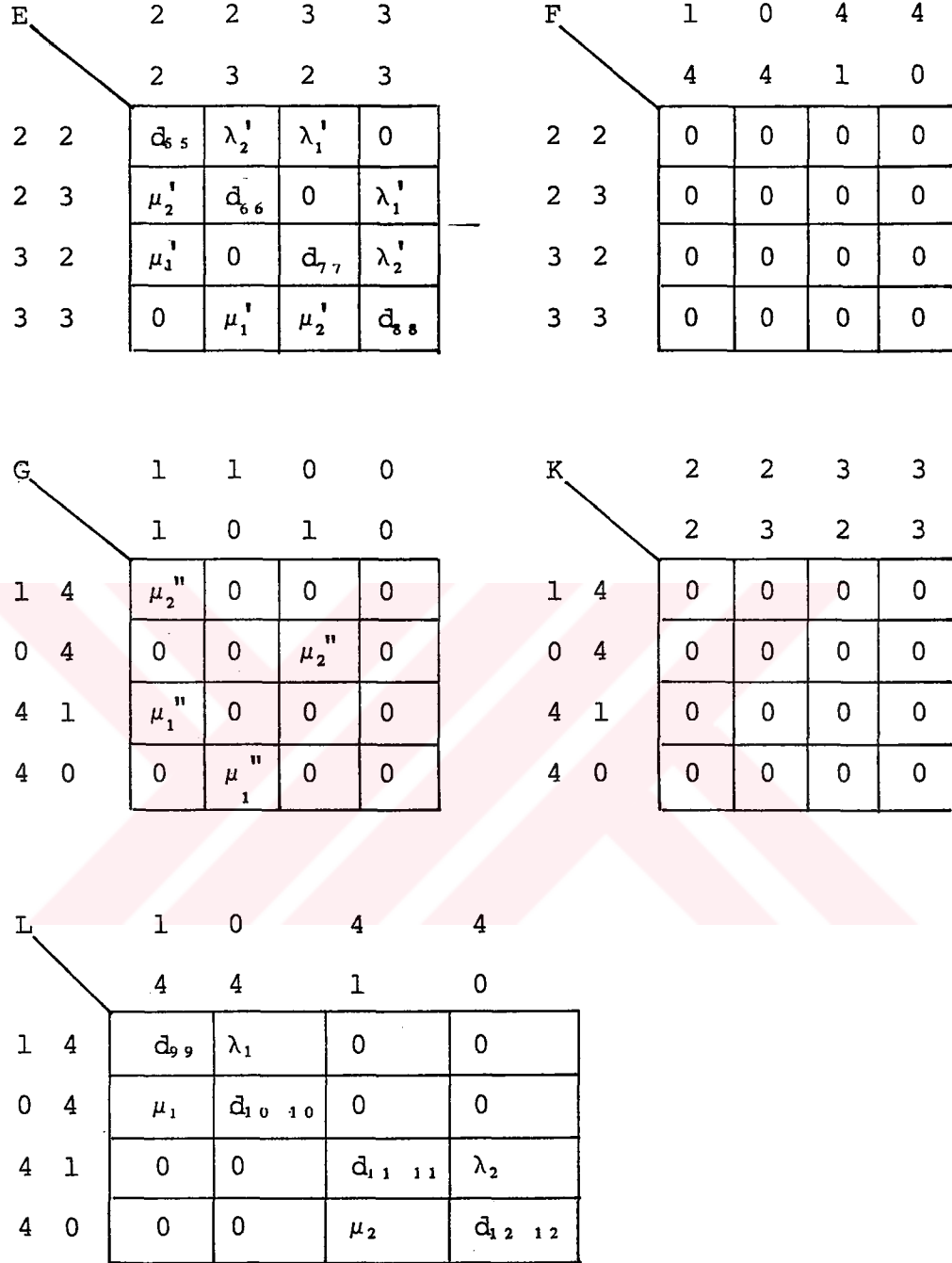
	2	2	3	3
	2	3	2	3
1	1	n	0	0
1	0	0	n	0
0	1	0	0	n
0	0	0	0	n

C

	1	0	4	4
	4	4	1	0
1	1	λ_2''	0	λ_1''
1	0	0	0	λ_1''
0	1	0	λ_2''	0
0	0	0	0	0

D

	1	1	0	0
	1	0	1	0
2	2	m	0	0
2	3	0	m	0
3	2	0	0	m
3	3	0	0	m



olarak düzenlenir. Bu alt diyagramlar birleştirilerek durum geçiş diyagramı aşağıdaki gibi yazılabilir.

1	1	1	0	0	2	2	3	3	3	1	0	4	4
1	0	1	0	0	2	3	2	3	3	4	4	1	0
d_{11}	λ_2	λ_1	0	0	n	0	0	0	0	λ_2''	0	λ_1''	0
μ_2	d_{22}	0	λ_1	0	0	n	0	0	0	0	0	0	λ_1'
0	1	0	d_{33}	λ_2	0	0	n	0	0	0	λ_2''	0	0
0	0	μ_1	μ_2	d_{44}	0	0	0	n	0	0	0	0	0
2	2	m	0	0	d_{55}	λ_2'	λ_1'	0	0	0	0	0	0
2	3	0	m	0	μ_2'	d_{66}	0	λ_1'	0	0	0	0	0
3	2	0	0	m	μ_1'	0	d_{77}	λ_2'	0	0	0	0	0
3	3	0	0	0	0	μ_1'	μ_2'	d_{88}	0	0	0	0	0
1	4	μ_2''	0	0	0	0	0	0	0	d_{99}	λ_1	0	0
0	4	0	μ_2''	0	0	0	0	0	0	μ_1	d_{1010}	0	0
4	1	μ_1''	0	0	0	0	0	0	0	0	0	d_{1111}	λ_2
4	0	0	μ_1''	0	0	0	0	0	0	0	0	μ_2	d_{1212}

Bu durum geçiş diyagramında ki köşegen elemanları, her köşegen elemanına ait satır elemanlarının toplamlarının negatif işaretlisi alınarak elde edilir.

$$\begin{aligned}
 d_{11} &= -\lambda_1 - \lambda_2 - \lambda'_1 - \lambda''_2 - n & d_{77} &= -m - \mu'_1 - \lambda'_2 \\
 d_{22} &= -\lambda_1 - \mu_2 - \lambda'_1 - n & d_{88} &= -m - \mu'_1 - \mu'_2 \\
 d_{33} &= -\mu_2 - \lambda_2 - n - \lambda''_2 & d_{99} &= -\mu''_2 - \lambda_1 \\
 d_{44} &= -\mu_1 - \mu_2 - n & d_{1010} &= -\mu''_2 - \mu_1 \\
 d_{55} &= -m - \lambda'_2 - \lambda'_1 & d_{1111} &= -\mu''_1 - \lambda_2 \\
 d_{66} &= -m - \mu''_2 - \lambda_1 & d_{1212} &= -\mu''_1 - \mu_2
 \end{aligned}$$

Buradan iki hava koşulunda iki elemanlı bir sistem için bakım devredışı kalmaları içeren durum geçiş matrisi yazılabilir. İki ve üç paralel elemanlı sistemde, ağır hava koşullarında onarım yapılması süresince, ağır hava koşullarında oluşan arıza yüzdesine karşılık, sistemin bakım devredışı kalması oranları Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'de verilmiştir. Şekil 4.9'da bu tablolar yardımıyla iki ve üç paralel elemanlı sistem devredışı kalma oranının değişimi verilmiştir. Bu arıza biçiminde üç elemanlı paralel sistem için durum sayısı 28 olup durum geçiş matrisi 28x28 boyutundadır. Dört elemanlı sistem için durum geçiş matrisi 64x64 boyutlu olacaktır. Tablo 4.14'de dört paralel elemanlı sistem için bakım devredışı kalma nedeni güvenilirlik indisleri, durum geçiş matrisi ve Markov yöntemi için verilmiştir.

Tablo 4.12. İki Paralel Elemanlı Sistem için Bakım Devredışı Kalma Oranı (Ağır hava koşulunda onarım yok iken)

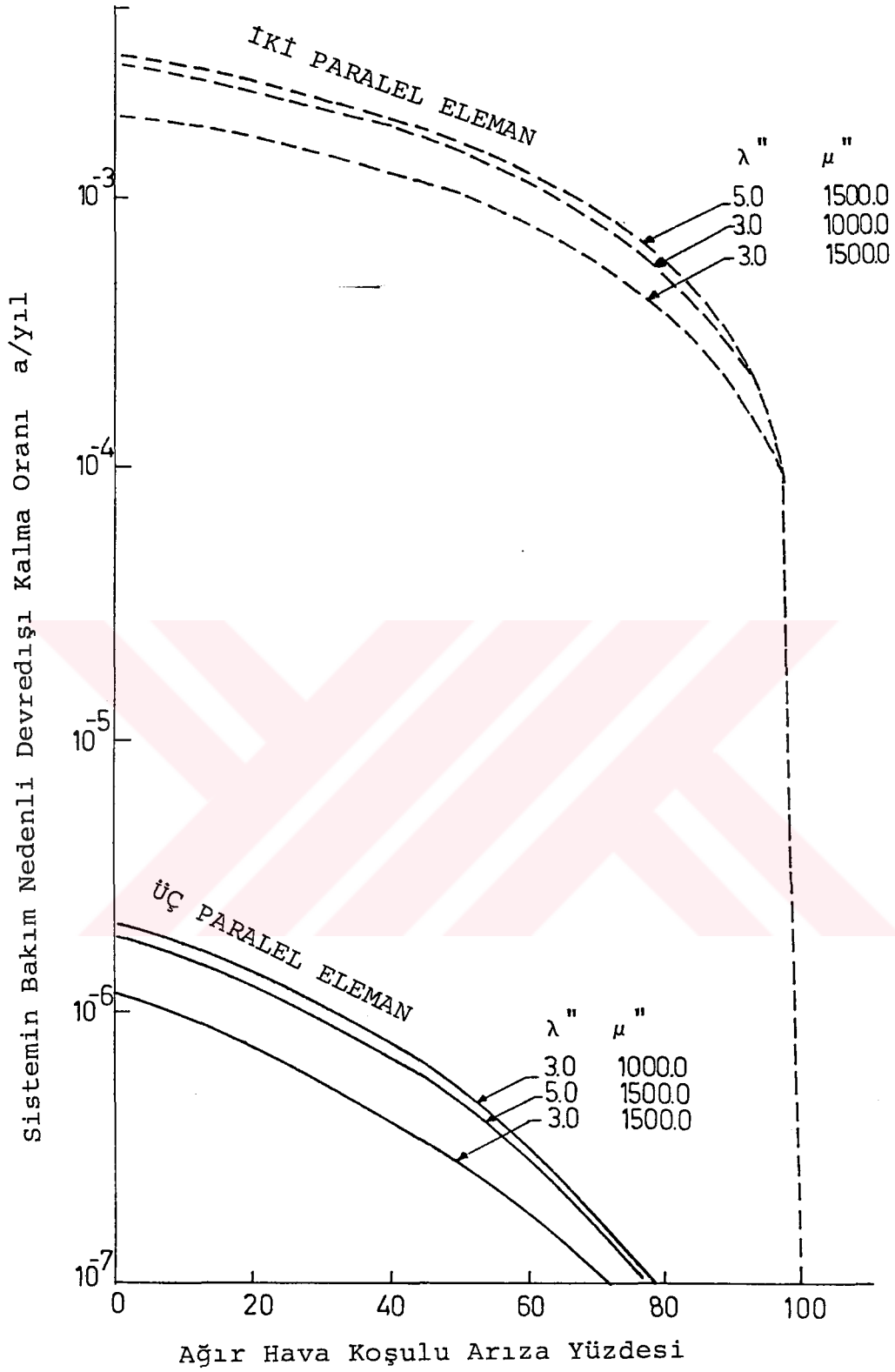
Ort. Arıza Oranı =0,5 a/yıl	S=1,5 saat	N=200 saat
Bakım Arıza Oranı=3 b/yıl		
Bakım Süresi =7,5 saat	Onarım Süresi=5,84 saat	
	Markov Yöntemi	Durum Geçiş Matrisi Yöntemi

Ağır Havadaki Arıza %	Arıza Oranı a/yıl	Onarım Süresi saat
0	0.00199	0.00200
10	0.00179	0.00180
20	0.00159	0.00160
30	0.00139	0.00141
40	0.00119	0.00120
50	0.00099	0.00101
60	0.00080	0.00081
70	0.00061	0.00062
80	0.00040	0.00041
90	0.00020	0.00022

Tablo 4.13. Üç Paralel Elemanlı Sistem için Bakım Devredışı Kalma Oranı (Ağır hava koşulunda onarım yok iken)

Ort. Arıza Oranı =0,5 a/yıl	S=1,5 saat	N=200 saat
Bakım Arıza Oranı=3 b/yıl		
Bakım Süresi =7,5 saat	Onarım Süresi=5,84 saat	

	Markov Yöntemi	Durum Geçiş Matris Yöntemi
Ağır Havadaki Arıza %	Arıza Oranı ₁₋₆ (a/yıl)x10 ⁻⁶	Onarım Süresi saat
0	1.114	1.115 2.28 2.282
10	0.924	0.926 2.28 2.282
20	0.730	0.731 2.28 2.282
30	0.559	0.561 2.28 2.282
40	0.411	0.422 2.28 2.282
50	0.285	0.296 2.28 2.282
60	0.183	0.195 2.28 2.282
70	0.103	0.105 2.28 2.282
80	0.046	0.048 2.28 2.282
90	0.011	0.013 2.28 2.282



Şekil 4.9. Elemanın Bakımı Nedeniyle Sistemin Arıza Oranı.

Tablo 4.14. Dört Paralel Elemanlı Sistem için Bakım Nedenli Güvenilirlik İndisleri

$\lambda_{or1}=\lambda_{or2}=\lambda_{or3}=\lambda_{or4}=0.5$ a/yıl		$r_1=r_2=r_3=r_4=7.5$ saat	
$\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=3$ a/yıl		N=200 saat, S=1.5 saat	
P	Durum Geçiş Matrisi Yöntemi		Markov Yöntemi
	Bakım Oranı (bakım/yıl)	Arıza Oranı (a/yıl) 1×10^9	Ort.Onarım Süresi (saat)
10	1000	0.927	1.945
15	1500	0.437	1.750
30	1000	0.436	1.945
50	1500	0.205	1.750
70	1000	0.159	1.945
90	1500	0.075	1.750
	1000	0.081	1.945
	1500	0.018	1.750
	1000	0.010	1.945
	1500	0.0005	1.750
P= Ağır Hava Süresince Oluşan Arıza Yüzdesi			
		Arıza Oranı (a/yıl) 1×10^9	Ort.Onarım Süresi (saat)
		0.910	1.945
		0.430	1.750
		0.430	1.945
		0.200	1.750
		0.160	1.945
		0.070	1.750
		0.080	1.945
		0.020	1.750
		0.010	1.945
		0.0004	1.750

İki hava koşulunda iki elemanlı bir sistem için bakım devredışı kalmaları içeren durum geçiş matrisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[D] = \begin{bmatrix} \bar{d}_{11} & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 & n & 0 & 0 & 0 & \lambda_2'' & 0 & \lambda_1'' & 0 \\ \mu_2 & \bar{d}_{22} & 0 & \lambda_1 & 0 & n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_1' \\ \mu_1 & 0 & \bar{d}_{33} & \lambda_2 & 0 & n & 0 & 0 & \lambda_2'' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & \bar{d}_{44} & 0 & 0 & 0 & n & 0 & 0 & 0 & 0 \\ m & 0 & 0 & 0 & \bar{d}_{55} & \lambda_2' & \lambda_1' & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & \mu_2' & \bar{d}_{66} & 0 & \lambda_1' & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 & \mu_1' & 0 & \bar{d}_{77} & \lambda_2' & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m & 0 & \mu_1' & \mu_2' & \bar{d}_{88} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_2'' & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{d}_{99} & \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_2'' & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_1 & \bar{d}_{1010} & 0 & 0 \\ \mu_1'' & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{d}_{1111} & \lambda_2 \\ 0 & \mu_1'' & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_2 & \bar{d}_{1212} \end{bmatrix}$$

Eğer iki elemanlı paralel bir sistem için yalnız normal hava koşulları düşünülürse böylece durum sayısı 8 olur. Burada durum matrisi,

$$[K] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 1 & 4 \\ 0 & 4 \\ 4 & 1 \\ 4 & 0 \end{bmatrix}$$

olarak yazılır. $[K]$ matrisi ile durum geçiş diyagramı oluşturularak durum geçiş matrisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[D] = \begin{bmatrix} d_{11} & \lambda_1 & \lambda_2 & 0 & \lambda_2'' & 0 & \lambda_1'' & 0 \\ \mu_1 & d_{22} & 0 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_2 & 0 & d_{33} & \lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_2 & \mu_1 & d_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_2'' & 0 & 0 & 0 & d_{55} & \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_2'' & 0 & 0 & \mu_1 & d_{66} & 0 & 0 \\ \mu_1'' & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_{77} & \lambda_2 \\ 0 & 0 & \mu_1'' & 0 & 0 & 0 & \mu_2 & d_{88} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} d_{11} &= -\lambda_1 - \lambda_2 - \lambda_1'' - \lambda_2'' & d_{55} &= -\lambda_1 - \mu_2'' \\ d_{22} &= -\lambda_2 - \mu_1 & d_{66} &= -\mu_1 - \mu_2'' \\ d_{33} &= -\mu_2 - \lambda_1 & d_{77} &= -\mu_1'' - \lambda_2 \\ d_{44} &= -\mu_1 - \mu_2 & d_{88} &= -\mu_1'' - \mu_2 \end{aligned}$$

Yalnız normal hava koşulları düşünüldüğünde, iki ve üç elemanlı paralel sistemler için bakım nedenli güvenilirlik indisleri tablo 4.15 ve tablo 4.16'da veriliyor. İki elemanlı sistem için durum olasılıkları,

$$P_1 = \frac{1}{A} , \quad P_2 = \frac{\lambda_1}{A \mu_1} , \quad P_3 = \frac{\lambda_2}{A \mu_2}$$

$$P_4 = \frac{\lambda_1''}{A \mu_1''} , \quad P_5 = \frac{\lambda_2''}{A \mu_2''} , \quad P_6 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{A \mu_1 \mu_2}$$

$$P_7 = \frac{\lambda_2 \lambda_1''}{A (\mu_1'' + \mu_2'') \mu_1''} \quad P_8 = \frac{\lambda_1 \lambda_2''}{A (\mu_1 + \mu_2'') \mu_2''} \quad (4.28)$$

dır. Burada

$$A = 1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \frac{\lambda_1''}{\mu_1''} + \frac{\lambda_2''}{\mu_2''} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\mu_1 \mu_2} + \frac{\lambda_2 \lambda_1''}{\mu_2 + \mu_1''} + \frac{1}{\mu_1''} + \frac{\lambda_1 \lambda_2''}{\mu_1 + \mu_2''} + \frac{1}{\mu_2''} \cong 1$$

dır. Bu çalışmanın ağırlığını oluşturan durum geçiş matrisi yöntemiyle sistemin arıza oranı ve onarım süresini bulmak için sisteme ait çalışırlık ve arızalı durum kolon matrisleri,

$$[a] = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad [q] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

olarak yazılabilir. $[a]$, $[q]$ ve $[D]$ matrislerinden faydalanarak, bakım devredışı kalma oranı 0,5 (bakım/yıl), ortalama devredışı kalma oranı $\lambda_{or} = 0,5$ (arıza/yıl) ve onarım süresi $r=7,5$ saat, bakım devredışı kalma süresi $r=5,84$ saat olan iki ve üç elemanlı paralel sistem için bakım devredışı kalma oranları, ağır hava koşulunda oluşan arıza yüzdesine göre tablo 4.12 ve tablo 4.13'de gösterilmiştir.

Tablo 4.15. İki Paralel Elemanlı Sistem İçin Bakım Nedenli Güvenilirlik İndisleri (Yalnız Normal Hava Koşulunda)

$\lambda_1 = \lambda_2 = 0,5$ a/yıl			$r_1 = r_2 = 7,5$ saat	
Durum Geçiş Matrisi Yöntemi			Markov Yöntemi	
Bakım Dev.Kal.	Arıza Oranı (a/yıl)	Onarım Süresi, saat	Arıza Oranı (a/yıl)	Onarım Süresi, saat
$\lambda = 3.0$ $r = 5,84$	0,00201	3,276	0,00199	3,276
$\lambda = 5.0$ $r = 5,84$	0,00333	3,276	0,00331	3,276
$\lambda = 3.0$ $r = 8,76$	0,00300	4,038	0,00297	4,038

4.6. Sürekli Devredışı Kalma ile Çakışan Eleman Geçici Devredışı Kalmalar

λ_{iT} : i. elemanın geçici devredışı kalma oranı, arıza/yıl

r_{iT} : i. elemanın geçici devredışı kalma süresi, saat

Tablo 4.16. Üç Paralel Elemanlı Sistem için Bakım Devredışı Kalma Nedenli Güvenilirlik İndisleri (Yalnız Normal Hava Koşulunda)

Bakım İndisleri	$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0.5 \text{ a/yıl}$		$r_1 = r_2 = r_3 = 7.5 \text{ saat}$	
	Durum Geçiş Matrisi Yöntemi		Markov Yöntemi	
	Arıza Oranı (a/yıl) 1×10^7	Onarım Süresi (saat)	Arıza Oranı (a/yıl) 1×10^7	Onarım Süresi (saat)
	11.2	2.280	11.1	2.280
	19.1	2.280	18.5	2.280
	21.8	2.630	20.5	2.630
			25.6	2.280
			42.8	2.280
			38.5	2.630

olmak üzere, iki elemanlı sistem için durum matrisi yazılırsa,

$$[K] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 2 & 2 \\ 2 & 3 \\ 3 & 2 \\ 3 & 3 \\ 2 & 7 \\ 3 & 7 \\ 7 & 2 \\ 7 & 3 \\ 1 & 6 \\ 0 & 6 \\ 6 & 1 \\ 6 & 0 \end{bmatrix}$$

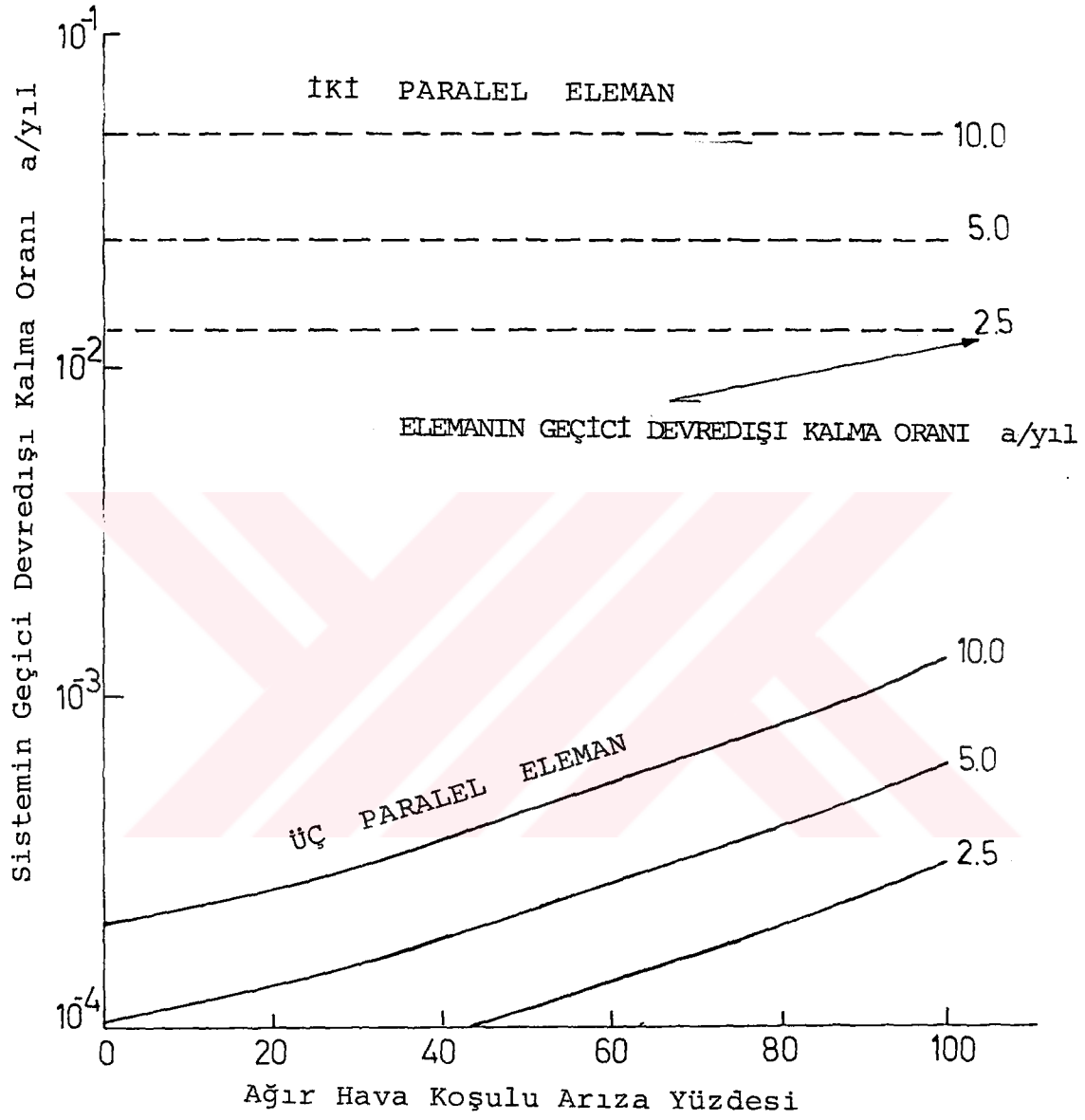
Sürekli arıza biçimi için
 Normal hava koşullarında
 Oluşan durumlar
 Sürekli arıza biçimi için
 Ağır hava koşulunda
 Oluşan durumlar
 Sürekli ve geçici arızaların çakışması halinde ağır hava koşullarında
 oluşan durumlar
 Sürekli ve geçici arızaların
 Normal hava koşulunda çakışması ile
 oluşan durumlar

olur. Durum matrisi, durum geçiş tablosunda yerine koyularak iki elemanlı sistem için durum geçiş matrisi bulunabilir. Bu matris 16x16 boyutunda olacaktır. Durum geçiş matrisi daha önce gösterildiği gibi, alt durum matrisleri ve alt durum diyagramları yardımıyla oluşturulur. Bu sistem için çalışırılık ve arızalı durum kolon matrisleri aşağıdaki gibidir.

$[a]$, $[q]$ ve $[D]$ matrislerinin, bu çalışmanın ağırlığını oluşturan durum geçiş matrisi yönteminde kullanılmasıyla sistemin geçici devre dışı kalma oranı bulunur. Bu geçici devre dışı kalma oranının, ağır hava koşullarında oluşan arıza yüzdesine göre değişimi tablo 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.17. İki Paralel Elemanlı Sistemin Geçici Devredışı Kalma Oranı

$\lambda_{or1} = \lambda_{or2} = 0.5 \text{ a/yıl}$ $r_1 = r_2 = 7.5 \text{ saat}$ $\lambda_1 r_1 = \lambda_2 r_2 = 3 \text{ a/yıl}$ $\lambda_1'' = \lambda_2'' = 3 \text{ a/yıl}$ $\mu_1'' = \mu_2'' = 1500 \text{ tamir/yıl}$ $S = 1.5 \text{ saat}$ $N = 200 \text{ saat}$			
Ağır Hava Koşulu Arıza Yüzdesi	Durum Geçiş Matrisi Yöntemi		Markov Yöntemi
	A	B	A
0	0.00258	0.01210	0.00259
10	0.00325	0.01088	0.00326
20	0.00524	0.00967	0.00530
30	0.00856	0.00846	0.00868
40	0.01321	0.00725	0.01340
50	0.01919	0.00604	0.01943
60	0.02649	0.00483	0.02676
70	0.03513	0.00362	0.03538
80	0.04509	0.00241	0.04528
90	0.05638	0.00121	0.05644
100	0.06875	0.00000	0.06885
A = Sürekli Devredışı Kalmaları ile Çakışan Geçici Devredışı Kalmalar (a/yıl) B = Bakım Devredışı Kalmaları ile Çakışan Geçici Devredışı Kalmalar (a/yıl)			



Şekil 4.10. Elemanın Geçici Devredışı Kalması Nedeniyle Sistemin Geçici Devredışı Kalma Oranı.

$$[a] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad [q] = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Şekil 4.10'da sistem geçici devredışı kalma oranının, ağır hava koşulunda oluşan arıza yüzdesine karşılık değişimi, çeşitli eleman geçici devredışı kalma oran'larıyla, iki ve üç elemanlı sistem için verilmiştir.

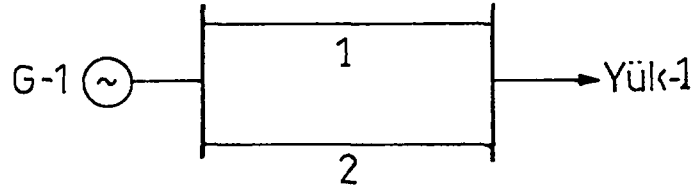
4.7. Bağlantı Nedenli Devredışı Kalmalar

4.7.1. Giriş

Bağlantı nedenli devredışı kalmalar, sistemin büyümesi, ek ünitelerin kurulması, yeni transformator istasyonları, şalt tesisi, yeni enerji iletim hatları ve bunlarla elektrik ağına bağlanan yeni bir santralin eklenmesi olabilir. Bu hali ile bağlantı nedenli devredışı kalmalar, sistemin elektriksel ve yapısal olarak bir değişime uğradığını gösterir. Bu değişim sistemin her bir yük barasında ki güvenilirlik indislerinde de etkili olacaktır.

4.7.2. Sistemin Yapısal Değişiminin Etkisi

Bağlantı nedenli devre dışı kalmaların güvenilirlik indislerinde yaptığı etki Şekil 4.11'de iki paralel elemanlı sistem için tablo 4.19'da gösterilmiştir. Bu sistem de var olan elemanlar ve eklenecek elemanlar için kabul edilen parametreler tablo 4.18'de verilmiştir.



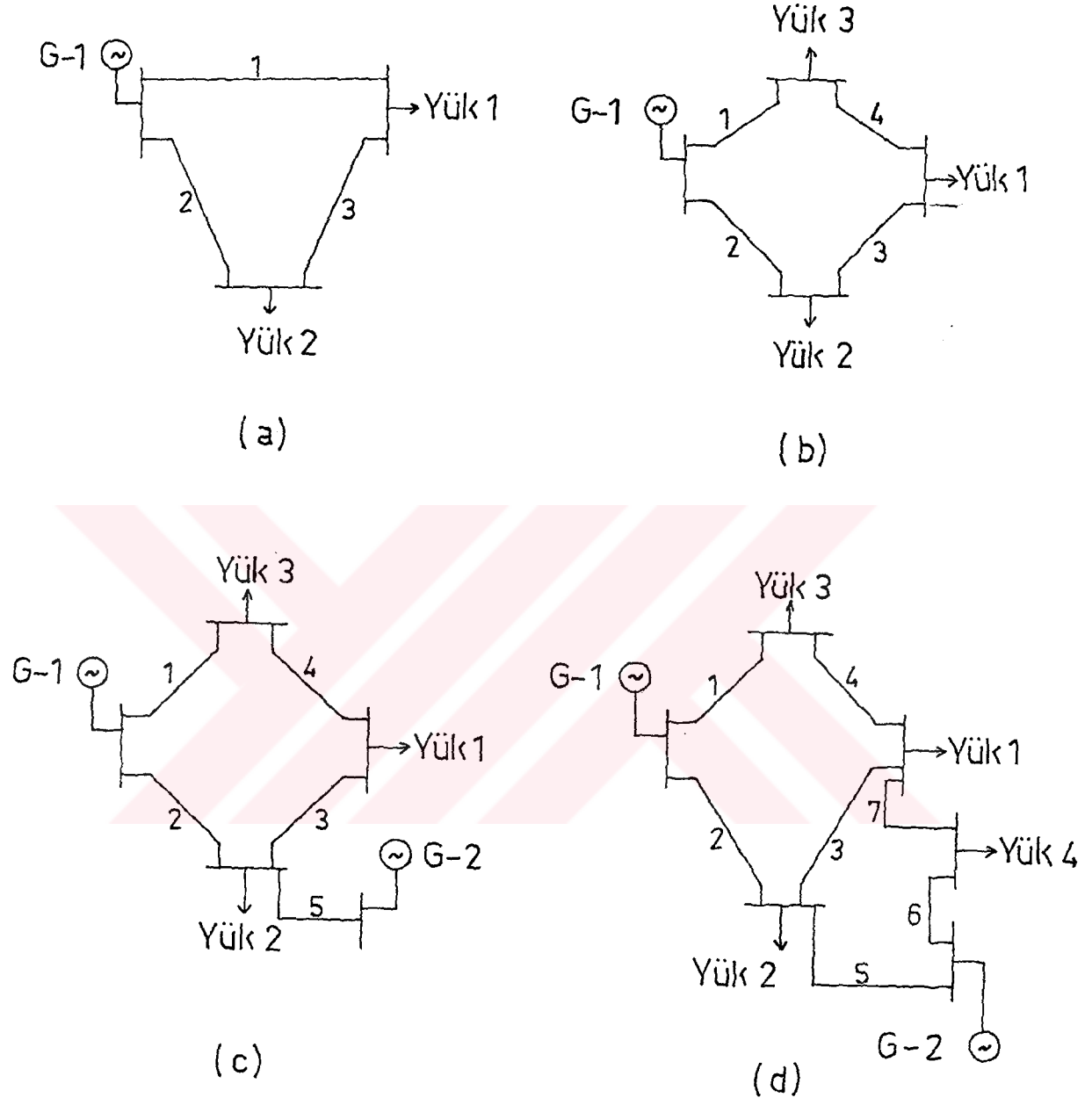
Şekil 4.11. Örnek bir sistem.

Tablo 4.18. Şekil 4.11'deki Sistem Elemanları İçin Arıza Oranı ve Onarım Süreleri

	Arıza Oranı a/yıl	Ort.Onarım Süresi saat
İletim Hattı	0,5	2

Bu sistem de generatörlerin tam güvenilir olduğu varsayılmıştır. Şekil 4.11'de verilen sistem, şekil 4.12'de görüldüğü gibi bir gelişme gösteriyor olsun.

Sistemin gösterdiği bu gelişmeye göre verilen şekiller de yük-1 barası için güvenilirlik hesapları tablo 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.12. Şekil 4.11'deki Sistemin Adım Adım Gelişimi.

Tablo 4.19 Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'deki Sistemler için Güvenilirlik İndisleri

$\lambda_{or} = 0,5 \text{ a/yıl}$, $r = 2,5 \text{ saat}$		
Ağır Hava Koşulunda Oluşan Arıza Yüzdesi %50		
Şekil	Arıza Oranı (a/yıl) (1/1000)	Onarım Süresi (saat)
4.11	2,917	2,77
4.12a	5,834	2,77
4.12b	11,668	2,77
4.12c	5,834	2,77
4.12d	0,191252	2,37

Tablo 4.19'dan, şekil 4.11'deki orijinal sisteme göre şekil 4.12d'deki sistemin daha güvenilir olduğu görülmüştür. Bunu sistemin 8760 saat'lik bir çalışma süresi için elde edilen güvenilirlik değerinden de gösterebiliriz. Bu değerler tablo 4.20'de verilmiştir.

Tablo 4.20. Şekil 4.11 ve 4.12'deki 1. Yük barası için Güvenilirlik Değerleri

Çalışma Süresi $t = 8760 \text{ saat}$	
Şekil	Güvenilirlik Değeri $R = \exp [-\lambda t]$
4.11	0,997
4.12a	0,994
4.12b	0,988
4.12c	0,994
4.12d	0,999

Tablo 4.20'den, şekil 4.12d'deki sistemin şekil 4.11'deki orijinal sisteme nazaran daha güvenilir olduğu görülürken, şekil 4.12a,b,c'deki sistemlerin daha az güvenilirlik değerine sahip oldukları görülüyor. Bu hesaplamalar sisteme yapılan bağlantıların, güvenilirlik indisleri üzerine olumlu veya olumsuz etki yaptığını göstermektedir. Örnek olarak verilmiş olan bu sistem üzerinde optimal bir güvenilirlik çalışması yapılmamış ancak bağlantı işlevinin etkisi gösterilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada, üzerinde uygulama yapılan Bursa Yöresi enerji iletim sistemi için sistemin gelişmesinin güvenilirlik indislerine etkisi incelenmek istendi, fakat sistemin değişimini günümüze kadar adım adım elde etmek mümkün olmadı. İlgili makamlar bu bilgiyi sağlayamadı. Bundan dolayı şekil 4.11'deki basit sistemin gelişmesi örnek olarak seçildi.

4.8. Elemanın Sürekli Devredışı Kalmalarıyla Çakışan Elemanın Bağlantı Devredışı Kalmaları

Sisteme yapılan bir bağlantı esnasında, bir sürekli devredışı kalma olayının oluşması olasıdır. Fakat sistem'de bir sürekli devredışı kalma var iken, bağlantı işlevinin yapılmasına izin verilmez.

λ_i : i. elemanın normal hava koşullarındaki sürekli devredışı kalma oranı

λ_{iB} : i. elemanın normal hava koşullarındaki bağlantı arızası oranı

μ_i : i. elemanın ortalama onarım oranı = $\frac{1}{r_i}$

μ_{iB} : i. elemanın ortalama bağlantı oranı = $\frac{1}{r_{iB}}$

Bu yük barası arıza biçiminde, iki elemanlı sistem için durum matrisi,

$$[K] =$$

$$[D] =$$

$$[D] =$$

$$d_{11} = -\lambda_1 - \lambda_2 - \lambda_1 B - \lambda_1 B^{-n}$$

$$d_{22} = -\lambda_1 - \mu_2 - n$$

$$d_{33} = -\mu_1 - \lambda_2 - n$$

$$d_{44} = -\mu_1 - \mu_2 - n$$

$$d_{55} = -\lambda_1' - \lambda_2' - m$$

$$d_{66} = -\lambda_1' - \mu_2' - m$$

$$d_{77} = -\lambda_2' - \mu_1' - m$$

$$d_{88} = -\mu_1' - \mu_2' - m$$

$$d_{99} = -\lambda_1 - \mu_2 B$$

$$d_{1010} = -\mu_1 - \mu_2 B$$

$$d_{1111} = -\mu_1 B - \lambda_2$$

$$d_{1212} = -\mu_2 - \mu_1 B$$

İki elemanlı sistemin bu yük barası arıza biçiminde, çalışırılık ve arızalı durum kolon matrisleri,

$$[a] = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad [q] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

olacaktır. $[a]$, $[q]$ ve $[D]$ matrisleri yardımıyla bu çalışmada öngörülen durum geçiş matrisi yöntemi kullanılarak bu yük barası arıza biçiminde, iki elemanlı sistem arıza oranı ve onarım süresi bulunabilir. Yalnız normal hava koşulu düşünüldüğünde $[K]$ durum matrisi,

$$[K] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 1 & 5 \\ 0 & 5 \\ 5 & 1 \\ 5 & 0 \end{bmatrix}$$

olur. Bu matrisin devriği,

$$[K]^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 5 & 5 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 5 & 5 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

olacaktır. Bu iki matristen durum geçiş diyagramı aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 5 & 5 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 5 & 5 & 1 & 0 \end{bmatrix} = [K]^T$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 1 & 5 \\ 0 & 5 \\ 5 & 1 \\ 5 & 0 \end{bmatrix}$$

d_{11}	λ_2	λ_1	0	λ_{2B}	0	λ_{1B}	0
μ_2	d_{22}	0	λ_1	0	0	0	0
μ_1	0	d_{33}	λ_2	0	0	0	0
0	μ_1	μ_2	d_{44}	0	0	0	0
μ_{2B}	0	0	0	d_{55}	λ_1	0	0
0	0	μ_{2B}	0	μ_1	d_{66}	0	0
μ_{1B}	0	0	0	0	0	d_{77}	λ_2
0	μ_{1B}	0	0	0	0	μ_2	d_{88}

Yukarıdaki durum geçiş diyagramından [D] durum geçiş matrisi,

$$[D] = \begin{bmatrix} -\lambda_1 - \lambda_2 - \lambda_1 B - \lambda_2 B & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 & \lambda_2 B & 0 & \lambda_1 B & 0 \\ \mu_2 & -\lambda_1 - \mu_2 & 0 & \lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_1 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_2 B & 0 & 0 & 0 & -\lambda_1 - \mu_2 B & \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_2 B & 0 & \mu_1 & -\mu_1 - \mu_2 B & 0 & 0 \\ \mu_1 B & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_2 - \mu_1 B & \lambda_2 \\ 0 & \mu_1 B & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_2 & -\mu_2 - \mu_1 B \end{bmatrix}$$

olarak yazılabilir. $[a]$ çalışırılık ve $[q]$ arızalı durum kolon matrisleri,

$$[a] = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ ve } [q] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

olur. Bu arıza biçiminde sistemin arıza oranını bulmak için durum geçiş matrisi yöntemini uygulayalım. İlk önce çalışırılık durum olasılıkları matrisi,

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 & \lambda_2 B & 0 & \lambda_1 B & 0 \\ 1 & -\lambda_1 - \mu_2 & 0 & \lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_1 - \mu_2 B & \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_2 B & 0 & \mu_1 & -\mu_1 - \mu_2 B & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_2 - \mu_1 B & \lambda_2 \\ 0 & \mu_1 B & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_2 & -\mu_2 - \mu_1 B \end{bmatrix}$$

olarak ve çalışırlık durumu sıklık matrisi'nde,

$$[F] = \begin{bmatrix} -\lambda_1 - \lambda_2 - \lambda_1 B - \lambda_2 B & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 & \lambda_2 B & 0 & \lambda_1 B & 0 \\ \mu_2 & -\lambda_1 - \mu_2 & 0 & \lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_1 & 0 & -\mu_1 - \lambda_2 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & -\mu_1 - \mu_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_2 B & 0 & 0 & 0 & -\lambda_1 - \mu_2 B & \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_2 B & 0 & \mu_1 & -\mu_1 - \mu_2 B & 0 & 0 \\ \mu_1 B & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_2 - \mu_1 B & \lambda_2 \\ 0 & \mu_1 B & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_2 & -\mu_2 - \mu_1 B \end{bmatrix}$$

şeklinde yazılabilir. $[T]$ çalışırlık durum olasılıkları matrisi ve $[F]$ çalışırlık durumu sıklık matrisi ile arıza oranı aşağıdaki ifadeden bulunur.

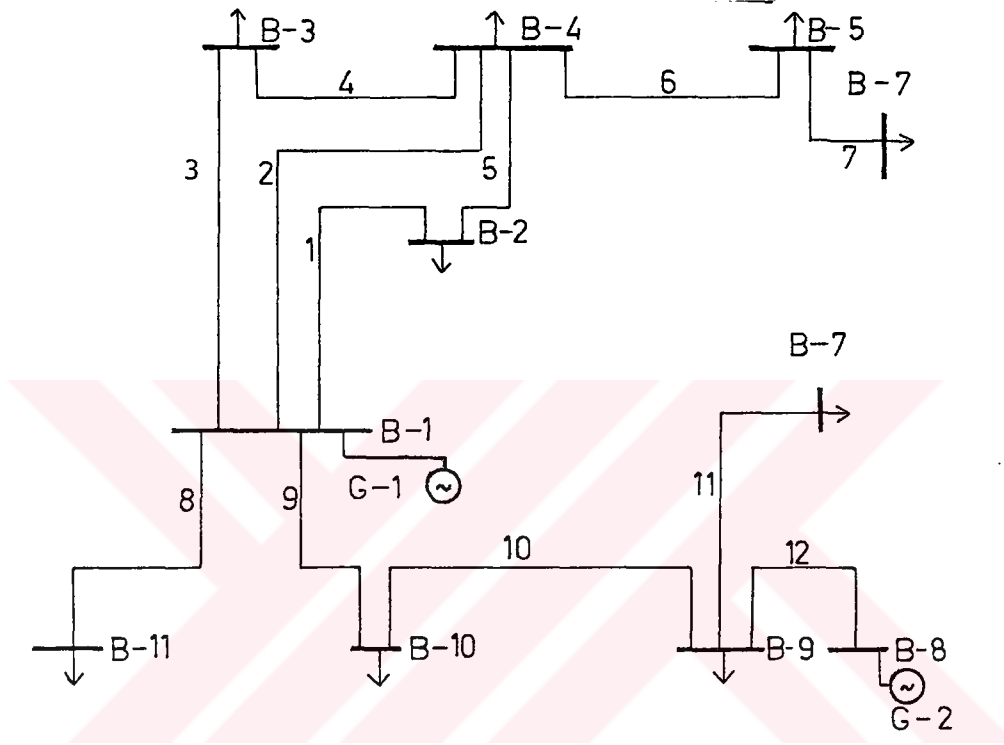
$$\lambda_s = (-1)^{2n+1} \frac{F}{T} \quad \text{arıza/yıl}$$

BÖLÜM 5. SİSTEM UYGULAMASI

Bölüm 4'de geliştirilen durum geçiş matrisi yöntemi ile Bursa Yöresi enerji iletim sistemi için güvenilirlik analizi yapıldı. Değişik yük noktaları için güvenilirlik indisleri olan, yük noktası arıza oranı ve ortalama onarım süresi ve arıza zamanları hesaplandı. Bursa Yöresi enerji iletim sistemi Şekil 5.1'de verilmiştir. Bu konfigirasyonda 1 no'lu Bursa Sanayii barası ve 2 no'lu Yenişehir barasının beslenme baraları ve diğer dokuz bara'da yük baraları olarak kabul edilmiştir. Uygulama sistemindeki hatlar için arıza oranı ve onarım süreleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Beslenme baraları ve diğer tesis elemanları (transformatörler, kesiciler, ayırıcılar, vs.) tam güvenilir olarak kabul edilmiştir. Uygulama sistemi için olası arızalar Tablo 5.2'de görüldüğü gibidir. Yük baraları için güvenilirlik indisleri, bağlantı devre dışı kalma olayının olması ve olmaması halinde hesaplanmıştır. Böylece bağlantı işlevinin yapıldığı ve yapılmadığı durum için sistem güvenilirliğinindeki değişim de gösterilmiştir. Bu değişim ancak bağlantı esnasında meydana gelen bağlantı devre dışı kalma oranı ve bağlantı süresinin etkisi ile oluşan değerdir. Sistemdeki her bir bağlantı'dan sonra yük baralarının değişen güvenilirlik indislerini bulmak, gerekli verilerin elde edilememesi yüzünden mümkün olmamıştır. Bu etki Bölüm 4'de basit bir sistem üzerinde gösterilmiştir. Hesaplamalarda normal hava koşulu süresi 250 saat, ağır hava koşulu süresi ise 1,5 saat olarak alınmıştır.

Bağlantı ve bakım işlevinin ağır hava koşulu altında yapılmadığı kabul edilmiş ve her iki olayın çakışması da ihmal edilmiştir. Aşırı yük devre dışı kalmalar için yeterli veri elde edilemediğinden, hesaplanamamıştır.

Her bir yük barası için, $R = \exp [-\lambda t]$ ifadesinden güvenilirlik değerleri bulunmuş ve farklı t çalışma sürelerine karşılık düşen güvenilirlik değerleri ile eğriler gösterilmiştir. Bu hesaplardan Bursa Yöresinde en güvenilir baranın Orhangazi-II yük barası olduğu görülmektedir. En düşük güvenilirlik değeri ise İnegöl-II yük barasında olduğu görülmektedir. Tabii bu sonuçlar, bu sistemin beslendiğini kabul ettiğimiz beslenme baralarının yeri ve sayısına göre değişebilir. Burada amaç sistemin bu hali için güvenilirlik analizinin yapılmasıdır. Toplanan verilerin gerçekliği de analizin sonucunu olumlu yönde etkiler. Bu da enerji iletim hatları ile ilgili arızaların düzenli olarak kaydedilmesine bağlıdır. Bu konu da bilgisayarlarla yapılacak kayıtlar ve istatistiksel çalışmalar, sistem güvenilirliğindeki hesaplamaların gerçek sonuç vermesinde yardımcı olacaktır.



BARA NO	İSMİ	GÖREVİ	GERİLİMİ
B- 1	Bursa Sanayii	Besleme Barası	154/34.5 V
B- 2	Asilçelik	Yük Barası	"
B- 3	Gemlik - II	" "	"
B- 4	Orhangazi-II	" "	"
B- 5	Yalova - II	" "	"
B- 6	Karamürsel	" "	"
B- 7	İnegöl - II	" "	"
B- 8	Yenişehir	Besleme Barası	"
B- 9	Kestel	Yük Barası	"
B-10	Bursa	" "	"
B-11	Akçalar	" "	"

Şekil 5.1. Bursa Yöresi Enerji İletim Sistemi Yapısı.

TABLO 5.1. BURSA YÖRESİ GÜVENİLİRLİK ÇALIŞMASI İÇİN ELEMAN PARAMETRELERİ

HAT - HATLAR NO - (i-j)	Normal hava Devredışı Kalma oranı a/yıl		Ağır hava Devredışı Kalma oranı a/yıl		Devredışı Kalma süresi saat		Bakım Devredışı Kalma oranı a/yıl	Bakım Devredışı Kalma süresi saat	Bağlantı Devredışı Kalma oranı a/yıl	Bağlantı Devredışı Kalma süresi saat
	Sürekli	Geçici	Sürekli	Geçici	Sürekli	Geçici				
1- Sanayi-Asilçelik	2.0371	1.5844	37.72	29.34	5.64	0.716	3.006	6.638	2.002	5.3040
2- Sanayi-Orhangazi-II	1.8132	1.1317	33.57	20.95	5.93	0.663	2.254	7.016	1.751	2.8760
3- Sanayi-Gemlik-II	2.2635	1.3581	41.91	25.15	7.50	0.680	2.502	3.210	2.010	22.141
4- Gemlik-II-Orhangazi-II	1.8134	1.1317	33.58	20.95	6.45	0.623	2.753	4.620	1.751	3.6350
5- Asilçelik-Orhangazi-II	1.8133	1.5844	33.58	29.34	6.22	0.711	2.502	3.616	1.500	2.2770
6- Orhangazi-II-Yalova-II	0.9059	1.1317	16.77	20.95	5.14	0.416	1.250	3.056	0.750	1.3610
7- Yalova-II-Karamürsel	0.6790	0.9054	12.57	16.76	5.60	0.408	1.000	3.941	0.500	2.1830
8- Sanayi-Akçalar	1.3581	1.8108	25.15	33.53	4.84	0.745	2.002	5.135	1.253	17.096
9- Sanayi-Bursa	0.9059	1.3581	16.77	25.15	4.94	0.597	1.751	3.683	1.502	8.8910
10-Bursa-Kestel	1.1317	1.5844	20.95	29.34	5.32	0.761	2.002	5.402	1.759	26.945
11-Kestel-İnegöl-II	0.6790	1.1317	12.57	20.95	6.12	0.590	1.251	6.056	0.751	24.000
12-Kestel-Yenişehir	0.9059	1.1317	16.77	20.95	5.00	0.560	1.501	5.416	1.250	0.3730

TABLO 5.2. BURSA YÖRESİ İÇİN OLASI ARIZALAR

Arıza No
1- SÜREKLİ ARIZALARIN ÇAKIŞMASI
2- GEÇİCİ ARIZALARIN ÇAKIŞMASI
3- GEÇİCİ - SÜREKLİ ARIZALARIN ÇAKIŞMASI
4- BAKIM - SÜREKLİ ARIZALARIN ÇAKIŞMASI
5- BAKIM - GEÇİCİ ARIZALARIN ÇAKIŞMASI
6- BAĞLANTI - SÜREKLİ ARIZALARIN ÇAKIŞMASI
7- BAĞLANTI - GEÇİCİ ARIZALARIN ÇAKIŞMASI
8- SÜREKLİ - GEÇİCİ - BAKIM ARIZALARIN ÇAKIŞMASI
9- SÜREKLİ - GEÇİCİ - BAĞLANTI ARIZALARIN ÇAKIŞMASI

TABLO 5.3. Asılçelik (B-2) Yük Barası Güvenilirlik İndisleri

OLASI ARIZALAR	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredişi kalma süresi saat	Top.devredişi kalma zamanı saat/yıl		Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredişi kalma süresi saat	Top.devredişi kalma zamanı saat/yıl	
1. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-5 Arızalı	0.0085980	3.527	3.032515x10 ⁻²		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0000908	3.236	2.938288x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	6.913x10 ⁻⁵	3.160	2.184508x10 ⁻⁴		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	8.75793x10 ⁻³	3.521	3.083743x10 ⁻²		**	**	**	**
2. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-5 Arızalı	0.0021950	1.578	3.463710x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	1.456x10 ⁻⁵	1.733	2.523248x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	1.277x10 ⁻⁵	1.729	2.206656x10 ⁻⁵		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	2.22233x10 ⁻³	1.579	3.511009x10 ⁻³		**	**	**	**
3. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-5 Arızalı	0.3152000	0.561	0.1768272000		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0068930	0.052	3.584360x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	0.0054570	0.050	2.728500x10 ⁻⁵		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.32755	0.541	0.1774585		**	**	**	**
4. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-5 Arızalı	0.0147100	3.250	0.0478075000		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	5.158x10 ⁻⁵	6.944	3.581715x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	4.075x10 ⁻⁵	6.755	2.752663x10 ⁻⁴		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	1.480233x10 ⁻²	3.272	4.844 094 x10 ⁻²		**	**	**	**
5. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-5 Arızalı	0.0073860	0.906	6.691716x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	1.262x10 ⁻⁵	2.304	2.907648x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	1.085x10 ⁻⁵	2.123	2.303455x10 ⁻⁵		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	7.409470x10 ⁻³	0.910	6.743827x10 ⁻³		**	**	**	**

(Tablo 5.3. devamı)

OLASI ARIZALAR	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl		Arıza oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl	
6.TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-5 Arızalı	0.0115400	3.270	0.0377358000		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0000503	6.893	3.467179x10 ⁻⁴		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	4.177x10 ⁻⁵	5.454	2.278136x10 ⁻⁴		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	1.163207x10 ⁻²	3.293	3.831033x10 ⁻²		*	*	*	*
7.TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-5 Arızalı	0.0047280	1.053	4.978584x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	1.258x10 ⁻⁵	2.316	2.913528x10 ⁻⁵		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	1.041x10 ⁻⁵	2.360	2.456760x10 ⁻⁵		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	4.750990x10 ⁻³	1.059	5.032288x10 ⁻³		*	*	*	*
8.TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-5 Arızalı	0.3333000	0.537	0.1789821000		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0028610	2.276	6.511636x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	0.0024660	3.121	7.696386x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.3386270	0.570	0.1931901		**	**	**	**
9.TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-5 Arızalı	0.3395000	0.562	0.1907990000		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0029990	3.167	9.497834x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	0.0028960	2.471	7.156016x10 ⁻³		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.3453950	0.600	0.2074529		*	*	*	*
AYRINTILI GÜVENİLİRLİK İNDİSLERİ	1.0609680	0.669	0.710766		0.699288	0.657	0.4600240	

** Bağlantı devredışı kalma var iken elde edilen değerler geçerlidir.

* Bağlantı devredışı kalma var iken elde edilen değerler geçerli değildir (böyle bir arıza durumu yoktur).

TABLO 5.4. Gemlik-II (B-3) Yük Barası Güvenilirlik İndisleri

OLASI ARIZALAR	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl		Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl	
1. TİP ARIZA								
HAT-3,HAT-4 Arızalı	0.0107400	3.997	4.292778x10 ⁻²		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0000908	3.236	2.938288x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	8.353x10 ⁻⁵	3.305	2.760667x10 ⁻⁴		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	1.09143x10 ⁻²	3.985	4.349768x10 ⁻²		**	**	**	**
2. TİP ARIZA								
HAT-3,HAT-4 Arızalı	0.0013210	1.569	2.072649x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	1.456x10 ⁻⁵	1.733	2.523248x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	1.474x10 ⁻⁵	1.733	2.554442x10 ⁻⁵		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.0013503	1.572	2.123426x10 ⁻³		**	**	**	**
3. TİP ARIZA								
HAT-3,HAT-4 Arızalı	0.2420000	0.470	0.1137400000		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0068930	0.052	3.584360x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	0.0061990	0.054	3.347460x10 ⁻⁴		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.255092	0.448	0.1144332		**	**	**	**
4. TİP ARIZA								
HAT-3,HAT-4 Arızalı	0.0156100	3.562	5.560282x10 ⁻²		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	5.158x10 ⁻⁵	6.944	3.581715x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	4.637x10 ⁻⁵	7.006	3.248683x10 ⁻⁴		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	1.570795x10 ⁻²	3.583	5.628586x10 ⁻²		**	**	**	**
5. TİP ARIZA								
HAT-3,HAT-4 Arızalı	0.0043040	0.872	3.753088x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	1.262x10 ⁻⁵	2.304	2.907648x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	1.284x10 ⁻⁵	2.216	2.845344x10 ⁻⁵		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	4.329460x10 ⁻³	0.880	3.810618x10 ⁻³		**	**	**	**

(Tablo 5.4. devamı.)

	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl		Arıza oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl	
OLASI ARIZALAR								
6. TİP ARIZA								
HAT-3,HAT-4 Arızalı	0.0132700	3.642	4.832934x10 ⁻²		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0000503	6.893	3.467179x10 ⁻⁴		*	*	*	*
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	0.0000483	5.914	2.856462x10 ⁻⁴		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.0133686	3.662	4.896171x10 ⁻²		*	*	*	*
7. TİP ARIZA								
HAT-3,HAT-4 Arızalı	0.0028870	1.008	2.901024x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	1.258x10 ⁻⁵	2.316	2.913528x10 ⁻⁵		*	*	*	*
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	1.284x10 ⁻⁵	2.225	2.856960x10 ⁻⁵		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	2.903420x10 ⁻³	1.019	2.958729x10 ⁻³		*	*	*	*
8. TİP ARIZA								
HAT-3,HAT-4 Arızalı	0.2685000	0.367	0.0985395000		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0028610	3.276	9.372636x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	0.0029190	2.923	8.532238x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.2742800	0.424	0.1164444		**	**	**	**
9. TİP ARIZA								
HAT-3,HAT-4 Arızalı	0.2725000	0.392	0.1068200000		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0029990	3.167	9.497834x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	0.0041310	1.942	8.022403x10 ⁻³		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.2796300	0.444	0.1243402		*	*	*	*
AYRINTILI GÜVENİLİRLİK İNDİSLERİ	0.8573520	0.598	0.512721		0.561489	0.599	0.3365030	

** Bağlantı devredışı kalma var iken elde edilen değerler geçerlidir.

* Bağlantı devredışı kalma var iken elde edilen değerler geçerli değildir (böyle bir arıza durumu yoktur).

TABLO 5. 5. Orhangazi -II (B-4) Yük Barası Güvenilirlik İndisleri

	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devrediş kalma süresi saat	Top.devrediş kalma zamanı saat/yıl		Arıza oranı a/yıl	Ort.devrediş kalma süresi saat	Top.devrediş kalma zamanı saat/yıl	
OLASI ARIZALAR								
1. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0000908	3.236	2.93828x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	6.913x10 ⁻⁵	3.160	2.184508x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	8.353x10 ⁻⁵	3.305	2.760667x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	6.638x10 ⁻⁵	3.235	2.147393x10 ⁻⁴		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	3.09840x10 ⁻⁴	3.237	1.003086x10 ⁻³		**	**	**	**
2. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	1.456x10 ⁻⁵	1.733	2.523248x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	1.277x10 ⁻⁵	1.728	2.206656x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	1.474x10 ⁻⁵	1.733	2.554442x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	1.298x10 ⁻⁵	1.728	2.242944x10 ⁻⁵		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	5.505x10 ⁻⁵	1.730	9.527290x10 ⁻⁵		**	**	**	**
3. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0068930	0.052	3.584360x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	0.0054570	0.050	2.728500x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	0.0061990	0.054	3.347460x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	0.0049050	0.051	2.501550x10 ⁻⁴		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.023454	0.052	1.216187x10 ⁻³		**	**	**	**
4. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	5.158x10 ⁻⁵	6.944	3.581715x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	4.075x10 ⁻⁵	6.755	2.752663x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	4.637x10 ⁻⁵	7.006	3.248683x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	0.0000365	6.926	2.527990x10 ⁻⁴		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.0001752	6.9127	1.211105x10 ⁻³		**	**	**	**
5. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	1.262x10 ⁻⁵	2.304	2.907648x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	1.085x10 ⁻⁵	2.123	2.303455x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	1.284x10 ⁻⁵	2.216	2.845344x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	1.083x10 ⁻⁵	2.144	2.321952x10 ⁻⁵		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	4.714000x10 ⁻⁵	2.201	1.037840x10 ⁻⁴		**	**	**	**

(Tablo 5.5. devamı.)

	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devrediş kalma süresi saat	Top.devrediş kalma zamanı saat/yıl		Arıza oranı a/yıl	Ort.devrediş kalma süresi saat	Top.devrediş kalma zamanı saat/yıl	
OLASI ARIZALAR								
6. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0000503	6.893	3.467179x10 ⁻⁴		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	4.177x10 ⁻⁵	5.454	2.278136x10 ⁻⁴		*	*	*	*
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	0.0000483	5.914	2.856462x10 ⁻⁴		*	*	*	*
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	3.783x10 ⁻⁵	5.943	2.248237x10 ⁻⁴		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.0001782	6.088	1.085001x10 ⁻³		*	*	*	*
7. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	1.258 x10 ⁻⁵	2.316	2.913528x10 ⁻⁵		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	1.041x10 ⁻⁵	2.360	2.456760x10 ⁻⁵		*	*	*	*
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	1.284x10 ⁻⁵	2.225	2.856960x10 ⁻⁵		*	*	*	*
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	1.056x10 ⁻⁵	2.280	2.407680x10 ⁻⁵		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	4.639000x10 ⁻⁵	2.292	1.063487x10 ⁻⁴		*	*	*	*
8. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0028610	3.276	9.372636x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	0.0024660	3.121	7.696386x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	0.0029190	2.923	8.532238x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	0.0024680	2.851	7.036268x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.0107140	3.046	3.263753x10 ⁻²		**	**	**	**
9. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0029990	3.167	9.497834x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	0.0028960	2.471	7.156016x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	0.0041310	1.942	8.022403x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	0.0031700	2.041	6.469970x10 ⁻³		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.01319600	2.360	3.114622x10 ⁻²		*	*	*	*
AYRINTILI GÜVENİLİRLİK İNDİSLERİ	4.817178x10 ⁻²	1.423	6.859027x10 ⁻²		3.475119x10 ⁻²	1.043	3.625897x10 ⁻²	

** Bağlantı devrediş kalma var iken elde edilen değerler geçerlidir.

* Bağlantı devrediş kalma var iken elde edilen değerler geçerli değildir (böyle bir arıza durumu yoktur).

TABLO 5. 6. Yalova –II (B–5) Yük Barası Güvenilirlik İndisleri

OLASI ARIZALAR		BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
		Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredişi kalma süresi saat	Top.devredişi kalma zamanı saat/yıl		Arıza oranı a/yıl	Ort.devredişi kalma süresi saat	Top.devredişi kalma zamanı saat/yıl	
1. TİP ARIZA									
HAT-6	Arızalı	0.9943000	5.321	5.2906710000		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3	Arızalı	0.0000908	3.236	2.938288x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4	Arızalı	6.913x10 ⁻⁵	3.160	2.184508x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5	Arızalı	8.353x10 ⁻⁵	3.305	2.760667x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5	Arızalı	6.638x10 ⁻⁵	3.235	2.147393x10 ⁻⁴		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER		0.9946098	5.320	5.291673		**	**	**	**
2. TİP ARIZA									
HAT-6	Arızalı	1.2470000	0.562	0.7008140000		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3	Arızalı	1.456x10 ⁻⁵	1.733	2.523248x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4	Arızalı	1.277x10 ⁻⁵	1.728	2.206656x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5	Arızalı	1.474x10 ⁻⁵	1.733	2.554442x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5	Arızalı	1.298x10 ⁻⁵	1.728	2.242944x10 ⁻⁵		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER		1.247055	0.562	0.7009092		**	**	**	**
3. TİP ARIZA									
HAT-1,HAT-2,HAT-3	Arızalı	0.0068930	0.052	3.584360x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4	Arızalı	0.0054570	0.050	2.728500x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5	Arızalı	0.0061990	0.054	3.347460x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5	Arızalı	0.0049050	0.051	2.501550x10 ⁻⁴		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER		0.023454	0.052	1.216187x10 ⁻³		**	**	**	**
4. TİP ARIZA									
HAT-1,HAT-2,HAT-3	Arızalı	5.158x10 ⁻⁵	6.944	3.581715x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4	Arızalı	4.075x10 ⁻⁵	6.755	2.752663x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5	Arızalı	4.637x10 ⁻⁵	7.006	3.248683x10 ⁻⁴		**	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5	Arızalı	0.0000365	6.926	2.527990x10 ⁻⁴		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER		0.0001752	6.9127	1.211105x10 ⁻³		**	**	**	**
5. TİP ARIZA									
HAT-1,HAT-2,HAT-3	Arızalı	1.262x10 ⁻⁵	2.304	2.907648x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4	Arızalı	1.085x10 ⁻⁵	2.123	2.303455x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5	Arızalı	1.284x10 ⁻⁵	2.216	2.845344x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5	Arızalı	1.083x10 ⁻⁵	2.144	2.321952x10 ⁻⁵		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER		4.714000x10 ⁻⁵	2.201	1.037840x10 ⁻⁴		**	**	**	**

(Tablo 5.6. devamı)

OLASI ARIZALAR	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl		Arıza oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl	
6. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0000503	6.893	3.467179x10 ⁻⁴		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	4.177x10 ⁻⁵	5.454	2.278136x10 ⁻⁴		*	*	*	*
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	0.0000483	5.914	2.856462x10 ⁻⁴		*	*	*	*
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	3.783x10 ⁻⁵	5.943	2.248237x10 ⁻⁴		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.0001782	6.088	1.085001x10 ⁻³		*	*	*	*
7. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	1.258x10 ⁻⁵	2.316	2.913528x10 ⁻⁵		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	1.041x10 ⁻⁵	2.360	2.456760x10 ⁻⁵		*	*	*	*
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	1.284x10 ⁻⁵	2.226	2.856960x10 ⁻⁵		*	*	*	*
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	1.056x10 ⁻⁵	2.280	2.407680x10 ⁻⁵		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	4.639000x10 ⁻⁵	2.292	1.063487x10 ⁻⁴		*	*	*	*
8. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0028610	3.276	9.372636x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	0.0024660	3.121	7.696386x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	0.0029190	2.923	8.532238x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	0.0024680	2.851	7.036268x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.0107140	3.046	3.263753x10 ⁻²		**	**	**	**
9. TİP ARIZA								
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0029990	3.167	9.497834x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	0.0028960	2.471	7.156016x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	0.0041310	1.942	8.022403x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	0.0031700	2.041	6.469970x10 ⁻³		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.1319600	2.360	3.114622x10 ⁻²		*	*	*	*
AYRINTILI GÜVENİLİRLİK İNDİSLERİ	2.289397	2.646	6.059992		2.275983	2.648	6.027661	

** Bağlantı devredışı kalma var iken elde edilen değerler geçerlidir.

* Bağlantı devredışı kalma var iken elde edilen değerler geçerli değildir (böyle bir arıza durum yoktur).

TABLO 5.7. Karamürsel –II (B–6) Yük Barası Güvenilirlik İndisleri

OLASI ARIZALAR		BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN			BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN		
		Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl	Arıza oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl
1. TİP ARIZA							
HAT-6,HAT-7	Arızalı	0.0013330	3.284	4.377572x10 ⁻³	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3	Arızalı	0.0000908	3.236	2.938288x10 ⁻⁴	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4	Arızalı	6.913x10 ⁻⁵	3.160	2.184508x10 ⁻⁴	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5	Arızalı	8.353x10 ⁻⁵	3.305	2.760667x10 ⁻⁴	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5	Arızalı	6.638x10 ⁻⁵	3.235	2.147393x10 ⁻⁴	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER		1.64284x10 ⁻³	3.275	5.380658x10 ⁻³	**	**	**
2. TİP ARIZA							
HAT-6,HAT-7	Arızalı	0.0008129	1.538	1.250240x10 ⁻³	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3	Arızalı	1.456x10 ⁻⁵	1.733	2.523248x10 ⁻⁵	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4	Arızalı	1.277x10 ⁻⁵	1.728	2.206656x10 ⁻⁵	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5	Arızalı	1.474x10 ⁻⁵	1.733	2.554442x10 ⁻⁵	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5	Arızalı	1.298x10 ⁻⁵	1.728	2.242944x10 ⁻⁵	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER		8.6795x10 ⁻⁴	1.550	1.345513x10 ⁻³	**	**	**
3. TİP ARIZA							
HAT-6,HAT-7	Arızalı	0.2104000	0.365	0.0767960000	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3	Arızalı	0.0068930	0.052	3.584360x10 ⁻⁴	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4	Arızalı	0.0054570	0.050	2.728500x10 ⁻⁴	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5	Arızalı	0.0061990	0.054	3.347460x10 ⁻⁴	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5	Arızalı	0.0049050	0.051	2.501550x10 ⁻⁴	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER		0.233854	0.333	7.801218x10 ⁻²	**	**	**
4. TİP ARIZA							
HAT-6,HAT-7	Arızalı	0.0020230	2.885	5.836355x10 ⁻³	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3	Arızalı	5.158x10 ⁻⁵	6.944	3.581715x10 ⁻⁴	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4	Arızalı	4.075x10 ⁻⁵	6.755	2.752663x10 ⁻⁴	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5	Arızalı	4.637x10 ⁻⁵	7.006	3.248683x10 ⁻⁴	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5	Arızalı	0.0000365	6.926	2.527990x10 ⁻⁴	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER		0.0021982	3.206	7.047460x10 ⁻³	**	**	**

(Tablo 5.7. devamı)

	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl		Arıza oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl	
OLASI ARIZALAR								
5. TİP ARIZA								
HAT-6,HAT-7 Arızalı	0.0017180 ⁻⁵	0.916	1.573688x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	1.262x10 ⁻⁵	2.304	2.907648x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	1.085x10 ⁻⁵	2.123	2.303456x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	1.284x10 ⁻⁵	2.216	2.845344x10 ⁻⁵		**	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	1.083x10 ⁻⁵	2.144	2.321952x10 ⁻⁵		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	1.765140x10 ⁻³	0.950	1.677472x10 ⁻³		**	**	**	**
6. TİP ARIZA								
HAT-6,HAT-7 Arızalı	0.0015220	3.041	4.628402x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0000503 ⁻⁵	6.893	3.467179x10 ⁻⁴		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	4.177x10 ⁻⁵	5.454	2.278136x10 ⁻⁴		*	*	*	*
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	0.0000483 ⁻⁵	5.914	2.858462x10 ⁻⁴		*	*	*	*
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	3.783x10 ⁻⁵	5.943	2.248237x10 ⁻⁴		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.0017002	3.360	5.713403x10 ⁻³		*	*	*	*
7. TİP ARIZA								
HAT-6,HAT-7 Arızalı	0.0010660 ⁻⁵	1.247	1.329302x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	1.258x10 ⁻⁵	2.316	2.913528x10 ⁻⁵		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	1.041x10 ⁻⁵	2.360	2.466760x10 ⁻⁵		*	*	*	*
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	1.284x10 ⁻⁵	2.225	2.856960x10 ⁻⁵		*	*	*	*
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	1.056x10 ⁻⁵	2.280	2.407680x10 ⁻⁵		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	1.112390x10 ⁻³	1.290	1.435651x10 ⁻³		*	*	*	*
8. TİP ARIZA								
HAT-6,HAT-7 Arızalı	0.2134000	0.368	7.853121x10 ⁻²		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0028610	3.276	9.372836x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	0.0024660	3.121	7.696386x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	0.0029190	2.923	8.532238x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	0.0024680	2.851	7.036268x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.2241140	0.496	0.1111687		**	**	**	**
9. TİP ARIZA								
HAT-6,HAT-7 Arızalı	0.2146000	0.372	0.0798312000 ⁻³		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-3 Arızalı	0.0029990	3.167	9.497834x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-1,HAT-2,HAT-4 Arızalı	0.0028960	2.471	7.156016x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-2,HAT-3,HAT-5 Arızalı	0.0041310	1.942	8.022403x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-2,HAT-4,HAT-5 Arızalı	0.0031700	2.041	6.469970x10 ⁻³		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.2277960	0.487	0.1109774		*	*	*	*
AYRINTILI GÜVENİLİRLİK İNDİSLERİ	0.6948849	0.464	0.322607		0.4643729	0.440	0.204559	

** Bağlantı devredışı kalma var iken elde edilen değerler geçerlidir.

* Bağlantı devredışı kalma var iken elde edilen değerler geçerli değildir (böyle bir arıza durumu yoktur).

TABLO 5.8. İnegöl –II (B-7) Yük Barası Güvenilirlik İndisleri

OLASI ARIZALAR	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredişi kalma süresi saat	Top.devredişi kalma zamanı saat/yıl		Arıza oranı a/yıl	Ort.devredişi kalma süresi saat	Top.devredişi kalma zamanı saat/yıl	
1. TİP ARIZA								
HAT-11 Arızalı	0.7408000	6.309	4.6737080000 ⁻³		**	**	**	**
HAT-9,HAT-12 Arızalı	0.0016950	3.105	5.262975x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-10,HAT-12 Arızalı	0.0021760	3.184	6.928385x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.744671	6.292	4.685899		**	**	**	**
2. TİP ARIZA								
HAT-11 Arızalı	1.2470000	0.744	0.9277680000 ⁻³		**	**	**	**
HAT-9,HAT-12 Arızalı	0.0012900	1.558	2.009820x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-10,HAT-12 Arızalı	0.0015460	1.562	2.414852x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	1.249836	0.745	0.9321926		**	**	**	**
3. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12 Arızalı	0.2569000	0.512	0.1315328000 ⁻³		**	**	**	**
HAT-10,HAT-12 Arızalı	0.2795000	0.642	0.1794390000 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.5364000	0.579	0.3109718000 ⁻³		**	**	**	**
4. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12 Arızalı	0.0031760	2.764	8.778464x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-10,HAT-12 Arızalı	0.0036190	2.842	0.0102852000 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	6.79500x10 ⁻³	2.805	1.906366x10 ⁻²		**	**	**	**
5. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12 Arızalı	0.0033710	0.910	3.067610x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-10,HAT-12 Arızalı	0.0035290	1.021	3.603109x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	6.90001x10 ⁻³	0.966	6.670719x10 ⁻³		**	**	**	**

(Tablo 5.8. devamı.)

OLASI ARIZALAR	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl		Arıza oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl	
6. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12 Arızalı	0.0030980	3.104	9.616192x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-10,HAT-12 Arızalı	0.0070040	3.865	2.707046x10 ⁻²		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.0101020	3.631	3.668665x10 ⁻²		*	*	*	*
7. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12 Arızalı	0.0030850	0.947	2.921495x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-10,HAT-12 Arızalı	0.0076540	0.748	5.726193x10 ⁻³		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.0107390	0.805	8.646688x10 ⁻³		*	*	*	*
8. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12 Arızalı	0.2594000	0.520	0.1348880		**	**	**	**
HAT-10,HAT-12 Arızalı	0.2837000	0.513	0.1455381		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.5431000	0.516	0.2804261		**	**	**	**
9. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12 Arızalı	0.2601000	0.518	0.1347318		*	*	*	*
HAT-10,HAT-12 Arızalı	0.2766000	0.469	0.1297264		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.5367000	0.492	0.2644457		*	*	*	*
AYRINTILI GÜVENİLİRLİK İNDİSLERİ	3.6451250	1.795	6.544657		3.087595	2.019	6.234930	

** Bağlantı devredışı kalma var iken elde edilen değerler geçerlidir.

* Bağlantı devredışı kalma var iken elde edilen değerler geçerli değildir (böyle bir arıza durumu yoktur).

TABLO 5.9. Kestel (B-9) Yük Barası Güvenilirlik İndisleri

OLASI ARIZALAR	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devrediş kalma süresi saat	Top.devrediş kalma zamanı saat/yıl		Arıza oranı a/yıl	Ort.devrediş kalma süresi saat	Top.devrediş kalma zamanı saat/yıl	
1. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12 Arızalı	0.0016950	3.105	5.262975x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-10,HAT-12 Arızalı	0.0021760	3.184	6.928385x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.003871	3.149	1.219913x10 ⁻²		**	**	**	**
2. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12 Arızalı	0.0012900	1.558	2.009820x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-10,HAT-12 Arızalı	0.0015460	1.562	2.414852x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.0028360	1.560	4.424672x10 ⁻³		**	**	**	**
3. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12 Arızalı	0.2569000	0.512	0.1315328000		**	**	**	**
HAT-10,HAT-12 Arızalı	0.2795000	0.642	0.1794390000		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.5364000	0.579	0.3109718000		**	**	**	**
4. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12 Arızalı	0.0031760	2.764	8.778464x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-10,HAT-12 Arızalı	0.0036190	2.842	0.0102852000		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	6.79500x10 ⁻³	2.805	1.906366x10 ⁻²		**	**	**	**
5. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12 Arızalı	0.0033710	0.910	3.067610x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-10,HAT-12 Arızalı	0.0035290	1.021	3.603109x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	6.90001x10 ⁻³	0.966	6.670719x10 ⁻³		**	**	**	**

(Tablo 5.9. devamı)

OLASI ARIZALAR	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredişi kalma süresi saat	Top.devredişi kalma zamanı saat/yıl		Arıza oranı a/yıl	Ort.devredişi kalma süresi saat	Top.devredişi kalma zamanı saat/yıl	
6. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12	0.0030980	3.104	9.616192x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-10,HAT-12	0.0070040	3.865	2.707046x10 ⁻²		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.0101020	3.631	3.668665x10 ⁻²		*	*	*	*
7. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12	0.0030850	0.947	2.921495x10 ⁻³		*	*	*	*
HAT-10,HAT-12	0.0076540	0.748	5.726193x10 ⁻³		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.0107390	0.805	8.646688x10 ⁻³		*	*	*	*
8. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12	0.2594000	0.520	0.1348880		**	**	**	**
HAT-10,HAT-12	0.2837000	0.513	0.1455381		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.5431000	0.516	0.2804261		**	**	**	**
9. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12	0.2601000	0.518	0.1347318		*	*	*	*
HAT-10,HAT-12	0.2766000	0.469	0.1297254		*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.5367000	0.492	0.2644457		*	*	*	*
AYRINTILI GÜVENİLİRLİK İNDİSLERİ	1.6574300	0.569	0.943360		1.099900	0.567	0.633634	

** Bağlantı devredişi kalma var iken elde edilen değerler geçerlidir.

* Bağlantı devredişi kalma var iken elde edilen değerler geçerli değildir (böyle bir arıza durumu yoktur).

TABLO 5. 10. Bursa (B-10) Yük Barası Güvenilirlik İndisleri

OLASI ARIZALAR	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl		Arıza oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl	
1. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12	0.0016950	3.105	5.262975x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-9,HAT-10	0.0021680	3.172	6.876896x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.0038630	3.142	1.213987x10 ⁻²		**	**	**	**
2. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12	0.0012900	1.558	2.009820x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-9,HAT-10	0.0018620	1.568	2.919616x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.0031520	1.563	4.929436x10 ⁻³		**	**	**	**
3. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12	0.2569000	0.512	0.1315328000		**	**	**	**
HAT-9,HAT-10	0.3033000	0.512	0.1552896		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.5602000	0.512	0.2868225000		**	**	**	**
4. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12	0.0031760	2.764	8.778464x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-9,HAT-10	0.0033970	2.719	9.236444x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.0065730	2.740	1.801491x10 ⁻²		**	**	**	**
5. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12	0.0033710	1.910	6.438610x10 ⁻³		**	**	**	**
HAT-9,HAT-10	0.0036510	1.074	3.921174x10 ⁻³		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.0070220	1.475	1.035978x10 ⁻²		**	**	**	**

(Tablo 5.10. devamı.)

OLASI ARIZALAR	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl		Arıza oranı a/yıl	Ort.devredışı kalma süresi saat	Top.devredışı kalma zamanı saat/yıl	
6. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12	Arızalı	0.0036980	3.104	1.147859x10 ⁻²	*	*	*	*
HAT-9,HAT-10	Arızalı	0.0086220	3.757	3.239285x10 ⁻²	*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.0123200	3.560	4.387145x10 ⁻²		*	*	*	*
7. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12	Arızalı	0.0030850	0.947	2.921495x10 ⁻³	*	*	*	*
HAT-9,HAT-10	Arızalı	0.0114100	0.762	8.694419x10 ⁻³	*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.0144950	0.801	1.161592x10 ⁻²		*	*	*	*
8. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12	Arızalı	0.2594000	0.520	0.1348880	**	**	**	**
HAT-9,HAT-10	Arızalı	0.3080000	0.721	0.2220680	**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	0.5674000	0.629	0.3569560		**	**	**	**
9. TİP ARIZA								
HAT-9,HAT-12	Arızalı	0.2601000	0.518	0.1347318	*	*	*	*
HAT-9,HAT-10	Arızalı	0.2938000	0.660	0.1939080	*	*	*	*
TOPLAM DEĞERLER	0.5539000	0.593	0.3286398		*	*	*	*
AYRINTILI GÜVENİLİRLİK İNDİSLERİ	1.7289200	0.620	1.073199		1.148210	0.600	0.6891191	

** Bağlantı devredışı kalma var iken elde edilen değerler geçerlidir.

* Bağlantı devredışı kalma var iken elde edilen değerler geçerli değildir (böyle bir arıza durumu yoktur).

TABLO 5. 11. Akçalar (B-11) Yük Barası Güvenilirlik İndisleri

OLASI ARIZALAR	BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA VAR İKEN				BAĞLANTI DEVREDİŞİ KALMA YOK İKEN			
	Arıza Oranı a/yıl	Ort.devrediş kalma süresi saat	Top.devrediş kalma zamanı saat/yıl		Arıza oranı a/yıl	Ort.devrediş kalma süresi saat	Top.devrediş kalma zamanı saat/yıl	
1. TİP ARIZA HAT-8	Arızalı 1.49100	5.019	7.4833		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	1.49100	5.019	7.4833		**	**	**	**
2. TİP ARIZA HAT-8	Arızalı 1.99800	0.893	1.7842		**	**	**	**
TOPLAM DEĞERLER	1.99800	0.893	1.7842		**	**	**	**
AYRINTILI GÜVENİLİRLİK İNDİSLERİ	3.4890	2.656	9.26750		3.4890	2.656	9.26750	

** Bağlantı devredışı kalma var iken elde edilen değerler geçerlidir.

* Bağlantı devredışı kalma var iken elde edilen değerler geçerli değildir (böyle bir arıza durumu yoktur).

Tablo 5.12. Asilçelik, Gemlik - II, Orhangazi -II Yük Baraları için Güvenilirlik Değerleri.

Yük Barası Asilçelik (B-2) (Bağlantı devre dışı kalma yok iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .6708988
T(3) = 10000	R(3) = .4501052
T(4) = 15000	R(4) = .3019751
T(5) = 20000	R(5) = .2025947
T(6) = 25000	R(6) = .1359205
T(7) = 30000	R(7) = 9.118893×10^{-2}
T(8) = 35000	R(8) = 6.117855×10^{-2}
T(9) = 35040	R(9) = 6.098835×10^{-2}
Yük Barası Gemlik-II (B-3) (Bağlantı devre dışı kalma yok iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .7257973
T(3) = 10000	R(3) = .5267817
T(4) = 15000	R(4) = .3823367
T(5) = 20000	R(5) = .2774989
T(6) = 25000	R(6) = .201408
T(7) = 30000	R(7) = .1461814
T(8) = 35000	R(8) = .106098
T(9) = 35040	R(9) = .1058264
Yük Barası Orhangazi-II (B-4) (Bağlantı devre dışı kalma yok iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .9803602
T(3) = 10000	R(3) = .9611063
T(4) = 15000	R(4) = .9422304
T(5) = 20000	R(5) = .9237252
T(6) = 25000	R(6) = .9055835
T(7) = 30000	R(7) = .8877981
T(8) = 35000	R(8) = .8703621
T(9) = 35040	R(9) = .8702239

Tablo 5.13. Yalova-II, Karamürsel, İnegöl-II Yük Baraları için Güvenilirlik Değerleri.

Yük Barası Yalova-II (B-5) (Bağlantı devredışı kalma yok iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .2727836
T(3) = 10000	R(3) = 7.441089×10^{-2}
T(4) = 15000	R(4) = 2.029807×10^{-2}
T(5) = 20000	R(5) = 5.53698×10^{-3}
T(6) = 25000	R(6) = 1.510397×10^{-3}
T(7) = 30000	R(7) = 4.120116×10^{-4}
T(8) = 35000	R(8) = 1.123901×10^{-4}
T(9) = 35040	R(9) = 1.11228×10^{-4}
Yük Barası Karamürsel (B-6) (Bağlantı devredışı kalma yok iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .7671653
T(3) = 10000	R(3) = .5885426
T(4) = 15000	R(4) = .4515095
T(5) = 20000	R(5) = .3463824
T(6) = 25000	R(6) = .2657325
T(7) = 30000	R(7) = .2038608
T(8) = 35000	R(8) = .1563949
T(9) = 35040	R(9) = .1560636
Yük Barası İnegöl - II (B-7) (Bağlantı devredışı kalma yok iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .1716451
T(3) = 10000	R(3) = 2.946206×10^{-2}
T(4) = 15000	R(4) = 5.05702×10^{-3}
T(5) = 20000	R(5) = 8.680127×10^{-4}
T(6) = 25000	R(6) = 1.489902×10^{-4}
T(7) = 30000	R(7) = 2.557346×10^{-5}
T(8) = 35000	R(8) = 4.389558×10^{-6}
T(9) = 35040	R(9) = 4.328105×10^{-6}

Tablo 5.14. Kestel, Bursa, Akçalar Yük Baraları için Güvenilirlik Değerleri.

Yük Barası Kestel (B-9) (Bağlantı devredışı kalma yok iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .5337664
T(3) = 10000	R(3) = .2849066
T(4) = 15000	R(4) = .1520736
T(5) = 20000	R(5) = 8.117175×10^{-2}
T(6) = 25000	R(6) = 4.332676×10^{-2}
T(7) = 30000	R(7) = 2.312637×10^{-2}
T(8) = 35000	R(8) = 1.234408×10^{-2}
T(9) = 35040	R(9) = 1.228224×10^{-2}
Yük Barası Bursa (B-10) (Bağlantı devredışı kalma yok iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .5192495
T(3) = 10000	R(3) = .26962
T(4) = 15000	R(4) = .14
T(5) = 20000	R(5) = 7.269493×10^{-2}
T(6) = 25000	R(6) = .0377468
T(7) = 30000	R(7) = .0196
T(8) = 35000	R(8) = 1.017729×10^{-2}
T(9) = 35040	R(9) = 1.012407×10^{-2}
Yük Barası Akçalar (B-11) (Bağlantı devredışı kalma yok iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .1364989
T(3) = 10000	R(3) = 1.863196×10^{-2}
T(4) = 15000	R(4) = 2.543242×10^{-3}
T(5) = 20000	R(5) = 3.4715×10^{-4}
T(6) = 25000	R(6) = 4.738561×10^{-5}
T(7) = 30000	R(7) = 6.468077×10^{-6}
T(8) = 35000	R(8) = 8.828863×10^{-7}
T(9) = 35040	R(9) = 8.689314×10^{-7}

Tablo 5.15. Asilçelik, Gemlik-II, Orhangazi-II Yük Baraları Güvenilirlik Değerleri.
(Bağlantı Devredışı Kalma Var İken)

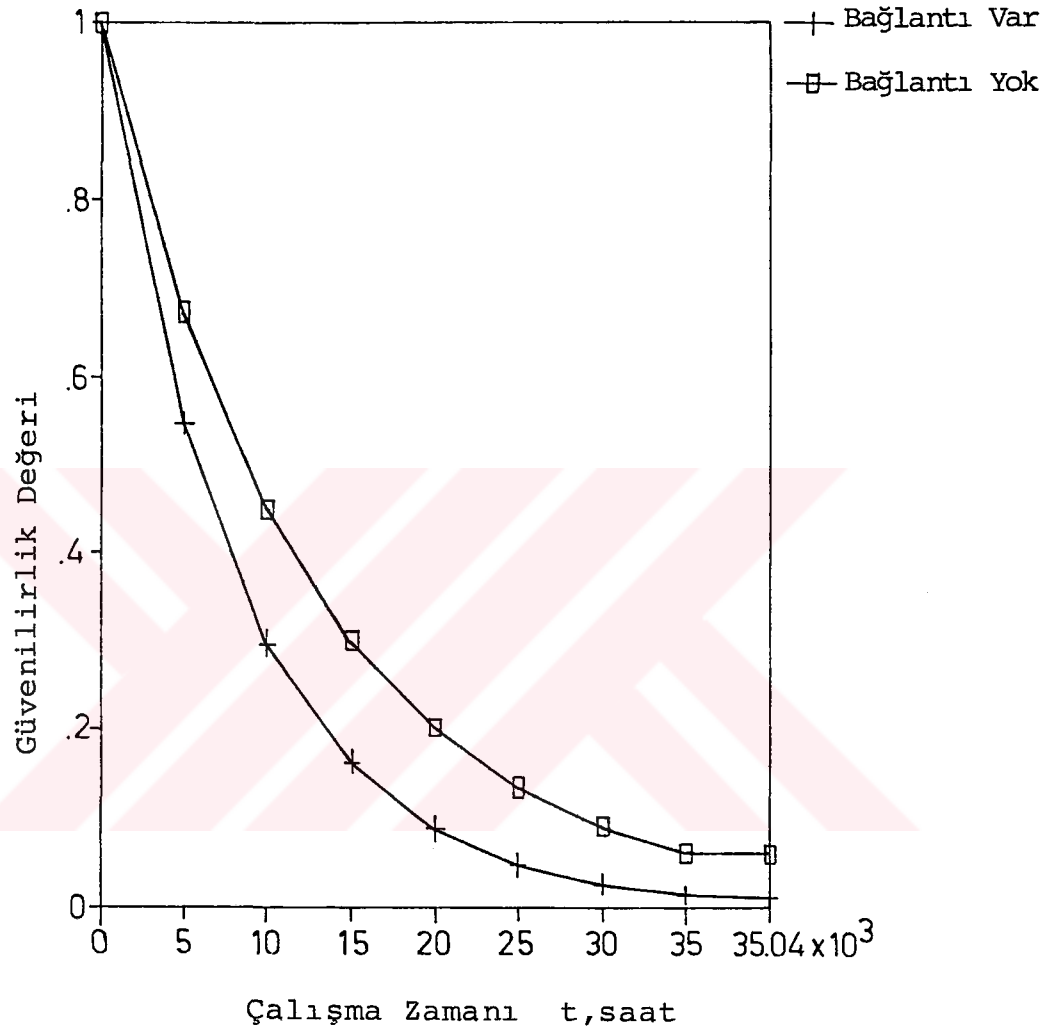
Yük Barası Asilçelik (B-2) (Bağlantı devredışı kalma var iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .5457603
T(3) = 10000	R(3) = .2978543
T(4) = 15000	R(4) = .162557
T(5) = 20000	R(5) = 8.871716×10^{-2}
T(6) = 25000	R(6) = .0484183
T(7) = 30000	R(7) = 2.642478×10^{-2}
T(8) = 35000	R(8) = .0144216
T(9) = 35040	R(9) = .0143519
Yük Barası Gemlik - II (B-3) (Bağlantı devredışı kalma var iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .613021
T(3) = 10000	R(3) = .3757948
T(4) = 15000	R(4) = .2303701
T(5) = 20000	R(5) = .1412217
T(6) = 25000	R(6) = 8.657184×10^{-2}
T(7) = 30000	R(7) = 5.307036×10^{-2}
T(8) = 35000	R(8) = 3.253324×10^{-2}
T(9) = 35040	R(9) = 3.240613×10^{-2}
Yük Barası Orhangazi - II (B-4) (Bağlantı devredışı kalma var iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .9728792
T(3) = 10000	R(3) = .9464941
T(4) = 15000	R(4) = .9208244
T(5) = 20000	R(5) = .895851
T(6) = 25000	R(6) = .8715548
T(7) = 30000	R(7) = .8479176
T(8) = 35000	R(8) = .8249214
T(9) = 35040	R(9) = .82474

Tablo 5.16. Yalova-II, Karamürsel, Inegöl-II Yük Baraları için Güvenilirlik Değerleri.
(Bağlantı Devredışı Kalma Var Iken)

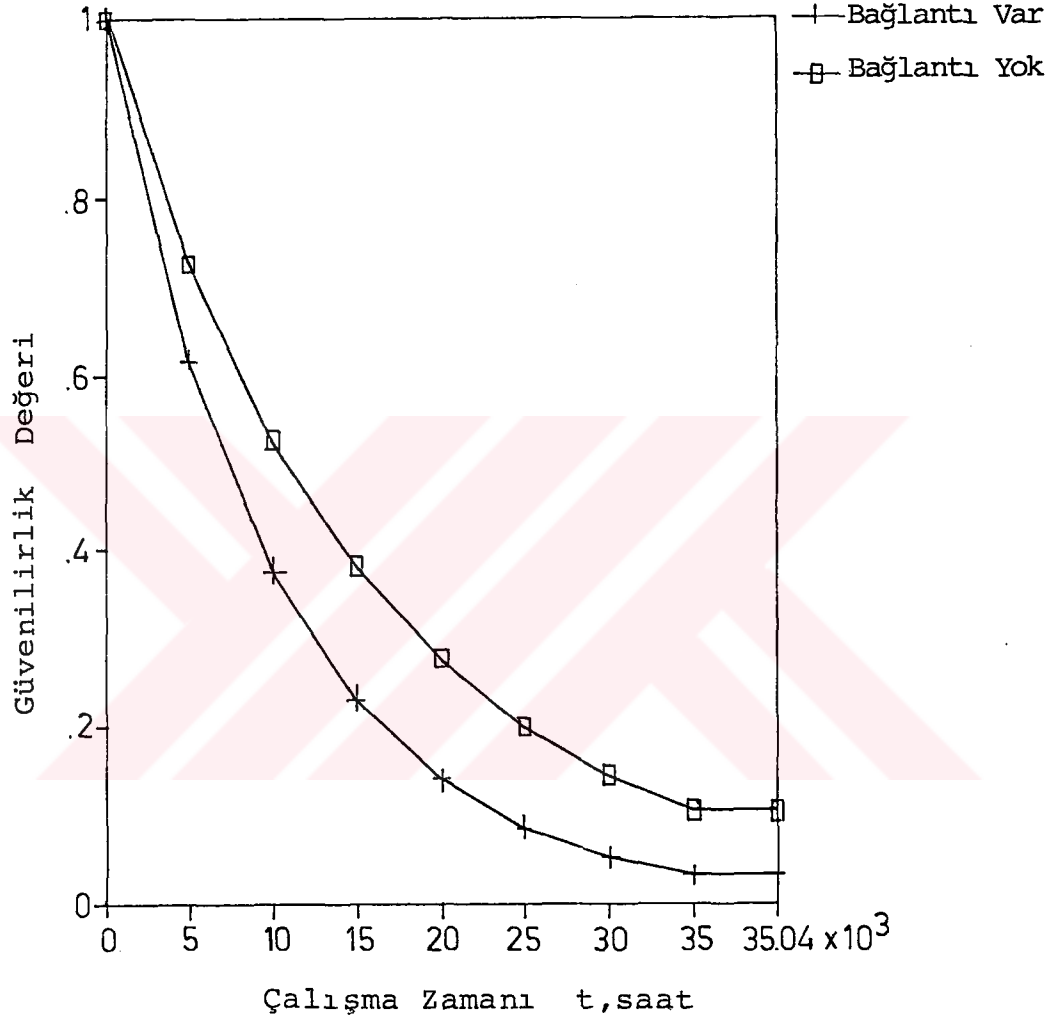
Yük Barası Yalova - II (B-5) (Bağlantı devredışı kalma var iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .2707029
T(3) = 10000	R(3) = 7.328005x10 ⁻²
T(4) = 15000	R(4) = 1.983712x10 ⁻²
T(5) = 20000	R(5) = 5.369965x10 ⁻³
T(6) = 25000	R(6) = 1.453665x10 ⁻³
T(7) = 30000	R(7) = 3.935114x10 ⁻⁴
T(8) = 35000	R(8) = 1.065247x10 ⁻⁴
T(9) = 35040	R(9) = 1.054169x10 ⁻⁴
Yük Barası Karamürsel - II (B-6) (Bağlantı devredışı kalma var iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .6725875
T(3) = 10000	R(3) = .4523733
T(4) = 15000	R(4) = .3042604
T(5) = 20000	R(5) = .2046416
T(6) = 25000	R(6) = .1376393
T(7) = 30000	R(7) = 9.257438x10 ⁻²
T(8) = 35000	R(8) = 6.226433x10 ⁻²
T(9) = 35040	R(9) = 6.206708x10 ⁻²
Yük Barası Inegöl - II (B-7) (Bağlantı devredışı kalma var iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .1248614
T(3) = 10000	R(3) = 1.559037x10 ⁻²
T(4) = 15000	R(4) = 1.946635x10 ⁻³
T(5) = 20000	R(5) = 2.430595x10 ⁻⁴
T(6) = 25000	R(6) = 3.034873x10 ⁻⁵
T(7) = 30000	R(7) = 3.789389x10 ⁻⁶
T(8) = 35000	R(8) = 4.731485x10 ⁻⁷
T(9) = 35040	R(9) = 4.653382x10 ⁻⁷

Tablo 5.17. Kestel, Bursa, Akçalar Yük Baraları için
Güvenilirlik Değerleri.
(Bağlantı Devredışı Kalma Var İken)

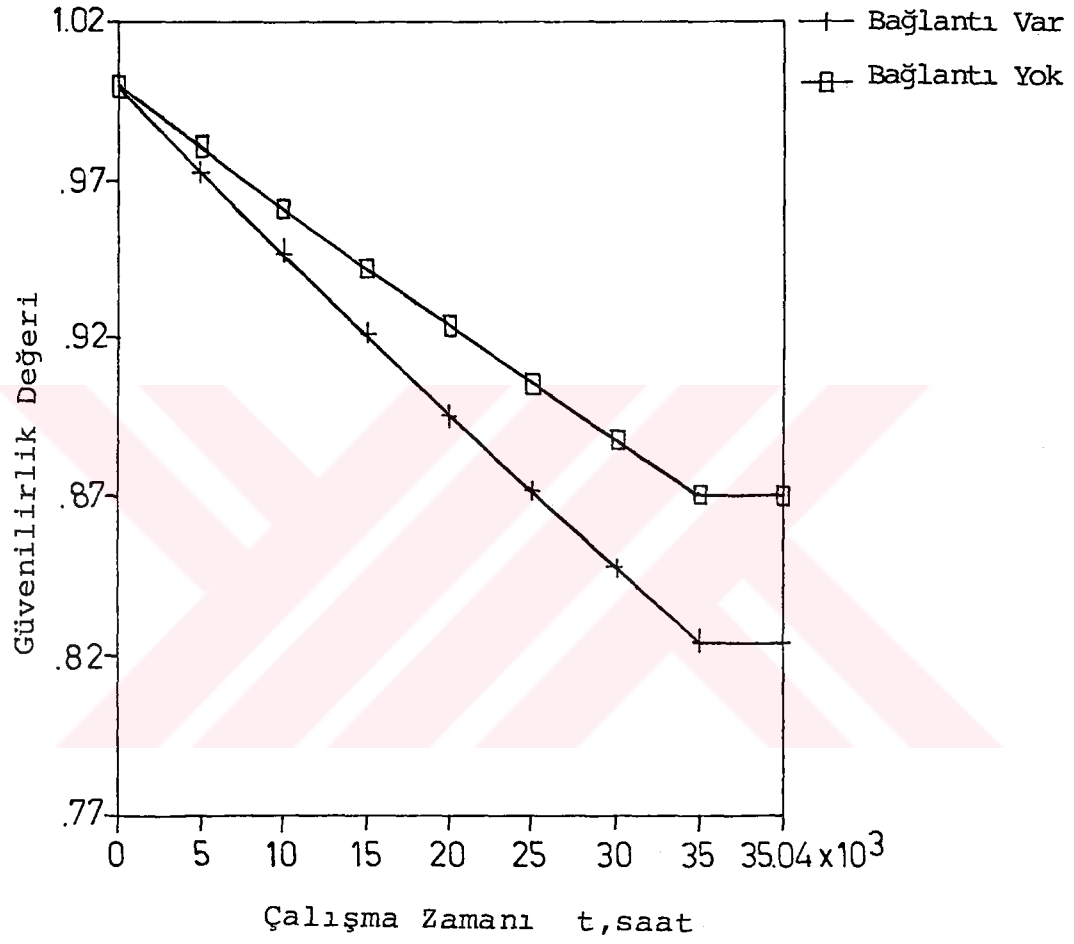
Yük Barası Kestel (B-9) (Bağlantı devredışı kalma var iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .3882825
T(3) = 10000	R(3) = .1507634
T(4) = 15000	R(4) = 5.853879×10^{-2}
T(5) = 20000	R(5) = 2.272959×10^{-2}
T(6) = 25000	R(6) = 8.825503×10^{-3}
T(7) = 30000	R(7) = 3.426790×10^{-3}
T(8) = 35000	R(8) = 1.330562×10^{-3}
T(9) = 35040	R(9) = 1.320530×10^{-3}
Yük Barası Bursa (B-10) (Bağlantı Devredışı kalma var iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .3727578
T(3) = 10000	R(3) = .1389484
T(4) = 15000	R(4) = 5.179408×10^{-2}
T(5) = 20000	R(5) = 1.930665×10^{-2}
T(6) = 25000	R(6) = 7.196703×10^{-3}
T(7) = 30000	R(7) = 2.682627×10^{-3}
T(8) = 35000	R(8) = 9.999698×10^{-4}
T(9) = 35040	R(9) = 9.921070×10^{-4}
Yük Barası Akçalar (B-11) (Bağlantı devredışı kalma var iken)	
<u>Çalışma Zamanı (saat)</u>	<u>Güvenilirlik Değeri</u>
T(1) = 0	R(1) = 1
T(2) = 5000	R(2) = .1364989
T(3) = 10000	R(3) = 1.863196×10^{-2}
T(4) = 15000	R(4) = 2.543242×10^{-3}
T(5) = 20000	R(5) = 3.471500×10^{-4}
T(6) = 25000	R(6) = 4.738561×10^{-5}
T(7) = 30000	R(7) = 6.468077×10^{-6}
T(8) = 35000	R(8) = 8.828863×10^{-7}
T(9) = 35040	R(9) = 8.689314×10^{-7}



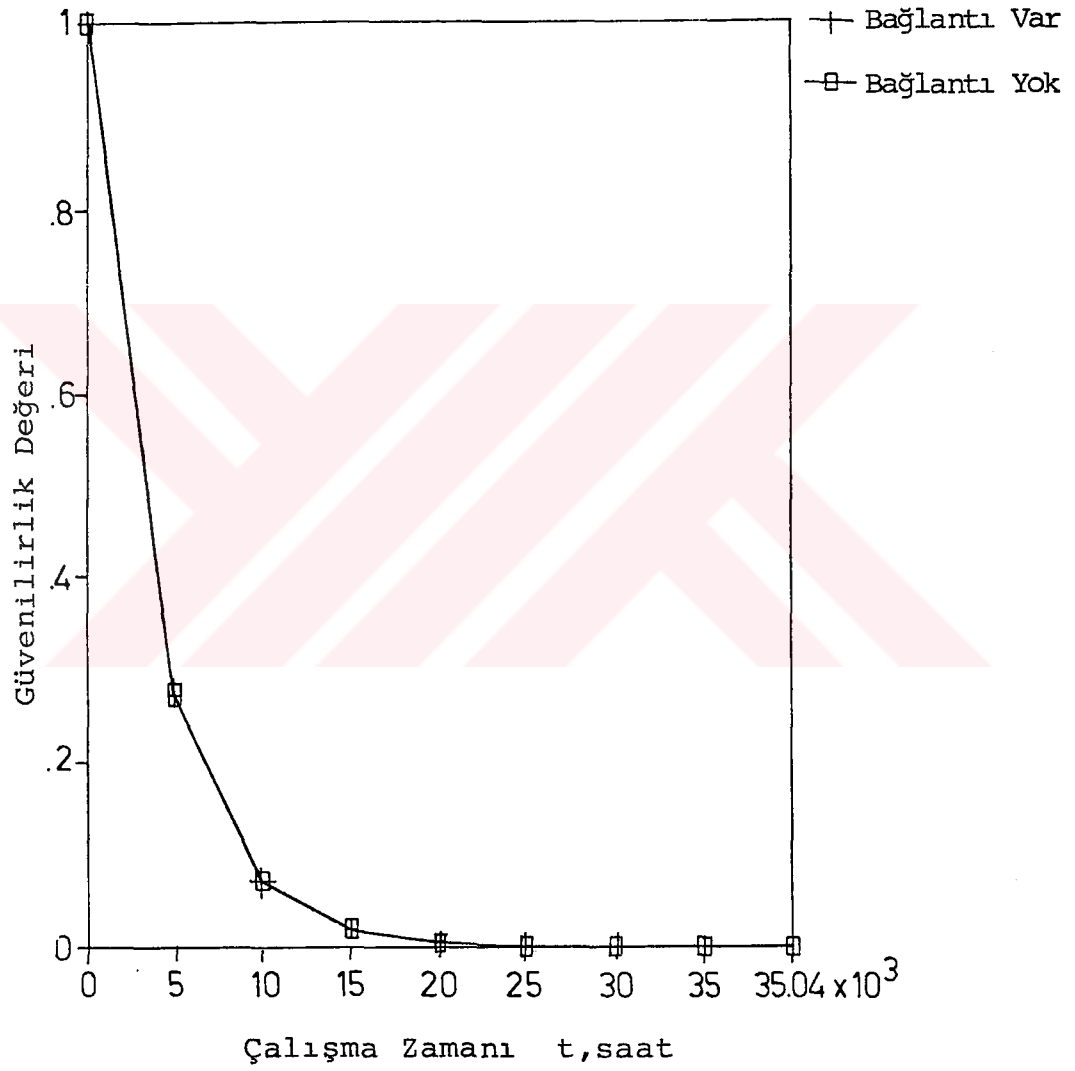
Şekil 5.2. Asilçelik Yük Barası için Bağlantı Nedenli Devredışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi.



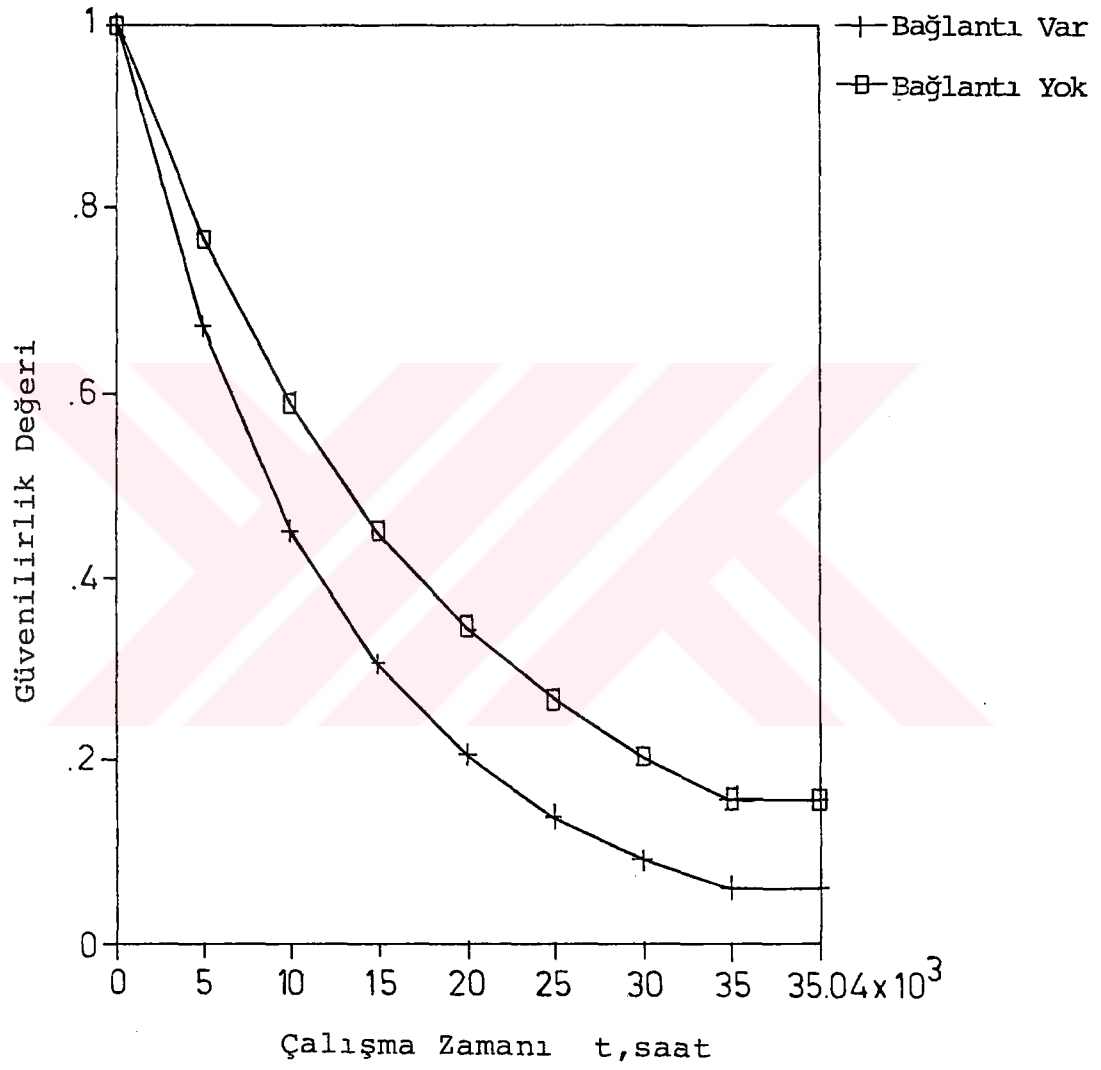
Şekil 5.3. Gemlik - II Yük Barası için Bağlantı Nedenli Devre dışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi.



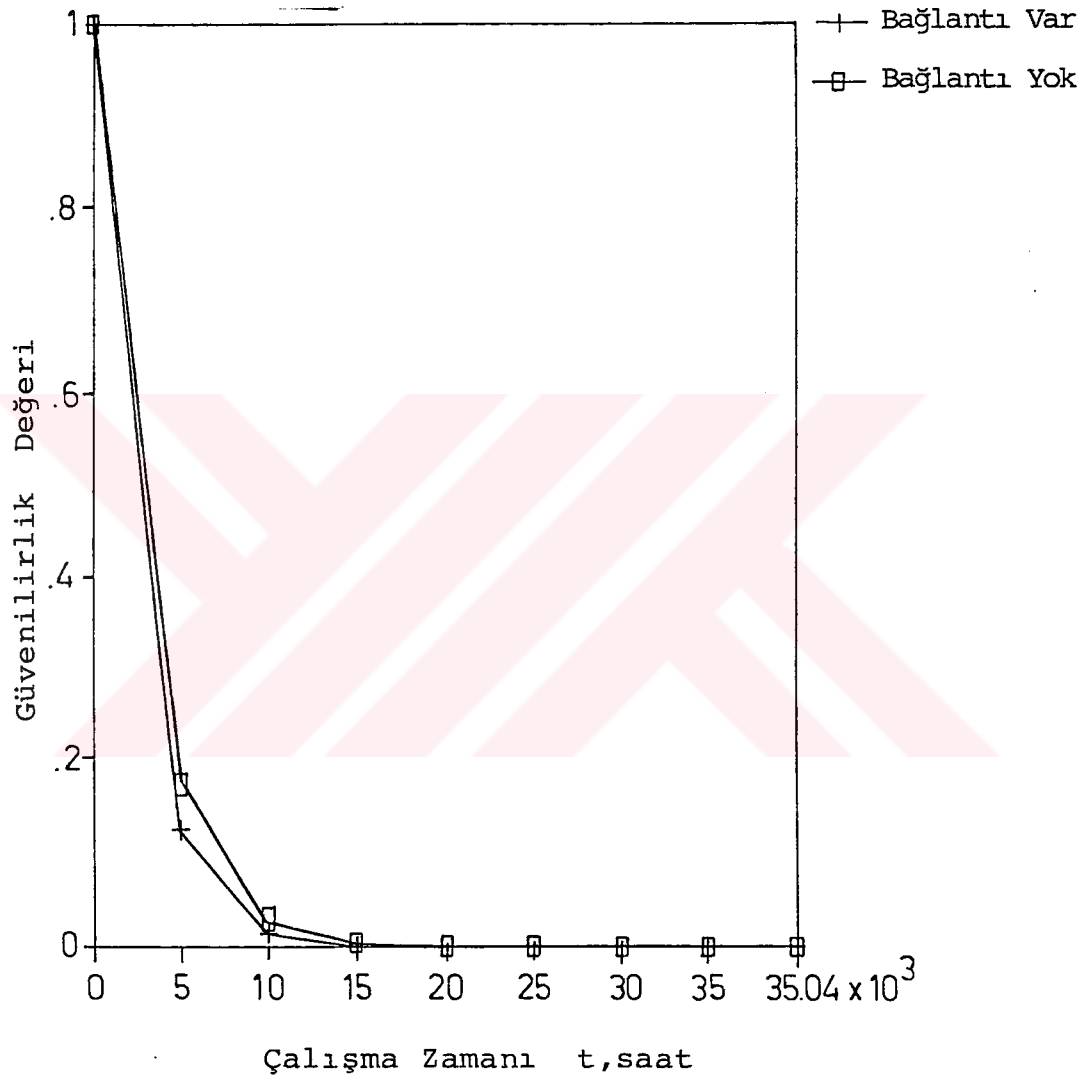
Şekil 5.4. Orhangazi-II Yük Barası için Bağlantı Nedenli Devre dışı Kalmaların Güvenirliğe Etkisi.



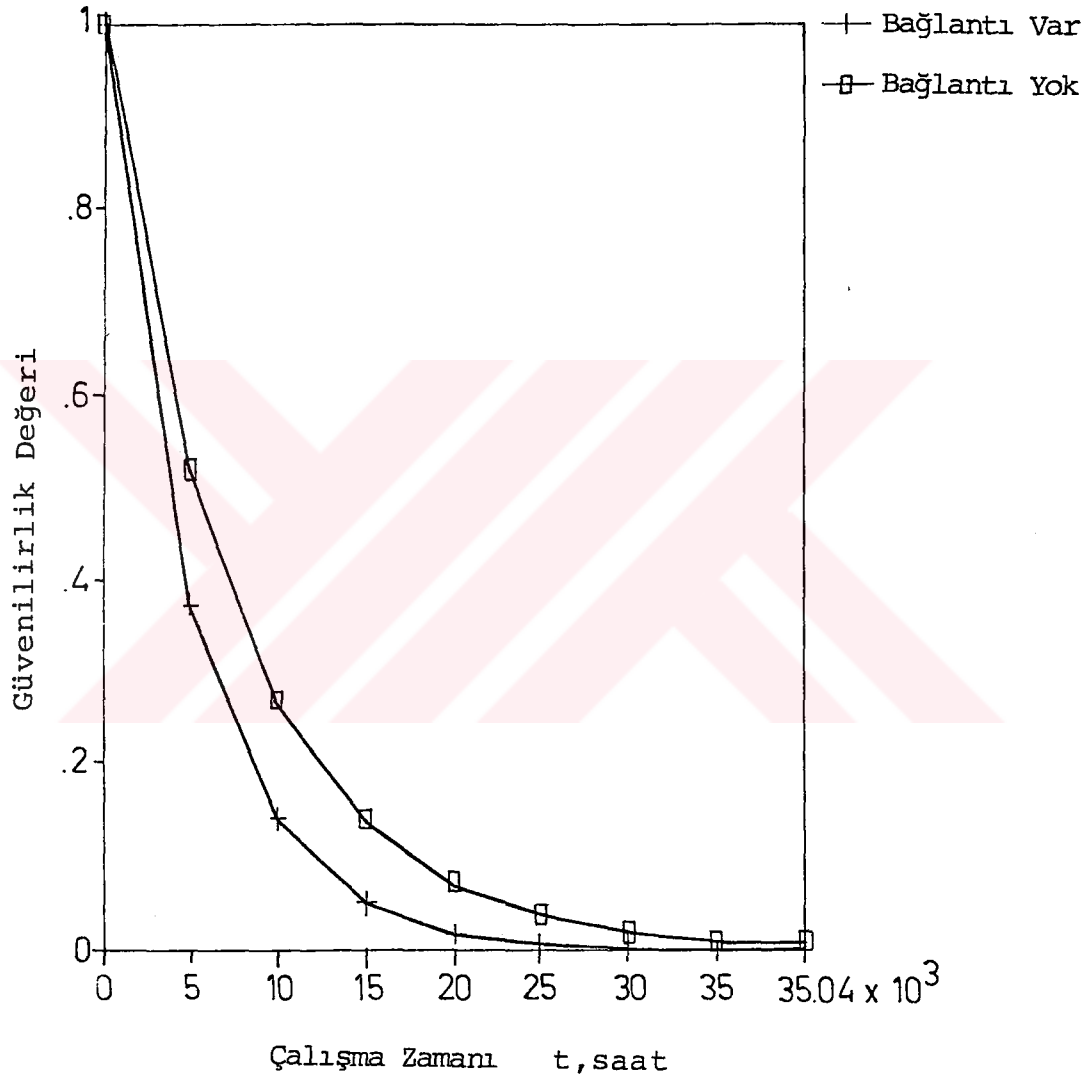
Şekil 5.5. Yalova-II Yük Barası için Bağlantı Nedenli Devre dışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi.



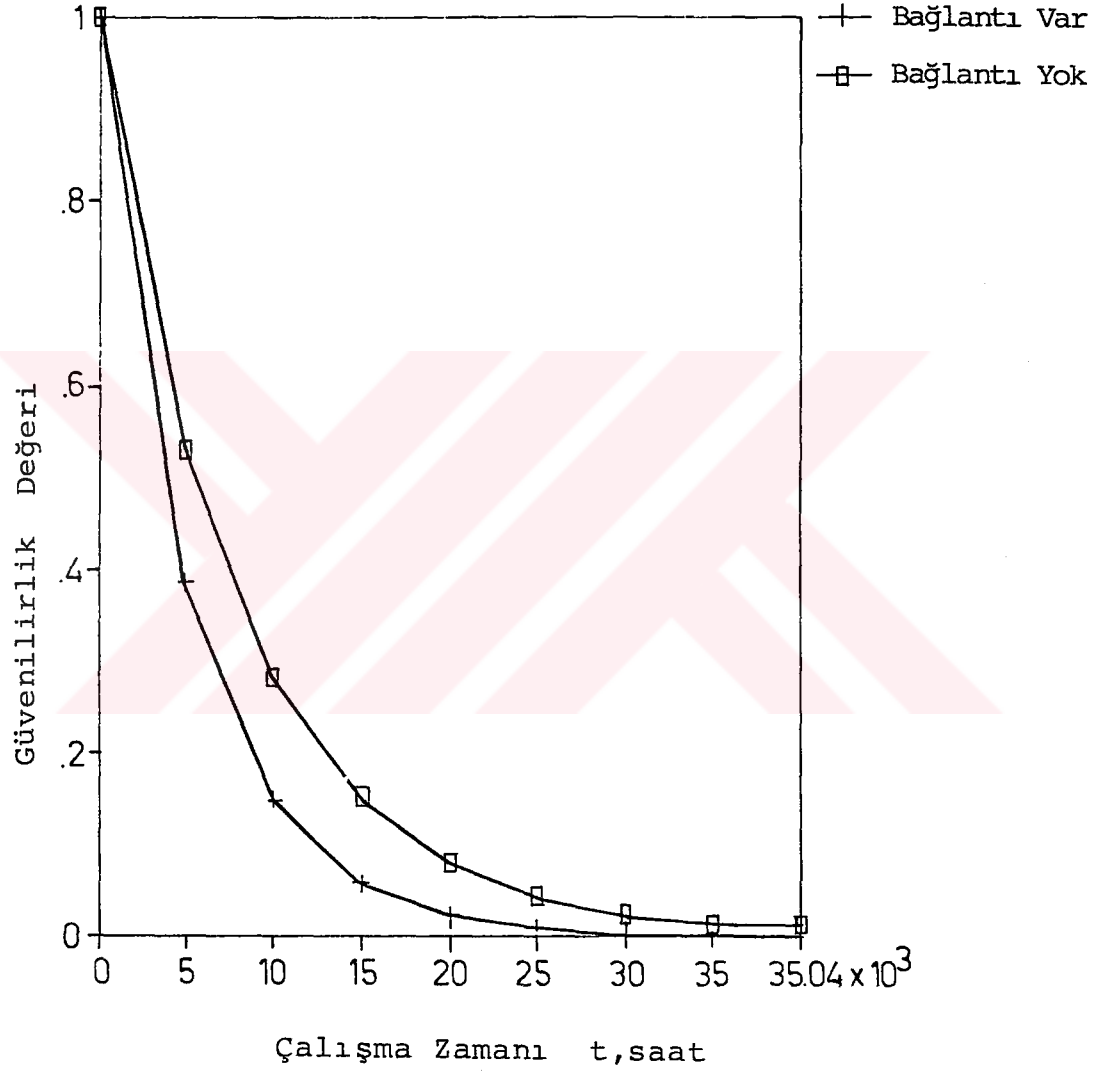
Şekil 5.6. Karamürsel Yük Barası İçin Bağlantı Nedenli Devre dışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi.



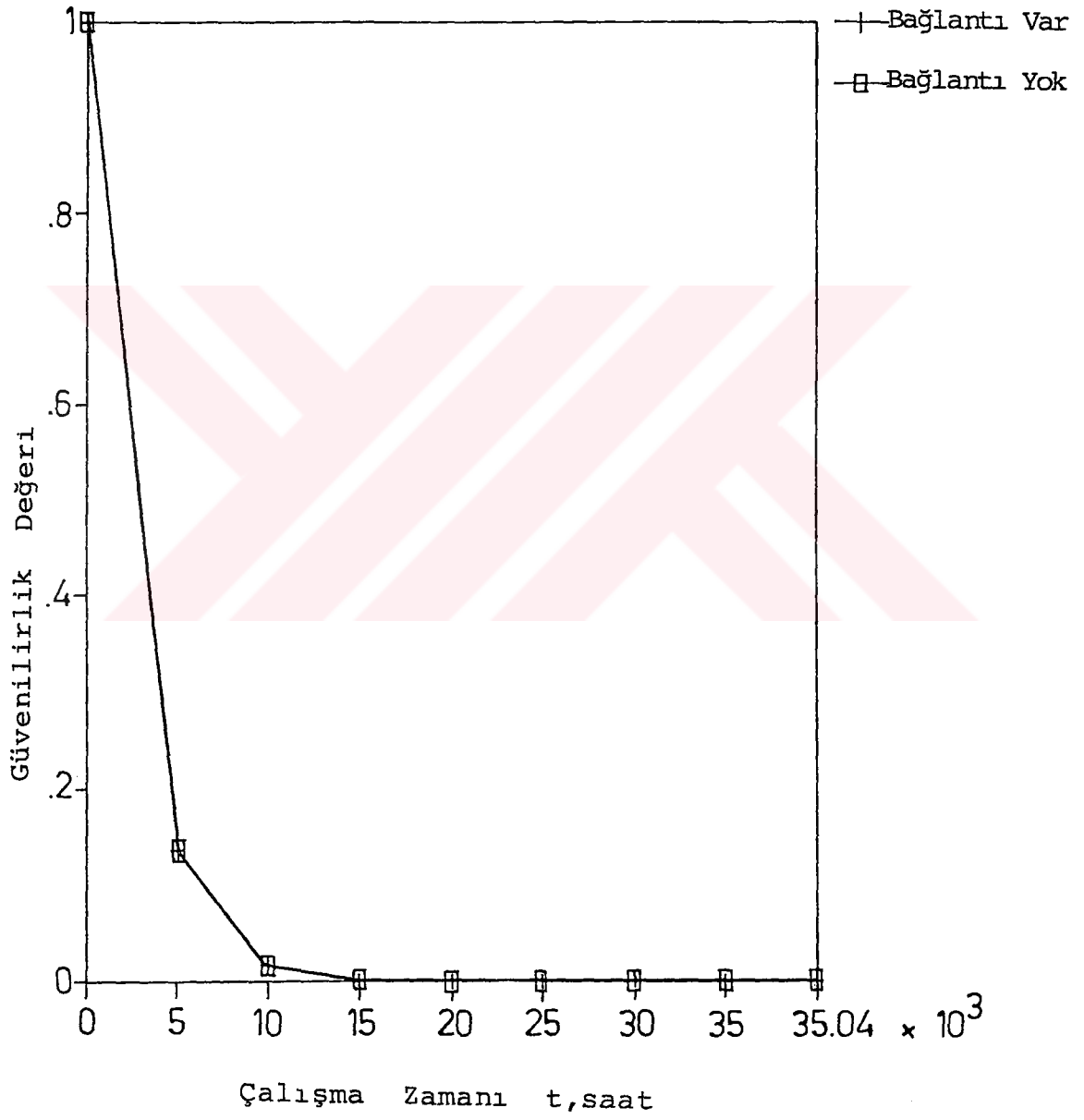
Şekil 5.7. İnegöl-II Yük Barası için Bağlantı Nedenli Devre dışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi.



Şekil 5.8. Kestel Yük Barası için Bağlantı Nedenli Devre dışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi.



Şekil 5.9. Bursa Yük Barası için Bağlantı Nedenli Devre dışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi.



Şekil 5.10. Akçalar Yük Barası için Bağlantı Nedenli Devre dışı Kalmaların Güvenilirliğe Etkisi.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Büyük sistemler için Markov modellemesinin, bilgisayar gereksinimleri ile ilgili sınırlamalar nedeniyle yaklaşıklık tekniğinin yararları ortaya çıkar. Ancak yaklaşıklık tekniğinde de sistem elemanlarının artışı ile doğrudan oluşturulan ifadelerin zorluğu vardır. Markov Yöntemin'de sistemin gireceği durumların sürekli hal olasılıklarını bulmak için düzenlenen lineer diferansiyel denklemler sistem eleman adedi arttıkça çözüm açısından zorluklar çıkarır. Markov yönteminde sistem eleman sayısı artarken durum uzay diyagramı çok hızlı büyür ve bilgisayar hafızası ve hatalar'dan dolayı çok büyük sistemlere Markov yöntemini uygulamak çok zordur. Tüm bu sorunlar gözönüne alınarak bu çalışma'da durum geçiş matrisi yöntemi geliştirilmiştir. Markov, yaklaşıklık ve durum geçiş matrisi yöntemleri karşılaştırılarak yapılan bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar şu şekilde özetlenebilir.

1) Bu çalışmada geliştirilen durum geçiş matrisi yöntemi ile elde edilen durum geçiş diyagramıyla durum uzay diyagramının zorlukları azaltılmıştır. Ayrıca bir algoritma geliştirilip bilgisayarla durum geçiş matrisini elde etmek kolaylaştırılmıştır. Durum geçiş matrisi birim matrisle toplanarak stokastik geçiş olasılıkları matrisi kolaylıkla elde edilebilir. Durumların sürekli hal olasılıkları'da durum geçiş matrisi yardımıyla elde edilmektedir. Bu yöntem temel olarak matris matematiğine dayandığından güvenilirlik probleminin hesabı basitleşmektedir. (Tablo 4.1)

2) Paralel bağlı iki, üç ve dört elemanlı sistem için, ağır hava koşulundaki arızalar artarken sistem devredışı kalma oranı ve onarım süresi artar. (Şekil 4.2)

3) Ağır hava koşulunda, sistem elemanının onarımı yapılmaması halinde sistemin arıza oranı ve onarım süresinin arttığı görülmüştür. Aksine ağır hava koşulunda onarım yapılması sistem arıza oranının azalmasına neden olmaktadır. Ağır hava koşulunda onarım yapılması ile bu hava koşulu süresince oluşan arıza yüzdesinin artımına karşın sistemin ortalama onarım süresinin değişmediği görülmüştür (Tablo 4.2, tablo 4.3, tablo 4.3, tablo 4.4, tablo 4.5, tablo 4.6, tablo 4.7, tablo 4.8, tablo 4.9, şekil 4.4, şekil 4.7).

4) Sistem'deki elemanın onarım süreleri artarken sistemin arıza oranının'da arttığı görülmüştür. Eğer tüm arızalar ağır hava koşulunda oluşursa elemanın onarım süresinin sistem arıza oranının'da etkili olmadığı sonucuna varılmıştır. Sistemin arıza oranının, elemanların arıza oranı ile doğrudan değiştiği görülmüştür (Şekil 4.3, şekil 4.4, şekil 4.6, şekil 4.7).

5) Ağır hava koşulunda $S=1,5$ saat ve $S=3$ saat'lik süreler için yapılan hesaplamalarda sistem arıza oranının daha uzun ağır hava koşulu süresinde daha büyük olduğu görülmüştür (Şekil 4.5, tablo 4.10, tablo 4.11).

6) Seri eleman içeren bir sistem'de, seri elemanın sistemin arıza oranını olumsuz olarak etkilediği görülmüştür (Şekil 4.8).

7) Elemanının ağır hava'da oluşan arıza yüzdesinin artmasının sistemin bakım devre dışı kalma oranının'da bir düşmeye neden olduğu açıkça görülmüştür. Yine ağır hava koşulu süresindeki eleman arızaları yüzdesi artarken, normal hava koşulundaki eleman bakım devre dışı kalmalarının, elemanın sürekli devre dışı kalması ile çakışma olasılığının azaldığı anlaşılmıştır (Tablo 4.12, tablo 4.13, tablo 4.14, tablo 4.15, tablo 4.16, tablo 4.18, şekil 4.9).

8) İki paralel elemanlı sistem için eleman geçici

devredışı kalmalar nedeniyle sistem arıza oranı, ağır hava koşulu süresince oluşan eleman arızaları yüzdesi ile değişmez iken üç paralel elemanlı sistem için değiştiği ve hatta arttığı görülmüştür (Şekil 4.10).

9) Bir eleman için mevcut arıza biçimlerine ek olarak bir arıza biçimi daha incelenmiştir. Bu arıza biçimi bağlantı arıza biçimidir. Gelişmekte olan elektrik tesislerinin, iletim hatları bölümünde tesise eklenen yeni elemanların sistemin konfigirasyonun'da yapmış oldukları değişiklikler sistemin güvenilirlik indislerinde'de olumlu veya olumsuz etki'de bulundukları görülmüştür. Bu etki, şekil 4.11'deki örnek sistemin her bağlantı işlevinden sonraki konfigirasyonu için yapılan güvenilirlik hesaplarını içeren tablo 4.19'da verilmiştir. Buradan sisteme yeni bir yük barasının eklenmesi güvenilirliği etkilemezken, yeni bir üretim santralının eklenmesinin olumlu bir etki yaptığı açıkça görülmüştür. Bu değişim bağlantı işlevinin bitirilmesinden sonra'da görülür, ayrıca bağlantı esnasında oluşan devredışı kalma ve onunla ilgili bağlantı süresi'de mevcut sistemin güvenilirlik indislerinde olumlu veya olumsuz bir etki gösterir. Bağlantı işlevinden sonra sistemin veya yük barasının güvenilirlik indislerinin değişmesinin nedeni, minimal kesme yöntemi ile elde edilen minimal arızalı eleman kümesinin değişimidir (Şekil 4.1) [2].

10) Bu çalışmada yapılan tüm hesaplamalarda, çalışmanın ağırlığını oluşturan durum geçiş matrisi yönteminin, Markov ve yaklaşıklık yöntemi ile elde edilen sonuçlar açısından uyumlu olduğu görülmüştür.

Enerji iletim hatlarında güvenilirlik hesaplamalarının önemi bu çalışmalarda bir kez daha görülmüştür. Güvenilirlik değerlendirilmesinde amaç sistemin çalışır-lık olasılığını saptamak ve mühendislik çalışmaları ile daha güvenilir bir sistemin tasarlanmasıdır.

Güvenilirlik indisleri içinde en önemlisi devre dışı kalmadır. Enerji iletim hatlarındaki elemanların yorulma ömrü gözönüne alınarak bakımlarının düzenli olarak yapılması, mali olanakları elverdiği ölçüde yedek ünitelerin arttırılması, oluşan arızaların en hızlı şekilde saptanması ve gerekli donanımların kurulması ile tesis güvenirliliğinin en iyi değere ulaştırılması olanaklıdır. Sisteme eklenecek her yeni ünitenin sistem güvenirliliğine etkisinin saptanması için gerekli hesaplamaların yapılması devre dışı kalmaların getireceği zararları azaltacaktır. Ülkemizde güvenilirlik kavramının araştırma ve uygulama bazında bilinçli olarak yerleştirilmesine elektrik enerjisinin üretimi ve iletimi konusundaki yetkililerin çabası daha da güç kazandıracaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Bazovsky, I., "Reliability Theory and Practice", Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1961.
- [2] Billinton, R. and Allan, R.N., "Reliability Evaluation of Engineering Systems", Plenum Publishing Corp, 1983.
- [3] William, H.V.A., "Reliability Engineering", Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1964.
- [4] Todd, Z.G., "A Probability Method for Transmission and Distribution Outage Calculations", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 695-701, July 1964.
- [5] Gaver, D.P., Montmeat, F.E. and Patton, A.D., "Power System Reliability. I-Measures of Reliability and Methods of Calculation", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 727-737, July 1964.
- [6] Patton, A.D., "Determination and Analysis of Data for Reliability Studies", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 84-100, January 1968.
- [7] Billinton, R. and Grover, M.S., "Reliability Assessment of Transmission and Distribution Schemes", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 724-732, May/June 1975.
- [8] Capra, R.L., Gangel, M.W., Lyon, S.V., "Under-ground Distribution System Desing for Reliability", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 834-842, June 1969.
- [9] IEEE Committee Report on Proposed Definitions of Terms for Reporting and Analyzing Outages of Electrical Transmission and Distribution Facilities and Interruptions, I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 1318-1323, May 1968.
- [10] DeSieno, C.F. and Stine, L.L., "A Probability Method for Determining the Reliability of Electric Power Systems", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 174-179, February 1964.
- [11] Billinton, R., "Bibliography on the Application of Probability Methods in Power System Reliability Evaluation", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 649-659, March/April 1972.

- [12] Montmeat, F.E., Patton, A.D., Zemkoski, J. and Cumming, D.J., "Power System Reliability. II-Applications and Computer Program", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 636-643, July 1965.
- [13] Billinton, R. and Bollinger, K.E., "Transmission System Reliability Evaluation Using Markov Processes", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 538-547, February 1968.
- [14] Mallard, S.A. and Thomas, V.C., "A Method for Calculating Transmission System Reliability", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 824-833, March 1968.
- [15] Staton, K.N., "Reliability Analysis for Power System Applications", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 431-437, April 1969.
- [16] Billinton, R., "Power System Reliability Evaluation", Gordon and Breach, New York, N.Y., 1970.
- [17] İnal, H.C. ve Günay, S., "Olasılık ve Matematiksel İstatistik", H.Ü. Fen Fakültesi Basımevi, Beytepe, 1978.
- [18] Hall, J.D., Ringlee, R.J. and Wood, A.J., "Frequency and Duration Methods for Power System Reliability Calculations. Part I-Generating System Model", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 1787-1796, September 1968.
- [19] Kemeny, J.G. and Snell, J.L., "Finite Markov Chains", D. Van Nostrand Company Ind, New Jersey, 1960.
- [20] Billinton, R. and Grover, M.S., "Quantitative Evaluation of Permanent Outages in Distribution Systems", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 733-741, May/June 1975.
- [21] Billinton, R. and Grover, M.S., "Reliability Evaluation in Distribution and Transmission Schemes", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 517-523, May 1975.
- [22] Christaanse, W.R., "Reliability Calculations Including the Effects of Overloads and Maintenance", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 1664-1676, July/August 1971.
- [23] Ringlee, R.J. and Wood, A.J., "Frequency and Duration Methods for Power System Reliability Calculations: II-Demand Model and Capacity Reserve Model", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 735-738, April 1969.
- [24] Billinton, R., "Composite System Reliability Evaluation", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 276-280, April 1969.

- [25] Ringlee, R.J. and Goode, S.D., "On Procedures for Reliability Evaluation of Transmission Systems", I.E.E.E. Transactions PAS, pp. 527-537, April 1970.
- [26] Harmancı, E., "Lojik Devreleri Dersleri", İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul, 1984.



EKLER

DEVREDİŞİ KALMA TERİMLERİNİN TANIMI

Burada var olan yayınlardan en önemli terimlerin tanımı yapılmıştır[19].

1) Devredışı kalma:

Elemanla doğrudan ilgili bazı olaylar nedeniyle elemanın tasarlanmış çalışmasını gerçekleşmesinin olası olmadığı duruma elemanın devredışı kalması denir.

2) Devredışı kalma biçimleri:

a- Zorlanmış devredışı kalma: tesis elemanının derhal elle veya otomatik anahtarlama ile servis dışına alınmasının gerekli olduğu devredışı kalmalardır. İnsan hatası ve tesis elemanının uygunsuz çalışması halinde oluşur.

b- Programlanmış devredışı kalmalar: bir tesis elemanı planlanan bir zamanda servis dışına alındığında oluşan devredışı kalma biçimidir. Bunun amacı, yorulma önleyici bakım, onarım veya geliştirmekte olan sisteme yeni bir tesis elemanının bağlanması olabilir.

3) Zorlanmış devredışı kalma biçimleri:

a- Sürekli devredışı kalma: elemanın servise alınmadan önce onarımı veya yenisinin takılma işlemi yapılmasını gerektirecek nedenli bir devredışı kalmadır.

b- Geçici devredışı kalma: bir anahtarlama işlemi ile elemanın servise alınabildiği kısa süreli bir devredışı kalma olayıdır.

4) Bağlantı nedenli devredışı kalma:

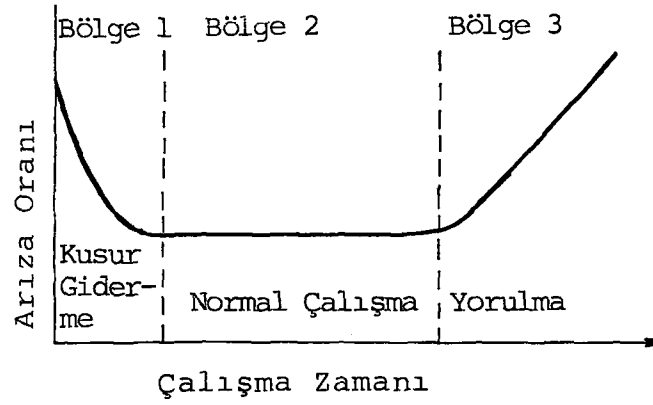
Sisteme yeni bir iletim hatları, enerji santralleri ve diğer tesis elemanlarının eklenmesi ile bazı elemanların servis dışına alınması işlemidir.

5) Aşırı yüklenme devredışı kalması:

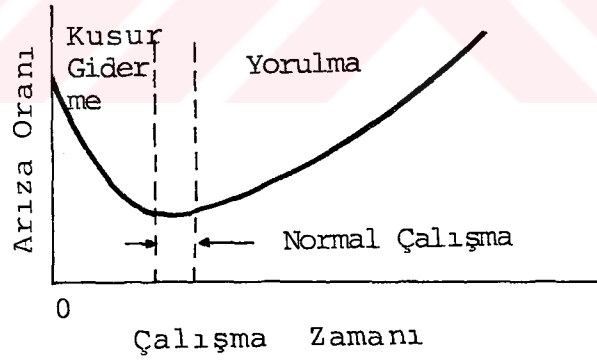
Herhangi bir zamandaki yük düzeyinin elemanın kapasitesini aşması halinde yük tevzi yetkilileri kararıyla elemanın servis dışına alınması durumudur.

6) Onarım Süresi:

Bir tesis elemanının arızalanmasından tekrar servise alınmasına kadar geçen süredir.



(a)



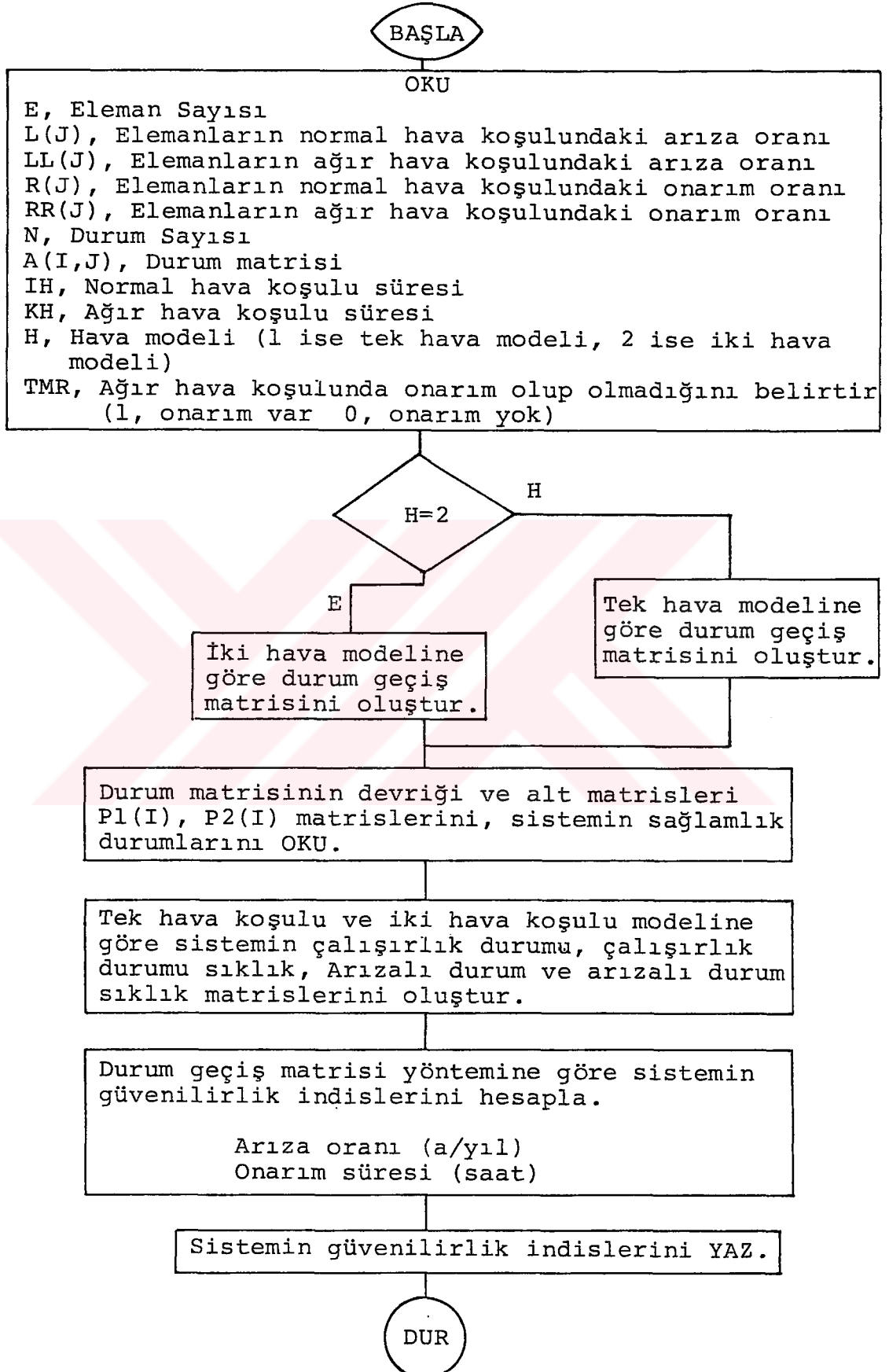
(b)

Şekil A.1. Bir Eleman için Çalışma Ömrünün Fonksiyonu Olarak Arıza Oranı.
 a- Elektronik Elemanın Arıza Oranı Değişimi
 b- Mekanik Elemanın Arıza Oranı Değişimi.

Adı	Yoğunluk fonksiyonu $f(t)$	Güvenilirlik fonksiyonu $R(t)$	Arıza Oranı $\lambda(t) = f(t)/R(t)$
Normal, Gaussian	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\theta)^2}{2\sigma^2}}$ 	$R(t) = \int_t^\infty \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\theta)^2}{2\sigma^2}} dt$ 	$\lambda(t) = f(t)/R(t)$
Üstel	$f(t) = \frac{1}{\theta} e^{-t/\theta}$ 	$R(t) = e^{-t/\theta}$ 	$\lambda(t) = 1/\theta$
Gamma	$f(t) = \frac{1}{\alpha! \theta^{\alpha+1}} t^{\alpha} e^{-t/\theta}$ $\beta = 1, \alpha = 0, 1, 2, 3, 4,$ 	$R(t) = \int_t^\infty \frac{1}{\alpha! \theta^{\alpha+1}} t^{\alpha} e^{-t/\theta} dt$ $\beta = 1, \alpha = 0, 1, 2, 3, 4$ 	$\lambda(t) = f(t)/R(t)$ $\beta = 1, \alpha = 0, 1, 2, 3, 4$
Weibull	$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-(t/\alpha)^\beta}$ $\alpha = 1, \beta = 1, 2, 3, 4$ 	$R(t) = e^{-(t/\alpha)^\beta}$ $\alpha = 1, \beta = 1, 2, 3, 4$ 	$\lambda(t) = \beta \frac{t^{\beta-1}}{\alpha^\beta}$ $\alpha = 1, \beta = 1, 2, 3, 4$

Adı	Yoğunluk fonksiyonu $f(x)$	Güvenilirlik fonksiyonu $R(x)$	Arıza Oranı $\lambda(x) = f(x)/R(x)$
Rectangular	$f(x) = \frac{1}{\theta}$ 	$R(x) = 1 - \frac{x}{\theta}$ 	$\lambda(x) = 1/(a-x)$
Binom	$f(x) = C(n, x) \left(\frac{\theta}{n}\right)^x \left(\frac{n-\theta}{n}\right)^{n-x}$ 	$R(x) = \sum_{i=x}^n C(n, i) \left(\frac{\theta}{n}\right)^i \left(\frac{n-\theta}{n}\right)^{n-i}$ 	
Poisson	$f(x) = \frac{\theta^x e^{-\theta}}{x!}$ $\theta = 4$ 	$R(x) = \sum_{i=x}^\infty \frac{\theta^i e^{-\theta}}{i!}$ 	

Şekil A.2. Olasılık Dağılımları.



Şekil A.3. Güvenilirlik Hesaplamaları için Bilgisayar Akış Diyagramı.

```

C YUKSEK GERILIM HAVA ILETIM HATLARI ICIN GUVENILIRLIK DEGERLENDIRILMESI
C*****
C***** DURUM GECIS MATRISINI OLUSTURUR *****
C*****
      DIMENSION A(30,30),D1(30),D2(30,30),D(30,30),R(30),L(30),RR(30)
      DIMENSION P(30,30),P1(30),P2(30),CD(30),PS(30,30),PSU(30,30)
      DIMENSION PP(30,30),PPU(30,30),FS(30,30),FP(30,30),LL(30)
      REAL NN,MM,IH,KH,TP,D,D1,L1,A,D2,L,LL,M1,N1,LL1
      REAL IYI,KOTU,LS,RS,LP,RP,UP,US,RL,RT
      INTEGER T,E,TMR,H1,S1,Z,KL,Q
      INTEGER N1,S,H,K1,Y,V,W
      OPEN(UNIT=3,FILE='STATE.LAT',STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=4,FILE='STATE.MAT',STATUS='NEW')
      OPEN(UNIT=7,FILE='STATE.IND',STATUS='NEW')
      OPEN(UNIT=8,FILE='STATE.IN8',STATUS='NEW')
      OPEN(UNIT=9,FILE='STATE.IN9',STATUS='NEW')
      OPEN(UNIT=10,FILE='STATE.N10',STATUS='NEW')
      OPEN(UNIT=11,FILE='STATE.N11',STATUS='NEW')
      OPEN(UNIT=12,FILE='STATE.N12',STATUS='NEW')
      OPEN(UNIT=13,FILE='STATE.N13',STATUS='NEW')
      READ(3,*) E
      READ(3,*) (L(J),J=1,E)
      READ(3,*) E
      READ(3,*) (LL(J),J=1,E)
      READ(3,*) E
      READ(3,*) (R(J),J=1,E)
      READ(3,*) E
      READ(3,*) (RR(J),J=1,E)
      READ(3,*) N,E
      READ(3,*) ((A(I,J),J=1,E),I=1,N)
      READ(3,*) N,E
      READ(3,*) ((D2(I,J),J=1,E),I=1,N)
      READ(3,*) IH,KH,H,TMR
      NN=(87.60/IH)
      MM=(87.60/KH)
      IF(H.EQ.2) GOTO 5555
      DO 1 I=1,N
      K=0.0
      DO 2 J=1,E
      K=K+1
      IF(A(I,J).EQ.1) GOTO 100
      D1(J)=(-1)*(87.60/R(J))
      Z=D2(I,J)
      D(I,Z)=87.60/R(J)
      GOTO 2
100  L1=L(J)
      D1(J)=((-1)*(L1/100))
      T=D2(I,J)
      D(I,T)=(L1/100)
      2 CONTINUE
      TP=0.0
      DO 88 T=1,K
      TP=TP+D1(T)
      88 CONTINUE
      D(I,I)=TP
      1 CONTINUE
      WRITE(4,*) ((D(I,J),J=1,N),I=1,N)
      GOTO 4444
5555  N1=87.60/IH
      M1=87.60/KH
      DO 11 I=1,N
      K=0.0
      DO 22 J=1,E
      K=K+1
      IF(A(I,J).EQ.2) GOTO 102
      IF(A(I,J).EQ.3) GOTO 103
      IF(A(I,J).EQ.1) GOTO 101
      D1(J)=-(87.60/R(J))
      Z=D2(I,J)
      D(I,Z)=(87.60/R(J))

```

```

102  GOTO 22
    LL1=LL(J)
    D1(J)=-LL1/100
    T=D2(I,J)
    D(I,T)=LL1/100
    GOTO 22
103  IF(TMR.EQ.0) GOTO 34
    D1(J)=- (87.60/RR(J))
    Z=D2(I,J)
    D(I,Z)= (87.60/RR(J))
    GOTO 22
34   D1(J)=0
    GOTO 22
101  L1=L(J)
    D1(J)=-L1/100
    T=D2(I,J)
    D(I,T)=L1/100
22   CONTINUE
    TP=0.0
    DO 333 T=1,K
    TP=TP+D1(T)
333  CONTINUE
    D(I,I)=TP
11   CONTINUE
    H1=N/2
    S1=N/2
    DO 4 I=1,S1
    D(I,I+H1)=N1
    D(I+H1,I)=M1
4    CONTINUE
    S1=N/2
    DO 44 I=1,S1
    D(I,I)=D(I,I)-N1
    D(I+H1,I+H1)=D(I+H1,I+H1)-M1
44   CONTINUE
4444 WRITE(4,*) ((D(I,J),J=1,N),I=1,N)
C*****
C***** İKI ve UC ELEMENLİ, TEK ve İKI HAVA MODELİNE GÖRE ANALİZ *****
C*****
    READ(3,*) S,IYI,KOTU,W,TMR
    READ(3,*) N
    READ(3,*) (P1(I),I=1,N)
    READ(3,*) (P2(I),I=1,N)
    READ(3,*) N1
    READ(3,*) (CD(I),I=1,N1)
    IF(W.EQ.1) GOTO 111
    NN=(-8760./IYI)/100
    MM=(-8760./KOTU)/100
    GOTO 222
111  NN=0
    MM=0
222  DO 128 I=1,N
    DO 13 J=1,N
    PS(I,J)=D(I,J)
    PSU(I,J)=D(I,J)
    PP(I,J)=D(I,J)
    PPU(I,J)=D(I,J)
    FS(I,J)=D(I,J)
    FP(I,J)=D(I,J)
13   CONTINUE
128  CONTINUE
    IF(S.EQ.21) GOTO 210
    IF(S.EQ.22) GOTO 310
    IF(S.EQ.32) GOTO 410
210  T=3
    G=3
    GOTO 400
310  T=7
    G=3
    GOTO 400

```

```

410 T=15
    G=7
400 DO 18 I=1,N
    Q=1
    H=N+1-I
    PS(I,Q)=P1(I)
    PSU(I,Q+T)=P2(I)
    PP(I,Q+T)=P1(H)
    PPU(I,Q)=P2(H)
    FS(I,Q)=P1(I)
    FP(I,Q+T)=P1(H)
18  CONTINUE
    Y=1
    DO 3 J=1,N1
    IF(Y.EQ.2) GOTO 444
    V=CD(J)
    Z=V+G
    FS(V,1)=D(V,V)-NN
    FP(Z,N)=D(Z,Z)-NN
    IF(N1.EQ.1) GOTO 555
    GOTO 334
444 V=CD(J)
    Z=V+G
    IF(TMR.EQ.1) GOTO 108
    FS(V,1)=D(V,V)-MM
    GOTO 334
108 FS(V,1)=D(V,V)-MM
    FP(Z,N)=D(Z,Z)-MM
334 Y=Y+1
    3 CONTINUE
555 WRITE(8,*) N
    WRITE(8,*) ((PS(I,J),J=1,N),I=1,N)
    WRITE(9,*) N
    WRITE(9,*) ((PSU(I,J),J=1,N),I=1,N)
    WRITE(10,*) N
    WRITE(10,*) ((PP(I,J),J=1,N),I=1,N)
    WRITE(11,*) N
    WRITE(11,*) ((PPU(I,J),J=1,N),I=1,N)
    WRITE(12,*) N
    WRITE(12,*) ((FS(I,J),J=1,N),I=1,N)
    WRITE(13,*) N
    WRITE(13,*) ((FP(I,J),J=1,N),I=1,N)
    STOP
    END

```

```

C*****
C***** IKI ELEMEN DEGİSKEN HAVA,BAKIM+SUREKLI+GECICI DEVREDİSİ *****
C***** KALMALARLA İLGİLİ GUVENİLİRLİK DEĞERLENDİRİLMESİ *****
C*****
DIMENSION P(30,30),P1(30),P2(30),PP(30,30),PPU(30,30),FP(30,30)
INTEGER E,S,T,TMR,Z1,Z2,Z3,Z4,Z5,Z6,Z7,Z8,Z9,Z10
REAL IYI,KOTU,NN,MM,W
OPEN(UNIT=1,FILE='STATE.PAT',STATUS='OLD')
OPEN(UNIT=2,FILE='STATE.BSU',STATUS='OLD')
OPEN(UNIT=8,FILE='STATE.IN8',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=9,FILE='STATE.IN9',STATUS='NEW')
OPEN(UNIT=10,FILE='STATE.N10',STATUS='NEW')
READ(1,*) N
READ(1,*) ((P(I,J),J=1,N),I=1,N)
READ(2,*) S,IYI,KOTU,W,TMR,E
READ(2,*) N
READ(2,*) (P1(I),I=1,N)
READ(2,*) (P2(I),I=1,N)
IF(W.EQ.1) GOTO 111
NN=(-8760./IYI)/100
MM=(-8760./KOTU)/100
GOTO 222
111 NN=0
MM=0
222 DO 12 I=1,N
DO 13 J=1,N
PP(I,J)=P(I,J)
PPU(I,J)=P1(I,J)
FP(I,J)=P2(I,J)
13 CONTINUE
12 CONTINUE
IF(S.EQ.24) GOTO 210
IF(S.EQ.14) GOTO 310
IF(S.EQ.26) GOTO 511
IF(S.EQ.246) GOTO 711
210 T=11
Z1=4
Z2=8
Z3=10
Z4=12
GOTO 400
310 T=7
Z1=4
Z2=6
Z3=8
GOTO 400
511 T=15
Z1=4
Z2=8
Z3=10
Z4=12
Z5=14
Z6=16
DO 512 I=1,N
L=1
PP(I,L+T)=P1(I)
PPU(I,L)=P2(I)
FP(I,L+T)=P1(I)
512 CONTINUE
GOTO 513
711 T=21
Z1=4
Z2=8
Z3=10
Z4=12
Z5=14
Z6=16
Z7=18
Z8=20
Z9=21

```

```

      Z10=22
      DO 712 I=1,N
      L=1
      PP(I,L+T)=P1(I)
      PPU(I,L)=P2(I)
      FP(I,L+T)=P1(I)
712  CONTINUE
      GOTO 713
400  DO 19 I=1,N
      L=1
      PP(I,L+T)=P1(I)
      PPU(I,L)=P2(I)
      FP(I,L+T)=P1(I)
19   CONTINUE
      IF(W.EQ.1) GOTO 999
      IF(TMR.EQ.1) GOTO 101
      FP(Z1,N)=P(Z1,Z1)-NN
      FP(Z2,N)=P(Z2,Z2)-MM
      FP(Z3,N)=P(Z3,Z3)
      FP(Z4,N)=P(Z4,Z4)
      GOTO 555
101  FP(Z1,N)=P(Z1,Z1)-NN
      FP(Z2,N)=P(Z2,Z2)-MM
      FP(Z3,N)=P(Z3,Z3)
      FP(Z4,N)=P(Z4,Z4)
      GOTO 555
999  FP(Z1,N)=P(Z1,Z1)
      FP(Z2,N)=P(Z2,Z2)
      FP(Z3,N)=P(Z3,Z3)
      GOTO 555
513  FP(Z1,N)=P(Z1,Z1)-NN
      FP(Z2,N)=P(Z2,Z2)-MM
      FP(Z3,N)=P(Z3,Z3)
      FP(Z4,N)=P(Z4,Z4)
      FP(Z5,N)=P(Z5,Z5)
      FP(Z6,N)=P(Z6,Z6)
      GOTO 555
713  FP(Z1,N)=P(Z1,Z1)-NN
      FP(Z2,N)=P(Z2,Z2)-MM
      FP(Z3,N)=P(Z3,Z3)
      FP(Z4,N)=P(Z4,Z4)
      FP(Z5,N)=P(Z5,Z5)
      FP(Z6,N)=P(Z6,Z6)
      FP(Z7,N)=P(Z7,Z7)
      FP(Z8,N)=P(Z8,Z8)
      FP(Z9,N)=P(Z9,Z9)
      FP(Z10,N)=P(Z10,Z10)
555  WRITE(8,*) N,E
      WRITE(8,*) ((PP(I,J),J=1,N),I=1,N)
      WRITE(9,*) N,E
      WRITE(9,*) ((PPU(I,J),J=1,N),I=1,N)
      WRITE(10,*) N,E
      WRITE(10,*) ((FP(I,J),J=1,N),I=1,N)
      STOP
      END

```

```

C*****
C**** GUVENEBİLİRLİK İNDİSLERİ HESABI *****
C*****
      DIMENSION A(60,60),P(3)
      INTEGER G,NE,NT,Z,F
      REAL LM,RM,UM,RT
      OPEN(UNIT=7,FILE='STATE.IND',STATUS='NEW')
      OPEN(UNIT=8,FILE='STATE.IN8',STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=9,FILE='STATE.IN9',STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=10,FILE='STATE.N10',STATUS='OLD')
      DO 4444 G=1,3
        GOTO(1,2,3) G
1      READ(8,*) N,Z
        READ(8,*) ((A(I,J),J=1,N),I=1,N)
        GOTO 555
2      READ(9,*) N,Z
        READ(9,*) ((A(I,J),J=1,N),I=1,N)
        GOTO 555
3      READ(10,*) N,Z
        READ(10,*) ((A(I,J),J=1,N),I=1,N)
555    NE=N-1
        D=1.0
        DO 40 K=1,NE
          D=D*A(K,K)
          K1=K+1
          DO 50 J=K1,N
            A(K,J)=A(K,J)/A(K,K)
          DO 60 I=K1,N
            A(I,J)=A(I,J)-A(I,K)*A(K,J)
        60 CONTINUE
        50 CONTINUE
        40 CONTINUE
        P(G)=D*A(N,N)
4444 CONTINUE
      WRITE(*,*) (P(I),I=1,3)
C ***** ARIZA ORANI VE TAMİR SÜRESİNİN HESABI *****
      IF(Z.EQ.2) GOTO 1111
      IF(Z.EQ.3) GOTO 1112
      IF(Z.EQ.4) GOTO 1113
1111 F=100
      GOTO 1114
1112 F=1000
      GOTO 1114
1113 F=10000
1114 LM=ABS((F)*(P(3)/P(2)))
      RT=ABS((P(1)/P(3))/F)
      UM=LM*RT
      RM=RT*8760
      WRITE(7,500)
500  FORMAT('DURUM OLASILIKLARI YONTEMI')
      WRITE(7,600) LM,RM
      WRITE(7,601) UM
600  FORMAT(3X,'LM='E15.8,3X,'RM='F8.3)
601  FORMAT(3X,'UM='E15.8)
      STOP
      END

```

```

C*****
C***** UC ELEMAN DEĞİSKEN HAVA,BAKIM+SUREKLI+GECICI DEVREDISI *****
C***** KALMALARLA İLGİLİ GÜVENİLİRLİK DEĞERLENDİRİLMESİ *****
C*****
      DIMENSION P(53,53),P1(53),P2(53),PP(53,53),PPU(53,53),FP(53,53)
      INTEGER E,S,T,TMR,Z1,Z2,Z3,Z4,Z5,Z6,Z7,Z8,Z9,Z10,Z11
      REAL IYI,KOTU,NN,MM,W
      OPEN(UNIT=1,FILE='STATE.PAT',STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=2,FILE='STATE.BSU',STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=8,FILE='STATE.IN8',STATUS='NEW')
      OPEN(UNIT=9,FILE='STATE.IN9',STATUS='NEW')
      OPEN(UNIT=10,FILE='STATE.N10',STATUS='NEW')
      READ(1,*) N
      READ(1,*) ((P(I,J),J=1,N),I=1,N)
      READ(2,*) S,IYI,KOTU,W,TMR,E
      READ(2,*) N
      READ(2,*) (P1(I),I=1,N)
      READ(2,*) (P2(I),I=1,N)
      IF(W.EQ.1) GOTO 111
      NN=(-8760./IYI)/100
      MM=(-8760./KOTU)/100
      GOTO 222
111  NN=0
      MM=0
222  DO 12 I=1,N
      DO 13 J=1,N
      PP(I,J)=P(I,J)
      PPU(I,J)=P(I,J)
      FP(I,J)=P(I,J)
13  CONTINUE
12  CONTINUE
      IF(S.EQ.34) GOTO 411
      IF(S.EQ.36) GOTO 611
      IF(S.EQ.346) GOTO 811
411  T=27
      Z1=8
      Z2=16
      Z3=20
      Z4=24
      Z5=28
      DO 1 I=1,N
      L=1
      PP(I,L+T)=P1(I)
      PPU(I,L)=P2(I)
      FP(I,L+T)=P1(I)
1  CONTINUE
      GOTO 412
611  T=39
      Z1=8
      Z2=16
      Z3=20
      Z4=24
      Z5=28
      Z6=32
      Z7=36
      DO 612 I=1,N
      L=1
      PP(I,L+T)=P1(I)
      PPU(I,L)=P2(I)
      FP(I,L+T)=P1(I)
612 CONTINUE
      GOTO 613
811  T=51
      Z1=8
      Z2=16
      Z3=20
      Z4=24
      Z5=28
      Z6=32
      Z7=36

```

```

      Z8=40
      Z9=44
      Z10=48
      Z11=52
      DO 812 I=1,N
      L=1
      PP(I,L+1)=P1(I)
      PPU(I,L)=P2(I)
      FP(I,L+1)=P1(I)
812  CONTINUE
      GOTO 813
412  FP(Z1,N)=P(Z1,Z1)-NN
      FP(Z2,N)=P(Z2,Z2)-MM
      FP(Z3,N)=P(Z3,Z3)
      FP(Z4,N)=P(Z4,Z4)
      FP(Z5,N)=P(Z5,Z5)
      GOTO 555
613  FP(Z1,N)=P(Z1,Z1)-NN
      FP(Z2,N)=P(Z2,Z2)-MM
      FP(Z3,N)=P(Z3,Z3)
      FP(Z4,N)=P(Z4,Z4)
      FP(Z5,N)=P(Z5,Z5)
      FP(Z6,N)=P(Z6,Z6)
      FP(Z7,N)=P(Z7,Z7)
      GOTO 555
813  FP(Z1,N)=P(Z1,Z1)-NN
      FP(Z2,N)=P(Z2,Z2)-MM
      FP(Z3,N)=P(Z3,Z3)
      FP(Z4,N)=P(Z4,Z4)
      FP(Z5,N)=P(Z5,Z5)
      FP(Z6,N)=P(Z6,Z6)
      FP(Z7,N)=P(Z7,Z7)
      FP(Z8,N)=P(Z8,Z8)
      FP(Z9,N)=P(Z9,Z9)
      FP(Z10,N)=P(Z10,Z10)
      FP(Z11,N)=P(Z11,Z11)
555  WRITE(8,*) N,E
      WRITE(8,*) ((PP(I,J),J=1,N),I=1,N)
      WRITE(9,*) N,E
      WRITE(9,*) ((PPU(I,J),J=1,N),I=1,N)
      WRITE(10,*) N,E
      WRITE(10,*) ((FP(I,J),J=1,N),I=1,N)
      STOP
      END

```

```

C*****
C***** GUVENEBİLİRLİK İNDİSLERİ HESABI *****
C*****
      DIMENSION A(60,60),P(3)
      INTEGER B,NE,NT,Z,F
      REAL LM,RM,UM,RT
      OPEN(UNIT=7,FILE='STATE.IND',STATUS='NEW')
      OPEN(UNIT=8,FILE='STATE.IN8',STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=9,FILE='STATE.IN9',STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=10,FILE='STATE.N10',STATUS='OLD')
      DO 4444 B=1,3
      GOTO(1,2,3) B
1    READ(8,*) N,Z
      READ(8,*) ((A(I,J),J=1,N),I=1,N)
      GOTO 555
2    READ(9,*) N,Z
      READ(9,*) ((A(I,J),J=1,N),I=1,N)
      GOTO 555
3    READ(10,*) N,Z
      READ(10,*) ((A(I,J),J=1,N),I=1,N)
555  NE=N-1
      D=1.0
      DO 40 K=1,NE
      D=D*A(K,K)
      K1=K+1
      DO 50 J=K1,N
      A(K,J)=A(K,J)/A(K,K)
      DO 60 I=K1,N
      A(I,J)=A(I,J)-A(I,K)*A(K,J)
60   CONTINUE
50   CONTINUE
40   CONTINUE
      P(B)=D*A(N,N)
4444 CONTINUE
      WRITE(*,*) (P(I),I=1,3)
C ***** ARIZA ORANI VE TAMİR SÜRESİNİN HESABI *****
      IF(Z.EQ.2) GOTO 1111
      IF(Z.EQ.3) GOTO 1112
      IF(Z.EQ.4) GOTO 1113
1111 F=100
      GOTO 1114
1112 F=1000
      GOTO 1114
1113 F=10000
1114 LM=ABS((F)*(P(3)/P(2)))
      RT=ABS((P(1)/P(3))/F)
      UM=LM*RT
      RM=RT*8760
      WRITE(7,500)
500  FORMAT('DURUM OLASILIKLARI YONTEMİ')
      WRITE(7,600) LM,RM
      WRITE(7,601) UM
600  FORMAT(3X,'LM='E15.8,3X,'RM='F8.3)
601  FORMAT(3X,'UM='E15.8)
      STOP
      END

```

ÖZGEÇMİŞ

Ertan YANIKOĞLU, 1956 yılında Samsun'da doğdu. 1974 yılında Samsun 19 Mayıs Lisesini bitirdikten sonra İ.D.M.M.A. Elektrik Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 1979 yılında Lisans, 1982 yılında Yüksek Lisans Eğitimi bitirdi. Aynı sene İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Bölümü Elektrik Makinaları Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1983 yılında İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi'nde Doktora çalışması yapmaya hak kazandı.