

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NONLİNEER YÜKLERİ İÇEREN ELEKTRİK ENERJİ
SİSTEMLERİNDE GÜVENİLİRLİK ANALİZİ İÇİN
YENİ BİR YAKLAŞIM**

Elek. Yük. Müh. Muğdeşem TANRIÖVEN

**F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

95087

Tez Savunma Tarihi : 10 Nisan 2000

Tez Danışmanı

: Doç. Dr. Celal KOCATEPE (Y.T.Ü.)

Jüri Üyeleri

: Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR (Y.T.Ü.)

: Prof. Dr. İrfan GÜNEY (M.Ü.)

: Prof. Dr. Semra ÖZTÜRK (KOÜ.)

: Doç. Dr. Nurettin UMURKAN (Y.T.Ü.)

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İSTANBUL, 2000

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GÜVENİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ İLE İLGİLİ GENEL TANIM VE PARAMETRELER	6
2.1. Güvenilirlik Tanımı	6
2.2. Bir Eleman için Genel Arızalar ve Sınıflandırılması	9
2.2.1. Ani ve dereceli arızalar	9
2.2.2. Gizli ve aşikar arızalar	9
2.2.3. Arızaların etkilerine veya şiddetlerine göre sınıflandırılması	9
2.2.4. Birincil, ikincil ve kumanda (komut) arızaları	9
2.3.1. Arıza oranı	11
2.3.3. Üstel arıza dağılımı	14
2.3.4. Diğer arıza dağılımları	16
2.4. Güvenilirlik Fonksiyonu	16
2.5. Sistem Güvenilirliği	21
2.5.1. Olasılık tanımları	21
2.5.1.1. Olasılık kavramı	22
2.5.1.2. Rastlantı değişkenleri	23
2.5.1.3. Ortalama değer , varyans ve standart sapma	23
2.5.1.4. Temel olasılık işlemleri	24
2.6. Seri Sistem Güvenilirliği	25
2.7. Paralel Sistem Güvenilirliği	26
2.8. Yedek Fazlalıklı Sistem Güvenilirliği	27
2.9. Yedek Paralel Sistem Güvenilirliği	28

3.	ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE GÜVENİLİRLİK ANALİZİ YÖNTEMLERİ	30
3.1.	Giriş	30
3.2.	Yaklaşıklık Tekniği	30
3.3.	Olay Ağaçları	31
3.4.	Hata Ağaçları	33
3.5.	Monte – Carlo Simülasyonu	33
3.6.	Bayesian Güvenilirlik Analizi	36
3.7.	Markov Zincirleri	38
3.7.1.	Durum denklemleri	39
3.7.1.1.	Zamana bağlı çözüm	41
3.7.2.	Markov modeli	45
3.7.2.1.	Ayrık markov süreçleri	45
3.7.2.2.	Sürekli markov süreçleri	47
4.	ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMİ GÜVENİLİRLİĞİ İÇİN GEREKLİ VERİLER	53
4.1.	Giriş	53
4.2.	Bir Elemanın Arıza Biçimleri	55
4.3.	Güç Sistemi Bileşenlerinin Arıza Durumları	57
4.3.1.	Bir Yük Barasının Arıza Durumları	57
4.3.2.	Üretim biriminin arıza modeli	59
4.3.3.	İletim Hattının Arıza Modeli	59
4.4.	Hava Koşullarının Güç Sistemi Arızaları Üzerindeki Etkisi	61
4.5.	Güvenilirlik İndisleri, Seçimi ve Gerekli Eleman Parametreleri	62
4.5.1.	Tek bölge güvenilirlik değerlendirmesi	62
4.5.2.	Üretim kapasitesi yeterliği – güvenilirlik indisleri	63
4.5.2.1.	Deterministik İndisler	63
4.5.2.2.	İstatiksel İndisler	64
4.5.3.	Çok bölgeli sistem güvenilirliği değerlendirmesi	65
4.5.4.	Kompozit sistem güvenilirlik değerlendirmesi	66
4.5.5.	Dağıtım sistemi güvenilirlik değerlendirmesi	67

4.	NON-LİNEER YÜKLERİN ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	68
5.1.	Giriş	68
5.3.	Harmoniklerin güç sistemi üzerindeki etkileri	70
5.3.1.	Transformatör üzerindeki etkisi	71
5.3.2.	K-Faktör yaklaşımı	76
5.3.3.	Nonsinüsoidal akımların transformatör sargılarındaki sıcaklık artışına ve ömre olan etkisi	77
5.3.4.	Harmoniklerin iletim hatları üzerindeki etkisi	77
5.3.5.	Harmoniklerin enerji sistemleri üzerindeki diğer etkileri	78
6.	BULANIK KÜME TEORİSİ VE GÜVENİLİRLİK ANALİZİNE UYGULANMASI	79
6.1.	Giriş	79
6.2.	Bulanık Küme Teorisi	80
6.2.1.	Bulanık küme matematiğine giriş	80
6.2.2.	Klasik Kümeler	80
6.2.3.	Klasik kümelerde temel küme işlemleri	82
6.2.3.1.	Kümelerde eleman kavramı	82
6.2.3.2.	İki kümenin birleşimi	83
6.2.3.3.	İki kümenin kesişimi	83
6.2.3.4.	Bir kümenin tümleyeni	83
6.2.4.	Klasik kümelerde diğer özellikler	84
6.2.4.	Bulanık Kümeler	85
6.2.4.1.	Bulanık kümelerde tanımlama yöntemleri	85
6.2.4.2.	Önemli üyelik fonksiyon şekilleri	87
6.2.4.3.	Bulanık kümelere ilişkin temel kavramlar	92
6.2.4.4.	Bulanık kümelerde temel küme işlemleri	93
6.2.4.5.	Bulanık bağıntılar	95
6.2.4.6.	Bulanık bağıntılarda izdüşüm ve silindirik genişletme	97
6.2.4.6.1.	İzdüşüm	98
6.2.4.7.	Bulanık Bağıntılar	100
6.2.4.8.	Normal Bulanık Küme	104
6.2.4.9.	Konveks bulanık küme	104

6.2.5.	Bulanık kontrol algoritması	105
6.2.5.1.	Bulanıklaştırma bloğu	106
6.2.5.2.	Durulaştırma bloğu	113
6.2.5.3.	Veri tabanı	116
6.2.5.4.	Kural tabanı	117
6.2.6.	Güvenilirlik analizinde belirsizlik	119
6.2.7.	Olasılık teorisi ile bulanık küme teorisinin karşılaştırılması	119
6.2.8.	Bulanık paralel sistem güvenilirliği	121
6.2.9.	Bulanık seri sistem güvenilirliği	123
6.2.13.	Bulanık hata ve olay ağaçları	125
6.2.14.	Genel bir sistemin bulanık güvenilirliği	127
6.2.15.	Hava modellerinin de dikkate alındığı bulanık markov modeli	128
6.2.16.	Güvenilirlik analizi için harmonik etkisinin bulanık mantık ile modellenmesi	132
7.	Sayısal uygulama	136
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		187
KAYNAKLAR		189
EKLER		195
EK-1		196
EK-2		210
EK-3		215
ÖZGEÇMİŞ		226

SİMGE LİSTESİ

$\cup$	Birleşim
$\cap$	Kesişim
$\mu(.)$	Üyelik fonksiyon derecesi
$E(x)$	Ortalama değer
E	Evrensel küme
$f(t)$	Arıza yoğunluk fonksiyonu
$F\&D$	Sıklık ve süresi
$F(t)$	Arıza dağılım fonksiyonu
I	Akımın efektif değeri
LDC	Yük sürekliliği eğrisi
$LOLE$	Beklenen yük miktarındaki kayıp
M_k	Merkezi moment
$MTBF$	Arızalar arası ortalama süre
$MTTF$	Arızaya kadar geçen ortalama süre
$MTTR$	Onarıma kadar geçen ortalama süre
N	Harmonik mertebesi
$P(i)$	i 'nin olasılığı
P_{cu}	Bakır Kayıpları
PEC	Sargı girdap akımı kayıpları
P_{fe}	Demir kayıpları
PLL	Yük kayıpları
$POSL$	Sargıların dışında kalan bileşenlerdeki “kaçak” kayıplarıdır
$Q(t)$	Arıza olasılığı fonksiyonu
$R(t)$	Güvenilirlik fonksiyonunu
$RAPR$	Görünür güçteki azalma yüzdesi
SAO	Sürekli arıza oranı
V	Geriliminefeaktif değeri
$V(x)$	Varyans
$Z.(t)$	Arıza oranı fonksiyonu
λ	Arıza oranı
μ	Onarım oranı
$\sigma(x)$	Standart sapma

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bir eleman için çalışma ömrünün fonksiyonu olarak arıza oranı.....	7
Şekil 2.2.	Üstel bir arıza yoğunluk (a) ve dağılım (b) fonksiyonu.....	7
Şekil 2.4.	Bir birime ait durum değişkeni ve arıza zamanı.....	10
Şekil 2.5.	Dağılım fonksiyonu $F(t)$ ve olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(t)$	11
Şekil 2.6.	Bir birimin ortalama davranışı.....	13
Şekil 2.7.	Bir birime ait güvenilirlik fonksiyonu $R(t)$	6
Şekil 2.8.	Olaylar uzayında bool cebri	22
Şekil 2.9.	Seri bir yapının güvenilirlik blok diyagramı	25
Şekil 2.10.	Seri bir sistem için güvenilirlik eğrisi	26
Şekil 2.11.	Paralel yapının güvenilirlik blok diyagramı	27
Şekil 3.1	İki elemanlı seri sistem	30
Şekil 3.2.	İki elemanlı paralel sistem	31
Şekil 3.3.	Sürekli çalışan birimlerden oluşmuş iki durumlu iki birim için olay ağacı.....	32
Şekil 3.4.	Yedek faydalılık ve sıralı çalışan birimleri içeren iki elemanlı bir sistem için (1 elemanı arızalı) olay ağacı	32
Şekil 3.5.	Bazı temel güvenilirlik blok diyagramları ile arıza ağacı arasındaki ilişki	35
Şekil 3.6.	Muhtemel Güvenirlik Yoğunlukları.....	37
Şekil 3.7.	İki bileşenli paralel yapı	38
Şekil 3.8.	İki elemanlı paralel yapıya ait durum uzay diyagramı	38
Şekil 3.9.	Durum denkleminin blok diyagram temsili	41
Şekil 3.10.	Tek bir bileşen için durum uzay diyagramı	43
Şekil 3.11.	Bir tek bileşenin kullanılabilirlik ve güvenliği	45
Şekil 3.12.	Ayrık zamanlı, n durumlu markov modeli	46
Şekil 3.13.	Onarımsız bir bileşeni temsil eden Markov durum diyagramı	48
Şekil 3.14.	Ağır hava şartlarının göz önünde bulundurulmasıyla bir eleman için elde edilen markov modeli	50
Şekil 3.15.	İki elemanlı sistemin “değişken hava koşulunda” durum uzay diyagramı (A: Arızalı, Ç: Çalışır).....	51
Şekil 3.16.	Bakım devre dışı kalmayı da içeren iki paralel hat için Markov modeli	52
Şekil 4.1.	Sistem güvenilirliğinin alt bölümleri	53

Şekil 4.2.	Üretim kapasitesi, güvenilirlik değerlendirmesi için eşdeğer sistem modeli	54
Şekil 4.3.	Bir üretim sistemi değerlendirmesi için genel görevler	55
Şekil 4.5.	Üç durumlu generatör modeli	59
Şekil 4.5.	Değişken iki durumlu hava modeli (a) Rastgele oluşan hava modeli (b) İki durumlu düzenlenmiş hava modeli	61
Şekil 4.6.	Klasik tek bölge modeli	65
Şekil 4.7.	Tipik bir çok bölgeli model	65
Şekil 5.1.	Transformatör yükü olarak tristör köprüsünün kullanılması durumunda nominal görünür güçteki [%] azalmanın $THD(I)$ ile değişimi.....	74
Şekil 5.2.	Transformatör yükü olarak (tristör + diod) köprüsünün kullanılması durumunda nominal görünür güçteki [%] azalmanın $THD(I)$ ile değişimi...	74
Şekil 5.3.	Transformatörün görünür gücündeki [%] azalmasının “ F_{HL} ” yaklaşımıyla $THD(I)$ ’nın bir fonksiyonu olarak değişimi.....	76
Şekil 6.1.	Kümelerin şema ile gösterimi.....	80
Şekil 6.2.	E evrensel kümesi ve buna ait bir A alt kümesinin gösterimi	82
Şekil 6.3.	S üyelik fonksiyonunun gösterimi.....	86
Şekil 6.4.	Çan üyelik fonksiyonunun gösterimi.....	87
Şekil 6.5.	Üçgen üyelik fonksiyonu gösterimi	87
Şekil 6.6.	Yamuk üyelik fonksiyonunun gösterimi	88
Şekil 6.7.	Exponansiyel üyelik fonksiyonunun gösterimi	88
Şekil 6.8.	Dilsel niceleyicilerin ifade edilmesi	89
Şekil 6.9.	Bir bulanık kümede geçiş noktaları, çekirdek ve desteğin ifade edilmesi	91
Şekil 6.10.	Tek bir bulanık kümede teklik, çekirdek ve desteğin ifade edilmesi	91
Şekil 6.11.	İki bulanık kümenin kesişimi	92
Şekil 6.12.	İki bulanık kümenin birleşimi	93
Şekil 6.13.	Bir bulanık kümenin tümleyeni	93
Şekil 6.14.	Orta yaşlı insanlar ve orta kilolu insanlara ait bulanık küme gösterimi	94
Şekil 6.15.	Hem orta yaşlı ve hem de orta kilolu insanları ifade eden bulanık küme ifadesi	95
Şekil 6.16.	Bir bulanık bağıntının izdüşümü ve silindirik genişletmesi	97
Şekil 6.17.	Bulanık bağıntıların kapsamı	102

Şekil 6.18.	Konveks Kümeler.....	103
Şekil 6.19.	Bulanık kontrol algoritmasının blok diyagramı.....	104
Şekil 6.20.	Az bulanık kümesinin gösterimi	108
Şekil 6.21.	Çok bulanık kümesinin gösterimi	109
Şekil 6.22.	Az bulanık kümesinin ayık gösterimi	109
Şekil 6.23.	Çok bulanık kümesinin ayık gösterimi.....	110
Şekil 6.24.	Az bulanık kümesinin ayık gösterimi	110
Şekil 6.25.	Çıkartım işleminin şematik gösterimi	112
Şekil 6.26.	Maksimum ortası çıkartım metodunun gösterimi	113
Şekil 6.27.	Maksimum sol kenar noktası metodunun gösterimi	114
Şekil 6.28.	Maksimum sağ kenar noktası metodunun gösterimi	114
Şekil 6.29.	Ağırlık merkezi metodunun gösterimi.....	115
Şekil 6.30.	Mühendislik dizaynlarında ve gelişimindeki belirsizlik.....	118
Şekil 6.31.	Paralel Sistem.....	121
Şekil 6.32.	$P(A) = 0.9$, $P(B) = 0.95$ civarı için bulanık $P(A).P(B)$ çarpımı.....	121
Şekil 6.33.	Paralel sistem arıza olasılıkları	122
Şekil 6.34.	İki bileşenli bulanık paralel sistem güvenilirliği değerlendirmesi.....	122
Şekil 6.35.	n elemanlı seri sistem.....	122
Şekil 6.36.	İki bileşenli bulanık seri sistem güvenilirliği değerlendirmesi.....	123
Şekil 6.38.	Karmaşık bağlı sistem	124
Şekil 6.39.	Basit hata ağacı.....	124
Şekil 6.40.	Bir elektrik güç sistemi parçası.....	125
Şekil 6.41.	Elektrik güç sisteminin devreden çıkması durumu için olay ağacı.....	125
Şekil 6.42.	Elektrik güç sisteminin devreden çıkması durumu için olay ağacı.....	127
Şekil 6.43.	Geliştirilen bulanık markov modelinin prensip şeması.....	129
Şekil 6.44.	Bara gerilim kısıtlarının aşılması durumunda arıza ve çalışma sınırları.....	132
Şekil 6.45.	Nonlineer yükleri besleyen baranın sağlayamadığı yük miktarı.....	133
Şekil 6.46.	Transformatörlerin nominal görünür gücündeki azalma yüzdesinin bulanık yaklaşım tekniği ile benzetimi.....	134
Şekil 7.1.	Sayısal uygulama için seçilen örnek sistemin tek hat diyagramı.....	135
Şekil 7.2.	Bir yılın bütün ayları için [Aralık (a), Ocak (b), Şubat(c), Mart (d), Nisan (e), Mayıs (f), Haziran (g), Temmuz (h), Ağustos (ı), Eylül (i), Ekim (j), Kasım (k)] B3, B4, B5 yük baralarında ölçülen THD(I) değerlerinin histogram eğrileri.....	143

Şekil 7.3.	Örnek sistemin muhtemel 24 farklı arıza durumu için, üç ana etiket altında toplanan (yaz, sonbahar-ilkbahar, kış), tüm hava şartları için elde edilmiş bulanık markov modeli 148
Şekil 7.4.	Verilen THD(I) değerlerine göre, transformatörlerin besleme kapasitesinin azalma yüzdesini tayin eden giriş üyelik fonksiyonu 149
Şekil 7.5.	Verilen THD(I) değerlerine göre, transformatörlerin besleme kapasitesinin azalma yüzdesini tayin eden çıkış üyelik fonksiyonu..... 149
Şekil 7.6.	Bulanık markov modelin girişini temsil eden, bir yıl bazına göre alınan ortam sıcaklığı üyelik fonksiyonu.....150
Şekil 7.7.	Birinci arıza çeşidi ile ilişkili arıza oranı çıkış üyelik fonksiyonları..... 151
Şekil 7.8.	Birinci arıza çeşidi ile ilişkili onarım oranı çıkış üyelik fonksiyonları..... 152
Şekil 7.9.	Verilen örnek sistem için yapılan, güvenilirlik analizi akış diyagramı..... 155
Şekil 7.10-58	Sayısal uygulama kısmında, analiz neticesinde elde edilen şekiller..... 156



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1.	F(t), f(t), R(t) ve Z(t) arasındaki ilişkiler.....	13
Çizelge 2.2.	Farklı ömür dağılımları ve bazı parametreler.....	17
Çizelge 3.1.	Hata ağacı sembolleri	34
Çizelge 3.2.	Markov yöntemi çeşitleri	45
Çizelge 6.1.	A bulanık kümesinin gösterimi	87
Çizelge 7.1.	5 baralı sisteme ait empedans verileri	135
Çizelge 7. 2.	5 baralı sisteme ait yük verileri	136
Çizelge 7.3.	5 baralı sisteme ait gerilim kısıtları	136
Çizelge 7.4.	5 baralı sisteme ait hat uzunlukları	137
Çizelge 7.5.	Muhtemel arıza konfigürasyonlarında örnek sisteme ait, bir yıl bazına göre tespit edilen toplam arıza ve onarım hızları.....	137
Çizelge 7.6.	Verilen THD(I) değerlerine göre, transformatörlerin besleme kapasitesinin azalma yüzdesi için kural tablosu	150
Çizelge 7.7.	Hava şartları girişine bağlı olarak, sisteme ait çıkış arıza ve onarım hızlarını bulmak için oluşturulan bulanık kurallar.....	152
Çizelge 7.8.	Tek hava modelinin geçerli olduğu hal için elde edilen muhtemel arıza durumları olasılıkları	160
Çizelge 7.9.	Tek hava modelinin geçerli olduğu hal için elde edilen, her bir yük barasına ait kullanılabilirlik ve yokluk uç olasılıkları	160
Çizelge 7.10.	- 20 derece hava şartları için elde edilen muhtemel arıza durumları olasılıkları	167
Çizelge 7.11.	0 derece hava şartları için elde edilen muhtemel arıza durumları olasılıkları	169
Çizelge 7.12.	20 derece hava şartları için elde edilen muhtemel arıza durumları olasılıkları	169
Çizelge 7.13.	Harmonik etkinliğinin göz önünde bulundurulmadığı ve -20 derece hava göre elde edilen, 3,4,5 yük baralarına ait, MTTF, MTTR ve MTBF parametreleri	169
Çizelge 7.14.	-15 derece hava şartları için elde edilen muhtemel arıza durumları olasılıkları	175
Çizelge 7.15.	-10 derece hava şartları için elde edilen muhtemel arıza durumları olasılıkları.....	175

ÖNSÖZ

Elektrik enerjisi enterkonnekte şebekesi, artan enerji gereksinimiyle doğru orantılı olarak genişlemek zorundadır. Bu gelişme sürecinde enterkonnekte şebeke mümkün olabildiğince ekonomik ve verimli bir şekilde işletilerek, yeterli enerji miktarının tüketiciye ulaşmasını sağlayabilmelidir.

Tüketici şikayetlerinin ağırlığını oluşturan enerji kesintilerini minimuma indirme zorunluluğu, enerji tesislerinin kurulması ve işletmesinde ekonomik zorluklar oluşturduğu bir gerçektir. Tüketicinin gereksinmesi olan enerjinin sürekliliğini sağlamak, enerji tesislerinin görevini arızasız olarak sürdürmesine veya yıllık arıza oranını minimuma yaklaştırılmasına bağlıdır. Bu yüzden enerji sisteminin işletilmesi esnasında 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. Bütün bu nedenlerden dolayı bu çalışmada enerji sistemlerinin önemli bir bölümünü oluşturan iletim hatlarında ve yük baralarında güvenilirlik hesaplamaları, nonlineer yüklerin sistem üzerindeki olumsuz etkileri ve farklı hava şartları etkisi göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Tez konusunun belirlenmesinde ve onu izleyen tez yönetiminde, değerli ilgi ve katkılarını gördüğüm sayın hocam Doç Dr. Celal KOCATEPE ile tez çalışmalarım boyunca gerekli yönlendirme ve teşviklerinden dolayı değerli hocam Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR ve Doç Dr. Nurettin UMURKAN'a, ayrıca yoğun çalışmalarım boyunca bana sabır gösteren sevgili eşime teşekkür ederim.

ÖZET

Modern bir enterkonnekte şebeke, üretilen enerjinin istenen kalitede tüketiciye ulaştırılmasını, sürekli bir şekilde en ekonomik yoldan sağlayabilmelidir. Dolayısıyla elektrik enerjisinin üretim yerinden tüketiciye ulaştırılmasında kullanılan enerji iletim sisteminin güvenilirliğinin önemi artmaktadır. Sayısal güvenilirlik değerlendirmesi sistemin uygun çalışmasını öngörüm için önemli bir ölçüdür. Bu çalışmada enterkonnekte bir şebekenin iletim hatları ve tüketicinin enerji ihtiyacını karşılayan baralar ile ilgili güvenilirlik hesaplamaları yapılmıştır.

Çalışmanın ilk bölümlerinde, harmoniklerle ilgili temel tanım ve büyüklükler ile nonlinear yüklerin elektrik enerji sistemleri üzerindeki olumsuz etkileri incelenmiştir.

Daha sonraki bölümlerde ise bulanık küme teorisi ve bulanık küme teorisinin güvenilirlik mühendisliği uygulamalarından, bulanık-seri-paralel-karışık bağlı sistem güvenilirliği, bulanık olay ağacı-hata ağacı analizi ve bulanık markov modeli konularından oluşmaktadır. Ayrıca bu bölümde yük baralarındaki harmonikler dolayısıyla oluşan sağlanamayan enerji miktarı oranı bulanık küme teorisi kullanılarak hesaplanmıştır.

Kısaca ifade etmek istersek bu çalışmada, işlem karmaşıklığı ve verilerin düzgün bir şekilde tasnif edilmesindeki zorluklardan dolayı, bugüne kadar yapılan çalışmalarda en fazla iki değişken hava durumunu modelleyen ve nonlinear karakteristiğe sahip durumları modelleyemeyen klasik markov modeline karşın, orijinal olarak elektrik enerji sistemlerindeki nonlinear yüklerin sistem güvenilirliği üzerindeki etkisini ortaya koyan ve çeşitli iklim koşullarını analize dahil eden “Çok Hava Modeli, Sürekli Zaman ayrık Durumlu Bulanık Markov Modeli” güvenilirlik analizi tekniği geliştirilmiştir.

Analiz için geliştirilen bu yöntem ile enerji iletim hatlarında oluşan sürekli, geçici, aşırı yüklenme, ve bakım devre dışı kalma arıza biçimleri dikkate alınmıştır. Yük baralarında ise nonlinear yükler sebebiyle sağlanamayan enerji miktarlarının ve akımın toplam harmonik distorsiyonuna göre transformatörlerin kapasite azalma yüzdelerinin güvenilirlik üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca enerji iletim sisteminin değişik yük baralarında devre dışı kalma sıklığı ve süresi gibi genel olarak kabul edilen güvenilirlik ölçütleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Olasılık, Bulanık Markov Modeli, Güvenilirlik, Nonlinear yükler, Bulanık kümeler.

ABSTRACT

The objective of electric power systems is to supply electrical energy to consumers at low cost while simultaneously providing acceptable, or economically justifiable, service quality. For this reason, electrical energy transmission reliability from its generation point to consumers is of increasing importance. As the most general and simplest explanation, reliability is probability of a system or a network whether it will succeed its duty at a specified time duration or not. Quantitative reliability evaluation is an important measure in order to foresee the system's proper operation. In this study the reliability calculation of both the transmission line of interconnected electrical energy systems and load buses which ensures the consumers energy requirement were analyzed.

In the following parts of the study, in addition to the effects of non-linear loads on electrical energy systems fundamental definitions and some formulations of harmonics are studied.

The six chapter of the study is including the subjects fuzzy set theory and its reliability engineering applications such as fuzzy series – parallel – combination systems, fuzzy event trees – fault trees and fuzzy markov model. As well as this, because of harmonics withdrawn from load bus, loss of load energy rating was calculated by fuzzy set theory.

As original we can say shortly for this work, while both because of calculation complexity and difficulties in classification of reliability data regularly, studies so far has been considered two weather states in the classical markov models which is not ability to model non-linear conditions, “Continuous Time – Discrete State with Multi Weather Conditions Fuzzy Markov Model” which can solve the effect of electrical energy systems' non-linear loads on system reliability was developed for analyzing reliability evaluation.

In the analysis by developed method, the fault of permanent, transient, overload and maintenance outage were considered. By using fuzzy markov model, both because of harmonics withdrawn from load bus, loss of load energy rating and because of current's total harmonic distortion, reduction in apparent rating of transformers were examined. In addition to that, the general reliability measures such as mean time to repair, mean time to failure and mean time between failures were calculated for each load bus.

Keywords : Probability, Fuzzy Markov Modeling, Reliability, Nonlinear Loads, Fuzzy Sets

1. GİRİŞ

Modern bir enterkonnekte şebeke, üretilen enerjinin istenen kalitede tüketiciye ulaştırılmasını, sürekli bir şekilde en ekonomik bir yoldan sağlayabilmelidir. Dolayısıyla elektrik enerjisinin üretim yerinden tüketiciye ulaştırılmasında kullanılan enerji iletim sisteminin güvenilirliği, gittikçe artan bir öneme sahiptir. Bu yüzden elektrik enerjisi üretiminde söz sahibi olan şirketleri ; i. Tüketicinin her geçen gün artan elektrik enerjisi gereksinimi kaliteli bir biçimde karşılayabilmeli ve güvenilirliğini hesaplamalıdır, ii. Ek tesis planlaması için, şebekeye yeni bağlanacak iletim hatlarının güvenilirlik ölçütünü önceden saptamalıdır, iii. Mevcut güvenilir olmayan elektrik enerjisi iletim tesislerini saptayıp, ülke ekonomisine vereceği zarar ve mali kaybı göz önünde bulundurmalıdır.

Güvenilirlik analizlerinin sayısal büyüklüklerle yapılabilmesi için öncelikle bazı indislerin tanımlanması ve daha sonra bu indislerin hesaplanabilmesi için bir takım yöntemlerin geliştirilmesi gerekir. Güvenilirlik analizlerine, enerji ağına yeni bağlanacak şebekeler için var olan, sistemden zamanla elde edilmiş olan bilgi ve deneyime dayanarak, kalıplaşmış bazı matematiksel ifadelerin kullanılmasıyla başlanmıştır. Artan elektrik enerjisi ihtiyacı karşısında bilgisayar destekli modern istatistik öngörüm ve mühendislik yöntemlerinin geliştirilmesi ile enerji iletim sistemlerinin güvenilirliğini hesaplamak ve gelecek için öngörümde bulunmak amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Tüm yöntemlerde ürünlerin/sistemlerin gelecekteki davranışları incelenir. Gelecekteki bu davranış belirgin değil rastlantısalıdır. Dolayısıyla güvenilirlik analizinde olasılık teoreminden yararlanılır. Bir sistem veya şebekenin güvenilirliği, tanımlanan görevini belirli bir zaman aralığı içinde başarma olasılığı olup sayısal bir özelliğe sahiptir. “0” ile “1” arasında bir değer olarak hesaplanan güvenilirliğe yanlış yaklaşıma neden olan en önemli sebep, elektrik enerjisi iletim tesislerinde güvenilirlik analizi için gerekli arıza oranı ve onarım süresi verileri toplama çalışmalarının bilinçli olarak yapılmaması, uygun analiz modellerinin araştırılmamasıdır. Bundan dolayı güvenilirlik hesaplaması elektrik enerjisi üretimi ve iletim tesislerinin istatistiksel verilerinden yararlanarak yapılan, mühendislik ve ekonomi yöntemlerini kullanan bir öngörüm çalışması olup, aynı zamanda tesis planlamasının temel unsurlarındandır.

Sistem davranışının değerlendirilmesi için istatistiksel verilere olan ihtiyaç olduğu görüşü 1930’lu yıllardan beri göz önünde bulundurulmaktadır. Güvenilirlik analizi hesaplamalarında modern istatistik öngörüm ve mühendislik yöntemlerinin kullanımı, veri eksikliği, hesaplama kaynaklarındaki kısıtlamalar, gerçekçi yaklaşım tekniklerinin azlığı, istatistiksel yöntem

kullanımının sevilmemesi, istatistiksel kriter ile indislerin anlam ve öneminin yanlış anlaşılması gibi sebeplerden dolayı geçmişteki çalışmalarda yeterli derecede yerini alamamıştır. Günümüzdeki çalışmalarda ise bir çok istatistiksel yöntem geliştirilmiştir. Bu teknikler güvenilirlik değerlendirmeleri yöntemlerine dahil edilmiştir (Billinton and Allan, 1983-1984; Billinton, 1972; IEEE Committee Report, 1978; Allan et al., 1984). Bu teknikler arasında istatistiksel güç akış analizi (Caramia et al., 1999; Allan et al., 1974; Leite et al., 1984). İstatistiksel geçici kararlılık (Kuruganty et al., 1980; Billinton and Chu, 1986) çalışmalarında bütün giriş ve çıkış durumları ile durum parametreleri, analiz değişkenleri olarak kullanılmış olup, güç sistem davranışı farklı bir açıdan değerlendirilmiştir.

Güç Sistem güvenilirlik değerlendirmesi, üretim sistemi, iletim sistemi ve dağıtım sistemi güvenilirlikleri olarak ayrı ayrı incelenebileceği gibi bu birimler bir arada bulundurulurak da (Kompozit Sistem) güvenilirlik değerlendirmesi mümkündür (Billinton and Allan, 1984,1988; Brown et al., 1996). Bu alt birimlerden enerji iletim sistemi güvenilirliğine etki eden bir çok parametre vardır. Enerji iletim sistemi güvenilirliği içerisinde incelenen kriterlerin en önemlilerinden birisi hava modelleridir. Hava modelleri iki sebepten dolayı önemlidir; i. İklim şartlarına bağlı olarak enerji tüketimi değişiklik göstermektedir (Kassaei et al., 1999). ii. Enerji iletim sistemi bileşenleri, atmosferik durumlarla direkt etkileşim içerisinde bulunduğundan, sistemdeki arıza ve onarım hızlarının dağılımı değişik iklim şartlarında farklılık gösterir. Özellikle ağır hava koşullarında iletim sistemi bileşenlerinin arıza oranları hızla artar. Ağır hava koşulunun değişken etkisinden dolayı, elemanların arıza hızları da değişecektir. Ağır hava koşullarının tüm çeşitlerini güvenilirlik hesaplamalarına dahil etmek oldukça zordur. Bundan dolayı bugüne kadar yapılan çalışmalarda, normal ve ağır hava koşulları olmak üzere değişken iki durumlu hava modeli kullanılmıştır (Gaver et al., 1964; Billinton and Grover, 1975).

Elektrik enerji sistemleri çok fazla bileşen içerdiğinden ve üzerinde bir çok parametre etkili olduğundan dolayı, enerji sistemleri işletiminde her seviyede non-lineerliklere ve dengesizliklere rastlanır. Bu yüzden enerji sistemi bileşenlerinde değişik arıza durumları vardır. Bu arıza durumları arasında, sürekli, geçici, aşırı yük sebebiyle ve bakım dolayısıyla devre dışı kalmalar dahil edileceği gibi (Billinton and Grover, 1975-I; Chritaanse, 1971; Ringlee and Wood, 1969; Billinton and Grover, 1975-II), sistem işletmesi için gerekli olan ve genellikle güç kalitesine etki eden sistem kısıtlarının arzu edilen limitler içerisinde kalması durumunun aşılması halleri de (örneğin stabilite kısıtları, hat kısıtları ve güç kısıtları), arıza sınıfına dahil edilebilir (Noferi and Paris, 1975).

Ayrıca sistem performansına etki eden sistem bileşenlerindeki kısmi arızalar ve kapasite düşüklüklerini de güvenilirlik değerlendirmesi içerisinde incelemek mümkündür. Fakat bu tür arızalar klasik küme mantığı çerçevesinde belirli bir eşik değerinin aşılması durumunda arıza kapsamına alınmakta, diğer ara durumlar göz önünde bulundurulmamakta idi (Christiaanse, 1970; Sallam et al, 1994; Shara and Berg, 1993).

Önceki güvenilirlik çalışmalarında keskin küme mantığının alternatifinin olmaması sebebiyle, “0” ile “1” arasında bir büyüklük olarak ifade edilen güvenilirlik değerlendirmesinde özellikle yukarıda bahsedilen ara durumların göz önünde bulundurulması hallerinde elde edilen sonuçların hassasiyeti azalmaktadır. Keskin küme mantığının genel formu olarak kabul edebileceğimiz “0” ile “1” arasındaki tüm değerleri ağırlık olarak atayabilen bulanık küme teorisi (fuzzy set theory), güvenilirlik değerlendirmesi ile paralellik arz etmektedir. Son yıllarda yayınlanan makalelerde ise güvenilirlik analizi çalışmaları ile bulanık küme teorisi, bilinen yöntemlerle hibrid yapı (bulanık – seri, paralel sistem güvenilirliği, bulanık – olay ağacı, hata ağacı analizi, bulanık – markov modeli, bulanık olasılık formülleriyle klasik güvenilirlik analizi gibi) içerisinde değerlendirilmektedir (Yuan et al., 1991; Bowles and Pelaez, 1995; Torng Lin and Juin J. Wang, 1998; Nahman, 1997; Kruse et al., 1985; Kenarangui, 1991).

Günümüz hayatının vazgeçilmez enerji türü olan elektrik enerjisi, elektrik şirketleri açısından bir çok problemi de beraberinde getirmiştir. İdeal bir alternatif akım güç sisteminde elektrik enerjisinin üretilmesi, iletilmesi ve dağıtılması belirli gerilim seviyelerinde tek ve sabit frekansta yapılır. Bununla birlikte bazı olumsuzluklar (doyma bölgesinde çalışan transformatörler, doğru akım iletiminde kullanılan evirici ve doğrultucular, güç elektroniği elemanlarının sanayide kullanımının artması, ark fırınları gibi non-lineer karakteristikli yükler gibi) nedeniyle bu şartlar pratikte tam olarak sağlanamaz, akım ve gerilimde tam sinüs formundan uzaklaşma olur. Böylece birçok işletmede harmonikli akım ve gerilimler oluşmaktadır. Harmonikler ise elektrik enerji sistemlerinde; aşırı gerilim düşümü, ek kayıplar (Wagner et al., 1993; Baghzous et al., 1986; Hwang et al., 1987), transformatörlerin daha çabuk doymaya ulaşmasından dolayı veriminin azalması (Yıldırım and Fuchs, 1999; Fuchs et al., 1999; Yıldırım et al., 1998; Fuchs and Fei, 1996; Massey, 1994), bazı fiziksel (ısınma sınırı) (Galli and Cox, 1996; Bishop et al., 1996) ve işletme ile ilgili sistem kısıtlarının zorlanması ve sistem bileşenlerinde yaşlanmaya (Fuchs et al., 1986) sebebiyet vermek gibi enerji sistemi güvenilirliğinde kullanılan birtakım arıza sınıflarına dahil edilebilecek ve

yukarıda bahsedilen kısmi veya dereceli arızaların seviyesini artıracak olumsuzluklara neden olur.

Bu tezde yukarıda özetlenen literatür çalışmalarından da görüleceği üzere, güvenilirlik analizi çalışmalarında ihmal edilen, harmoniklerin etkisi altında, çok hava modellenli enerji iletim sistemlerinin güvenilirlik analizi, bulanık markov yöntemiyle incelenmiştir.

Birinci bölümde; güvenilirlik analizi gelişim safhaları, bu gelişim safhaları çerçevesinde analizde ihmal edilen, eksik bırakılan incelemeler ve bu ihmal edilen noktaların giderilmesine yönelik yapılan çalışmalar ile harmoniklerin güç sistem bileşenleri üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı güvenilirlik üzerindeki etkisinin tespiti ile ilgili literatür özeti tarihi gelişimi içerisinde verilmiştir.

İkinci bölümde; Genel güvenilirlik tanımı, fonksiyonu, parametreleri (MTBF, MTTF, MTTR), sistemin arıza oranı çeşitleri ve dağılımları, sistem güvenilirliği ile ilgili genel tanımlar verilmiştir.

Üçüncü bölümde; Elektrik enerji sistemlerinde güvenilirlik analizi yöntemlerinden; yaklaşıklık tekniği, hata ve olay ağacı teknikleri, monte-carlo simülasyonu, bayesian teoremi ve markov yöntemleri anlatılmaktadır.

Dördüncü bölümde; elektrik enerji sistemi güvenilirliği için gerekli veriler; bir elemanın arıza biçimleri, bir yük barasının arıza durumları, enerji sistemindeki diğer elemanların arıza durumları, enerji sistemi çalışmasına hava koşullarının etkisi, güvenilirlik indisleri ve seçimi, gerekli eleman parametreleri anlatılmaktadır.

Beşinci bölümde; harmoniklerle ilgili temel tanım ve büyüklükler ile nonlinear yüklerin elektrik enerji sistemleri üzerindeki olumsuz etkileri (arıza tiplerine olan etkileri, aşırı gerilim düşümü, rezonans olayı gibi diğer istenmeyen durumlar, eskime sürecine ve ömre olan etkisi, güç kalitesine olan etkisi) incelenmiştir.

Altıncı bölüm; bulanık küme teorisi ve güvenilirlik analizine uygulanması (bulanık kümeler, bulanık seri-paralel-karışık sistem güvenilirliği, bulanık olay ağacı-hata ağacı analizi, bulanık markov modeli, nonlinear yüklerin olumsuz etkilerinin bulanık markov modeline uyarlanması) 'ndan oluşmaktadır.

Yedinci bölümde; nonlineer yükleri içeren elektrik enerji sisteminin bulanık markov modeli ile güvenilirlik analizi ve klasik markov ile kıyaslanması sayısal bir uygulama üzerinde yapılmıştır.

Son bölüm olarak sekizinci bölümde; Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve elektrik enerji sisteminde güvenilirlik ile ilgili öneriler ortaya konmuştur.



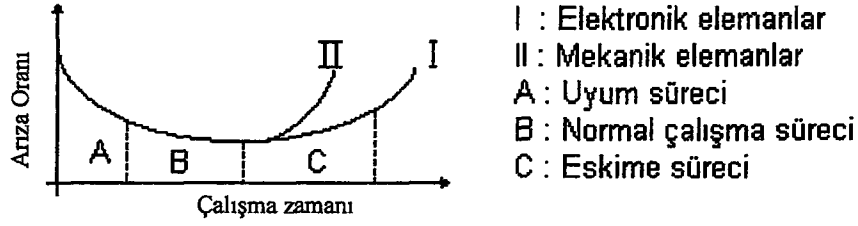
2. GÜVENİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ İLE İLGİLİ GENEL TANIM VE PARAMETRELER

2.1. Güvenilirlik Tanımı

En basit şekliyle güvenilirlik bir eleman veya sistemin çalışabilir olmasının olasılığıdır. Daha genel şekliyle, bir elemanın/sistemin içinde bulunduğu çalışma koşullarında tasarlanan belli bir zaman süresinde, amacına uygun olarak veya belirli bir süre için arıza olmaksızın çalışabilme olasılığıdır (Bazosvsky, 1961). Başka bir ifade ile güvenilirlik, işletme durumundaki bir elemanın arızasız çalışabilme yeteneğinin bir ölçütüdür. Güvenilirlik analizi ise belirli çalışma koşulları altındaki elemanın davranışını matematiksel olarak tahmin eder.

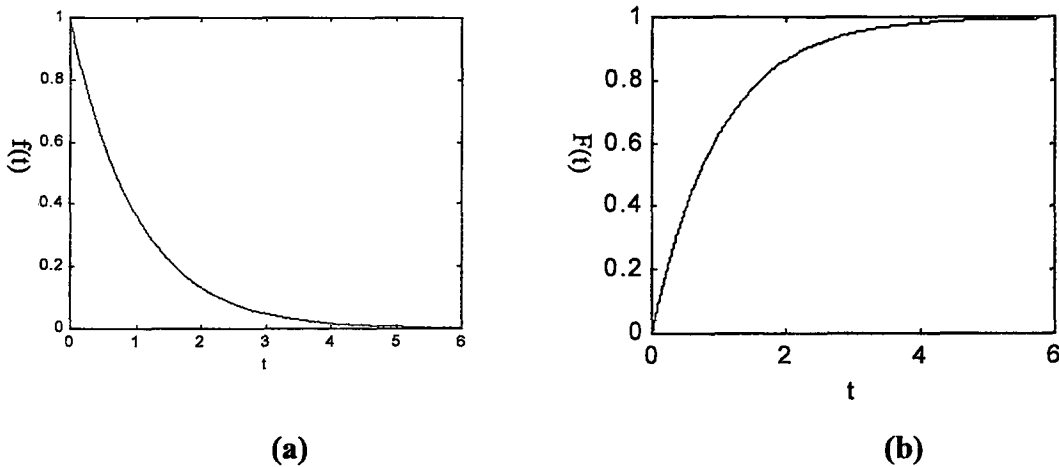
Güvenilirliğin tanımından da anlaşılacağı üzere, güvenilirlik analizi yapılırken, bir elemanın gelecekteki davranışları tahmin edilmeye çalışılır. Bu davranışlar ise belirgin olmayıp ancak olasılık yöntemleri kullanılarak değerlendirilebilir. Bu amaçla en çok kullanılan genel güvenilirlik parametreleri; arıza olasılığı, ortalama arıza sayısı, arızalar arasındaki ortalama süre, MTBF (Mean time between failures), ortalama arıza süresi (the average outage duration veya downtime of a device), arızanın bedeli (the expected loss in revenue due to the failure)'dir. Güvenilirlik analizi, belirtilen indislerden veya bunların haricinde amaca uygun bir takım indislerden yola çıkarak bunların sayısal değerlerinin hesaplanması ve bu değerlerin irdelenmesi işlemidir.

Bir elemanın arıza oranı çalışma süresince ya güvenilirlik testleri ya da gözlemlerle deneysel olarak elde edilir. Güvenilirlikte bir elemanın maruz kaldığı üç arıza tipi vardır. Birinci tip arızalar elemanın yaşamının ilk süresinde 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 önlenebilir. Üçüncü tip arızalar risk arızaları, rastgele periyodik olmayan aralıklarla oluşur. Oluşumları hakkında öngörüm yapılamaz. Fakat yeterli miktarlardaki uzun sürelerde oluşma sıklığı yaklaşık sabit kabul edilir (Şekil 2.1). Birinci ve üçüncü tip arızalar rastgele olduğundan bunlar rastgele olaylar sınıfına veya stokastik sürece aittirler.



Şekil 2.1. Bir eleman için çalışma ömrünün fonksiyonu olarak arıza oranı

Güvenilirlik ifadesi, zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanmış bir olasılıkla tayin edilir. Bundan dolayı güvenilirlik fonksiyonu, zamana göre yeterli çalışma olasılığına (arızalanmama olasılığı) bağlı matematiksel bir ifadedir. Bu ilişkinin tam olarak açıklanması eleman arıza zamanlarının dağılımına bağlıdır. Bir rastlantı değişkeni olan bu zaman değişkeninin olası en küçük değeri için sıfırdan başlayan ve azalmayan bir fonksiyon şeklinde, rastlantı değişkeninin olası en büyük değeri için bir'e giden bir fonksiyondur. Rastlantı değişkeninin (arızalanma zamanı) olası en küçük değeri başlangıç anı olarak alınır. Minimum $t = 0$ zamanında birimin/sistemin çalıştığı varsayılır. Zamanla arıza olasılığı artarken güvenilirlik azalır ve teorik olarak sonsuz uzun bir süre sonra, arıza olasılığı bire, güvenilirlik sıfıra gider. Buradan güvenilirliğin, rastlantı değişkeni zamanı ile azalmayan bir fonksiyon olduğunu görmekteyiz (Şekil 2.2). Dolayısıyla arıza olasılığı, dağılım fonksiyonu özellikleri taşır ve arıza süresini karakterize eden bu birikmiş olasılığa “arıza dağılım fonksiyonu” adı verilir, $F(t)$ ile gösterilir. Arıza dağılım fonksiyonunun türevine, “arıza yoğunluk fonksiyonu” denir ve $f(t)$ ile gösterilir (Hoyland and Rausand, 1994).



Şekil 2.2. Üstel bir arıza yoğunluk (a) ve dağılım (b) fonksiyonu

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.1)$$

$$Q(t) = \int_{\mu=0}^t f(\mu) d\mu \quad (2.2)$$

$$R(t) = 1 - Q(t) = \int_{\mu=t}^{\infty} f(\mu) d\mu \quad (2.3)$$

Burada ;

$F(t)$: Arıza dağılım fonksiyonu

$f(t)$: Arıza yoğunluk fonksiyonu

$Q(t)$: Arıza olasılığı fonksiyonu

$R(t)$: Güvenilirlik fonksiyonu

Arızaya kadar geçen ortalama süre MMTF (Mean time to failure) kısaltması ile gösterilir ve
(2.4)

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.4)$$

eşitliği ile verilir. Rastlantısal olan diğer bir büyüklük ise onarım süresi olup, onarıma kadar geçen ortalama süre, MTTR (Mean time to repair) veya ortalama onarım süresi;

$$MTTR = \int_0^{\infty} t \cdot fo(t) dt \quad (2.5)$$

Eğer onarım dağılım fonksiyonu $F_o(t)$ ise, 2.5'teki $f_o(t)$ onarım yoğunluk fonksiyonunu gösterir. Arızaya kadar geçen ortalama süre ile , onarım kadar geçen ortalama sürenin toplamı iki arıza arasındaki ortalama süreyi,

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad (2.6)$$

verir.

2.2. Bir Eleman için Genel Arızalar ve Sınıflandırılması

Bir güvenilirlik Mühendisinin en önemli işlerinden birisi arızaları önlemektir. BS 4778 İngiliz standartlarına göre bir elemanın arızaları şu şekilde belirlenmektedir (Eurre Dat A., 1983, 1986).

Arıza: Bir elemanın istenen fonksiyonunu yerine getirebilme yeteneğinin son bulmasıdır. Arızalar aşağıdaki gibi birçok yönden sınıflandırılabilir.

2.2.1. Ani ve dereceli arızalar

Bir arıza kendisini bir fonksiyonun aniden yok oluşuyla veya belirli bir performans aralığında yavaş yavaş dereceli bir şekilde yok olmasıyla gösterebilir. Ani arızaları tespit etmek çok kolaydır, çünkü eleman istenen zaman aralığında ya çalışıyordur veya arızalıdır. Dereceli arızaları belirlemek için, gerçek cihaz performansı ile işletmedeki cihazın performansını kıyaslamak gerekir.

2.2.2. Gizli ve aşikar arızalar

Bazı arıza çeşitleri aşikar olarak adlandırılır. Bu çeşit arızalar oluşur oluşmaz hemen fark edilir. Bir gizli arıza ise sadece elemanın test edilmesi esnasında fark edilir.

2.2.3. Arızaların etkilerine veya şiddetlerine göre sınıflandırılması

Arızalar çok farklı şekillerdeki etkilerine göre sınıflandırılabilir. Aşağıdaki sınıflandırma 1992 yılında OREDA tarafından kullanılmıştır (Oreda, 1992).

- **Kritik Arıza :** Bu çeşit arıza anidir ve bir veya birden fazla temel fonksiyonun durmasına sebep olur. Bu arıza hemen bir düzeltme işlemiyle uygun çalışma şartlarına yeniden dönüş yapılabilir.
- **Dereceli Arıza :** Bu çeşit arıza dereceli , kısmi veya her iki tip arızayı birden içerir. Bu arıza tipinde, elemanın temel fonksiyonları son bulmaz, fakat bir veya birçok fonksiyonu tehlikeli konuma itilir.
- **Henüz Başlamış Arızalar :** Bir elemanın herhangi bir konumundaki bir kusuru eğer herhangi bir düzeltme işlemi yapılmamış ise, kritik veya dereceli bir arıza tipine dönüşmesi beklenebilir.

2.2.4. Birincil, ikincil ve kumanda (komut) arızaları

Bir elemanın arızalarını, birincil, ikincil ve kumanda arızaları olmak üzere üç sınıfa ayırmak mümkündür (Henley and Kumamoto, 1981).

Birincil arızalar bir elemanın doğal yaşlanması sonucunda oluşur.

İkincil arızalar eleman üzerine olan aşırı dış etkenler, ısı, mekaniksel, elektriksel, kimyasal, manyetik veya radyoaktif enerji kaynaklı olabilir. Bir eleman üzerindeki bu tür etkiler, komşu bileşenlerden, çevresel faktörlerden veya sistem operatörleri tarafından oluşturulabilir.

Kumanda arızaları uygun olmayan kontrol işaretlerinden veya gürültüden dolayı olur. Bu tür arızalar genellikle transient arızalardır.

2.3. Arıza Modelleri

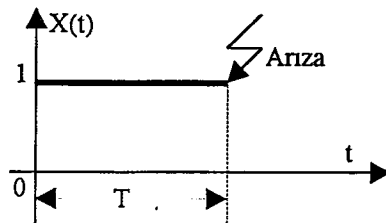
Onarılmamış bir birimin güvenilirliği için en önemli üç ölçüt vardır.

- Güvenilirlik fonksiyonu, $R(t)$
- Arıza oranı, $Z(t)$
- Arızaya kadar geçen ortalama süre, MTTF

Arıza Zamanı : Arıza zamanı, bir birimin çalışmaya başladığı andan itibaren ilk defa arızalandığı zamana kadar geçen süre, arıza zamanı (time to failure) olarak adlandırılıp, rastlantısaldır. Başka bir rastlantı değişkeni olan t anındaki bir birime ait durum $x(t)$, olarak tanımlanırsa;

$$x(t) = \begin{cases} 1 & \text{Birim } t \text{ anında çalışıyor} \\ 0 & \text{Birim } t \text{ anında arızalı} \end{cases}$$

analmını taşır. $X(t)$ durumu ile, arıza zamanı T arasındaki ilişki Şekil 2.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Bir birime ait durum değişkeni ve arıza zamanı

Arıza zamanı T , genelde ayrık zamanda ifade edilmesine rağmen, olasılık yoğunluk fonksiyonları ile $[f(t)]$ sürekli zaman değişkenine yaklaştırılabilir.

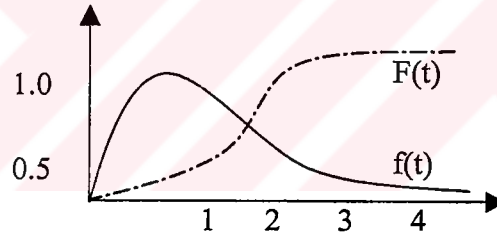
$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(u) du, \quad t > 0 \text{ için} \quad (2.7)$$

Burada $F(t)$, $(0, t]$ zaman aralığında birimin arıza olma olasılığını verir. Olasılık yoğunluk fonksiyonu ise;

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (2.8)$$

$$\Delta t \text{ çok küçük iken; } P(t < T \leq t + \Delta t) = f(t) \cdot \Delta t \quad (2.9)$$

Dağılım $[F(t)]$ ve yoğunluk $[f(t)]$ olasılık fonksiyonları şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Dağılım fonksiyonu $F(t)$ ve olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(t)$

2.3.1. Arıza oranı

Birimin t anında çalıştığı bilindiğinde, o birimin $(t, t + \Delta t]$ zaman aralığında arızalanma olasılığı

$$P(t < T \leq t + \Delta t | T > t) = \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{P(T > t)} = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)}$$

bu olasılığı $\Delta t \rightarrow 0$ 'a giderken Δt zaman aralığına bölerek, birimin arız oranı $Z(t)$ 'yi bulmuş oluruz.

$$\begin{aligned}
Z(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t \mid T > t)}{\Delta t} \\
&= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}
\end{aligned} \tag{2.10}$$

Δt aralığı çok küçük kabul edilirse

$$P(t < T \leq t + \Delta t \mid t > t) \approx Z(t) \cdot \Delta t$$

Ayrıca;

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \frac{d}{dt} (1 - R(t)) = -R'(t), \text{ ise ;}$$

$$Z(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)} = -\frac{d}{dt} \ln(R(t)) \tag{2.11}$$

$R(0) = 1$ olduğundan

$$\int_0^t Z(t).dt = -\ln(R(t)) \tag{2.12}$$

ve $t > 0$ için

$$R(t) = e^{-\int_0^t Z(u).d(u)} \tag{2.13}$$

$F(t)$, $f(t)$, $R(t)$ ve $Z(t)$ arasındaki ilişki tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. $F(t)$, $f(t)$, $R(t)$ ve $Z(t)$ arasındaki ilişkiler

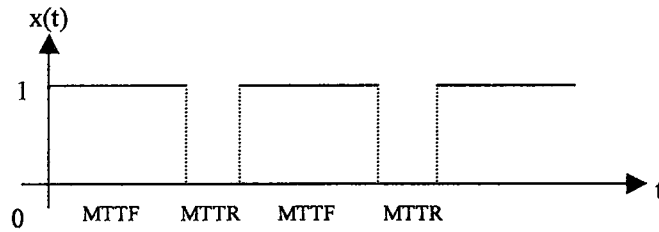
	$F(t)$	$f(t)$	$R(t)$	$Z(t)$
$F(t) =$	-	$\int_0^t f(u)du$	$1-R(t)$	$1 - e^{-\int_0^t Z(u)du}$
$f(t) =$	$\frac{d}{dt}F(t)$	-	$-\frac{d}{dt}R(t)$	$Z(t).e^{-\int_0^t Z(u)du}$
$R(t) =$	$1-F(t)$	$\int_t^\infty f(u)du$	-	$e^{-\int_0^t Z(u)du}$
$Z(t) =$	$\frac{dF(t)/dt}{1-F(t)}$	$\frac{f(t)}{\int_t^\infty f(u)du}$	$-\frac{d}{dt}\ln R(t)$	-

2.3.2. Ortalama arıza süresi

Bir birimin ortalama arıza süresi şöyle verilir:

$$MTTF = E(t) = \int_0^\infty tf(t)dt \quad (2.14)$$

Eğer birimin onarılması için geçen süre MTTF ile kıyaslandığında çok küçük kalıyorsa, MTTF aynı zamanda arızalar arasındaki ortalama süreyi de (MTBF) temsil eder. Eğer MTTR ihmal edilemeyecek kadar ise, MTBF ortalama onarım süresini de içerir. Buna ait şekil Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

**Şekil 2.6.** Bir birimin ortalama davranışı

$f(t) = -R'(t)$ olduğundan

$$MTTF = -\int_0^\infty t.R'(t)dt$$

Kısmi integrasyon ile

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

$MTTF < \infty$ ise $[tR(t)]_0^{\infty} = 0$ olduğu görülür. Bu durumda;

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (2.15)$$

Ortalama arıza süresi aşağıdaki yaklaşım ile de çıkarılabilir. $R(t)$ güvenilirlik fonksiyonunun laplace transformu;

$$R^*(s) = \int_0^{\infty} R(t).e^{-st} dt$$

$s=0$ alınırsa

$$R^*(0) = \int_0^{\infty} R(t)dt = MTTF \quad (2.16)$$

2.3.3. Üstel arıza dağılımı

Arızaya kadar geçen süre T 'nin λ parametreleriyle üstel bir dağılım gösterdiğini farz edelim. Şekil 2.2' de gösterildiği gibi, bu durumda olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi olur.

$$f(t) = \begin{cases} \lambda.e^{-\lambda t}, & t > 0 \text{ ve } \lambda > 0 \text{ için} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Güvenilirlik fonksiyonu ise

$$R(t) = P(T > t) = \int_t^{\infty} f(u)du = e^{-\lambda t} \quad t > 0 \text{ için} \quad (2.17)$$

Ortalama arıza zamanı,

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.18)$$

Arıza oranı,

$$Z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda \cdot e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda \quad (2.19)$$

Yukarıdaki (2.18) ve (2.19) nolu denklemlerden anlaşılacağı gibi üstel arıza durumunda arıza oranı ile ortalama arıza süresi parametreleri birbirinin tersidir. Örneğin bir birimin ortalama arıza oranı $\lambda=4$ arıza/yıl ise birimin ortalama arıza oranı $\frac{1}{4}$ yıl yapar.

Şimdi birimin üstel T arıza süresine sahip olduğunu düşünelim. Böyle bir birim için;

$$P(T > t + x | T > t) = \frac{P(T > t + x)}{P(T > t)} = \frac{e^{-\lambda(t+x)}}{e^{-\lambda t}} = e^{-\lambda x} = P(T > x)$$

Bu olasılık, t anında çalıştığı bilinen bir birimin t+x anında çalışabilme olasılığını verir. Bu eşitlik aynı zamanda arıza süresi x'ten büyük olan yeni bir birimin $T > x$ için çalışabilme olasılığını verir.

Üstel dağılımı basit bir örnek üzerinde inceleyelim. Birbirinden bağımsız arıza oranları λ_1 ve λ_2 olan iki bileşenli sistemi göz önünde bulunduralım. Sistemin ikinci bileşeni arızalanmadan birinci bileşenin arıza olasılığı

$$\begin{aligned} P(T_2 > T_1) &= \int_0^{\infty} P(T_2 > t | T_1 = t) \cdot f_{T_1(t)} dt \\ &= \int_0^{\infty} e^{-\lambda_2 t} \cdot \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} dt \\ &= \lambda_1 \int_0^{\infty} e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t} dt = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} \end{aligned}$$

Bu sonuç, ancak kolay bir şekilde arıza oranları $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ olan n bağımsız bileşenli bir sistem için gerçekleştirilebilir. Sistem içerisindeki j 'nci elemanın birinci olarak arızalanma olasılığı,

$$P(j\text{'nci bileşenin birinci olarak arızalanması}) = \frac{\lambda_j}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

şeklinde verilebilir.

2.3.4. Diğer arıza dağılımları

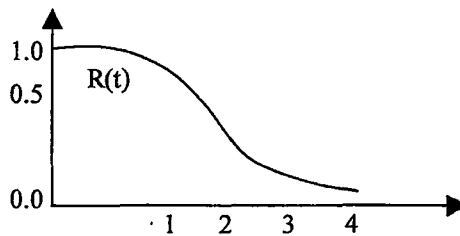
Güvenilirlik ifadesinin zamanla olan ilişkisini anlamak için arıza dağılımlarının bilinmesi gerekmektedir. Üstel dağılım haricindeki diğer dağılımlar, gama dağılımı, pareto dağılımı, Weibull dağılımı, normal dağılım, lognormal dağılım, Birnbaum-Saunders dağılımı, ters gauss dağılımı, aşırı değer dağılımı ve en küçük aşırı gumble dağılımı, poisson dağılımı ve binom dağılımı olmak üzere birçok çeşit dağılım vardır. Bu dağılımlardan normal dağılım diğer dağılımlara bu alanda önemsizdir, ortalama değer ve standart sapma parametrelerine bağlıdır. Weibull dağılımı deneysel verilerin istatistiksel analizi açısından önemlidir. Weibull ve gamma dağılımları şekil parametresi ve ölçü parametresine bağlıdır. Rayleigh dağılımının özel bir hali olup, tek parametrelilik olarak üstel dağılıma benzerlik gösterir. Güvenilirlik hesaplamalarında en çok kullanılan dağılım üstel dağılımdır.

2.4. Güvenilirlik Fonksiyonu

(2.7)' nolu eşitlikten hareketle bir birimin güvenilirlik fonksiyonunu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$R(t) = 1 - F(t) = P(T > t) \quad t > 0 \text{ için} \quad (2.20)$$

Burada $R(t)$, birimin $(0, t]$ aralığında arızalanmama olasılığını yani birimin $(0, t]$ aralığında çalıştığını gösterir. Şekil 2.7'de bir birime ait güvenilirlik fonksiyonu, $R(t)$ görülmektedir.



Şekil 2.7. Bir birime ait güvenilirlik fonksiyonu $R(t)$

Aşağıdaki Çizelge 2.2’de farklı ömür dağılımları ve bunlara ait bazı parametreler özet olarak verilmiştir.

Çizelge 2.2. Farklı ömür dağılımları ve bazı parametreler

Dağılım	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu, $f(t)$	Güvenilirlik Fonksiyonu, $R(t)$	Arıza oranı $Z(t)$	MTTF
Üstel	$\lambda \cdot e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda t}$	λ	$1/\lambda$
Gama	$\frac{\lambda}{T_k} (\lambda t)^{k-1} \cdot e^{-\lambda t}$	$\sum_{x=0}^{k-1} \frac{(\lambda t)^x}{x} e^{-\lambda t}$	$\frac{f(t)}{R(t)}$	k/λ
Pareto	$\frac{k \alpha^k}{(\alpha + 1)^{k+1}}$	$\left(1 + \frac{t}{\alpha}\right)^{-k}$	$\frac{k}{\alpha + 1}$	$\frac{Q}{k-1} \quad k > 1$
Weibull	$\alpha \lambda (\lambda t)^{\alpha-1} \cdot e^{-(\lambda t)^\alpha}$	$e^{-(\lambda t)^\alpha}$	$\alpha \lambda (\lambda t)^{\alpha-1}$	$\frac{1}{\lambda} T^2 \left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)$
Lognormal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{t} \cdot e^{\frac{(ht - \nu)^2}{2r^2}}$	$\phi\left(\frac{\nu - \ln t}{T}\right)$	$\frac{f(t)}{R(t)}$	$e^{\nu + T^2/2}$
Birn-haum Saunders	$\frac{\sqrt{\lambda t} + \frac{1}{\lambda t}}{2\alpha t \cdot \sqrt{2\pi}} p \frac{\left(\frac{\sqrt{\lambda t} - 1}{\lambda t}\right)^2}{\alpha^2}$	$\phi\left(\frac{1}{\alpha} \left(\frac{1}{\sqrt{\lambda t}} - \sqrt{\lambda t}\right)\right)$	$\frac{f(t)}{R(t)}$	$\frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{\alpha^2}{2}\right)$
En küçük aşırı gumble	$e^t \cdot e^{-e^t}$	e^{-e^t}	e^t	-
Ters-Gauss	$\frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{2\pi t^3}} \cdot e^{-(\lambda/2\mu^2)[(t-\mu)^2/t]}$	$\phi\left(\sqrt{\lambda} \frac{1}{\sqrt{t}} - \frac{\sqrt{\lambda}}{\mu} \sqrt{t}\right) - \phi\left(-\sqrt{\lambda} \frac{1}{\sqrt{t}} - \frac{\sqrt{\lambda}}{\mu} \sqrt{t}\right) \cdot e^{2\lambda/\mu}$	$f(t)/R(t)$	μ

Genel bir güvenilirlik fonksiyonunda, arıza oranı sabit veya değişken olarak alınabilir. Bunun için şu şekilde bir olayı göz önünde bulunduralım. X adet deney sonucu A ile, Y adet deney sonucu B ile belirlensin. A ve B olaylarının oluşma olasılıkları sırasıyla şöyledir.

$$P(A) = \frac{X}{X+Y}, \quad P(B) = \frac{Y}{X+Y} \quad (2.21)$$

A olayı bir elemanın sağlam kalmasını, B olayı da arızalanmasını ifade etsin. No adet özdeş eleman denemesinde, t zaman sonra N_s sayıda eleman sağlam, N_f sayıda eleman arızalı olsun. ($N_o = N_s + N_f$). Test süresince N_s azalırken, N_f ise artacaktır. Buna göre test esnasında herhangi bir t anındaki güvenilirlik

$$R(t) = \frac{N_s}{N_o} = \frac{N_s}{N_s + N_f} \quad (2.22)$$

Aynı yolla arıza olma olasılığı

$$Q(t) = \frac{N_f}{N_o} = \frac{N_f}{N_s + N_f} \quad (2.23)$$

$$R(t) + Q(t) = 1 \quad (2.24)$$

Elemanın arızalanma olasılığı ile güvenilirlik fonksiyonu birbirinin tümleyenidir.

$N_s = N_o - N_f$ olup eşitlik (2.23)'de yerine konursa

$$R(t) = \frac{N_o - N_f}{N_o} = 1 - \frac{N_f}{N_o} \quad (2.25)$$

her iki tarafın t'ye göre türevi alınırsa;

$$\frac{dR(t)}{dt} = \frac{d(1 - N_f / N_o)}{dt} = - \frac{1}{N_o} \frac{dN_f}{dt} \quad (2.26)$$

(2.26) eşitliğindeki $\frac{dN_f}{dt}$, herhangi bir zamanda arızaların oluşma sıklığıdır. t zamanına göre

$\frac{dN_f}{dt}$ çizildiğinde, tüm orijinal N_o adet elemanın arıza zamanı dağılımını elde ederiz.

$\left(\frac{1}{N_o} \right) \left(\frac{dN_f}{dt} \right)$ 'yi bir eğri olarak çizdiğimizde ise, eleman başına zamana göre arızaların

$\left(\frac{1}{N_0}\right)\left(\frac{dN_f}{dt}\right)$ 'yi bir eğri olarak çizdiğimizde ise, eleman başına zamana göre arızaların dağılımını elde ederiz. Böylece bu eğrinin $\frac{dN_f}{dt}$ eğrisi ile aynı karakterde olduğu görülür.

Yalnız tüm ordinat değerleri $\left(\frac{1}{N_0}\right)$ ile bölünür. Böylece arıza yoğunluk fonksiyonu $f(t)$, birim sıklık eğrisi olarak adlandırılır. Yoğunluk fonksiyonu;

$$f(t) = \frac{1}{N_0} \frac{dN_f}{dt} = -\frac{dR}{dt} \quad (2.27)$$

Birim sıklık eğrisi altındaki toplam alan 1'e eşittir. Eşitlik (2.27)

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

ile

$$f(t) = \frac{1}{N_0} \frac{dN_f}{dt} = \frac{dQ}{dt} \quad (2.28)$$

her iki tarafın integrali alınırsa

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

ve eşitlik (2.24)'den

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

yazılır.

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

olduğundan

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

dolayısıyla genel güvenilirlik ifadesi

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

olarak bulunur (Bazowsky, 1961). (2.27) eşitliği yeniden düzenlenirse

$$\frac{dN_f}{dt} = -N_o \frac{d}{dt} R(t) \quad (2.29)$$

$N_f = N_o - N_s$ olduğundan

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

ifadesi elde edilir. $\frac{dN_f}{dt}$ terimi t ve $t+dt$ zamanları arasındaki dt aralığında arızalanan eleman sayısı olarak da yorumlanabilir. (2.29) eşitliğinin her iki tarafını da N_s ile bölersek bir eleman başına ani arızalanma olasılığını yahut arıza oranı,

$$\lambda = \frac{1}{N_s} \frac{dN_f}{dt} = -\frac{N_o}{N_s} \frac{d}{dt} R(t) \quad (2.30)$$

elde edilir.

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

olarak bilindiğine göre (2.30) eşitliğinin genel arıza oranı

$$\lambda = -\frac{1}{R(t)} \frac{d}{dt} R(t) \quad (2.31)$$

olarak yazılabilir. Bu eşitliği düzenleyerek, güvenilirlik fonksiyonunu arıza oranı λ cinsinden ifade etmek istediğimizde

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

elde ederiz, buradan güvenilirlik fonksiyonu,

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} \quad (2.32)$$

olarak bulunur.

2.5. Sistem Güvenilirliği

Birim güvenilirlikleri bilinen bir sistemin güvenilirliğinin hesabı için birçok yöntem mevcuttur. Birimlerin güvenilirlikleri zamanın bir fonksiyonu olmasına rağmen, sistem güvenilirlik analizini basitleştirmek ve anlaşılabilirliğini artırmak için birimlerin sabit güvenilirlik değerine sahip olduğunu kabul edeceğiz. Yalnız bu tekniklere geçmeden önce sistem güvenilirlik analizinde kullanılan olasılık teorisinin temelleri öncelikle verilecektir.

2.5.1. Olasılık tanımları

Gnedenko olasılık tanımlarını şu şekilde sınıflandırmıştır, (Gnedenko, 1957):

- Araştırmacının kesinlik derecelerinin büyükel ölçümleri ile ilgili tanımlar
- Eşdeğer benzetim kavramı ile ilgili tanımlar (klasik tanımlama)
- Bir olayın ve büyük sayılardaki denemeleri içerisinde bağıl oluş sıklığı ile ilgili tanımlamalar

Biz bunlardan son iki kategori ile ilgileneceğiz. Normal olarak birinci gruptaki tanımlamalar oldukça subjektif olup, bazen sayısal olarak tanımlanamaz.

2.5.1.1. Olasılık kavramı

N defa tekrarlanan belirli bir deneyde, A olayının M defa oluştuğunu varsayalım. Burada eğer N çok büyükse A olayının olasılığını M/N ile veya istatistiksel olarak ;

$$P(A) = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{M}{N} \right) \quad (2.33)$$

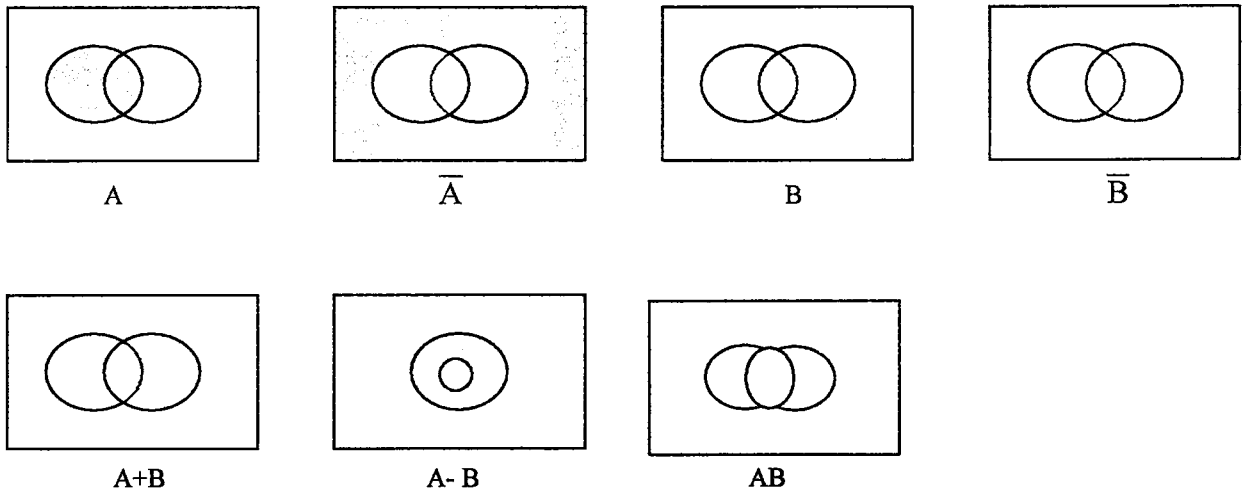
şeklinde yazabiliriz.

Olasılık durumları açısından , bu kuralları formülize edilebilir. Yani her ne zaman S durumlar kümesi gerçekleşirse , A olayının olasılığı , $P(A)$ ' ya eşit olarak oluşur.

S olaylar uzayının elemanı olan A , B , C , ... olayları için

- $A = B \Leftrightarrow B = A$ ise A ve B olayları denktir.
- A ve B olayları aynı anda oluyorsa AB ile gösterilir [$A \cap B$]
- A veya B' den en az birisi oluyorsa A ve B olaylarının toplamı (birleşimi) $A+B$ ile gösterilir [$A \cup B$]
- A' nın oluşması B' nin ise oluşmaması durumu $A-B$ (fark) ile gösterilir
- $A + \bar{A} = S$ ve $A \cdot \bar{A} = \emptyset$ ise A ve B olayları bütünler olaylardır.
- $AB = \emptyset$ ise A ve B olayları ayık olaylardır.

Bu durumlar Şekil 2.8'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Olaylar uzayında bool cebri

2.5.1.2. Rastlantı değişkenleri

Sadece $x_1, x_2, \dots, x_n$ değerlerini alabilen bir x değişkenini göz önünde bulunduralım. Bu x 'lerin olasılıkları ise sırasıyla; $P(x_1), P(x_2), \dots, P(x_n)$ olsun. Biz x 'in bütün muhtemel değerlerini araştırdığımızdan dolayı;

$$\sum_{i=1}^n P(x_i) = 1 \quad (2.34)$$

olur. Bu şartlar altındaki x 'e rastlantı (veya stokastik) değişken diyoruz. $P(x_i)$ fonksiyonu verilen noktalarda ayırık değerler alır ve olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak adlandırılır. Ayrıca; $P\{x = +\infty\} = P\{x = -\infty\} = 0$ koşulu sağlanır. Ayırık veya sürekli değer alabilen rastlantı değişkenleri çeşitli dağılım ve yoğunluk (olasılık) fonksiyonları ile temsil edilirler.

2.5.1.3. Ortalama değer , varyans ve standart sapma

Yoğunluk fonksiyonu $f(x)$ olan sürekli tip bir rastlantı değişkeni veya olasılık fonksiyonu $P(x_i)$ olan ayırık tip rastlantı değişkeni için ortalama değer;

$$E(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) dx, \quad E(x) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P(x_i) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot f(x_i) \quad (2.35)$$

dir. Hem ayırık hem de sürekli tip rastlantı değişkenleri için k . mertebeden merkezi moment

$$M_k = E[x - E(x)]^k \quad (2.36)$$

olarak tanımlanır. Olasılıkta diğer momentlere göre daha çok kullanılan 2. derece merkezi momente varyans, varyansın karesine standart sapma denir.

$$M_2 = V(x) = E[x - E(x)]^2 = E(x^2) - E^2(x) \quad (2.37)$$

$$\sigma(x) = +\sqrt{V(x)} = \sqrt{E(x^2) - E^2(x)} \quad (2.38)$$

Burada $V(x)$ varyans , $\sigma(x)$ ise standart sapma olarak verilir.

2.5.1.4. Temel olasılık işlemleri

Klasik aritmetikte işlemler toplama ve çarpma işlemlerine , olasılık teorisinde ise işlemler birleşim ve kesişime dayanır.

- İmkansız olayın olasılığı sıfır olup , matematiksel gösterimi

$$P(\emptyset) = 0$$

- S olaylar uzayının (kesin olayın) olasılığı birdir.

$$P(S) = 1$$

- A olayının tümleyeni olan $\bar{A}$ 'nın olasılığı;

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A)$$

- İki ayrık olayın birleşiminin olasılığı, olayların olasılıklarının toplamına eşit olup, matematiksel gösterimi;

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

- Eğer olaylar ayrık değil ise yani her iki olayda bir diğerini içeriyorsa;

$$P(A+B) = P(A) + P(B) - P(AB)$$

- Eğer iki olay bağımsız ise , ikisinin birlikte oluşmasının olasılığı;

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

- Eğer iki olay bağımsız değil ise iki olayın kesişim olasılığı ;

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B|A) = P(B) \cdot P(A|B)$$

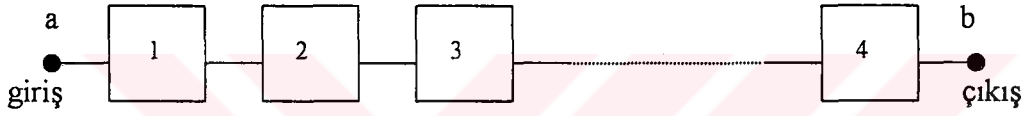
- A ve B bağımsız olaylar ise

$$P(A \setminus B) = P(A)$$

ile gösterilir

2.6. Seri Sistem Güvenilirliği

Seri sistemler (fazlalıksız sistemler , non-redundant systems) çalışması için tüm bileşenlerinin sağlam olması gereken veya başka bir ifade ile, arızalanması için bir bileşenin arızalanmasının yeterli olduğu sistemlerdir. Seri sisteme uygun güvenilirlik blok diyagramı şekil 2.9'da gösterilmiştir. Şekildeki birimlerin giriş ve çıkış arasında birbirleri ile seri bağlı olması ardışıl bağlı olduğu anlamına gelmez, bu sadece güvenilirlik açısından düşünülmüştür.



Şekil 2.9. Seri bir yapının güvenilirlik blok diyagramı

Şekil 2.9' daki seri bağlı bir birimin güvenilirlikleri sırasıyla $R_1, R_2, \dots, R_N$ ise, buna ait güvenilirlik fonksiyonu;

$$R_S = R_1 \cdot (R_2 \setminus R_1) \cdot (R_3 \setminus R_1, R_2) \dots (R_n \setminus R_1, R_2, \dots, R_{n-1})$$

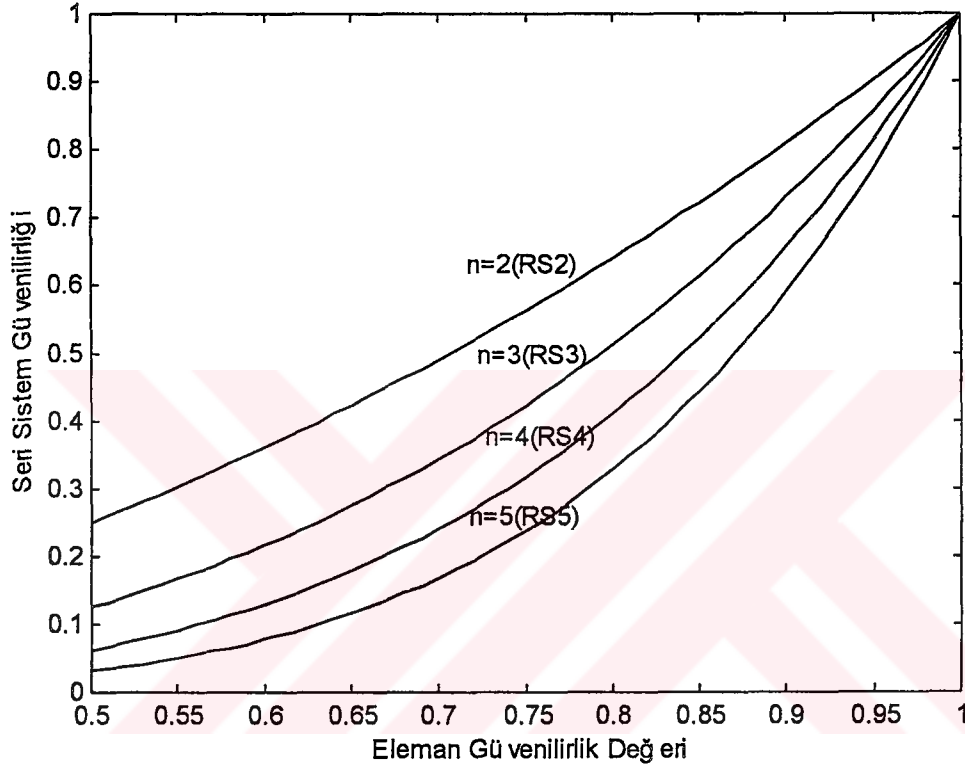
$$R_S = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \dots R_n = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2.39)$$

ile tanımlanır. Her bir eleman üstel arıza dağılımına sahip ise, güvenilirlik fonksiyonu;

$$R_S = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n) t}$$

$$R_s = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} \quad (2.40)$$

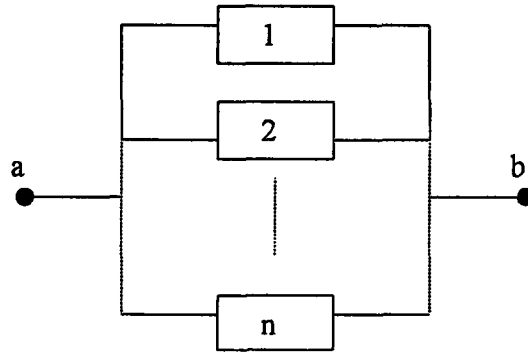
şeklinde olur. Seri bağlı sistemlerden oluşmuş bir sistemin güvenilirliği, her bir bileşenin güvenilirliğinden küçüktür ve seri bileşen sayısı arttıkça güvenilirlik azalır. Şekil 2.10'da seri sistem güvenilirliğini temsil eden eğriler görülmektedir.



Şekil 2.10. Seri bir sistem için güvenilirlik eğrisi

2.7. Paralel Sistem Güvenirliği

Paralel sistemler (Fazlalıklı Sistemler , Redundant Systems) çalışması için bir bileşenin sağlam olması yeterli olan veya başka bir ifade ile sistemin arızalanması için tüm bileşenlerin arızalanmasının gerekli olduğu sistemlerdir. Paralel sisteme uygun güvenilirlik blok diyagramı şekil 2.11'de verilmiştir. Buradaki paralel bağlantı deyimi güvenilirlik açısından geçerli olan kavramdır , elektrik devrelerindeki paralel bağlantı ile her zaman bire bir eşleştirilemez.



Şekil 2.11. Paralel yapının güvenilirlik blok diyagramı

Güvenilirlik sırasıyla R_1 , R_2 , , R_n olan n adet paralel bağlı birim için güvenilirlik ifadesini şu şekilde bulabiliriz. Sistem arızasına ait,

$$Q_p = Q_1 \cdot (Q_2 \setminus Q_1) \cdot (Q_3 \setminus Q_1 Q_2) \dots (Q_n \setminus Q_1 Q_2 \dots Q_{n-1})$$

$$Q_p = Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \dots Q_n = \prod_{i=1}^n Q_i$$

eşitliklerden yola çıkarak

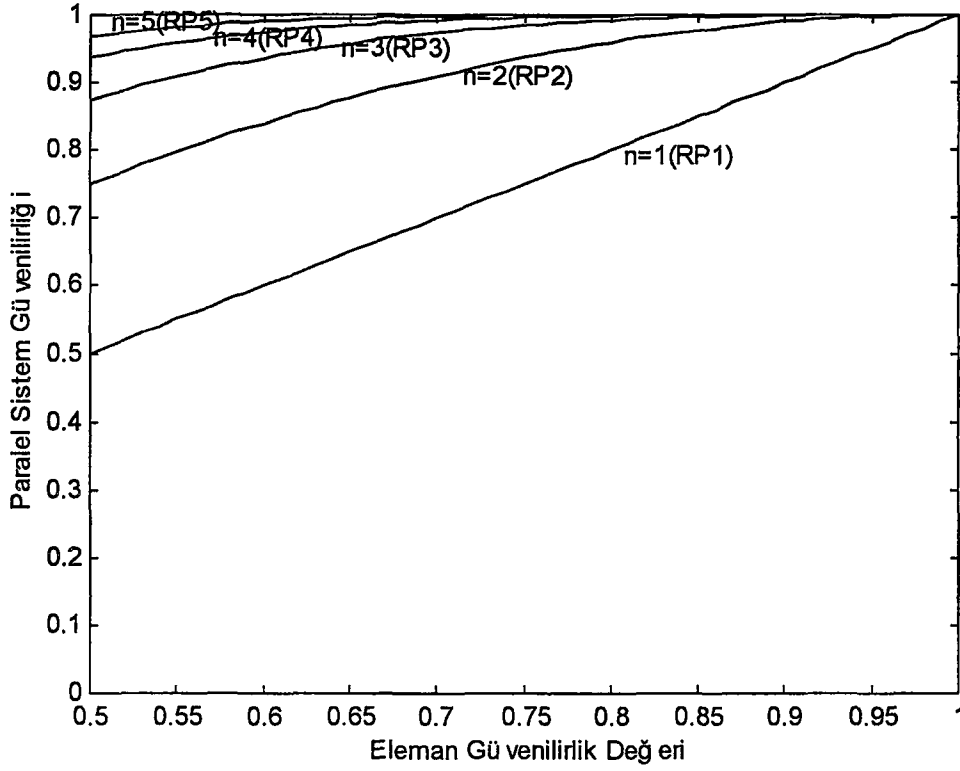
$Q_p = \bar{R}_p$ olduğunu kullanarak, güvenilirlik

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (2.41)$$

şeklinde elde edilir. Arıza oranı λ 'nın sabit olması durumunda ise,

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (2.42)$$

bulunur. Tam fazlalıklı sistemlerin güvenilirliği her bir bileşenin güvenilirliğinden yüksektir. Paralel bağlı bileşen sayısı arttıkça güvenilirlik artar. Şekil 2.12'de paralel bağlı sistem güvenilirliğini temsil eden eğriler görülmektedir.



Şekil 2.12. Paralel Sistem İçin Güvenilirlik Eğrisi

2.8. Yedek Fazlalıklı Sistem Güvenilirliği

Güvenilirliği R_B olan , eşdeğer n birimden , en az k tanesinin sağlam olması gereken bir kısmi fazlalıklı sistemin (n ' de k sisteminin) güvenilirliği ve arıza olasılığı Bernoulli denemeleri (Barlow and Proshan, 1965) sonucunda, sistemin k . mertebeden kombinezasyonu ,

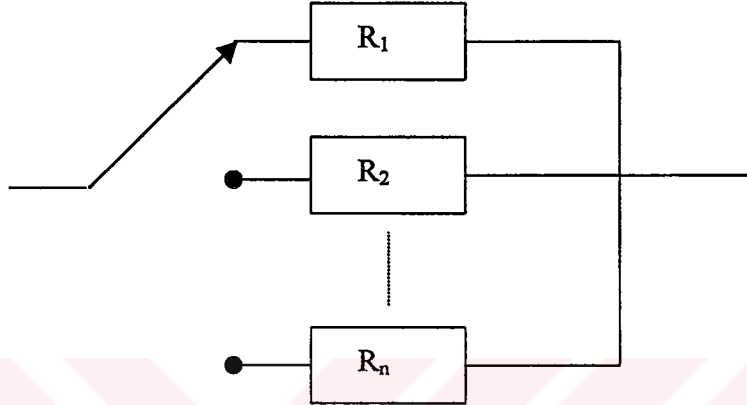
$$R_{k/n} = \sum_{i=k}^n C_n^i (R_B)^i (Q_B)^{n-i} = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} C_n^i (R_B)^i (Q_B)^{n-i} \quad (2.42)$$

$$Q_{k/n} = 1 - R_{k/n} = \sum_{i=k}^n C_n^i (R_B)^{n-i} (Q_B)^i = \sum_{i=0}^{k-1} C_n^i (R_B)^i (Q_B)^{n-i} \quad (2.43)$$

şeklinde hesaplanır.

2.9. Yedek Paralel Sistem Güvenilirliği

Yedek paralel sistem , bir paralel eleman çalışırken diğer n birim yedekte bekler . Böyle bir düzenleme şekil 2.13'te verilmektedir.



Şekil 2.13. Yedek paralel sistem

(n+1) birimli bir sistemin güvenilirliği , bir birim çalıştığı ve çalışan birimin arızalanmasına kadar yedek görevde olan n birimli sistemin güvenilirliği (gama dağılımından hareketle) ,

$$R_{yp}(t) = \sum_{i=0}^n \frac{(\lambda t)^i \cdot e^{-\lambda t}}{i!} \quad (2.44)$$

olur. Bu eşitlik hesaplanırken, anahtarlamaların mükemmel, elemanların benzer ve arıza oranları sabit, yedek elemanların yenisi kadar iyi ve son olarak eleman arızalarının istatistiksel olarak bağımsız olduğu varsayılmıştır.

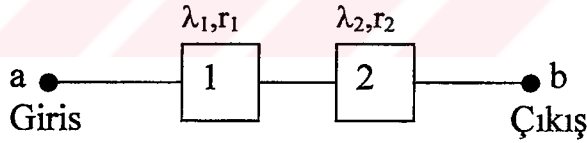
3. ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE GÜVENİLİRLİK ANALİZİ YÖNTEMLERİ

3.1. Giriş

Güvenirlilik, basit olasılık teknikleri uygulanarak ortalama yıllık tüketici kesilmeleri oranı şeklinde bulunabilir (Billinton, 1972). İlk yapılan güvenirlilik analizi çalışmalarında, en çok devre dışı kalmanın üzerinde durulmaktaydı (Gaver et al., 1964; Desireno, 1964). Diğer bir yöntem istatistiksel olarak bağımsız kabullere dayandığından farklı yük barolarındaki devre dışı kalma oranları uygun olmayan değerler verir. Bazı yayınlarda ağır hava koşullarını da içeren modeller ile analitik yaklaşımlar yapılmıştır (Gaver et al., 1964; Billinton and Bollinger, 1968; Staton, 1969). Zamanla hesaplama tekniklerinin ilerlemesi ve bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler ile güvenirlilik analizi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu bölümde bu teknikleri sıra ile özetleyelim.

3.2. Yaklaşıklık Tekniği

Bu teknik, uygulamalarında, sistemde elemanın arıza ve çalışma zamanları üstel olarak dağıldığı varsayılır. Bunun için arıza oranları sırasıyla λ_1, λ_2 ve oranların süreleri r_1, r_2 olan Şekil 3.1'teki seri bağlı sistemi göz önünde bulunduralım.



Şekil 3.1 İki elemanlı seri sistem

Seri sistemin devre dışı kalma oranı

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

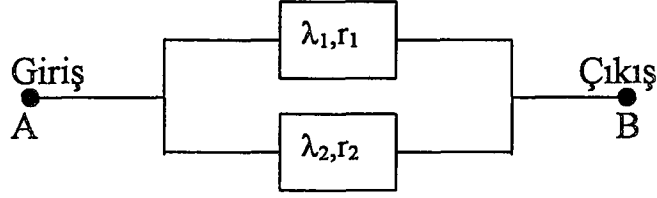
Sistemin ortalama onarım süresi

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

Sistemin ortalama devre dışı kalma zamanı,

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

formülü ile hesaplanır. Şimdide Şekil 3.2'deki paralel sistemi göz önünde bulunduralım.



Şekil 3.2. İki elemanlı paralel sistem

Paralel sistemin arıza oranı ve devre dışı kalma zamanı daha önce verilen formülasyondan,

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

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

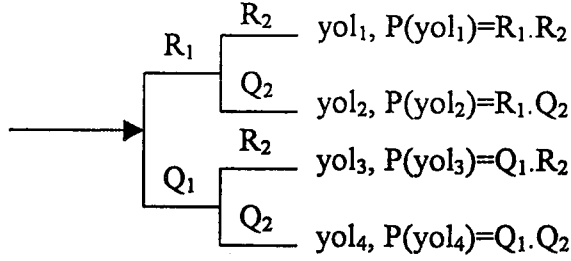
olarak bulunur.

3.3. Olay Ağaçları

Olay ağacı, sistemde tüm olası durumları gösteren grafik gösterimdir. Olay ağaçları hem sürekli çalışan birimlerden oluşmuş sistemlere hem de yedek fazlalıklı ve sıralı çalışan birimleri içeren sistemlere uygulanabilmesine rağmen daha çok olayların oluşum sırasının önemli olduğu ikinci grup sistemler (yedek fazlalıklı ve sıralı çalışan) için tercih edilir.

Diğer yandan sürekli çalışan birimlerden oluşan sistemlerde olay ağacının başlangıcı herhangi bir durum olarak alınabilirken, ikinci tip sistemlerde belli bir birimin davranışı başlangıç olayı olarak alınmalıdır.

Şekil 3.3'te sürekli çalışan birimlerden oluşmuş ve güvenilirlik/arıza olasılıkları sırasıyla; R_1/Q_1 ve R_2/Q_2 olan iki birimden oluşmuş bir sistemin olay ağacı görülmektedir.



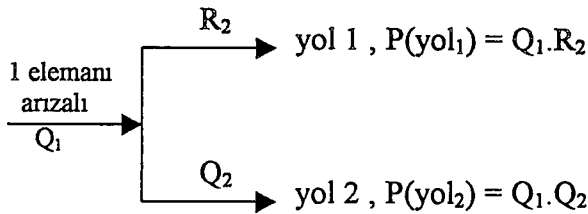
Şekil 3.3. Sürekli çalışan birimlerden oluşmuş iki durumlu iki birim için olay ağacı

Birimlerin bağlantıları da dikkate alınarak sistemin çalışması ve arızalanmasına karşı düşen durumlar belirlenerek sistem güvenilirliği hesaplanır. Sistemin çalışmasına karşı düşen durum olasılıkları toplamı sistem güvenilirliği, sistemin arızasına yol açan durum olasılıkları toplamı ise sistem arıza olasılığını verir. Şekil 3.3'teki durumu göz önünde bulunduralım. Şekil 3.3'te 1 ve 2 durumları sistemin çalışmasına karşı düşen durumlar, 3 ve 4 durumları ise sistem arızasına yol açan durumlar olsun. Bu durum,

$$\left. \begin{aligned} R_s &= P(yol1) + P(yol2) = R_1.(R_2 + Q_2) \\ Q_s &= P(yol3) + P(yol4) = Q_1.(R_2 + Q_2) \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

ile verilebilir. Olay ağacı dallanmaları k oluşumlu n adet bileşen için k^n kadar olacaktır. Bu ise kompleks sistemlerde çok fazla ihtimali göz önünde bulundurmayı gerektir. Bu nedenle amacınıza göre (örneğin sadece çalışmaya karşı düşen durumlar için) bazı sadeleştirmeler yapılarak indirgenmiş olay ağaçları ile gösterim yapılır.

Yedeklenmiş ve ardışıl lojik sistemlerde olay ağacı bir başlangıç olayı ile başlar. Şekil 3.3'teki olay ağacını, yedeklenmiş ve ardışıl lojik sistemlere uyarlayarak yeniden çizelim. Bunun için 1 elemanın arızalı olduğu durumdan başlayalım. (Şekil 3.4)



Şekil 3.4. Yedek faydalılık ve sıralı çalışan birimleri içeren iki elemanlı bir sistem için (1 elemanı arızalı) olay ağacı.

3.4. Hata Ağaçları

Hata ağaçları her biri kendisinden bir alt düzeydeki arızaların lojik bir fonksiyonu olarak tanımlanan, çeşitli düzeylerde arızalar zinciridir. Veya en üst düzey arızalardan (istenmeyen olay) en alt temel arızalara varana kadar, her bir arızanın kaynağını belirleme şeklinde de tanımlanabilir. Bu arızanın kaynakları, çevresel şartlar, insan hataları, normal olaylar ve belirli bileşen arızaları olabilir.

Çizelge 3.1 de en çok kullanılan hata ağacı sembolleri ve açıklamaları verilmiştir.

Hata ağaçlarındaki kapıların olasılıklarını ise şu şekilde ifade etmek mümkündür.

Eğer bileşen arızaları bağımsız ise

Ve Kapısı : $P_{VE} = P_1 \times P_2 \times \dots \times P_n$

Veya Kapısı : $P_{VEYA} = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot \dots \cdot (1 - P_n)$

Değil Kapısı : $P_{DEĞİL} = 1 - P$

3.5. Monte – Carlo Simülasyonu

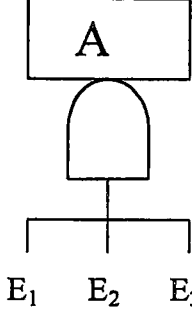
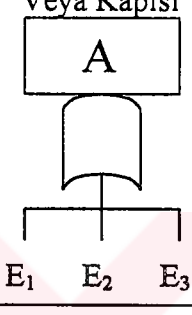
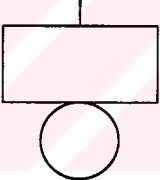
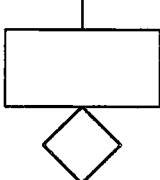
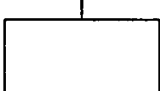
Monte Carlo simülasyonunda, rastgele oluşan dağılımlardan çıkarılan parametre değerlerini kullanan güvenilirlik modelleri tekrar tekrar değerlendirilir (Lewis and Orav, 1989). Monte Carlo simülasyonu özellikle nonlineer arıza ve onarım oranları gibi, Markov şartlarının geçerli olmadığı durumlarda kullanılabilir.

Monte Carlo simülasyon modeli, kompleks sistemler için MTBF parametresini hesaplamada sürekli kullanılmaktadır. Monte Carlo simülasyonunda aşağıdaki adımlar uygulanır:

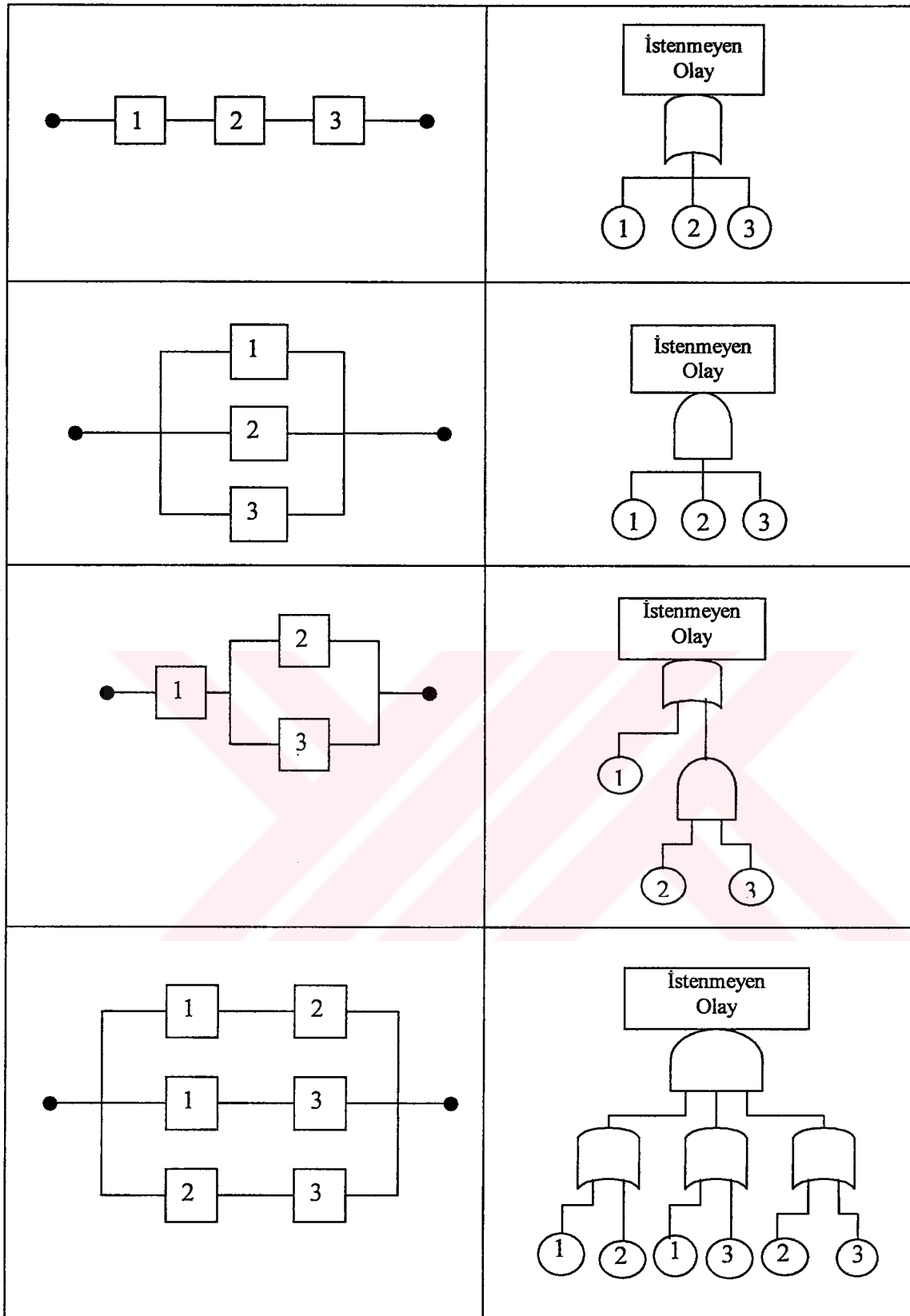
1. Simülasyon modeli için gerekli olan her bir rastlantı değişkeni için rastlantı sayıları çıkarılır.
2. Amaçlanan fonksiyon için MTBF, MTTF gibi parametreler değerlendirilir.
3. Amaçlanan fonksiyonun n adet örneğini bulabilmek için 1 ve 2 adımları toplam n kez tekrarlanır. Örneğin sistem arıza zamanı;

$T(1), T(2), T(3), \dots, T(n)$ olur.

Çizelge 3.1. Hata ağacı sembolleri

	Sembol	Tanımlama
Lojik Kapılar	Ve Kapısı 	Ve Kapısı çıkış olayı A' nın sadece E_i giriş olaylarının hepsinin aynı anda olması ile oluştuğunu gösterir
	Veya Kapısı 	Veya kapısı, çıkış olayı A' nın sadece ve sadece E_i olaylarından en az birinin olmasıyla oluştuğunu gösterir.
Giriş Olayları	Temel Olay 	Temel olay, hiçbir başk arızanın sebep olamayacağı temel ekipman arızasını temsil eder.
	Gelişmemiş Olay 	Gelişmemiş olay, neticesi itibariyle önemsiz olan veya bilgilerin uygun olmamasından dolayı daha fazla incelenmeyen olayı temsil eder.
Durumların Tanımlanması	Dikdörtgen Kavramı 	Dikdörtgen kavramı ilave bilgiler içindir.

Şekil 3.5' te bazı temel güvenilirlik blok diyagramları ve onlara ilişkin hata ağaçları verilmektedir. Burada istenmeyen olay sistemin arızalanması olarak alınmıştır.



Şekil 3.5. Bazı temel güvenilirlik blok diyagramları ile arıza ağacı arasındaki ilişki

4. İstenen parametre tahmin edilir ve sistem arıza zamanının beklenen değeri şu şekilde bulunabilir.

$$E(T) = \overline{MTBF} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n T(i) \right) \quad (3.7)$$

5. Tahminin doğruluk derecesi bulunur ve beklenen değer standard sapması

$$S_T = \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\sum_{i=1}^n \frac{[T(i) - \bar{T}]^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (3.8)$$

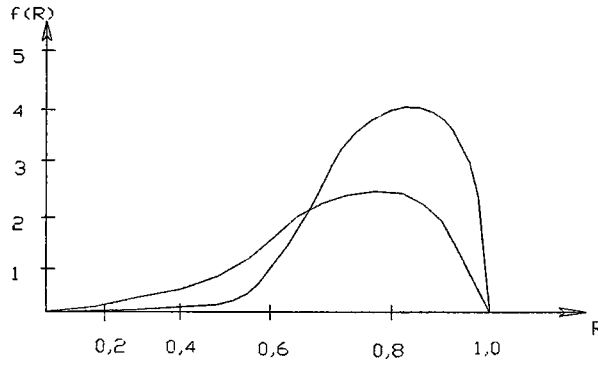
ile hesaplanabilir.

Örnek olarak iki paralel bileşenden oluşan fazlalıklı bir sistemin simülasyonunu göz önünde bulunduralım. Öncelikle her bir iterasyon için her bir elemanın verilen yaklaşık ortalama dağılımından veya üstel dağılımından elde edilen arıza zamanları çizilir. Bu arıza zamanlarından en büyük olanı sistem arıza zamanını temsil eder. Birçok sayıdaki sistem arıza zamanlarının toplanmasıyla, sistemin beklenen arızalar arasındaki ortalama zamanı (MTBF) bulunabilir. Yeteri kadar denemenin yapılmasıyla, amaçlanan değerle ilgili olarak uygun hükmü verebilmek için sınır değerlerini hesaplamak gerekir.

Monte Carlo simülasyonunun en büyük avantajı çok farklı sistem konfigürasyonları ve arıza oranı modellerini ele alabilmesidir. Bununla birlikte Monte Carlo modelinin kısıtlarını şu şekilde sıralayabiliriz. Genellikle Monte Carlo simülasyonu, fazlalıklı sistem konfigürasyonu standart bir modele ulaşmadıkça, geleneksel programı geliştirme ihtiyacı duymaz. Bununla birlikte doğru ve birbirine yakın hesaplar arzu ediliyorsa, hesaplama süresi oldukça artacaktır.

3.6. Bayesien Güvenilirlik Analizi

Bir belirli elemanın herhangi bir t anındaki güvenilirliği $[0,1]$ aralığında olan R ile gösterilsin. Bayesian çıkarım yönteminde güvenilirlik R , $f(R)$ yoğunluk fonksiyonu ile birlikte rastlantı değişkeni olarak modele dahil edilir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Muhtemel Güvenirlik Yoğunlukları

$B_1, B_2, \dots, B_u$ ayrık olaylar ve A olasılığı da sıfırdan büyük olan $[P(A)>0]$ bir olay olsun.

$$P\left(\bigcup_{i=1}^{\infty} B_i\right) = 1$$

$$B_i \cap B_j = \phi, \quad i \neq j \text{ için}$$

$$P(B_i) > 0 \quad \text{her bir } i \text{ için}$$

Böylece her bir k için ;

$$P(B_k / A) = \frac{P(A / B_k)P(B_k)}{\sum_{i=1}^{\infty} P(A / B_i)P(B_i)} \quad (3.9)$$

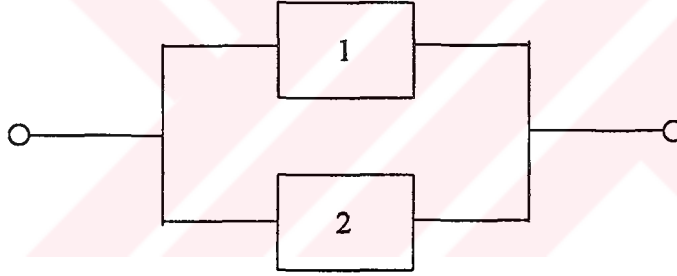
Bayesian Teoremi ismini Reverend Thomas Bayes'ten sonra almıştır. Reverend Thomas Bayes, konuyla ilgili temel makalesini 1763 yılında yayınlamıştır. Bayes teoreminin ispatı ise Dudewicz ve Mishra tarafından 1988 yılında yapılmıştır (Dudewicz and Mishra, 1988).

3.7. Markov Zincirleri

Bundan önceki bölümlerde, bileşenlerin sadece çalışma ve arıza durumları göz önünde bulundurulmuştur. Bu şekilde oluşturulan modeller onarılabilir sistemlerin analizi için uygun değildir.

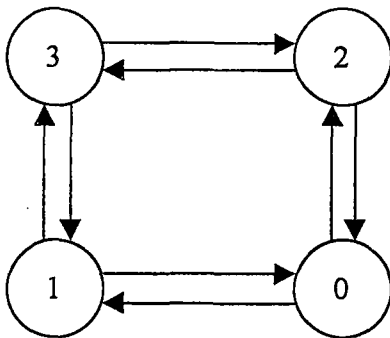
Markov modellerinde, sistem güvenilirlik değerlendirmelerinde durum uzayı metodundan yararlanılmaktadır. Böyle bir sistem çeşitli durumlar ve bu durumlar arası muhtemel geçiş olasılıkları ile tanımlanır. Sistem durumları ve durumlar arası geçişler, durum uzay diyagramları ile temsil edilirler. Bu diyagram aynı zamanda Markov diyagramı olarak bilinir. Durum uzayı yönteminde bileşenler sadece iki muhtemel durum ile sınırlandırılmazlar. Bileşenler çalışma, kapasite düşümü (derated), yedek, tamamen arızalı veya bakımda olma gibi farklı durumları içerebilir.

Şekil 3.7'deki iki elemanlı paralel yapıyı göz önünde bulunduralım. Bu paralel yapının dört muhtemel durumu vardır (Çizelge 3.2).



Şekil 3.7. İki bileşenli paralel yapı

Şekil 3.7'deki paralel yapıya ait durum uzay diyagramı Şekil 3.8'de verilmiştir.



- Durum 3 : İki bileşen de çalışıyor
- Durum 2 : Bileşen 2 çalışıyor
1 Arızalı
- Durum 1 : Bileşen 1 çalışıyor
2 Arızalı
- Durum 0 : İki bileşende arızalı

Şekil 3.8. İki elemanlı paralel yapıya ait durum uzay diyagramı

3.7.1. Durum Denklemleri

Geçiş yoğunlukları $f_n(t) = \lambda_n e^{-\lambda_n t}$ olan $S_1, S_2, \dots, S_n$ durumlu durum uzay diyagramına ait durum denklemlerini çıkaralım. Sonsuz küçük dt aralığında en çok bir geçiş yapılabileceğini kabul edelim. Bu dt süresinde;

λ_{ij} : S_i durumundan S_j durumuna geçiş hızı

$\lambda_{ij} dt$: dt süresinde S_i durumundan S_j durumuna geçiş olasılığı

$f_{ij}(t) : \lambda_{ij} e^{-\lambda_{ij} t}$: S_i durumundan S_j durumuna geçişe ilişkin yoğunluk fonksiyonu

olmak üzere $t + dt$ anındaki durum olasılıkları (koşullu olasılıktan yararlanılarak);

$$P_1(t+dt) = [P_1(t+dt) P_1(t)] \cdot P_1(t) + [P_2(t+dt) P_2(t)] P_2(t) + \dots + [P_n(t+dt) P_n(t)] P_n(t)$$

$$P_1(t+dt) = [1 - \sum_{i=2}^n \lambda_{1i} dt] \cdot P_1(t) + [\lambda_{21} dt] P_2(t) + \dots + [\lambda_{n1} dt] P_n(t)$$

$$P_1(t+dt) = [1 - \sum_{i=2}^n \lambda_{1i} dt] \cdot P_1(t) + \sum_{i=2}^n \lambda_{i1} \cdot P_i(t) dt$$

$$\frac{P_1(t+dt) - P_1(t)}{dt} = \frac{dP_1(t)}{dt} = -P_1(t) \sum_{i=2}^n \lambda_{1i} + \sum_{i=2}^n P_i(t) \lambda_{i1}$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = -P_2(t) \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 2}}^n \lambda_{2i} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 2}}^n P_i(t) \lambda_{i2}$$

.....

$$\frac{dP_n(t)}{dt} = -P_n(t) \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_{ni} + \sum_{i=1}^{n-1} P_i(t) \lambda_{in}$$

Matris formunda;

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ \dots \\ P_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sum_{i=2}^n \lambda_{1i} & \lambda_{21} & \dots & \lambda_{n1} \\ \lambda_{12} & -\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 2}}^n \lambda_{2i} & \dots & \lambda_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{1n} & \lambda_{2n} & \dots & -\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_{ni} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ \dots \\ P_n(t) \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

kısa gösterim ile

$$\frac{dP(t)}{dt} = AP(t) \quad (3.11)$$

elde edilir. Burada A katsayılar matrisinin, sütun elemanları toplamı sıfıra eşittir.

Markov modellerinde kullanılan durum denklemlerini detaylı bir şekilde inceleyelim. Karşıımıza iki tip durum denklem tipi çıkmaktadır.

1. İndirgenmemiş Sistem : Durum denklemleri birinci dereceden diferansiyel denklem takımlarından oluşan lineer denklemler kümesidir. Bu çeşit durum denkleminde katsayılar matrisi sabit olup (3.11) eşitliği ile verilebilir. Bu eşitliğe ilave sabit değerler de eklemek mümkündür.
2. İndirgenmiş Sistem : İndirgenmiş sistemlerde durum denklemleri, standart durum denklemleri ile temsil edilir.

$$x' = Ax + Bu$$

$$v = Cx + Du$$

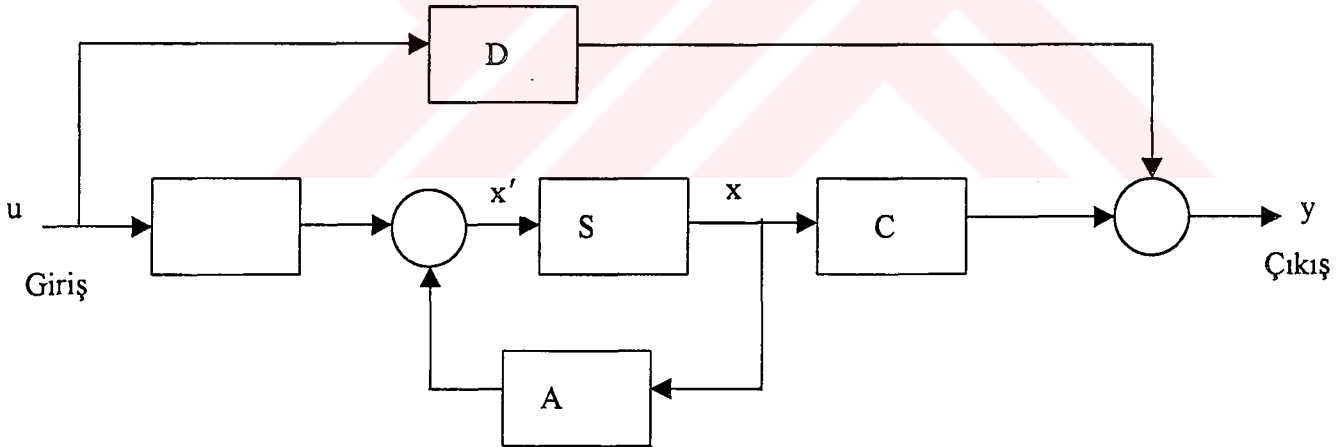
Burada;

Matris	Tanımlama
A	Geçiş matrisi
B	Giriş matrisi
C	Çıkış matrisi
D	İletim matrisi

ve

Vektör	Tanımlama
X	Durum vektörü
U	Giriş vektörü
V	Çıkış vektörü

Şekil 3.9'da indirgenmiş sisteme ait durum denkleminin kontrol blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.9. Durum denkleminin blok diyagram temsili

3.7.1.1. Zamana bağlı çözüm

(3.11) durum denkleminin çözümünde kullanılan en genel yöntem Laplace transformlarını kullanmaktır.

$P_j(t)$ durum olasılığının Laplace transformu $P_j^*(s)$ ile gösterilsin. $P_j(t)$ 'nin zamana bağlı türevinin Laplace transformu;

$$\mathcal{L}(P_j(t)) = s P_j^*(s) - P_j(0), j = 0, 1, 2, \dots, n$$

(3.11) durum denkleminin Laplace transformu;

$$\begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \dots & \lambda_{1n} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \dots & \lambda_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_{n1} & \lambda_{n2} & \dots & \lambda_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1^*(s) \\ P_2^*(s) \\ \vdots \\ P_n^*(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} sP_1^*(s) \\ sP_2^*(s) \\ \vdots \\ sP_n^*(s) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} P_1(0) \\ P_2(0) \\ \vdots \\ P_n(0) \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Sistemin başlangıç durum şartları $i \neq j$ iken $P_i(0) = 1, P_j(0) = 0$ olsun. (3.12)' deki tüm denklemlerin toplamı,

$$s \sum_{i=1}^n P_i^*(s) = 1$$

$$\sum_{i=1}^n P_i^*(s) = \frac{1}{s} \quad (3.13)$$

dir. Burada $t > 0$ için "1" in Laplace transformu $\frac{1}{s}$ olup, (3.13) eşitliği aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\sum_{i=1}^n P_i(t) = 1$$

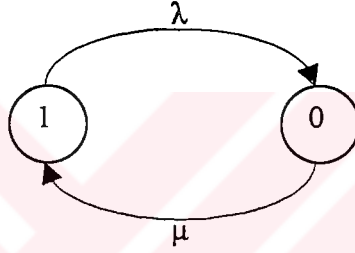
(3.12) denkleminden $P_j^*(s)$ Laplace transformu bulunduktan sonra durum olasılıkları $P_j(t)$ ters Laplace transformu ile belirlenir. (3.11) diferansiyel matris denkleminin çözümünü farklı bir yol ile de hesaplamak mümkündür. Eğer $P(t)$, t ' ye göre tek boyutlu bir fonksiyon ve A matrisi sabit ise (3.11)' in çözümü;

$$P(t) = e^{At} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(At)^k}{k!} \quad (3.14)$$

şekilde olur. Sonuç olarak yukarıdaki eşitlik,

$$P(t) = \sum_{k=0}^{\infty} A^k \cdot \frac{t^k}{k!} \quad (3.15)$$

olarak düzenlenebilir. Örnek olarak iki durumlu (durum 1 : bileşen çalışıyor, durum 2: bileşen arızalı) onarılabılır bir birime ilişkin Markov modeli modelini gözönünde bulunduralım. Sırasıyla söz konusu birimin arıza ve onarım hızlarını λ ile üstel arıza ve onarım yoğunluk fonksiyonları ise $f_1(t)$ ve $f_0(t)$ ile gösterilsin (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Tek bir bileşen için durum uzay diyagramı

Şekil 3.10' daki Markov modelinin durum denklemi

$$\begin{bmatrix} -\mu & \lambda \\ \mu & -\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0(t) \\ P_1(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_0(t) \\ P_1(t) \end{bmatrix}$$

Bileşenin $t = 0$ anında çalıştığının kabulü ile başlangıç koşulları

$$P_1(0) = 1, P_0(0) = 0$$

alınır. (3.12) denkleminde göre durum denkleminin Laplace transformu

$$\begin{bmatrix} -\mu & \lambda \\ \mu & -\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0^*(s) \\ P_1^*(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} sP_0^*(s) \\ sP_1^*(s) - 1 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

(3.16) denklem takımının çözümüyle

$$P_1^*(s) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot \frac{1}{\lambda + \mu + s} + \frac{\mu}{\lambda + \mu} \cdot \frac{1}{s}$$

$$P_0^*(s) = \frac{1}{s} - P_1^*(s)$$

olarak bulunur. Ters Laplace transformundan

$$P_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu)t} + \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (3.17)$$

$$P_0(t) = -\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu)t} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (3.18)$$

elde edilir. Burada $P_1(t)$ bileşenin t anında çalışma olasılığını yani bileşenin kullanılabilirliğini $(A(t))$ verir. $\lim_{t \rightarrow \infty}$ için sınır uç değeri

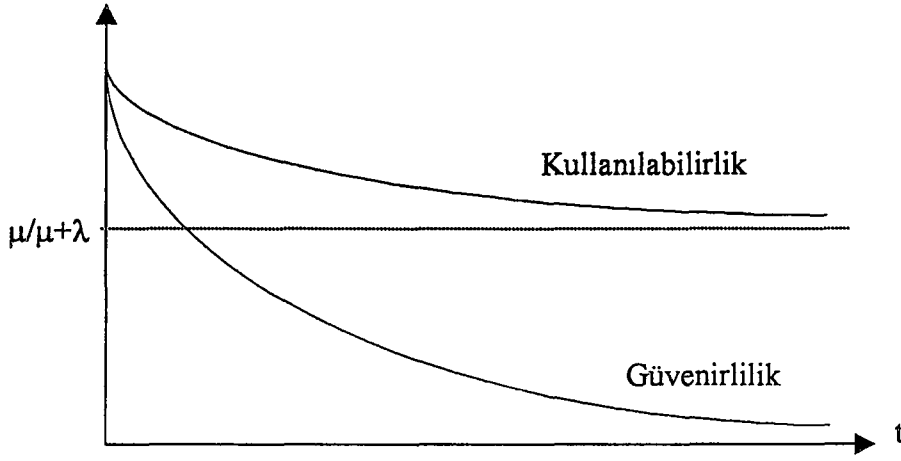
$$A = P_1 = \lim_{t \rightarrow \infty} P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (3.19)$$

Arızaya kadar geçen ortalama süre (MTTF) = $\frac{1}{\lambda}$ ve onarıma kadar geçen ortalama süre

(MTTR) = $\frac{1}{\mu}$ dür. Böylece kullanılabilirliğin, MTTF ve MTTR cinsinden eşitliği şöyle olur;

$$A = P_1 = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (3.20)$$

Burada onarım yok iken ($\mu = 0$) kullanılabilirlik $P_1(t) = e^{-\lambda t}$ halini alır ki bu aynı zamanda güvenilirliktir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Bir tek bileşenin kullanılabilirlik ve güvenliği

3.7.2. Markov modeli

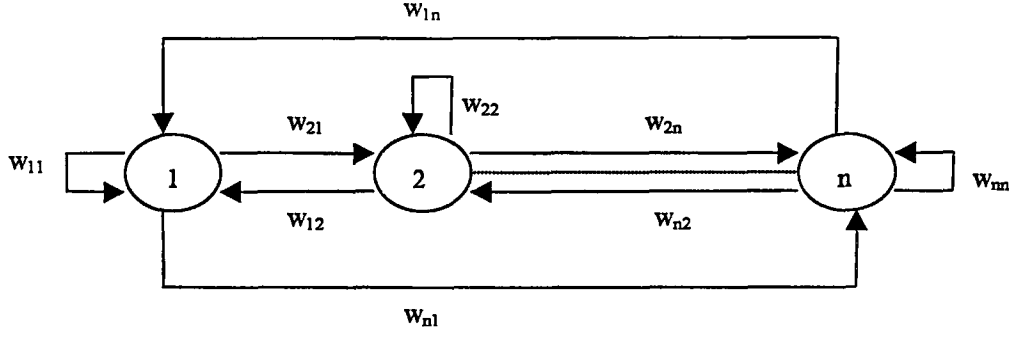
Durum uzay ve zaman karakteristiklerine göre dört farklı Markov yöntemi vardır (Çizelge 3.2). Çizelge 3.2' de belirtilen Markov modellerini tek tek ele alalım.

Çizelge 3.2. Markov yöntemi çeşitleri

Markov Çeşitleri	Durum Uzayı	Zaman Uzayı
1	Ayrık	Ayrık
2	Ayrık	Sürekli
3	Sürekli	Ayrık
4	Sürekli	Sürekli

3.7.2.1. Ayrık markov süreçleri

Ayrık zamanlı, n durumlu markov modeli Şekil 3.12' de görülmektedir (Manzoul and Suliman, 1991). Durum 1, tüm bileşenlerin tamamen çalıştığı durum olan başlangıç durumunu (arıza olasılığı=0) temsil ederken, durum n arıza konumunu temsil eden (arıza olasılığı=0) en son durumu göstermektedir. Her iki durum birbirleriyle, donanımın çalışmasını (onarım veya kapasite düşümünün sona ermesi v.b.) veya arızasını (kısmi veya tamamen arızalı) ifade eden uygun ağırlıklar ile bağlıdır (Kolov and Ushakov, 1970).



Şekil 3.12. Ayırık zamanlı, n durumlu markov modeli

Uygulamada gerçek markov modelinde herhangi bir şekilde durumlar arasında, tek yönlü veya çift yönlü şekilde bağlantı söz konusu değilse, burada durumlar arası geliş hızları (veya ağırlıklar) sıfır olarak alınır.

Şekil 3.12' de verilen n durumlu genel ayırık markov modelinin geçiş matris denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$P_1(t + \Delta t) = W_{11} * P_1(t) + W_{12} * P_2(t) + W_{13} * P_3(t) + \dots + W_{1n} * P_n(t)$$

$$P_2(t + \Delta t) = W_{21} * P_1(t) + W_{22} * P_2(t) + W_{23} * P_3(t) + \dots + W_{2n} * P_n(t)$$

.....

.....

$$P_n(t + \Delta t) = W_{n1} * P_1(t) + W_{n2} * P_2(t) + W_{n3} * P_3(t) + \dots + W_{nn} * P_n(t)$$

Matrisyel formda;

$$\begin{bmatrix} P_1(t + \Delta t) \\ P_2(t + \Delta t) \\ \vdots \\ P_n(t + \Delta t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & w_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ \vdots \\ P_n(t) \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Burada $P_i(t + \Delta t)$, $1 \leq i \leq n$, sistemin $(t + \Delta t)$ süre sonra i konumunda olma olasılığı olup, $P(t)$ ise sistemin t zamanında i konumunda olma olasılığını verir. Başlangıç olasılıkları $\{P_1(0)=1$ haricinde} sıfır olarak alınır. W_{ji} , i durumunun kendi ağırlığını temsil etmekte olup, W_{ji} i ' den j konumuna ($1 \leq i \leq n$ ve $1 \leq j \leq n$) giden yolun ağırlığını (geçiş hızını) verir.

3.7.2.2. Sürekli markov süreçleri

Ayrık durumlu sürekli zaman markov modelleri, markov modelleri arasında güvenilirlik analizinde en çok kullanılan olanıdır. Sürekli markov süreçlerini anlayabilmek için basit bir modeli göz önünde bulunduralım. Sürekli markov süreçlerinde ayrık olayların zaman içerisinde tek başlarına ve rastlantısal olarak oluştuğu düşünülür.

Burada durumlar arası geçişi temsil eden, zamanın tersi bir boyuta sahip olan (zaman⁻¹) ve pozitif değer alan bir sabit vardır. Bu sabit geçiş oranı veya oluşum oranı olarak adlandırılır. Güvenilirlik modellemesinde, bu oranlar bileşenin arıza ve onarım oranlarına karşılık gelir.

$K_{t, t+h}$, $(t, t+h)$ zaman aralığında meydana gelen olayların sayısını gösterir. Burada h çok küçük bir zaman aralığını temsil etmekte olup aşağıdaki eşitliği yazabiliriz.

$$\left. \begin{aligned} P(K_{t, t+h} = 0) &= 1 - \lambda h + o(h) \\ P(K_{t, t+h} = 1) &= \lambda h + o(h) \\ P(K_{t, t+h} > 1) &= o(h) \end{aligned} \right\} \quad (3.22)$$

Burada $o(h)$, h zamanının birinci dereceden büyük kuvvetlerini içeren bir fonksiyonu göstermektedir. Bu şartlar altında $h \rightarrow 0$ için $o(h)$ da sıfıra yaklaşacaktır. λ oranıyla birlikte bu şartları sağlayan bir sürece “poisson süreci” denir. Burada λ oranı bir sabit olduğundan, oluşum oranı ile ilgili herhangi bir şekilde sistematik veya zamana bağlı bir değişimi göz önünde bulunduramayız.

Poisson süreci kabulüyle, sürekli zaman markov sürecinin matematiksel modeli, sabit oranlı bir grup diferansiyel denklem kümesiyle verilebilir. Markov modelinde sistem N durum $(1, 2, 3, \dots, N)$ içerisinde herhangi bir konumda bulunabilir. Bundan dolayı sistemin t zamanında j konumunda bulunma olasılığı $P_j(t)$ ile verilir. Sistemin durum olasılıkları, $P(t)$ durum olasılıkları sütun vektörüyle verilebilir.

$$P(t) = \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ \dots \\ P_N(t) \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Sistem davranışını tanımlayan durum denklemi aşağıda olduğu gibi verilir.

$$\frac{d}{dt} P(t) = A_x P(t)$$

Burada A_x verilen sistem için $N \times N$ boyutunda geçiş oranları (arıza ve onarım oranı) matrisidir. A matrisi elemanlarının özellikleri;

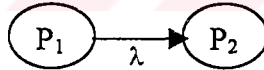
- Diagonal dışındaki elemanlar için ($i \neq j$)

$$a_{ij} = \lim_{dt \rightarrow 0} \left\{ \frac{(t, t + dt) \text{ zaman diliminde } i \text{ konumundan } j \text{ konumuna gecme olasılığı}}{dt} \right\}$$

- Diagonal elemanlar için

$$a_{ii} = - \sum_{j \neq i} a_{ij}$$

Sürekli zamanlı, ayrık durumlu markov modeli için Şekil 2.13 teki onarımsız tek bileşenli bir sistemi gözönünde bulunduralım. Bu bileşen, konumları çalışma (olasılığı P_1) ve arıza (olasılığı P_2) olan iki durumdan oluşsun.



Şekil 3.13. Onarımsız bir bileşeni temsil eden Markov durum diyagramı

$P(t + h)$, bileşenin $(t + h)$ zamanında 1 konumundaki olasılığı olup, burada h , durum 1’de herhangi bir değişikliğe sebebiyet vermeyecek derecede küçük bir zamanı temsil etmektedir.

$$P_1(t + h) = P_1(t)[1 - \lambda h + o(h)] \quad (3.24)$$

(3.24) denklemin düzenlenmesiyle

$$\frac{P_1(t + h) - P_1(t)}{h} = - \frac{\lambda h P_1(t)}{h} + \frac{o(h)}{h} \quad (3.25)$$

$h \rightarrow 0$ için limit alınırsa

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{P_1(t+h) - P_1(t)}{h} = \frac{d}{dt} P_1(t) = P_1'(t)$$

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{o(h)}{h} = 0$$

Böylece;

$$P_1'(t) = -\lambda P_1(t) \quad (3.26)$$

olarak bulunur. Benzer şekilde bileşenin $(t + h)$ zamanında durum 2 için olasılığı, aşağıdaki olasılıkların toplamıdır.

- Bileşenin t zamanında 2 konumunda olma olasılığı
- t zamanında bileşenin 1 konumunda olma olasılığı ve bu olasılığın $(t, t+h)$ zaman aralığındaki olasılığı

Böylece

$$P_2(t+h) = P_2(t) + P_1(t)[\lambda h + o(h)] \quad (3.27)$$

(3.26) denkleminin yeniden düzenlenmesi ve $h \rightarrow 0$ için limitin alınmasıyla

$$P_2'(t) = \lambda P_1(t) \quad (3.28)$$

bulunur. (3.25) ve (3.27) nolu durum eşitlikleri başlangıç şartlarıyla ikisi bir arada sistemin durum denklemini içerir.

$$\begin{aligned} P_1'(t) &= -\lambda P_1(t) & P_1(0) &= 1 \\ P_2'(t) &= \lambda P_1(t) & P_2(0) &= 0 \end{aligned}$$

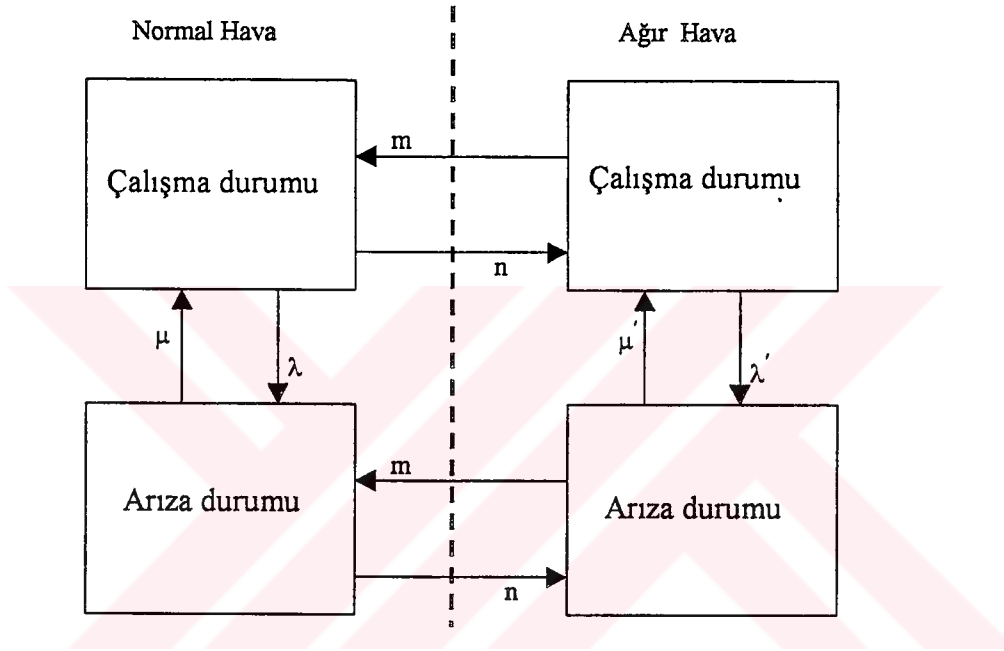
Bu denklemlerin çözümünden;

$$P_1(t) = e^{-\lambda t}$$

$$P_2(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3.29)$$

elde edilir.

Değişik arıza durumları veya arıza durumlarına etki eden dış faktörlerin de dahil edildiği markov modelleri mümkündür. Örneğin Şekil 3.14' te bir eleman için, Şekil 3.15' te ise iki elemanlı bir sistem için ağır hava şartlarında göz önünde bulundurulduğu markov modelleri verilmiştir.



Şekil 3.14. Ağır hava şartlarının göz önünde bulundurulmasıyla bir eleman için elde edilen markov modeli

Burada;

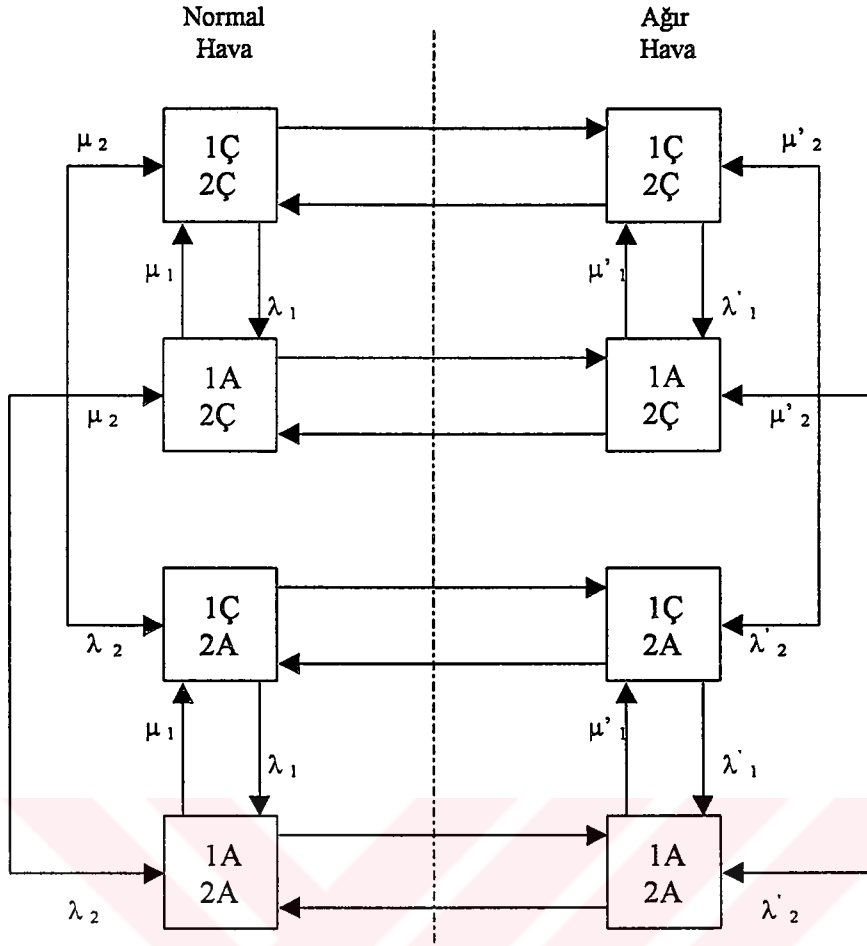
λ, μ : Normal hava koşullarında arıza ve onarım oranı

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

n : N, normal hava koşullarının ortalama süresinin tersi ($1/N$)

s : S, ağır hava koşullarının ortalama yüzdesi ($1/S$)

Markov modelinde eleman sayısının artmasıyla durum sayısı çok fazla artmaktadır. Onun için Markov tekniğinin kullanılacağı kompleks sistemlerde, yapılabildiği oranda indirgeme yapılması işlem kolaylığı açısından gereklidir.



Şekil 3.15. İki elemanlı sistemin “değişken hava koşulunda” durum uzay diyagramı
(A: Arızalı, Ç: Çalışır)

Bir eleman bakım için servis dışına alındığında diğer eleman veya elemanlar, yük barasının enerjisinin kesilmesine neden olacak zorlanmış devre dışı kalamaya maruz kalabilirler. Bu arıza birim Markov modeline eklenecek sistemin bakım dolayısıyla devre dışı kalma koşulunda analizini yapmak mümkündür. Şekil 3.16’da bakım koşulları altında iki paralel hat için bir Markov modeli verilmiştir (Christiaanse, 1971).

Bir sistemin başarı kriterinden, yalnızca sistemin sürekliliği anlaşılmaz. Bir sistem için gerekli olan teknik şartların (müsade edilen max. gerilim düşümü, termik sınır vb.) yerine getirilmesi aşırı yüklenmeye maruz kalması veya yükün sabit kalarak sistemin besleme kapasitesinin düşmesi sistem elemanlarının ömrünün kısılması gibi olumsuz etkiler, sistemin Markov modeli üzerinde gösterilerek, yapılan analiz ile bu faktörlerin etkilerini görmek mümkündür.

4. ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMİ GÜVENİLİRLİĞİ İÇİN GEREKLİ VERİLER

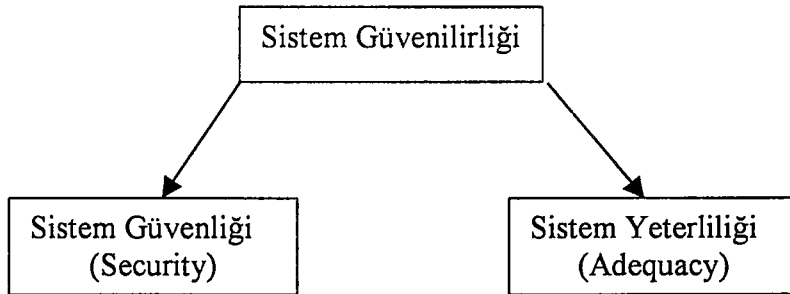
4.1. Giriş

Bir güç sisteminin temel fonksiyonu, kaliteli bir elektrik enerjisini olabildiğince ekonomik bir şekilde ve kabul edilebilir güvenilirlik derecesi ile birlikte müşteriye ulaştırmaktır. Güç sisteminin bu fonksiyonu sağlanırken (kaliteli elektrik enerjisi, kabul edilebilir güvenilirlik derecesi ve elektrik enerjisinin ekonomikliğı), işletme kısıtlarının da (constraint) sağlanması gerekmektedir. Bu kısıtların bazıları doğrudan doğruya, bara geriliminin bozulması ve bara frekansının değişimi gibi kaynağın kalitesiyle ilgilidir. Diğer kısıtlar müşteri tarafından direkt olarak görülmez fakat işletim açısından ve ekipmanların etiket değerleri açısından eşdeğer derecede önemlidir. Bu kısıtlar içerisinde, sistem stabilite limitleri ve arıza seviyelerini de (ayrı olarak) almak mümkündür (Billinton and Allan, 1988).

Güvenilirlik değerlendirmeleri için istatistiksel (probabilistic) yük akış tekniği ve istatistiksel geçici kararlılık analizi gibi bir çok olasılık hesapları geliştirilmiştir (Billinton, 1972; Allan et al., 1994, 1981; Billinton and Kuruganty, 1980).

Bu geliştirilen yöntemlerin arkasında yatan temel ve genel düşünce, güç sistem davranışının tahmini istatistiksel bilgilere dayanması olup, bütün giriş ve çıkış durumları ve olay parametreleri istatistiksel değişkenlerden gelir.

Güç sisteminin gerek deterministik ve gerekse probabilistik yaklaşımlarla birlikte güvenilirlik değerlendirmesini, iki temel alt konuya ayırabiliriz (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Sistem güvenilirliğinin alt bölümleri

Sistem güvenliği ise sistem üzerinde oluşan bozucu etkiler karşısında sistemin davranışı ile ilgilenir (Billinton and Allan). Bundan dolayı güvenlik, hangi çeşit bozucu etki söz konusu olursa olsun, sistemin bu bozucu etkilere olan cevabıyla ilgilidir.

Sistemin yeterlilik değerlendirmesi yapılırken, toplam sistem üretiminin, toplam sistem yüklerini karşılayıp karşılamadığına bakılır. Bu genellikle “ üretim kapasitesi güvenilirlik değerlendirmesi ” başlığı altında incelenir. Bu seviyedeki bir sistem modeli Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



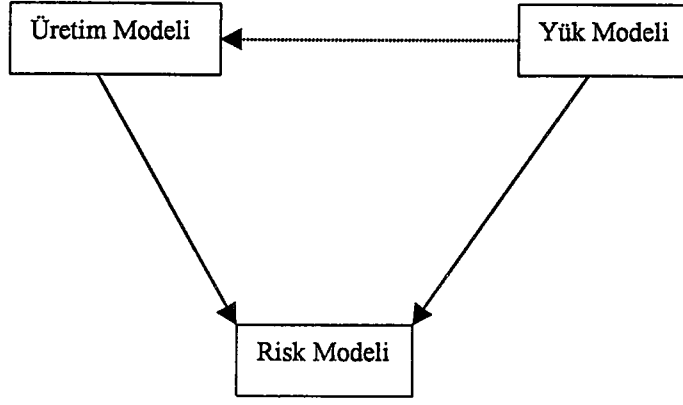
Şekil 4.2. Üretim kapasitesi, güvenilirlik değerlendirmesi için eşdeğer sistem modeli

Sistemin yeterlik durumunu temsil etmek için bazı kriterler geliştirilmiştir. Bunlar; beklenen yük miktarındaki kayıp (LOLE= Loss of Load Expectation), beklenen enerji miktarındaki kayıp (LOEE = Loss of Energy Expectation), frekans ve süreklilik zamanı (F&D = Frequency and duration) kriterleridir.

LOLE, günlük tahmin edilen tepe yük değerlerinin mevcut üretim kapasitesini geçen günlerin sayısının ortalama değeridir. Dolayısıyla LOLE, yük kaybının oluşacağı tahmin edilen gün sayısını gösterir. Bu parametre gün olarak hesaplanabildiği gibi yetersizliğin olduğu saat sayısı olarak da hesaplanabilir. Aynı şekilde LOEE, yük talebinin mevcut üretim kapasitesini aşması durumundan dolayı, üretim sistemi tarafından beslenemeyen enerji olarak açıklanır.

F ve D kriteri bir yetersizlik ile karşılaşıldığı zaman, (yetersiz durumun) beklenen frekansını ve yetersizliğin oluşacağı tahmini süreyi tanımlar. Bu kriterler üretim sistemi güvenliğinde çok geniş bir şekilde kullanılmamıştır.

Bir üretim sistemi için temel model yaklaşımı şekil 4.3’ te verilmiştir. Kapasite modeli bir çok şekilde oluşturulabilir. Bunlardan bir tanesi kapasite kesinti olasılığı tablosunu oluşturarak doğrudan analitik metodu kullanmaktır. Bu tablo her bir durum olasılığı ile birlikte üretim sisteminin kapasite kesinti durumlarını da temsil eder.



Şekil 4.3. Bir üretim sistemi değerlendirmesi için genel görevler

Buradaki yük modeli ya günlük tepe yük değişimleri eğrisi yada yükün saatlik değişimini gösteren yük sürekliliği eğrisi (Load duration curve = LDC) olabilir. Risk modeli ise kapasite ve yük modellerinin bir araya (convolution) gelmesiyle oluşur. Genellikle , günlük tepe yük değişimleri eğrisi çalışma periyodunda yükün mevcut kapasiteyi geçtiği gün sayısındaki riski açıklayabilen LOLE indisini değerlendirmek için kullanılır. Eğer LDC indisi kullanılıyorsa birimler saat sayısı olacaktır. Eğer LOLE indisi gerekliyse, LDC eğrisi muhakkak kullanılmalıdır.

4.2. Bir Elemanın Arıza Biçimleri

Bir elemanın muhtemel değişik arıza biçimleri ile ilgili bazı tanımları aşağıda olduğu gibi verebiliriz (IEEE Committee Reports, 1968; Endrenyi, 1978).

Devre Dışı Kalma : Bileşenin kendisiyle doğrudan ilgili bazı olaylar nedeniyle kendisinden istenen fonksiyonunu yerine getirememesi durumunu tanımlar. Bir elemanın devre dışı kalması, sistemin konfigürasyonuna bağlı olarak tüketici servisinin kesilmesine sebep olabilir veya olmayabilir.

Zorunlu Devre Dışı Kalma : Bir bileşen ile doğrudan ilgili, acil durumlardan dolayı (bileşenin anahtarlama işlemiyle, veya otomatik olarak birdenbire servis dışına alınması gerekliliği) veya techizatın insan hatasından ya da yanlış bir işlem yürütmesinden dolayı devre dışına alınmalıdır.

Planlanmış Devre Dışı Kalma : Bir bileşenin yapım, koruyucu bakım veya onarım sebebiyle planlanan bir zamanda bilerek servis dışına alınması olayıdır. Devre dışı kalma olayının ertelenip ertelenmeyeceğine bakılarak, devre dışı kalmanın planlı veya zorunlu olup olmadığına karar verilir. Bazen bir bileşeni devre dışı bırakma olayı aşırı yüklenmeleri veya tüketici servis kesintilerini önlemek için arzu edilebilir.

Kısmi Devre Dışı Kalma : Bir bileşenin kendi fonksiyonunu icra etme kapasitesinin azaldığı durumu tanımlayan devre dışı kalma olayıdır.

Zorunlu Geçici Devre Dışı Kalma : Ani olarak kendi kendini temizleyen bir arıza şekli olup, etkilenen bileşen ya otomatik olarak ya da bir anahtar veya devre kesicinin yeniden kapanması kadar veyahut da bir sigortanın yeniden yerine yerleştirilmesi için geçen bir süre zarfında devre dışında kalmasıdır. Böyle bir bileşen derhal devreye alınır. Örneğin bir yıldırım atlamasından etkilenen bileşenin devre dışına alınması geçici zorunlu devre dışı kalmaya örnek olarak verilebilir.

Zorunlu Sürekli Devre Dışı Kalma : Devre dışı kalma sebebi ani olarak temizlenmeyen fakat tehlikenin çıkarılmasıyla veya etkilenen bileşenin onarılması yada yenisinin servise konmasıyla düzeltilmesi zorunlu olan bir devre dışı kalmadır. Örneğin bir yıldırım atlamasının bir izolatörü parçalaması zorunlu sürekli devre dışı kalmaya bir örnek olarak verilebilir. Böyle bir durumda bileşen onarılmalı veya yerine yenisi takılmalıdır.

Kesinti ve Zorunlu Kesinti: Sistem konfigürasyonuna bağlı olarak bir veya daha fazla bileşenin devre dışı kalması sonucunda bir veya daha fazla tüketiciye olan servisin kaybolması kesinti olarak, bir zorunlu devre dışı kalmanın sebep olduğu kesinti de zorunlu kesinti olarak adlandırılır.

Planlanmış ve Anlık Kesinti : Bir planlanmış devre dışı kalmanın sebep olduğu kesinti olarak adlandırılır. Anlık kesinti ise, kesintiye uğrayan servisin otomatik olarak veya orada sürekli bulunan bir operatörden dolayı hemen tekrar devreye alınmasıdır. Tipik olarak bu şekildeki bir anahtarlama işlemi birkaç dakikada tamamlanır.

Geçici Kesinti : Servis kesintisine sebep olan noktada bir operatörün sürekli olarak bulunmamasından dolayı merkezlerde servisin yeniden devreye alınması için yapılan anahtarlama, operatörün oraya ulaşmasından sonra yapılır. Tipik olarak bu şekildeki bir anahtarlama işlemi 1-2 saat içerisinde tamamlanır.

Sürekli Kesinti : Anlık veya geçici kesinti olarak sınıflandırılmayan herhangi bir kesintidir.

Görüldüğü gibi bir elemanın bir çok devre dışı kalma şekli vardır. Bu devre dışı kalmaların güvenilirlik analizinde en doğru yaklaşımı verecek şekilde kullanılabilmesi için, elemanın aşağıda verilen kesinti bilgilerinin istatistiklerinin bilinmesi gerekmektedir (IEEE Committee Report, 1976).

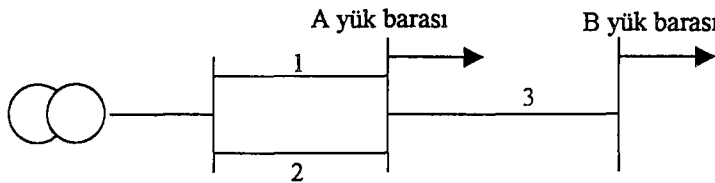
1. Elemanın; tipi, dizaynı, üreticisi veya sınıflandırma amaçlı diğer tanımlamaları
2. Elemanın; tesis tarihi, sistemdeki konumu, eleman hat ise uzunluğu
3. Arıza şekli (kısa devre, hatalı işlem, vb.)
4. Arıza sebebi (yıldırım, ağaç kısa devre, vb.)
5. Sadece devre dışı kalma süresinden ziyade servisten çıkma ve servise alınma zamanları, tarihi, arızanın olduğu andaki meteorolojik durumlar
6. Arıza tipi (zorunlu, planlanmış, geçici veya sürekli).

4.3. Güç Sistemi Bileşenlerinin Arıza Durumları

Yukarıda verilen arıza biçimlerinin tamamı güç sistemi bileşenlerinin hepsi için geçerli olmayabilir veya bileşenlerin arızalarından etkilenme dereceleri farklı olabilir. Genel olarak bir kompozit (karışık) sistem bileşenleri için mümkün olan arıza tiplerini ayrı ayrı incelemeye çalışalım.

4.3.1. Bir Yük Barasının Arıza Durumları

Elemanların devre dışı kalması , sistem konfigürasyonuna bağlı olarak , yük barasında enerji kesilmesine neden olabilir veya olmayabilir (Billinton and Graver, 175). Yük barası arızasına yol açan durumları incelemek amacıyla Şekil 4.4 'teki sistemi göz önünde bulunduralım.



Şekil 4.4. Yük barası arıza durumları için örnek sistem

- i. 1 hattın sürekli devre dışı kalmasının , 2 hattının sürekli devre dışı kalması ile çakışması , A ve B yük baralarında enerji kesilmesine neden olur.
- ii. 3 hattının sürekli yahut geçici devre dışı kalması B yük barasında enerji kesilmesine neden olur.
- iii. 1 hattının bakım için devre dışı kalması , 2 hattının sürekli veya geçici devre dışı kalmasıyla çakışması durumunda, yahut 2 hattının bakım için devre dışı kalması 1 hattının sürekli veya geçici devre dışı kalmasıyla çakışması A ve B yük baralarında bir enerji kesilmesine yol açar.
- iv. 1 hattının sürekli devre dışı kalmasının 2 hattının geçici devre dışı kalmasıyla çakışması yahut bunun tersi A ve B barasında bir enerji kesilmesine yol açar.
- v. 1 hattının sürekli devre dışı kalmasında ve bunun onarım süresi esnasında, A ve B yük baralarındaki yük, 2 hattının aşırı yüklenmesine neden olacak bir değere yükselir. Bu durumda 2 hattı servis dışına alınabilir veya yük baralarının birinde yük azaltımına gidilebilir. Bu şekilde bir kısmi arıza olabileceği gibi , yük barasının verebileceği güç ile, yük talebinin kıyaslanmasıyla da kısmi arıza söz konusu olabilir. Örneğin yük eğrisindeki $\ell(t)$ yük seviyesi , baranın sağlayabildiği L yük seviyesinden büyük ise o zaman periyodunda , kısmi yük azaltımına gidilir ve kısmi arıza durumu olarak göz önünde bulundurulur.

İlk durumda her iki yük barası da tüm enerji kesilmesine uğramış olacaktır. Son durumda ise toplam sistem yüklerinin bir kısmı kalkmış olacaktır. Geçici devre dışı kalmaların çakışmasını içeren bir olayın oluşma olasılığı çok küçüktür. Geçici devre dışı 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 ve frekans sınırlarını zorlama durumlarıdır. İletim sistemlerinde bu kriterler önemli olmasına karşın bugüne kadar yapılan güvenilirlik çalışmalarında göz önüne alınmamıştır. Örneğin gerilim düzeyi ve frekans sınırlarının aşılması durumunda , koruma elemanlarının devreyi açtırması şeklinde bir geçici arıza durumu söz konusu olabileceği gibi, bu sınırların aşılma seviyelerine bakılarak kalitesiz bir güç sağlayan barada kısmi arıza sınıfına dahil edilebilir.

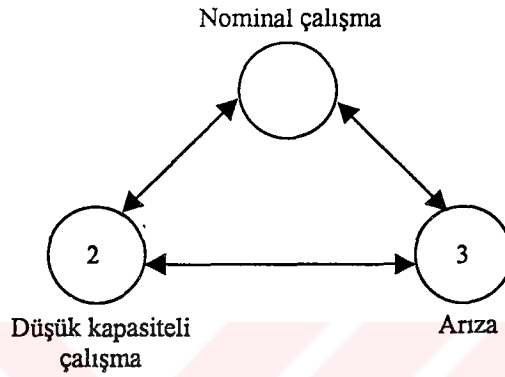
4.3.2. Üretim Biriminin Arıza Modeli

Generatörler üç durumda modellenebilirler. Durum geçiş diyagramları aşağıdaki şekilde verilmektedir (Şekil 4.5). Buradaki farklı durumları aşağıdaki gibi verebiliriz;

Durum 1 : Tam kapasitede çalışma durumu

Durum 2 : Düşük kapasiteli durum (Derated State = Nominal değerinin altında olması hali)

Durum 3 : Sıfır kapasitede (arıza durumu)



Şekil 4.5. Üç durumlu generatör modeli

(2) durumuna geçişin olmadığı 2 durumlu generatör modeli , verilen modelin özel bir halidir.

4.3.3. İletim Hattının Arıza Modeli

İletim hatları ya arızalı veyahut da çalışma durumunda olarak kabul edilir. İletim hatlarında arıza oranları hava şartlarına da bağlıdır.

Bir sistem hattına ait durum geçiş diyagramı Şekil 4.6' da görülmektedir. Burada

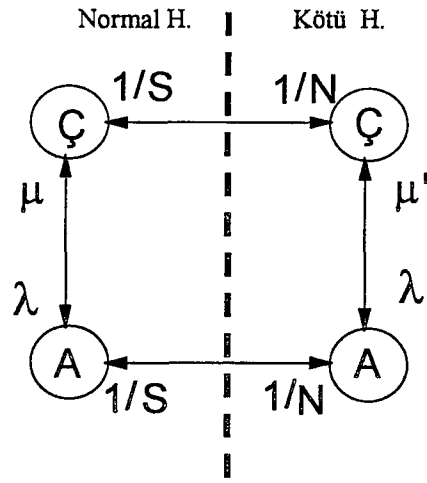
λ : Normal havadaki çalışma oranı

λ' : Kötü havadaki çalışma oranı

μ : Normal havadaki onarım oranı

μ' : Kötü havadaki onarım oranı

N, S : Normal ve Kötü hava şartlarının ortalama süresi



Şekil 4.6. Bir iletim hattının arıza modeli

Burada hava şartları, normal veya kötü diye ikiye ayrılmıştır. Hava ile ilgili en önemli konu, havanın kapsam derecesidir (extent of coverage). Sistem geniş bir alan üzerine yayılmış ise, herhangi bir zamanda farklı bölgeler farklı hava şartlarında olabilir. Her bir bölgedeki hava şartları normal ve kötü durumlardaki ortalama süre olarak karakterize edilir. Havanın (iklimin) farklı bölgelerdeki değişimi birbirinden bağımsız olarak kabul edilir. Her bir hat belli bir bölgeye dahil edilir, böylece bölgenin hava şartlarından etkilendiği kabul edilir.

4.3.4. Transformatörler ve baraların arıza modeli

İletim hatları gibi transformatörler ve baralar iki durumlu arıza tipine sahip olmasına rağmen arıza ve onarım hızları hava şartlarından bağımsızdır. Fakat bazı işletme kısıtlarının aşılmasıyla bazı durumlarda bara ve transformatörlerin beslediği yük miktarında indirime gidilebilir. Örneğin aşırı gerilim düşümü olması, nonlineer yüklerden dolayı çekilen harmonikli akımın artması ile transformatör veriminin düşmesi, harmonik distorsiyonun yüksek olması, transformatörün harmonik akımlarından dolayı şebekeyle rezonansa girmesi gibi durumların olasılıkları hesaplanarak farklı devre dışı kalmalar göz önünde bulundurulabilir. Bu durumda kapasite düşümü gibi üçüncü bir durumdan da söz etmek mümkündür.

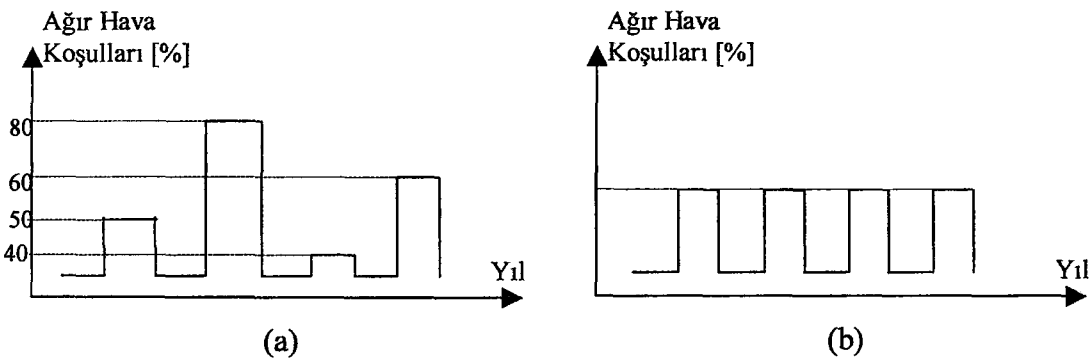
4.3.5. Devre kesicilerin arıza modeli

Aşağıda açıklandığı gibi bir kesicinin bir çok arıza durumu olabilir. i) Toprak Arızası : Devre kesicinin kendisinde bir arıza ifade eder. Bu çeşit bir arıza için devre kesici bir

transformatör veya barada olduğu gibi aynı tarzda hareket eder. ii) Açma Arızası : Devre kesicinin amacı arızalı elemanı devre dışına almaktır. Kesicideki görünmeyen bir hatadan dolayı veya koruma sistemi ile ilgili bir hatadan dolayı kesici gerektiği zaman açmayabilir. Birincil koruma bölgesinin devre kesicisi açmadığından , ikincil bölgenin koruma sistemi çalışabilir, böylece arızasız bir eleman devre dışına alınmış olabilir (Chanan, Course notes, www.tamu.eu.tr). Bu arıza modu bir p olasılığı ile karakterize edilebilir. Yani bir kesici açma komutu aldığı zaman bir p olasılığı ile buna cevap vermeyebilir. Bu ya kesicideki bir problemten dolayı veyahut da koruma sistemi ile ilgili bir problemten dolayıdır. iii) Arzu Edilmeyen Temizleme (Açtırma),(Undesired Tripping) : Bir kesici bir arıza olmadan veya açma komutu almadan da açabilir. Bu bir oran olarak ifade edilebilir ve bunun etkisiyle açık bir hat oluşabilir. Bu, genellikle ilgili kesinti üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı şeklinde göz önünde bulundurulabilir.

4.4. Hava Koşullarının Güç Sistemi Arızaları Üzerindeki Etkisi

Kapalı mekanda bulunan veya yeraltı tesisleri hariç, güç elemanları değişken hava koşulları altında çalışmak zorundadır. Ağır hava koşulları altında (buz yükü , rüzgar yükü, aşırı soğuk, yağmur ve aşırı sıcak) elemanlar daha sık arızalanabilir. Dolayısıyla hava koşulları dikkate alınmadan yapılan bir güvenilirlik analizine kuşku ile bakmak gerekir. Değişken hava şartlarını göz önünde bulundurarak (bir bölgedeki güç sistemi için) yapılan güvenilirlik analizi ile ilgili olarak o bölgenin hava şartları ve o hava şartlarında oluşan arızalarla ilgili istatistiksel bilgilerin sağlıklı olması gerekir. Ağır hava koşullarının tüm çeşitlerini güvenilirlik hesaplamalarına dahil etmek zor olduğundan dolayı bugüne kadar yapılan çalışmalarda, normal ve ağır hava koşulları olmak üzere değişken iki durumlu hava modelleri kullanılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Değişken iki durumlu hava modeli (a) Rastgele oluşan hava modeli (b) İki durumlu düzenlenmiş hava modeli

4.5. Güvenilirlik İndisleri, Seçimi ve Gerekli Eleman Parametreleri

Genellikle bir güç sistemi üç ayrı bölgede ayrı ayrı incelenir. Bunlar üretim sistemi, iletim sistemi ve dağıtım sistemidir. Dolayısıyla güç sistemi güvenilirlik analizi için üç ana bölge mevcuttur.

i. Üretim Kapasitesi Güvenirlik Değerlendirmesi :

Tek bölge (single-area) : Üretimin, yük taleplerini karşılayabilmesi ile ilgilidir. Bu durumda iletim kısıtları göz önünde bulundurulmaz.

Enterkonnekte veya Çok Bölgeli Sistem Güvenirliği: Bu durumda bağlantı hattı kısıtları göz önünde bulundurulur. Bir bölge içerisindeki iletim hatları kısıtları endirekt olarak (bölgeler arası transfer yeteneği oluşturulurken) göz önünde bulundurulur.

ii. Kompozit Sistem Güvenirlik Değerlendirmesi:

Üretim sistemi ile iletim sisteminin birleşimini gözönünde bulunduran güvenilirlik değerlendirmesidir.

iii. Dağıtım Sistemi Güvenirliği:

Müşteri yük noktalarındaki güvenilirlik indislerinin hesaplandığı güvenilirlik değerlendirmesidir.

4.5.1. Tek bölge güvenilirlik değerlendirme

Üretim Yeterliği : Bir elektrik güç sisteminin amacı; elektrik enerjisini mümkün olan en düşük maliyetle ve iyi bir servis kalitesiyle tüketiciye ulaştırmaktır.

Üretim yeterliği, üretim ünitelerinin (temel enerji kaynaklarının yetersiz olmasından dolayı ya da planlı veya plansız servis kesintilerinden dolayı) kesinti durumlarını da göz önünde bulundurarak sistem yüklerini nispi karşılayabilme yeteneğidir.

Üretim yeterliği, genellikle sistem güvenilirlik performansını belirleyen bazı güvenilirlik indekslerini kullanarak ölçülür.

Bazı elektrik şirketleri , sistem maliyeti ve güvenilirlik performansı arasında mantıklı bir denge oluşturmak için değeri mühendislik kararlarına dayanan yeterlik kriterini baz alırlar ve bu kriter geçmiş deneyimlerin göz önünde bulundurulmasıyla geçerli hale gelir.

4.5.2. Üretim kapasitesi yeterliği – güvenilirlik indisleri

Genel olarak güvenilirlik indisleri iki kategoriye bölünür.

1. **Deterministik İndisler** : Bu indisler doğruluğu kabul edilmiş durumları yansıtır. Bunlar direkt olarak bir güç sistem güvenirlğine işaret etmezler ve sistem güvenilirlik performansını etkileyen çoğu parametre içinde cevap olmazlar. Bundan dolayı bu indisler, planlanmış alternatifler arasında sınırlı değerde seçilir. Bunların hesapları basit olup az sayıda veri gerektirir.
2. **İstatiksel İndisler** : Bu indisler , güç sistem güvenirlği probleminin doğal ve sürekli bir parçası olan belirsizlik durumlarını doğrudan yansıtır ve sistem güvenirlğini etkileyebilecek bir çok farklı parametreyi yansıtabilme yeteneğine sahiptir. Bundan dolayı probabilistik indisler, güvenirlği etkileyen parametrelerin doğrudan göz önünde bulundurulmasıyla farklı sistem alternatiflerinin nicel değerlendirmesine olanak verir.

4.5.2.1. Deterministik İndisler

1. **Yüzde Rezerv Marjini;**
 - Yıllık tepe yük değerine göre kurulu genaratör kapasitesinin aşılması olup , yıllık tepe yük değerinin yüzdesi olarak ifade edilir.
 - Yükün tipi, kesinti oranı ve ünite boyutu, sistem parametrelerini direkt olarak yansıtmaz.
2. **En Büyük Ünite Bakımından Rezerv Marjini;**

Bu indeks, ünite kapasitesi ile rezerv marjini arasındaki ilişkinin öneminin görülmesine imkan tanır.

4.5.2.2. İstatiksel İndisler

- LOLE: Umulan yük miktarındaki kayıp (Lose of Load Expectation)
- DLOLE: Her bir yıldaki tepe yük değerini besleyecek mevcut üretim kapasitesinde, yetersiz olarak kalınan tahmini gün sayısıdır.
- HLOLE: Her bir yıldaki tepe yük değerini besleyecek mevcut üretim kapasitesinde, yetersiz olarak kalınan tahmini saat sayısıdır.
- LOLE İNDEKSİ: Sistem güvenilirliği ile ilgili önemli davranışların sayısı ile ilgili örneğin;
 - i. Yukarıdakiler olduğu zaman kapasite açığının büyüklüğünü
 - ii. Kapasite düşümü olayının süresi
 - iii. Tahmini servis yapılamayan enerji miktarı

hakkında bir bilgi vermez.

- F&D : Kapasite düşümü olayının süresi ve frekansı (Frequency and Duration)

Üretim kapasite düşümü olayının frekansı (F), bu şekildeki olayların yıl bazına göre tahmini ortalamasını belirler.

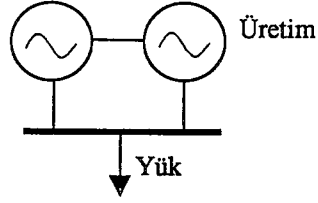
D, Kapasite düşümü olduğu zaman, kapasite düşümü periyodunun tahmin, edilen uzunluğudur.

F&D indisleri saatlik yük bilgilerini kullanır ve böylece günlük yük eğrisinin etkisini yansıtır. F&D indisleri kavramsal olarak LOLE' den daha üstündür. Bununla birlikte F&D daha fazla bilgi gerektirir.

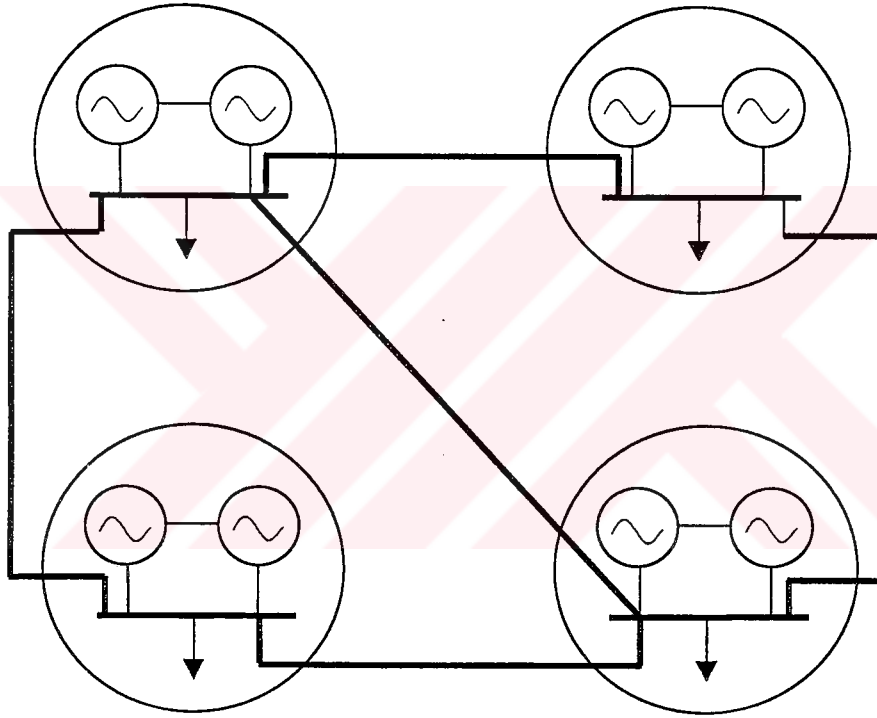
Tahmini Sağlanamayan Enerji (Expected Unserved Energy, ELLE), indeksi, üretim kapasite farklılıklarından ve/veya temel enerji beslemesindeki açıktan dolayı yıl başına sağlanamayan tahmini enerji miktarını ölçer.

4.5.3. Çok bölgeli sistem güvenilirliği değerlendirmesi

Çok bölgeli modellerde, bölgelerarası iletim kısıtları göz önünde bulundurulur. Tek ve çok bölgeli modeller aşağıdaki gibi gösterilebilir (Şekil 4.6 ve 4.7).



Şekil 4.6. Klasik tek bölge modeli



Şekil 4.7. Tipik bir çok bölgeli model

Çok bölgeli sistem güvenilirliği problemi aşağıdaki şekilde formülize edilebilir.

1. Her bir bölgede bir çok generatör ünitesi mevcuttur. Bu generatörler uygun olasılıklarla değişik kapasite kesinti durumları ile temsil edilebilirler.
2. Her bir bölgedeki yük miktarı belli bir değerde sabitlenmiştir.
3. Bölgeler arasındaki bağlantı hatlarının uygun olasılıklarla farklı kapasite durumlarının olduğu kabul edilir. Hattın admitansı göz önünde bulundurulmaz.

4. Verilen bölgede yük kaybı olması durumunda, diğer bölgelerden kendi yükünü karşılama da bir aksilik olmayacak şekilde yardım alınır. Bu NLLS (Paylaşım da yük kaybının olmaması = No load loss sharing) politikası olarak adlandırılır.

Buradaki problem ise her bir bölge ve bütün sistem için (LOLE ve EUE) güvenilirlik indislerinin hesaplanmasıdır.

Ayrıca aşağıdaki konularda değerlendirme içerisinde olmalıdır.

1. Bölge yükleri arasındaki ilişki göz önünde tutularak her bir bölgedeki saatlik yük değişimleri
2. Elektrik şirketleri arasındaki değişiklikler
3. Ortaklaşa kullanılan üniteler
4. Bağlantı hatlarının admitansının da dahil edildiği DC yük akış modeli (Sing, www.tamu.edu)

4.5.4. Kompozit sistem güvenilirlik değerlendirmesi

Üretim ve iletim sisteminin (kompozit sistem) ana yük noktalarına (bara) yeterli ve uygun elektrik enerjisini sağlayabilme yeteneği değerlendirilirken aşağıdaki hususlar gözönünde bulundurulmalıdır.

1. Üretim kapasitesi güvenilirlik değerlendirmesi yapılırken iç iletim kısıtlarının gözönünde bulundurulması
2. Üretim ve iletim sistemlerindeki bağıl yatırımların optimize edilmesi
3. Kaynak yaklaşımında artan bir eğilim olması
4. İletim sistemi güvenilirlik analizindeki üretim etkisinin daha iyi temsil edilmesi
5. Üretimlerin koordinasyonu, dağıtılması ve akümülatör ihtiyacı

Kompozit sistem güvenilirlik değerlendirmesinde, güvenilirlik indislerini iki indis altında toplayabiliriz.

- Sistem problem indisleri: Bu indisler düzeltme eylemi yapılmaksızın hesaplanırlar ve böylece kullanılamazlığın üst sınırını temsil eder.

- Sertlik (severity) indisleri: Bunlar düzeltme eyleminden sonra hesaplanır ve böylece kullanılamazlığın alt sınırını temsil eder.

4.5.5. Dağıtım sistemi güvenilirlik değerlendirmesi

Dağıtım sistemindeki güvenilirlik terimi, belirli bir periyot süresince son kullanıcıların toplam olarak enerji ile beslenemediği zamanın miktarı olarak ifade edilir. Bu bağlamda dağıtım sistemi güvenilirlik indisleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Dugan et al., 1997).

- SAIFI : Sistem ortalama kesilme frekansı indeksleri

$$SAIFI = \frac{(Kesilme tiye uğrayan müşteri sayısı)(Kesilme ti sayısı)}{Toplam müşteri sayısı} \quad (4.1)$$

- SAIDI : Sistem ortalama kesilme devam süresi indeksleri

$$SAIDI = \frac{\sum (Etkilenen müşteri sayısı)(Kesilme ti süresi)}{Toplam müşteri sayısı} \quad (4.2)$$

- CAIFI : Müşteri ortalama kesilme frekansı indeksi

$$CAIFI = \frac{Toplam müşteri kesilmeleri sayısı}{Etilenmeyen müşteri sayısı} \quad (4.3)$$

- CAIDI : Müşteri ortalama kesilme devam süresi indeksi

$$CAIDI = \frac{\sum (Müşteri kesilmesi süresi)}{Müşteri kesilmelerinin toplam sayıya} \quad (4.4)$$

- ASAI : Ortalama sistem kullanılabilirlik indeksi

$$ASAI = \frac{Müşteri serviste kalma saatleri}{Müşteri servis talebi saatleri} \quad (4.5)$$

Burada “müşteri servis talebi saatleri = 8760 (bütün bir yıl için)”

5. NON-LİNEER YÜKLERİN ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

5.1. Giriş

İdeal bir alternatif akım güç sisteminde elektrik enerji sisteminin üretilmesi, iletilmesi, dağıtılması belirli gerilim seviyesinde, tek ve sabit frekansta yapılır; böyle bir sistemde gerilim ve akım tam sinüs şeklindedir. Ancak bu tür enerji pratikte birtakım zorluklarla sağlanabilir. Güç sistemine bağlanan bazı elemanlar ve bunların yol açtığı olaylar sebebiyle, akım ve gerilimde tam sinüs formundan sapmalar olabilmektedir. Tam sinüsoidalden sapma, genellikle harmonik bileşenlerin ortaya çıkması ile ifade edilir ve buna sebep olan etkenlerin başında ise manyetik ve elektrik devrelerindeki lineersizlik gelir. Bu lineersizliklere sebep, demir çekirdekleri bulunan bobin, transformatör, generatör ve benzeri elemanların doymaya giderek manyetik bakımdan lineer olmayan bir olayın meydana gelmesi ile ark fırınlarındaki normal çalışma gereği ark oluşturmaları ve yarı iletken malzemelerin kullanılarak sinüsoidal dalgaının bazı kısımlarının kırılması sonucu elektrik devrelerinde lineersizliğin olmasıdır. Bu lineersizlikler akım ve gerilimin dalga şeklinin bozulmasına sebep olur (Kocatepe,1995).

5.2. Harmoniklerle İlgili Bazı Tanımlar

Enerji sistemlerinde harmonik etkilerin her geçen gün artması, bu etkilerin minimuma indirilmesi ve sınıflandırılmasında kolaylık sağlamak için genel tanım ve büyüklüklerin verilmesini zorunlu kılmıştır (Shuter et al., 1989). Bu tanım ve büyüklükleri ifade edebilmek için aşağıdaki maksimum harmonik derecesi N olan akım ve gerilim dalgasını göz önünde bulunduralım.

$$\left. \begin{aligned} i(t) &= I_o + \sum_{n=1}^N I_m n. \sin(n\omega t + \phi_n) \\ v(t) &= V_o + \sum_{n=1}^N V_m n. \sin(n\omega t + \delta_n) \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

Buna göre efektif gerilim değeri;

$$V = \left[\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} = \left[V_o^2 + \frac{V_m^2}{2} + \frac{V_m^2}{2} + \dots \right]^{\frac{1}{2}} = (V_o^2 + V_1^2 + V_2^2 + \dots)^{\frac{1}{2}} \quad (5.2)$$

Burada;

V_{mn} 'ler : Gerilim bileşenlerinin maksimum değeri

V_n 'ler : Gerilim bileşenlerinin efektif değeridir.

$$I = \left[\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt \right]^{1/2} = \left[I_o^2 + \frac{I_{m1}^2 + I_{m2}^2 + \dots}{2} \right]^{1/2} = (I_o^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots)^{1/2} \quad (5.3)$$

ile bulunur. Burada;

I_{mn} 'ler : Akım bileşenlerinin maksimum değeri

I_n 'ler : Akım bileşenlerinin efektif değeridir.

Aktif güç ise;

$$P = V_o I_o + \sum V_n I_n \cos(\delta_n - \phi_n) \quad (5.4)$$

Burada V_n ve δ_n gerilimin genliği ile açısı, I_n ve ϕ_n akımın genliği ve açısıdır.

Reaktif güç, görünen güç ve güç faktörü ise eşitlik (5.5), (5.6) ve (5.7)' de olduğu gibidir.

$$Q = \sum_{n=1}^N V_n I_n \sin(\delta_n - \phi_n) \quad (5.5)$$

$$S = V I = \left[\sum_{n=0}^N V_n^2 \right]^{1/2} \cdot \left[\sum_{n=0}^N I_n^2 \right]^{1/2} \quad (5.6)$$

$$\text{Güç Faktörü} = \frac{\text{Aktif Güç}}{\text{Reaktif Güç}} = \frac{P}{S} \quad (5.7)$$

Toplam harmonik distorsiyonu gerilim ve akım için sırasıyla,

$$(THD)_V = \frac{\left[\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2 \right]^{1/2}}{V_1} \quad (5.8)$$

$$(THD)_I = \frac{\left[\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 \right]^{1/2}}{I_1} \quad (5.9)$$

şeklinde verilir. Distorsiyon faktörü ise (gerilim ve akım için) şu şekildedir.

$$(DF)_V = \frac{\left[\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2 \right]^{1/2}}{V} \quad (5.10)$$

$$(DF)_I = \frac{\left[\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 \right]^{1/2}}{I} \quad (5.11)$$

Distorsiyon gücü,

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (5.12)$$

denklemleri ile hesaplanabilir.

5.3. Harmoniklerin güç sistemi üzerindeki etkileri

Elektrik tesislerinde enerjinin üretilmesi ve iletilmesi esnasında bazı yan etkiler ve bozucu olaylar yüzünden elektriksel büyüklüklerin şekli bozulur ve akı, akım ve gerilim gibi işletme büyüklükleri artık sinüsoidal değildir ve harmonik ihtiva ederler. Bunlar güç sistem işletimi, tesisler ve işletme araçları üzerinde, termik aşırı ısınma, rezonans olayları, kondansatör tesislerinde dielektrik zorlanma, kontrol ve kumanda sistemlerinde yanlış çalışma, aşırı gerilim düşümü, güç kaybı, transformatörlerde verim düşümü, yük baralarında istenen azami gerilim düzeyi sınırlarını, geçici kararlılık sınırlarını ve frekans sınırlarını zorlama gibi zararlı etkiler oluşturmaktadır.

5.3.1. Transformatör üzerindeki etkisi

Güç sistem harmoniklerinin transformatörler üzerindeki temel etkisi, yük akımının harmonik içeriğinden doğan kayıpların neden olduğu ilave ısı üretilmesidir. Diğer problemler transformatör endüktansı ve sistem kapasitansı arasındaki olası rezonansı içerir (Murphy ad gan, 1983).

Deneysel çalışmalar transformatörlerin görünen güçlerindeki azalmanın sadece $THD_{(I)}$ değerine bağlı olmadığını, aynı zamanda $THD_{(V)}$ 'ye de bağlı olduğunu göstermektedir.

Transformatör kayıpları için bilinen yaklaşım, çıkış gücü ile giriş gücü arasındaki farkın hesaplanmasıdır (Fuchs and Fei, 1996; Fuchs and et al., 1994).

$$P_{Giriş} - P_{Çıkış} = \frac{1}{T} \int_0^T (v_1 i_1 - v_2' i_2') dt = \frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{(v_1 + v_2')(i_1 + i_2')}{2} + \frac{(v_1 - v_2')(i_2' + i_1)}{2} \right] dt \quad (5.13)$$

(5.13) denkleminin 1. parçası demir kayıplarını temsil etmektedir.

$$\frac{1}{T} \int_0^T P_{fe}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{(v_1 + v_2')(i_1 + i_2')}{2} \right] dt \quad (5.14)$$

(5.13) denkleminin 2. parçası ise bakır kayıplarını temsil etmektedir.

$$\frac{1}{T} \int_0^T P_{cu}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{(v_1 - v_2')(i_2' + i_1)}{2} \right] dt \quad (5.15)$$

Bir transformatörün sargılarından doğru akım geçmesiyle $I^2.R$ kayıpları oluşur, burada R sargıların doğru akım direncidir. Doğru akım ile aynı efektif değerine ait ac akımın geçmesiyle “kaçak” kayıpları olarak bilinen ilave kayıplar meydana gelir (Blume et al., 1938). “stray” kayıpları iki parçaya bölünebilir:

- İletkenlerdeki kaçak akıdan dolayı sargı iletkenlerindeki girdap akım (eddy - current) kayıpları

- Kaçak akıların tank, klemens bağlantıları ve çekirdeği kesmesinden dolayı bu elemanlar üzerinde anafor akım kayıpları ve histerisiz kayıpları.

Bundan dolayı toplam P_{LL} yük kayıpları

$$P_{LL} = I^2 \cdot R + P_{EC} + P_{OSL} \quad (5.16)$$

Burada;

P_{EC} : Sargı girdap akım kayıpları

P_{OSL} : Sargı kayıplarından daha ziyade diğer bileşenlerdeki “kaçak” kayıplarıdır.

Sargı girdap akım kayıplarının p.u. cinsinden değeri aşağıdaki gibi verilir.

$$P_{EC}(p.u.) = P_{EC-R}(p.u.) \sum_{n=1}^{N_{max}} I_n^2(p.u.) \cdot n^2 \quad (5.17)$$

Burada;

P_{EC-R} (p.u.): Nominal yük ve gerilim altında sargı anafor akım kayıplarının per – unit değeri

n : Harmonik derecesi

$I_n(p.u.)$: n . Harmonik akımlarının rms olarak değeri (nominal rms yük akımının Per unit değeri)

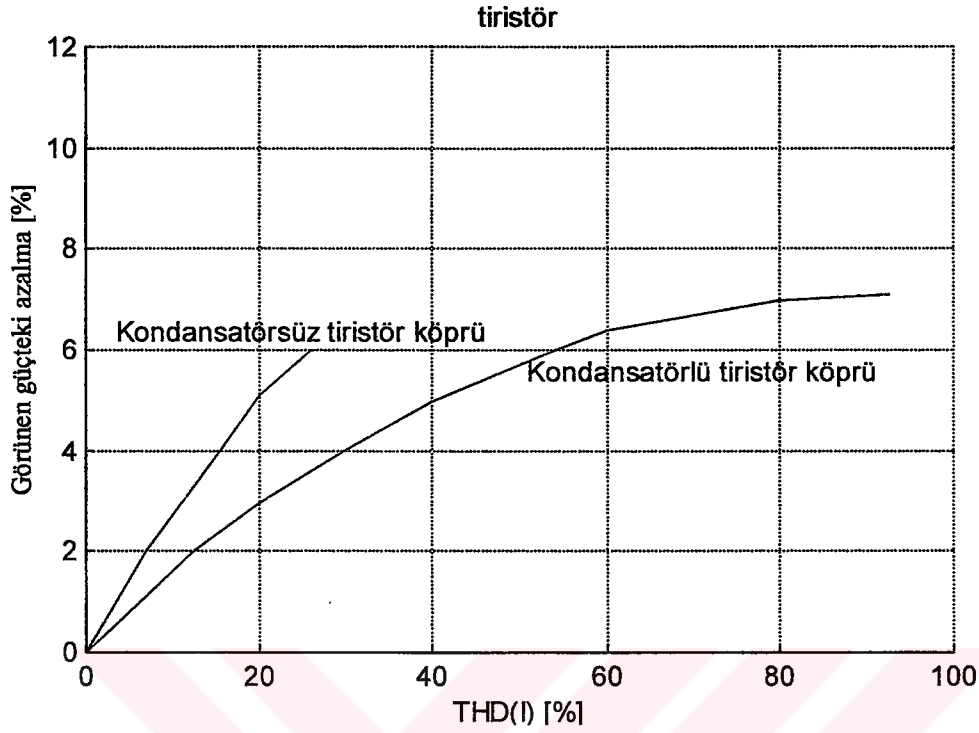
Harmonikli akımlar sebebiyle transformatörlerin sağlayabileceği güç kapasitesinde bir azalma olmaktadır. Bu hem teorik olarak hem de deneysel çalışmalarla ölçülmüştür (Yıldırım et al., 1996). Nominal görünür güçteki azalma yüzdesi (RAPR) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$RAPR = \frac{(S_{nominal} - S_{nonlinear})}{S_{nominal}} \cdot 100\% \quad (5.18)$$

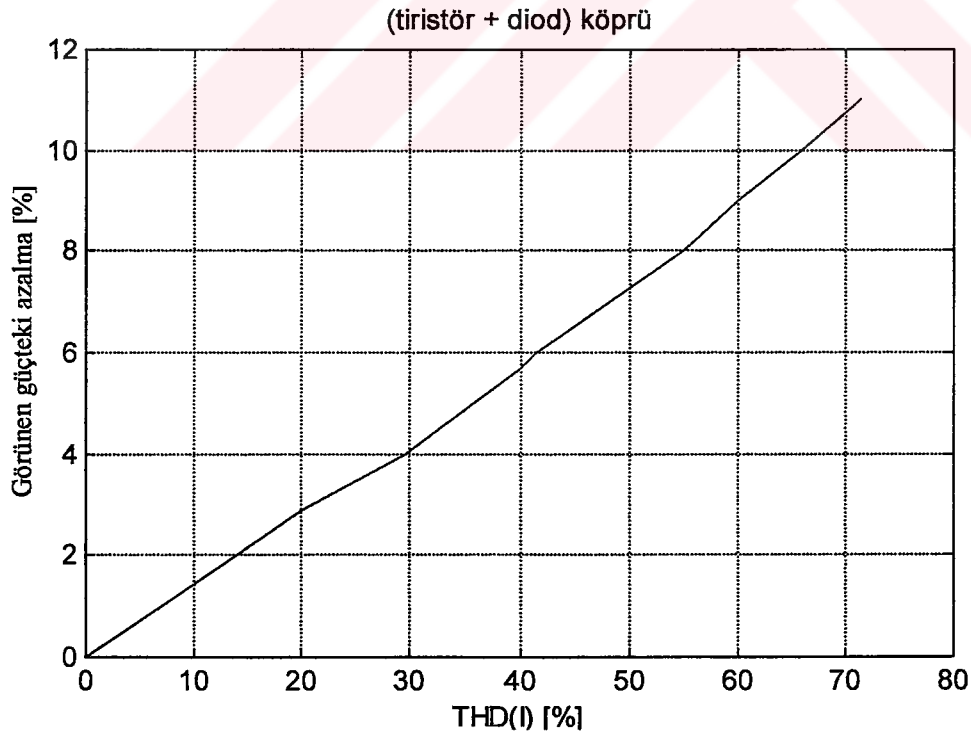
Burada;

$$\left. \begin{aligned} S_{nominal} &= V_{rmsnom} \cdot I_{rmsnom} \\ S_{nonlinear} &= V_{rmsnonlinear} \cdot I_{rmsnonlinear} \end{aligned} \right\} \quad (5.19)$$

Şekil (5.1 ve 5.2) 25 kVA'lık transformatörün, “tristör” ve “tristör+diod” köprü yükleri için %THD_(I) değerlerine göre nominal görünen güçteki azalma yüzdesinin değişimi görülmektedir.



Şekil 5.1. Transformatör yükü olarak tristör köprüsünün kullanılması durumunda nominal görünür güçteki [%] azalmanın THD_(I) ile değişimi



Şekil 5.2. Transformatör yükü olarak (tristör + diod) köprüsünün kullanılması durumunda nominal görünür güçteki [%] azalmanın THD_(I) ile değişimi

Yüksek değerli $THD_{(I)}$ değerleri için örneğin %90 için transformatör kapasitesindeki düşme yüzdesi yaklaşık %10 civarındadır (Yıldırım et al., 1996). Yıldırım ve arkadaşları tarafından bulunan bu sonuçlar (Fuchs and Fei, 1996), (Fuchs et al., 1994), ve (Lin et al., 1997) çalışmalarında da doğrulanmaktadır. Aynı zamanda (Galli and Cox, 1996)' un çalışmasında 50 kVA ve 25 kVA'lık transformatörler gözönünde bulundurulmuştur. $THD_{(I)}$ değerini % 90'a kadar artırarak transformatörler üzerindeki sıcaklık değişiklikleri gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak da transformatör akımlarındaki %40'lık toplam harmonik distorsiyon için %3'ten %12'ye kadar kapasite düşümü tespit edilmiştir. (Bishop et al., 1996)'m yapmış olduğu çalışmada ise $THD(I) = \%110$ için %13 ile %39 arasındaki kapasite düşüm değerleri elde edilmiştir. Fakat bu çalışmada gerilim distorsiyonundan bahsedilmemiştir. Çünkü transformatör kapasite düşümünde % $THD_{(I)}$ önemli olduğu gibi % $THD_{(V)}$ 'de önemlidir.

Transformatör kapasite düşümü hesaplamalarında K Faktörü yaklaşımı kullanıldığı gibi harmonik kayıp faktörü (F_{HL}) yaklaşımı da transformatörlerin nonlinear yükler altında çalışması halinde kapasite düşümü hesaplamasında kullanılmaktadır ve (5.20) eşitliği ile verilmektedir. (ANSI/IEEE-recomended paper, 1998).

$$F_{HL} = \frac{P_{EC}}{P_{EC-O}} = \frac{\sum_{n=1}^{n=n_{max}} I_n^2 \cdot n^2}{\sum_{n=1}^{n=n_{max}} I_n^2} \quad (5.20)$$

Burada;

P_{EC} : Sargılardaki toplam anafor akım kayıpları (Watt)

P_{EC-O} : Ölçülen akım ve güç frekansında sargılardaki toplam anafor akım kayıpları

I_n : n. harmonikteki akımın efektif değeri (Amper)

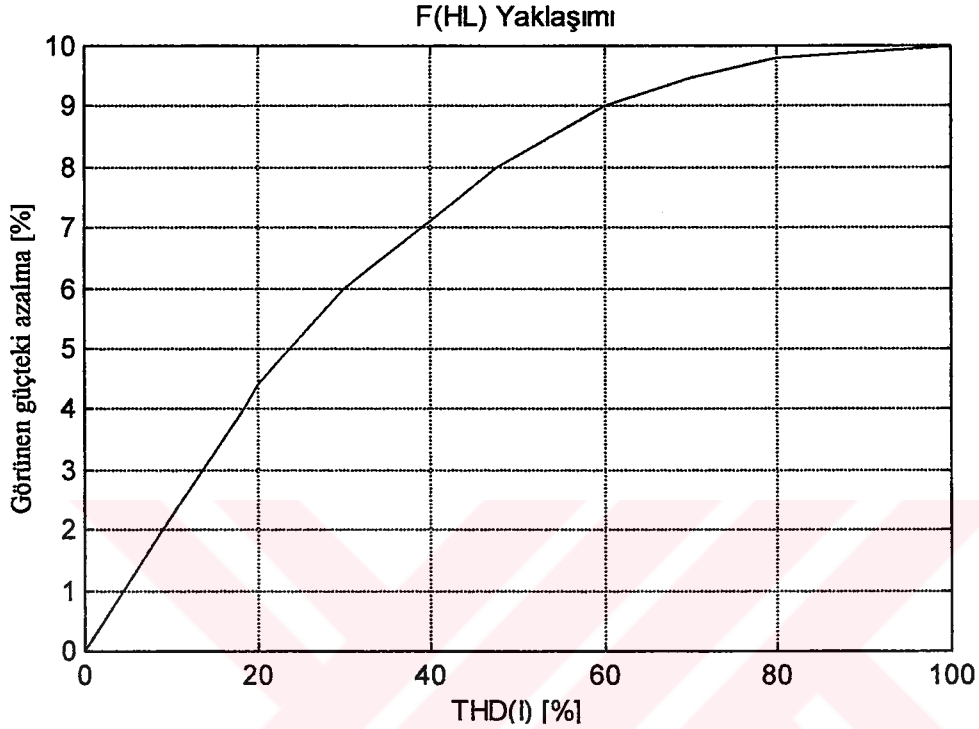
n : harmonik derecesi

K faktörü, harmonik kayıp faktöründen farklı olup aralarındaki ilişki, denklem (5.21)'de verilmiştir (Standart UL 1561, 1994).

$$K - Faktör = \left[\frac{\sum_{n=1}^{n=n_{max}} I_n^2}{I_R^2} \right] \cdot F_{HL} \quad (5.21)$$

Burada, I_R nominal efektif yük akımıdır. Yük akımının efektif değeri transformatörün nominal

yük akımına eşit ise K-Faktörünün sayısal değeri F_{HL} 'nin sayısal değerine eşittir. Şekil 5.3.'te nominal gücü 25 kVA olan transformatör için harmonik kayıp faktörü yaklaşımıyla hesaplanan görünür güçteki azalma yüzdesinin THD(I)'nın bir fonksiyonu olarak değişimi görülmektedir. Şekil (5.1., 5.2. ve 5.3.) incelendiğinde F_{HL} yaklaşımıyla bulunan sonuç diğer yöntemlerin yaklaşık ortalama değerine eşittir (Yıldırım and Fuchs, 1999).



Şekil 5.3. Transformatörün görünür gücündeki [%] azalmasının “ F_{HL} ” yaklaşımıyla THD(I)'nın bir fonksiyonu olarak değişimi

5.3.2. K-Faktör yaklaşımı

K-Faktör yaklaşımı, transformatör kayıpları üzerinde frekansın etkisini göz önünde bulunduran bir hesaplamadır (Massey, 1994). K-Faktörü, harmonik akımların p.u. olarak değerinin karesi ile harmonik derecesinin çarpımlarının toplamı olarak (5.22)'deki gibi verilir.

$$K = \sum_{n=1}^{\infty} (I_{n(pu)})^2 \cdot n^2 \quad (5.22)$$

Burada, $I_{n(pu)}$ temel akımın genliğini baz alan per unit harmonik akımları olup, n 'de harmonik derecesini göstermektedir. K-Faktörü (5.22)'de, harmonik akım frekanslarının etkisini göz önünde bulundurur.

5.3.3. Nonsinüsoidal akımların transformatör sargılarındaki sıcaklık artışına ve ömre olan etkisi

Harmonikler, transformatörlere iki şekilde etki eder. Akım harmonikleri bakır sargı kayıplarında $(I^2.R)$ ve kaçak akı kayıplarında artışa, gerilim harmonikleri ise girdap ve histerisiz akımlarından dolayı demir kayıplarında artışa ve yalıtımın zorlanmasına (sargı ve nüve sacında) neden olur (Arrilaga, 1985). Her iki durumda transformatörlerde ek ısınma oluşur ve transformatör sargılarının aşırı ısınmaları işletme ömürlerini düşürür (Emanuel and Wang, 1985; Fuchs et al., 1986). Buradan hareketle, transformatör ömrünü yüke bağlı olarak belirlemede temel faktör sıcaklıktır.

Sargılarda gerilim bulunduğundan dolayı, bir sıcaklık dedektörünün yerleştirilmesindeki zorluklar nedeniyle en sıcak noktanın sıcaklığı doğrudan ölçülemez. En sıcak noktadaki bakır sıcaklığı, soğutma ortamı sıcaklığı, soğutma ortamı sıcaklığı, bakırın ortalama sıcaklık artışı ve maksimum izin verilen sıcak nokta değerlerinin toplamıdır. Ortalama sıcaklığı 55 ° C olan bir transformatör için 10 ° C'lik sıcaklık artışına, ortalama sıcaklığı 65 ° C olan bir transformatör için 15 ° C'lik sıcaklık artışına müsaade edilir. Sıcaklığı belirleyen bir dedektör yok ise, istenildiği zaman belirlenemiyorsa, harmoniklerin var olması durumunda yük limitinin ne olması gerektiği yaklaşık olarak önceden belirlenmesi gerekir.

5.3.4. Harmoniklerin iletim sistemi üzerindeki etkisi

Harmoniklerin iletim sistemi (hava hattı veya yeraltı kablosu) üzerindeki etkileri, iki başlık altında incelemek mümkündür. Bunlardan birincisi akım bileşenlerinin oluşturduğu ek $(I^2.R)$ kayıplarıdır. Bu kayıplar;

$$\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 \cdot R_n \quad (5.23)$$

şeklinde verilebilir. Harmonikli akıma gösterilen omik direnç değeri ($R=R_o+R_h$) olup, deri etkisi ihmal edilirse, $R_n = R$ (hattın omik direnci) yazılabilir.

Diğer taraftan harmonik akımların hat boyunca çeşitli devre elemanları üzerinde oluşturduğu gerilim düşümleri de ayrı bir etkidir. n. akım harmoniğin oluşturduğu gerilim düşümü;

$$(\Delta V)_n = I_n \cdot Z_n \quad (5.24)$$

olarak yazılabilir. Kablolı iletım durumunda harmonik gerilimler, tepe gerilim değeriyle orantılı olarak dielektrik zorlanmayı arttırmalar. Bu da kablonun kullanım ömrünü azaltır. Aynı zamanda arıza sayısını ve bu nedenle onarım masraflarını arttırır. Aşırı gerilimler nedeniyle yalıtkan kablolarda delinme meydana gelebilir.

5.3.5. Harmoniklerin enerji sistemleri üzerindeki diğ r etkileri

Enerji sistemlerinde harmoniklerle gerilim ve akım dalga şeklinin bozulması (distorsiyon)  ok çeşitli problemlere yol açmaktadır. Bunlar maddeler halinde aşağıdaki gibi verilebilir:

- Generatör ve şebeke geriliminin bozulması
- Gerilim düşümünün artması
- Kompanzasyon tesislerinin aşırı reaktif yüklenme ve dielektrik zorlanma nedeniyle zarar görmesi
- Senkron ve asenkron motorlarda moment salınımlarının ve aşırı ısınmanın meydana gelmesi
- Endüksiyon tipi sayaçlarda yanlış  l meler
- Uzaktan kumanda, y k kontrolü vb. yerlerde çalışma bozuklukları
- Şebekede rezonans olayları, rezonansın neden olduğu aşırı gerilimler ve akımlar
- Koruma ve kontrol düzenlerinde sinyal hataları
- İzolasyon malzemesinin delinmesi
- Elektrik aygıtlarının ömrünün azalması
- Sesli ve görüntülü işletim araçlarında parazit ve anormal  alışma
- Mikro-bilgişlemciler üzerinde hatalı  alışma

Bu etkinlikler içinde teknik ve ekonomik yönden en olumsuz sonuçlara yol a anları, kayıplardaki artış ve sistem ölçü cihazları üzerindeki hata paylarının artması şeklinde özetlemek mümkündür. Bunlardan birincisi omik direnç içeren tüm tesis elemanlar üzerinde ek harmonik kayıplara yol açmaktadır (Hwang et al., 1988; Forrest, 1991). İkincisi ise ölçü ve kayıt cihazlarındaki istenmeyen hata miktarlarının oluşması, bir başka deyişle kayıt/ölçüm hatalarının artmasıdır (Statford, 1980; Fuchs et al., 1986; Makram et al., 1992).

6. BULANIK KÜME TEORİSİ VE GÜVENİLİRLİK ANALİZİNE UYGULANMASI

6.1. Giriş

Modern çağımızın çok süratli biçimde gelişen teknolojileri, artık klasik mantık metotlarından yeterli derecede verim alamamaktadır. Günümüz teknolojilerinin ortaya koyduğu daha hassas işlemler ve kaçınılmaz bir şekilde artan tasarruf sağlama zorunluluğu bilim adamlarını ve araştırmacıları bu yönde araştırmalar yapmaya itmiştir. İnsanın doğasında olan mükemmele yaklaşma isteği “yapay zeka” , “yapay sinir ağları”, “çok değerli mantık” ve bunlarla birlikte “bulanık mantığın (fuzzy logic)” ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bulanık mantık, 1965 yılında University of Berkeley öğretim üyelerinden aslen Azerbaycan’lı Prof. Dr. Lotfi A. ZADEH’in “Information and Control” dergisinde yayımlananan “Fuzzy Sets (Bulanık Kümeler)” makalesiyle ortaya çıkmıştır.

Bulanık mantık günlük hayatımızda kullandığımız ve davranışlarımızı yorumladığımız yapıya ulaşmamızı sağlayan matematiksel bir disiplindir. Bulanık mantığın temelini bulanık küme kuramı oluşturur. Bulanık küme kuramı ise bildiğimiz klasik küme kuramının biraz daha geliştirilmiş bir ifadesidir. Klasik kümelerde bir eleman ya klasik kümeye aittir yada ait değildir dolayısıyla klasik kümelerde net bir kesinlik söz konusudur. İnsan davranışlarını ele aldığımızda, davranışların bu şekilde klasik kümeler kullanılarak yorumlanması mümkün değildir. Çünkü insanlar için varlık ve yokluk kavramlarının yanında kısmi varlık ve kısmi yokluk kavramları da vardır. Mesela sıcak ve soğuk kavramlarının yanında ılık , hafif sıcak yada hafif soğuk gibi ara değerleri de içeren kavramlar insan anlayışı içinde yer tutmaktadır. Dolayısıyla bu ara değerlerinde göz önünde bulundurulması ile yani insan davranış ve düşüncelerini yorumlayacak ve kapsayacak bir matematiksel ifadelendirmeye ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaç ise ara değerlerin de dikkate alındığı “Bulanık küme” teorisiyle ortadan kaldırılabılır. Böylece gerçel dünya dilinde kullanılan bir takım kavramsal değişkenler yardımıyla “biraz sıcak” , “çok soğuk” , “yavaş” gibi günlük yaşamımızda kullandığımız dilsel ifadeler yardımıyla insan mantığına en yakın doğrulukta, kompleks sistemlerin değerlendirilmesi mümkün olabilmektedir.

6.2. Bulanık Küme Teorisi

6.2.1. Bulanık küme matematiğine giriş

Bulanık kontrolün temelini oluşturan bulanık kümeler klasik kümelerin geliştirilmiş türleridir. Dolayısıyla bulanık küme matematiğine girmeden önce klasik küme teorisinin ve matematiğinin incelenmesi konunun anlaşılmasını kolaylaştıracaktır.

6.2.2. Klasik Kümeler

Genel manada bir küme, küme elemanı olarak adlandırılan nesnelerin birleşiminden meydana gelen topluluktur. Bir kümenin elemanlarının kendi aralarında herhangi bir bağıntı olabileceği gibi, bir bağıntı bulunmayabilir. Klasik kümelerin belirtilmesi için belirli temsil yöntemleri ortaya konmuştur. Bu temsil yöntemleri aşağıdaki gibi incelenebilir.

- **Listeleme yöntemi:**

Bu gösterim tipi özellikle sınırlı sayıda elemanı bulunan (sonlu eleman sayısına sahip) kümeler için kullanılır. Örnekleri inceleyecek olursak;

$$A = \{ \text{Afyon} , \text{İzmir} , \text{Manisa} , \text{Uşak} \} \quad (6.1)$$

$$B = \{ a , b , c , d , e , 1 , 2 , 3 \} \quad (6.2)$$

- **Ortak özellik (genelleme) yöntemi:**

Bu gösterim yöntemi ortak özelliğe sahip elemanların çeşitli bağıntısal anlatım ifadeleri kullanılarak gösterimini sağlar.

$$A = \{ x \in \mathbb{N} \mid x < 5 \} \quad (6.3)$$

(A kümesi 5'ten küçük doğal sayıları eleman olarak içeren kümedir.)

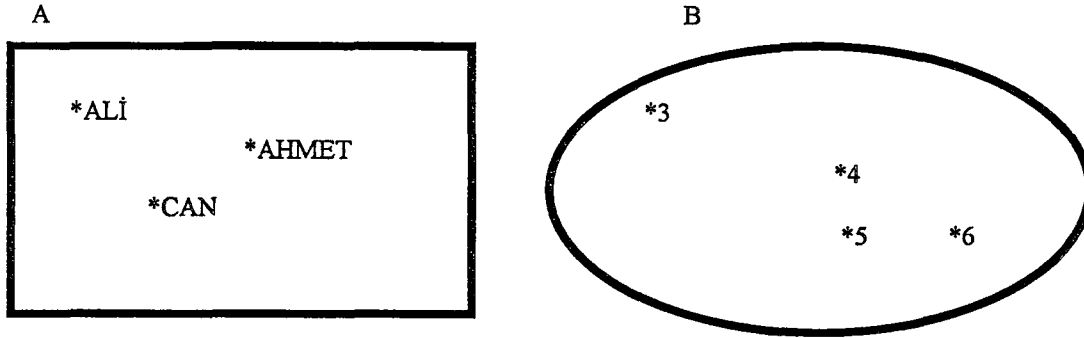
$$A = \{ 0 , 1 , 2 , 3 , 4 \} \quad (6.4)$$

$$B = \{ x \in \mathbb{N} \mid x > 5 \wedge x < 10 \} \quad (6.5)$$

Şeklinde pek çok örnek verilebilir.

- **Şema ile gösterim yöntemi:**

Küme elemanlarının kapalı geometrik bir şekille ifade edildiği gösterim biçimidir.



Şekil 6.1. Kümelerin şema ile gösterimi

- **Karakteristik fonksiyon ile gösterim şekli:**

Bu gösterimde klasik mantıktan yararlanılır. Belirli bir E evrensel kümesinde tanımlanan bir A kümesine ait karakteristik fonksiyon E'nin herhangi bir elemanı için eğer o eleman A kümesine ait ise karakteristik fonksiyon "1" değerini alır ve eğer o eleman A kümesine ait değil ise "0" değerini alır.

A kümesi E evrensel kümesinde tanımlı olmak üzere A kümesinin karakteristik fonksiyonu X_A aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$X_A: A \rightarrow \{1,0\} \quad (6.6)$$

$$X_A(e) = \begin{cases} 1 & e \in A \\ 0 & e \notin A \end{cases} \quad (6.7)$$

Bunu bir örnekle ifade edecek olursak

$$E = \{\text{doğal sayılar kümesi}\} \quad (6.8)$$

$$A = \{e \in E \mid e \leq 10 \wedge e \geq 5\} \quad (6.9)$$

$$X_A(10)=1, X_A(8)=1, X_A(11)=0 \dots \quad (6.10)$$

$$X_A(e) = \begin{cases} 1 & 5 \leq e \leq 10 \\ 0 & 11 \leq e \wedge 4 \geq e \end{cases} \quad (6.11)$$

Karakteristik fonksiyon yöntemiyle gösterim klasik kümelerde nadiren kullanılır. Buna mukabil bulanık küme teorisinde, karakteristik fonksiyon üyelik fonksiyonuna karşılık gelir ve çok sıklıkla kullanılır.

6.2.3. Klasik kümelerde temel küme işlemleri

Bir küme üzerinde işlem yaparken elemanlar belirli bir kümeden alınır. Gözönüne alacağımız bütün elemanları kapsayan kümeye “evrensel küme” denir. Böylece işlemlerde kullanacağımız tüm kümeler evrensel kümenin alt kümeleri olmuş olur. Bu kısımda klasik kümelere ilişkin kavramlar kısaca gözden geçirilecek ve örneklerle ifade edilecektir.

6.2.3.1. Kümelerde eleman kavramı

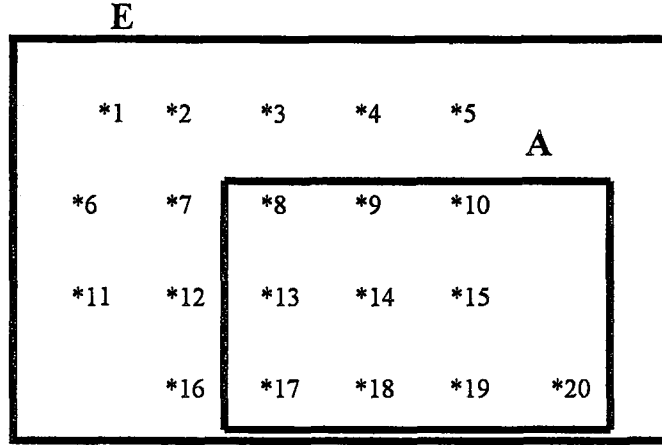
Şekil 6.2’de E evrensel küme olarak gösterilmiş ve A kümesi ise E’ nin alt kümesi olarak ifade edilmiştir. Burada E bütün elemanları, A ise E’nin elemanlarının bir kısmını içerir. Bir eleman A kümesine ait ise $e \in A$ (örneğin $10 \in A$) şeklinde, eğer ait değil ise $e \notin A$ şeklinde ifade edilir. Bütün klasik küme işlemlerinin bir küme ile gerçekleşmesi mümkün değildir. Dolayısıyla başka bir kümenin de tanımlanmasına ihtiyaç vardır.

$$E = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20\} \quad (6.12)$$

$$A=\{8, 9, 10, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20\} \quad (6.13)$$

$$B=\{4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 18, 20\} \quad (6.14)$$

Şeklinde kümeler tanımlanabilir. Böylece küme işlemlerini yukarıda tanımlanan A ve B kümelerini kullanarak gerçekleştirebiliriz.



Şekil 6.2. E evrensel kümesi ve buna ait bir A alt kümesinin gösterimi

6.2.3.2. İki kümenin birleşimi

İki kümenin birleşimi “ $\cup$ ” işareti ile ifade edilir. İki kümeye ait toplam elemanlara karşılık gelir.

$$A \cup B = \{4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 18, 20, 13, 14, 17, 19\} \quad (6.15)$$

6.2.3.3. İki kümenin kesişimi

İki kümenin kesişimi “ $\cap$ ” işareti ile ifade edilir. İki kümede ortak olarak bulunan elemanlara karşılık gelir.

$$A \cap B = \{8, 9, 10, 15, 18, 20\} \quad (6.16)$$

6.2.3.4. Bir kümenin tümleyeni

Bir kümede belirli elemanlar sınır dışı bırakılmak istenirse, bu uygulama tümleyen işlemi ile gerçekleştirilir. A'nın tümleyen kümesi öyle elemanlardan meydana gelir ki elemanlar A

kümesinin dışındaki elemanlardır. A kümesi için tümleyen işlemi A' yada $\bar{A}$ işaretleriyle ifade edilebilir. Buna göre A' 'nın tümleyeni

$$\bar{A} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 16\} \quad (6.17)$$

6.2.4. Klasik kümelerde diğer özellikler

- **Değişme özelliği**

$$A \cup B = B \cup A \quad (6.18)$$

$$A \cap B = B \cap A \quad (6.19)$$

- **Birleşme özelliği**

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C) \quad (6.20)$$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C) \quad (6.21)$$

- **Dağılma özelliği**

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C) \quad (6.22)$$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C) \quad (6.23)$$

- **Çift negatiflik özelliği**

$$A = \overline{(\bar{A})} \quad (6.24)$$

- **De-Morgan kuralı**

$$\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B} \quad (6.25)$$

$$\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B} \quad (6.26)$$

- **Tekrarlama kuralı**

$$A \cup A = A \quad (6.27)$$

$$A \cap A = A \quad (6.28)$$

6.2.4. Bulanık Kümeler

6.2.4.1. Bulanık kümelerde tanımlama yöntemleri

Klasik kümeler karakteristik fonksiyonlarla ifade edilmelerine karşılık bulanık kümelerde ise üyelik fonksiyonu ile tanımlama söz konusudur. Üyelik fonksiyonları ise verilen kümelerin elemanları için çeşitli üyelik derecelerini içeren fonksiyonlardan ibarettir.

- **Sıralı ikili ile gösterim yöntemi**

X genellikle x'le gösterilen evrensel küme olmak üzere, X üzerinde tanımlanan A bulanık kümesi sıralı ikililerden oluşan bir küme olarak ifade edilebilir.

$$X = \{ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \dots x_n \} \quad (6.29)$$

$$A = \{ (x \mid \mu_{A(x)} \mid x \in X) \} \quad (6.30)$$

Bu gösterimde birinci kısım elemanı, ikinci kısım ise elemanın üyelik derecesini ifade eder.

$$X = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \} \quad (6.31)$$

sonlu bir domen olmak üzere A bulanık kümesi;

$$A = \{ (1, 0.1), (2, 0.3), (3, 0.9), (4, 1.0), (5, 0.8), (6, 0.6), (7, 0.3) \} \quad (6.32)$$

şeklinde ifade edilir.

Çizelge 6.1. A bulanık kümesinin gösterimi

X	1	2	3	4	5	6	7
$\mu_A(x)$	0.1	0.3	0.9	1.0	0.8	0.6	0.3

- **Toplam formunda gösterim yöntemi:**

X bir evrensel küme ve A ise bu küme üzerinde tanımlanan bir bulanık küme olmak üzere;
X'in sonlu bir küme olması durumunda

$$X = \{ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \dots x_n \} \quad (6.33)$$

$$A = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (6.34)$$

şeklinde ifade edilir. X'in sürekli olması durumunda;

$$A = \int_x \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (6.35)$$

ile gösterilir. Bir örnek ile ifade edilirse,

A= "10'a yakın doğal sayılar" kümesi olmak üzere;

$$A = \left\{ \frac{0.1}{7} + \frac{0.5}{8} + \frac{0.8}{9} + \frac{1.0}{10} + \frac{0.8}{11} + \frac{0.5}{12} + \frac{0.1}{13} \right\} \quad (6.36)$$

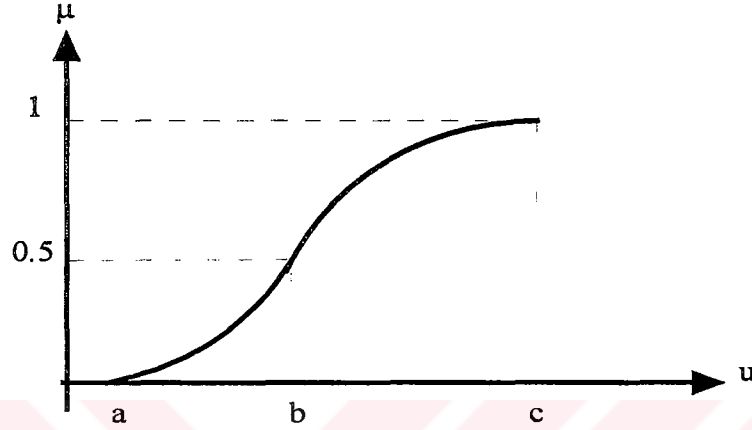
olarak gösterilir.

Bu yöntemde "/" ve "+" işaretleri matematiksel anlam ifade etmemektedir. Sadece bulanık kümelerin gösteriminde kullanılan notasyonlardan ibarettirler. "Σ" işlem yapılan domenin kesikli (sonlu), "∫" işareti ise işlem yapılan domenin sürekli (sonsuz) olduğunu ifade eder. Ayrıca bu iki işaret bulanık küme elemanlarının genel manada bir araya getirildiğinin de bir ifadesidir.

6.2.4.2. Önemli üyelik fonksiyon şekilleri

Üyelik fonksiyonları için kullanılan şekiller ele alınan durumlara göre farklılık gösterebilir. Aşağıda en çok kullanılan ve büyük öneme sahip üyelik fonksiyon şekilleri ifade edilmiştir.

- S üyelik fonksiyonu:



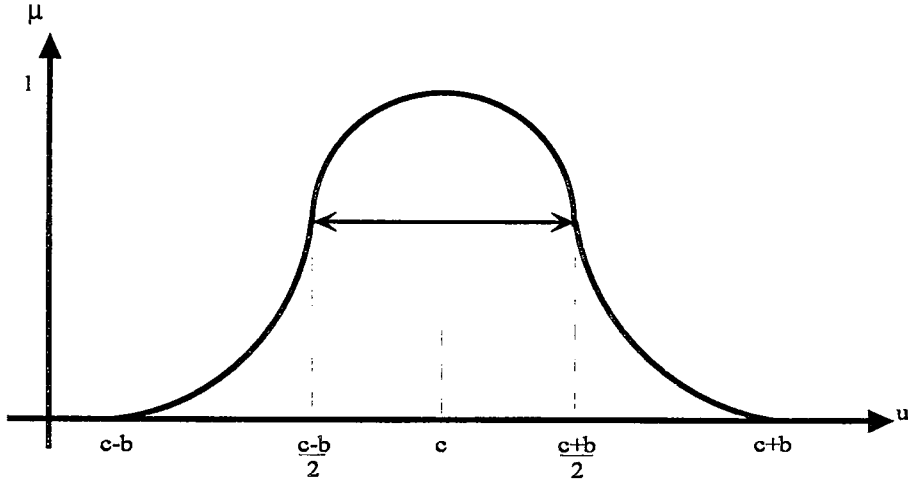
Şekil 6.3. S üyelik fonksiyonunun gösterimi

$$S(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2 * \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^2 & a \leq x \leq b \\ 1 - 2 * \left(\frac{x-c}{c-a} \right)^2 & b \leq x \leq c \\ 1 & x > c \end{cases} \quad (6.37)$$

- Çan fonksiyonu (Π)

$$\Pi(u; a, b, c) = \begin{cases} S(u, c-a, \frac{c-b}{a}, c) & u > c \\ S(u, c-a, \frac{c+b}{a}, c) & u < c \end{cases} \quad (6.38)$$

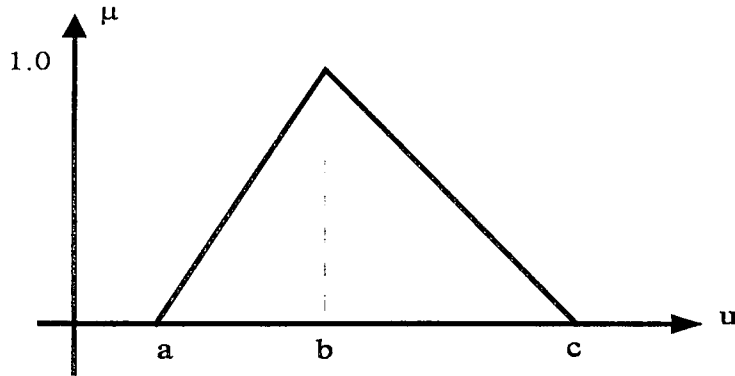
Bu fonksiyon iki adet “s” fonksiyonu gibi düşünülebilir.



Şekil 6.4. Çan üyelik fonksiyonunun gösterimi

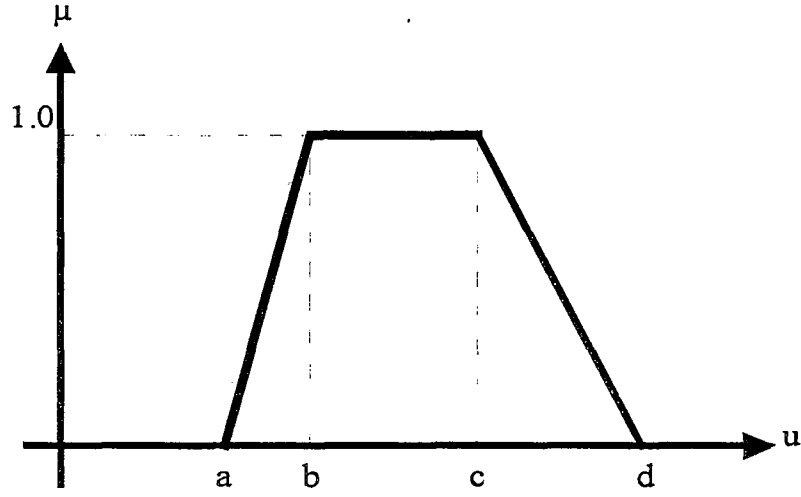
- Üçgen fonksiyonu

$$\tilde{U}(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ \frac{c-u}{c-b} & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \quad (6.39)$$



Şekil 6.5. Üçgen üyelik fonksiyonu gösterimi

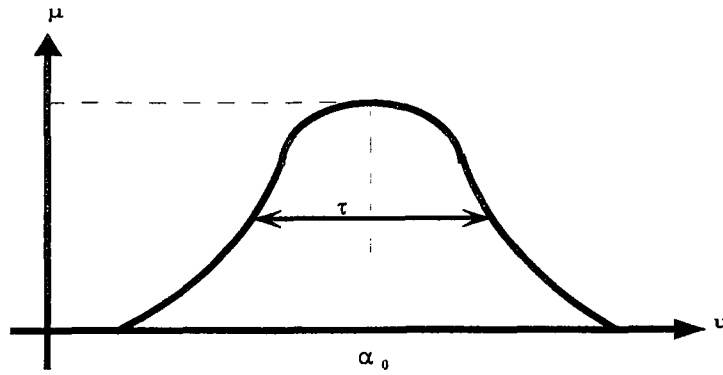
- Yamuk üyelik fonksiyonu



Şekil 6.6. Yamuk üyelik fonksiyonunun gösterimi

$$Y(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u < b \\ 1 & b \leq u < c \\ \frac{c-u}{d-c} & u > c \\ 0 & u > d \end{cases} \quad (6.40)$$

- Exponansiyel üyelik fonksiyonu



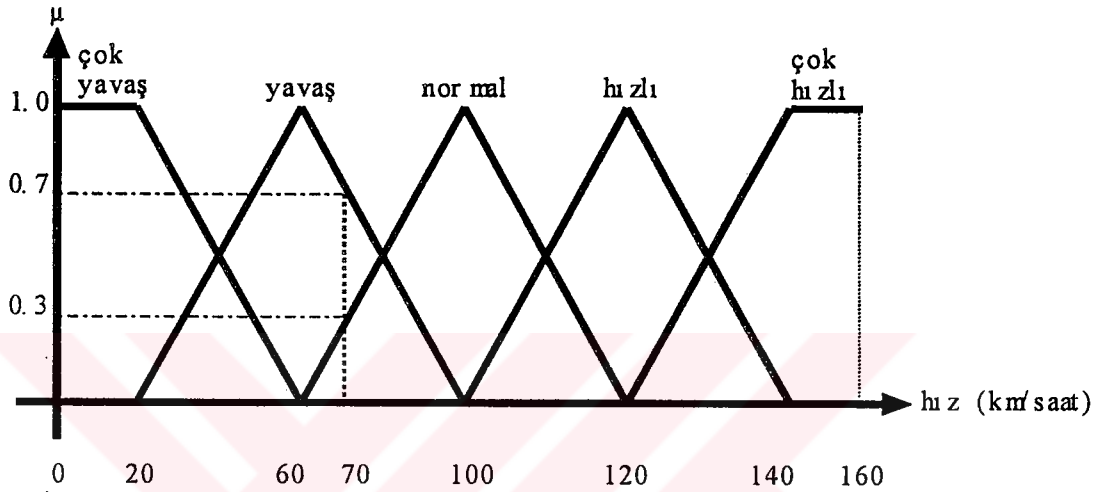
Şekil 6.7. Exponansiyel üyelik fonksiyonunun gösterimi

$$E(u; \alpha, \alpha_0, \tau) = e^{\left(\frac{\alpha - \alpha_0}{\tau}\right)^2} \quad (6.41)$$

6.2.4.3. Bulanık kümelere ilişkin temel kavramlar

- Dilsel niceleyiciler

Bulanık kümelere ait en önemli dilsel niceleyiciler “dilsel değişken” ve “dilsel değerler” kavramlarıdır. Bunları bir örnekte ifade edecek olursak;



Şekil 6.8. Dilsel niceleyicilerin ifade edilmesi

Şekil 6.8’de bir otomobile ait hız ifade edilmiştir. Burada “hız” kelimesi [0-160] km/saat sayısal değerlerini alabilen bir dilsel değişkendir. Üyelik fonksiyonlarının üzerinde yazılı değerler ise “çok yavaş”, ... , “çok hızlı” olarak isimlendirilen dilsel değerlerdir. Şekil 6.8 üzerinde 70 km/saat değerini ele alacak olursak bu değer hem “yavaş” ve hem de “normal” üyelik fonksiyonlarını keser ve her bir üyelik fonksiyonuna belirli bir üyelik derecesi ile katılır.

Dilsel değere ait keskin bir değer bulanıklaştırma adı verilen yöntemle bulanık olarak işlem yapılabilecek bir duruma dönüştürülür. Bulanık kümelere ait dilsel değerler kesin değerlerin üyelik derecelerinden meydana gelir.

- **Bir bulanık kümenin desteği**

Bir bulanık kümede üyelik dereceleri 0'dan büyük olan bütün noktalara o kümenin desteği denir.

$$\text{Destek}(A) = \{x \mid \mu_{A(x)} > 0\} \quad (6.42)$$

olarak ifade edilir.

- **Bir bulanık kümenin çekirdeği**

Bir bulanık kümede üyelik dereceleri 1'e eşit olan bütün noktaların kümesine o kümenin çekirdeği denir.

$$\text{Çekirdek}(A) = \{x \mid \mu_{A(x)} = 1\} \quad (6.43)$$

olarak ifade edilir.

- **Bir bulanık kümenin normalitesi**

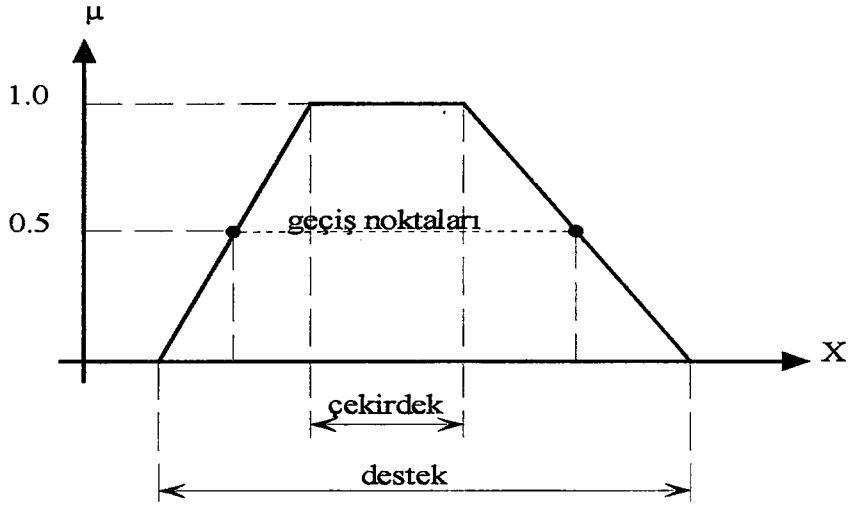
Bir bulanık kümenin çekirdeğini oluşturan küme boş küme değilse bu kümeye "normal bulanık küme" denir.

$x \in X \Rightarrow$ en azından bir x elemanı için $\mu_A(x) = 1$ olmalıdır.

- **Bir bulanık kümenin geçiş noktaları**

Bir bulanık kümede üyelik derecesi 0.5 olan noktalara bu bulanık kümenin geçiş noktaları denir.

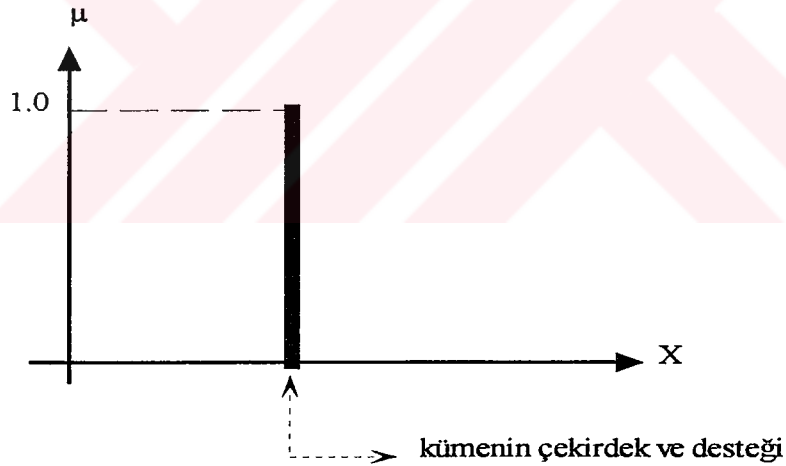
$$\text{Geçiş}(A) = \{x \mid \mu_A(x) = 0.5\}$$



Şekil 6.9. Bir bulanık kümede geçiş noktaları, çekirdek ve desteğin ifade edilmesi

- **Tek bulanık küme**

Destegi tek bir nokta ve bu noktanın üyelik derecesi $\mu_A(x)=1$ olan bulanık kümeye bu bulanık kümenin tekliği denir. Bu özellikleri şekil üzerinde ifade edecek olursak;



Şekil 6.10. Tek bir bulanık kümede teklik, çekirdek ve desteğin ifade edilmesi

- **α – düzeyli bulanık küme**

Bir bulanık kümede α üyelik derecesinden büyük ve buna eşit üyelik derecelerine sahip düzeye “ α -kesimi” yada “ α -düzeyli” bulanık küme adı verilir. Eğer α üyelik derecesinden tamamen büyüklük söz konusu ise yani $\alpha < \mu_A(x)$ durumu geçerli ise elde edilen kümeye “güçlü α -kesimi” yada “güçlü α -düzeyli” bulanık küme adı verilir ve

$$A_{\alpha} = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (6.45)$$

$$A_{\alpha}^I = \{x \in X \mid \mu_A(x) > \alpha\} \quad (6.46)$$

ile ifade edilirler.

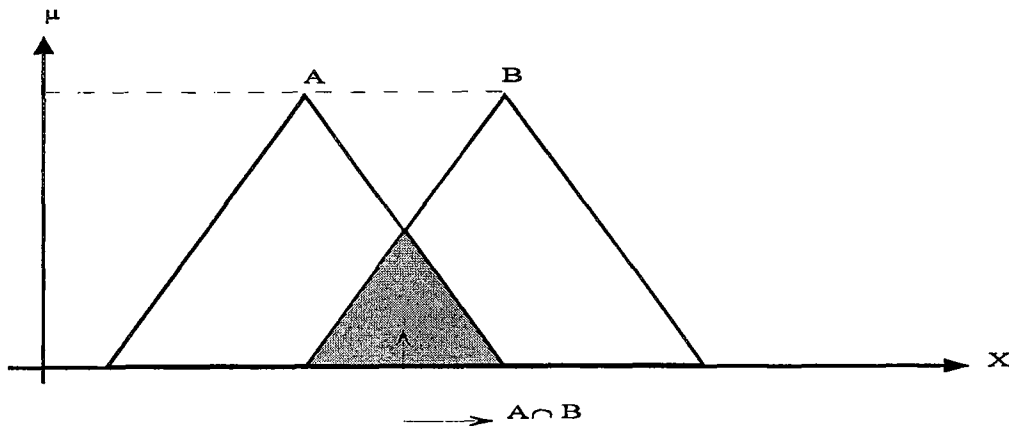
6.2.4.4. Bulanık kümelerde temel küme işlemleri

Klasik kümelerde olduğu gibi bulanık kümelerde de bir takım işlemlerden bahsetmek mümkündür. Üyelik fonksiyonları kuşkusuz bir bulanık kümenin en önemli özelliklerindendir. Dolayısıyla bulanık kümelerde kullanılan temel küme işlemlerinin en önemli öğeleri üyelik fonksiyonlarıdır.

- İki bulanık kümenin kesişimi

A, B ve C bulanık kümeler olmak üzere A ve B bulanık kümelerinin kesişimi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$C = A \cap B \Rightarrow \mu_C(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \rightarrow x \in X \quad (6.47)$$

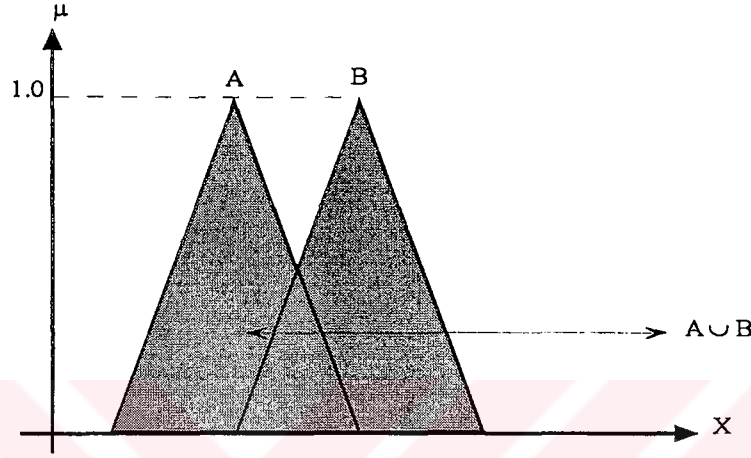


Şekil 6.11. İki bulanık kümenin kesişimi

- İki bulanık kümenin birleşimi

A, B ve D bulanık kümeler olmak üzere A ve B bulanık kümelerinin birleşimi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$D = A \cup B \Rightarrow \mu_D(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \rightarrow x \in X \quad (6.48)$$

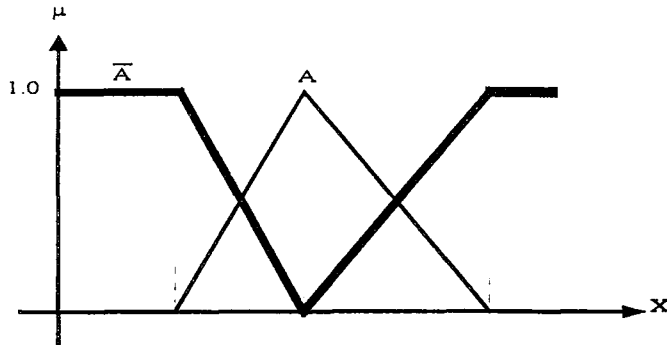


Şekil 6.12. İki bulanık kümenin birleşimi

- Bir bulanık kümenin tümleyeni

A bulanık küme olmak üzere; A'ya ait elemanların üyelik derecelerinin 1'den çıkarılmasıyla elde edilen kümeye A bulanık kümesinin tümleyeni denir ve $\bar{A}$ ya da A^c ile ifade edilir.

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \rightarrow x \in X \quad (6.49)$$



Şekil 6.13. Bir bulanık kümenin tümleyeni

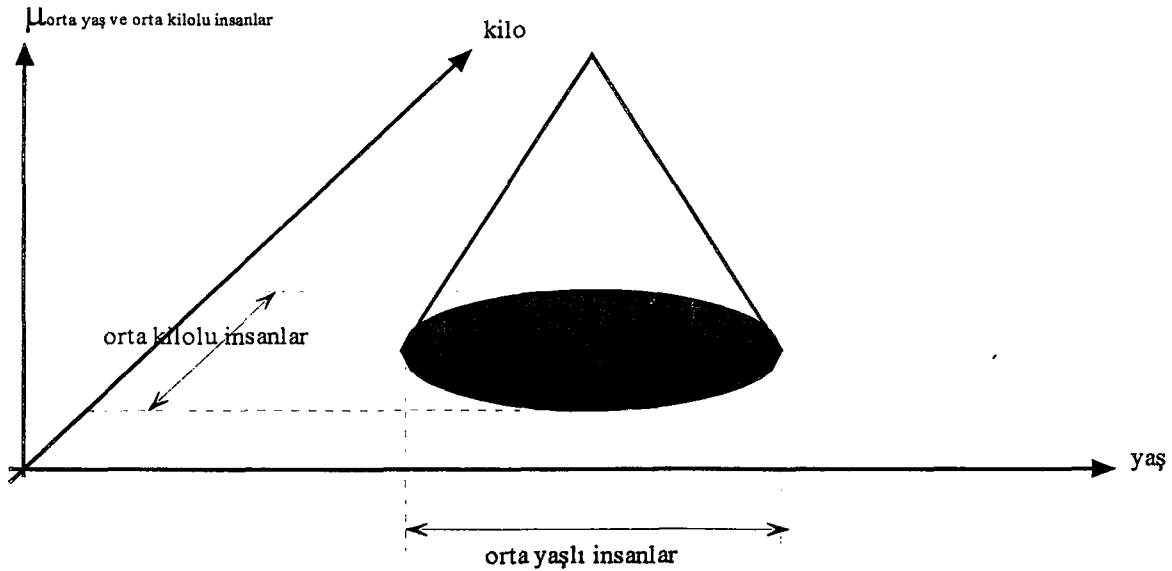
6.2.4.5. Bulanık bağıntılar (ilişkiler)

Bulanık kümelerde ifade edilen bağıntılar klasik küme teorisindeki bağıntıların geliştirilmiş yada genişletilmiş şekilleridir. Klasik kümelerde bağıntılar kümelerle ifade edilirler aynı durum bulanık kümeler için de geçerlidir.

Bulanık bağıntı çok boyutlu uzayda bulunan bir bulanık kümedir (Kartezyen ya da çarpım uzayında olduğu gibi). Örneğin, bir toplantı salonunda bulunan insanlar yaş ve kilo bakımından kümeler bölünür. Bulanık kümelerden “orta kilolu insanlar” ile “orta yaşlı insanlar” kümeleri arasında “orta yaşlı ve orta kilolu insanlar” bağıntısı ele alınırsa elde edilen kümenin de çok boyutlu uzayda bir bulanık küme meydana getirdiği aşağıdaki şekilde açık olarak görülebilir.



Şekil 6.14. Orta yaşlı insanlar ve orta kilolu insanlara ait bulanık küme gösterimi



Şekil 6.15. Hem orta yaşlı ve hem de orta kilolu insanları ifade eden bulanık küme ifadesi

Bulanık bağıntılar kartezyen çarpım uzayında ifade edilebilir. n Boyutlu bir bulanık bağıntı kartezyen uzayında aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, \dots, X_n \Rightarrow$ Bulanık kümeler

$X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4 \times X_5 \times \dots \times X_n \Rightarrow$ Kartezyen çarpım uzayı

olmak üzere sürekli kümelerin meydana getirdiği bulanık bağıntı;

$$R = \int_{X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n} \frac{\mu_R(X_1, X_2, \dots, X_n)}{(X_1, X_2, \dots, X_n)} \quad (6.50)$$

$$\mu_R : X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, \dots, X_n \Rightarrow [1.0, 0.0] \quad (6.51)$$

$$\mu_R(X_1, X_2, \dots, X_n) = \begin{cases} 1 & (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (6.52)$$

Yukarıdaki genelleme aynı zaman da sonlu bulanık kümeler için de geçerlidir. İki adet sonlu kümeden meydana gelen bulanık bağıntıyı inceleyecek olursak;

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (6.53)$$

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\} \quad (6.54)$$

X ve Y kümeleri arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} x_1 & x_2 & \vdots & x_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} y_1 & y_2 & \cdots & y_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \mu_R(x_1, y_1) & \mu_R(x_1, y_2) & \cdots & \mu_R(x_1, y_n) \\ \mu_R(x_2, y_1) & \mu_R(x_2, y_2) & \cdots & \mu_R(x_2, y_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_R(x_n, y_1) & \mu_R(x_n, y_2) & \cdots & \mu_R(x_n, y_n) \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (6.55)$$

Burada elde edilen “ R ” matrisine “bağıntı yada bulanık matris” denir ve

$$R \subset X \times Y \quad (6.56)$$

şeklinde ifade edilir. Bulanık bağıntı olayını bir örnekle ifade edecek olursak;

$$E = \{\text{Türkiye'deki iller} \} \quad (6.57)$$

$$A = \{\text{Afyon, Edirne, İstanbul} \} \quad (6.58)$$

$$B = \{\text{Ağrı, Konya, Muş} \} \quad (6.59)$$

şeklinde verilen kümeler arasında “A kümesindeki şehirlerin B kümesindeki şehirlere yakınlığı” adlı bir bağıntı oluşturursak;

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Edirne} \\ \text{İstanbul} \\ \text{Afyon} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.6 & 0.4 & 0.1 \\ 0.7 & 0.5 & 0.2 \\ 1.0 & 0.6 & 0.3 \end{bmatrix} \\ & \begin{matrix} \text{Konya} \\ \text{Muş} \\ \text{Ağrı} \end{matrix} & \end{matrix} \quad (6.60)$$

şeklinde bağıntı matrisi elde edilebilir.

Bu matrise “aralarındaki mesafe 400 km’den küçük iller” sınırlamasını getirecek olursak;

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Edirne} \\ \text{İstanbul} \\ \text{Afyon} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} \\ & \begin{matrix} \text{Konya} \\ \text{Muş} \\ \text{Ağrı} \end{matrix} & \end{matrix} \quad (6.61)$$

(6.61)’deki gibi “1” ve “0” lardan meydana gelen ve “Boolean Matrisi” de denilen bağıntı matrisi elde edilmiş olur.

6.2.4.6. Bulanık bağıntılarda izdüşüm ve silindirik genişletme

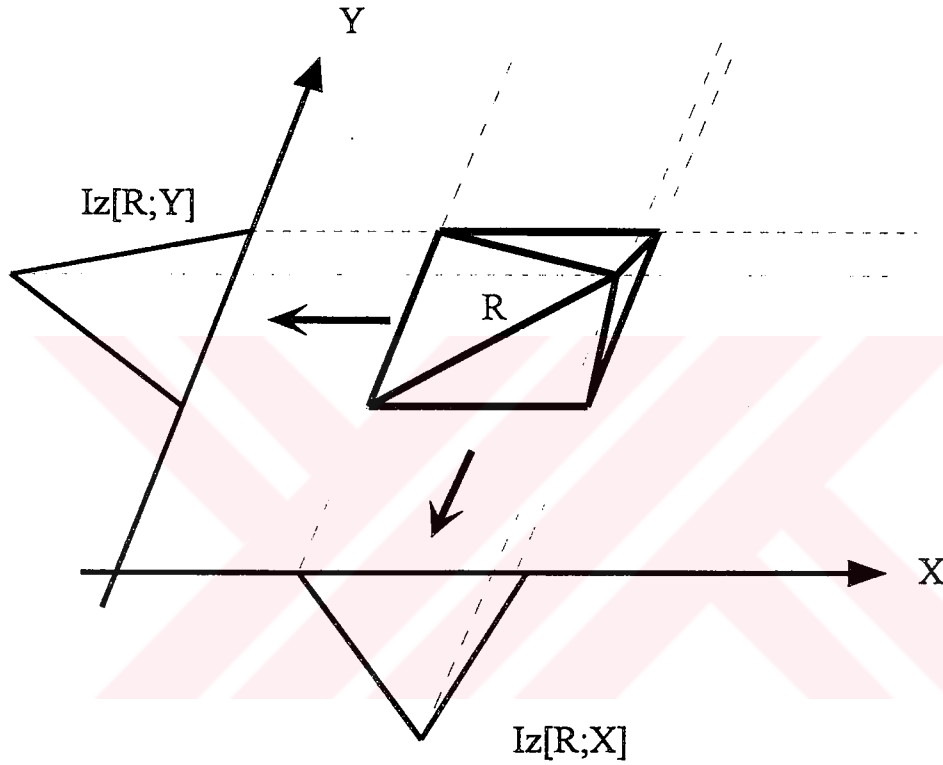
Bulanık bağıntılarda temel işlemlerin yapılmasını sağlayan en temel kavramlar izdüşüm ve silindirik genişletme kavramlarıdır.

6.2.4.6.1. İzdüşüm

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (6.62)$$

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\} \quad (6.63)$$

R bağıntısı $X \times Y$ Kartezyen çarpım uzayında tanımlanmak üzere R bağıntısının X üzerindeki izdüşümünü veren bulanık küme,



Şekil 6.16. Bir bulanık bağıntının izdüşümü ve silindirik genişletmesi

$$Iz[R; X] = \sum_{i=1}^n \left(\left\{ \max_{y_i \in Y} \mu_R(x_i, y_i) \right\} / x_i \right) \quad (6.64)$$

şeklinde ve aynı zamanda R bağıntısının Y üzerindeki izdüşümünü veren bulanık küme,

$$Iz[R; Y] = \sum_{i=1}^n \left(\left\{ \max_{x_i \in X} \mu_R(x_i, y_i) \right\} / y_i \right) \quad (6.65)$$

şeklinde ifade edilir.

6.2.4.6.2. Silindirik genişletme

X üzerinde A bulanık kümesi tanımlanmak üzere, A kümesinin X x Y kartezyen uzayında silindirik genişletmesi

$$S(A) = \begin{matrix} & \begin{matrix} x_1 & x_2 & \vdots & x_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} y_1 & y_2 & \cdots & y_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \mu_A(x_1) & \mu_A(x_2) & \cdots & \mu_A(x_n) \\ \mu_A(x_1) & \mu_A(x_2) & \cdots & \mu_A(x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_A(x_1) & \mu_A(x_2) & \cdots & \mu_A(x_n) \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (6.66)$$

şeklindedir. Aynı şekilde Y üzerinde tanımlanan B kümesinin X x Y kartezyen çarpım uzayındaki silindirik genişletmesi ise

$$S(B) = \begin{matrix} & \begin{matrix} x_1 & x_2 & \vdots & x_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} y_1 & y_2 & \cdots & y_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \mu_B(y_1) & \mu_B(y_2) & \cdots & \mu_B(y_n) \\ \mu_B(y_1) & \mu_B(y_2) & \cdots & \mu_B(y_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_B(y_1) & \mu_B(y_2) & \cdots & \mu_B(y_n) \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (6.67)$$

olarak ifade edilir.

İzdüşüm ve silindirik genişletme işlemini sonlu iki bulanık küme üzerinde incelenirse;

$$X = \{x_1, x_2, x_3\} \quad (6.68)$$

$$Y = \{y_1, y_2, y_3\} \quad (6.69)$$

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} x_1 & x_2 & x_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} y_1 & y_2 & y_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.6 & 1.0 & 0.3 \\ 0.5 & 0.2 & 0.8 \\ 0.1 & 0.4 & 0.7 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (6.70)$$

R bağıntısının X üzerindeki izdüşümü

$$\dot{I}z[R;X] = \frac{\max(0.6, 1.0, 0.3)}{x_1} + \frac{\max(0.5, 0.2, 0.8)}{x_2} + \frac{\max(0.1, 0.4, 0.7)}{x_3} \quad (6.71)$$

$$\dot{I}z[R;X] = \frac{1.0}{x_1} + \frac{0.8}{x_2} + \frac{0.8}{x_3} \quad (6.72)$$

R bağıntısının Y üzerindeki izdüşümü

$$\dot{I}z[R;Y] = \frac{\max(0.6, 0.5, 0.1)}{y_1} + \frac{\max(1.0, 0.2, 0.4)}{y_2} + \frac{\max(0.3, 0.8, 0.7)}{y_3} \quad (6.73)$$

$$\dot{I}z[R;Y] = \frac{0.6}{y_1} + \frac{1.0}{y_2} + \frac{0.8}{y_3} \quad (6.74)$$

X kümesinin silindirik genişletilmesi;

$$S(X) = \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.7 & 0.7 & 0.7 \end{bmatrix} \begin{matrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{matrix} \quad (6.75)$$

X kümesinin silindirik genişletilmesi;

$$S(X) = \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0.6 & 1.0 & 0.8 \\ 0.6 & 1.0 & 0.8 \\ 0.6 & 1.0 & 0.8 \end{bmatrix} \begin{matrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{matrix} \quad (6.76)$$

6.2.4.7. Bulanık Bağıntılar

Etkin bir kontrol çalışması için, sistem girişleri ile çıkışları arasında bir ilişki (bağıntı) oluşturmak gerekir. Bu tür bir ilişki, Bulanık koşullu bir önerme kullanılarak sağlanabilir. Sırasıyla farklı U ve Y söylem evrenlerindeki bulanık A giriş değişkeniyle, bulanık B çıkış değişkeni arasındaki koşullu önerme, dilsel bir önermeyle verilir.

$A \rightarrow B$ veya EĞER A O HALDE B

Bu önerme şöyle okunur. {giriş şartı A}, {çıkış şartı B}'yi gerektirir. Burada A neden, B ise sonuçtur. Bir otomobil sistemi için dilsel gerektirme bağıntısına bir örnek yakıt ve hız için şu şekilde olsun :

EĞER {giren yakıt çok} O HALDE {hız 60 km/saat'ten büyüktür.}

Giren yakıt çok ise; hız 60 km/ssat'ten büyüktür.

Bu gerektirmeli bağıntı "R" ; A ve B kümelerinin kartezyen çarpımı.

$$R = A \times B$$

olarak gösterilir. Sonlu kümeler için R aşağıda gösterilen üyelik fonksiyonuna sahiptir.

$$\mu_R(u,y) = \mu_{A \times B}(u,y) = \min [\mu_A(u) , \mu_B(y)] , \quad u \in U \text{ ve } y \in Y \quad (6.77)$$

Alternatif olarak, sürekli diziler için

$$R = A \times B = \int_{U \times Y} \frac{\mu_A(u) \cap \mu_B(y)}{(u,y)}$$

Yukarıdaki eşitlik genellikle matris biçimindedir. Bundan dolayı

$$R = A \times B = \sum_{U \times Y} \frac{\mu_A(u) \cap \mu_B(y)}{(u,y)}$$

yada

$$A \times B = \begin{bmatrix} \min[\mu_A(u_1), \mu_B(y_1)] & \dots & \min[\mu_A(u_1), \mu_B(y_n)] \\ \min[\mu_A(u_m), \mu_B(y_1)] & \dots & \min[\mu_A(u_m), \mu_B(y_n)] \end{bmatrix} \quad (6.78)$$

Burada $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ ve $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$

Bu gerektiren bağıntıların anlamını göstermek için, aşağıdaki bulanık koşullu önerme düşünülebilir.

IF {A küçükse} THEN {B büyük}

Değişik söylem evreni U ve Y' deki A ve B bulanık kümeleri

$$A = \frac{0}{0} + \frac{0}{2} + \frac{0.1}{4} + \frac{0.3}{6} + \frac{0.6}{8} + \frac{1}{10}$$

$$B = \frac{0.3}{0} + \frac{0.6}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{0.6}{8} + \frac{0.3}{10}$$

şeklinde olsun.

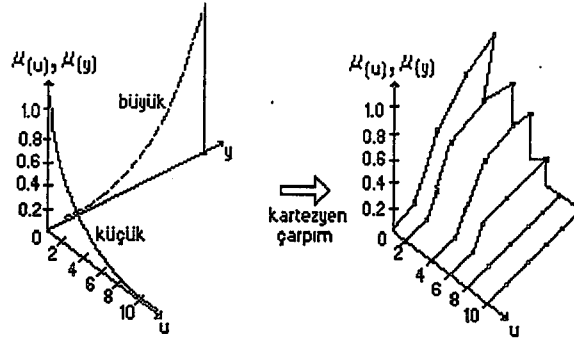
Böylece (6.78) denklemi kullanılarak

$$A \times B = \begin{bmatrix} \min(1,0) & \min(1,0) & \dots & \min(1,0.6) & \min(1,1) \\ \min(0.6,0) & \min(0.6,0) & \dots & \min(0.6,0.6) & \min(0.6,1) \\ \min(0.3,0) & \min(0.3,0) & \dots & \min(0.3,0.6) & \min(0.3,1) \\ \min(0,0) & \min(0,0) & \dots & \min(0,0.6) & \min(0,1) \\ \min(0,0) & \min(0,0) & \dots & \min(0,0.6) & \min(0,1) \\ \min(0,0) & \min(0,0) & \dots & \min(0,0.6) & \min(0,1) \end{bmatrix}$$

$$A \times B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0.6 & 1 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0.6 & 0.6 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6.79)$$

(6.79) eşitliğindeki bağıntı matrisi, “ $A \times B$ ” nin kartezyen çarpımı kullanılarak türetilebilir.

Bu ilişki aşağıdaki şekilde (şekil 6.17) görülmektedir. Şekilde matrisin satırlarının yüzey parçalarına denk geldiği görülmektedir.



Şekil 6.17. Bulanık bağıntıların kapsamı

Bulanık koşullu bir önerme ikiden fazla farklı söylem evreni içerebilir. Üç farklı söylem evreni düşünelim. U, Y ve W söylem evrenlerine karşılık düşen A, B ve C bulanık kümeleri olsun.

EĞER {A} O HALDE {B} O HALDE {C}

Bulanık bağıntı :

$$R = A \times B \times C = \int_{U \times Y \times W} \frac{\mu_A(u) \cap \mu_B(y) \cap \mu_C(w)}{(u, y, w)} \quad (6.80)$$

Bu ifade üç boyutlu bir ilişki matrisi olarak ifade edilir.

$$A \times B \times C = \sum_{U \times Y \times W} \frac{\mu_A(u) \cap \mu_B(y) \cap \mu_C(w)}{(u, y, w)} \quad (6.81)$$

Bir denetim stratejisinin formülasyonu sırasında, her biri R^i bulanık kümesine sahip olan, birkaç bulanık koşullu önermenin kombinasyonunu oluşturmak gerekir. Bu durumda, bütün bağıntıyı teşkil etmek için tek R^i değerlerini birleştirmek gerekir. Dolayısıyla

$$R = R^1 + R^2 + \dots + R^N$$

Burada R^i ; I. kural tarafından oluşturulmuş bulanık kümedir. N kuralların sayısıdır. Bu durumda belli bir sayıda koşullu önerme, uygun denetimi sağlayabilir. Her düşünülen durum için bir kural kullanmak pratik değildir. O sebepten birleşik çıkarım kuralı (composition rule of inference) kullanılır.

Bu özellik, açık olmayan (belirsizliği olan) durumları, programlanmış yasalardan uygun kararlar çıkararak değerlendirilmesini sağlar. $R = A \times B$ verilmiş bir bulanık bağıntı olsun ve A^I , A 'nın bir bulanık küme değeri olup, birleşik çıkarım yasası kullanılarak B^I değerini kullanmak için bağıntı kullanılır. B^I nün çıkarımı şu şekildedir.

$$B^I = A^I \circ R = A^I \circ (A \times B) \quad (6.82)$$

Burada “o” maks. - min. çarpımını göstermektedir. B^I çıkış bulanık alt kümesinin üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{B^I}(y) = \max_u \min[\mu_{A^I}(u), \mu_{R^I}(u, y)] \quad (6.83)$$

6.2.4.8. Normal bulanık küme

Üyelik fonksiyon derecesi 1 olan bir A bulanık kümesine, normal bulanık küme denir. Başka bir deyişle,

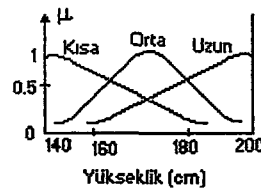
$$\max_{x \in X} \mu_A(x) = 1$$

Yukarıdaki formülle ifade edilen bulanık kümelere, “normal bulanık küme” denir.

2.6.4.9. Konveks bulanık küme

Bir destek kümesi, gerçek bir sayı kümesi olduğu zaman ve herhangi bir $[a, b]$ aralığında tüm $x \in [a, b]$ için aşağıdaki formül geçerli ise A bulanık kümesi, konvektir (Şekil 6.18).

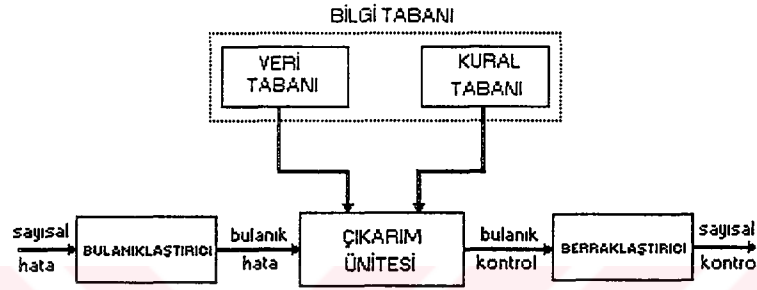
$$\mu_A(x) \geq \mu_A(a) \wedge \mu_A(b)$$



Şekil 6.18. Konveks Kümeler

6.2.5. Bulanık kontrol algoritması

Bulanık kontrolörün dayandığı temel nokta; uzman bir sistem operatörünün bilgi, deneyim, sezgi ve kontrol stratejisini, kontrolör tasarımında bilgi tabanı olarak oluşturmaktır. Kontrol işlemleri, karmaşık ve klasik kontrol algoritmaları ile değil de bilgi ve deneyime dayanan sözel kurallarla gerçekleştirilir. Örneğin bir uzman, sistem için gerekli kontrol davranışlarını, “küçük”, “hızlı”, “yavaş” gibi sözel bulanık terimlerini içeren komut kümesi ile temsil eder. Bu komut kümeleri “EĞER - İSE” (If - Then) kuralları yardımıyla oluşturulur.



Şekil 6.19. Bulanık kontrol algoritmasının blok diyagramı

Şekil 6.19’da bulanık kontrolörün iç yapısı görülmektedir. Bulanık kontrolör genel olarak 5 ana bölümden oluşur.

1. Kontrol kurallarını ihtiva eden “kural tabanı”
2. Kural tabanında kullanılan dilsel ifadelerin üyelik fonksiyonlarını tanımlayan bir “veri tabanı”
3. Bulanık kontrol kurallarını değerlendiren “çıkarım ünitesi”
4. Sensörlerden alınan kesin sistem bilgilerini bulanık bilgiye dönüştüren “bulanıklaştırma birimi”
5. Bulanık kontrol işaretini sayısal değere çevirerek sisteme uygulayan “berraklaştırma birimi”

Temel olarak bir bulanık kontrolör sistemi, kontrol işaretini belirleyecek çıkarım ünitesi ve bir dizi kontrol kurallarından oluşur. Kontrol kuralları; bulanık kontrol girişlerini, bulanık kontrol çıkışlarına bağlayan bulanık ifadelerdir. Çıkarım ünitesi, bulanıklaştırıcı çıkışını, kural tabanındaki bulanık kurallarla karşılaştırarak, istenen sistem cevabı için gerekli bulanık kontrol davranışını tespit eder.

6.2.5.1. Bulanıklaştırma bloğu

Bu blokta giriş olarak kabul edilen gerçek dünyaya ait işaretler bulanık kontrol sisteminin kullanabileceği bulanık sinyallere çevrilirler. İlk olarak giriş değişkenlerine ait değerler eğer gerekiyorsa bir giriş ölçeklendirme faktörü ile çarpılarak gerçek kümelerle dönüştürülürler.

- Bulanık Çıkartım; farklı evrensel kümelerde tanımlanan büyüklükler üzerindeki keskin olmayan ifadeler “ve” ya da “veya” bağlayıcıları ile temel kümelerin çapraz çarpımı ile bulanık bağıntıya aktarılır.

Bu durumu bir örnekle ifade edecek olursak;

X ve Y evrensel kümeler olmak üzere x 'in y 'ye yaklaşık eşit ($x \approx y$) durumu için geçerli olan çiftlere ait (x, y) kümesi tanımlansın. Keskin olmayan $\approx$ operatöründen dolayı bulanık bağıntı denklem (6.84)' deki gibi verilebilir.

$$R: x \approx y \quad (6.84)$$

R		y			
		3	4	5	6
x	1	0.4	0.1	0.0	0.0
	2	0.7	0.4	0.1	0.0
	3	1.0	0.7	0.4	0.1
	4	0.7	1.0	0.7	0.4

(6.85)

Farklı evrensel kümelerde tanımlanmış bulanık kümelerin birleştirilmesi (bağlanması) ile bulanık bağıntılar oluşur. Mesela;

IF $x = \text{az}$ AND $y = \text{çok}$ THEN <sonuç>

EĞER $x = \text{az}$ VE $y = \text{çok}$ İSE <sonuç>

Şeklindeki bir IF...THEN... kuralı dikkate alınacak olursa şartlar kısmını içeren ($x = \text{az}$ VE $y = \text{çok}$) ifadenin birbirine bir bağlaçla bağlandığı görülür. Şartları içeren ifade çözümlenecek olursa ; x için verilen “az” ifadesi x 'e ait kavramsal durumu ifade ederken , y için verilen “çok” ifadesi y 'ye ait kavramsal durumu ifade eder , farklı evrensel kümeler birbirleri ile ilişkiye girdiğinden dolayı “AND (VE)” bağlantısı ile iki kademeli bir bulanık bağıntı oluşturulur. Bulanık bağıntının üyelik fonksiyonu “AND (VE)” işleminin modellenmesi için MIN operatörü kullanılarak

$$\mu_R(x) = \min(\mu_{\text{az}}(x), \mu_{\text{çok}}(y)) \quad (6.86)$$

ifadesi elde edilir. Bu kısımda ise ilk olarak

EĞER $x=A$ İSE $y=B$ DİR

şeklindeki tek şartlı ve tek sonuçlu bir kural incelenecektir. Bulanık çıkartımda kullanılan yukarıdaki gibi bir kural genel manada “şart” ve “sonuç kısımlarından meydana gelir. Burada şart kısmı $x=A$, x değişkeninin A kavramsal ifadesi ile karakterize edilir. Sonuç kısmı ise $y=B$ şeklinde y değişkeninin B kavramsal ifadesi ile karakterize edilir. Kural , “EĞER x değişkeni A kavramsal ifadesine eşit İSE y değişkeni B kavramsal ifadesine eşit olmalıdır.” Şeklinde değerlendirilir. Burada A ve B kavramsal ifadeleri bulanık ifadeler olduklarından dolayı şartlar ve sonuç ifadeleri keskin olmayan ifadelerdir. Buna göre kural , bulanık çıkartım (implication) olarak ifade edilir ve

$$A \Rightarrow B \quad (6.87)$$

ile gösterilir. Klasik ifade mantığının tersine burada, şartlar kısmı “sadece doğru ya da sadece yanlış” değerleri ile ifade edilmeyip “daha doğru veya daha az doğru yada daha az yanlış” gibi ifade edildiğinden dolayı sonuç yargısında da “daha doğru veya daha az doğru yada daha az yanlış” gibi , duruma bağlı olarak değişen , çıkartım talimatına ihtiyaç vardır.

KURAL :EĞER $x=A$ İSE $y=B$ DİR

OLAY : x daha az ya da daha fazla A 'nın özelliğine sahiptir.

SONUÇ : x 'in durumuna bağlı olarak y de sonuç olarak B 'nin daha az ya da daha fazla özelliğine sahiptir.

Yukarıdaki kuralda “x” ve “y” gibi iki büyüklük ilişkiye girdiğinden dolayı, bu kural iki kademeli bir R bağıntısı ile bulanık küme matematiğinde ifade edilir. Bulanık bağıntı üyelik fonksiyonu $\mu_R(x, y)$, şart kısmına ait üyelik fonksiyonu $\mu_A(x)$ ve sonuç kısmına ait üyelik fonksiyonu $\mu_B(y)$ olarak dikkate alınır. Buradaki en önemli sorun üyelik fonksiyonlarının birleştirilmesinde hangi operatör tanımının dikkate alınacağıdır. Zira literatürde pek çok operatör tanımı yapılmıştır.

Yukarıdaki incelemelerde “Mamdani çıkartım metodu” adı verilen metot kullanılmıştır. Bu çıkartım metodunda sonuçta elde edilen çıkartım kavramının doğruluk değeri şartlar için elde edilen doğruluk değerine eşit olması ya da küçük olması kavramı ile çıkartım işlemi gerçekleştirilmektedir. Mesela, şartların üyelik derecesi ele alınan durum için 0.5 değerine karşılık geliyorsa, böyle bir durumda oluşması gereken sonuç çıkartım değerinin üyelik değeri en fazla 0.5 değerini göstermelidir. Buna göre kuralın $A \Rightarrow B$ üyelik fonksiyonu basitçe , her iki üyelik fonksiyonunun minimumunu veren “ve” bağlacının seçilmesi durumu ile ifade edilir.

$$\mu_{R:A \Rightarrow B}(x, y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (6.88)$$

Bulanık çıkartım işlemlerinde kullanılan bu kural, EĞER ... İSE ... ‘DİR formatının elde edildiği en çok kullanılan yöntemlerden biridir.

“MIN” operatörü yerine üyelik fonksiyonlarının cebirsel çarpımını çıkartım metodu olarak ele alan “MAX-PROD” metodu da en çok kullanılan metotlardan biridir. “MAX-PROD” çıkartım metodunun seçilmesi ele alınan duruma farklı bir anlam kazandırır. Çizelge 6.2’de literatürde sıkça karşılaşılan bazı çıkartım metotları ifade edilmiştir. Çıkartım olayını bir örnek kural üzerinde ifade edecek olursak ;

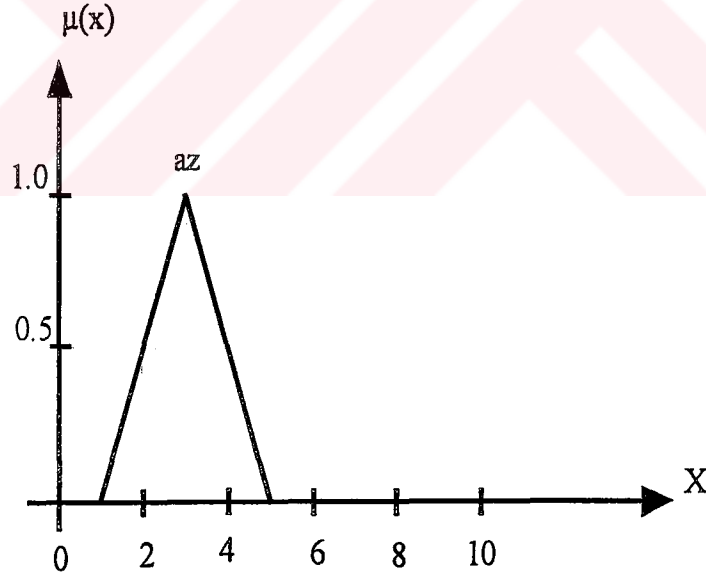
EĞER x=AZ İSE y=ÇOK’tur

$$\begin{aligned} X &= \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10\} \\ Y &= \{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11\} \end{aligned} \quad (6.89)$$

olarak verilen evrensel kümelerde aşağıdaki Şekil 6.20-21’deki “az” ve “çok” bulanık kümeleri tanımlanabilirler

Çizelge 6.2. Önemli çıkartım metotları

BULANIK ÇIKARTIM METODU	$\mu_{A \Rightarrow B}(x, y)$
MAMDANI (MAX-MİN)	$\text{MIN}(\mu_A(x), \mu_B(y))$
MAX-PROD	$(\mu_A(x) * \mu_B(y))$
ZADEH	$\text{MAX}[\text{MIN}(\mu_A(x), \mu_B(y)), 1 - \mu_A(x)]$
LUKASIEWICS	$\text{MIN}(1, 1 - \mu_A(x) + \mu_B(y))$
GÖDEL	$1 \rightarrow \mu_A(x) < \mu_B(y)$ $\mu_B(y) \rightarrow \text{diğer}$
KLEENE-DİENES	$\text{MAX}(1 - \mu_A(x), \mu_B(y))$
SHARP	$1 \rightarrow \mu_A(x) < \mu_B(y)$ $0 \rightarrow \text{diğer}$



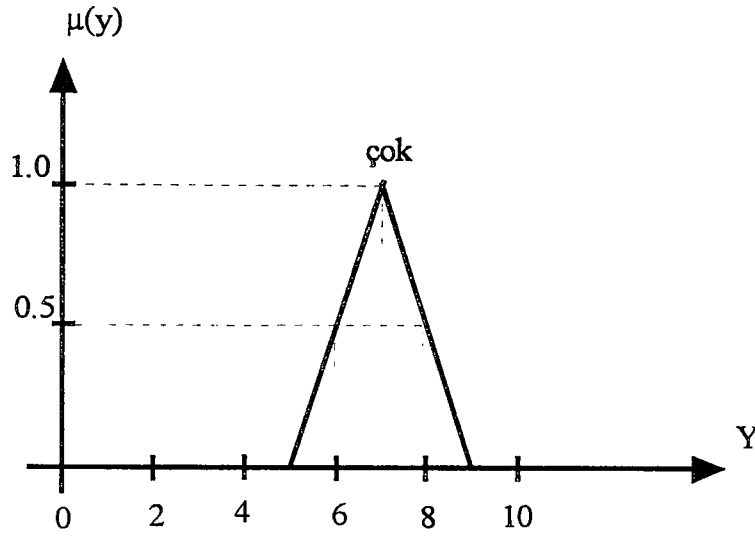
Şekil 6.20. Az bulanık kümesinin gösterimi

Bulanık bağıntıyı elde etmek için , bulanık kümeler amaca uygun olarak aşağıdaki gibi ayrıklaştırılabilirler. Ayrıklaştırma için belirli destek noktaları belirlenir. (1,2....gibi)

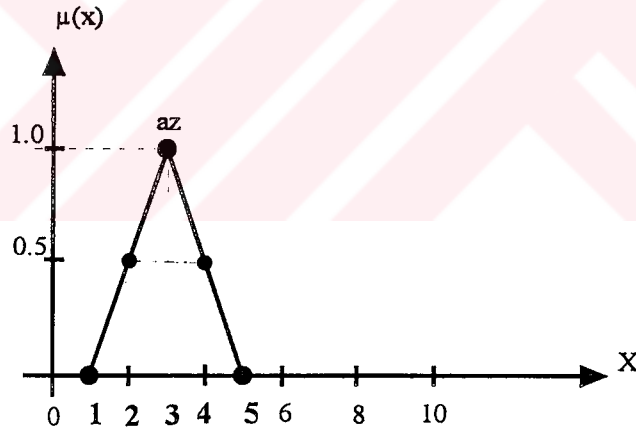
$$X_{az}(x) = A(x) = \left\{ \frac{1}{0.0}, \frac{2}{0.5}, \frac{3}{1.0}, \frac{4}{0.5}, \frac{5}{0.0} \right\}$$

(6.90)

$$Y_{çok}(y) = C(y) = \left\{ \frac{5}{0.0}, \frac{6}{0.5}, \frac{7}{1.0}, \frac{8}{0.5}, \frac{9}{0.0} \right\}$$



Şekil 6.21. Çok bulanık kümesinin gösterimi



Şekil 6.22. Az bulanık kümesinin ayırık gösterimi

Bağıntıya ait değerleri hesaplayacak olursak

$$\mu_R(x=2, y=7) = \text{MIN}(\mu_A(2), \mu_B(7)) = \text{MIN}(0.5, 1.0) = 0.5$$

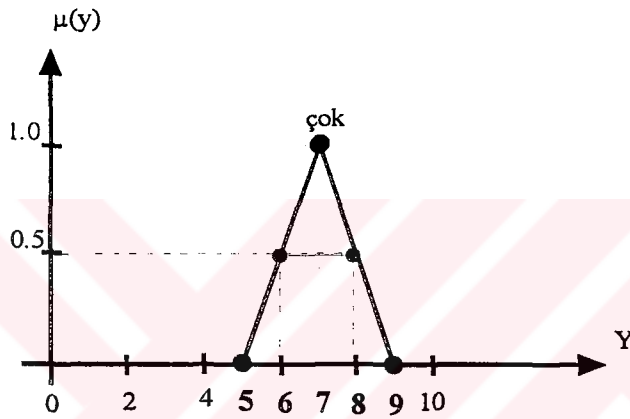
$$\mu_R(x=1, y=7) = \text{MIN}(\mu_A(1), \mu_B(7)) = \text{MIN}(0.0, 1.0) = 0.0$$

$$\mu_R(x=3, y=7) = \text{MIN}(\mu_A(3), \mu_B(7)) = \text{MIN}(1.0, 1.0) = 1.0$$

gibi sonuçlar bütün olası değer çiftleri için hesaplanarak aşağıdaki bağıntı matrisi oluşturulur. Bulanık olmayan giriş değeri $x' = 2$ olarak kabul edilirse , çıkışa ait değerin hesaplanması için , yani kuraldan sonuç çıkartabilmek için bu değer bulanık bağıntının içine yerleştirilir.

$$\mu_R(x', y) = \min(\mu_A(2), \mu_B(y)) = \min(0.5, \mu_B(y)) \quad (6.91)$$

İşlemi yorumlayacak olursak ; kuralı işlemenin sonucunda ortaya çıkan sonuç bulanık kümesi değeri ($\mu_B(y)$), 0.5 üyelik derecesi ile sınırlandırılmış üyelik fonksiyonuna karşılık gelir. Grafikselsel olarak sonuç bulanık kümesinin 0.5 yüksekliğinde kesilmesine (sınırlanmasına) karşılık gelir. Elde edilen sonuca çıkartım denir. Çıkartım sonucu olan, sonuç değeri (y')



Şekil 6.23. Çok bulanık kümesinin ayrık gösterimi

R		A (x)				
		1	2	3	4	5
B (y)	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	6	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0
	7	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0
	8	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0
	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(6.92)

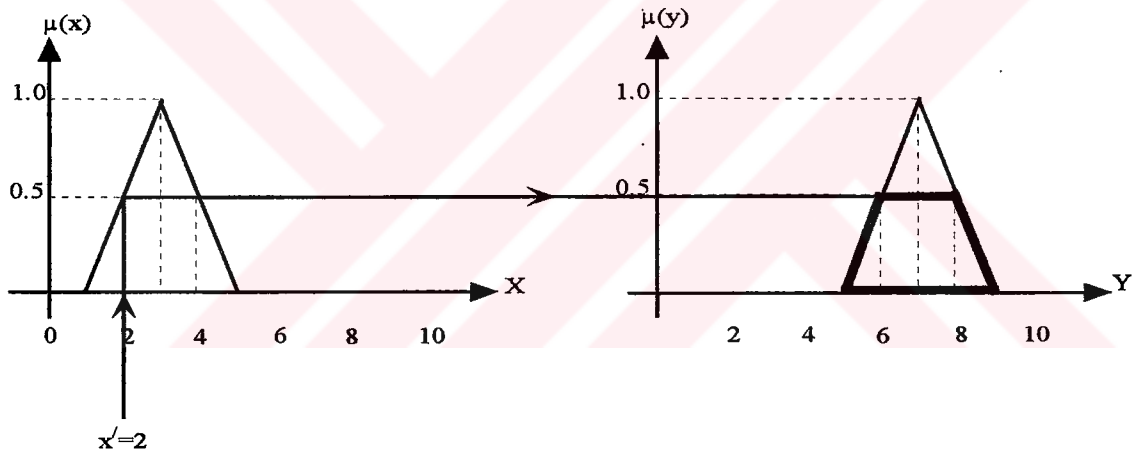
karşılık gelir ve elde edilen sonuca çıkartım denir. Çıkartım sonucu olan, sonuç değeri (y') keskin bir değeri olmayıp düzenlenmiş bir bulanık kümedir. Bu düzenlenmiş bulanık kümeden gerçek dünyada kullanabileceğimiz kesin değeri elde edilmesi gerekir. Genel manada bir kural için;

EĞER $x=x'$ İSE $y=y'$ 'dür.

Durumunun ele alınması halinde , MAX-MIN çıkartımının uygulanması hali için

$$\mu_B(y') = \mu_R(x', y) = \min(\mu_A(x'), \mu_B(y)) \quad (6.93)$$

sonuç bulanık kümesi elde edilir. Ayırıklaştırılmış formdaki sonuç bulanık kümesi $\mu_B(y')$ doğrudan bağıntı matrisinden okunabilir. Bu bulanık küme doğrusu kesin giriş değerine ait x' ne ait satırdan okunur.



Şekil 6.24. Az bulanık kümesinin ayırık gösterimi

R		x'					$A(x)$
		1	2	3	4	5	
B(y)	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	6	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0	
	7	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0	
	8	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0	
	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

(6.94)

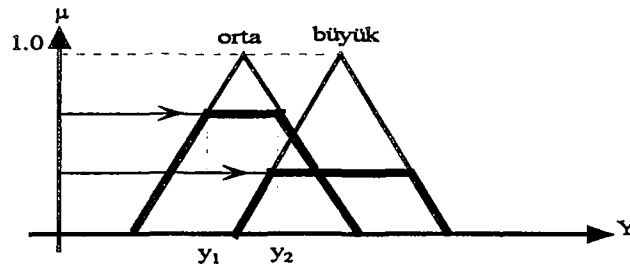
Ayrıca $\mu_A(x')$ değerine kuralın ya da şartların karşılama derecesi denir. Eğer bir kurala ait karşılama derecesi 0'dan büyük ise bu kurala da "aktif kural" denir.

6.2.5.2. Durulaştırma bloğu

Çıkartım işleminin sonucu yukarıda açıklandığı üzere düzenlenmiş bir bulanık kümedir. Bulanık ifadeler ya da bulanık kümeler gerçek dünyada birer anlam ifade etmediklerinden dolayı çıkarım sonunda elde edilen bulanık bilgilerin gerçek dünyada kullanılan bilgilere dönüştürülmeleri gerekmektedir. Bulanık kontrol sistemlerinde bulanık bilgileri gerçek dünyadaki duru bilgilere dönüştürmek için durulaştırma bloğu adı verilen blok kullanılır. Durulaştırma bloğunun girişinde bulanık çıkartım motorundan gelen bulanık çıkartım sonucunu içeren bulanık bilgi bulunmaktadır. Eldeki bulanık bilgi veri tabanı kullanılarak ve çıkış ölçeklendirme faktöründen yararlanılarak çıkıştaki evrensel kümeye çevrilir. Kontrol işlemi için genellikle birden fazla kural aktif hale gelir ve dolayısıyla her kural için ayrı ayrı düzenlenmiş bulanık küme elde edilir. Kontrol işaretinin elde edilebilmesi için durulaştırma işleminin gerçekleştirilmesi gerekir, bu işlem ise pek çok metot kullanılarak yapılır. Kısaca durulaştırma metotları aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

- **Maksimum metodu**

Maksimum metodunda çıkışa ait keskin değer elde edilmesi için sadece en büyük karşılama derecesine sahip olan kural çıkışa gönderilir. Yani işlenen kurallar içinde en büyük yüksekliğe sahip (en büyük üyelik derecesi sahip) sonuç bulanık küme işleme tabi tutulur. İki kuralın aynı anda işlendiği, Şekil 6.25'de görüleceği üzere bu metotla elde edilecek değer $[y_1 \ y_2]$ aralığına karşılık gelir. $[y_1 \ y_2]$ aralığında sonuç bulanık kümesi, en büyük üyelik derecesini ifade etmektedir. Farklı uygulamalarda bu metotla alakalı olarak, üç değişik kullanım mevcuttur. Bunlar sırası ile incelenecektir.

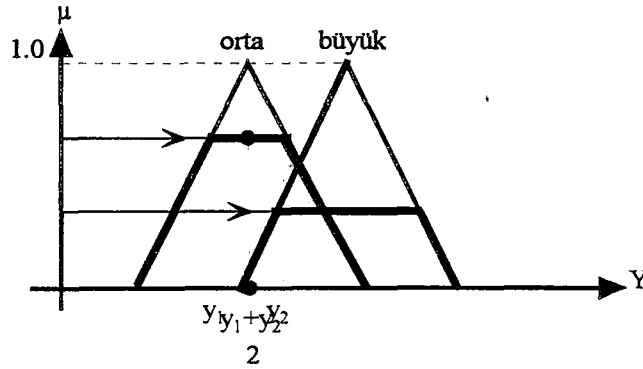


Şekil 6.25. Çıkartım işleminin şematik gösterimi

♦ **Maksimum ortası metodu:**

Bu metotta en büyük yüksekliğe sahip bulanık çıkış kümesinde maksimum yüksekliğin sınırlarını belirleyen $[y_1 \ y_2]$ sınır değerlerinin ortalaması alınır. (6.95) nolu denklemdeki keskin değer bulunur ve Şekil 6.26'daki gibi ifade edilebilir.

$$y' = \frac{y_1 + y_2}{2} \quad (6.95)$$



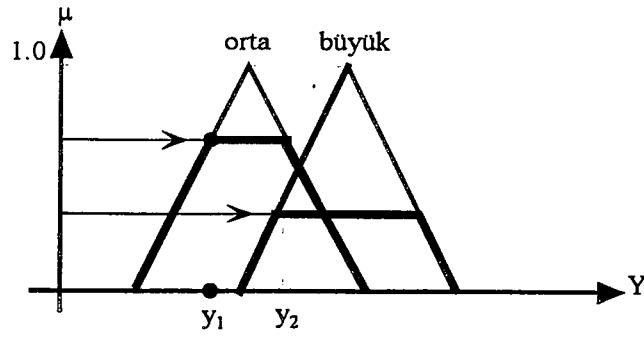
Şekil 6.26. Maksimum ortası çıkartım metodunun gösterimi

Çıkış bulanık kümesi, üçgen veya yamuk şeklinde simetrik üyelik fonksiyonu ya da tek darbeler şeklinde ise keskin çıkış değeri, ortaya çıkan üyelik fonksiyonun yapısına tamamen uygun düşer. Bu durumlarda bulunan değer, belirleyici kuralın karşılama değerine bağlı değildir. Maksimum metodunun değişik türlerinde, ortalama değer seçilmesi en çok kullanılan uygulama şeklidir. Literatürde “maksimum yüksekliğe göre durulaştırma” söz edildiğinde ortalama değerden bahsedilmektedir.

• **Sol kenar noktası metodu:**

Bu çeşit uygulamada sonuç keskin değeri olarak alt aralık sınır değeri seçilir. Literatürde “doğrusal sol kenar durulaştırma” adı da verilir. Böylece elde edilen değer kuralın simetrik üçgen ya da simetrik yamuk şeklindeki üyelik fonksiyonun karşılama değerine bağlı değildir.

$$y' = y_1 \quad (6.96)$$

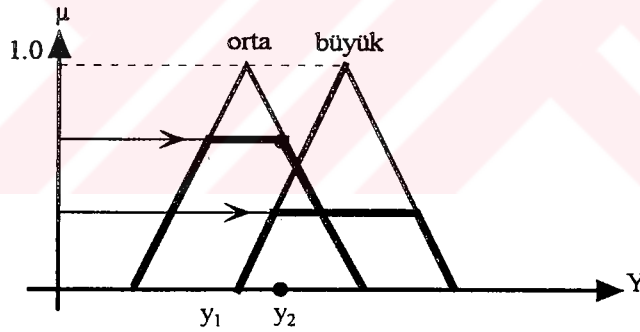


Şekil 6.27. Maksimum sol kenar noktası metodunun gösterimi

- Sağ kenar noktası metodu:

Bu çeşit uygulamada sonuç keskin değeri olarak üst aralık sınır değeri seçilir. Literatürde “doğrusal sağ kenar durulaştırma” adı da verilir. Böylece elde edilen değer kuralın simetrik üçgen ya da simetrik yamuk şeklindeki üyelik fonksiyonun karşılama değerine bağlı değildir.

$$y' = y_2 \quad (6.97)$$



Şekil 6.28. Maksimum sağ kenar noktası metodunun gösterimi

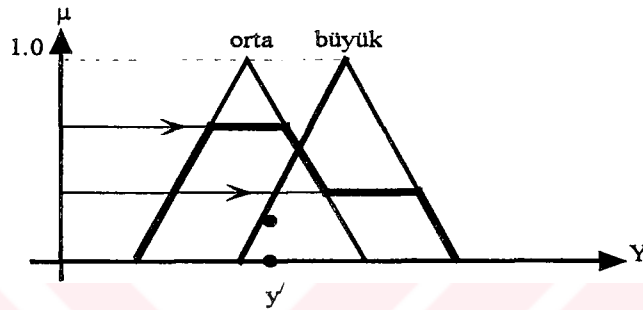
- Ağırlık merkezi metodu:

Sonuca ait çıkış keskin değeri , işlenen kuralların oluşturduğu , çıkışa ait elde edilen sonuç bulanık kümelerin karşılama değerlerinin altlarındaki alanların toplamının teşkil ettiği alanın ağırlık merkezinin yatay eksen değeri olarak ele alınır. Bulanık mantık durulaştırma yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntemlerden birisidir.

$$y' = \frac{\int y * \mu(y) * dy}{\int \mu(y) * dy} \quad (6.98)$$

olarak ifade edilir. Teknik olarak bu hesaplama temel ayrık destek noktalarında y_i nümerik integrali ile gerçekleştirilir. Sonucun daha hassas olması hesap süresini artırır.

Maksimum metoduna karşılık ağırlık merkezi metodunda işlenen kurallar ile elde edilen bütün çıkış bulanık kümeler hesaplama katılır. Dolayısıyla aktif olan pek çok kural karşılama dereceleriyle ortalamaya girer. Grafiksel olarak aşağıdaki Şekil 6.29 ile ifade edilir.



Şekil 6.29. Ağırlık merkezi metodunun gösterimi

Ağırlık merkezi metodunda kullanılan karmaşık hesaplama yöntemleri diğer yöntemlere göre fazladan hesaplama süreleri gerektirmektedir. Bu durum ise dezavantaj teşkil etmektedir. Literatürde bunun önüne geçmek için ağırlık merkezi metodunun verdiği sonuca yakın sonuçlar veren pek çok yöntem ileri sürülmüştür.

6.2.5.3. Veri tabanı

Bir sistemin bulanık kontrolünün gerçekleştirilmesi için kontrolde kullanılacak bulanık kümelerin tanımlanması yada kontrolde kullanılacak bu bulanık kümeler için bir veri tabanının oluşturulması gerekmektedir. Daha önceden ifade edildiği üzere bulanık kümeler, küme elemanlarının üyelik derecelerini içeren üyelik fonksiyonları ile ifade tanımlanırlar. Bir bulanık üyelik fonksiyonu keyfi olarak duruma uygun olarak seçilir. Bulanık kümeleri ifade eden üyelik fonksiyonları ayrı olarak küme elemanlarının üyelik dereceleriyle tanımlanabilir. Üyelik fonksiyonunu tanımlayan üyelik dereceleri arasındaki değerler ne kadar çok sayı ile ifade edilirse kontrolörün performansı o derece yüksek olur. Değer sayısına bağlı olarak, üyelik matrisi tabloları tanımlanır. Kontrol edilen sistemden elde edilen değerler bir ölçeklendirme katsayısı ile çarpılarak üyelik matrisine ait değerler seviyesine çekilir.

6.2.5.4. Kural tabanı

Kural tabanı, bulanık kontrolün gerçekleştirilmesini sağlayan kuralların belirtildiği veri tabanıdır. Bulanık kontrol kuralları giriş ile çıkış arasındaki ilişkiye bağlı olarak sistem hakkındaki bilgilerin değerlendirilmesi neticesinde elde edilen kurallardır. Bu kurallar aşağıda belirtilen formu taşır.

EĞER <Şart Kısmı> İSE <Sonuç Kısmı> DİR.

Bu tür ifadeler aynı zamanda bulanık koşullu ifadeler de denir. Kural tabanı elde edilmeden önce kontrol edilen sistemin o anki durumu ifade eden geri besleme işaretinin, bulanık kontrolün gerçekleştirilmesi için uygun üyelik fonksiyonları ile tanımlanması ve ayrık olarak ifade edilmesi gerekir. Ayrık olarak ifade ederken uygun ölçeklendirme çarpanının bulunması ve bunun kullanılması da büyük önem taşımaktadır. Bütün bunlar gerçekleştirildikten sonra kural tabanının tasarlanmasına geçilebilir. Kurallarının elde edilmesinde kullanılan dört temel yöntem vardır.

- **Mühendislik Bilgisi ve Uzman Deneyimlerini İçeren Bilgilerin Kullanımı:** Eğer bulanık mantığın kullanılacağı sistem bir kontrol sistemi ise bu kontrol kurallarını elde etme metodu, kontrol edilen sistem hakkında bilgiye sahip uzman veya operatöre anket uygulayarak yada sistemin kontrolü hakkında bildiklerini belirli bir plan ile sözlü olarak ifade etmesine imkan tanıyarak sistem hakkındaki bilgileri derleyip bu bilgileri temel kontrol mühendisliği temel bilgileri ile birleştirerek kural tabanını oluşturmaktır.
- **Bir Operatörün El Maharetinin Temel Alınması:** Bazı endüstriyel uygulamalarda, kontrol edilecek sistemin kesin bir matematiksel modelinin elde edilmesi mümkün olmayabilir, dolayısıyla böyle bir sistemin klasik kontrol yöntemleri ile denetlenmesi mümkün olmayabilir. Fakat bunun yanında tecrübeli bir operatör, tecrübelerini ve sezgilerini kullanarak sistemin kontrolünü gerçekleştirebilir. Bu sayede operatörün hareketleri iyice gözlemlenerek “EĞER <Şart Kısmı> İSE <Sonuç Kısmı> DİR.” Şeklindeki bulanık kurallarla ifade edilerek sistemin kontrolünü sağlayacak kural tabanı oluşturulur.
- **Sistemin Bulanık Modelinin Elde Edilmesi:** Sistemin, dilsel niceleyiciler yardımıyla bulanık modeli elde edilir. Sistemin bulanık modelinin elde edilmesi oldukça zor bir işlemdir. Fakat sistemin bulanık modeli elde edilerek oluşturulan kural tabanının

güvenilirliği ilk iki metoda göre daha iyidir. Böylece sistemin bulanık modeli elde edilerek oluşturulan kural tabanı sistemin dinamik davranışı esnasında sistemden en optimal performansın elde edilmesini sağlar

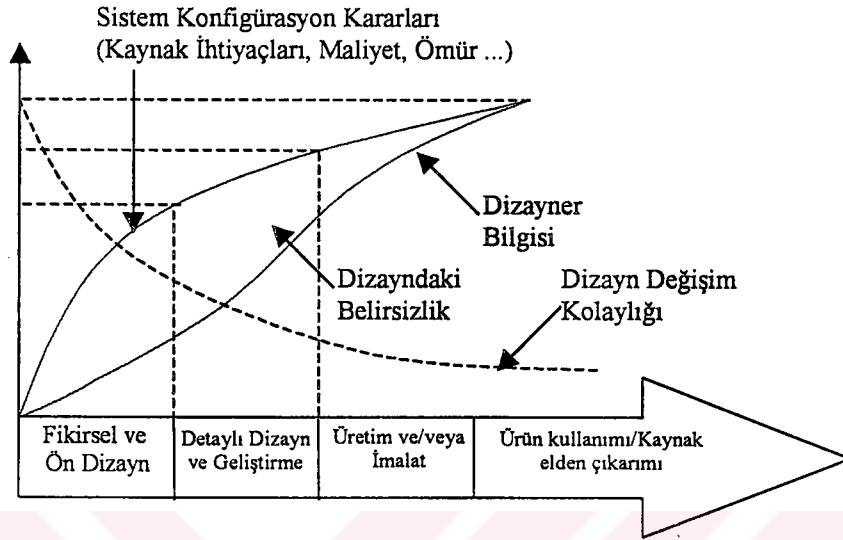
- **Öğrenmenin Temel Alınması:** Sistem değişik yöntemler kullanılarak öğrenme yetenekleri ile donatılır. Böylece sistem kendi kendini eğiterek uygun üyelik fonksiyonlarını kendi oluşturabildiği gibi aynı zamanda kendi kural tabanını oluşturarak düzenleyebilir. Bazı durumlarda kural tabanı elde edildikten sonra, sistemin performansını artırmak için kurallar üzerinde ayarlamalar ya da kuralların yeniden düzenlenmesi gerekebilir.

Kural tabanında bulunan kurallar bazı özellikleri üzerlerinde barındırırlar. Bu özellikler dört ana kısımda incelenebilir.

- **Bütünlük:** Olası bütün bulanık giriş değerleri için bir bulanık çıkartım sonucunun elde edilmesi yani sistemin barındırabileceği her durum için kontrol işaretinin elde edilmesinin sağlanmasıdır.
- **Kural Sayısı:** Bir bulanık kontrol sisteminde sistemi etkileyen faktörlere ve sistemin içerdiği durumlara bağlı olarak pek çok kural tanımlanabilir.
- **Kuralların Birbirleriyle Uyumluluğu:** Bir bulanık kontrol sisteminde kural tabanında tanımlanan kurallar birbirleriyle çeliştiklerinde sistemde beklenmeyen durumların ortaya çıkmasına ve sistemin denetimden çıkmasına neden olabilirler. Bu durum kural ifadesinde, şart kısmı aynı ya da benzer fakat sonuç kısımlarında farklılıkların bulunduğu kuralların aynı anda çıkartım için kullanılması durumunda ortaya çıkar. Eğer farklı durumlardaki performansı geliştirmek için kurallar tanımlanmış ise özellikle kural tabanının bu kısımları itina ile incelenmelidir zira kural tabanındaki çelişki büyük çoğunlukla farklı performans kriterlerinin çatışması neticesinde ortaya çıkar. Kural tabanında bu şekilde çelişkiler ortaya çıkmış ise bunların elimine edilmesi gerekir.
- **Kuralların Etkileşimi:** Kural ifadelerinde verilen şart kısımlarına bağlı olarak sonuç kısım ifadeleri o andaki durumu karşılayan sonuç ifadesinin alt yada üst kümeleri olabilir. Bu durum kuralların değerlendirilmesinde izlenecek yöntemle bağlıdır.

6.2.6. Güvenilirlik analizinde belirsizlik

Sistem güvenilirlik analizi, subjektif yargılara, belirsiz verilere ve yaklaşık sistem modellerine ihtiyaç duyar (Bowles and Pelaez). Verma ve Knezevic mühendislik dizaynlarında belirsizliğin rolünü araştırmıştır ve bunu aşağıdaki şekilde karakterize etmiştir (Şekil 6.30).



Şekil 6.30. Mühendislik dizaynlarında ve gelişimindeki belirsizlik (Verma and Knezevic, 1994)

İlk geliştirme safhasında müşteri ihtiyaçları iyi anlaşılmaz gereksinimler ve ayrıntılar genellikle tamamlanmamıştır. Bu belirsizlik, dizaynın başlangıç ana fikrinden tamamlanacağı ana kadar ki tüm safhalar boyunca ve kesin kararlar verilirken dereceli bir şekilde yeniden çözülür.

Güvenilirlik analizinde ise, arızaların nispeten az olmaları (tipik olarak 1 milyon saat çalışmada birkaç saatlik arıza) sebebiyle, belirsizlik, yetersiz verinin toplanmasıdır. Bunlara ilaveten, özellikle ilk dizayn safhasında üretilecek elemanın arıza olasılığına ihtiyaç vardır ve bunlar mevcut değildir ve bu arıza olasılıkları “mühendisin yargısına” veya benzer elemanlardaki tecrübelerle dayalı olarak tahmin edilmektedir.

6.2.7. Olasılık teorisi ile bulanık küme teorisinin karşılaştırılması

Klasik olasılık teorisinde, bir E olayı, belirli bir U örnek uzayının keskin bir alt kümesi olarak ifade edilir. Örnek olarak bir zar atışını göz önünde bulunduralım. U örnek uzayı, $\{1,2,3,4,5,6\}$ olup E olayı 4’ten küçük tamsayılar kümesi olarak tanımlanırsa, E, U’nun bir altkümesi olup

$\{1,2,3\}$ tamsayılarından oluşur. Zar atışı sonucunda, E kümesinin elemanlarından en az bir tanesinin gerçekleşmesi E olayının gerçekleşmesi anlamına gelir. Ayrıca şartlı olasılık $P(E/E')$ şeklinde gösterilip, E' 'nün oluşması durumunda E'nin olma olasılığı olarak tanımlanır. Bizim örneğimizde $P(E/3) = 1$ olur, çünkü "3" elemanı U'nun bir alt kümesi olup E olayını tanımlar. Dolayısıyla 3 elemanının oluşması, E olayının da olması anlamına gelir. Buradan olasılığın bir tanımını şu şekilde verebiliriz. Olasılık teoremi, bahsi geçen olasılıkları kontrol eden kuralları oluşturan ve verilen belirli kuramlar sistemi içerisinde kompleks sistemlerin olasılık hesaplamalarıyla ilgilenir.

Bununla birlikte U'nun alt kümesi olan E olayını, keskin alt küme değil de, ε , bulanık alt küme olarak göz önünde bulunduralım. Örneğin " $\varepsilon = U$ uzayındaki büyük sayılar" kümesi olsun ve bunun üyelik fonksiyonu

$$\varepsilon = \mu_{\text{büyük}}(U) = \frac{1}{6} + \frac{0.7}{5} + \frac{0.5}{4} + \frac{0.2}{3} \quad (6.99)$$

eşitliği ile verilsin. Şimdi zar atıldığı zaman büyük sayı gelme olasılığını bulanık olasılık yaklaşımıyla hesaplayalım. Zadeh'e göre $P(\varepsilon)$ olasılığı

$$P(\varepsilon) = \sum_i P(U_i) \cdot \mu_{\text{büyük}}(U_i) = \frac{1}{6} \cdot (1 + 0.7 + 0.5 + 0.2) = 0.4 \quad (6.100)$$

Şeklinde hesaplanır. (Zadeh, 1968). Burada, $(1/6)$ herbir U_i elemanın olasılığıdır. Eğer bu durumda bizim olayımız keskin küme elemanlarında oluşsaydı, $\forall i : \mu_{\text{büyük}}(U_i) = 1$ olur ve böylece olayın oluşma olasılığı 0.66 olarak hesaplanırdı.

Klasik olasılık teorisinde, bir örnek uzayında kesin noktalar kümesi olarak tanımlanır. Fakat bir çok durumda olaylar kesin hatlarla birbirinden ayrılmazlar. Örneğin güvenilirlik teorisinde belirli bir t zamanında sistemin çalışma veya arızalı olma olasılığı ile ilgilenilir. Bir çok sistemde sistemin performansı, istem tamamen arızalı hale gelmeden önce dereceli olarak azalır veya sistemin kısmi çalışması gibi birçok durumu olabilir. Bu türlü durumlarda bulanık kümeler olayın ilgili olasılığını daha iyi tanımlayabildiğinden, bu türlü olayları bulanık olaylar olarak tanımlamamız mümkündür.

Bir bulanık küme olarak belirlenen olayın olasılığı, S bir örnek uzayı ise S' nin olasılığı;

$$P(s) = \int_S dP = 1 \quad (6.101)$$

Eğer $E \subseteq S$ ise

$$P(E) = \int_S C_E(x) dP \quad (6.102)$$

$C_E(x)$ bir karakteristik fonksiyon ise

$$C_E(x) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } x \in E \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases} \quad (6.103)$$

Zadeh'e göre $P(E)$, E olayını belirleyen karakteristik fonksiyonun beklenen değeri olarak kabul edilebilir. Benzer şekilde Zadeh bulanık F kümesinin olasılığını, F için üyelik fonksiyonun beklenen değeri olarak tanımlar.

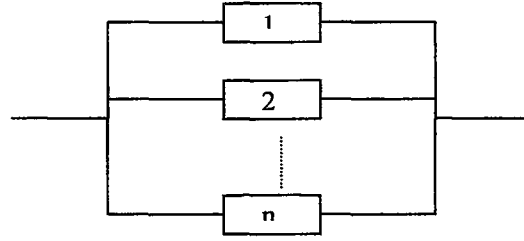
$$P(F) = \int_S \mu_F(x) \cdot dP \quad (6.104)$$

Bu olasılık ayırık örnek uzayında, $S = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$

$$P(F) = \sum_{i=1}^n \mu_F(x_i) \cdot P(x_i) \quad (6.105)$$

6.2.8. Bulanık paralel sistem güvenilirliği

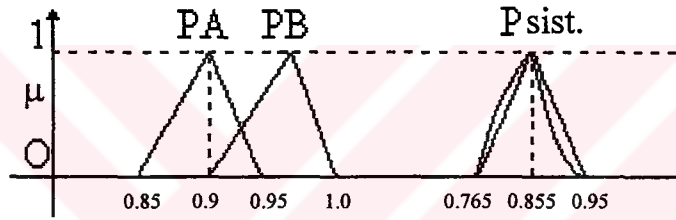
Şekildeki paralel sistemde sistem elemanları, birbirinden bağımsız ve sistem elemanlarının arızalı veya çalışıyor durumları mevcut ve P_i , keskin kümelerde sistem bileşenleri arıza oranı ise, Q_{sistem} sistem arıza olasılığı eşitlik (6.106) olarak verilir



Şekil 6.31. Paralel Sistem

$$Q_{\text{sistem}} = P_1 \times P_2 \times \dots \times P_n \quad (6.106)$$

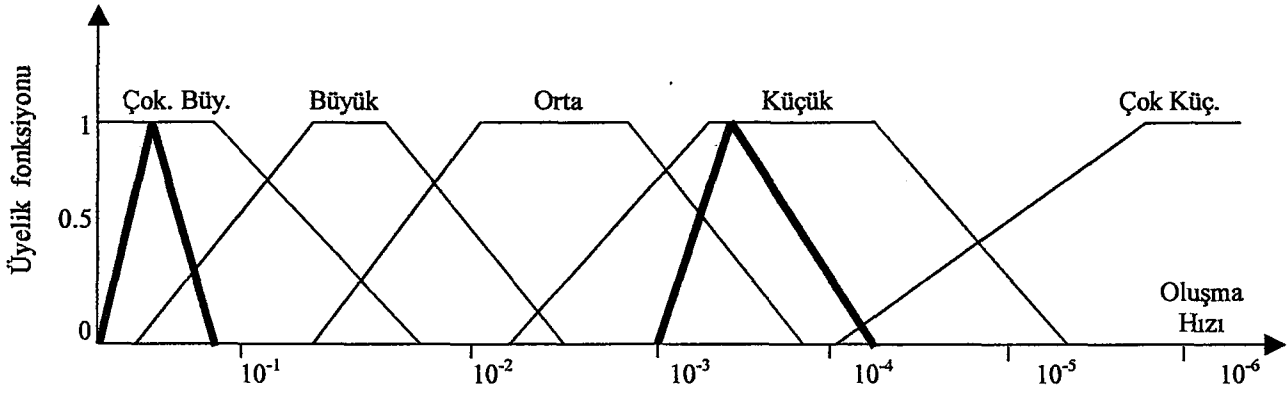
P_A ve P_B sırasıyla $[P_{A1}, P_{A2}]$, $[P_{B1}, P_{B2}]$ aralıklarındaki bulanık arıza olasılıkları ise, $P(A).P(B)$ çarpımı da $[P_{A1} \times P_{B1}, P_{A2} \times P_{B2}]$ alıkları içinde olur. Bu durumda sistemin bulanık arıza olasılığı (Şekil 6.32)'deki gibi olur.



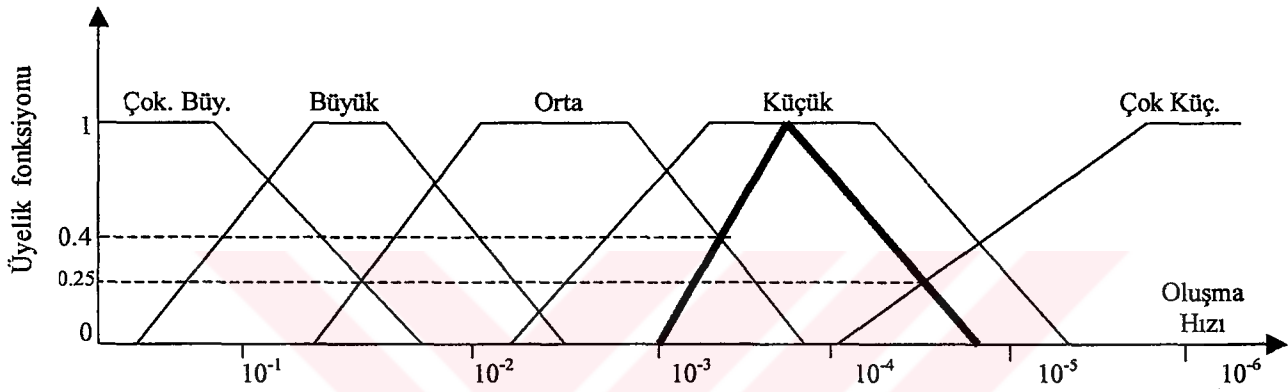
Şekil 6.32. $P(A) = 0.9$, $P(B) = 0.95$ civarı için bulanık $P(A).P(B)$ çarpımı

Sistem arıza olasılığı, bileşen arıza olasılıklarının dilsel tanımlamaları kullanılarak da değerlendirilebilir. Dilsel bulanık arıza olasılıkları, sayısal bulanık arıza olasılıklarına göre daha az hassas olmasına rağmen, bir çok durumda bileşen güvenilirlik değerlendirmesi ile ilgili daha doğru sonuçlar verebilir. Şekil 6.33' te her bir terim, güvenilirlik sınırlarını bulanık küme olarak ifade eder. Üyelik fonksiyonu, kümedeki elemanların arıza olasılık derecelerini ifade eder. Şekil 6.33' te paralel sistem bileşenlerine ait nümerik arıza olasılık değerleri sınırları ve dilsel bulanık kümeler nümerik değerlerine uygun bir şekilde verilmiştir. Şekil 6.34' te ise eşitlik (6.107)' de verilen dilsel kural çerçevesinde, bulanık aritmetik işlemlerine uygun olarak sistem arıza olasılığı üretilmiştir. Sistemin arıza olasılığı arzu edildiğinde, bulanık çıkartım, netleştirilerek bulunur. Burada netleştirilmiş değer 0.00012 olarak hesaplanır.

$$\text{Eğer arıza (A)} = P_A \text{ ve arıza (B)} = P_B \text{ ise arıza (Sistem)} = P_A.P_B \quad (6.107)$$



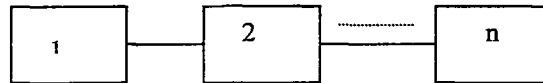
Şekil 6.33. Paralel sistem arıza olasılıkları



Şekil 6.34. İki bileşenli bulanık paralel sistem güvenilirliği değerlendirilmesi

6.2.9. Bulanık seri sistem güvenilirliği

Şekil 6.35' teki seri sistemi göz önünde bulunduralım.



Şekil 6.35. n elemanlı seri sistem

$$R_{\text{sistem}} = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n \quad (6.108)$$

Sistemin Arıza Olasılığı

$$P_{\text{sistem}} = 1 - [(1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_n)] \quad (6.109)$$

Bulanık seri güvenilirlik hesaplanırken $[1-P(\text{bulanık arıza olasılığı})]$

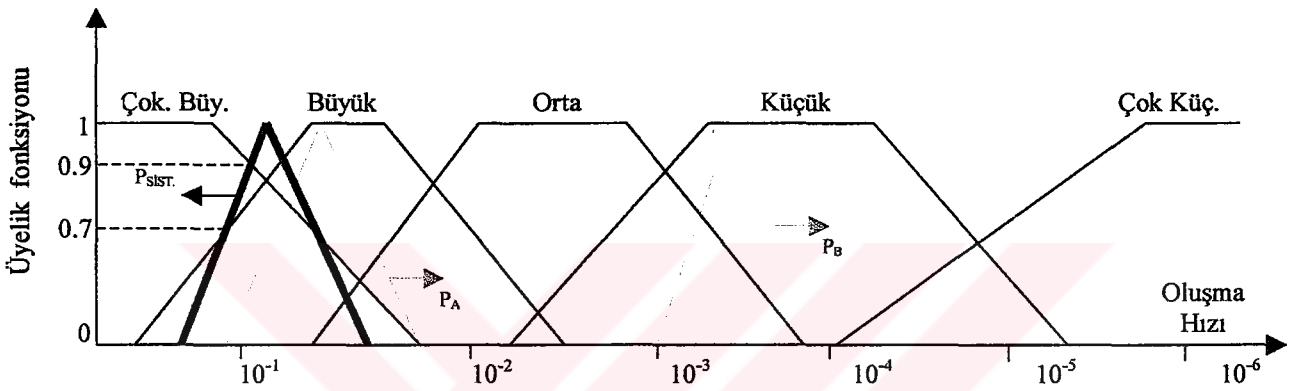
İşlemlerdeki sonuçlar ; 1 – küçük = büyük

1 - çok büyük = çok küçük

1 – orta = orta

seviyede olur. Seri güvenilirlik hesaplaması için (6.110) kuralını çalıştırmamız yeterli olur. Buradan iki elemanlı seri bulanık sistem güvenilirliğini Şekil 6.36’ daki gibi elde ederiz

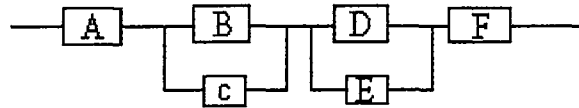
$$\text{Eğer arıza}(A) = P_A \text{ ve arıza}(B) = P_B \text{ ise arıza(sistem)} = [1-(1-P_A)(1-P_B)] \quad (6.110)$$



Şekil 6.36. İki bileşenli bulanık seri sistem güvenilirliği değerlendirilmesi

6.2.10. Bulanık seri – paralel sistem güvenilirliği

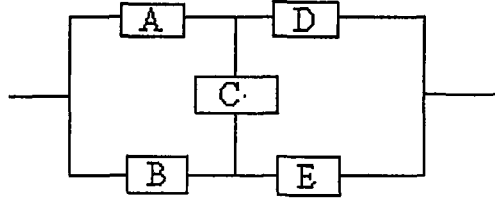
Şekil 6.37’deki sistemi göz önünde bulunduralım. Bu tür sistemler alt seri ve paralel sistemlerin ayrı ayrı analiz edilmesiyle hesaplanır.



Şekil 6.37. Bulanık seri-paralel sistem güvenilirlik analizi için örnek sistem

6.2.11. Bulanık karmaşık bağlı sistemler

Şekil 6.38’ daki karmaşık bağlı sistemi göz önünde bulunduralım. Bu tür sistemlerde güvenilirlik analizi C elemanının çalışıp çalışmama durumları göz önünde bulundurularak şartlı olasılık ile eşitlik (6.111)’ deki gibi hesaplanır.

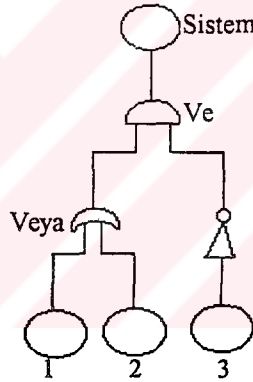


Şekil 6.38. Karmaşık bağlı sistem

$$P_{\text{sist.}} = [1 - (1 - P_A)(1 - P_B)] [1 - (1 - P_D)(1 - P_E)] (P_C) + [1 - (1 - P_A P_B)(1 - P_D P_E)] (1 - P_C) \quad (6.111)$$

6.2.13. Bulanık hata ve olay ağaçları

Bulanık hata ağacı analizi, esas olarak hata ağacının en üst olayının hata olasılığı ile ilgilidir. Hata ağacı olaylarının birleşiminin lojik kapılarla grafize edilmesidir. Bundan dolayı en üst (en etkili) olayın hata olasılığının bulanık küme olarak ifade edilmesi gerekir. Basit hata ağacı aşağıda şekil görülmektedir (Şekil 6.39).



Şekil 6.39. Basit hata ağacı

Eğer “Ve” kapısının iki girişi de arızalıysa çıkış arızalıdır. Eğer “Veya” kapısının herhangi bir girişi arızalıysa çıkış arızalıdır. Değil kapısı ise girişin tümleyenidir. Böylece bileşen arızaları bağımsız ise (bulanık olarak);

$$P_{VE} = P_1 \times P_2 \times \dots \times P_n$$

$$P_{VEYA} = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_n)$$

$$P_{DEĞİL} = 1 - P$$

Olasılıkları bulanık sayılar olarak;

$$P_1 = P_{vh}.P_h.P_{vh}.P_{vh}$$

$$P_2 = P_{vh}.P_h.P_{vh}.P_r.P_{vh}$$

..

..

$$P_6 = P_{vh}.P_1$$

$$P_7 = P_R$$

6.2.14. Genel bir sistemin bulanık güvenilirliği

Birtakım sistemlerin , çalışıyor, tam kapasitede çalışıyor veya çalışmıyor durumları arasında birçok derecesi olabilir. $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ olası muhtemel sistem durumları olsun

$W(\text{bulanık olayı}) = \text{sistem çalışıyor}$

$F(\text{bulanık olayı}) = \text{sistem arızalı}$

olmak üzere,

$$W = \{(S_i, \mu_W(S_i)), i = 1, 2, 3, \dots, n\}$$

$$F = \{(S_i, \mu_F(S_i)), i = 1, 2, 3, \dots, n\}$$

(6.113)

Genel olarak;

$$\mu_W(S_i) = 1 - \mu_F(S_i) ; \quad \overline{w} = F \quad (6.114)$$

Klasik güvenilirlik teorisinde olduğu gibi, bizde burada çalışma durumundan arıza durumuna geçişlerle ilgileniyoruz. T ise böyle bir geçişi gösterebilir. (t_0) ile (t_0+t) zamanları arasındaki güvenilirliğin değeri;

$$R(t_0, t_0+t) = P([t_0, t_0+t] \text{ zaman aralığında } t \text{ geçişi yok})$$

Yani (t_0) ile (t_0+t) arasında arıza olmama olasılığı manasına gelir.

$$T = \{(r_{ij}, \mu_T(r_{ij})); i, j = 1, 2, \dots, n\} \quad (6.115)$$

Burada, r_{ij} : s_i durumundan s_j durumuna olan geçiş hızını temsil etmektedir.

$\beta_{wF}(S_i)$: S_i durumuna ait bağıl arıza derecesini temsil etmek üzere

$$\beta_{wF}(S_i) = \frac{\mu_F(S_i)}{\mu_F(S_i) + \mu_W(S_i)} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.116)$$

Eğer $\mu_w(S_i) = 1 - \mu_F(s_i)$ ise $\beta_{wF}(S_i)$, $\mu_F(S_i)$ derecesine kadar azalır. S_i 'den S_j 'ye geçişte sistem, sadece ve sadece $\beta_{wF}(S_i) < \beta_{wF}(S_j)$ ise sistem arızalıdır. Böylece

$$\mu_T(r_{ij}) = \begin{cases} \beta_{wF}(S_j) - \beta_{wF}(S_i) & \text{Eğer } \beta_{wF}(S_j) > \beta_{wF}(S_i) \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (6.117)$$

$[t_0, t_0+t]$ aralığında sistem güvenilirliği ;

$$R(t_0, t_0+t) = 1 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \mu_T(r_{ij}) \cdot P(r_{ij} \text{ 'nin } [t_0, t_0+t] \text{ aralığında mevcut olması}) \quad (6.118)$$

Sistem $t_0 = 0$ zamanında, S_n durumunda ise, $R(0, 0+t) = R(t)$ olacağından, sistemin herhangi bir t anındaki bulanık güvenilirliği;

$$R(t) = 1 - \sum_{k=1}^{n-1} \mu_T(r_{n,k}) \cdot P(\text{sistem } t \text{ anında } S_k \text{ durumunda}) \quad (6.119)$$

Burada, $\mu_T(r_{ij})$ eşitlik (6.120)' deki gibi tanımlanmıştır.

$$\mu_T(r_{i,j}) = \mu_T(r_{i,k}) + \mu_T(r_{k,j}) \quad (6.120)$$

6.2.15. Geliştirilen çok hava durumlu bulanık markov modeli

Klasik markov modeli nonlineerite içeren durumların analizini yapamamakla birlikte çok hava modelli durumlarının da dikkate alınması oldukça zordur. Bundan dolayı bugüne kadar

yapılan analizlerde en çok iki durumlu hava modeli dikkate alınmıştır. Geliştirilen bulanık markov modelinde ifade edilen her iki durumunda analizi mümkün olmaktadır.

Bulanık markov modelinde, klasik markov modelinde olduğu gibi ayrık durumlar mevcuttur. Bu durumlararası geçiş hızları (arıza ve onarım hızları) hava şartlarıyla çok ilişkili olduğundan sabit değildir ve bundan dolayı bulanık sayı olarak ifade edilmiştir. Ayrıca hava durumları da konveks bulanık kümelerle modellenmiştir. Bu durumlar arası geçiş hızları ile konveks bulanık kümeli hava modeli, arıza ve onarım hızlarının değişik hava şartlarındaki dağılımına bakılarak elde edilen bulanık kurallar ile birbirine bağlanmıştır. Buna göre elde edilen modelin blok diyagramı Şekil 6.43' te verildiği gibi elde edilmiştir.

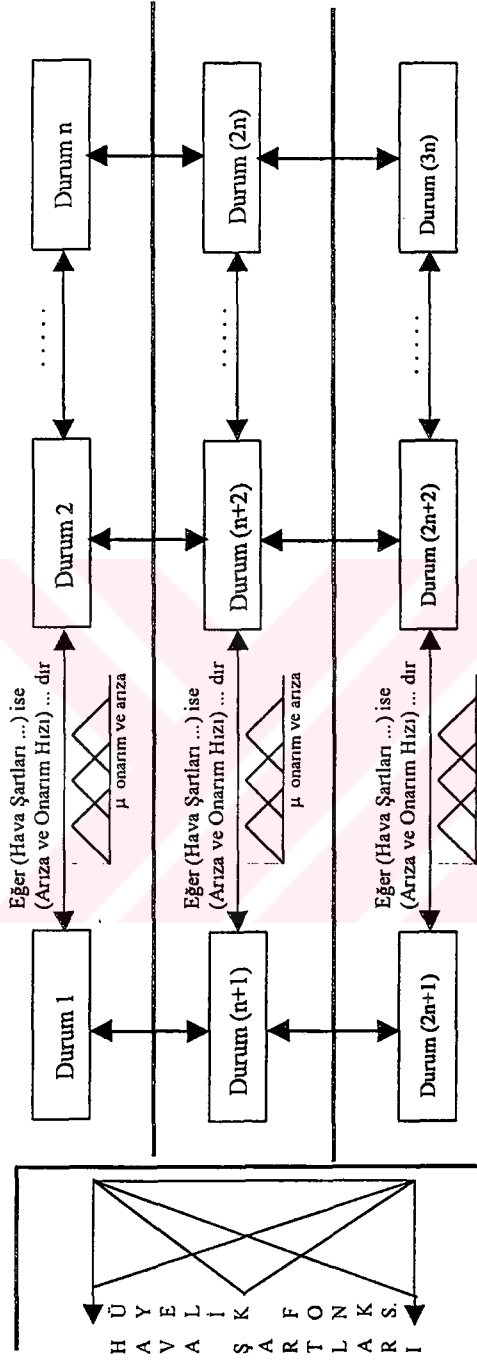
Verilen bulanık markov modeline ait, $\tilde{D}$ bulanık durum geçiş matrisinin genel formatı ise eşitlik 6.121 ile ifade edilmiştir. Bu matris elde edilirken, hava modeline ait bilgi (ortalama mevsim sıcaklığı), giriş bilgisi olarak bulanık bloğa gönderilir. Bulanık bloğun çıkışından elde edilen veri netleştirilerek durum geçiş matrisinin uygun adresine atanır. Böylece elde edilen netleştirilmiş D , durum geçiş matrisinin kısa formatı eşitlik 6.122'de olduğu gibi elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \dots & \lambda_{1n} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \dots & \lambda_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{n1} & \lambda_{n2} & \dots & \lambda_{nn} \end{bmatrix} \quad (6.122)$$

Burada λ_i durumlar arası geçiş hızı olup, sürekli zaman – ayrık durumlu markov modeli durum uzay denklemindeki A katsayılar matrisine şu şekilde geçilir.

- İlk önce $[D]$ durum geçiş matrisinin transpozesi alınır.
- Transpoze $[D]$ matrisinin her bir sütunundaki elemanlarının toplamının ters işaretlisi o sütuna ait diagonal elemanı olarak atanır. Elde edilen en son matris ise A katsayılar matrisini oluşturur.

Buna göre bulanık markov modelinin durulaştırılmış durum uzay denklemi eşitlik 6.123' te verilmiştir.



Şekil 6.43. Geliştirilen bulanık markov modelinin prensip şeması

(6.121)

(6.121)

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ \dots \\ P_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sum_{i=2}^n \lambda_{1i} & \lambda_{21} & \dots & \lambda_{n1} \\ \lambda_{12} & -\sum_{i=1, i \neq 2}^n \lambda_{2i} & \dots & \lambda_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{1n} & \lambda_{2n} & \dots & -\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_{ni} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ \dots \\ P_n(t) \end{bmatrix} \quad (6.123)$$

(6.123) denklemiyle verilen markov modeli çözülerek sistem durumlarına ait olasılıkların zamana göre değişimi ve sürekli zamandaki sabit değerleri hesaplanır. Bu değerler neticesinde aşağıdaki sıra takip edilerek güvenilirlik, kullanılabilirlik, kullanılamazlık, sisteme ait ortalama arıza ve ortalama onarım süreleri gibi parametreler hesaplanır.

- Sistem durumlarının her biri için ayrı ayrı neticeleri değerlendirilir. Yani sistemin göz önünde bulundurulmuş durumu için, sistemin çalışıp çalışmadığı, çalışıyor ise kısmi çalışıp çalışmadığı, kısmi çalışıyor ise kısmi çalışma derecesi tespit edilir.
- Sistemin bütün çalışmaya karşı düşen durumlarının olasılıkları toplamı (kısmi çalışma durumlarında, ne kadarlık bir kapasite düşümü söz konusu ise o duruma ait olasılık, % kapasite azalma derecesi ile çarpılarak) hesaplanır. Bu değer, göz önünde bulundurulmuş sisteme ait güvenilirlik değerini verir.
- Benzer şekilde arızaya karşı düşen durumların toplamı hesaplanır. Bu değer sisteme ait kullanılamazlık olasılığını verir.
- Elde edilen güvenilirlik eğrisinin altında kalan alan ortalama arıza zamanını (MTTF), kullanılamazlık eğrisi altında kalan alan ise ortalama onarım zamanını (MTTR) ve her ikisinin toplamı da arızalar arası ortalama süreyi (MTBF) verir.

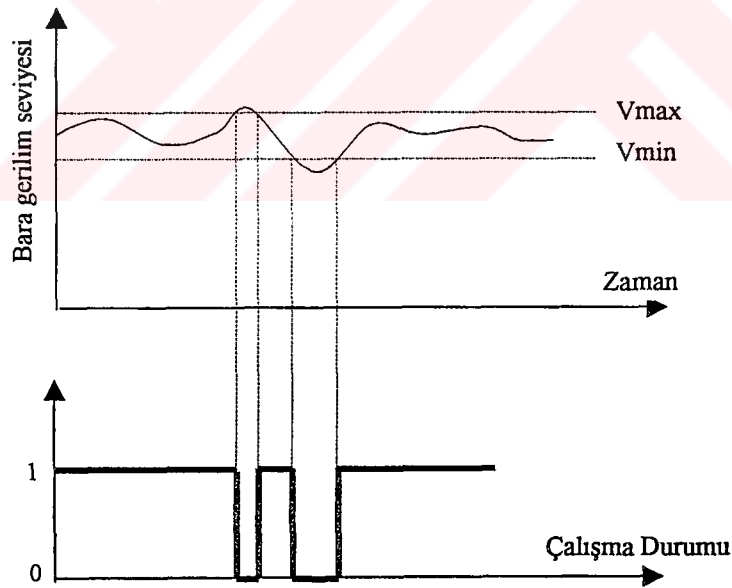
6.2.16. Güvenilirlik analizi için harmonik etkisinin bulanık mantık ile modellenmesi

Bölüm 5'te anlatıldığı üzere gerilim ve akım harmonik bileşenlerinin, enerji sistemleri üzerinde birçok olumsuz etkisi vardır. Bu olumsuz etkiler içerisinde, güvenilirlik indislerinden “ortalama sağlanamayan enerji miktarı” indisine etki eden, transformatörlerdeki harmonik akım bileşeni etkisiyle oluşan kapasite düşümü kriteri ve yük noktalarındaki, sistem arıza konfigürasyonuna bağlı olarak veya harmonik etkisi sebebi ile müsaade edilen bara

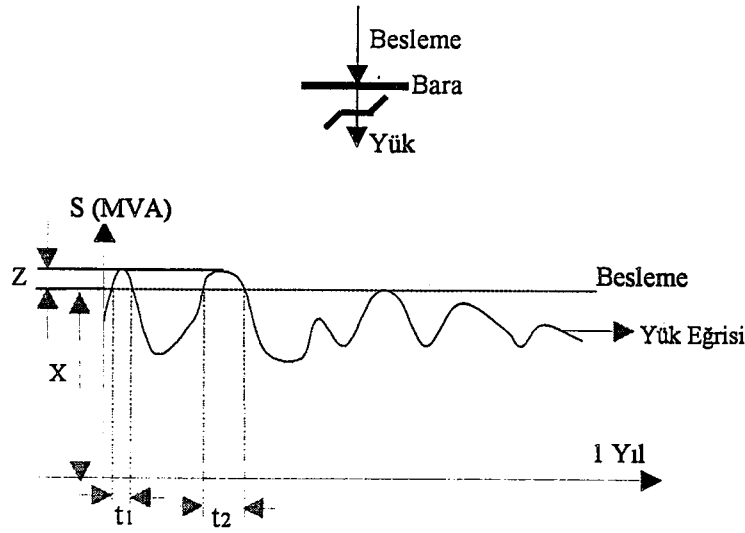
kısıtlarının (V_{max} , V_{min}) aşılması kriteri dikkate alınmıştır. Ayrıca harmonik akım bileşenlerinden dolayı oluşan ek kayıplardan, harmonikli akım ve gerilim efektif değerlerinin artmasından dolayı, yük baralarından çekilen enerji değişim miktarı, harmoniksiz durum baz alınarak güvenilirlik analizi için değerlendirilmiştir.

Bara gerilim kısıtlarının aşılması kriterinin ve harmoniksiz durum baz alınarak yapılan yük baralarından çekilen enerji miktarındaki artış kriterin tespit edilmesinde, yük akış analizi tekniğinden yararlanılmıştır. Sistem güç akış analizi harmonikli ve harmoniksiz durumlar için ayrı ayrı, muhtemel tüm arıza durumları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu durumdaki bara gerilimleri, sistemin bara gerilim kısıtlarıyla karşılaştırılarak, mevcut baranın, verilen arıza şartları ve o anki yük durumları altında, arızalı olup olmadığına karar verilir. Ayrıca harmonikli ve harmoniksiz durumlar altında, baralardan çekilen toplam enerji miktarındaki değişim, çeşitli “% talep faktörü (T.F.)” durumlarına göre, göz önünde bulundurulur.

Bara gerilim kısıtları kriterinin aşılması ve transformatör merkezlerinde, harmoniklerden dolayı oluşan sağlanması gereken enerji miktarındaki değişim ve bu değişimin sistem güvenilirliğine etkisini Şekil 6.44 ve Şekil 6.45’ te görebiliriz.



Şekil 6.44. Bara gerilim kısıtlarının aşılması durumunda arıza ve çalışma sınırları



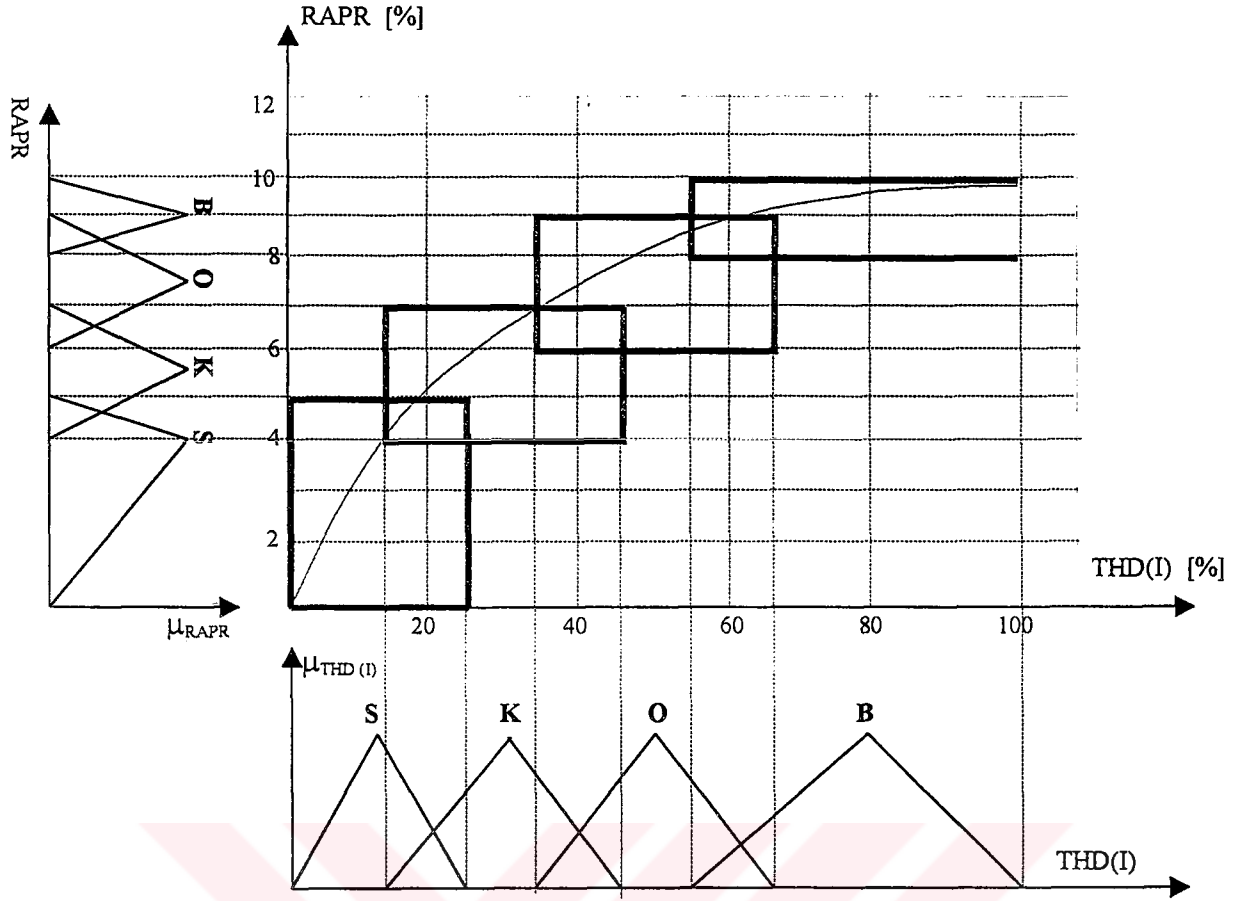
Şekil 6.45. Nonlineer yükleri besleyen baranın sağlayamadığı yük miktarı

Şekil 6.45'den de anlaşılacağı üzere, baralardan çekilen harmonikli yükler sebebiyle talep güçte, Z kadarlık bir artıştan dolayı "1 yıl" bazına göre, yazabileceğimiz toplam sağlanamayan enerji miktarı olasılığı;

$$P(\text{Toplam sağlanamayan enerji miktarı}) = \frac{Z \cdot (t_1 + t_2)}{(Z + X) \cdot 8760} \quad (6.124)$$

Transformatörlerdeki harmonik akım bileşeni etkisiyle oluşan kapasite düşümü kriterinin belirlenmesinde ise, bulanık mantık teorisinden yararlanılmıştır. Bunun için, transformatörlerdeki (yük baralarındaki) nominal değerine göre sağlayabileceği görünür güçteki azalma yüzdesi, toplam harmonik distorsiyonu büyüklüğüne göre "harmonik kayıp faktörü" yaklaşımı ile Şekil 5.3 (Yıldırım et al., 1996) te tespit edilmiştir. Bu yaklaşımı baz alarak transformatörlerin nominal görünür gücündeki azalma yüzdesinin (RAPR = Reduction in Apperant Power Rating) tespiti için Şekil 6.46' daki bulanık yaklaşım kullanılmıştır. Burada kullanılan üyelik fonksiyonlarının etiket isimleri şu şekildedir:

- S** : Sıfır
- K** : Küçük
- O** : Orta
- B** : Büyük



Şekil 6.46. Transformatörlerin nominal görünür gücündeki azalma yüzdesinin bulanık yaklaşım tekniği ile benzetimi

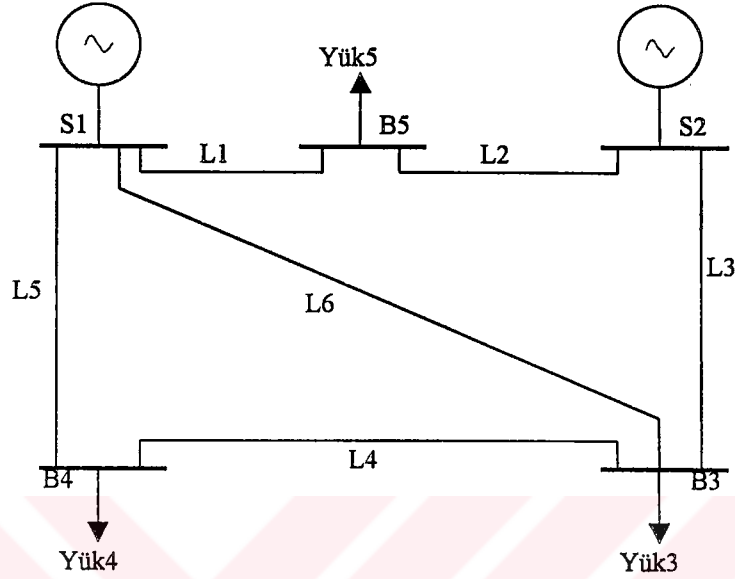
THD(I)' nın bir fonksiyonu olarak, transformatörlerin nominal görünür gücündeki azalma yüzdesinin çıkarılmasında aşağıdaki bulanık kurallar kullanılmıştır.

Eğer THD(I), S ise $\xrightarrow{\text{O halde}}$ RAPR S' dir
 Eğer THD(I), K ise $\xrightarrow{\text{O halde}}$ RAPR K' dir
 Eğer THD(I), O ise $\xrightarrow{\text{O halde}}$ RAPR O' dir
 Eğer THD(I), B ise $\xrightarrow{\text{O halde}}$ RAPR B' dir

Bu kurallar, üyelik fonksiyonları ile birlikte, THD(I) ile RAPR arasında fonksiyonel bir ilişki kurar.

7. SAYISAL UYGULAMA

6. bölümde ortaya konulan yaklaşım kullanılarak, harmonik etkinliği altında, bir elektrik enerji sisteminin güvenilirlik analizini yapmak üzere, göz önüne alınan, IEEE'nin 5 baralı test sistemi Şekil 7.1' de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Sayısal uygulama için seçilen örnek sistemin tek hat diyagramı

Söz konusu enerji sisteminin 10 MVA ve 34.5 kV baz değerlerine göre hesaplanan hat parametreleri, Çizelge 7.1' de verilmiştir.

Çizelge 7.1. 5 baralı sisteme ait empedans verileri

HAT NO	BARA-DAN	BARA-YA	HAT EMPEDANSI	
			R [p.u.]	X [p.u.]
1 - (L ₆)	1	3	0.10	0.40
2 - (L ₅)	1	4	0.15	0.60
3 - (L ₁)	1	5	0.05	0.20
4 - (L ₃)	2	3	0.05	0.20
5 - (L ₂)	2	5	0.05	0.20
6 - (L ₄)	3	4	0.10	0.40

Enerji sistemlerinde güvenilirlik analizi için gerekli veriler hat parametrelerinden ziyade, sistem arıza istatistikleri, sistemden çekilen yükler ve bunların karşılanabilirlik dereceleri, sistem kısıtları ve bu kısıtların verilen çalışma şartlarındaki davranışları gibi, modern bir güç sisteminden beklenen, enerjinin, sürekli ve kaliteli bir şekilde sağlanabilmesi amacını

etkileyen veriler daha önemlidir. Bunun için sistemden çekilen yükler ve sistem kısıtları Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3’ te verilmiştir.

Çizelge 7.2. 5 baralı sisteme ait yük verileri

BARA NO	YÜK VERİLERİ	
	P_L [p.u.]	Q_L [p.u.]
1	0.0	0.0
2	0.0	0.0
3	0.6	0.3
4	0.4	0.1
5	0.6	0.2

Çizelge 7.3. 5 baralı sisteme ait gerilim kısıtları

BARA NO	[p.u.]	
	Vmin	Vmax
1	1.0	1.10
2	1.0	1.10
3	0.95	1.05
4	0.95	1.05
5	0.95	1.05

Enerji sistemlerinde muhtemel birçok arıza tipi vardır. Biz burada bu arıza tiplerinden, sürekli devre dışı kalma, geçici devre dışı kalma, özellikle daha çok devre kesiciler için söz konusu olan bakım dolayısıyla devre dışı kalma ve aşırı yük sebebiyle devre dışı kalmalar göz önünde bulundurulmuştur. Mevcut sistemle ilgili “bir yıl” bazına göre muhtemel arıza tipleri ve bunların oluş hızları ile ilgili veriler, Çizelge 7.5’te olduğu gibi tahmin edilmiştir. Bu tahminler yapılırken tek hat için sürekli arıza oranı (SAO) tespitinde IEEE Reliability Test System Subcommittee tarafından verilen eşitlik (7.1)’ deki ampirik ifade kullanılmıştır.

$$SAO\{\text{Bir hat için}\} = 0.34 \cdot L + 0.29 \text{ [a/yıl]}, \quad L[1/100 \text{ km}] \quad (7.1)$$

Ayrıca iki ve üç ayrı hattın göz önünde bulundurulmuş arıza durumları için sürekli arıza oranlarının belirlenmesinde, (7.2) ve (7.3) ampirik ifadeleri kullanılmıştır.

$$SAO\{\text{İki hat için}\} = 0.42 \cdot L_i \cdot L_j + 0.0126 \text{ [a/yıl]}, \quad L_1, L_2[1/100 \text{ km}]; \quad L_3[1/150 \text{ km}] \quad (7.2)$$

$$SAO\{\text{Üç hat için}\} = 0.078 \cdot L_i \cdot L_j \cdot L_z + 0.00079 \text{ [a/yıl]}, \quad L_1[1/100 \text{ km}]; \quad L_2[1/150 \text{ km}]; \quad L_3[1/200 \text{ km}] \quad (7.3)$$

Burada, $i=1,2,3$; $j=1,2,3$; $z=1,2,3$ olup, $L_1= 50 \text{ km}$; $L_2= 100 \text{ km}$; $L_3 = 150 \text{ km}$ dir. Şekil 5.1’deki güç sistemine ait hat uzunlukları ise Çizelge 7.4’ te verilmiştir.

Çizelge 7.4. 5 baralı sisteme ait hat uzunlukları

HAT	HAT UZUNLUĞU [km]
L ₁	50
L ₂	150
L ₃	50
L ₄	50
L ₅	50
L ₆	100

Çizelge 7.5. Muhtemel arıza konfigürasyonlarında örnek sisteme ait, bir yıl bazına göre tespit edilen toplam arıza ve onarım hızları

OLASI ARIZALAR	OLASI ARIZALARIN TİPLERİ					
	Sürekli Devre Dışı Kalma	Geçici Devre Dışı Kalma	Bakım Devre Dışı Kalma	Aşırı Yük Devre Dışı Kalma	Ortalama Arıza Süresi	Toplam Devre Dışı Kalma
	[a/yıl]	MTTF [Saat]	[a/yıl]	[a/yıl]	MTTR [Saat]	[a/yıl]
L1	0.46	3186	0.2 (108 sa.)	0.59	40	4
L2	0.46	3209	0.2 (90 sa.)	0.21	45	3.6
L3	0.46	3602	0.2 (78 sa.)	0.10	48	3.2
L4	0.63	4685	0.1 (43 sa.)	0.10	52	2.7
L5	0.80	4152	0.1 (80 sa.)	0.15	46	3.16
L6	0.63	5180	0.08 (34 sa.)	0.088	60	2.49

OLASI ARIZALAR	OLASI ARIZALARIN TİPLERİ					
	Sürekli Devre Dışı Kalma	Geçici Devre Dışı Kalma	Bakım Devre Dışı Kalma	Aşırı Yük Devre Dışı Kalma	Ortalama Arıza Süresi	Toplam Devre Dışı Kalma
	[a/yıl]	MTTF [Saat]	[a/yıl]	[a/yıl]	MTTR [Saat]	[a/yıl]
L1,L2	0.118	8520	-	$1.38 \cdot 10^{-2}$	75	1.16
L1,L3	0.118	9840	-	$3.17 \cdot 10^{-2}$	77	1.04
L1,L4	0.223	12990	-	$2.63 \cdot 10^{-3}$	80	0.90
L1,L5	0.223	12900	-	$7.93 \cdot 10^{-2}$	78	0.98
L1,L6	0.223	13950	-	$9.04 \cdot 10^{-3}$	82	0.86

OLASI ARIZALAR	OLASI ARIZALARIN TİPLERİ					
	Sürekli Devre Dışı Kalma	Geçici Devre Dışı Kalma	Bakım Devre Dışı Kalma	Aşırı Yük Devre Dışı Kalma	Ortalama Arıza Süresi	Toplam Devre Dışı Kalma
	[a/yıl]	MTTF [Saat]	[a/yıl]	[a/yıl]	MTTR [Saat]	[a/yıl]
L2,L1	0.118	9875	-	$1.49 \cdot 10^{-2}$	78	1.02
L2,L3	0.118	11150	-	$5.63 \cdot 10^{-2}$	81	0.96
L2,L4	0.223	14850	-	$6.71 \cdot 10^{-2}$	82	0.88
L2,L5	0.223	14260	-	$8.26 \cdot 10^{-2}$	74	0.92
L2,L6	0.223	15205	-	$2.087 \cdot 10^{-2}$	85	0.82

OLASI ARIZALAR	OLASI ARIZALARIN TIPLERİ					
	Sürekli Devre Dışı Kalma	Geçici Devre Dışı Kalma	Bakım Devre Dışı Kalma	Aşırı Yük Devre Dışı Kalma	Ortalama Arıza Süresi	Toplam Devre Dışı Kalma
	[a/yıl]	MTTF [Saat]	[a/yıl]	[a/yıl]	MTTR [Saat]	[a/yıl]
L3,L1	0.118	8400	-	$1.91 \cdot 10^{-2}$	74	1.18
L3,L2	0.118	9590	-	$1.85 \cdot 10^{-2}$	76	1.05
L3,L4	0.223	15040	-	$2.45 \cdot 10^{-2}$	83	0.83
L3,L5	0.223	13510	-	$5.85 \cdot 10^{-2}$	84	0.93
L3,L6	0.223	15430	-	$9.27 \cdot 10^{-3}$	90	0.80

OLASI ARIZALAR	OLASI ARIZALARIN TIPLERİ					
	Sürekli Devre Dışı Kalma	Geçici Devre Dışı Kalma	Bakım Devre Dışı Kalma	Aşırı Yük Devre Dışı Kalma	Ortalama Arıza Süresi	Toplam Devre Dışı Kalma
	[a/yıl]	MTTF [Saat]	[a/yıl]	[a/yıl]	MTTR [Saat]	[a/yıl]
L4,L1	0.223	10975	-	$9.88 \cdot 10^{-2}$	76	1.12
L4,L2	0.223	11245	-	$5.79 \cdot 10^{-2}$	75	1.06
L4,L3	0.223	12585	-	$7.09 \cdot 10^{-2}$	80	0.99
L4,L5	0.433	15295	-	$4.26 \cdot 10^{-3}$	80	1.01
L4,L6	0.433	16550	-	$7.69 \cdot 10^{-3}$	85	0.97

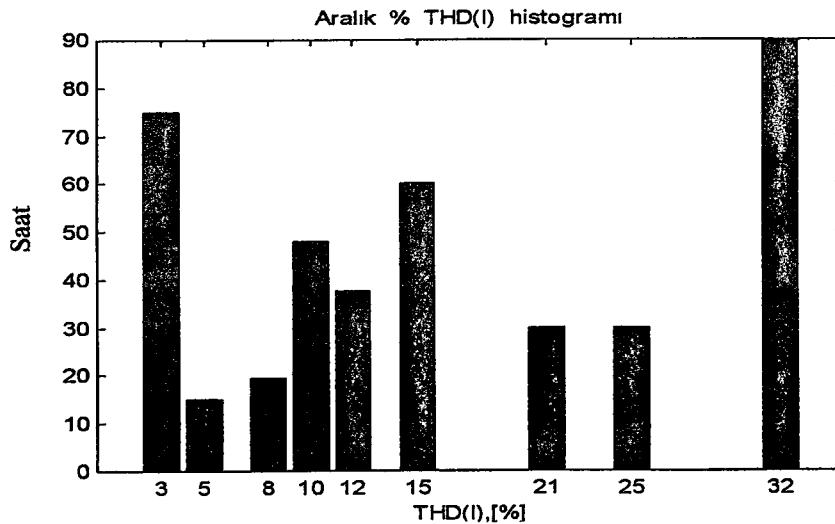
OLASI ARIZALAR	OLASI ARIZALARIN TIPLERİ					
	Sürekli Devre Dışı Kalma	Geçici Devre Dışı Kalma	Bakım Devre Dışı Kalma	Aşırı Yük Devre Dışı Kalma	Ortalama Arıza Süresi	Toplam Devre Dışı Kalma
	[a/yıl]	MTTF [Saat]	[a/yıl]	[a/yıl]	MTTR [Saat]	[a/yıl]
L5,L1	0.223	14750	-	$7.31 \cdot 10^{-2}$	88	0.89
L5,L2	0.223	13250	-	$8.58 \cdot 10^{-2}$	85	0.97
L5,L3	0.223	14200	-	$7.009 \cdot 10^{-2}$	84	0.91
L5,L4	0.433	17020	-	$1.23 \cdot 10^{-2}$	80	0.96
L5,L6	0.433	17420	-	$4.129 \cdot 10^{-3}$	82	0.94

OLASI ARIZALAR	OLASI ARIZALARIN TIPLERİ					
	Sürekli Devre Dışı Kalma	Geçici Devre Dışı Kalma	Bakım Devre Dışı Kalma	Aşırı Yük Devre Dışı Kalma	Ortalama Arıza Süresi	Toplam Devre Dışı Kalma
	[a/yıl]	MTTF [Saat]	[a/yıl]	[a/yıl]	MTTR [Saat]	[a/yıl]
L6,L1	0.223	14700	-	$5.108 \cdot 10^{-2}$	85	0.87
L6,L2	0.223	15610	-	$2.58 \cdot 10^{-2}$	90	0.81
L6,L3	0.223	15825	-	$3.445 \cdot 10^{-3}$	100	0.78
L6,L4	0.433	16275	-	$8.75 \cdot 10^{-3}$	80	0.98
L6,L5	0.433	16985	-	$1.25 \cdot 10^{-3}$	82	0.95

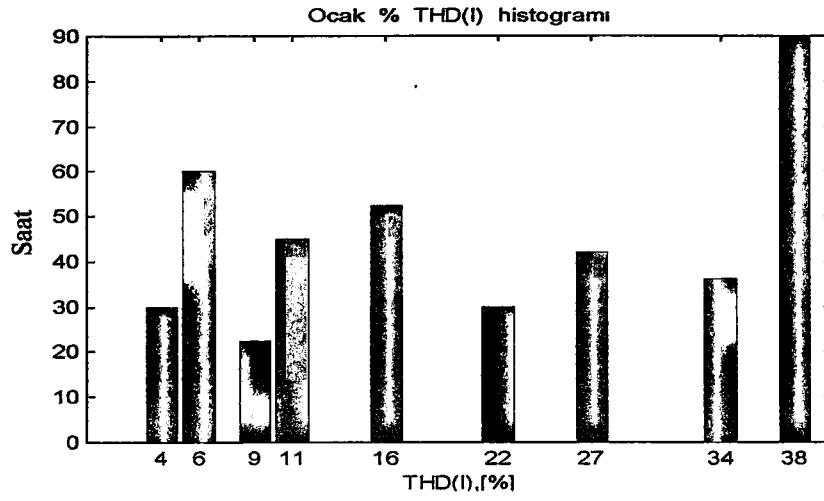
OLASI ARIZALAR	OLASI ARIZALARIN TIPLERİ					
	Sürekli Devre Dışı Kalma	Geçici Devre Dışı Kalma	Bakım Devre Dışı Kalma	Aşırı Yük Devre Dışı Kalma	Ortalama Arıza Süresi	Toplam Devre Dışı Kalma
	[a/yıl]	[a/yıl]	[a/yıl]	[a/yıl]	MTTR [Saat]	[a/yıl]
L3,L4-L6	0.0138	0.0140	-	$1.452 \cdot 10^{-4}$	180	0.0280
L3,L6-L4	0.0138	0.00198	-	$2.23 \cdot 10^{-5}$	220	0.0158
L3,L5-L6	0.0203	0.0178	-	$4.17 \cdot 10^{-4}$	200	0.0320
L3,L6-L5	0.0203	0.0187	-	$8.87 \cdot 10^{-4}$	210	0.0396
L4,L6-L3	0.0138	0.0113	-	$2.69 \cdot 10^{-4}$	205	0.0254
L5,L6-L3	0.0203	0.0207	-	$1.79 \cdot 10^{-4}$	195	0.0412

Verilen örnek sistemin, harmonik etkinliği altındaki güvenilirlik analizini hesaplamak için, her bir ay boyunca sistemin her bir yük noktasından çekilen THD(I) değerlerinin histogram eğrileri (Şekil 7.2) kullanılmıştır (Sabin et al., 1999; Electric Power Research Institute, 1996). Bu eğriler sayesinde %40'lara kadar (Yıldırım and Fuchs, 1999) olan THD(I) değerlerinin, incelenen zaman dilimi içerisinde ortalama etkinlik zamanı bilinmektedir. Bu sayede “bir ay” ve “bir yıl” bazına göre, THD(I)'ların sebep olduğu, transformatörlerin kapasitesindeki % azalmalar ile ek kayıplar ve akım ve gerilimin efektif değerlerindeki artıştan dolayı, harmoniksiz duruma göre sağlanan enerji miktarlarındaki değişim, güvenilirlik indisleri olarak alınmıştır.

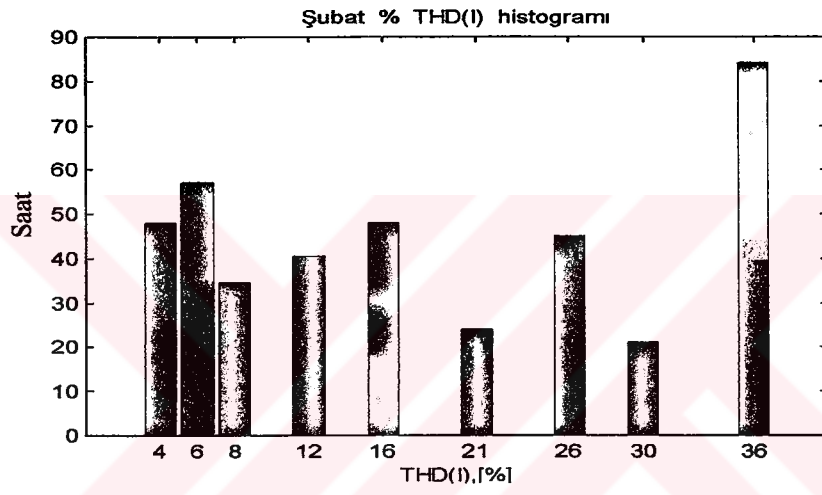
Harmoniklerin dağıtım transformatörleri üzerindeki etkisini modellemede, bölüm 6, Şekil 6.46'da gösterildiği gibi “Bulanık Yaklaşım Tekniğinden” yararlanılmıştır. “Harmonik Kayıp Faktörü” kriteri sonuçlarının kullanıldığı bu yaklaşımda Şekil 7.2' de verilen THD(I) değerleri baz alınmıştır.



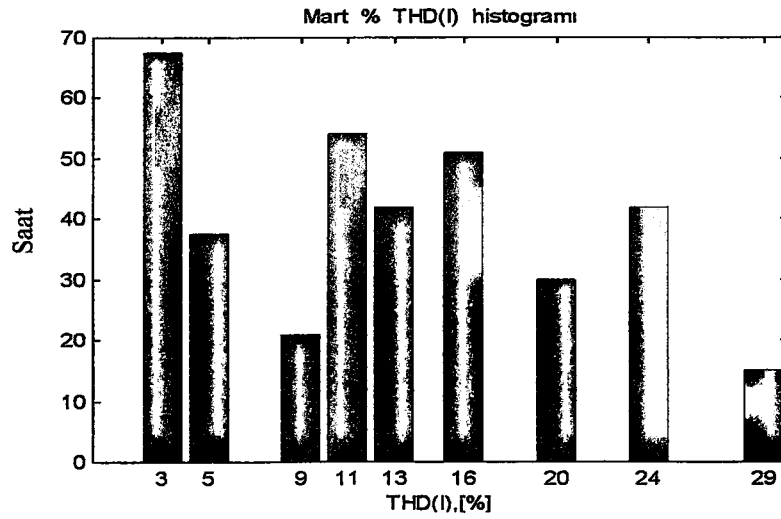
(a)



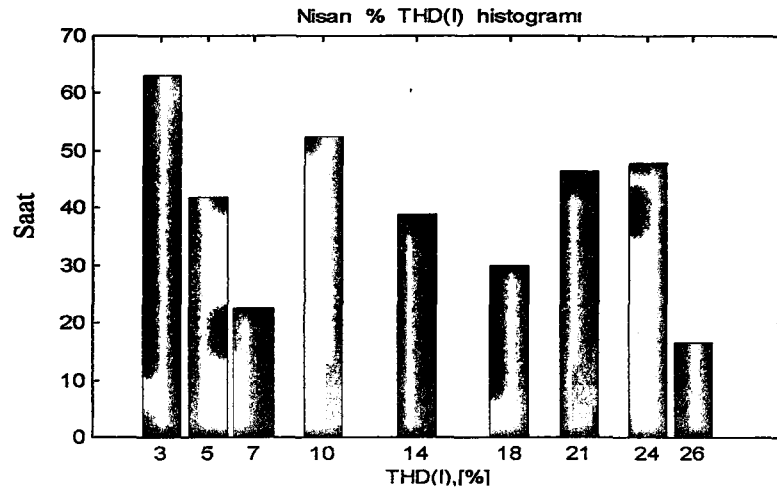
(b)



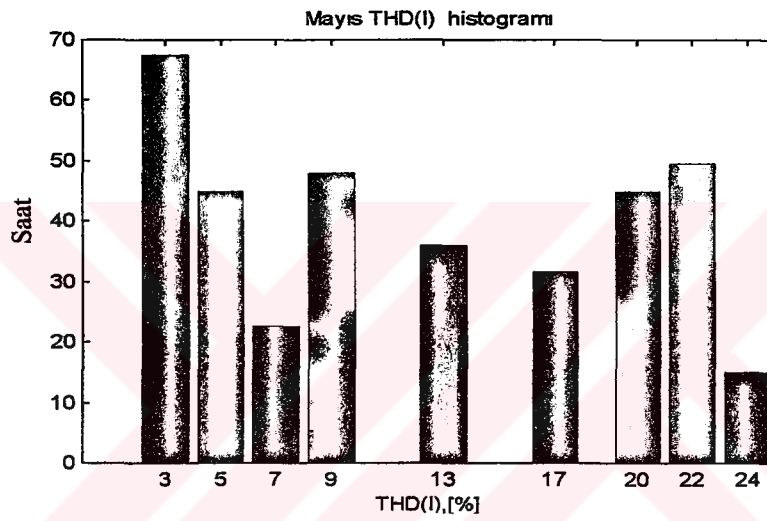
(c)



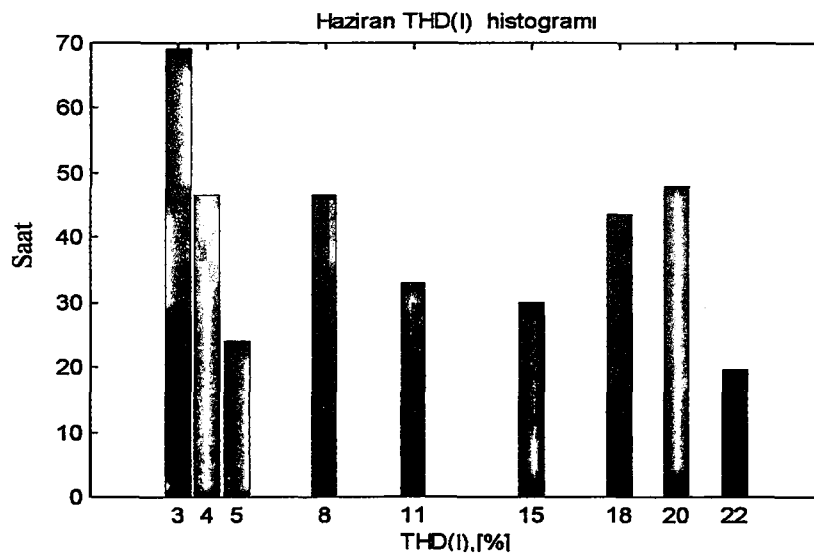
(d)



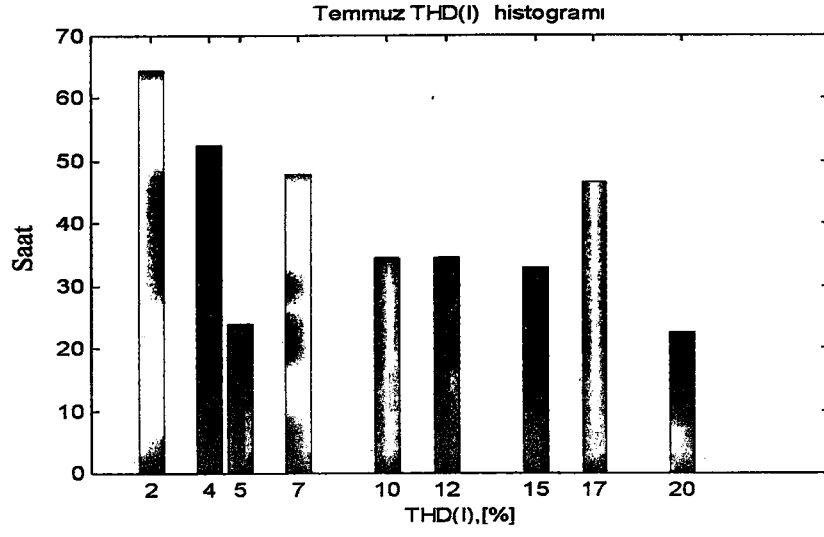
(e)



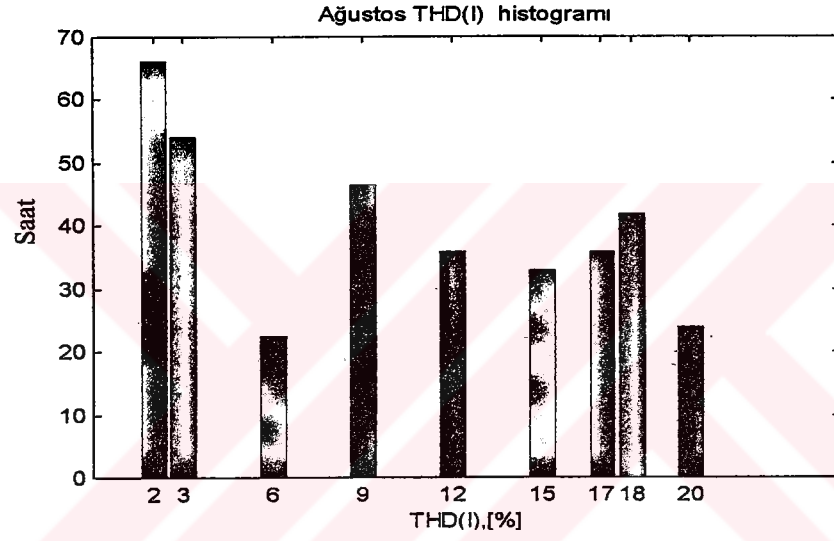
(f)



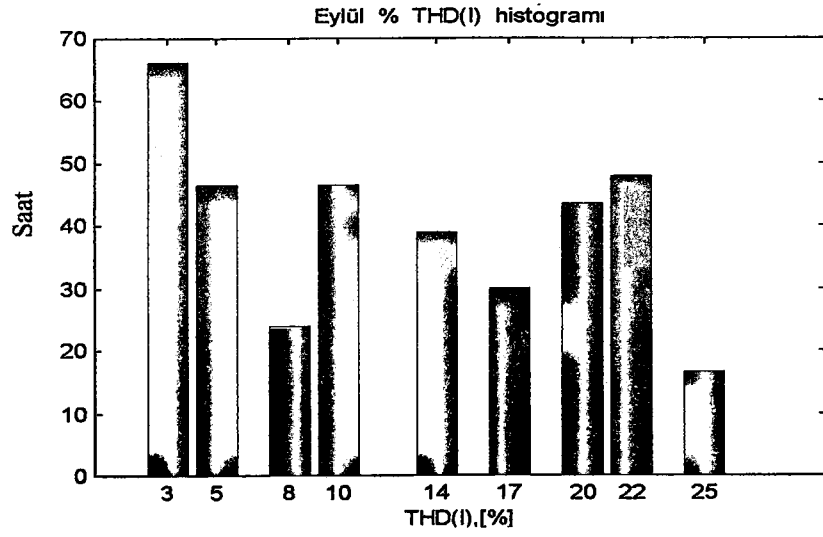
(g)



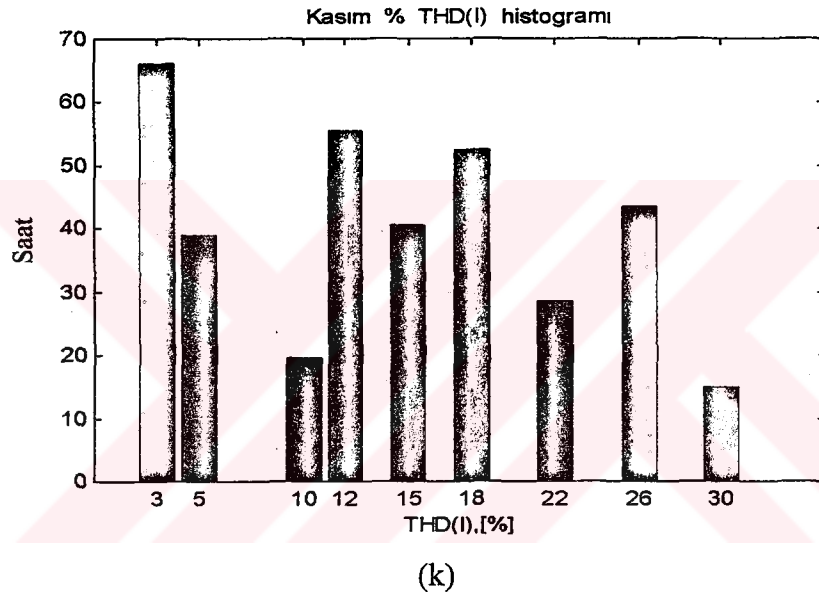
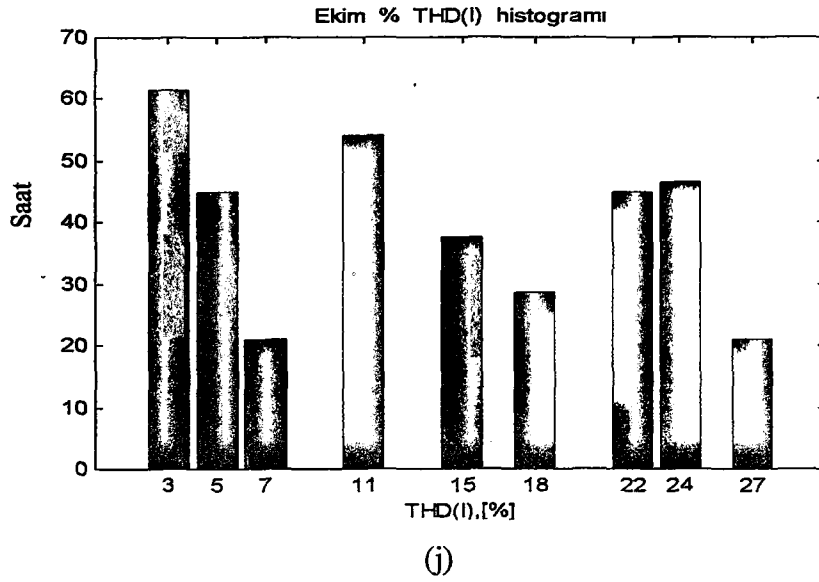
(h)



(ı)

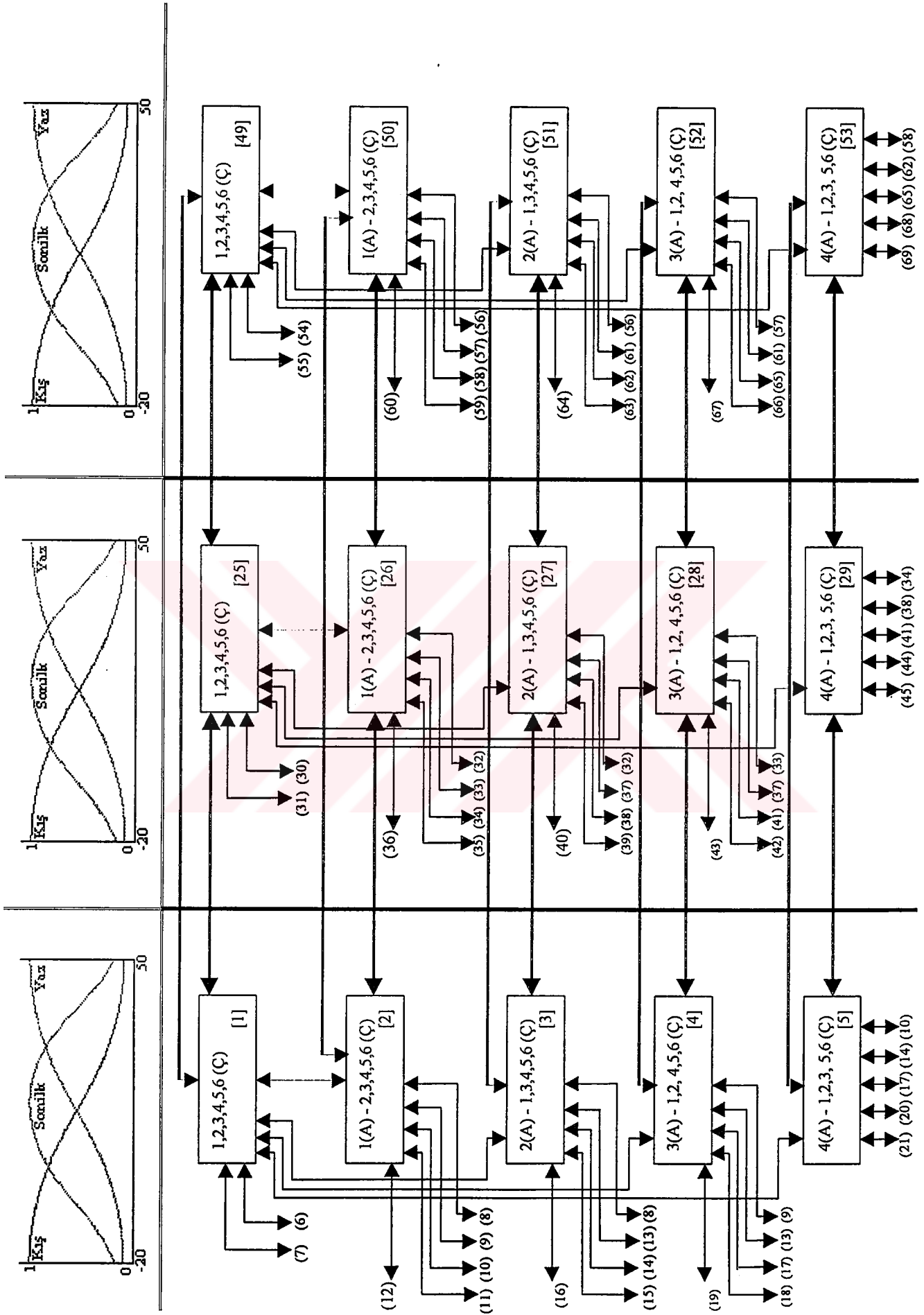


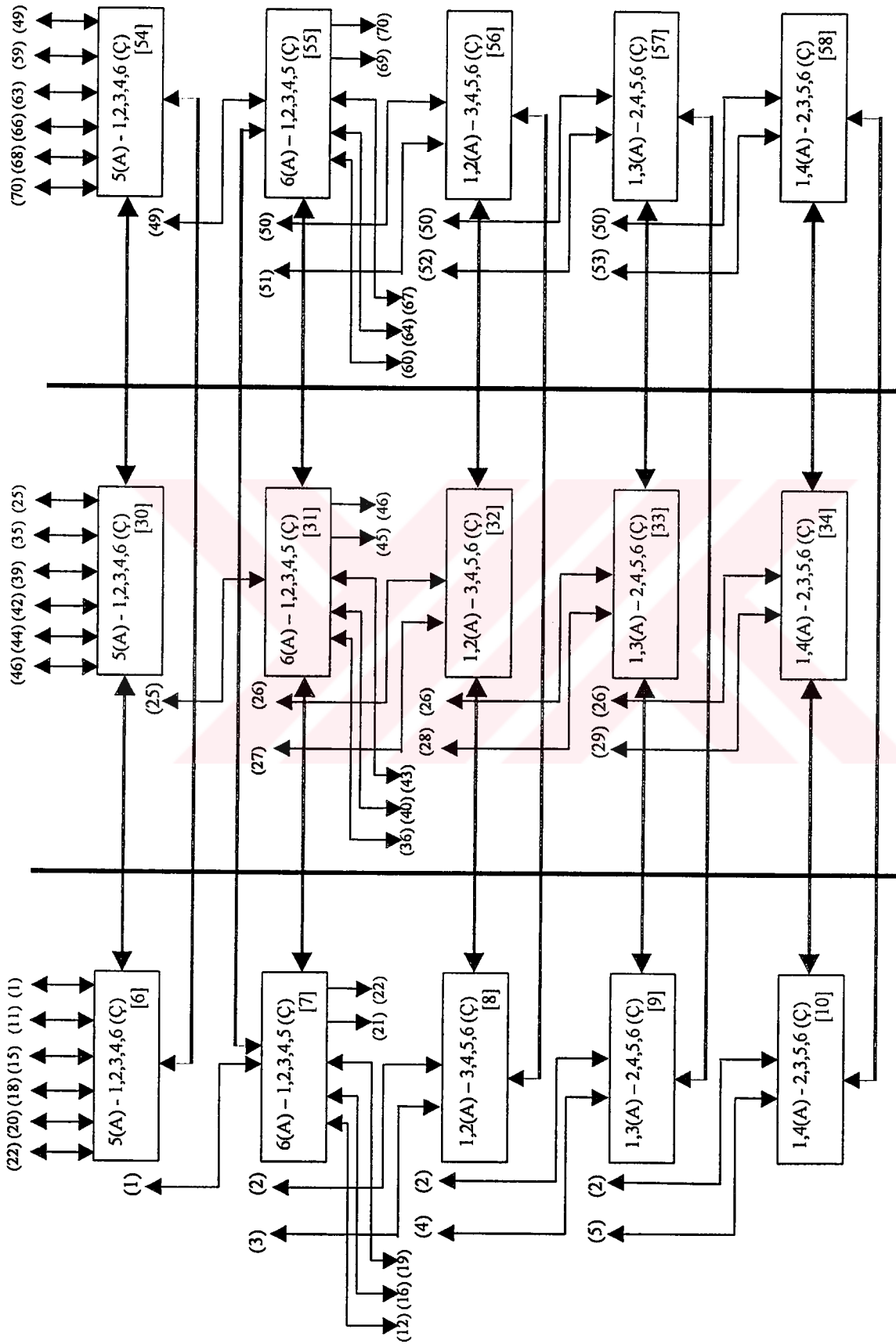
(i)

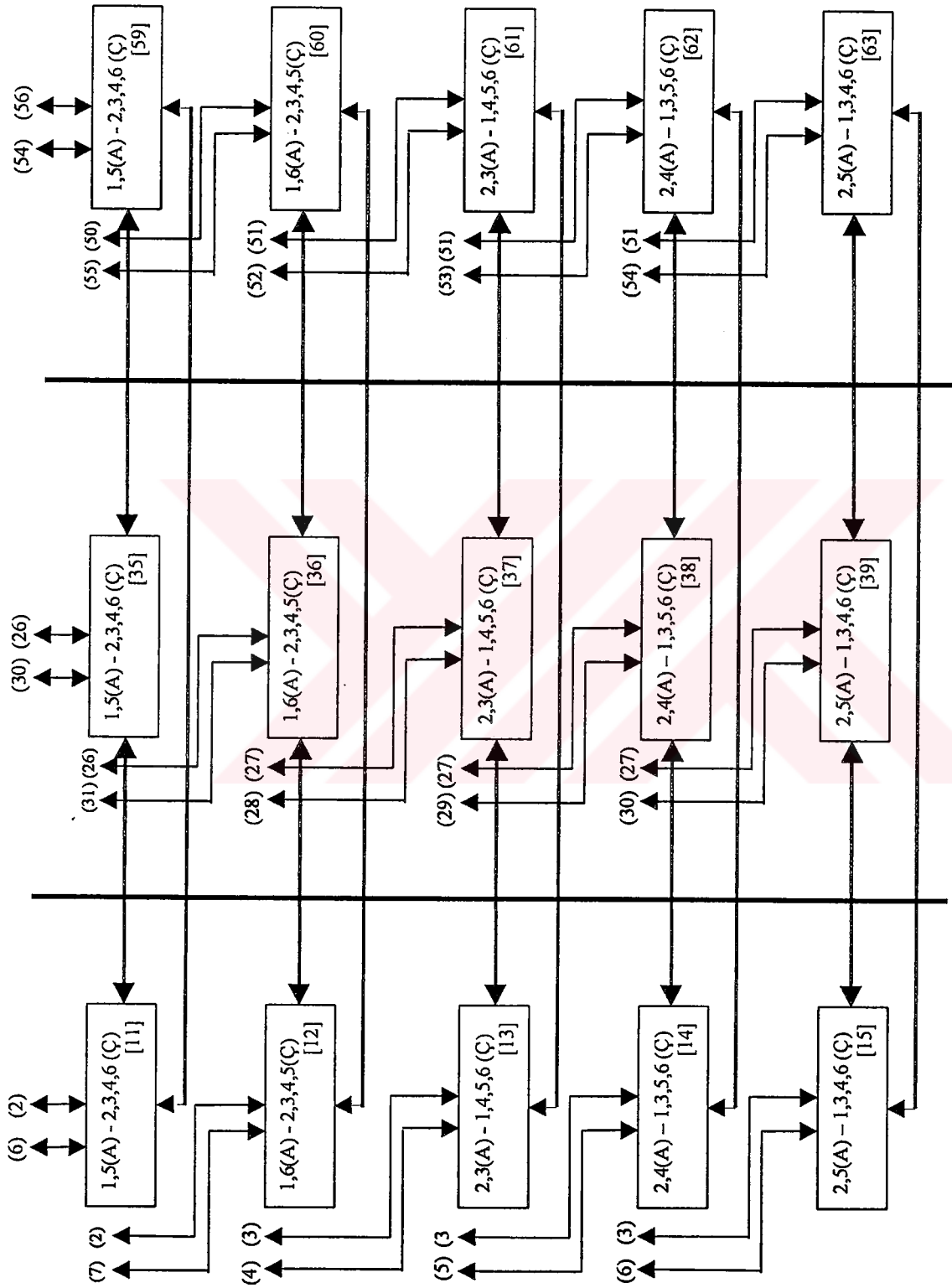


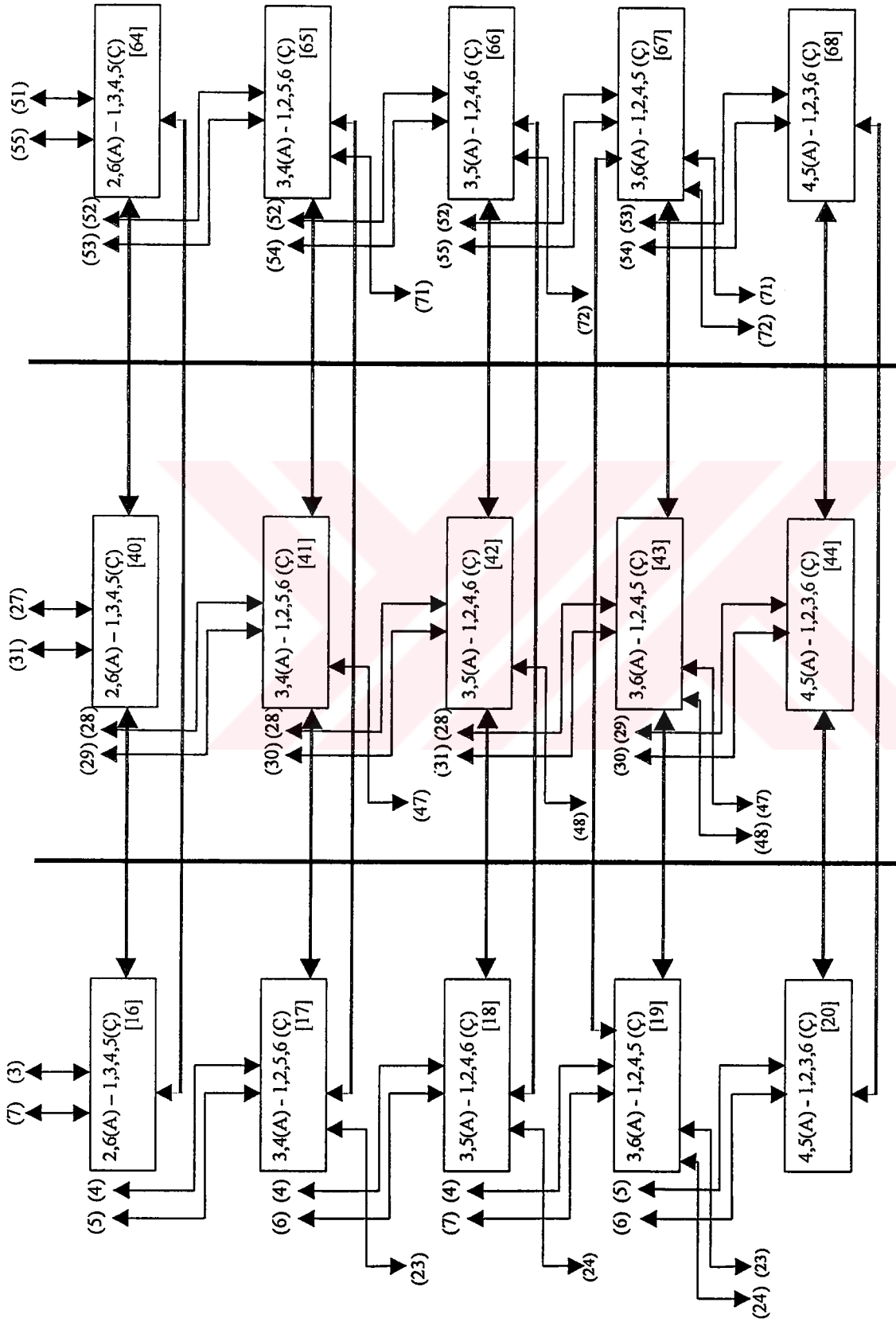
Şekil 7.2. Bir yılın bütün ayları için [Aralık (a), Ocak (b), Şubat(c), Mart (d), Nisan (e), Mayıs (f), Haziran (g), Temmuz (h), Ağustos (i), Eylül (i), Ekim (j), Kasım (k)] B3, B4, B5 yük baralarında ölçülen THD(I) değerlerinin histogram eğrileri

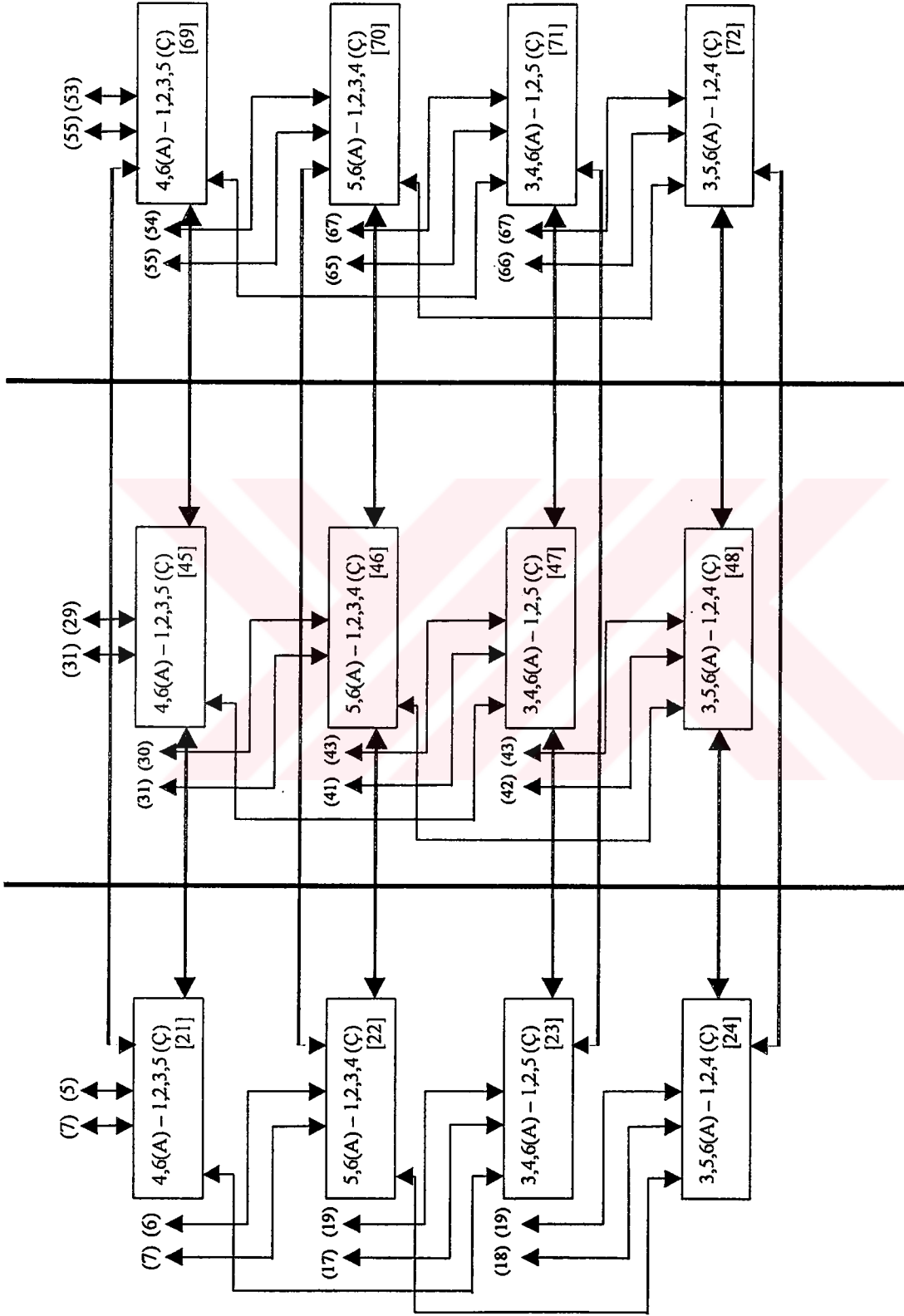
Örnek sistem de, B3, B4, B5 yük baralarının güvenilirliği incelenmiştir. Bu bağlamda sistemin muhtemel 24 farklı arıza konfigürasyonu göz önünde tutulmuştur. Literatürde daha önceki yapılan çalışmalarda en fazla iki hava modeli göz önünde bulundurulmasına karşın, geliştirilen bulanık markov yöntemi ile bütün hava şartları analize dahil edilmiştir. Hava durumları (normal ve ağır hava şartları gibi), mevsim sıcaklık dereceleri ile çok yakından ilgili olduğundan, hava şartlarını modellemede, ortam sıcaklık değerleri baz alınmıştır. Sıcaklığın ise, bir yıl boyunca (-20) ile (+50) derece arasında değiştiği kabul edilmiştir. Bu verilere göre verilen örnek sistem için elde edilen bulanık markov modeli Şekil 7.3' te verilmiştir.





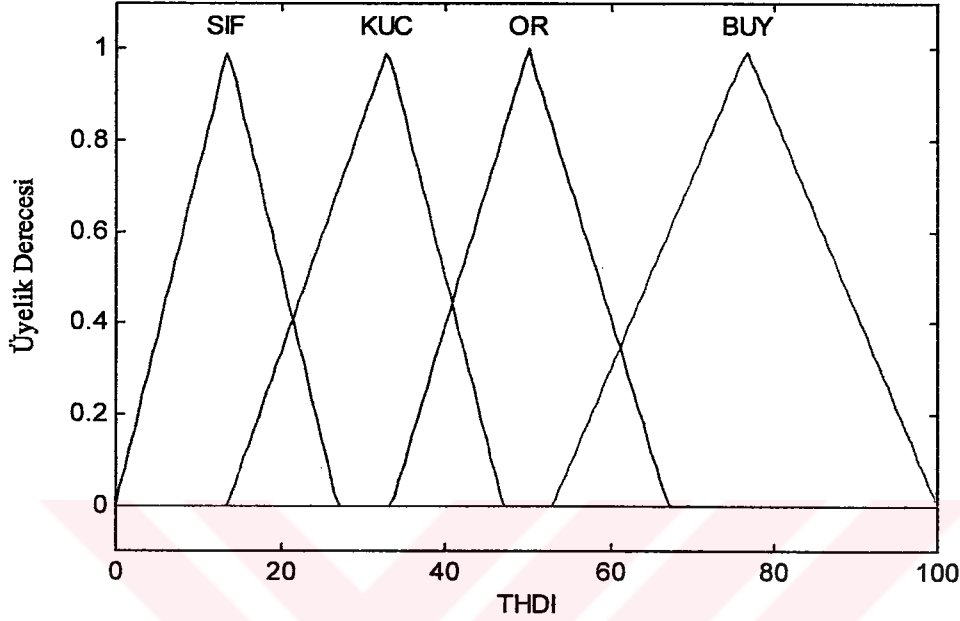




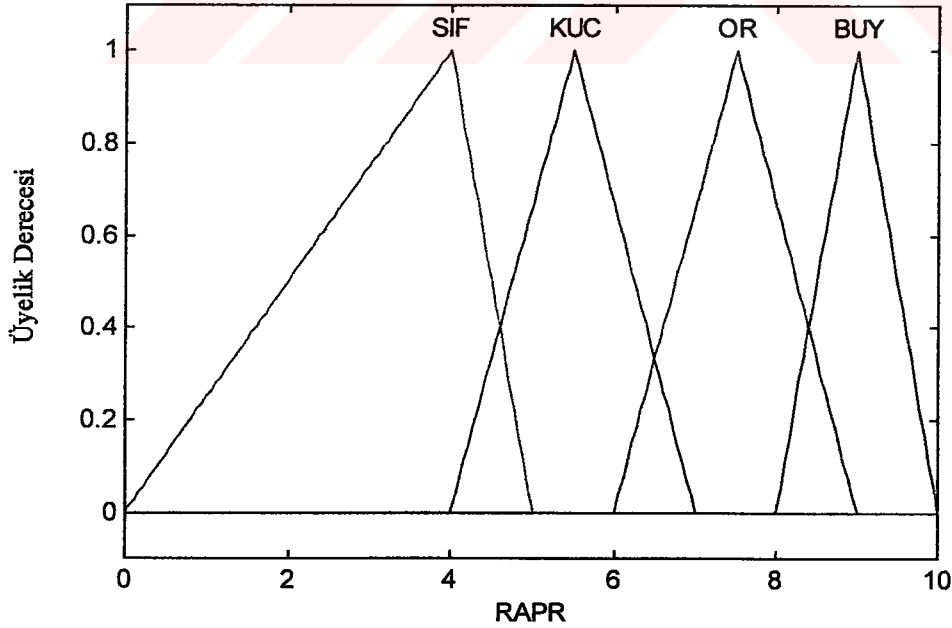


Şekil 7.3. Örnek sistemin muhtemel 24 farklı arıza durumu için, üç ana etiket altında toplanan (yaz, sonbahar-ilkbahar, kış), tüm hava şartları için elde edilmiş bulanık markov modeli.

Harmonik etkisi altındaki enerji sistemi güvenilirliği analizinde verilen THD(I) değerlerine göre, transformatörlerin besleme kapasitesinin azalma yüzdesini tayin eden giriş ve çıkışa ait üyelik fonksiyonları Şekil 7.4 ve 7.5’ te, kural tablosu ise Çizelge 7.6’ da verilmiştir. Burada kurallardaki işleyişi kolaylaştırmak ve kural sayısını azaltmak için, giriş ve çıkışa ait üyelik fonksiyonları etiket isimlerine aynı isim atanmıştır.



Şekil 7.4. Verilen THD(I) değerlerine göre, transformatörlerin besleme kapasitesinin azalma yüzdesini tayin eden giriş üyelik fonksiyonu

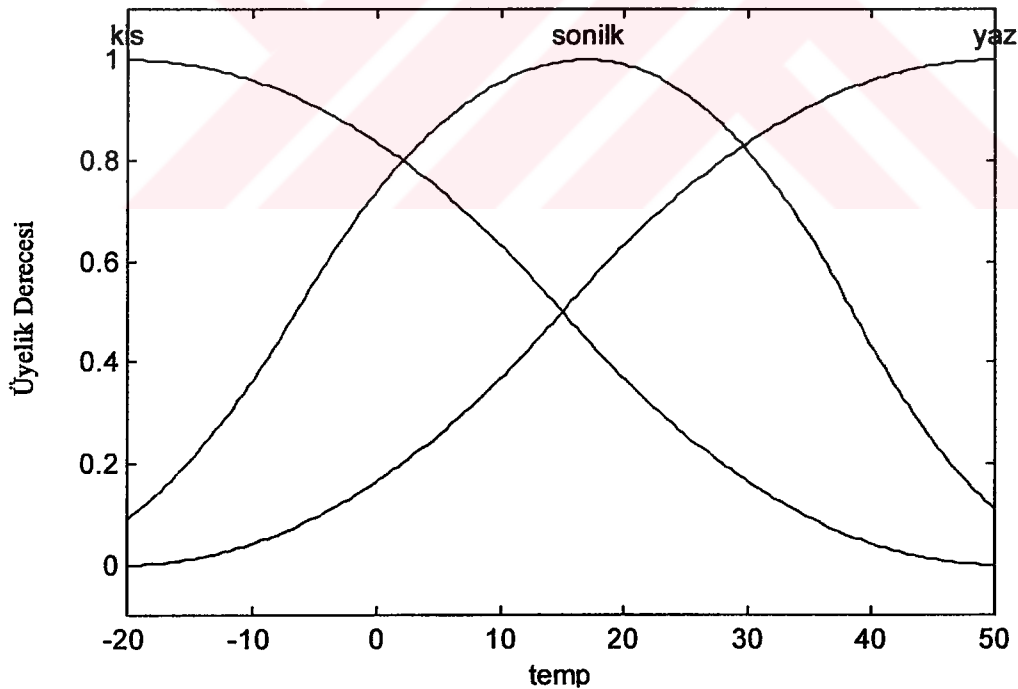


Şekil 7.5. Verilen THD(I) değerlerine göre, transformatörlerin besleme kapasitesinin azalma yüzdesini tayin eden çıkış üyelik fonksiyonu

Çizelge 7.6. Verilen THD(I) değerlerine göre, transformatörlerin besleme kapasitesinin azalma yüzdesi için kural tablosu

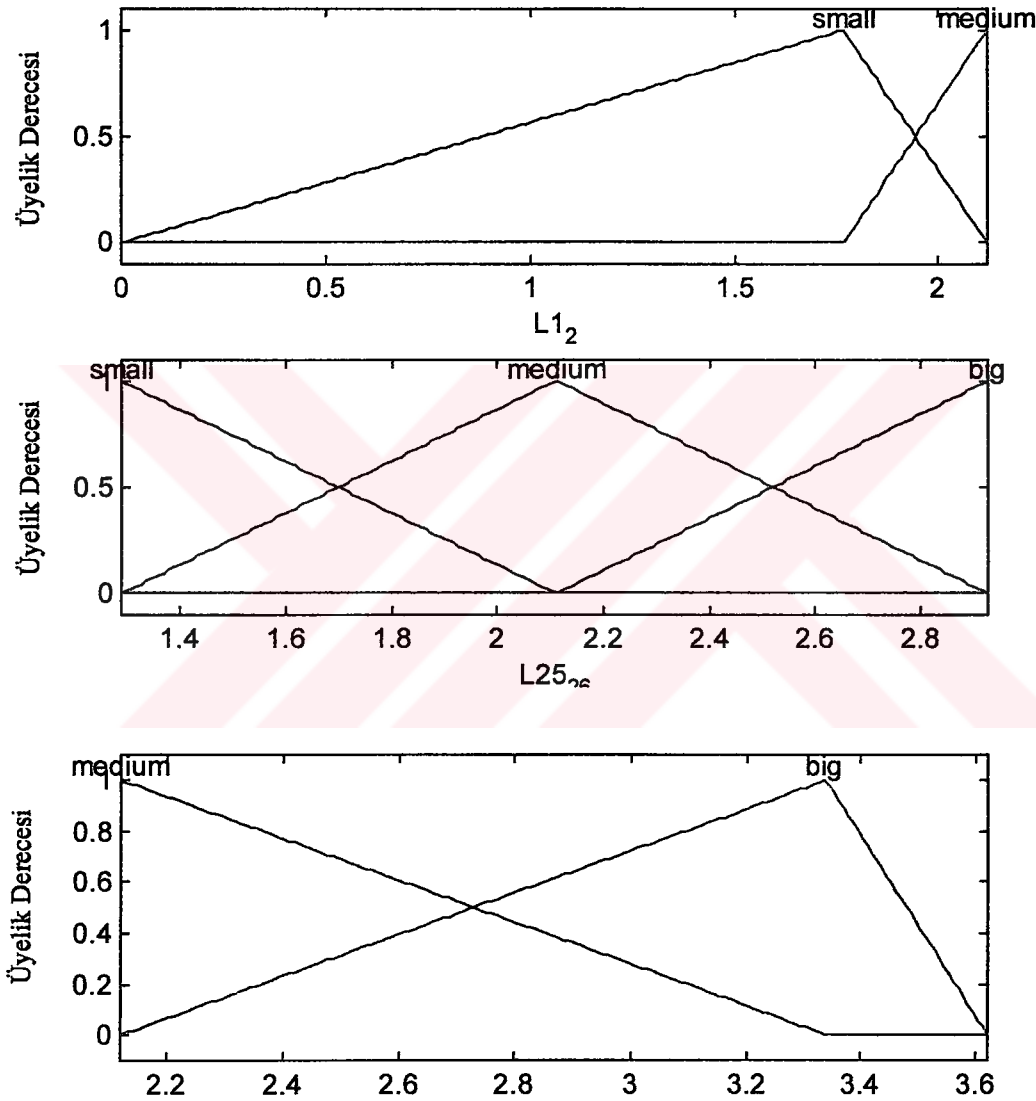
Eğer THD(I), SIF ise	O halde	RAPR SIF' dır
Eğer THD(I), KÜÇ ise	O halde	RAPR KÜÇ' tür
Eğer THD(I), OR ise	O halde	RAPR OR' dır
Eğer THD(I), BÜY ise	O halde	RAPR BÜY' tür

Bulanık markov modeline ait giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları ise Şekil 7.6 ve Şekil 7.7' de kurallar ise Çizelge 7.7'de verilmiştir. Bulanık markov modelinin giriş bilgisi olan hava sıcaklıkları üyelik fonksiyonu "Konveks Bulanık Küme" lerden seçilmiştir. Burada bir giriş bilgisi mevcut olup, 126 çıkış bilgisi vardır (63 arıza hızı, 63 onarım hızı). Arıza ve onarım hızları bulanık kümelerinin, çeşitli hava modellerine göre sınır değerleri oluşturulurken, arıza ve onarım hızlarının, maksimum ve minimum değerlerinin, verilen zaman dilimi veya hava şartları içerisinde, Çizelge 7.5' te bir yıl ortalamasına göre tespit edilen değere ne kadar yakın olduğunun derecesi tespit edilmiştir.



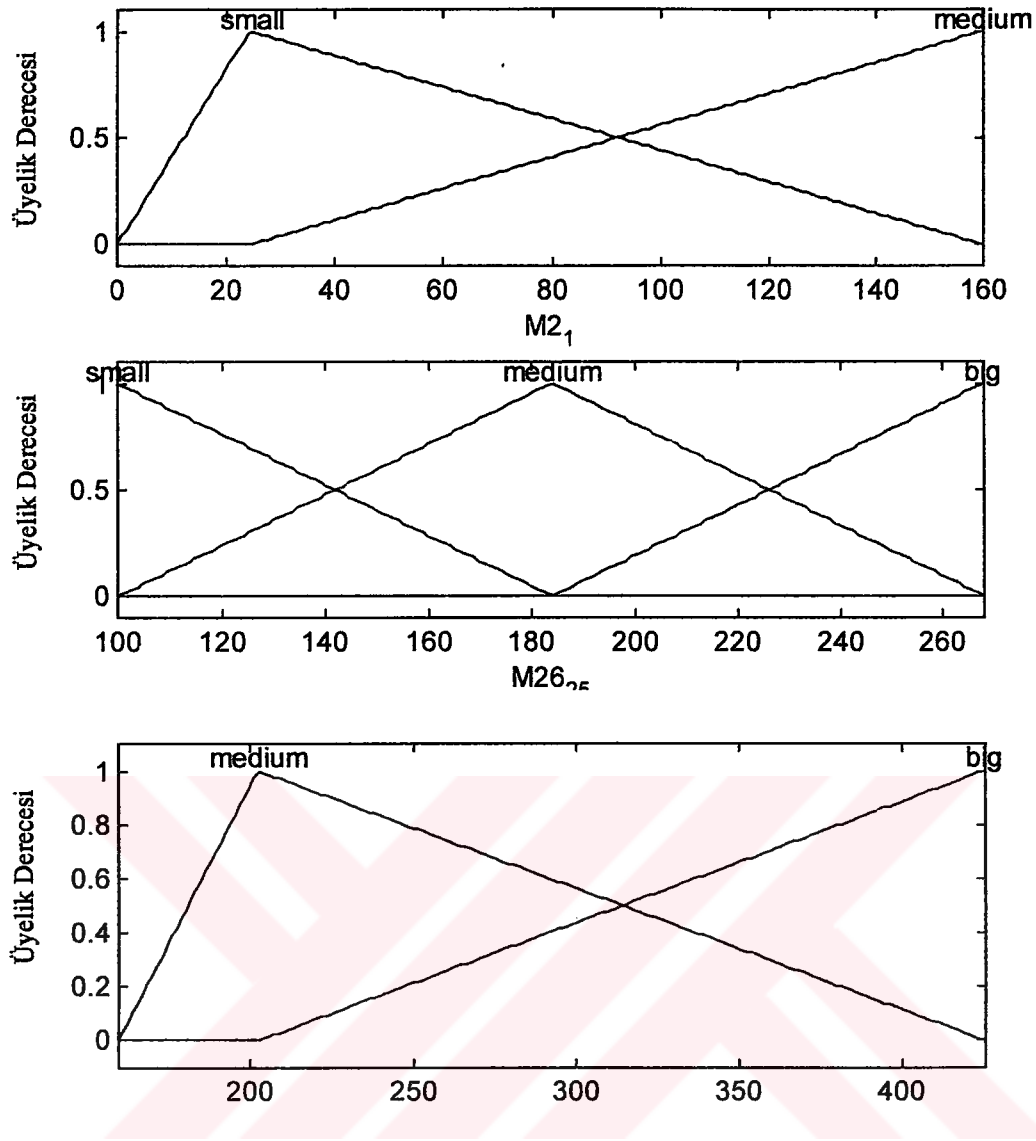
Şekil 7.6. Bulanık markov modelin girişini temsil eden, bir yıl bazına göre alınan ortam sıcaklığı üyelik fonksiyonu

Bulanık markov modelinin çıkışına ait üyelik fonksiyonlar, arıza ve onarım hızları olup, herbir zaman dilimi için ayrı ayrı üyelik fonksiyonlarına sahiptir. Bu çıkış değerleri, aynı zamanda durum geçiş matrisinin elemanlarını oluşturmaktadır. Şekil 7.7, sistemin bulanık markov modelinde gösterilen “durum 1” (1. arıza konfigürasyonu) ile ilişkili arıza oranı çıkış üyelik fonksiyonlarını, Şekil 7.8 ise “durum 1” (1. arıza konfigürasyonu) ile ilişkili onarım oranı çıkış üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Benzer şekilde bütün arıza konfigürasyonları için arıza ve onarım hızları çıkış üyelik fonksiyonları mevcuttur.



Şekil 7.7. Birinci arıza çeşidi ile ilişkili arıza oranı çıkış üyelik fonksiyonları

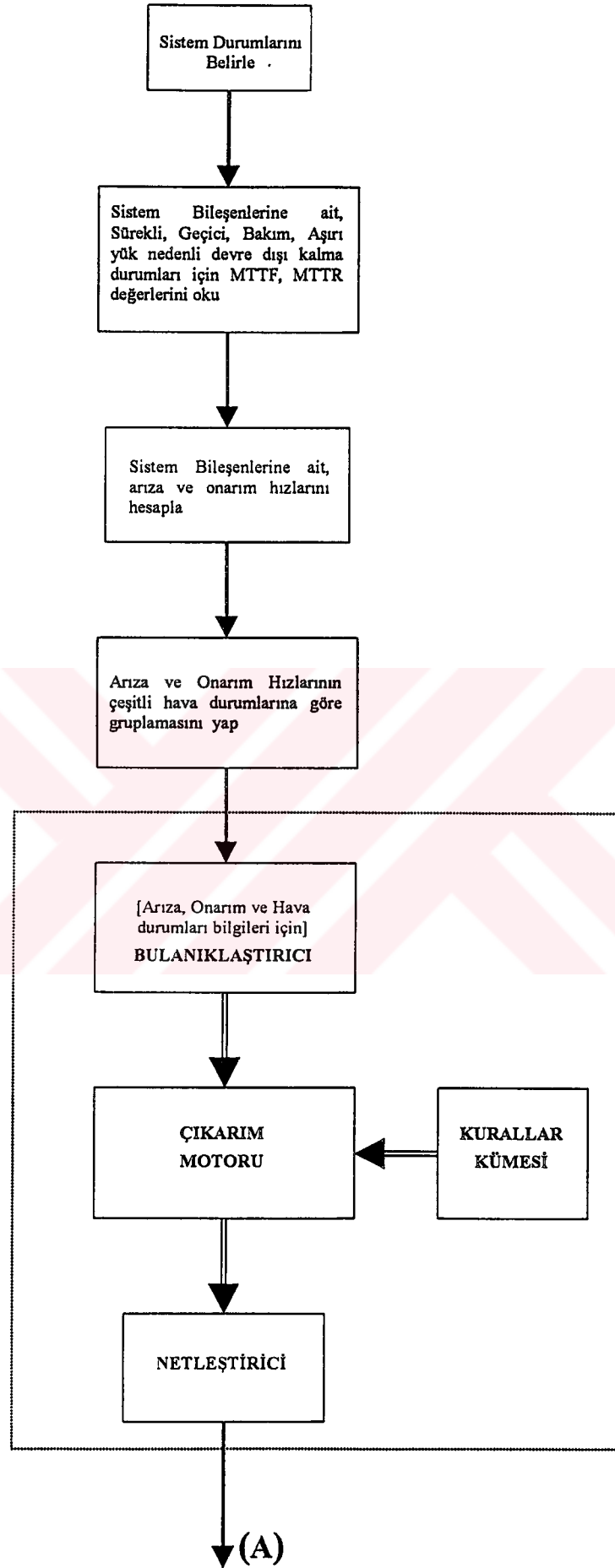
Örnek sistem için seçilen 5 baralı elektrik enerji sisteminin güvenilirlik analizi için, yapısal programlama dillerinden olan, matlab paket programlama dilinde yapılan analizin akış diyagramı Şekil 7.9’ da verilmiştir.

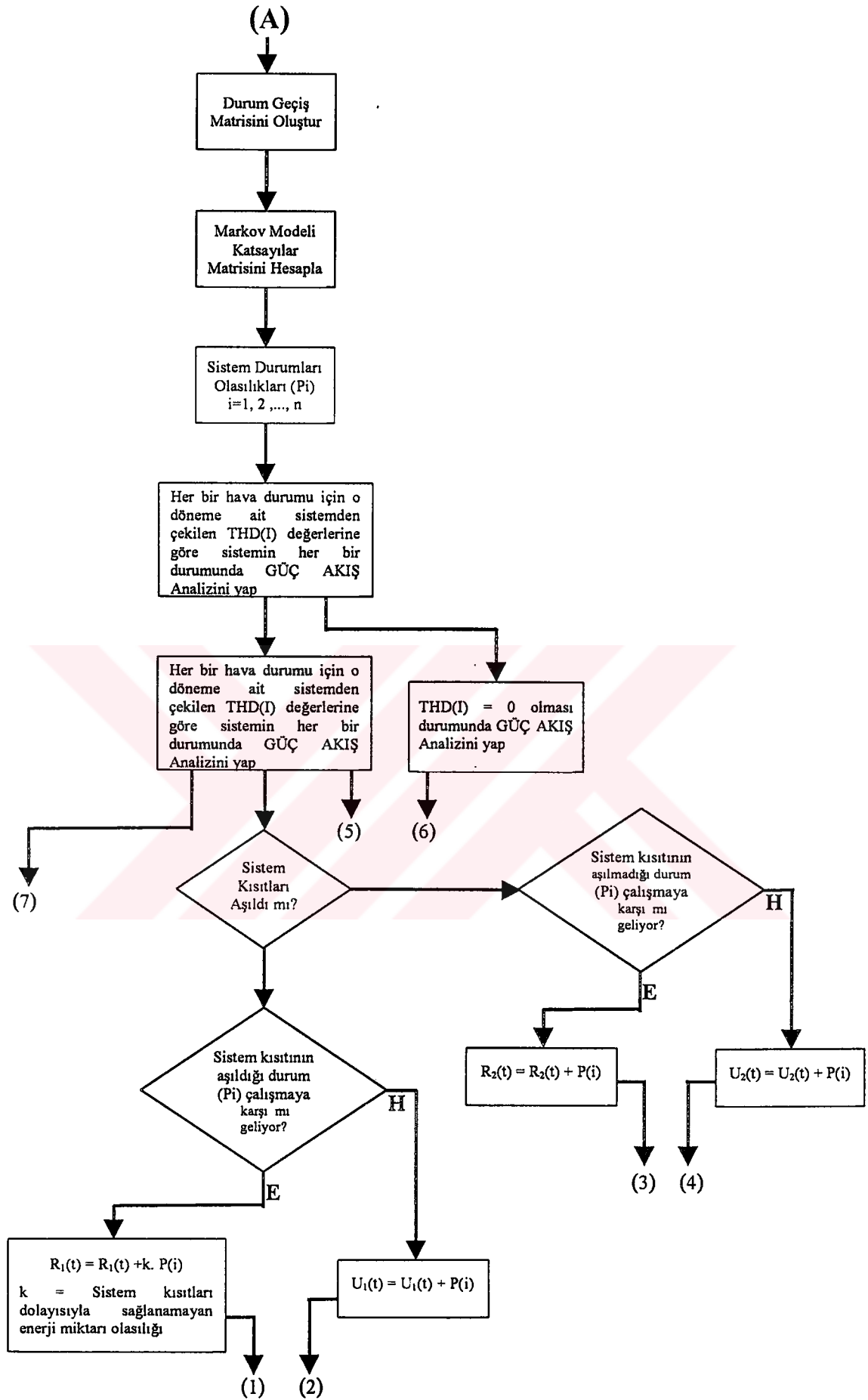


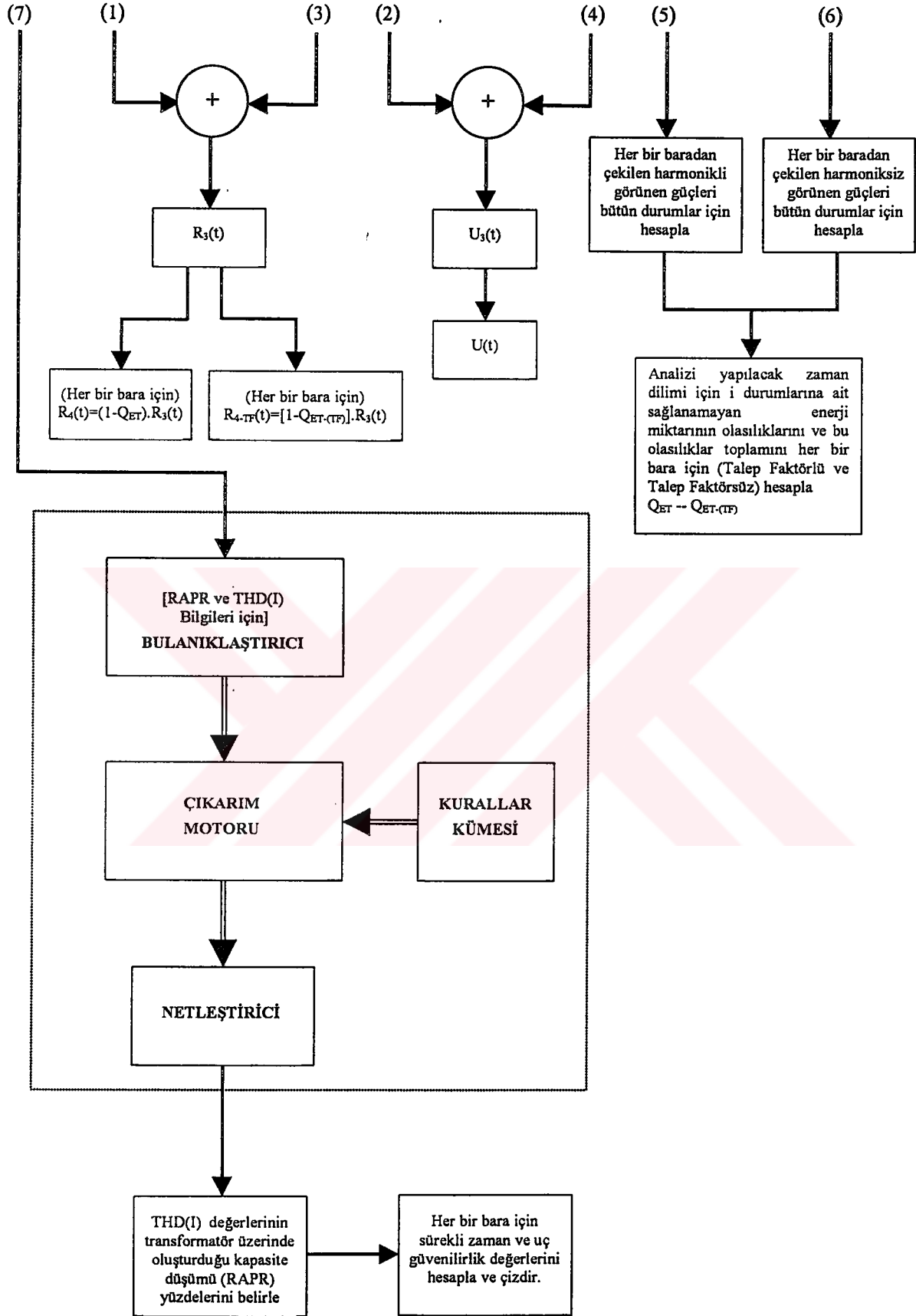
Şekil 7.8. Birinci arıza çeşidi ile ilişkili onarım oranı çıkış üyelik fonksiyonları

Çizelge 7.7. Hava şartları girişine bağlı olarak, sisteme ait çıkış arıza ve onarım hızlarını bulmak için oluşturulan bulanık kurallar

Eğer temp sonbahar veya ilk bahar ise,	o halde	λ_{12} medium	λ_{25-26} medium	λ_{49-50} medium
Eğer temp sonbahar veya ilk bahar ise,	o halde	λ_{21} medium	λ_{26-25} medium	λ_{50-49} medium
Eğer temp kış ise,	o halde	λ_{25-26} big	λ_{49-50} big	
Eğer temp kış ise,	o halde	μ_{21} small	μ_{26-25} small	
Eğer temp yaz ise,	o halde	μ_{26-25} big	μ_{50-49} big	
Eğer temp yaz ise,	o halde	λ_{25-26} small	λ_{49-50} small	



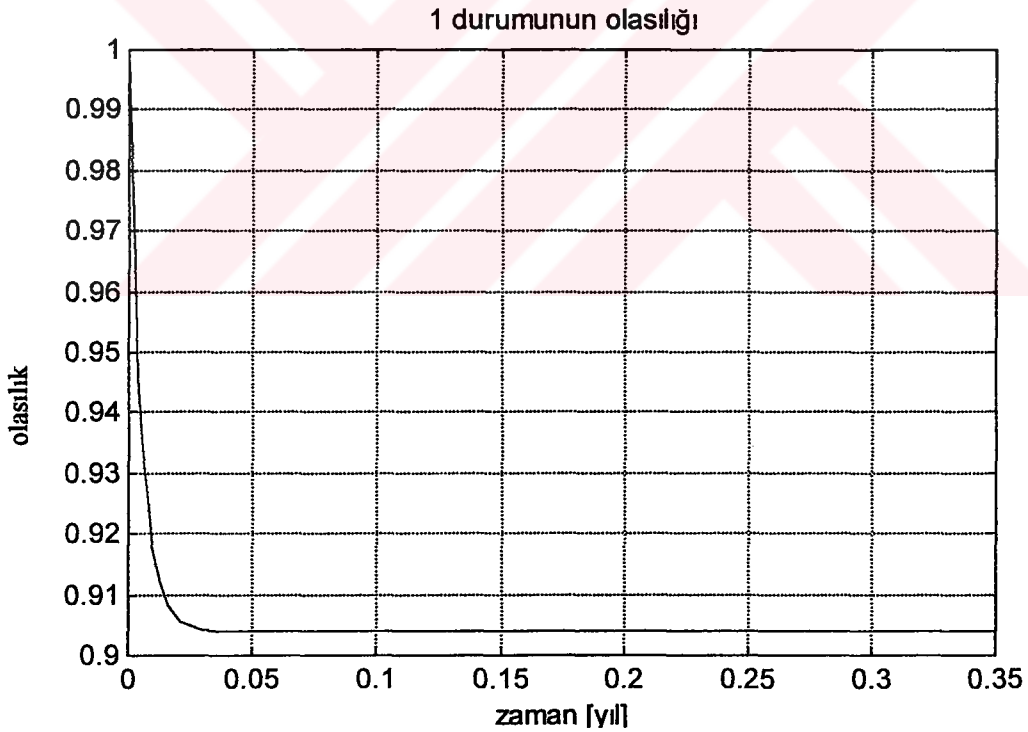




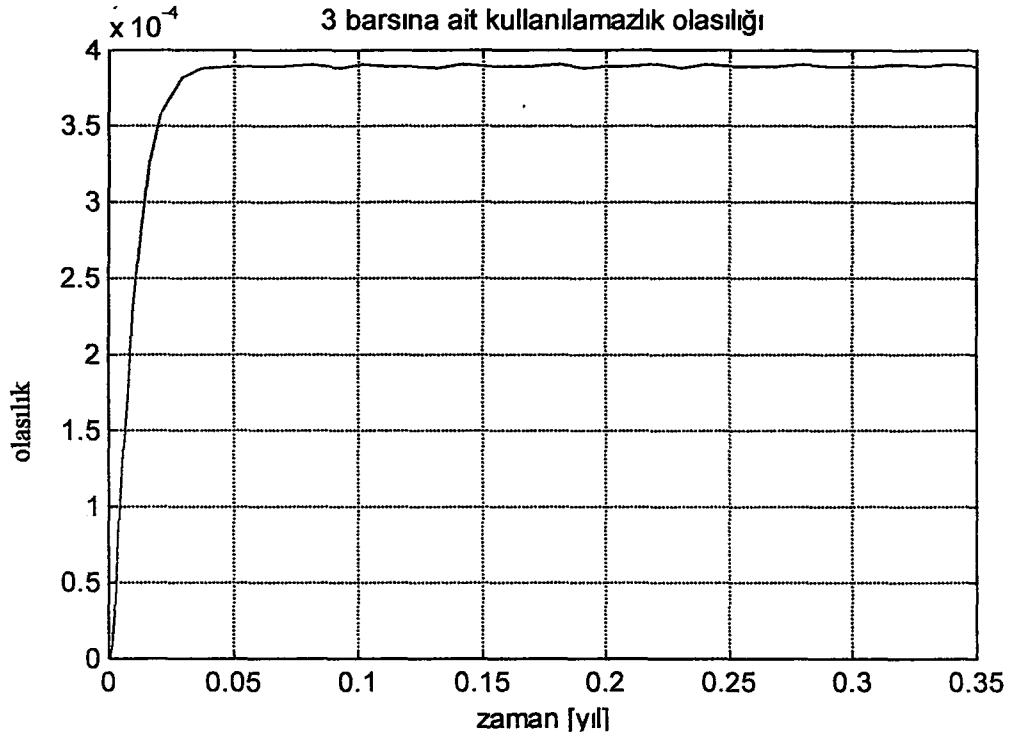
Şekil 7.9. Verilen örnek sistem için yapılan, güvenilirlik analizi akış diyagramı

Matlab programlama dili kullanılarak yapılan, enerji sistemi güvenilirlik analizi programından elde edilen sonuçlar üç ana kategoride elde edilmiştir. Birinci olarak, sistemin muhtemel 24 farklı arıza durumu için, tek hava modeline göre B3, B4 ve B5 yük baralarındaki güvenilirlik (kullanılabilirlik), kullanılamazlık olasılığı ve her bir duruma ait olasılıklar ile arızalar arasındaki ortalama süre, ortalama çalışma süresi ve ortalama arıza süresi gibi sistem güvenilirlik parametreleri elde edilmiştir. İkinci olarak ilk ana başlıktaki büyüklükler, çok hava modelinin kullanılması durumu için elde edilmiştir. Üçüncü olarak ise bahsedilen büyüklükler, harmonik etkisi altında %100 ve %95 talep faktörleri göz önünde bulundurularak, çok hava modelli durum içerisinde karşılaştırmalı olarak, her bir ay için elde edilmiştir.

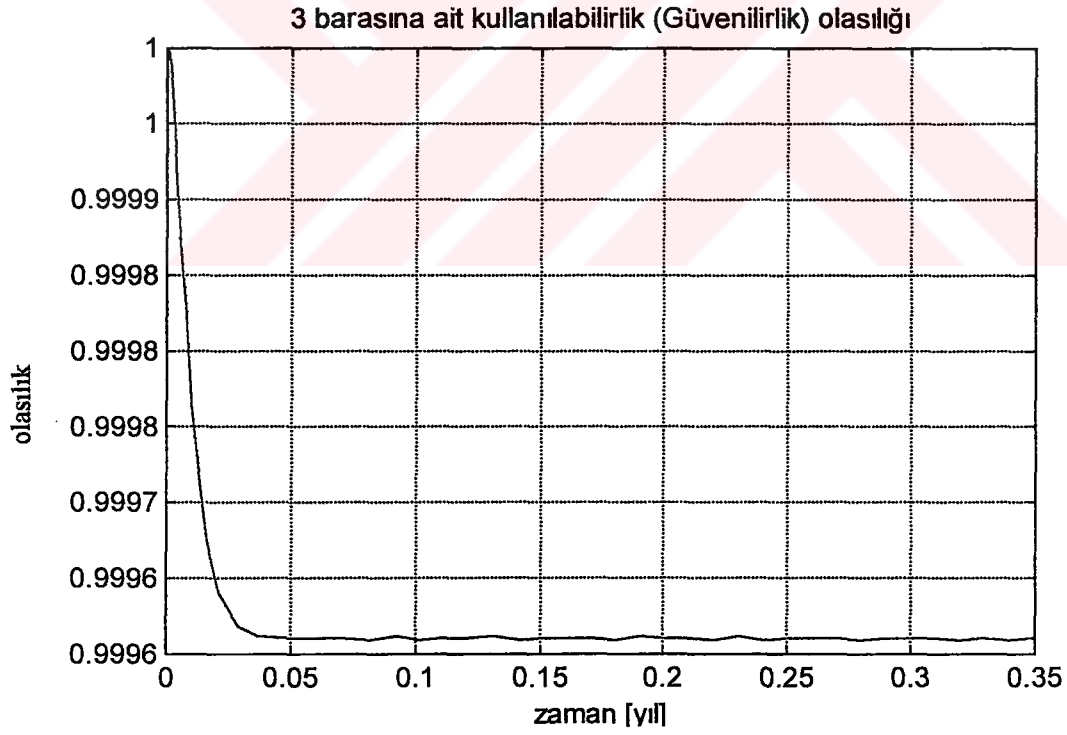
Aşağıdaki şekil ve çizelgelerde ifade edilen durumlar için elde edilen program sonuçları görülmektedir. Program yazılımı, şebeke harmonik analiz paket programı giriş verileri ve çıktıları ile sistemin analizinde kullanılan, baz değere göre elde edilmiş bara % gerilim değerleri, her bir arıza modu için harmoniklerin etkisiyle sağlanamayan enerji miktarı olasılıkları verileri EK' lerde verilmiştir.



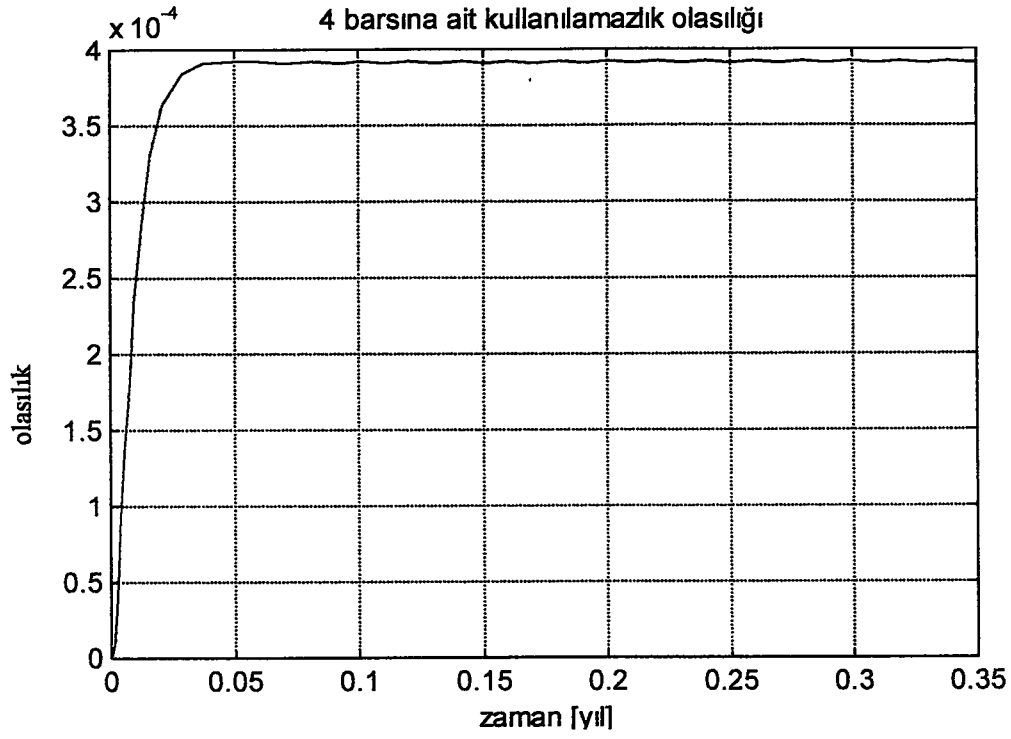
Şekil 7.9. Sistemdeki bütün hatların çalışıyor olması durumunda tek hava modelinin geçerli olduğu 1.durum olasılığı



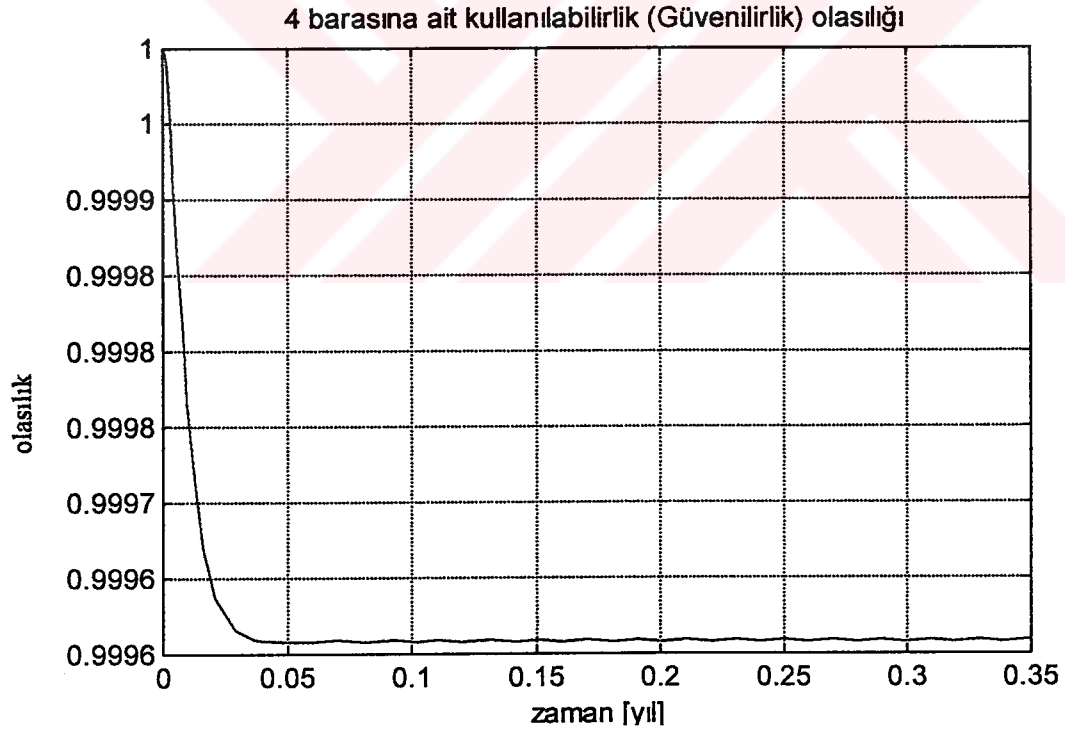
Şekil 7.10. Tek hava modelinin geçerli olduğu 3 barsına ait kullanılamazlık olasılığı



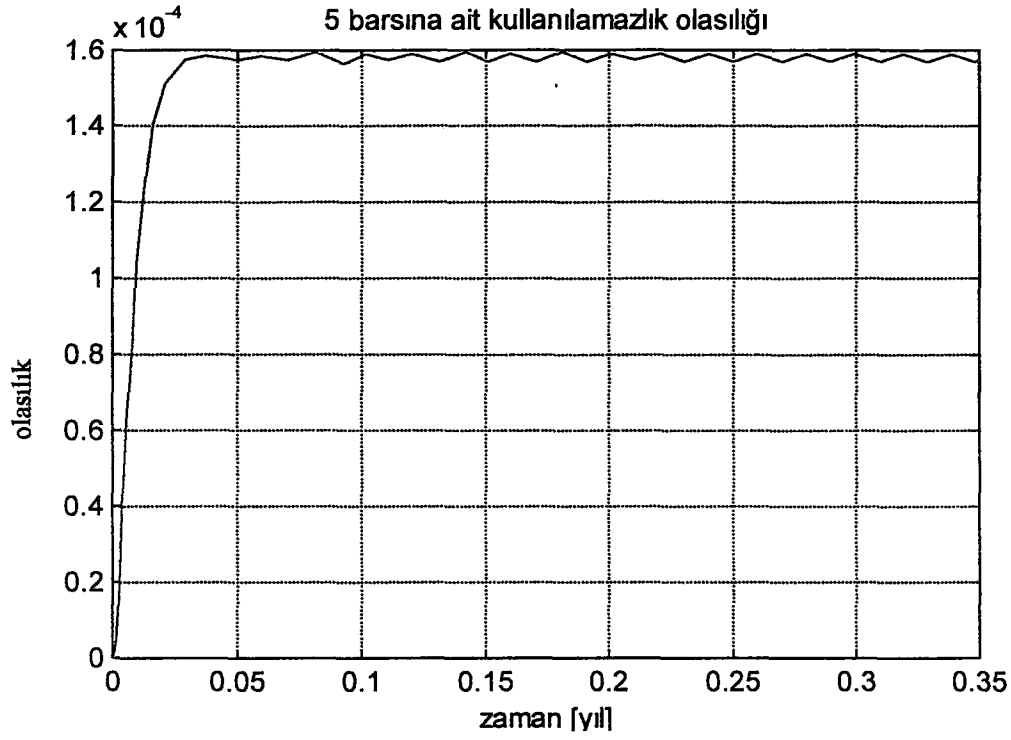
Şekil 7.11. Tek hava modelinin geçerli olduğu 3 barsına ait kullanılabilirlik olasılığı



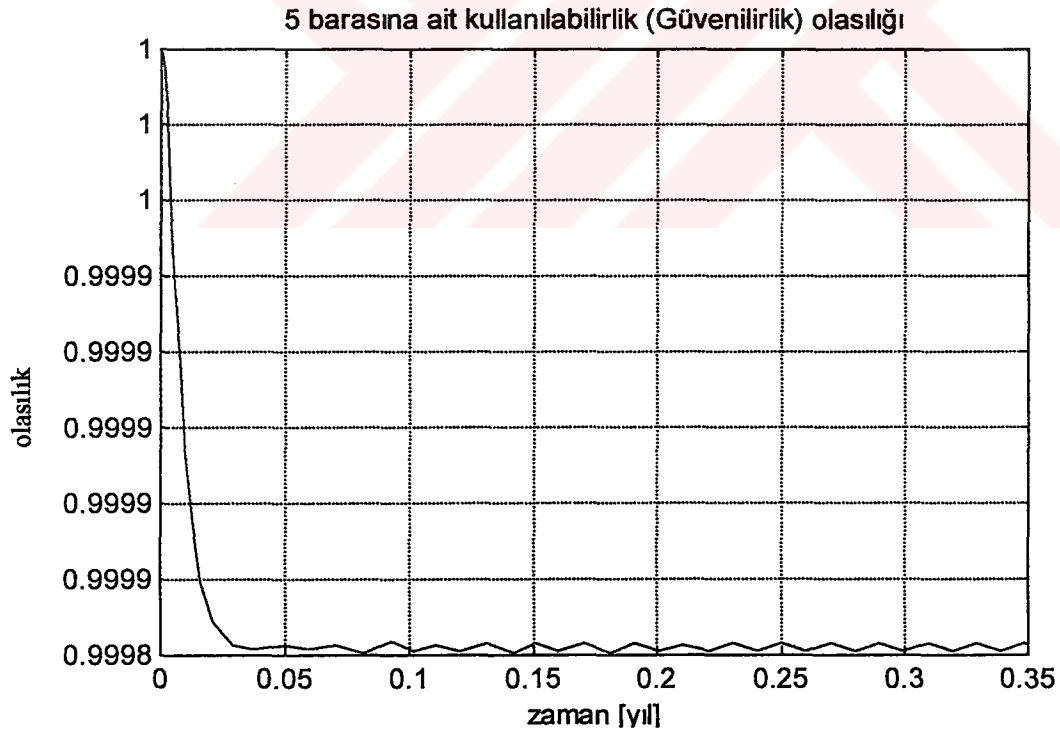
Şekil 7.12. Tek hava modelinin geçerli olduğu 4 barsına ait kullanılamazlık olasılığı



Şekil 7.13. Tek hava modelinin geçerli olduğu 4 barsının güvenilirliği



Şekil 7.14. Tek hava modelinin geçerli olduğu 5 barsına ait kullanılamazlık olasılığı



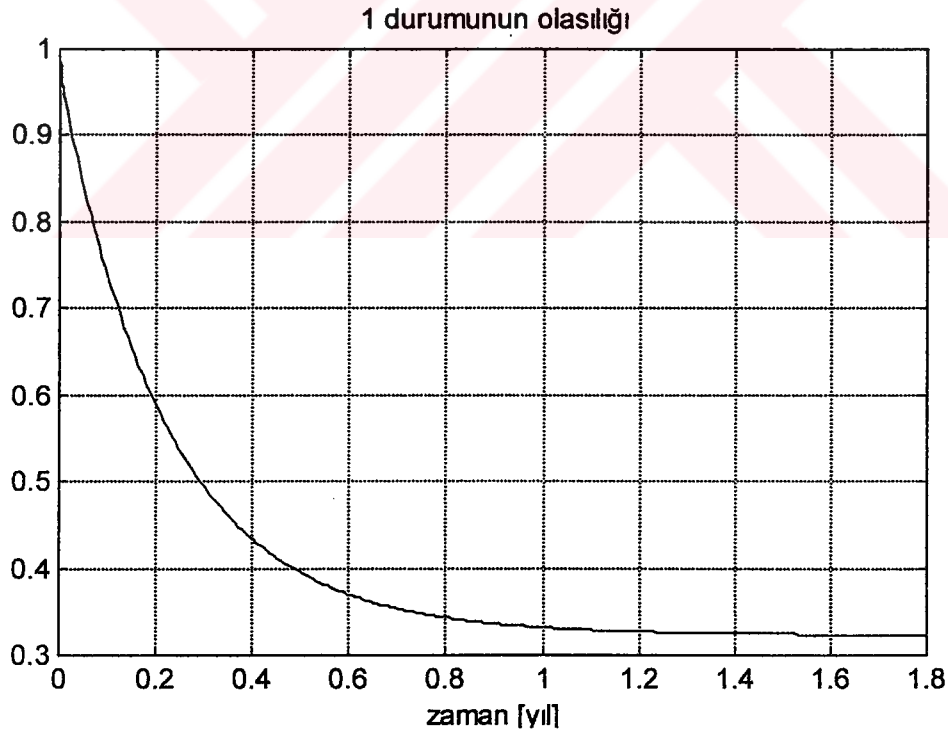
Şekil 7.15. Tek hava modelinin geçerli olduğu hal için 5 barsının güvenilirliği

Çizelge 7.8. Tek hava modelinin geçerli olduğu hal için elde edilen muhtemel arıza durumları olasılıkları

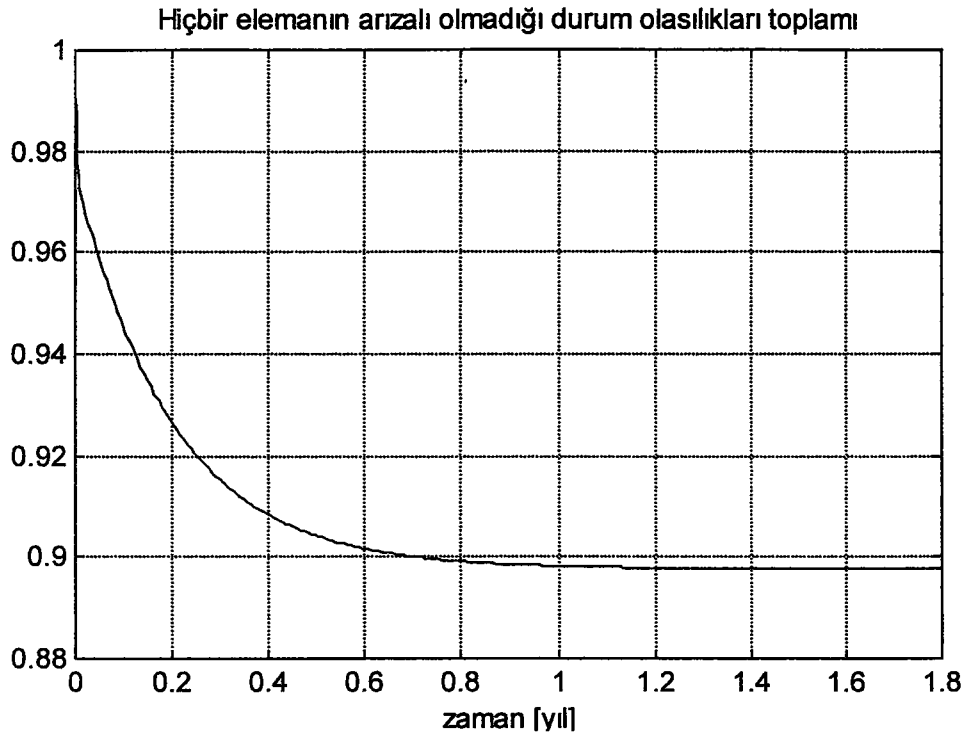
Durum	Olasılık	Durum	Olasılık	Durum	Olasılık
P(1)	0.90394849972765	P(9)	0.00015451970414	P(17)	0.00012786760169
P(2)	0.01650728124473	P(10)	0.00013828695938	P(18)	0.00013613604284
P(3)	0.01671897434366	P(11)	0.00013939066998	P(19)	0.00013358271025
P(4)	0.01584968781669	P(12)	0.00013119329348	P(20)	0.00013258362656
P(5)	0.01448644988313	P(13)	0.00014633359105	P(21)	0.00013717404010
P(6)	0.01500468732869	P(14)	0.00013472683170	P(22)	0.00013454992987
P(7)	0.01541464698526	P(15)	0.00013485901029	P(23)	0.00000006992166
P(8)	0.00015801056294	P(16)	0.00013037089046	P(24)	0.00000011728380

Çizelge 7.9. Tek hava modelinin geçerli olduğu hal için elde edilen, her bir yük barasına ait kullanılabilirlik ve yokluk uç olasılıkları

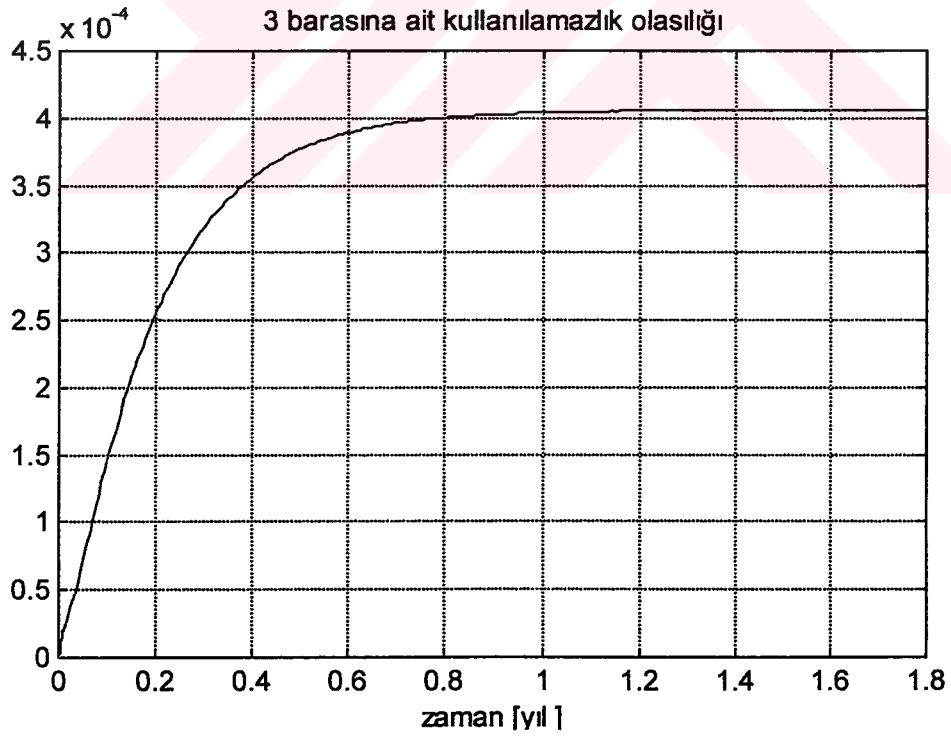
	Kullanılabilirlik Uç olasılığı	Yokluk Uç Olasılığı
BARA – 3	0.99961049829271	0.00038950170728
BARA – 4	0.99960835547827	0.00039164452173
BARA – 5	0.99971412183538	0.00015801056293



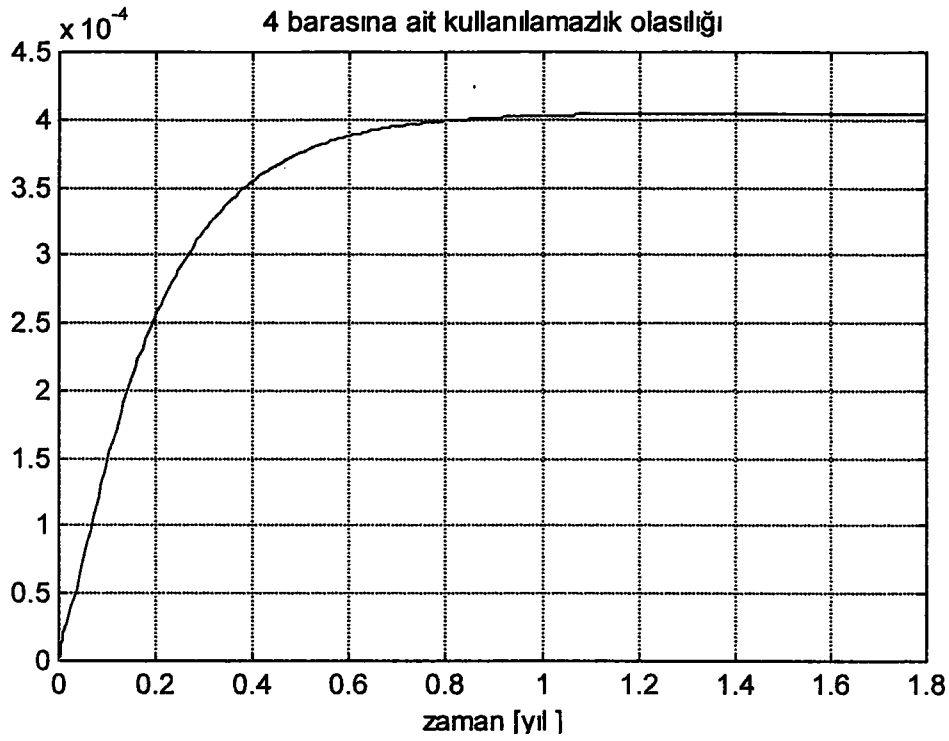
Şekil 7.16. –20 derece hava şartları için, çok hava modeline göre elde edilen, 72 durumlu örnek sistemimizin 1. durumuna ilişkin olasılık değişimi



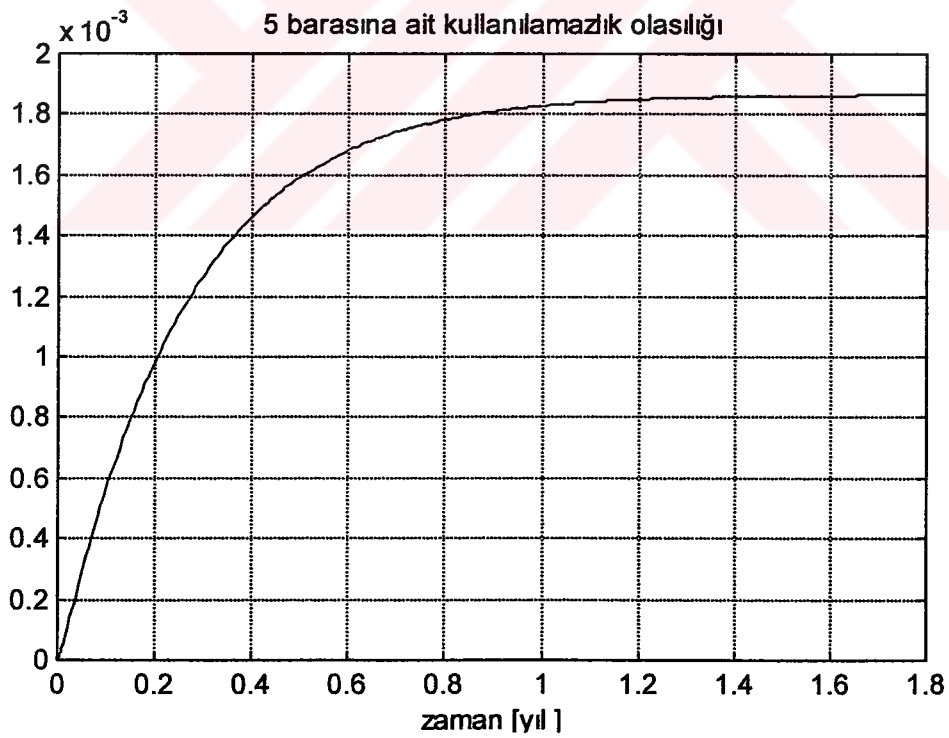
Şekil 7.17. –20 derece hava şartları için, harmoniklerin dikkate alınmadığı çok hava modeline göre elde edilen, 72 durumlu örnek sistemimizde hiçbir elemanın arızalı olmadığı durumların olasılıkları toplamı değişimi



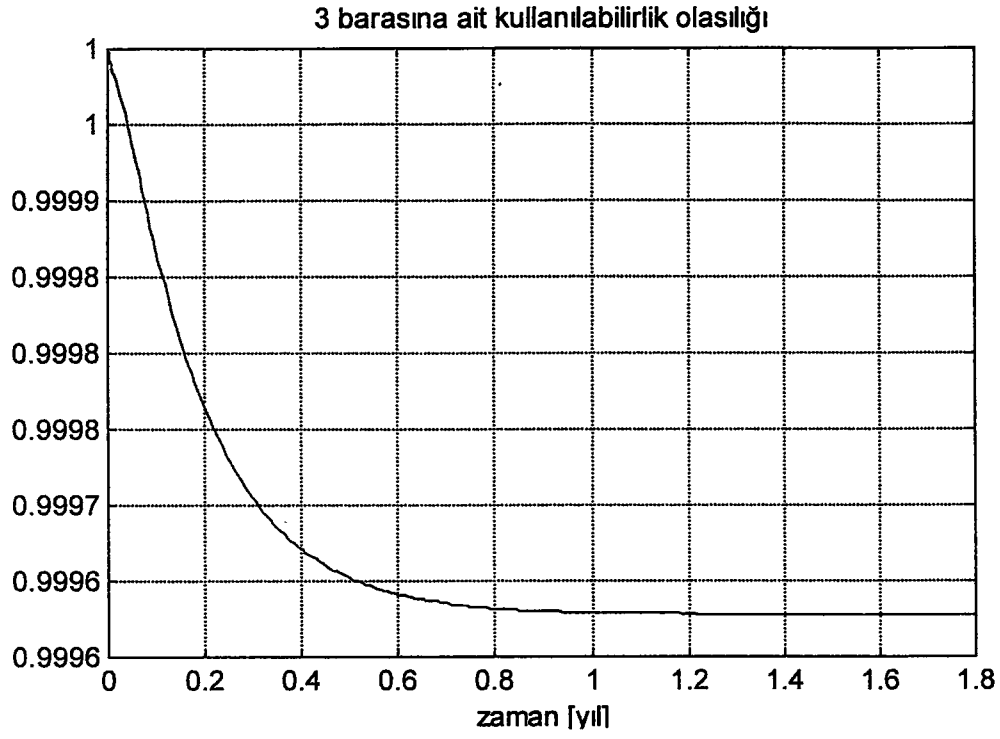
Şekil 7.18. –20 derece hava şartları için, harmoniklerin dikkate alınmadığı çok hava modeline göre elde edilen, 3 barasına ait yokluk olasılığı



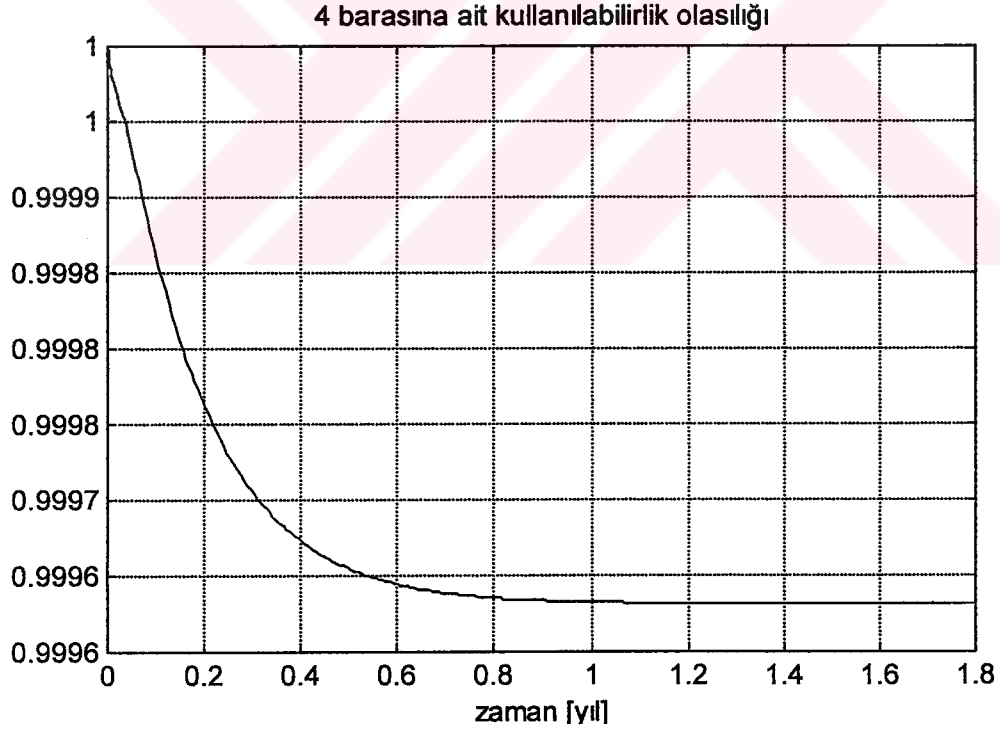
Şekil 7.19. –20 derece hava şartları için, harmoniklerin dikkate alınmadığı çok hava modeline göre elde edilen, 4 barasına ait yokluk olasılığı



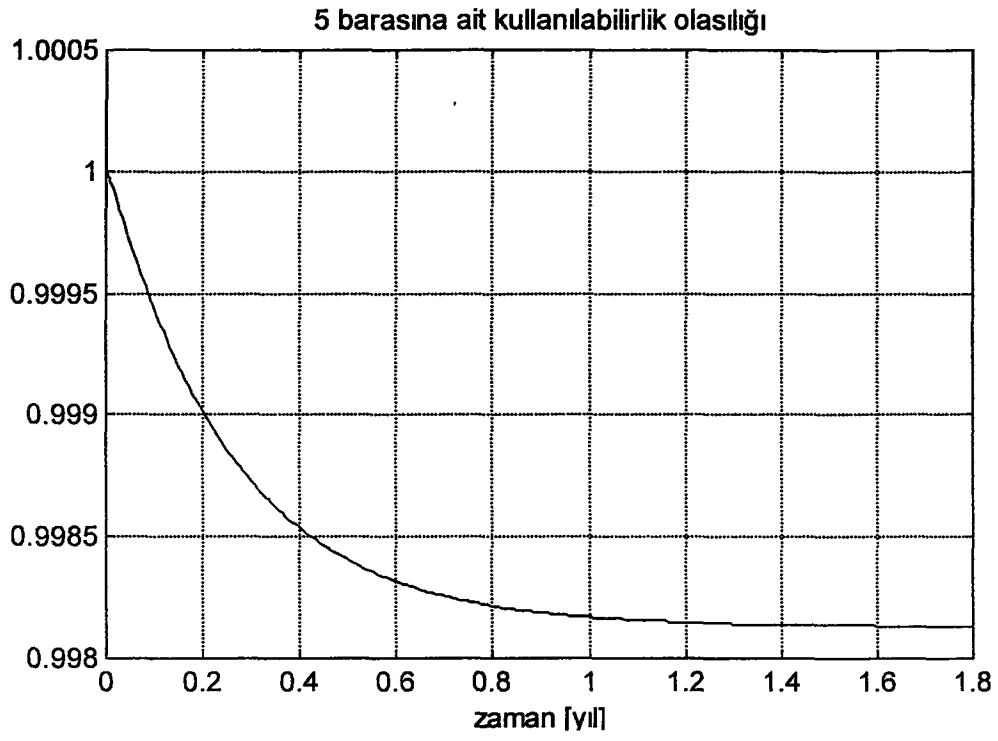
Şekil 7.20. –20 derece hava şartları için, harmoniklerin dikkate alınmadığı çok hava modeline göre elde edilen, 5 barasına ait yokluk olasılığı



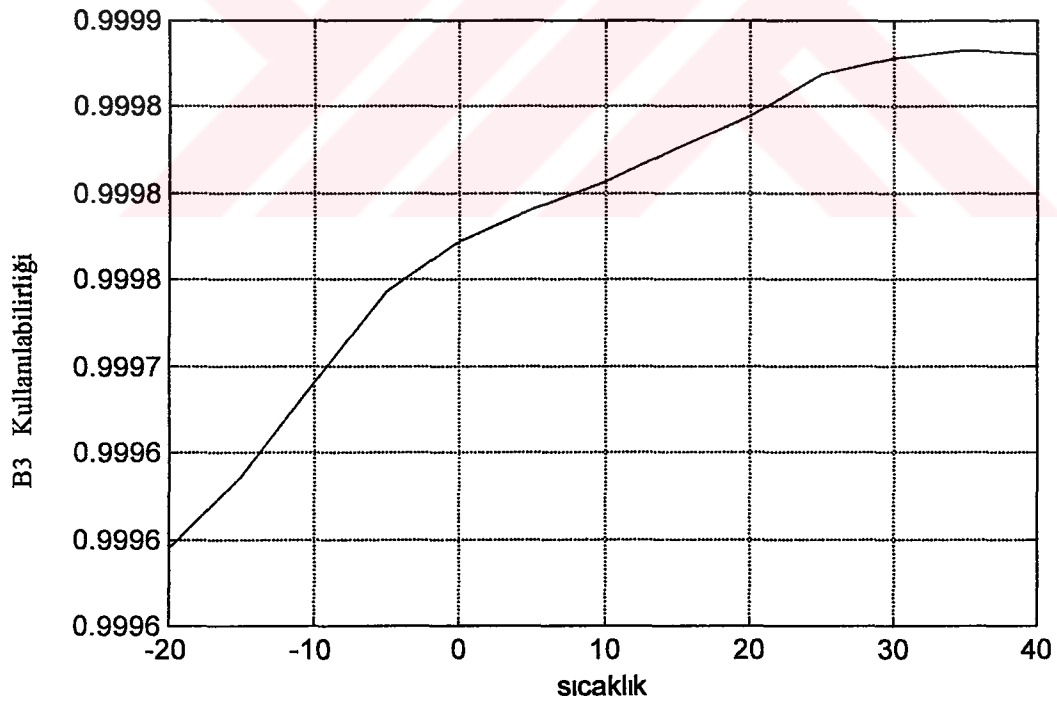
Şekil 7.21. –20 derece hava şartları için, harmoniklerin dikkate alınmadığı çok hava modeline göre elde edilen, 3 barası güvenilirliği



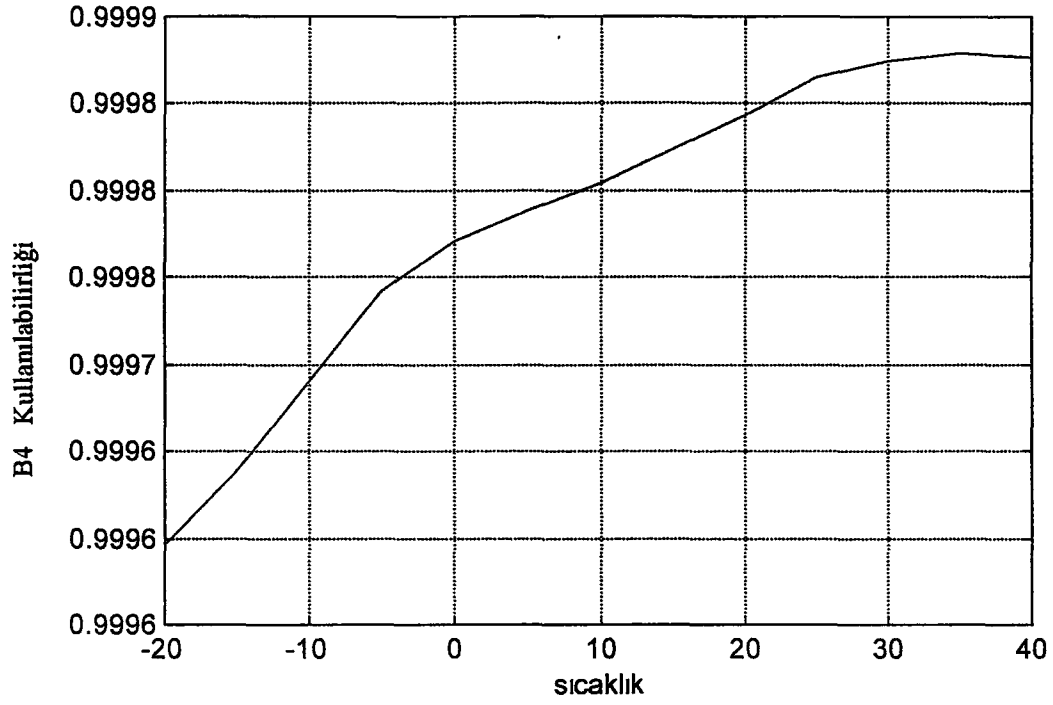
Şekil 7.22. –20 derece hava şartları için, harmoniklerin dikkate alınmadığı çok hava modeline göre elde edilen, 4 barası güvenilirliği



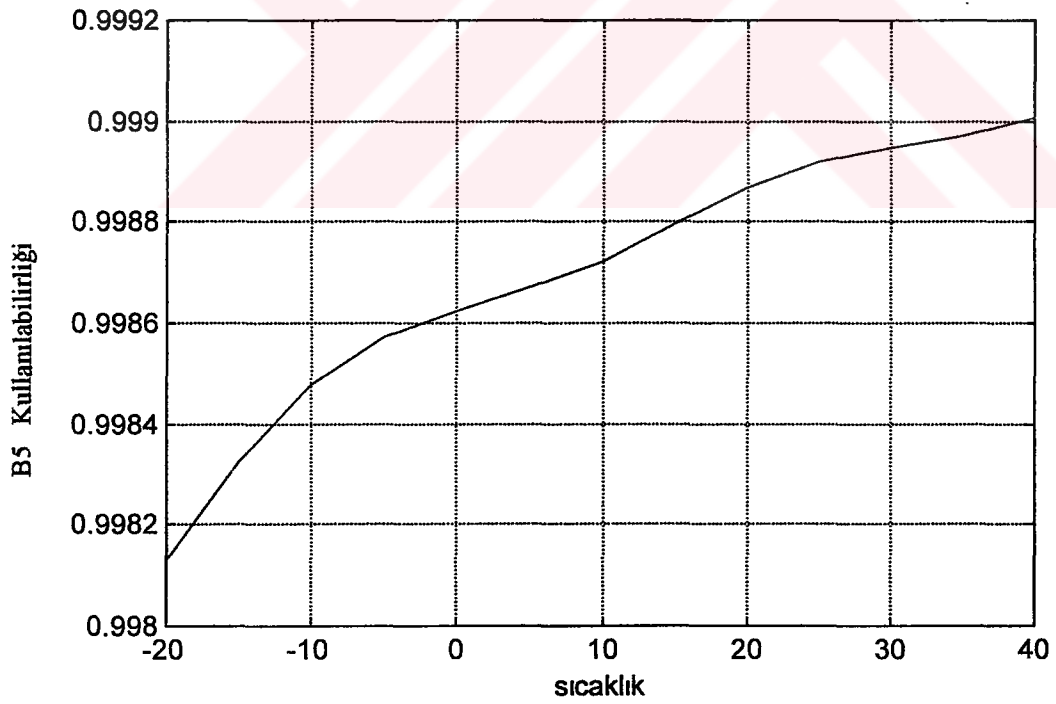
Şekil 7.23. –20 derece hava şartları için, harmoniklerin dikkate alınmadığı çok hava modeline göre elde edilen, 5 barası güvenilirliği



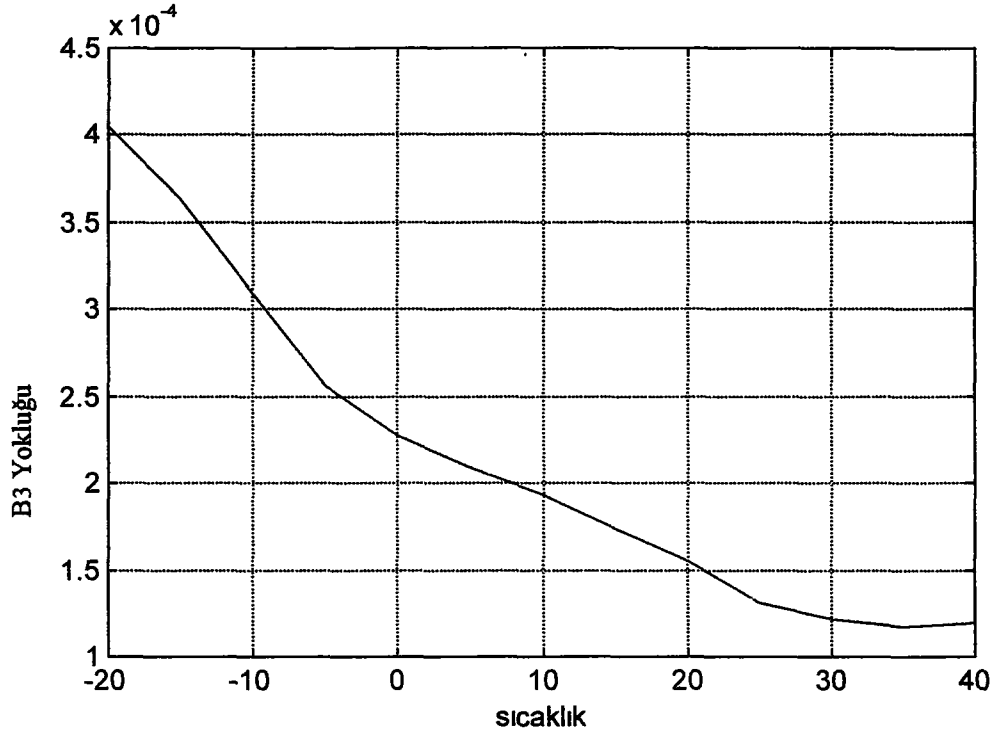
Şekil 7.24. Çok hava modeline göre elde edilen, harmoniksiz 3 barası güvenilirliğinin, ortam sıcaklığı ile değişimi



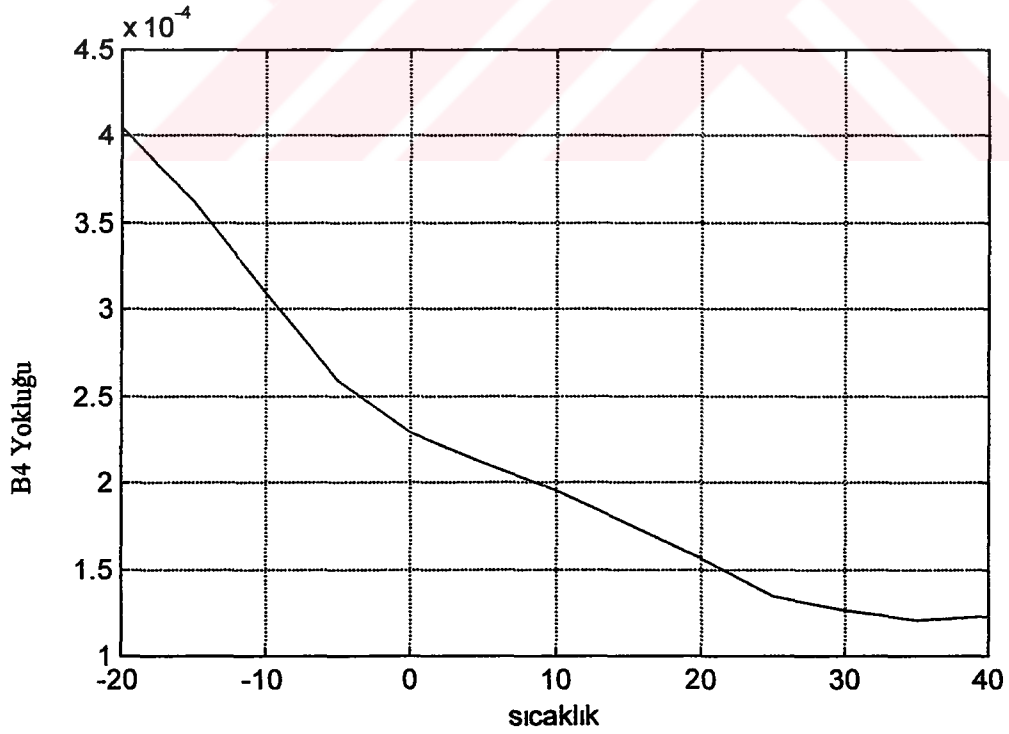
Şekil 7.25. Çok hava modeline göre elde edilen, harmoniksiz 4 barası güvenilirliğinin, ortam sıcaklığı ile değişimi



Şekil 7.26. Çok hava modeline göre elde edilen, harmoniksiz 5 barası güvenilirliğinin, ortam sıcaklığı ile değişimi



Şekil 7.27. Çok hava modeline göre elde edilen, harmoniksiz 3 barası yokluk uç olasılıklarının, ortam sıcaklığı ile değişimi



Şekil 7.28. Çok hava modeline göre elde edilen, harmoniksiz 4 barası yokluk uç olasılıklarının, ortam sıcaklığı ile değişimi

Çizelge 7.10. – 20 derece hava şartları için elde edilen muhtemel arıza durumları olasılıkları

Durum	Olasılık	Durum	Olasılık	Durum	Olasılık
P(1)	0.897613	P(9)	0.000162	P(17)	0.000129
P(2)	0.020419	P(10)	0.000110	P(18)	0.000143
P(3)	0.016357	P(11)	0.003816	P(19)	0.000135
P(4)	0.015010	P(12)	0.000141	P(20)	0.000135
P(5)	0.013522	P(13)	0.000148	P(21)	0.000137
P(6)	0.014809	P(14)	0.000280	P(22)	0.000138
P(7)	0.014647	P(15)	0.000143	P(23)	0.0000001
P(8)	0.001868	P(16)	0.000136	P(24)	0.0000002

Çizelge 7.11. 0 derece hava şartları için elde edilen muhtemel arıza durumları olasılıkları

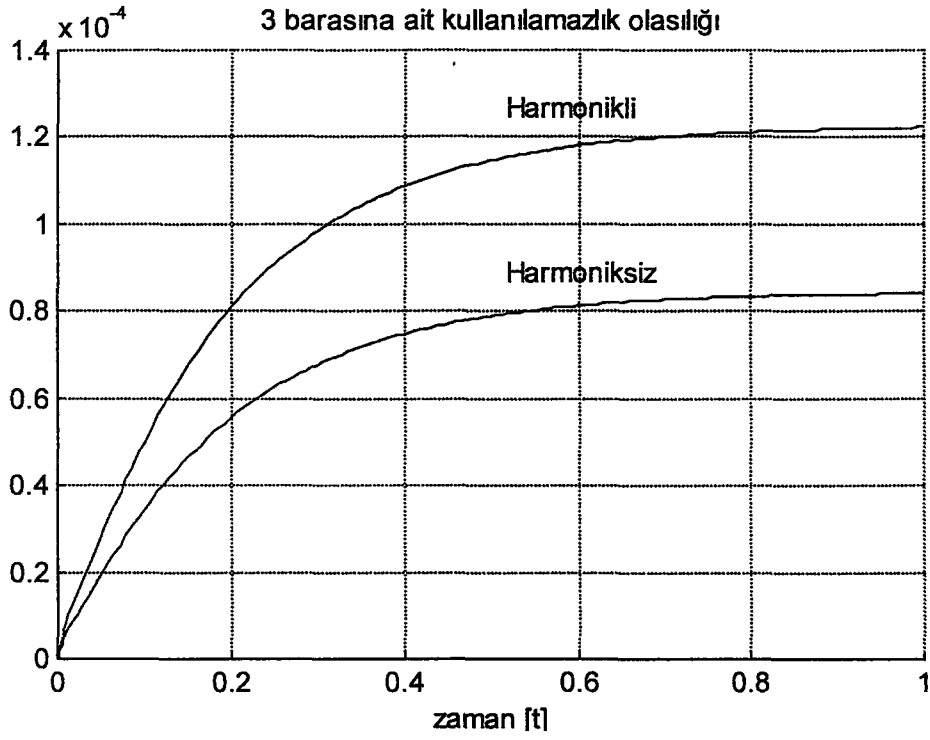
Durum	Olasılık	Durum	Olasılık	Durum	Olasılık
P(1)	0.923389	P(9)	0.000109	P(17)	0.000074
P(2)	0.015496	P(10)	0.000063	P(18)	0.000081
P(3)	0.013655	P(11)	0.002872	P(19)	0.000077
P(4)	0.011369	P(12)	0.000078	P(20)	0.000077
P(5)	0.010461	P(13)	0.000083	P(21)	0.000124
P(6)	0.011089	P(14)	0.000157	P(22)	0.000077
P(7)	0.010831	P(15)	0.000125	P(23)	0.0000000
P(8)	0.001375	P(16)	0.000075	P(24)	0.0000001

Çizelge 7.12. 20 derece hava şartları için elde edilen muhtemel arıza durumları olasılıkları

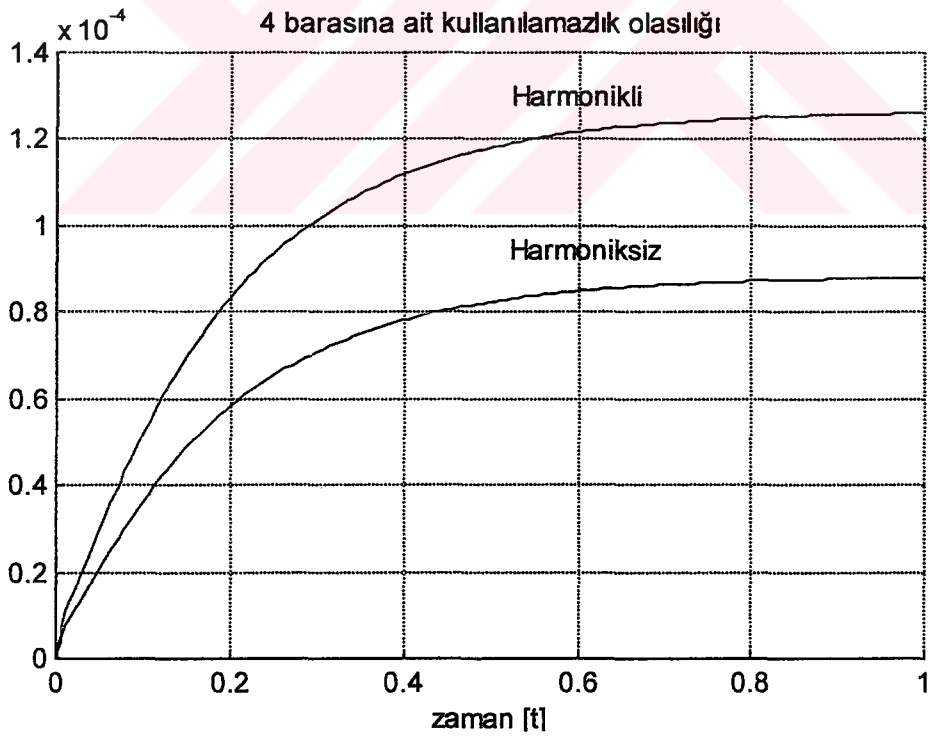
Durum	Olasılık	Durum	Olasılık	Durum	Olasılık
P(1)	0.936617	P(9)	0.000065	P(17)	0.000053
P(2)	0.012968	P(10)	0.000043	P(18)	0.000055
P(3)	0.009774	P(11)	0.002379	P(19)	0.000052
P(4)	0.009486	P(12)	0.000076	P(20)	0.000052
P(5)	0.008837	P(13)	0.000058	P(21)	0.000052
P(6)	0.009222	P(14)	0.000105	P(22)	0.000051
P(7)	0.008846	P(15)	0.000053	P(23)	0.0000000
P(8)	0.001130	P(16)	0.000051	P(24)	0.0000000

Çizelge 7.13. Harmonik etkinliğinin göz önünde bulundurmadığı ve çok –20 derece hava göre elde edilen, 3,4,5 yük baralarına ait, MTTF, MTTR ve MTBF parametreleri

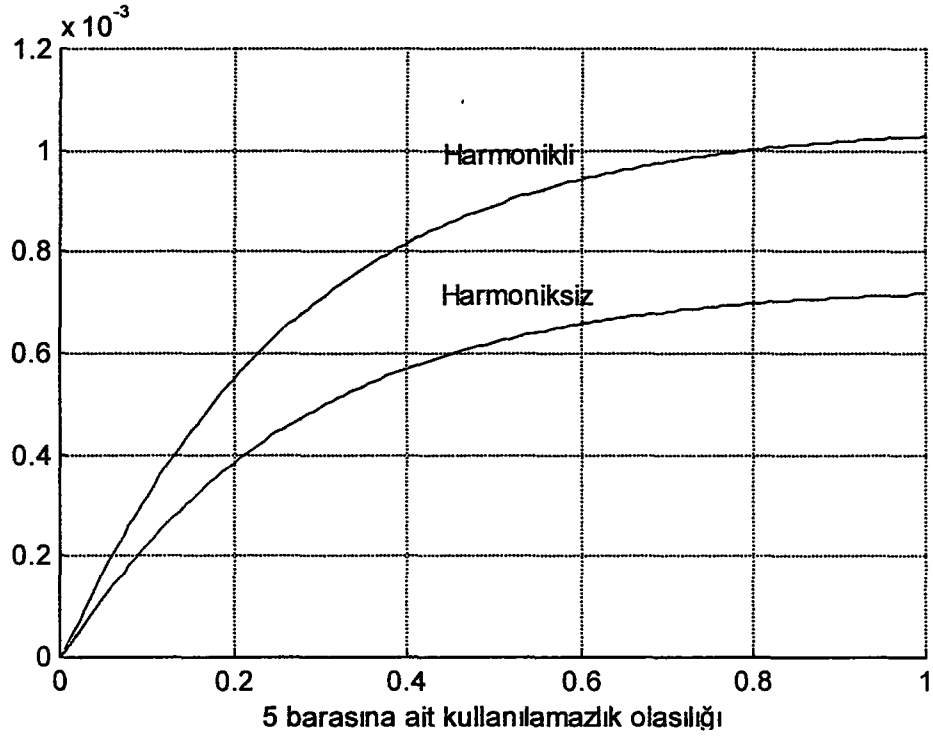
	MTTF (saat)	MTTR (gün)	MTBF (gün)
BARA – 3	3.4104	172.5395	127.6815
BARA – 4	3.0463	183.1344	183.26133
BARA – 5	6.5735	205.6818	205.95509



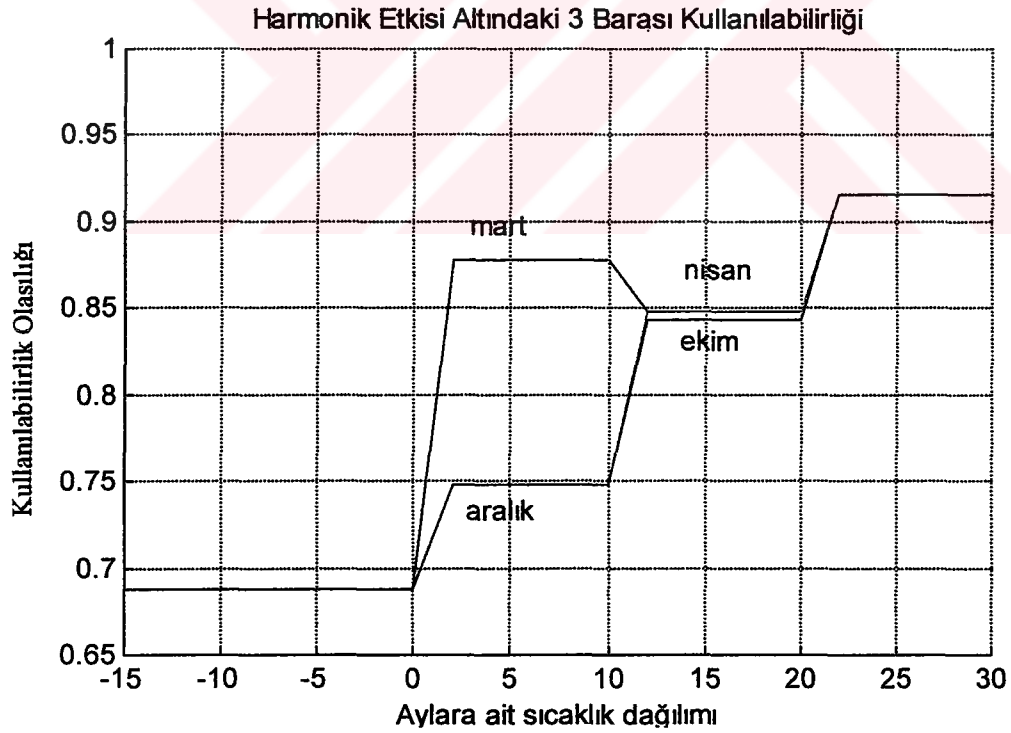
Şekil 7.29. -15 derece hava şartları için elde edilen, harmonikli ve harmoniksiz durumlara ait, 3 barası yokluğu



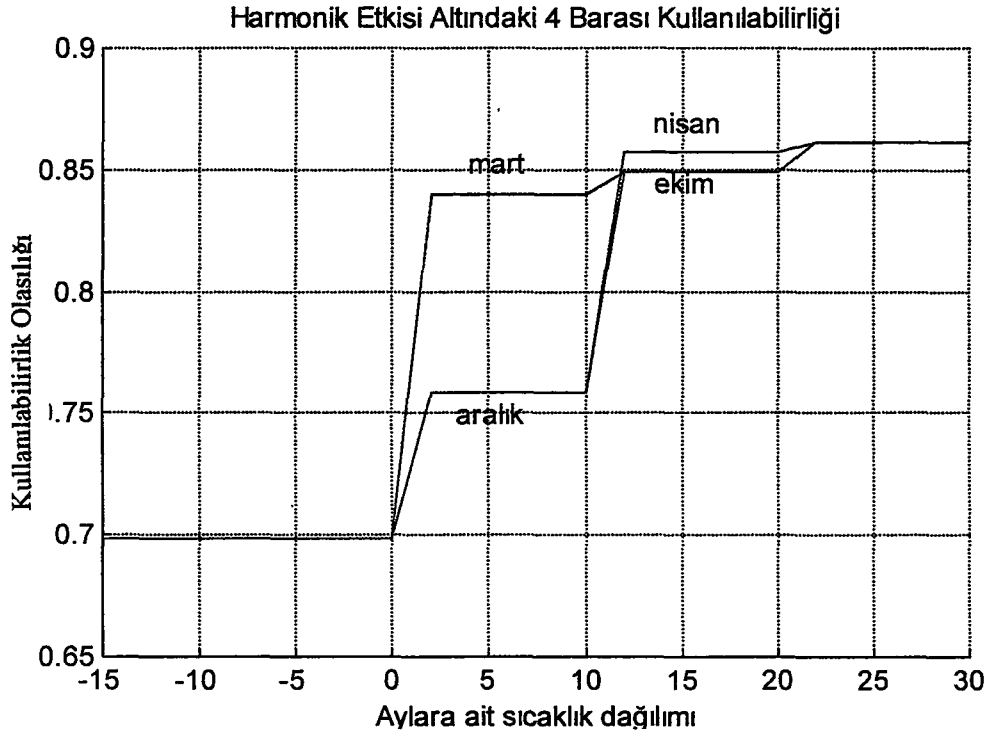
Şekil 7.30. -15 derece hava şartları için elde edilen, harmonikli ve harmoniksiz durumlara ait, 4 barası yokluğu



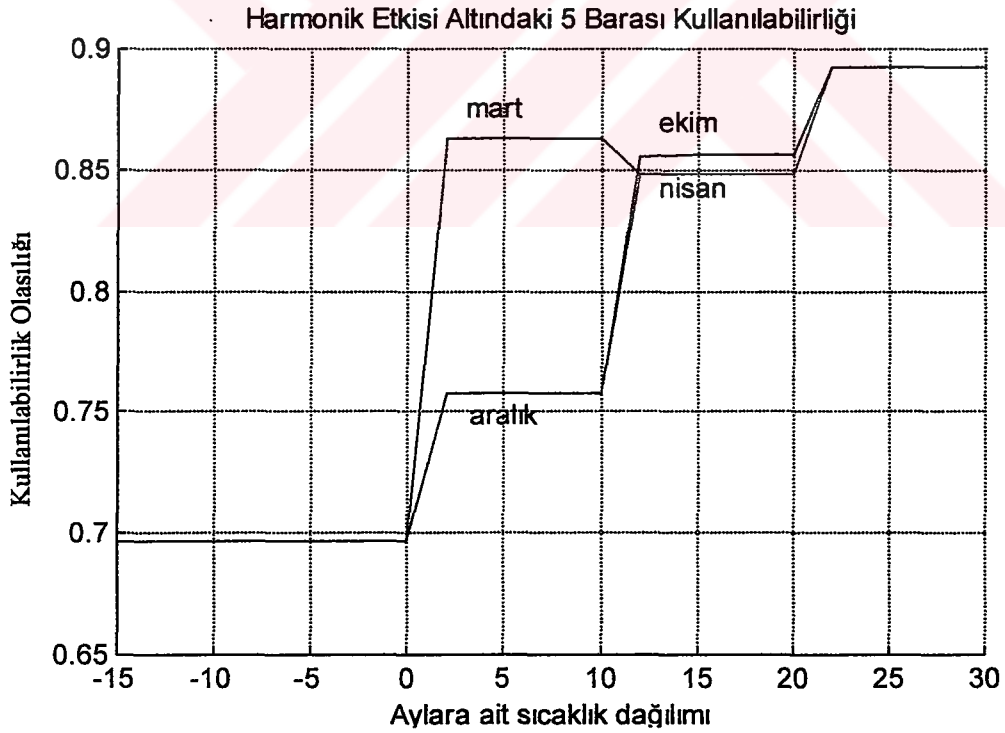
Şekil 7.31. -15 derece hava şartları için elde edilen, harmonikli ve harmoniksiz durumlara ait, 5 barası yokluğu



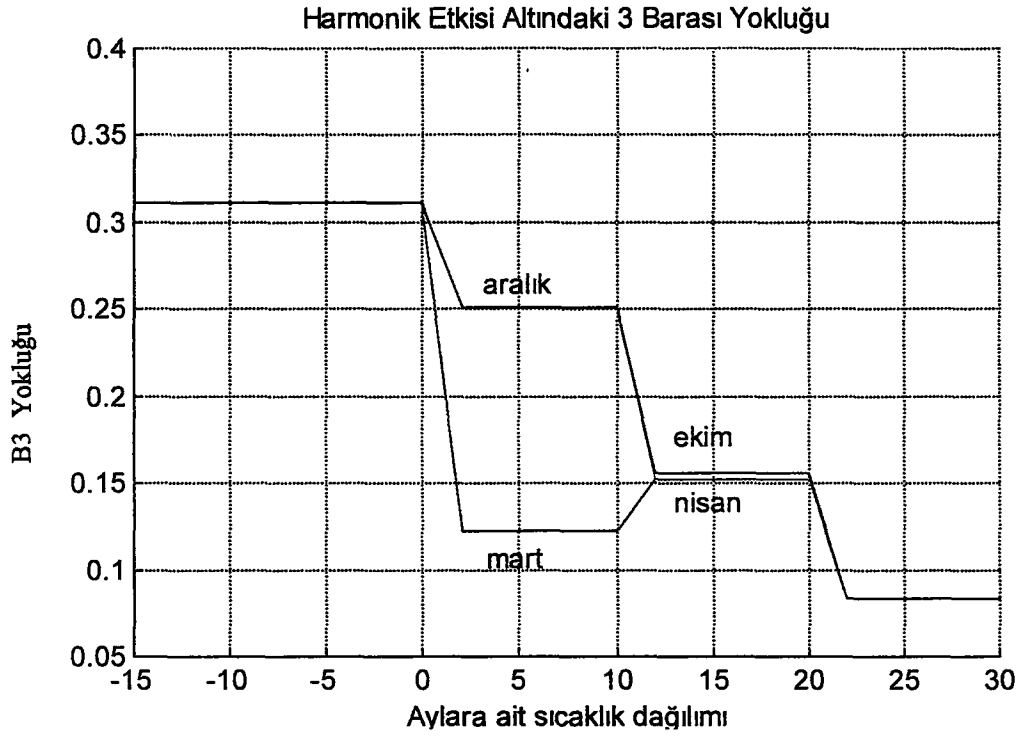
Şekil 7.32. Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Şubat için ((-15,0) derece), Aralık – Mart ayları için (0,10) , Ekim – Nisan ayları için ((10,20) derece) ve Haziran için ((20,30) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 3 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri



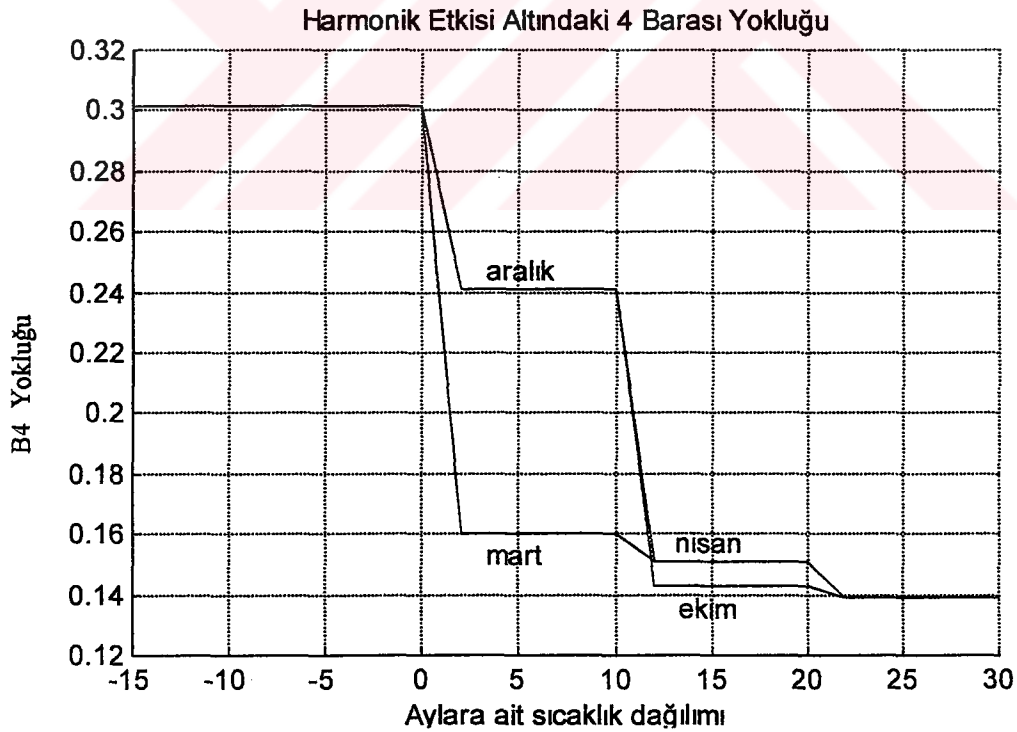
Şekil 7.33. Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Şubat için ((-15,0) derece), Aralık – Mart ayları için (0,10), Ekim – Nisan ayları için ((10,20) derece) ve Haziran için ((20,30) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 4 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri



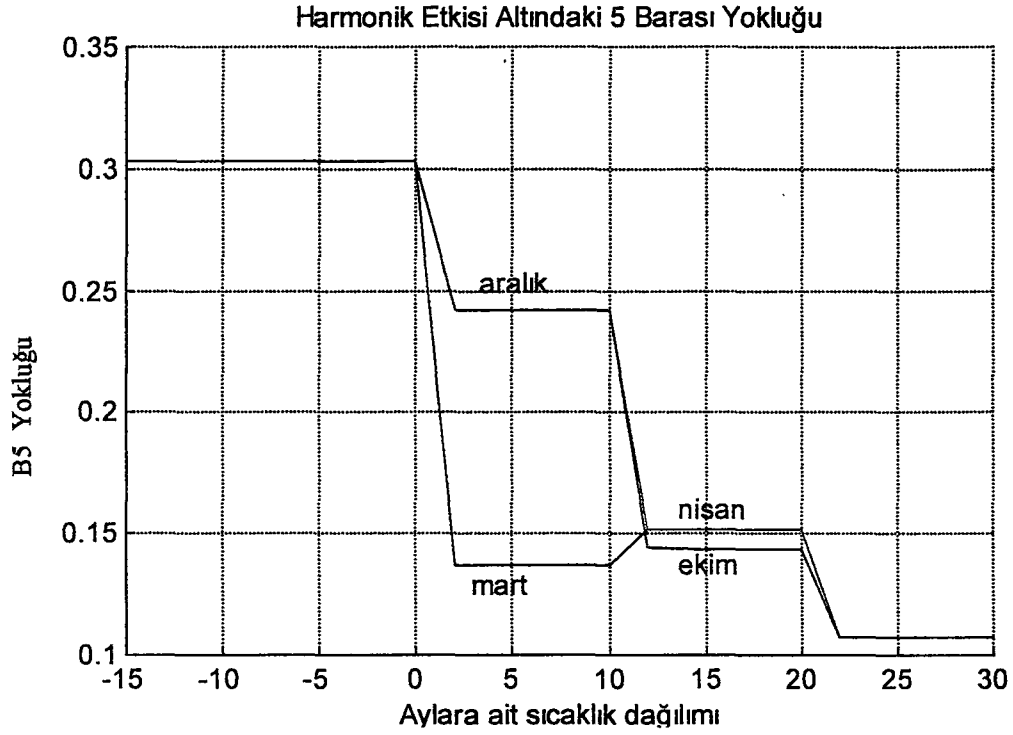
Şekil 7.34. Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Şubat için ((-15,0) derece), Aralık – Mart ayları için (0,10), Ekim – Nisan ayları için ((10,20) derece) ve Haziran için ((20,30) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 5 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri



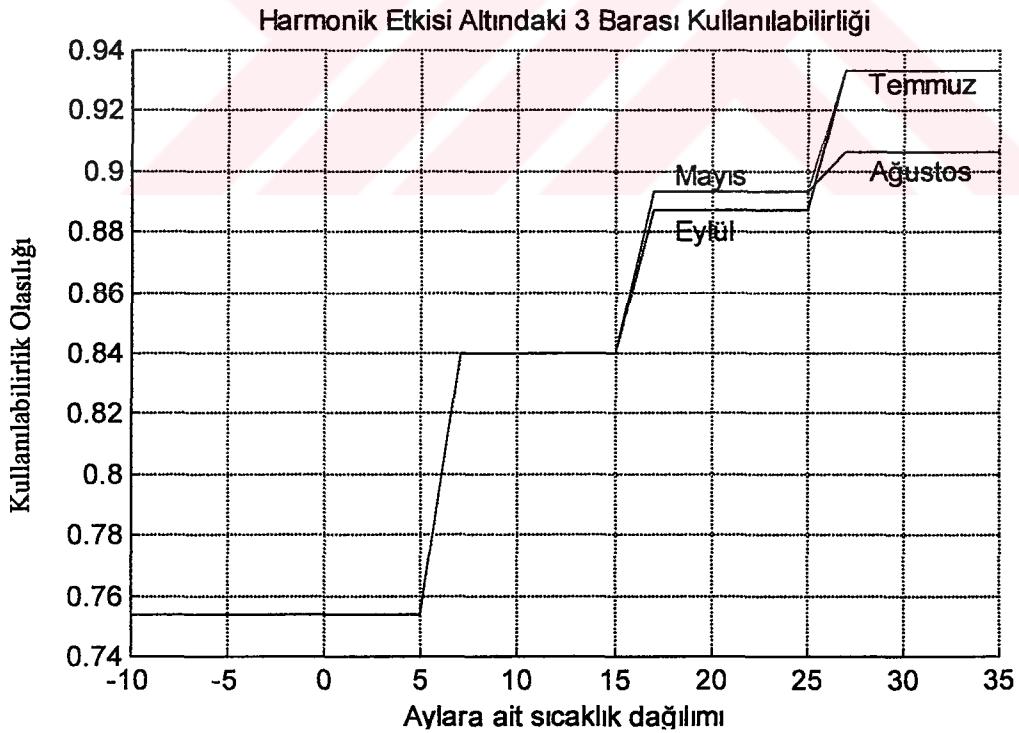
Şekil 7.35. Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Şubat için ((-15,0) derece), Aralık – Mart ayları için (0,10), Ekim – Nisan ayları için ((10,20) derece) ve Haziran için ((20,30) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 3 barasına ait harmonikli yokluk uç değerleri



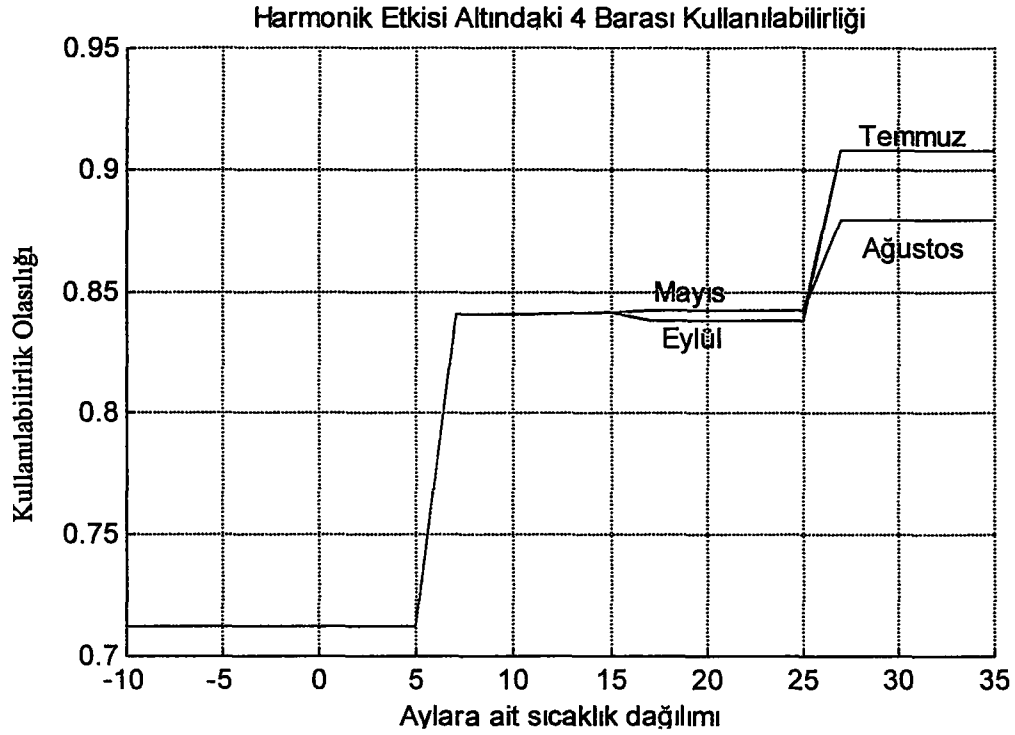
Şekil 7.36. Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Şubat için ((-15,0) derece), Aralık – Mart ayları için (0,10), Ekim – Nisan ayları için ((10,20) derece) ve Haziran için ((20,30) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 4 barasına ait harmonikli yokluk uç değerleri



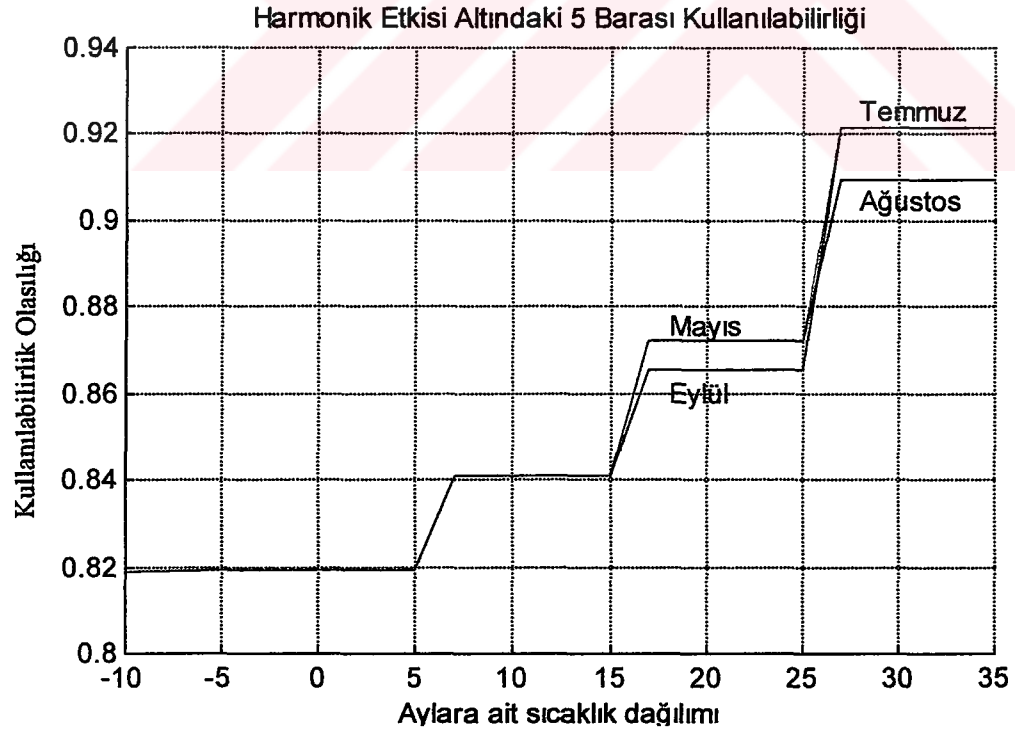
Şekil 7.36. Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Şubat için ((-15,0) derece), Aralık – Mart ayları için (0,10), Ekim – Nisan ayları için ((10,20) derece) ve Haziran için ((20,30) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 4 barasına ait harmonikli yokluk uç değerleri



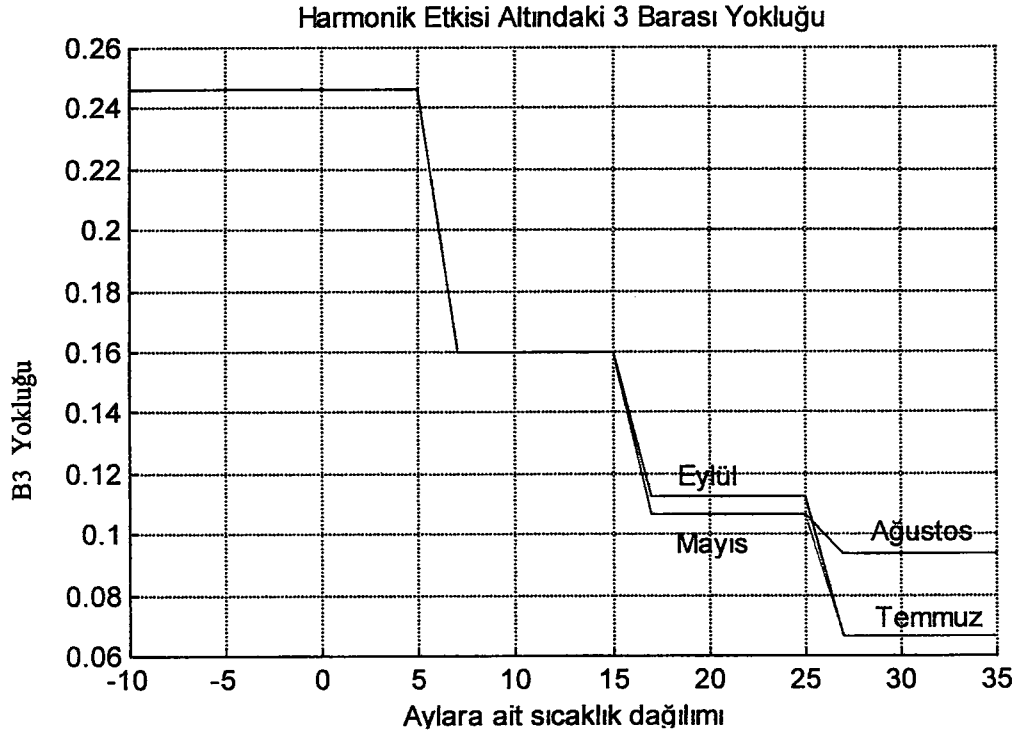
Şekil 7.37. Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Ocak için ((-10,5) derece), Kasım için (5,15), Eylül–Mayıs ayları için ((15,25) derece) ve Temmuz - Ağustos için ((25,35) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 3 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri



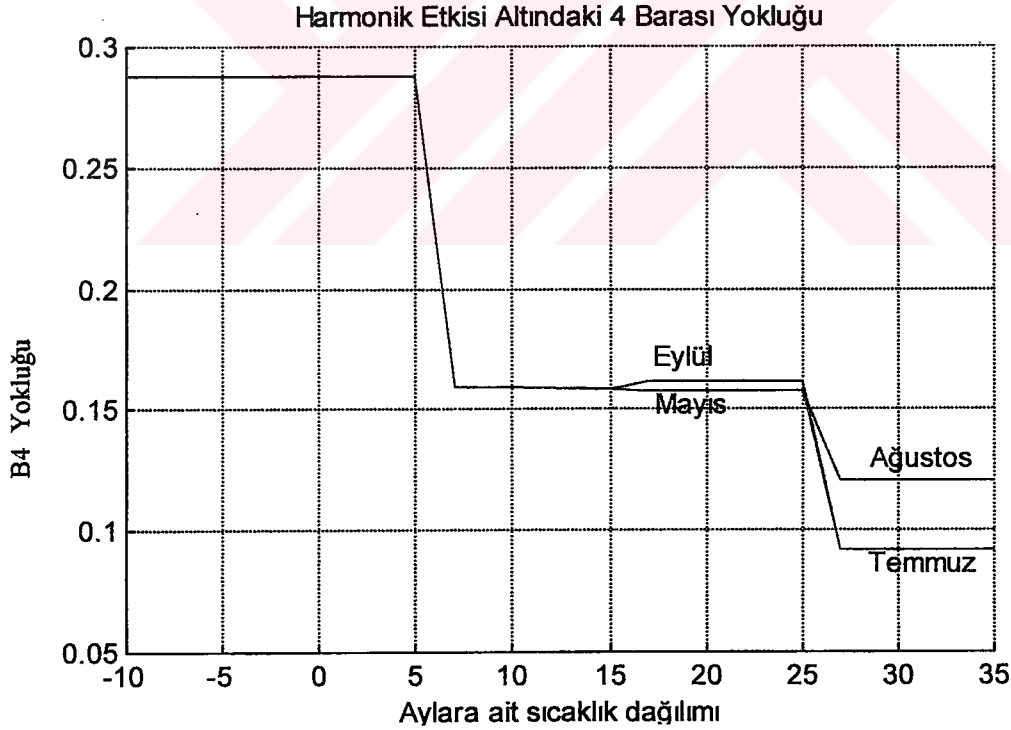
Şekil 7.38. Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Ocak için ((-10,5) derece), Kasım için ((5,15)), Eylül-Mayıs ayları için ((15,25) derece) ve Temmuz - Ağustos için ((25,35) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 4 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri



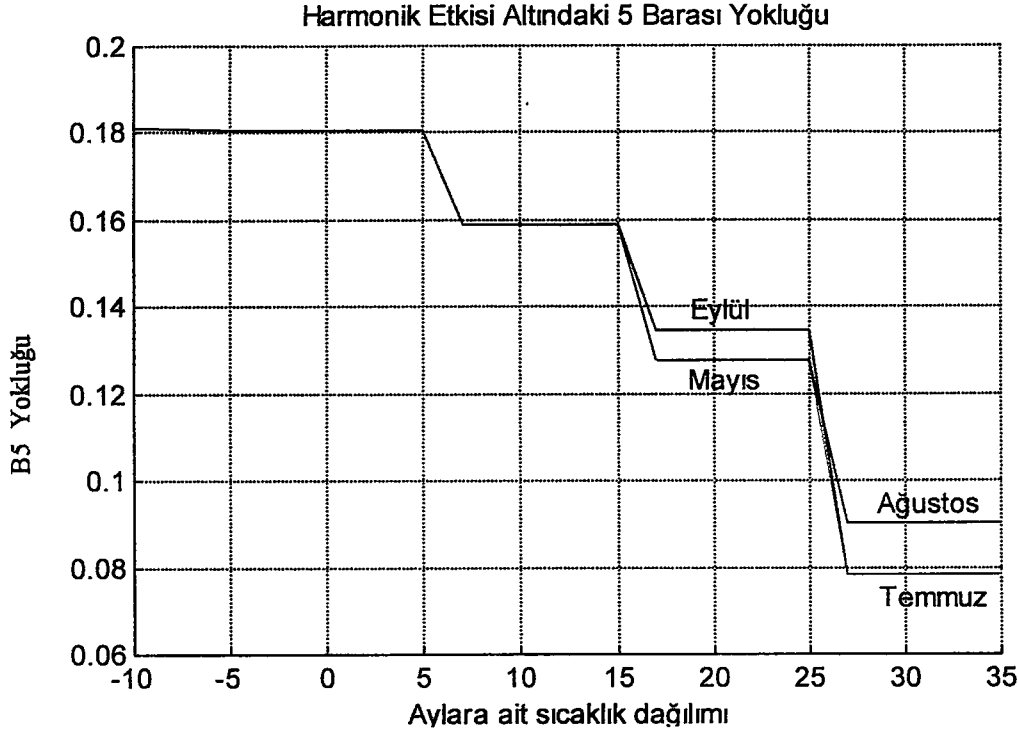
Şekil 7.39. Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Ocak için ((-10,5) derece), Kasım için ((5,15)), Eylül-Mayıs ayları için ((15,25) derece) ve Temmuz - Ağustos için ((25,35) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 5 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri



Şekil 7.39. Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Ocak için ((-10,5) derece), Kasım için (5,15), Eylül-Mayıs ayları için ([15,25] derece) ve Temmuz - Ağustos için ((25,35) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 3 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri



Şekil 7.40. Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Ocak için ((-10,5) derece), Kasım için (5,15), Eylül-Mayıs ayları için ((15,25) derece) ve Temmuz - Ağustos için ((25,35) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 4 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri



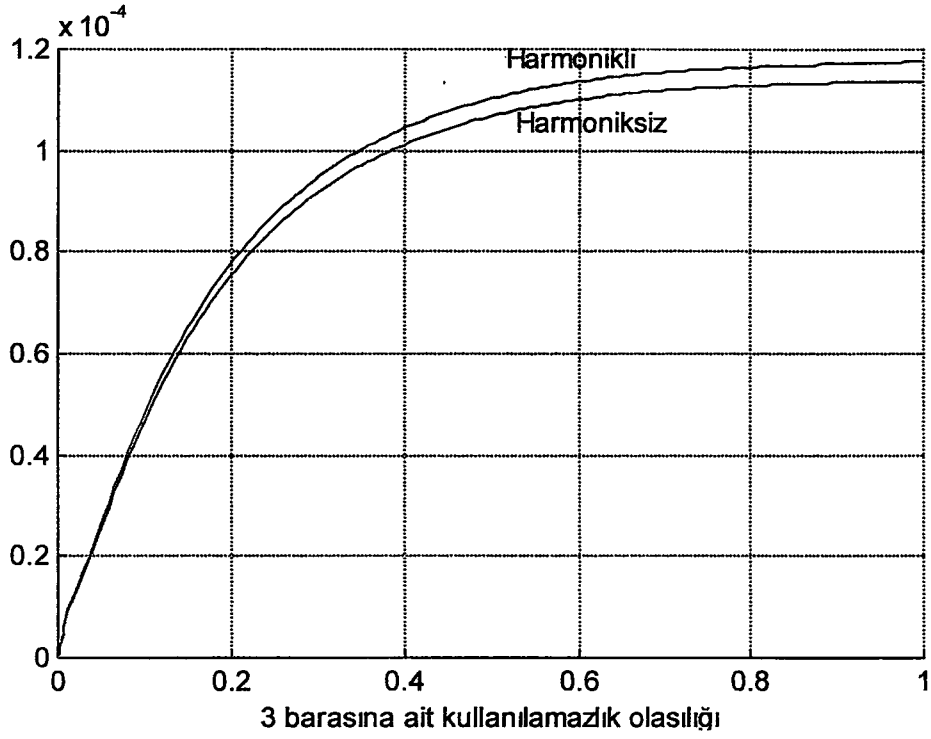
Şekil 7.41. Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Ocak için ((-10,5) derece), Kasım için (5,15), Eylül-Mayıs ayları için ([15,25] derece) ve Temmuz - Ağustos için ((25,35) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 5 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri

Çizelge 7.13. -15 derece hava şartları için elde edilen muhtemel arıza durumları olasılıkları

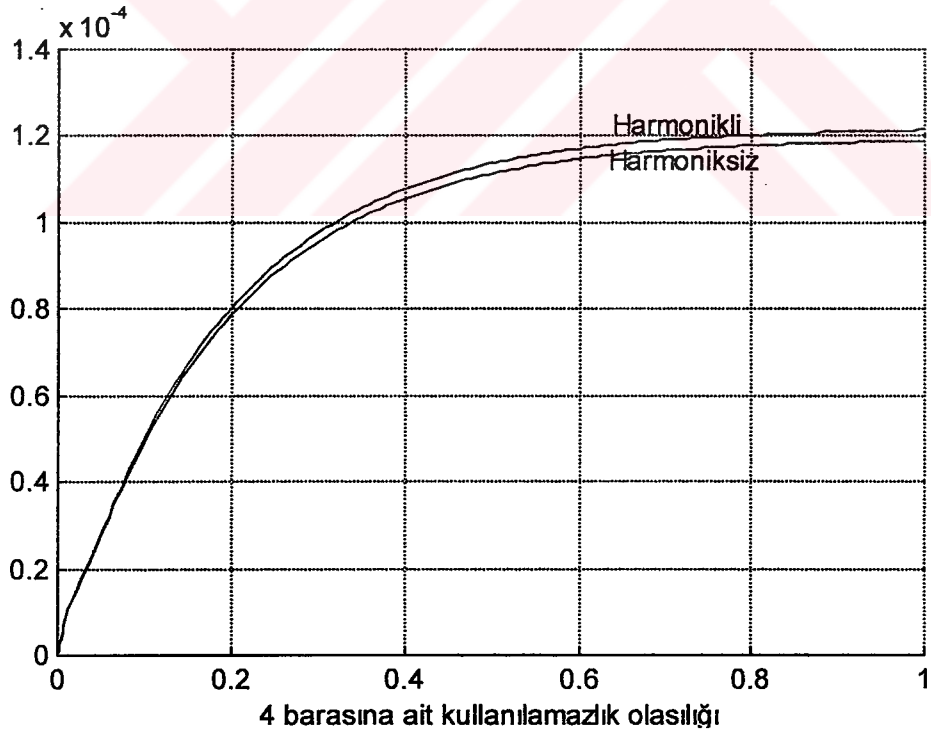
Durum	Olasılık	Durum	Olasılık	Durum	Olasılık
P(1)	0.904915	P(9)	0.000146	P(17)	0.000116
P(2)	0.018953	P(10)	0.000098	P(18)	0.000128
P(3)	0.015171	P(11)	0.003425	P(19)	0.000122
P(4)	0.014029	P(12)	0.000125	P(20)	0.000121
P(5)	0.012745	P(13)	0.000133	P(21)	0.000124
P(6)	0.013689	P(14)	0.000256	P(22)	0.000124
P(7)	0.013657	P(15)	0.000127	P(23)	0.0000001
P(8)	0.001675	P(16)	0.000122	P(24)	0.0000001

Çizelge 7.14. -10 derece hava şartları için elde edilen muhtemel arıza durumları olasılıkları

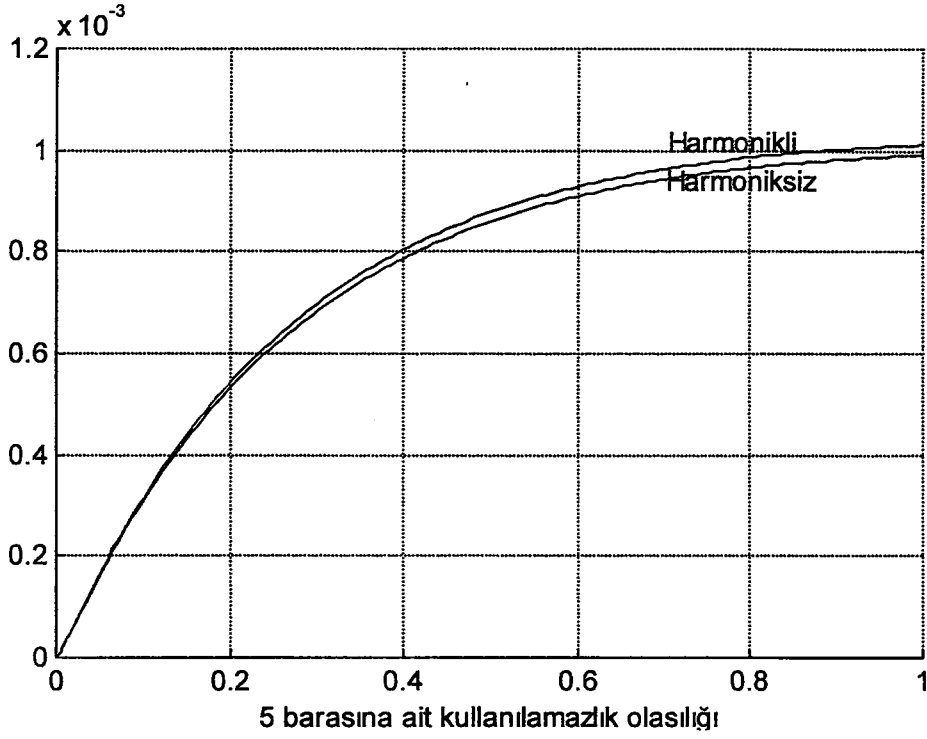
Durum	Olasılık	Durum	Olasılık	Durum	Olasılık
P(1)	0.912570	P(9)	0.000125	P(17)	0.000100
P(2)	0.017484	P(10)	0.000083	P(18)	0.000109
P(3)	0.013863	P(11)	0.003135	P(19)	0.000104
P(4)	0.012947	P(12)	0.000107	P(20)	0.000104
P(5)	0.011832	P(13)	0.000114	P(21)	0.000106
P(6)	0.012577	P(14)	0.000219	P(22)	0.000105
P(7)	0.012533	P(15)	0.000108	P(23)	0.0000001
P(8)	0.001573	P(16)	0.000103	P(24)	0.0000001



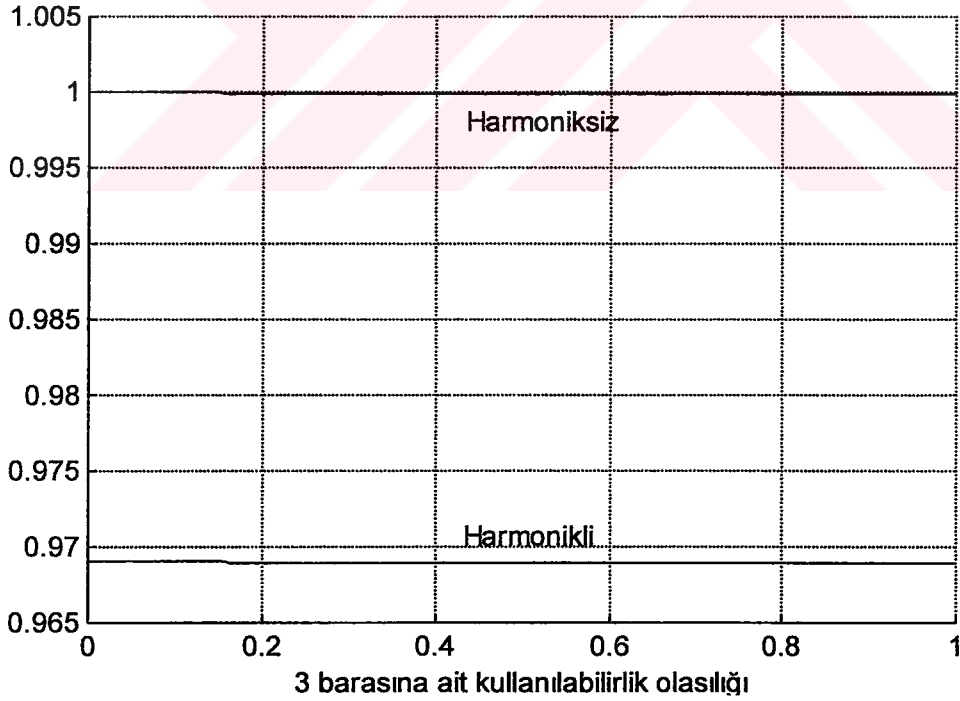
Şekil 7.42. -5 derece hava şartları için elde edilen, % 95 talep faktörlü hal için harmonikli ve harmoniksiz durumlara ait, 3 barası yokluğu



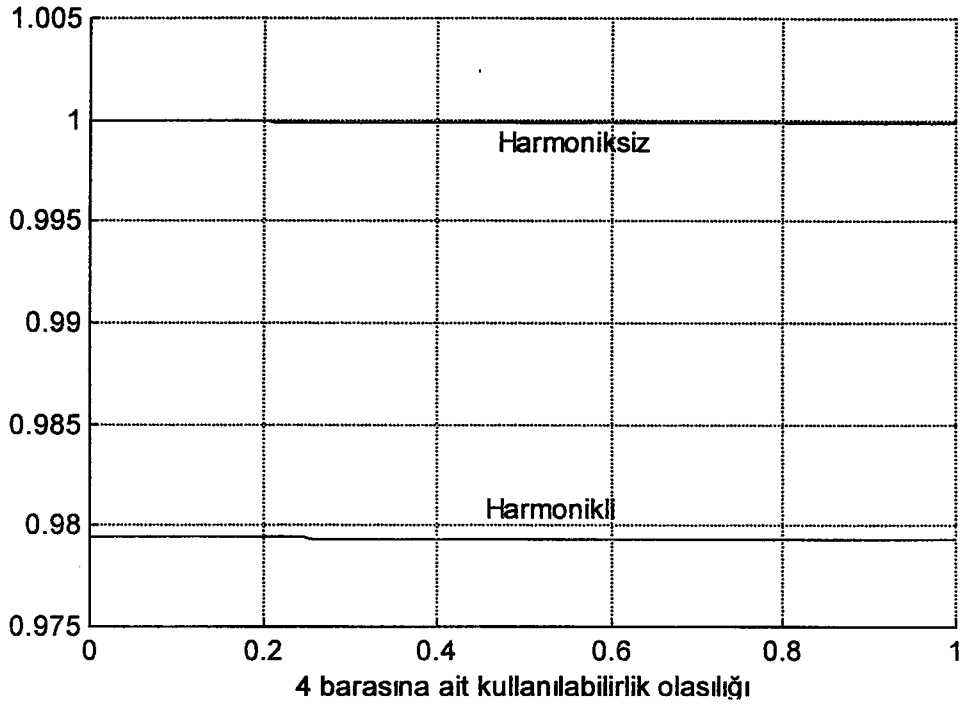
Şekil 7.43. -5 derece hava şartları için elde edilen, % 95 talep faktörlü hal için harmonikli ve harmoniksiz durumlara ait, 4 barası yokluğu



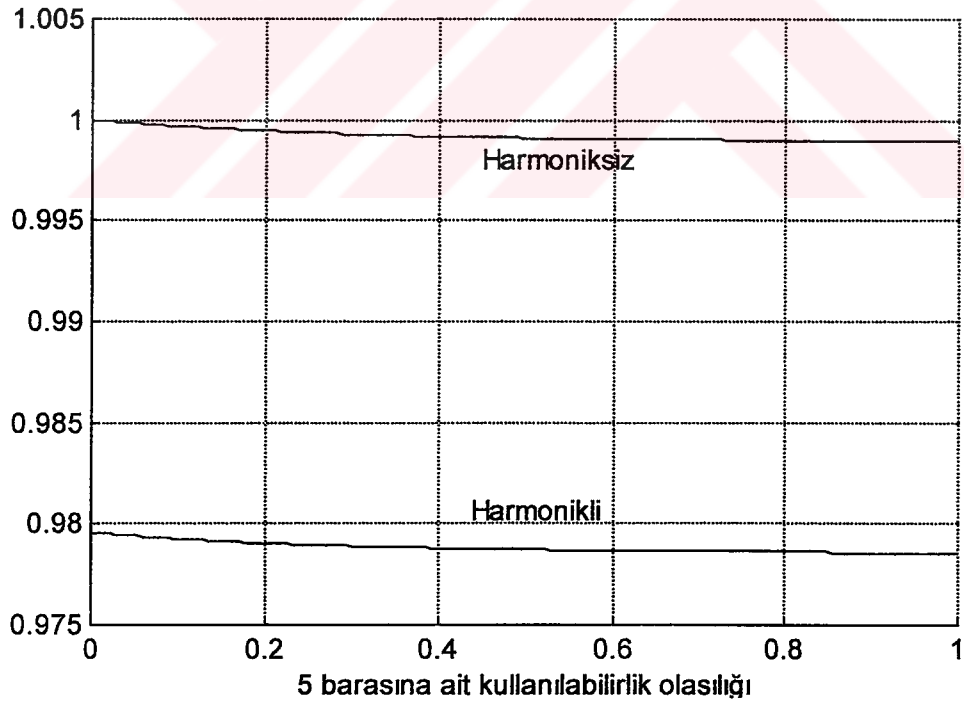
Şekil 7.43. -5 derece hava şartları için elde edilen, % 95 talep faktörlü hal için harmonikli ve harmoniksiz durumlara ait, 5 barası yokluğu



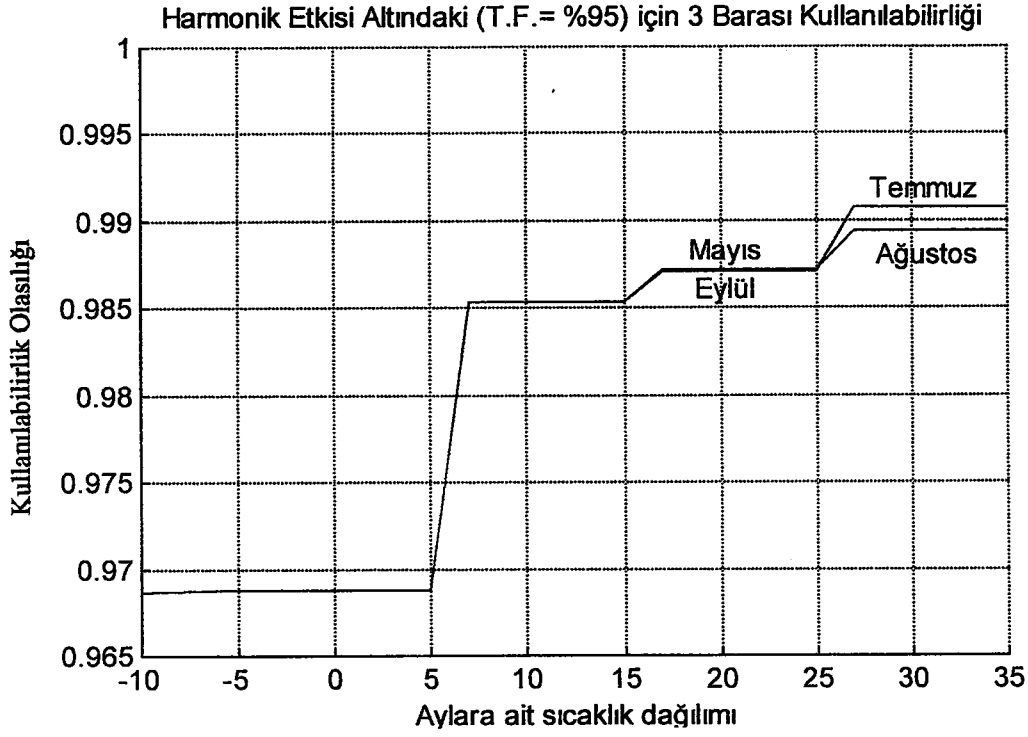
Şekil 7.44. -20 derece hava şartları için elde edilen, % 95 talep faktörlü hal için harmonikli ve harmoniksiz durumlara ait, 3 barası güvenilirliği



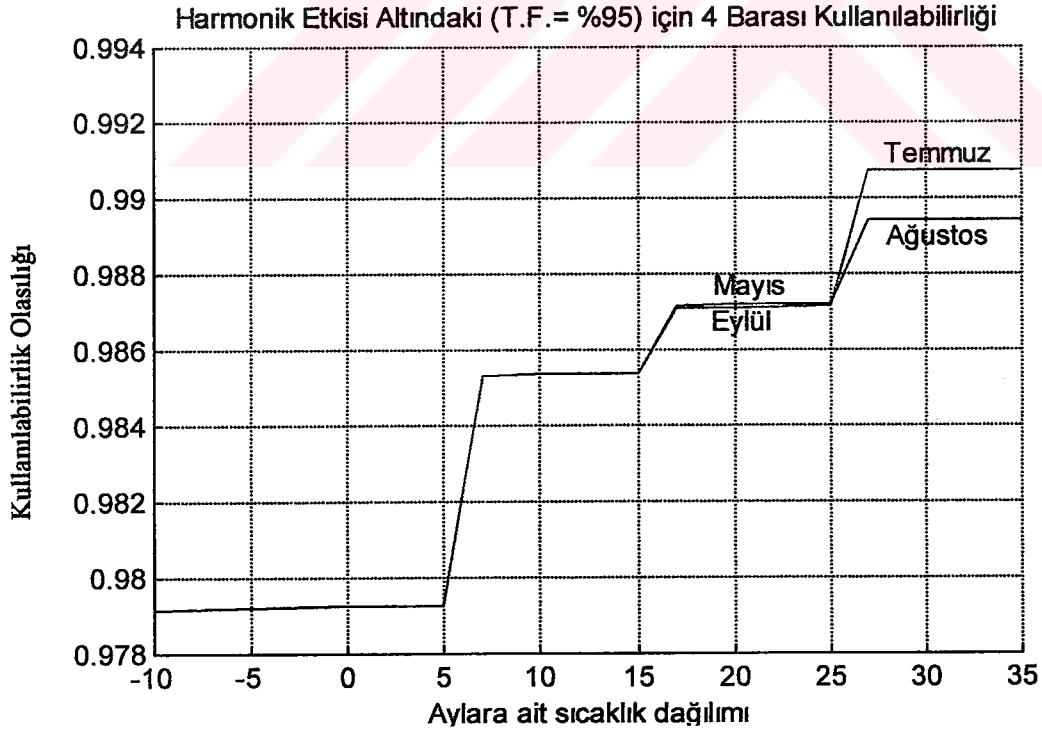
Şekil 7.45. –20 derece hava şartları için elde edilen, % 95 talep faktörlü hal için harmonikli ve harmoniksiz durumlara ait, 4 barası güvenilirliği



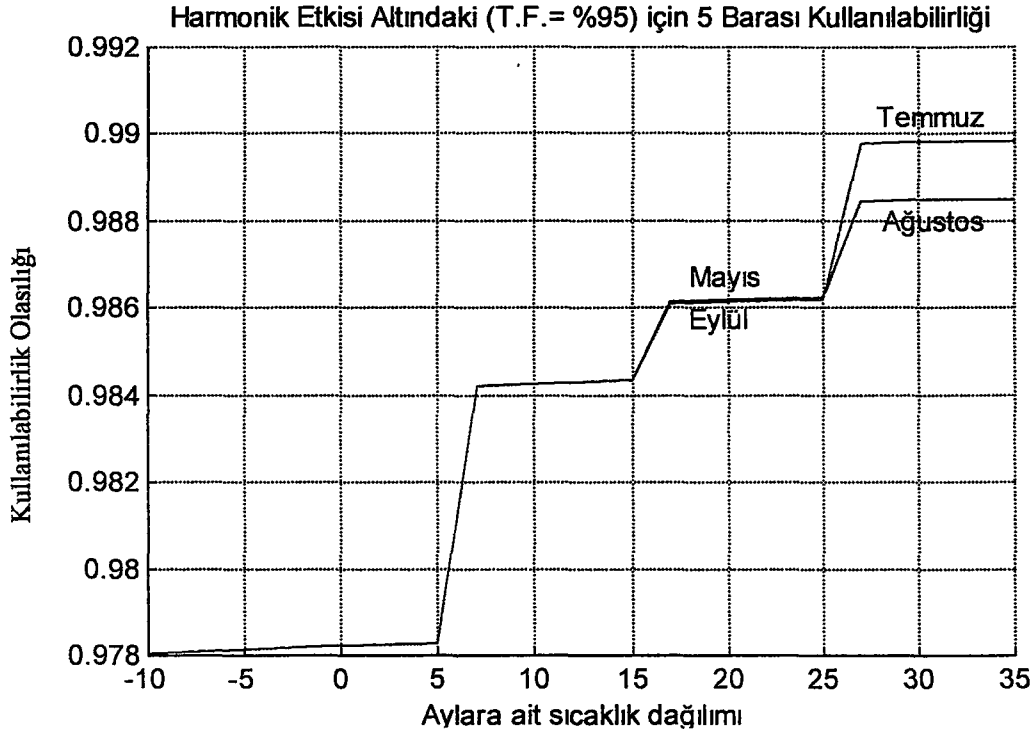
Şekil 7.46. –20 derece hava şartları için elde edilen, % 95 talep faktörlü hal için harmonikli ve harmoniksiz durumlara ait, 5 barası güvenilirliği



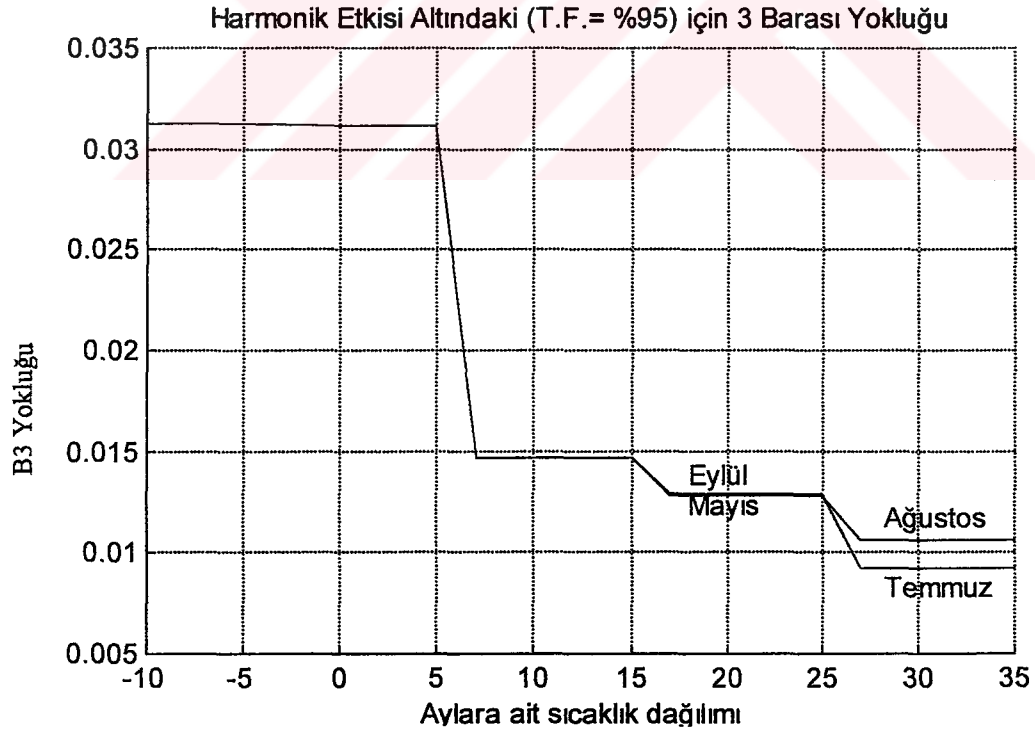
Şekil 7.47. TF= %95 iken Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Ocak için ((-10,5) derece), Kasım için ([5,15]), Eylül-Mayıs ayları için ((15,25) derece) ve Temmuz - Ağustos için ((25,35) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 3 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri



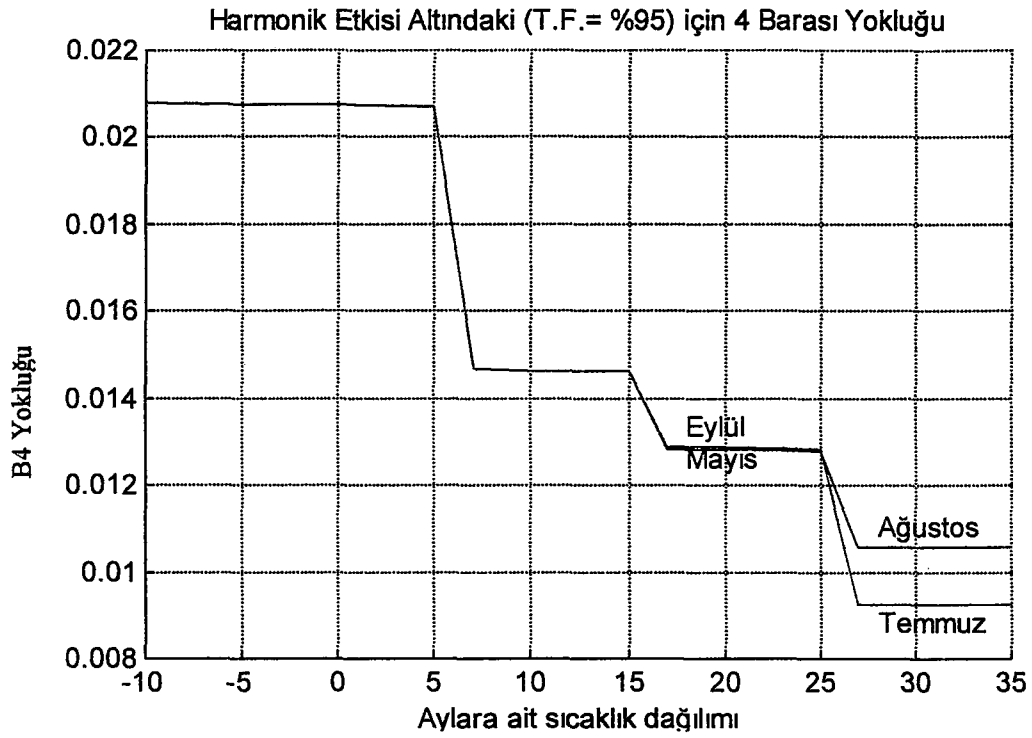
Şekil 7.48. TF= %95 iken Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Ocak için ((-10,5) derece), Kasım için (5,15), Eylül-Mayıs ayları için ((15,25) derece) ve Temmuz - Ağustos için ((25,35) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 4 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri



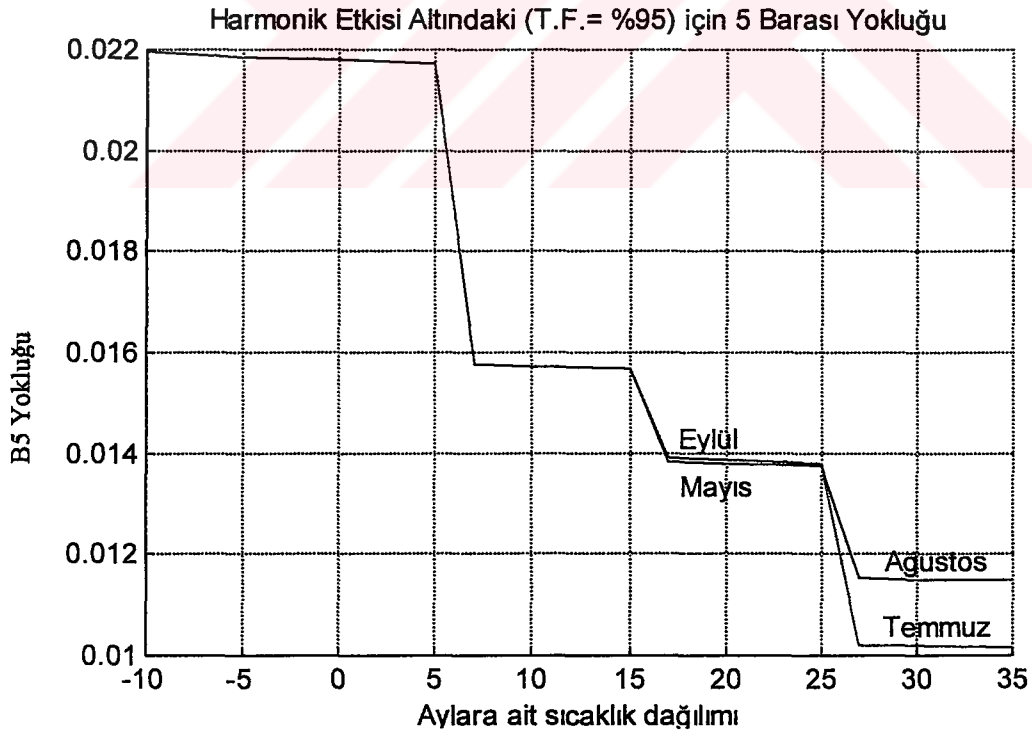
Şekil 7.49. TF= %95 iken Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Ocak için ((-10,5) derece), Kasım için (5,15), Eylül-Mayıs ayları için ((15,25) derece) ve Temmuz - Ağustos için ((25,35) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 5 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri



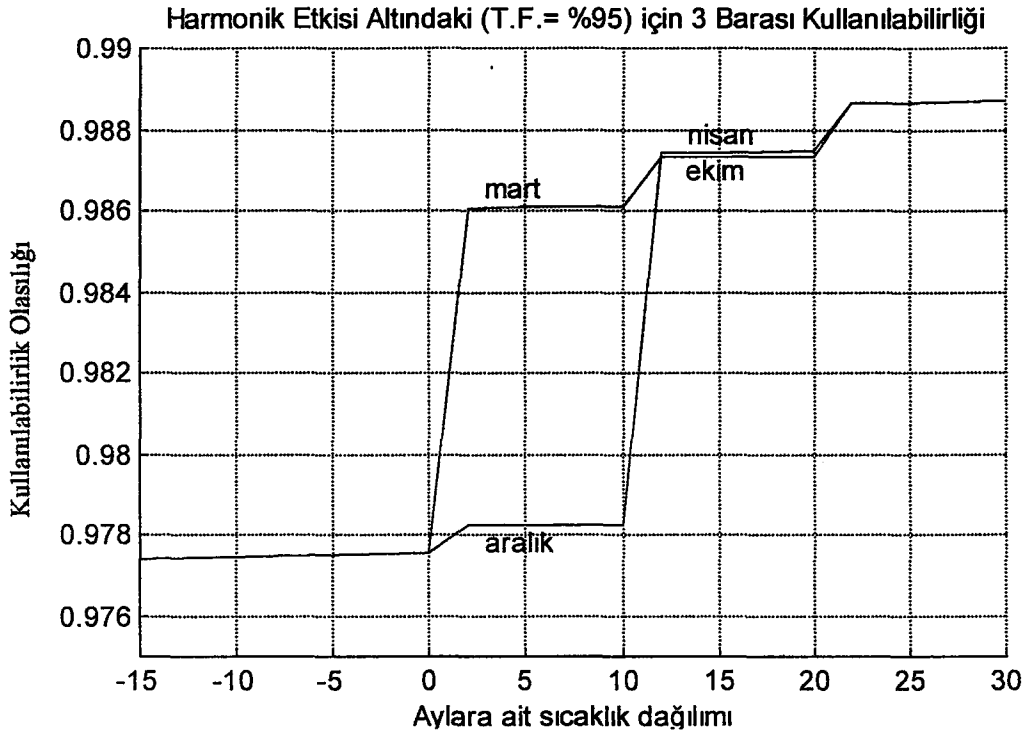
Şekil 7.50. TF= %95 iken Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Ocak için ((-10,5) derece), Kasım için (5,15), Eylül-Mayıs ayları için ((15,25) derece) ve Temmuz - Ağustos için ([25,35] derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 3 barasına ait harmonikli yokluk uç değerleri



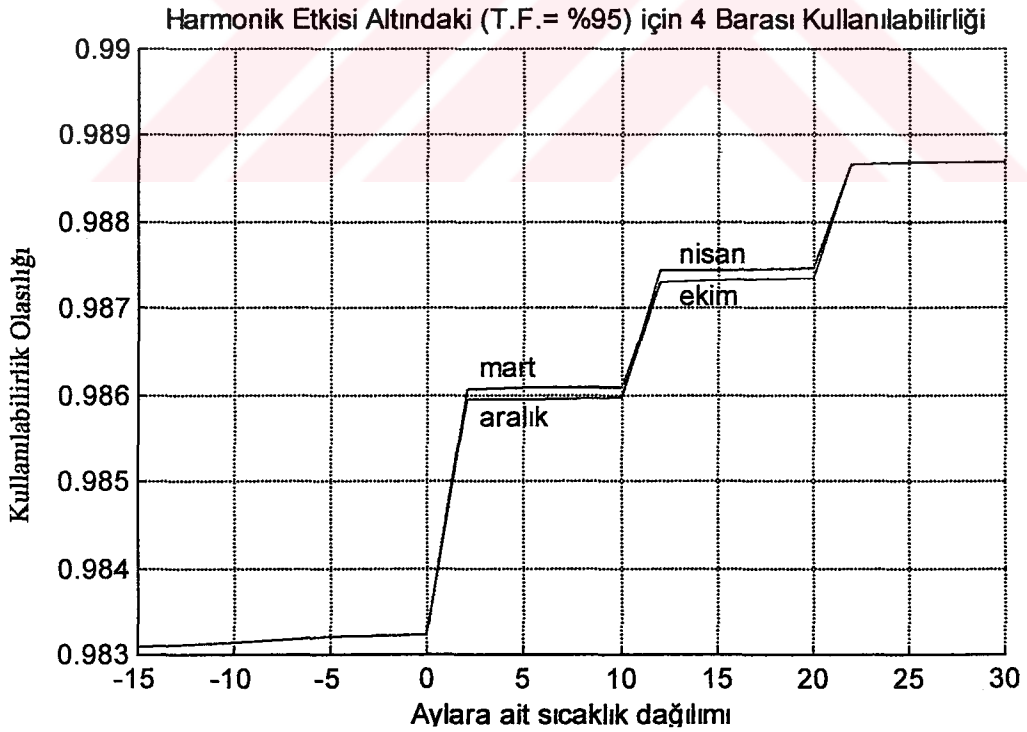
Şekil 7.50. TF= %95 iken Maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Ocak için ((-10,5) derece), Kasım için (5,15), Eylül-Mayıs ayları için ((15,25) derece) ve Temmuz - Ağustos için ((25,35) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 4 barasına ait harmonikli yokluk uç değerleri



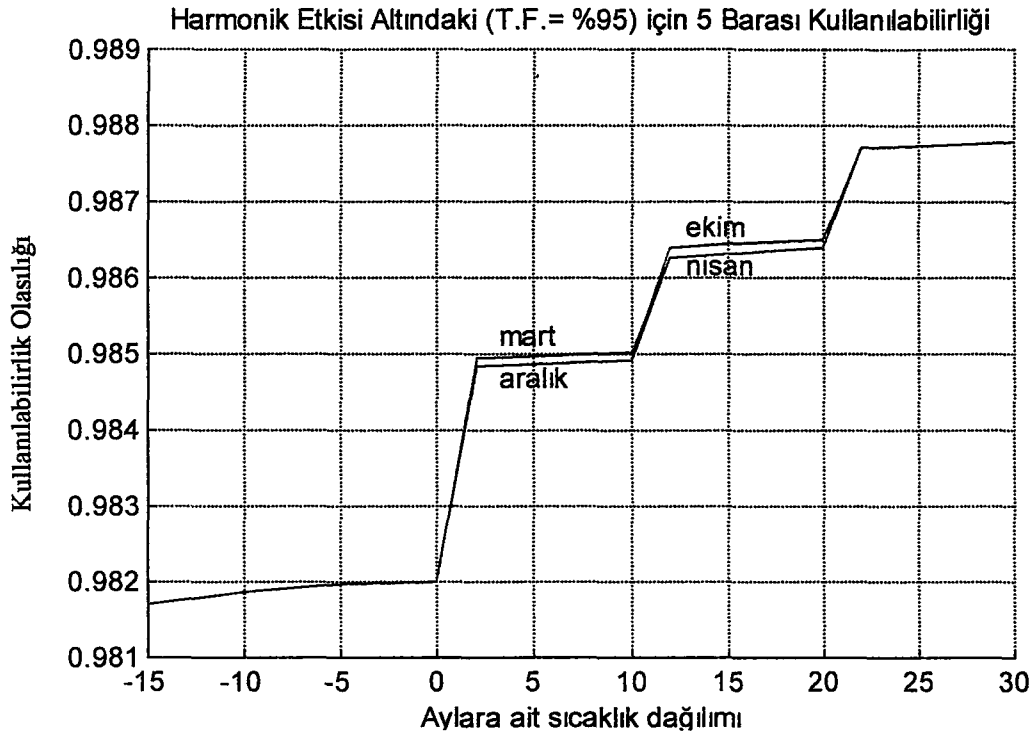
Şekil 7.51. TF= %95 iken maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Ocak için ((-10,5) derece), Kasım için (5,15), Eylül-Mayıs ayları için ((15,25) derece) ve Temmuz - Ağustos için ((25,35) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 5 barasına ait harmonikli yokluk uç değerleri



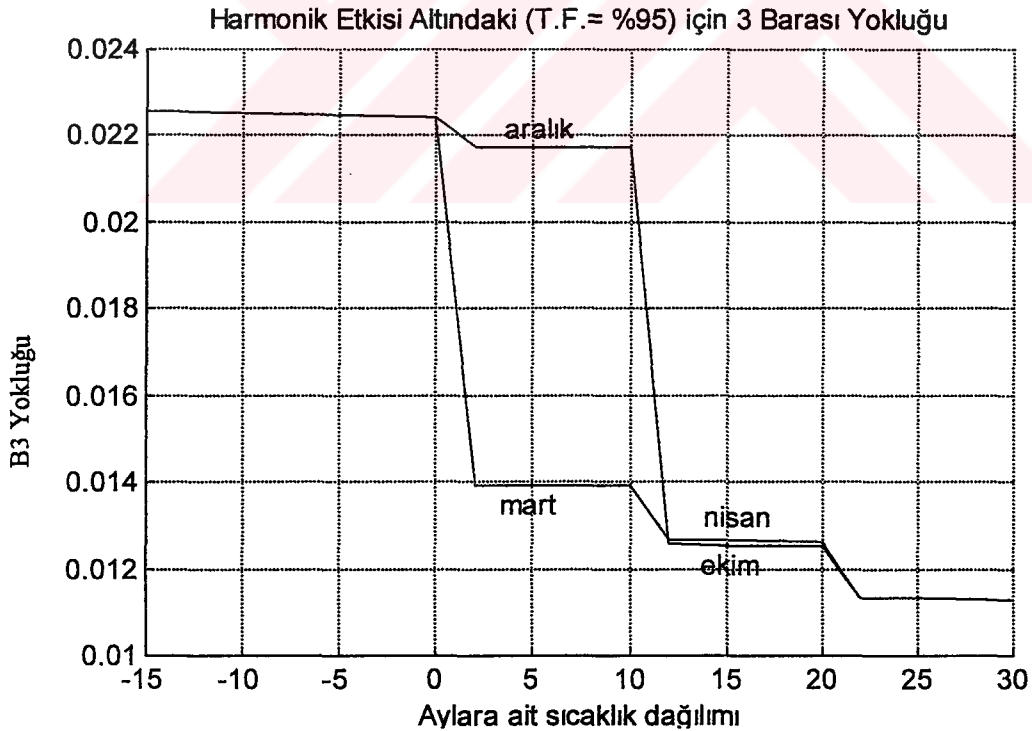
Şekil 7.52. TF = %95 iken, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Şubat için ((-15,0) derece), Aralık – Mart ayları için (0,10), Ekim – Nisan ayları için ((10,20) derece) ve Haziran için ((20,30) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 3 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri



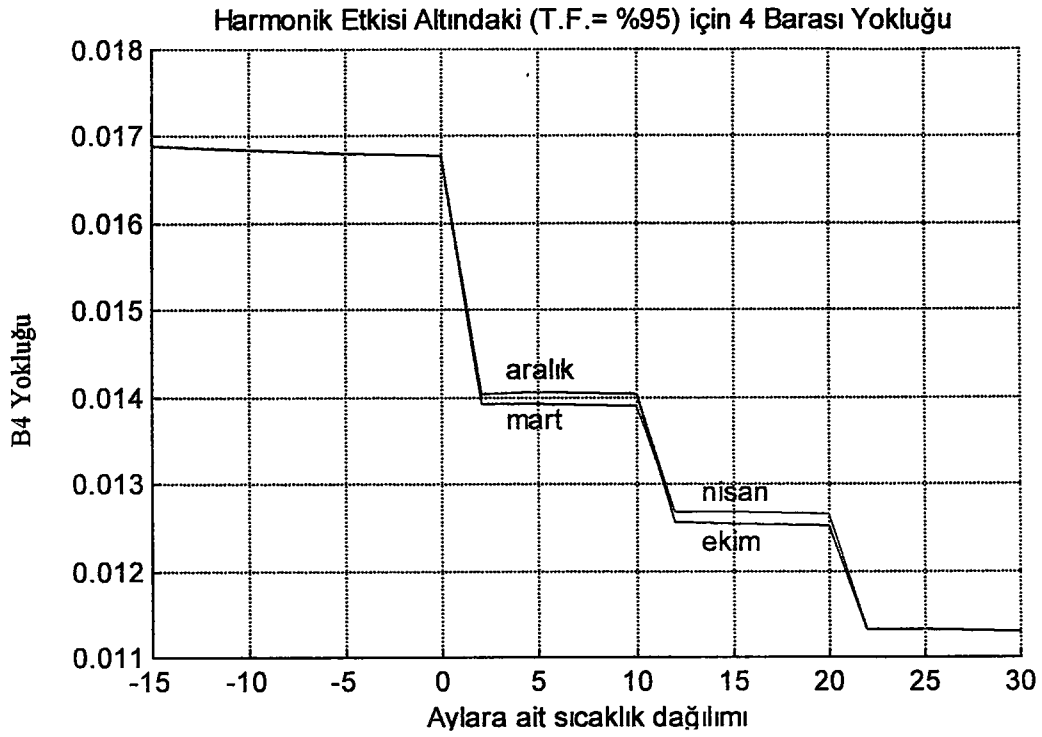
Şekil 7.53. TF = %95 iken, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Şubat için ((-15,0) derece), Aralık – Mart ayları için (0,10), Ekim – Nisan ayları için ((10,20) derece) ve Haziran için ([20,30] derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 4 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri



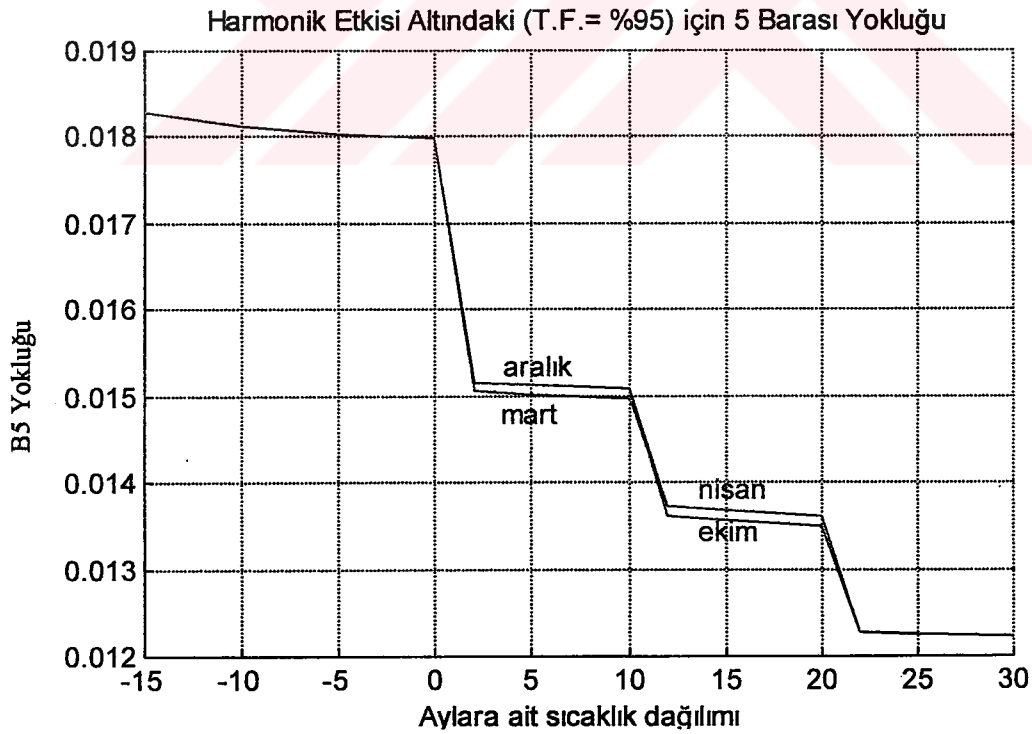
Şekil 7.54. TF = %95 iken, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Şubat için ((-15,0) derece), Aralık – Mart ayları için (0,10), Ekim – Nisan ayları için ((10,20) derece) ve Haziran için ((20,30) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 5 barasına ait harmonikli güvenilirlik değerleri



Şekil 7.55. TF = %95 iken, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Şubat için ((-15,0) derece), Aralık – Mart ayları için (0,10), Ekim – Nisan ayları için ((10,20) derece) ve Haziran için ((20,30) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 3 barasına ait harmonikli yokluk uç değerleri



Şekil 7.56. TF = %95 iken, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Şubat için ((-15,0) derece), Aralık – Mart ayları için (0,10), Ekim – Nisan ayları için ((10,20) derece) ve Haziran için ((20,30) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 4 barasına ait harmonikli yokluk uç değerleri



Şekil 7.58. TF = %95 iken, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri Şubat için ((-15,0) derece), Aralık – Mart ayları için (0,10), Ekim – Nisan ayları için ((10,20) derece) ve Haziran için ((20,30) derece) arasında olduğu kabulü ile elde edilen 5 barasına ait harmonikli yokluk uç değerleri

Çizelge 7.16. Harmonik etkinliğinin göz önünde bulundurumadığı ve çok 0 derece hava göre elde edilen, 3,4,5 yük baralarına ait, MTTF, MTTR ve MTBF parametreleri

	MTTF (saat)	MTTR (gün)	MTBF (gün)
BARA – 3	1.6416	185.3511	185.4195
BARA – 4	2.0602	182.4553	182.54115
BARA – 5	4.7084	215.6712	215.8673

Çizelge 7.17. Harmonik etkinliğinin göz önünde bulundurumadığı ve çok 20 derece hava göre elde edilen, 3,4,5 yük baralarına ait, MTTF, MTTR ve MTBF parametreleri

	MTTF (saat)	MTTR (gün)	MTBF (gün)
BARA – 3	1.2307	355.73	355.7813
BARA – 4	1.3852	361.3165	361.3742
BARA – 5	3.8327	387.2225	387.3821

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektrik enerji sistemlerindeki nonlinear yüklerin, sistem güvenilirliği üzerindeki etkisini ortaya koyan ve çeşitli kava koşullarını analize dahil eden, çok hava modelli sürekli zaman ayırık durumlu bulanık markov modeli güvenilirlik analizi tekniğinin geliştirildiği bu çalışma, tanıtıcı giriş bölümü hariç yedi bölümden oluşmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde; genel güvenilirlik tanımı ve genel formülasyonu ile ortalama arıza zamanı, ortalama çalışma zamanı, arızalar arasındaki ortalama süre, arıza hızları çeşitleri gibi güvenilirlik parametreleri ve sistem güvenilirliği ile ilgili tanımlar verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; geliştirilen bulanık markov tekniği ile güvenilirlik analizi yöntemine esas olacak, genel güvenilirlik analizi yöntemlerinden; yaklaşıklık tekniği, hata ve olay ağacı teknikleri, monte-carlo simülasyonu, bayesian teoremi ve markov yöntemleri anlatılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde; elektrik enerji sistemi bileşenlerinin güvenilirlik modelinin oluşturulmasına yönelik olan bir elemanın arıza biçimleri, bir yük barasının, transformatörlerin, enerji iletim hatlarının arıza durumları ile enerji sistemi çalışmasına hava koşullarının etkisi, gerekli eleman parametreleri, enerji sistemi güvenilirlik indisleri ve seçimi verilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde; harmoniklerle ilgili temel tanım ve büyüklükler ile nonlinear yüklerin elektrik enerji sistemlerinde, özellikle güvenilirlik değişkenleri üzerindeki olumsuz etkileri (arıza tiplerine olan etkileri, aşırı gerilim düşümü, rezonans olayı gibi diğer istenmeyen durumlar, eskime sürecine ve ömre olan etkisi) incelenmiştir.

Altıncı bölüm, temel bulanık küme teorisi tanım ve büyüklükleri ile bulanık küme teorisinin güvenilirlik analizine uygulanması ile ilgili bulanık seri-paralel-karışık sistem güvenilirliği, bulanık olay ağacı-hata ağacı analizi, bulanık markov modeli, nonlinear yüklerin olumsuz etkilerinin bulanık markov modeline uyarlanması konularını içermektedir.

Yedinci bölümde ise, nonlinear yükleri içeren elektrik enerji sisteminin, seçilen örnek sistem için, bulanık markov modeli ile güvenilirlik analizi ve klasik markov ile kıyaslanması sayısal

olarak yapılmıştır. Bu sayısal uygulamada, çok hava modeli ve harmonik etkinliğinin birlikte dahil edilmesi ile elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Klasik markov modelinden elde edilen güvenilirlik, yokluk olasılıkları, analizi yapılan zaman periyodu bazına göre ortalama bir değer olup, sistem davranışını tam olarak karakterize edemez. Buna karşın, geliştirilen çok hava modeli bulanık markov yöntemi ile incelenen zaman periyodunu, istediğimiz hassasiyette modelleyerek, farklı hava modelinin geçerli olduğu her bir zaman dilimi için ayrı ayrı güvenilirlik değerlerini almak mümkündür. Bu şekilde istenen herhangi bir andaki sistem davranışı ile ilgili bilgileri elde edip, bu bilgilere göre işletme ile ilgili önceden alınması gereken önlemler daha doğru bir şekilde belirlenebilir.
- Klasik markov modellerinde de “bir” den fazla hava modeli kullanmak mümkün olmasına rağmen, işlem karmaşıklığı ve verilerin düzgün bir şekilde tasnif edilmesindeki zorluklardan dolayı bugüne kadar yapılan çalışmalarda en fazla iki hava modeli kullanılmıştır. Buna rağmen, yine de, klasik markov ile elde edilen güvenilirlik neticeleri incelenen zaman dilimi bazına göre ortalama bir değer olarak karşımıza çıkar. Geliştirilen bulanık markov modelinde ise, çok hava modelinin kullanılması halindeki işlem zorlukları ve karışıklığı ortadan kaldırılmış olmaktadır.
- Klasik markov modeli arıza ve onarım hızlarındaki nonlineerlikleri modelleyememektedir. Dolayısıyla yapılan analizlerde bu iki değişken de sabit bir değer olarak kabul edilmektedir. Buna bağlı olarak, elde edilen neticelerin hassasiyeti azalmaktadır. Geliştirilen bulanık markov modelinde ise, her çeşit nonlineerlik durumlarını modellemek mümkündür. Bundan dolayı bulanık markov modelini çok daha fazla alana uygulamak mümkündür.
- Bulanık markov yöntemiyle her bir hava modeli için neticelerin ayrı ayrı alınabilmesinden dolayı, sistem güvenilirlik parametrelerinden, ortalama arıza zamanı, ortalama çalışma zamanı ve ortalama arızalararası süresinin, sistemi etkileyen hava şartlarının ağırlaşma derecesine bağlı olarak ne oranda arttığını veya azaldığını görmekteyiz. Yani MTTF, MTTR, MTBF’ in hava şartlarının bir fonksiyonu olarak değişimini tespit edebilmekteyiz. Örneğin, “-20” derece hava şartları için B3 yük barasının ortalama arızalı kalma süresi 3.41 saat iken, “0” derece hava şartları için 1.64 saat, “20” derece hava şartları için ise 1.23 saat olmaktadır.

- Sistemden çekilen toplam harmonik distorsiyonunu ($THD_{(n)}$) değerinin % 40'a kadar olması durumları için, harmonik etkinliğinin, bulanık markov tekniği içerisinde modellenmesi yapılmıştır. Geliştirilen yöntem ile enerji iletim sistemleri üzerindeki harmonik etkisinin, güvenilirliği azaltıcı yönde bir etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Sistemden çekilen her bir zaman dilimine ait, harmonik seviyelerini gösteren histogram eğrileri yardımı ile elde edilen güvenilirlik değerlerinin, özellikle kış ayları için % 10 ile %20 arasında azaldığı görülmüştür. Örneğin B5 yük barası için (Şekil 7.34) aralık ve mart ayları sıcaklıklarının ortalama (0 - 10) derece arasında değiştiği kabulü ile harmonik etkisi altında aralık ayı güvenilirliği 0.765 iken mart ayı güvenilirliği 0.87 olmaktadır.
- Talep Faktörünün (TF) %95 olması halinde, %40 THD(I) değerine sahip harmoniklerin ağır hava şartlarında güvenilirliği %5 ile %10 arasında azalttığı, fakat yaz aylarında sistemin güvenilirliğinde hemen hemen hiç bir değişimin olmadığı, analiz neticesinde anlaşılmıştır. Örneğin -20 derece hava şartları için 5 barasına ait kullanılabilirlik olasılığı (Şekil 7.46) % 95 talep faktörü için harmonikli durumda 0.999 iken harmoniksiz durumda 0.978 değerini almaktadır.

Bulanık markov tekniği ile güvenilirlik analizi için geliştirilen algoritmanın yazılımı, yapısal programlama dillerinden olan MATLAB' te gerçekleştirilmiş olup, tez çalışmasında elde edilen yenilikler şu şekilde sıralanabilir:

1. Orijinal olarak, enerji sistemlerinde harmonik bileşenlerinin etkilerinin dahil edildiği güvenilirlik analizi bu çalışmada gerçekleştirilmiştir.
2. Analizi için, literatürdeki bulanık-markov modeli (Kruse et al., 1985) daha da geliştirilerek tamamen farklı bir yaklaşım olan bulanık-markov hibrid yapısı kullanılmıştır. Bu şekilde özgün bir analiz tekniği ortaya konmuştur.
3. Nonlineer karakteristiğe sahip durumları modelleyemeyen klasik markov modeline karşın, bu çalışmada geliştirilen bulanık markov modelinde bu tür kısıtlar ortadan kaldırılmıştır. Böylece daha kompleks sistemlerin güvenilirlik analizini hibrid bulanık-markov modeli ile yapmak mümkün hale gelmiştir.
4. Literatürde bugüne kadar ki analizlerde en fazla iki değişken hava modeli kullanılabilmektedir. İhmal edilen ikiden fazla değişken hava modeli, bulanık-markov

tekniki sayesinde çözüme ulaştırılmış olup, bu çalışma ile sistemin daha gerçekçi modeli elde edilebilmektedir.

5. Klasik markov modellerinden elde edilen güvenilirlik sonuçları, incelenen zaman dilimi için ortalama bir değer olmasına karşın, geliştirilen bulanık markov modeli ile, incelenen zaman periyodunu, bir çok alt zaman parçasına ayırıp, her bir zaman dilimi için ayrı ayrı güvenilirlik parametrelerini elde etmek mümkündür.
6. Geliştirilen bulanık markov tekniği ile, incelenen zaman periyodu hassasiyeti uygun bir şekilde modellendiği takdirde, enerji sistemlerinde bugüne kadar değinilmeyen “gerçek zaman güvenilirlik analizi” yaklaşımını analizlerde kullanmak mümkündür. Model üzerindeki çalışmaların artmasıyla, güvenilirlik analizi literatürüne, genel anlamda herhangi bir sistem için yeni bir başlık olan “gerçek zaman güvenilirlik analizi” bakış açısı kazandırılmış olmaktadır.
7. Geliştirilen yöntem ile güvenilirlik üzerindeki harmonik etkinliğinin derecesi tespit edildiğinden, enerji sistemi optimizasyonu, enerji sisteminin ekonomik işletimi ve enerji sistemi planlaması gibi konularda, harmoniklerin ve talep faktörü kriterinin dikkate alınmasındaki ağırlık derecesi daha doğru bir şekilde göz önüne alınmış olacaktır.

Bulanık küme mantığına uygun bir yapısı olan güvenilirlik probleminin çözümünde, geliştirilen yöntem ile yukarıda bahsedilen maddelerde olduğu gibi daha doğru neticeler elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Allan, R.N., Billinton, R. And Lee, S.H., (1994), "Bibliography on The Application of Probability Methods in Power System Reliability Evaluation, 1977-1982" *ibid.*, PAS-103, pp. 275-282.

Allan, R.N., Borkowska, B. And Grigg, C.H., (1974), "Probabilistic Analysis of Power Flows," *Proc. IEE*, 121, pp. 1551-1556.

Allan, R.N., Leite da Silva, A.M., Burcheff, R.C., (1981), "Evaluation Methods and Accuracy in Probabilistic Load Flow Solutions", *IEEE Transactions on PAS*, pp.2539-2546

ANSI/IEEE (1998), "Recommended Practice for Establishing Transformer Capability when Supplying Nonsinusoidal Load Currents", C57. 110/D7, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York.

Arrilaga, J., Bradley, D.A. and Bodger, P.S., (1985), "Power System Harmonics", John Wiley & Sons, New York.

Baghzous, Y., Tan, O.T., (1986), "Computation of maximum RMS Current and Peak Voltage on Transmission Lines Under Nonsinusoidal Conditions", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 1, No. 3, July, pp.266-272.

Barlow, R.E., and Proshan, F., (1965), "Mathematical Theory of Reliability", John Wiley & Sons.

Baulet J.B., Pelaez C.E., (1995), "Application of Fuzzy Logic to Reliability Engineering", *Proceeding of the IEEE*, Vol. 83, No.3. March

Bazosvsky, I., (1961), "Reliability Theory and Practice", Prentice - Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey

Berenji, H. R., (1992), "Fuzzy Logic Controllers", *An Introduction To Fuzzy Logic Applications In Intelligent Systems*, Yager, R. R., Zadeh, L. A, Kluwer Academic Publishers.

Billinton, R., And Allan, R.N., (1983), "Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques," Longman, London/Plenum Press,

Billinton, R., And Allan, R.N., (1984), "Reliability Evaluation of Power Systems," Longman, London/Plenum Press.

Billinton, R., And Allan, R.N., (1988), "Reliability Assessment of Large Electric Power Systems," Kluwer Academic Publishers, USA.

Billinton, R., (1972) "Bibliography on The Application of Probability Methods in Power System Reliability Evaluation," *IEEE Trans.*, PAS-91, pp. 649-660.

Billinton, R., Bollinger, K.E., (1968), "Transmission System Reliability Evaluation Using Markov Processes", *IEEE Trans.*, PAS, pp. 538 -547, February

Billinton R., Grover M.S., (1975), "Quantitative Evaluation of Permanent Outage in distribution Systems," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-94, no.3, pp. 733-741.

Billinton R., Grover M.S. (1975), "Reliability Assessment of Transmission and Distribution Schemes," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-94, no.3, pp.724-731, May/June

Billinton, R., Kruganty, P.R.S., (1980), "A probabilistic Index for Transient Stability", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems pp. 195-207.

Bishop, B.T., Baranowski, J.F., Heath, D., Benna, S.J., (1996) "Evaluating Harmonic-Induced Transformer Heating," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 11, No.1, pp. 305-311, January.

Blume L.F., G. Camilli, A. Bayajian, Montsinger V.M, (1958), "Transformer Engineering: A Treatise on the Theory, Operation and Application of Transformers", Wiley, New York

Bowles J.B., Pelaez C.E., (1995), "Application of Fuzzy Logic to Reliability Engineering," Proceedings of the IEEE, Vol. 83, No. 3, pp. 435 – 449.

Brown, R.E., Gupta, S., Christie, R.D., Venkata, S.S., Fletcher, R., (1996), "Distribution System Reliability Assessment Using Hierarchical Markov Modeling," IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 11, No. 4, pp. 1929-1934 October.

Chanan, S., (www.tamu.edu), "Power System Reliability Analysis", Seminar Course Notes, pp.217, TA&M

Christiaanse, W.R., (1970), "Reliability Calculations Including the Effects of Overloads and Maintenance," IEEE Transaction on Reliability, Vol. 71, pp. 1664 – 1676.

Christiaanse, W.R., (1971), "Reliability Calculations Including the Effects of Overloads and Maintenance", IEEE Transactions PAS, pp. 1664-1676, July/August .

Desieno, C.F., Stine, L.L., (1964), "A probability Method for Determining the Reliability of Electric Power System", IEEE Transactions PAS, pp 174-179, February

Driankov, D., Hellendoorn, H., Reinfrank, M., (1996), "An Introduction To Fuzzy Control", Springer Verlag, Berlin.

Dudewicz, E.j., and Mishra, S.A., (1988), "Modern Mathematical Statistics" John Wiley&Sons, New York

Electric Power Research Institute, (1996), "An Assessment of Distribution System Power Quality, Volume 2: Statistical Summary Report", Palo Alto, EPRI-TR-106294-V2, May.

Emanuel, A.E., Wang, X., (1985), "Estimation of Loss of Life of Power Transformers Supplying Nonlinear Loads", IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No.3, pp. 628-636.

- Endrenyi, J., (1978), "Reliability Modeling in Electric Power Systems", John Wiley & Sons, New York
- Eure Dat A., (1983), "Reference Classification Concerning Components' Reliability", Eure Dat A., Project Report no.1, Commission of the European Communities, Joint Reserch Center, Ispra (Varese), Italy.
- Eure Dat A., (1996), "Guide to Reliability Data Collection and Manegment", Eure Dat A., Project Report no.3, Commission of the European Communities, Joint Reserch Center, Ispra (Varese), Italy.
- Forrest, J.A.C., (1991), "Harmonic Load Losses in HVDC Converter Transformers", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. PWRD-6, No. 1, pp. 153 – 157.
- Fuchs, E.F., Fei, R., (1996), "A New Computer Aided Method for the Efficiency Measurement of Low-Loss Transformers and Inductors under Nonsinusoidal Operation," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 11, No. 1, pp. 292-304 .
- Fuchs, E.F., Roesler, D.J., Kovacs, K.P., (1986), "Aging of Electrical Appliances Due to Harmonics of the Power System's Voltage," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 1, No. 3, pp. 301-307.
- Fuchs, E.F., Roesler, D.J., Kovacs, K.P., (1986), "Aging of Electrical Appliances due to Harmonics of the Power System's Voltage", IEEE trans. On Power Delivery Vol. PWRD-1, No. 3, pp. 301-307.
- Fuchs, E.F., Stensland, T.D., Grady W.M., Doyle, M., (1994), "Measurement of Harmonic Losses of Pole Transformers and Single Phase Induction Motors", IEEE – IAS Annual Meeting, Denver, CO, October 27, pp. 128-134
- Fuchs, E.F., Yilirm, D., Grady, W.M., (1999), "Measurement of Eddy-Current Loss Coefficient PECC, Drating of Single Phase Transformers, and Comparision with K-Factor Approach," IEEE Transaction on Power Delivery, March, pp. --
- Galli, A.W., Cox, M.D., (1996), "Temperature rise of small oil-filled Distrubition Transformers Supplying Nonsinusoidal Load Currents," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 11, No. 1, pp. 283-290.
- Gaver, D.P., Montmeat, E.F. and Patton, A.D., (1964), "Power System Reliability. I- Measures of Reliability and Methods of Calculation", IEEE Transactions PAS, pp. 727-737, July
- Gnedenko, B.V., (1957), "Theory of Probability and its Applications", vol. I, John Willey&Sons
- Hanselman, D., Littlefield, B., (1996), "Mastering Matlab A Comprehensive Tutorial And Reference", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Henley E.Y., Kumamota H., (1981), "Reliability Engineering and Risk Assesment", Prentice – Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Hoyland A., Rausand M., (1994), "System Reliability Models and Statistical Methods",

John Wiley & Sons, Inc.

Hwang, M.S., Grady, W.M., Sanders, H.W., (1987), "Distribution Transformer Windin Losses Due to Nonsinusiodal Currents," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 2, No. 1, pp. 140 – 146,

IEEE Committee Report, (1978), "Bibliography on The Application of Probability Methods in Power System Reliability Evaluation, 1971-1977" *ibid.*, PAS-97, pp. 2235-2242.

IEEE Committee Reports, (1976), "List of Transmission and Distrubition Compenents for use in Outage Reporting and Relibilty Calculations ", IEEE Trans. on PAS., vol. 95, No. 4 July/August, pp. 1210-1215.

IEEE Committee Reports, (1968), "Proposed Definations of Terms for Reporting and Analyzing Outages of Electrical Transmission and Distrubutions Facilities and Interruptions", IEEE Trans. On PAS., vol. 87, No. 5, May , pp. 1318-1323

IEEE Reliability Test System Subcommittee (1979) "IEEE Reliability Test System," IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, No. 6, Nov./Dec., pp.2047-2054.

Kassaei, H.R., Keyhani, A., Woung, T., Rahman, M., (1999), "A Hybrid Fuzzy, Neural Network Bus Load Modeling and Predication," IEEE Transaction on Power Systems, Vol.14, No. 2, pp. 718-724

Kenarangul, R., (1991), "Event- Tree Analysis by Fuzzy Probability", IEEE Transaction on Reliability, Vol. 40, No. 1, pp. 120-124.

Kolov B.A., Ushakov I.A., (1970), "Reliability Handbook", Holt Inc.

Kruse, R., Emden, R.B., Cordes, R., (1985), "Processor Power Considerations – An Application of Fuzzy Markov Chains," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 21, pp. 289 – 299.

Lee, C. C., (1994), "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller Part I", IEEE Trans. On Systems Man and Sybernetics, vol.20, 404-419.

Lee, C. C., (1994), "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller Part II", IEEE Trans. On Systems Man and Sybernetics, vol.20, 419-435.

Li, Y. F., Lau, C. C., (1989) "Development of Fuzzy Algorithms For Servo Systems", IEEE Control System Magazine, April.

Lewis, P.A.W., and Orav, E.J., (1989), "Siulation Methodoloji for Stastications," Operations Analyst and Engineers, Vol.I, Wasworth and Brooks.

Mahmoud M., Suliman.M., (1991) "Reliability Analysis of Simlex Systems", Microelectronics and Reliability Journal, Vol. 31.

Makram, E.B., Wright, C.L., and Girgs, A.A. (1992), "A harmonic Analysis of the Induction Watthour Meter's Registration Error", IEEE Trans. On Power Delivery, vol. PWRD-7, No.3, pp.1080-1088.

Massey, G.W., (1994), "Estimation Methods for Power System Harmonic Effects on Power Distribution Transformers," IEEE Transaction on Industry Applications, Vol.30., No. 2, pp.485-489.

Massey, G.W., (1994), "Estimation Methods for Power System Harmonics Effect on Power Distribution Transformers," IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 30, No. 2, pp. 485-489.

Murph, J.M.D., and M.G. Egan, (1983), "A Comparison of PWM Strategies for Inverted-Fed Induction Motors", IEEE Transactions Industry Applications, vol. IA-19, No.3, May/June, pp. 363-369.

Nahman, J., (1997), "Fuzzy Logic Based Network Reliability Evaluation," Elsevier Science, Microelectronics and Reliability, Vol. 37, No. 8, pp. 1161-1164.

Noferi P.L., Paris L., (1975), "Effects of Voltage and Reactive Power Constraints on Power System Reliability," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-94, no..2, pp. 482-490.

Oreda -1992., (1992), "Offshore Reliability Data", DNV Technica, P.O. Box 300, N-1322, Norway.

Ringlee, R.J. and Wood, A.J., (1969), "Frequency and Duration Methods for Power System Reliability Calculations: II-Demand Model and Capacity Reserve Model", IEEE Transactions PAS, pp. 735-738.

Sabin Daniel D., Brooks D.L., Sundaram A., (1999), "Indices for Assessing Harmonic Distortions from Power Quality Measurements: Definitions and Benchmark Data", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 14, No. 2, April, pp. 489-496

Sallam, A.A., Desouky, M., Desouky H., (1994), "Shunt Capacitor Effect on Electrical Distribution System Reliability," IEEE Transaction on Reliability, Vol. 43, No. 1, pp. 170 - 176.

Sharaf, T.A.M., Berg, G.J., (1993), "Loadability in Composite Generation/Transmission Power-System Reliability Evaluation," IEEE Transaction on Reliability, Vol. 42, No. 3, pp. 393 - 400 .

Shuter, T.C., Volkommer, H.T., Kiskpatric, T.L., (1989), "Survey of Harmonic Levels on the American Electric Power Distribution Systems", IEEE Trans. on Power Delivery., No.4, pp. 2204-2213.

Standard UL 1561, (1994), "Dry Type Fenerel Purpose and Power Transformers, April 22"

Statford, R.P., (1980), "Harmonic Pollution on Power Systems- A Change in Philosophy", IEEE Trans. On Industry Applications, Vol. IA-16, pp. 617-623.

Staton, K.N., (1969) "Reliability Analysis for Power System Applications", IEEE transactions PAS, pp. 431-437, April

Torng Lin, C., Juin J. Wang, M., (1998), "Hybrid fault tree analysis using fuzzy sets", Elsevier Science, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 58, pp. 205 – 213.

Wagner V.E., and et al., (1993), "Effects of Harmonics on Equipment," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 8, No. 2, pp. 672 – 680.

Werma, D., Knezević J., (1994), "Application of fuzzy Logic in the assurance screne", in proc. ANN., Reliability and Maintability Symp., pp. 436-441

Werma, D., Knezević J., (1994), "Concept to All System Design Evaluation : Handling and Uncertainty", in proc. of 10th Congress, Mar.

Yıldırım, D., Fuchs, E.F., (1999) "Measured Transformer Derating and Comparison with Harmonic Loss Factor (FHL) Approach," IEEE Transaction on Power Delivery, March .

Yıldırım, D., Fuchs, E.F., Batan, T., (1998) "Measurement of Derating of Distribution Transformers at any (Non) Linear Load," IEEE Transaction on Power Delivery, pp.976-981.

Yuan, C.K., Yuan W.C., Lian, Z.M., (1991), "Fuzzy variables as a basis for a theory of fuzzy reliability in the possibility context," Fuzzy Sets and Systems Vol. 42, pp. 145-172.

Zadeh, L.A., "Probability Measures of Fuzzy Events," Journal of Mathmatical Analysis and Applications, 23(1968), 421-427

.



EK - 1

******* BULANIK MARKOV MODELİ İLE GÜVENİLİRLİK ANALİZİ *******
******* PROGRAM LİSTESİ *******

§§§§§§ 72 Durumlu Örnek Sistem İçin Durum Denklemi §§§§§§
 §§§§§§ Fonksiyon Dosyası §§§§§§

```
function yp=mrkdena(t,y)
```

```
global D1 D2 D3 D4 D5 D6 n K
```

```
K=[y(1);y(2);y(3);y(4);y(5);y(6);y(7);y(8);y(9);y(10);y(11);  
y(12);y(13);y(14);y(15);y(16);y(17);y(18);y(19);y(20)...  
;y(21);y(22);y(23);y(24);y(25);y(26);y(27);y(28);y(29)...  
;y(30);y(31);y(32);y(33);y(34);y(35);y(36);y(37);y(38)...  
;y(39);y(40);y(41);y(42);y(43);y(44);y(45);y(46);y(47)...  
;y(48);y(49);y(50);y(51);y(52);y(53);y(54);y(55);y(56)...  
;y(57);y(58);y(59);y(60);y(61);y(62);y(63);y(64);y(65)...  
;y(66);y(67);y(68);y(69);y(70);y(71);y(72)];
```

```
yp=D1*K;
```

§§§§§§ Hava modellerini ile Arıza ve Onarım Hızlarını §§§§§§ §§§§§§ (1.
 Durum için) Tanımlayan Bulanık Çıkarım §§§§§§
 §§§§§§ Bloğunun Oluşturulması §§§§§§

```
[System]  
Name='fuzrel1'  
Type='mamdani'  
NumInputs=1  
NumOutputs=6  
NumRules=6  
AndMethod='min'  
OrMethod='max'  
ImpMethod='min'  
AggMethod='max'  
DefuzzMethod='centroid'
```

```
[Input1]  
Name='temp'  
Range=[-20 50]  
NumMFs=3  
MF1='kis': 'pimf', [-51.5 -20 -20 50]  
MF2='sonilk': 'pimf', [-30 17 17 60]  
MF3='yaz': 'pimf', [-20 50 50 81.5]
```

```
[Output1]  
Name='L1_2'  
Range=[0 2.12]  
NumMFs=2  
MF1='small': 'trimf', [0 1.767 2.12]  
MF2='medium': 'trimf', [1.767 2.12 3.533]
```

```
[Output2]  
Name='L25_2_6'  
Range=[1.29 2.93]  
NumMFs=3  
MF1='small': 'trimf', [0.1967 1.29 2.11]
```



```
MF2='medium': 'trimf', [1.29 2.11 2.93]
MF3='big': 'trimf', [2.11 2.93 4.022]
```

```
[Output3]
Name='L49_5_0'
Range=[2.12 3.62]
NumMFs=2
MF1='medium': 'trimf', [1.745 2.12 3.339]
MF2='big': 'trimf', [2.12 3.339 3.62]
```

```
[Output4]
Name='M2_1'
Range=[0 160]
NumMFs=2
MF1='small': 'trimf', [0 24.23 160]
MF2='medium': 'trimf', [24.23 160 240]
```

```
[Output5]
Name='M26_2_5'
Range=[100 268]
NumMFs=3
MF1='small': 'trimf', [16 100 184]
MF2='medium': 'trimf', [100 184 268]
MF3='big': 'trimf', [184 268 352]
```

```
[Output6]
Name='M50_4_9'
Range=[160 426]
NumMFs=2
MF1='medium': 'trimf', [160 202.4 426]
MF2='big': 'trimf', [202.4 426 559]
```

```
[Rules]
2, 2 2 1 0 0 0 (1) : 1
1, 0 3 2 0 0 0 (1) : 1
3, 1 1 0 0 0 0 (1) : 1
1, 0 0 0 1 1 0 (1) : 1
3, 0 0 0 0 3 2 (1) : 1
2, 0 0 0 2 2 1 (1) : 1
```

***** Harmonik Bileşenlerin Transformatörler Üzerinde *****
 Oluşturduğu Görünür Güçlerindeki Azalma Oranlarının *****
 ***** Belirlendiği Fuzzy Bloğunun Oluşturulması *****

```
[System]
Name='Kapasiteazalma'
Type='mamdani'
NumInputs=1; NumOutputs=1
NumRules=4; AndMethod='min'
OrMethod='max'; ImpMethod='min'
AggMethod='max'; DefuzzMethod='centroid'
```

```
[Input1]
Name='THDI'
Range=[0 100]
NumMFs=4
MF1='SIF': 'trimf', [0 13.5 27]
MF2='KUC': 'trimf', [13.5 33 47]
MF3='OR': 'trimf', [33.5 50 67]
MF4='BUY': 'trimf', [53 76.5 100]
```

```
[Output1]
Name='RAPR'
Range=[0 10]
NumMFs=4
MF1='KUC': 'trimf', [4 5.5 7]
MF2='OR': 'trimf', [6 7.5 9]
MF3='BUY': 'trimf', [8 9 10]
MF4='SIF': 'trapmf', [0 4 4 5]
```

```
[Rules]
1, 4 (1) : 1
2, 1 (1) : 1
3, 2 (1) : 1
4, 3 (1) : 1
```

~~~~~ Aynı anda 13 farklı hava durumu girişi için ~~~~~  
 ~~~~ durum denklemi katsayılar matrisinin oluşturulması ~~~~~  
 ~~~~~ ve durum olasılıklarının belirlenmesi ~~~~~

```
a{1}=readfis('fuzrel1');
a{2}=readfis('fuzrel2');
a{3}=readfis('fuzrel3');
a{4}=readfis('fuzrel4');
a{5}=readfis('fuzrel5');
a{6}=readfis('fuzrel6');
a{7}=readfis('fuzrel7');
a{8}=readfis('fuzrel8');
a{9}=readfis('fuzrel9');
a{10}=readfis('fuzrel1_0');
a{11}=readfis('fuzrel11');
a{12}=readfis('fuzrel12');
a{13}=readfis('fuzrel13');
a{14}=readfis('fuzrel14');
a{15}=readfis('fuzrel15');
a{16}=readfis('fuzrel16');
a{17}=readfis('fuzrel17');
a{18}=readfis('fuzrel18');
a{19}=readfis('fuzrel19');
a{20}=readfis('fuzrel20');
a{21}=readfis('fuzrel21');
a{22}=readfis('fuzrel22');
a{23}=readfis('fuzrel23');
a{24}=readfis('fuzrel24');
a{25}=readfis('fuzrel25');
a{26}=readfis('fuzrel26');
a{27}=readfis('fuzrel27');
a{28}=readfis('fuzrel27');
a{29}=readfis('fuzrel29');
a{30}=readfis('fuzrel30');
a{31}=readfis('fuzrel31');
a{32}=readfis('fuzrel32');
a{33}=readfis('fuzrel33');
a{34}=readfis('fuzrel34');
a{35}=readfis('fuzrel35');
a{36}=readfis('fuzrel36');
a{37}=readfis('fuzrel37');
a{38}=readfis('fuzrel38');
a{39}=readfis('fuzrel39');
a{40}=readfis('fuzrel40');
a{41}=readfis('fuzrel41');
a{42}=readfis('fuzrel42');
```

```

for m=1:1:42
    A{m}=evalfis([-20;-15;-10;-5;0;5;10;15;20;25;30;35;40],a{m});
end

for i=1:1:13
    FM{i}(1,1)=0;
    for j=1:1:72
        for k=1:1:72
            FM{i}(j,k)=FM{i}(1,1);
        end
    end
end

for i=1:1:13
    for j=1
        for k=2:1:7
            for m=1:1:6
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end

for i=1:1:13
    for k=1
        for j=2:1:7
            for m=1:1:6
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

for i=1:1:13
    for j=2
        for k=8:1:12
            for m=7:1:11
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end

for i=1:1:13
    for k=2
        for j=8:1:12
            for m=7:1:11
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end

```

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```
for i=1:1:13
    for j=3
        for k=13:1:16
            for m=13:1:16
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end
```

```
for i=1:1:13
    for k=3
        for j=8:1:16
            for m=13:1:16
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end
```

```
for i=1:1:13
    for j=3
        for k=8
            for m=12
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end
```

```
for i=1:1:13
    for k=3
        for j=8
            for m=12
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end
```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```
for i=1:1:13
    for j=4
        for k=17:1:19
            for m=19:1:21
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end
```

```

    end
  end
end

```

```

for i=1:1:13
  for k=4
    for j=17:1:19
      for m=19:1:21
        FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
        FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
        FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
      end
    end
  end
end
end

```

```

for i=1:1:13
  for j=4
    for k=9:4:13
      for m=17:1:18
        FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
        FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
        FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
      end
    end
  end
end
end

```

```

for i=1:1:13
  for k=4
    for j=9:4:13
      for m=17:1:18
        FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
        FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
        FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
      end
    end
  end
end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

for i=1:1:13
  for j=5
    for k=10:4:14
      for m=1:1:42
        FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
        FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
        FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
      end
    end
  end
end
end

```

```

for i=1:1:13
  for k=5
    for j=10:4:14
      for m=22:1:23
        FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
        FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
        FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
      end
    end
  end
end

```

```

        end
    end
end
for i=1:1:13
    for j=5
        for k=17:3:20
            for m=22:1:23
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end
end

```

```

for i=1:1:13
    for k=5
        for j=17:3:20
            for m=24:1:25
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end
end

```

```

for i=1:1:13
    for j=5
        for k=21
            for m=26
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end
end

```

```

for i=1:1:13
    for k=5
        for j=21
            for m=26
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

for i=1:1:13
    for j=6
        for k=11:4:15
            for m=27:1:28
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end

```

```

for i=1:1:13
    for k=6
        for j=11:4:15
            for m=27:1:28
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end

```

```

for i=1:1:13
    for j=6
        for k=18:2:22
            for m=29:1:31
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end

```

```

for i=1:1:13
    for k=6
        for j=18:2:22
            for m=29:1:31
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

for i=1:1:13
    for j=7
        for k=12:4:16
            for m=32:1:33
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end

```

```

for i=1:1:13
    for k=7
        for j=12:4:16
            for m=32:1:33
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
            end
        end
    end
end

```

```

        FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
    end
end
end
for i=1:1:13
    for j=7
        for k=19:2:21
            for m=34:1:35
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end

```

```

for i=1:1:13
    for k=7
        for j=19:2:21
            for m=34:1:35
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end

```

```

for i=1:1:13
    for j=7
        for k=22
            for m=36
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end

```

```

for i=1:1:13
    for k=7
        for j=22
            for m=36
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

for i=1:1:13
    for j=17
        for k=23
            for m=37
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end

```



```

        end
    end
end

for i=1:1:13
    for k=17
        for j=23
            for m=37
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

for i=1:1:13
    for j=18
        for k=24
            for m=38
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end

```

```

for i=1:1:13
    for k=18
        for j=24
            for m=38
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

for i=1:1:13
    for j=19
        for k=23:1:24
            for m=39:1:40
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end

```

```

for i=1:1:13
    for k=19
        for j=23:1:24
            for m=39:1:40
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end
for i=1:1:13
    for j=21
        for k=23
            for m=41
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end
end

```

```

for i=1:1:13
    for k=21
        for j=23
            for m=41
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

for i=1:1:13
    for j=22
        for k=24
            for m=42
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,1);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,2);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,3);
            end
        end
    end
end
end

```

```

for i=1:1:13
    for k=22
        for j=24
            for m=42
                FM{i}(j,k)=A{m}(i,4);
                FM{i}(j+24,k+24)=A{m}(i,5);
                FM{i}(j+48,k+48)=A{m}(i,6);
            end
        end
    end
end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

for i=1:1:13
    for j=1:1:24
        for k=25:1:48
            FM{i}(j,k)=1.5;
            FM{i}(j+24,k+24)=1.2;
        end
    end
end

```

```
for j=1:n
```

```

D1(j,j)=sum(D1(:,j))*(-1);
end

[t,y]=ode23('mrkdena',[0 1.8],b);

plot(t,(y(:,23)+y(:,47)+y(:,71)+y(:,12)+y(:,36)+y(:,60)+y(:,16)+y(:,40)+y(:,64)+y(:,17)+y(:,41)+y(:,65))),grid,xlabel('zaman [yıl ]'),title('3 barasına ait kullanılamazlık olasılığı'))

plot(t,(y(:,20)+y(:,44)+y(:,68)+y(:,12)+y(:,36)+y(:,60)+y(:,17)+y(:,41)+y(:,65))),grid,xlabel('zaman [yıl ]'),title('4 barasına ait kullanılamazlık olasılığı'))

plot(t,(y(:,8)+y(:,32)+y(:,56))),grid,xlabel('zaman [yıl ]'),title('5 barasına ait kullanılamazlık olasılığı'))

plot(t,(y(:,1)+y(:,2)+y(:,3)+y(:,4)+y(:,5)+y(:,6)+y(:,7)+y(:,8)+y(:,9)+y(:,10)+y(:,11)+y(:,13)+y(:,14)+y(:,15)+y(:,16)+y(:,18)+y(:,19)+y(:,20)+y(:,21)+y(:,22)...
+y(:,24)+y(:,25)+y(:,26)+y(:,27)+y(:,28)+y(:,29)+y(:,30)+y(:,31)+y(:,32)+y(:,33)+y(:,34)+y(:,35)+y(:,37)+y(:,38)+y(:,39)+y(:,40)+y(:,42)+y(:,43)+y(:,44)+y(:,45)+y(:,46)...
+y(:,48)+y(:,49)+y(:,50)+y(:,51)+y(:,52)+y(:,53)+y(:,54)+y(:,55)+y(:,56)+y(:,57)+y(:,58)+y(:,59)+y(:,61)+y(:,62)+y(:,63)+y(:,66)+y(:,67)+y(:,68)+y(:,69)+y(:,70)+y(:,71)+y(:,72))),grid,xlabel('zaman [yıl]'),title('3 barasına ait kullanılabilirlik olasılığı'))

plot(t,(y(:,1)+y(:,2)+y(:,3)+y(:,4)+y(:,5)+y(:,6)+y(:,7)+y(:,8)+y(:,9)+y(:,10)+y(:,11)+y(:,13)+y(:,14)+y(:,15)+y(:,16)+y(:,18)+y(:,19)+y(:,21)+y(:,22)+y(:,23)...
+y(:,24)+y(:,25)+y(:,26)+y(:,27)+y(:,28)+y(:,29)+y(:,30)+y(:,31)+y(:,32)+y(:,33)+y(:,34)+y(:,35)+y(:,37)+y(:,38)+y(:,39)+y(:,40)+y(:,42)+y(:,43)+y(:,44)+y(:,45)+y(:,46)+y(:,47)...
+y(:,48)+y(:,49)+y(:,50)+y(:,51)+y(:,52)+y(:,53)+y(:,54)+y(:,55)+y(:,56)+y(:,57)+y(:,58)+y(:,59)+y(:,61)+y(:,62)+y(:,63)+y(:,64)+y(:,66)+y(:,67)+y(:,69)+y(:,70)+y(:,71)+y(:,72))),grid,xlabel('zaman [yıl]'),title('4 barasına ait kullanılabilirlik olasılığı'))

plot(t,(y(:,1)+y(:,2)+y(:,3)+y(:,4)+y(:,5)+y(:,6)+y(:,7)+y(:,9)+y(:,10)+y(:,11)+y(:,12)+y(:,13)+y(:,14)+y(:,15)+y(:,16)+y(:,17)+y(:,18)+y(:,19)+y(:,20)+y(:,21)+y(:,22)+y(:,23)...
+y(:,24)+y(:,25)+y(:,26)+y(:,27)+y(:,28)+y(:,29)+y(:,30)+y(:,31)+y(:,33)+y(:,34)+y(:,35)+y(:,36)+y(:,37)+y(:,38)+y(:,39)+y(:,40)+y(:,41)+y(:,42)+y(:,43)+y(:,44)+y(:,45)+y(:,46)+y(:,47)...
+y(:,48)+y(:,49)+y(:,50)+y(:,51)+y(:,52)+y(:,53)+y(:,54)+y(:,55)+y(:,57)+y(:,58)+y(:,59)+y(:,60)+y(:,61)+y(:,62)+y(:,63)+y(:,64)+y(:,65)+y(:,66)+y(:,67)+y(:,68)+y(:,69)+y(:,70)+y(:,71)+y(:,72))),grid,xlabel('zaman [yıl]'),title('5 barasına ait kullanılabilirlik olasılığı'))

T=1+D1;
F=T(1,:);
R=ones(size(F));
P=inv(T)*R';
Kul_bilirlik_uc31=sum(P(a3));
yokluk_uc31=sum(P(u3));

Kul_bilirlik_uc41=sum(P(a4));

```

```

yokluk_uc41=sum(P(u4));

Kul_bilirlik_uc51=sum(P(a5));
yokluk_uc51=sum(P(u5));
fprintf('P(State1)      P(State2)      P(State3)      P(State4)      P(State5)
P(State6)      \n')
fprintf('P(State7)      P(State8)      P(State9)      P(State10)     P(State11)
P(State12)     \n')
fprintf('P(State13)     P(State14)     P(State15)     P(State16)     P(State17)
P(State18)     \n')
fprintf('P(State19)     P(State20)     P(State21)     P(State22)     P(State23)
P(State24)     \n')
fprintf('-----
----- \n')
fprintf('%6.6f      %6.6f      %6.6f      %6.6f      %6.6f      %6.6f
\n',P(1)+P(25)+P(49),P(2)+P(26)+P(50),P(3)+P(27)+P(51),P(4)+P(28)+P(52),P(5)
)+P(29)+P(53),P(6)+P(30)+P(54))
fprintf('%6.6f      %6.6f      %6.6f      %6.6f      %6.6f      %6.6f
\n',P(7)+P(31)+P(55),P(8)+P(32)+P(56),P(9)+P(33)+P(57),P(10)+P(34)+P(58),P(11)
)+P(35)+P(59),P(12)+P(36)+P(60))
fprintf('%6.6f      %6.6f      %6.6f      %6.6f      %6.6f      %6.6f
\n',P(13)+P(37)+P(61),P(14)+P(38)+P(62),P(15)+P(39)+P(63),P(16)+P(40)+P(64)
,P(17)+P(41)+P(65),P(18)+P(42)+P(66))
fprintf('%6.6f      %6.6f      %6.6f      %6.6f      %6.7f      %6.7f
\n',P(19)+P(43)+P(67),P(20)+P(44)+P(68),P(21)+P(45)+P(69),P(22)+P(46)+P(70)
,P(23)+P(47)+P(71),P(24)+P(48)+P(72))

```

%%% Aylara ait ölçülen THD(I) değerlerine göre %%%%  
 %%%% Görünür güçteki azalma oranları %%%%

```

AR=[3 5 8 10 12 15 21 25 32]/100;
THDAR=evalfis([150 30 39 96 75 120 60 60 90*2]/2,b1);
RAPRAR=sum(AR.*THDAR/8760);

OC=[3.5 5.5 9 11 16 22 27 34 38]/100;
THDOC=evalfis([60*2 120 45 90 105 60 84 36*2 90*2]/2,b1);
RAPROC=sum(OC.*THDOC/8760);

SU=[4 6 8 12 16 21 26 30 36]/100;
THDSU=evalfis([96 114 69 81 96 48 90 42 84*2]/2,b1);
RAPRSU=sum(SU.*THDSU/8760);

```

%%%%%%%%%% Diğer aylara ait değerler de girilmiştir.

```

ARQ=RAPR*12*RAPRAR/(RAPRAR+RAPROC+RAPRSU+RAPRMAR+RAPRNIS+RAPRMAY+RAPRHAZ+
RAPRTEM+RAPRAG+RAPREY+RAPREK+RAPRKAS);

```

```

OCQ=RAPR*12*RAPROC/(RAPRAR+RAPROC+RAPRSU+RAPRMAR+RAPRNIS+RAPRMAY+RAPRHAZ+
RAPRTEM+RAPRAG+RAPREY+RAPREK+RAPRKAS);

```

```

SUQ=RAPR*12*RAPRSU/(RAPRAR+RAPROC+RAPRSU+RAPRMAR+RAPRNIS+RAPRMAY+RAPRHAZ+
RAPRTEM+RAPRAG+RAPREY+RAPREK+RAPRKAS);

```

## EK - 2

\*\*\*\*\* 24 Farklı Arıza Konfigürasyonu İçin Kullanılan \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Şebeke Harmonik Analizi Programına Ait Giriş ve Çıkış Değerleri \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Ocak Ayı İçin (THD I = % 38) \*\*\*\*\*

oc38.OUT

HNAP88.V02 881012

23.32

CASE 1: PRESENT CIRCUIT (FOR COMPARISON WITH TRACES 1 & 2)  
 SHOVEL, RPC, BP5, BP7, BP11 ALL IN SERVICE  
 1.1: RPC COMMUTATING CAPACITOR DISCHARGING  
 1.2: RPC COMMUTATING CAPACITOR CHARGING

## \*\*\* BRANCH DATA \*\*\*

| NAME  | BUS1 | BUS2 | KV   | R      | XL    | XC  | ED | TOL        |
|-------|------|------|------|--------|-------|-----|----|------------|
| L1    | S1   | BUS5 | 34.5 | 0.595  | 2.38  | 0.0 | 0. | 0.         |
| L2    | BUS5 | S2   | 34.5 | 0.595  | 2.38  | 0.0 | 0. | 0.         |
| L3    | S2   | BUS3 | 34.5 | 0.595  | 2.38  | 0.0 | 0. | 0.         |
| L4    | BUS3 | BUS4 | 34.5 | 1.190  | 4.76  | 0.0 | 0. | 0.         |
| L5    | BUS4 | S1   | 34.5 | 1.785  | 4.76  | 0.0 | 0. | 0.         |
| L6    | S1   | BUS3 | 34.5 | 1.190  | 4.76  | 0.0 | 0. | 0.         |
| LOAD5 | BUS5 | GRND | 34.5 | 17.85  | 5.95  | 0.0 | 0. | 0.         |
| LOAD3 | BUS3 | GRND | 34.5 | 15.83  | 7.93  | 0.0 | 0. | 0.         |
| LOAD4 | BUS4 | GRND | 34.5 | 28.006 | 7.001 | 0.0 | 0. | 0.00000001 |

## \*\*\* HARMONIC EXCITATION DATA \*\*\*

| ID | BUS  | KV   | V/I | FREQUENCY IN HZ |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|-----|-----------------|------|------|------|------|------|------|
|    |      |      |     | 50.             | 150. | 250. | 350. | 450. | 550. | 650. |
| V1 | S1   | 34.5 | V   | 100.            | 0.   | 0.   | 0.   | 0.   | 0.   | 0.   |
| V2 | S2   | 34.5 | V   | 100.            | 0.   | 0.   | 0.   | 0.   | 0.   | 0.   |
| I5 | BUS5 | 34.5 | I   | 604.            | 133  | 111  | 93   | 78   | 65   | 54   |
| I3 | BUS3 | 34.5 | I   | 647.            | 143  | 119  | 100  | 83   | 70   | 58   |
| I4 | BUS4 | 34.5 | I   | 398.            | 88   | 73   | 61   | 51   | 43   | 36   |

## \*\*\* CASE LIST \*\*\*

CASE NOUT OUTAGE BRANCHES &amp; EXCITATIONS

|   |   |          |
|---|---|----------|
| A | 1 | L2       |
| B | 1 | L3       |
| C | 1 | L4       |
| D | 1 | L5       |
| E | 1 | L6       |
| F | 2 | L2 L3    |
| G | 2 | L2 L4    |
| H | 2 | L2 L5    |
| I | 2 | L2 L6    |
| J | 2 | L3 L4    |
| K | 2 | L3 L5    |
| L | 2 | L3 L6    |
| M | 2 | L4 L5    |
| N | 2 | L4 L6    |
| O | 2 | L5 L6    |
| P | 3 | L3 L4 L6 |
| R | 3 | L3 L5 L6 |
| 1 | 0 |          |

## \*\*\* OUTPUT LIST \*\*\*

5 S1 S2 BUS3 BUS4 BUS5

| ***   |     | S1 VOLTAGE [%] |      |      |      |      |      | ***  |
|-------|-----|----------------|------|------|------|------|------|------|
| CASE  | HZ: | 50.            | 150. | 250. | 350. | 450. | 550. | 650. |
| ----- |     |                |      |      |      |      |      |      |
| A     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| B     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| C     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| D     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| E     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| F     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| G     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| H     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| I     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| J     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| K     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| L     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| M     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| N     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| O     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| P     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| R     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| 1     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |

| ***   |     | S2 VOLTAGE [%] |      |      |      |      |      | ***  |
|-------|-----|----------------|------|------|------|------|------|------|
| CASE  | HZ: | 50.            | 150. | 250. | 350. | 450. | 550. | 650. |
| ----- |     |                |      |      |      |      |      |      |
| A     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| B     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| C     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| D     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| E     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| F     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| G     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| H     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
|       | MAX | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| I     | MIN | 100.0          | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |

|       |       |     |     |     |     |     |     |
|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| MAX   | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| J MIN | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MAX   | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| K MIN | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MAX   | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| L MIN | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MAX   | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| M MIN | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MAX   | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| N MIN | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MAX   | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| O MIN | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MAX   | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| P MIN | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MAX   | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| R MIN | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MAX   | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1 MIN | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MAX   | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

## \*\*\* BUS3 VOLTAGE [%] \*\*\*

| CASE  | HZ:  | 50. | 150. | 250. | 350. | 450. | 550. | 650. |
|-------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| A MIN | 99.2 | 0.3 | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.5  | 0.4  |
| MAX   | 99.2 | 0.3 | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.5  | 0.4  |
| B MIN | 97.8 | 0.6 | 0.7  | 0.8  | 0.8  | 0.8  | 0.9  | 0.8  |
| MAX   | 97.8 | 0.6 | 0.7  | 0.8  | 0.8  | 0.8  | 0.9  | 0.8  |
| C MIN | 99.2 | 0.3 | 0.3  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  |
| MAX   | 99.2 | 0.3 | 0.3  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  |
| D MIN | 99.0 | 0.4 | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
| MAX   | 99.0 | 0.4 | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
| E MIN | 98.8 | 0.4 | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| MAX   | 98.8 | 0.4 | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| F MIN | 97.8 | 0.6 | 0.7  | 0.8  | 0.8  | 0.8  | 0.9  | 0.8  |
| MAX   | 97.8 | 0.6 | 0.7  | 0.8  | 0.8  | 0.8  | 0.9  | 0.8  |
| G MIN | 99.2 | 0.3 | 0.3  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  |
| MAX   | 99.2 | 0.3 | 0.3  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  |
| H MIN | 99.0 | 0.4 | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
| MAX   | 99.0 | 0.4 | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
| I MIN | 98.8 | 0.4 | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| MAX   | 98.8 | 0.4 | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| J MIN | 97.1 | 0.6 | 0.8  | 0.9  | 0.9  | 0.9  | 1.0  | 0.9  |
| MAX   | 97.1 | 0.6 | 0.8  | 0.9  | 0.9  | 0.9  | 1.0  | 0.9  |
| K MIN | 95.7 | 0.8 | 0.9  | 1.0  | 1.1  | 1.1  | 1.1  | 1.1  |
| MAX   | 95.7 | 0.8 | 0.9  | 1.0  | 1.1  | 1.1  | 1.1  | 1.1  |
| L MIN | 91.0 | 1.1 | 1.3  | 1.5  | 1.6  | 1.6  | 1.6  | 1.5  |
| MAX   | 91.0 | 1.1 | 1.3  | 1.5  | 1.6  | 1.6  | 1.6  | 1.5  |
| M MIN | 99.2 | 0.3 | 0.3  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  |
| MAX   | 99.2 | 0.3 | 0.3  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  |
| N MIN | 98.8 | 0.4 | 0.5  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| MAX   | 98.8 | 0.4 | 0.5  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| O MIN | 98.3 | 0.5 | 0.6  | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7  |
| MAX   | 98.3 | 0.5 | 0.6  | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7  |
| P MIN | 55.7 | 1.8 | 2.2  | 2.5  | 2.6  | 2.6  | 2.6  | 2.5  |
| MAX   | 55.7 | 1.8 | 2.2  | 2.5  | 2.6  | 2.6  | 2.6  | 2.5  |
| R MIN | 56.3 | 1.7 | 1.9  | 2.1  | 2.2  | 2.2  | 2.2  | 2.1  |
| MAX   | 56.3 | 1.7 | 1.9  | 2.1  | 2.2  | 2.2  | 2.2  | 2.1  |
| 1 MIN | 99.2 | 0.3 | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.5  | 0.4  |
| MAX   | 99.2 | 0.3 | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.5  | 0.4  |



| *** BUS4 VOLTAGE [%] *** |     |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| CASE                     | HZ: | 50.  | 150. | 250. | 350. | 450. | 550. | 650. |
| <hr/>                    |     |      |      |      |      |      |      |      |
| A                        | MIN | 99.7 | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
|                          | MAX | 99.7 | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
| B                        | MIN | 98.3 | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7  |
|                          | MAX | 98.3 | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7  |
| C                        | MIN | 99.2 | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
|                          | MAX | 99.2 | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| D                        | MIN | 99.6 | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 0.9  | 0.9  | 0.9  |
|                          | MAX | 99.6 | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 0.9  | 0.9  | 0.9  |
| E                        | MIN | 99.5 | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
|                          | MAX | 99.5 | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| F                        | MIN | 98.3 | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7  |
|                          | MAX | 98.3 | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7  |
| G                        | MIN | 99.2 | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
|                          | MAX | 99.2 | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| H                        | MIN | 99.6 | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 0.9  | 0.9  | 0.9  |
|                          | MAX | 99.6 | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 0.9  | 0.9  | 0.9  |
| I                        | MIN | 99.5 | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
|                          | MAX | 99.5 | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| J                        | MIN | 99.2 | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
|                          | MAX | 99.2 | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| K                        | MIN | 96.4 | 1.0  | 1.2  | 1.2  | 1.3  | 1.3  | 1.2  |
|                          | MAX | 96.4 | 1.0  | 1.2  | 1.2  | 1.3  | 1.3  | 1.2  |
| L                        | MIN | 93.4 | 0.7  | 0.9  | 0.9  | 1.0  | 1.0  | 0.9  |
|                          | MAX | 93.4 | 0.7  | 0.9  | 0.9  | 1.0  | 1.0  | 0.9  |
| M                        | MIN | 57.2 | 1.5  | 1.5  | 1.5  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |
|                          | MAX | 57.2 | 1.5  | 1.5  | 1.5  | 1.5  | 1.5  | 1.5  |
| N                        | MIN | 99.2 | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
|                          | MAX | 99.2 | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| O                        | MIN | 98.9 | 0.8  | 0.9  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  |
|                          | MAX | 98.9 | 0.8  | 0.9  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  |
| P                        | MIN | 99.2 | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
|                          | MAX | 99.2 | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| R                        | MIN | 57.2 | 1.7  | 1.8  | 1.9  | 1.9  | 1.9  | 1.9  |
|                          | MAX | 57.2 | 1.7  | 1.8  | 1.9  | 1.9  | 1.9  | 1.9  |
| 1                        | MIN | 99.7 | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
|                          | MAX | 99.7 | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |

| *** BUS5 VOLTAGE [%] *** |     |       |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|
| CASE                     | HZ: | 50.   | 150. | 250. | 350. | 450. | 550. | 650. |
| -----                    |     |       |      |      |      |      |      |      |
| A                        | MIN | 99.9  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
|                          | MAX | 99.9  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
| B                        | MIN | 100.0 | 0.2  | 0.2  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  |
|                          | MAX | 100.0 | 0.2  | 0.2  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  |
| C                        | MIN | 100.0 | 0.2  | 0.2  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  |
|                          | MAX | 100.0 | 0.2  | 0.2  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  |
| D                        | MIN | 100.0 | 0.2  | 0.2  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  |
|                          | MAX | 100.0 | 0.2  | 0.2  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  |
| E                        | MIN | 100.0 | 0.2  | 0.2  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  |
|                          | MAX | 100.0 | 0.2  | 0.2  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  |
| F                        | MIN | 99.9  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
|                          | MAX | 99.9  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
| G                        | MIN | 99.9  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
|                          | MAX | 99.9  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
| H                        | MIN | 99.9  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
|                          | MAX | 99.9  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
| I                        | MIN | 99.9  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
|                          | MAX | 99.9  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |

|   |     |       |     |     |     |     |     |     |
|---|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| J | MIN | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
|   | MAX | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| K | MIN | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
|   | MAX | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| L | MIN | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
|   | MAX | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| M | MIN | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
|   | MAX | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| N | MIN | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
|   | MAX | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| O | MIN | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
|   | MAX | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| P | MIN | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
|   | MAX | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| R | MIN | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
|   | MAX | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 1 | MIN | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
|   | MAX | 100.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |



## EK - 3

\*\*\*\*\* Aralık Ayı İçin Güvenilirlik Analizi Değerlendirmesinde \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Kullanılan Veriler \*\*\*\*\*

|                                                                                                                                                                                                         |                              |                              |                                |                                |                                |                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>B3 Barasında farklı [%] THD(I) değerleri için 18 Farklı Arıza İçin B3 Gerilim Değ.leri [kVeff] ve Nominal Değere Göre B3 Barası [yüzde]Gerilim Hatası</b>                                            |                              |                              |                                |                                |                                |                                                                      |
| V13eff<br>V73eff<br>V13_3eff                                                                                                                                                                            | V23eff<br>V83eff<br>V14_3eff | V33eff<br>V93eff<br>V15_3eff | V43eff<br>V10_3eff<br>V16_3eff | V53eff<br>V11_3eff<br>V17_3eff | V63eff<br>V12_3eff<br>V18_3eff |                                                                      |
| 34.2253                                                                                                                                                                                                 | 33.7455                      | 34.2252                      | 34.1567                        | 34.0882                        | 33.7455                        |                                                                      |
| 34.2252                                                                                                                                                                                                 | 34.1567                      | 34.0882                      | 33.5054                        | 33.0241                        | 31.4112                        |                                                                      |
| 34.2252                                                                                                                                                                                                 | 34.0882                      | 33.9167                      | 19.2918                        | 19.4759                        | 34.2253                        | THD(I)=%32                                                           |
| <b>yüzdeleri</b>                                                                                                                                                                                        |                              |                              |                                |                                |                                |                                                                      |
| 99.2039                                                                                                                                                                                                 | 97.8131                      | 99.2035                      | 99.0049                        | 98.8063                        | 97.8131                        |                                                                      |
| 99.2035                                                                                                                                                                                                 | 99.0049                      | 98.8063                      | 97.1170                        | 95.7221                        | 91.0469                        |                                                                      |
| 99.2035                                                                                                                                                                                                 | 98.8063                      | 98.3094                      | 55.9182                        | 56.4519                        | 99.2039                        | THD(I)=%32                                                           |
| 99.2022                                                                                                                                                                                                 | 97.8083                      | 99.2022                      | 99.0028                        | 98.8039                        | 97.8083                        |                                                                      |
| 99.2022                                                                                                                                                                                                 | 99.0028                      | 98.8039                      | 97.1095                        | 95.7134                        | 91.0291                        |                                                                      |
| 99.2022                                                                                                                                                                                                 | 98.8039                      | 98.3059                      | 55.8338                        | 56.3953                        | 99.2022                        | THD(I)=%25                                                           |
| 99.2022                                                                                                                                                                                                 | 97.8070                      | 99.2022                      | 99.0025                        | 98.8039                        | 97.8070                        |                                                                      |
| 99.2022                                                                                                                                                                                                 | 99.0025                      | 98.8039                      | 97.1095                        | 95.7127                        | 91.0282                        |                                                                      |
| 99.2022                                                                                                                                                                                                 | 98.8039                      | 98.3050                      | 55.8312                        | 56.3864                        | 99.2022                        | THD(I)=%21                                                           |
| 99.2009                                                                                                                                                                                                 | 97.8025                      | 99.2009                      | 99.0011                        | 98.8011                        | 97.8025                        |                                                                      |
| 99.2009                                                                                                                                                                                                 | 99.0011                      | 98.8011                      | 97.1040                        | 95.7046                        | 91.0102                        |                                                                      |
| 99.2009                                                                                                                                                                                                 | 98.8011                      | 98.3022                      | 55.7476                        | 56.3358                        | 99.2009                        | THD(I)=%15                                                           |
| <b>Farklı [%] THD(I) değerlerinde 18 Farklı Arıza İçin B3 ten Çekilen Görünen Güçler[kVA]</b>                                                                                                           |                              |                              |                                |                                |                                |                                                                      |
| S13<br>S73<br>S13_3                                                                                                                                                                                     | S23<br>S83<br>S14_3          | S33<br>S93<br>S15_3          | S43<br>S10_3<br>S16_3          | S53<br>S11_3<br>S17_3          | S63<br>S12_3<br>S18_3          |                                                                      |
| 40251.44                                                                                                                                                                                                | 39687.16                     | 40251.30                     | 40170.73                       | 40090.14                       | 39687.16                       |                                                                      |
| 40251.30                                                                                                                                                                                                | 40170.73                     | 40090.14                     | 39404.70                       | 38838.75                       | 36941.77                       |                                                                      |
| 40251.30                                                                                                                                                                                                | 40090.14                     | 39888.52                     | 22688.53                       | 22905.07                       | 40251.44                       | THD(I)=%32                                                           |
| <b>Harmonik etkisiyle B3 te oluşan sağlanamazlık olasılığı (Enerji açısından)Bütün arıza olasılıkları için(talep faktörü göz önünde bulundurulmaksızın) enerjinin toplam sağlanamazlık olasılıkları</b> |                              |                              |                                |                                |                                |                                                                      |
| E31<br>E37<br>E3_13                                                                                                                                                                                     | E32<br>E38<br>E3_14          | E33<br>E39<br>E3_15          | E34<br>E3_10<br>E3_16          | E35<br>E3_11<br>E3_17          | E36<br>E3_12<br>E3_18          |                                                                      |
| 0.000509                                                                                                                                                                                                | 0.000510                     | 0.000509                     | 0.000509                       | 0.000509                       | 0.000510                       | THD(I)=%32 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.011783  |
| 0.000509                                                                                                                                                                                                | 0.000509                     | 0.000509                     | 0.000510                       | 0.000511                       | 0.000514                       |                                                                      |
| 0.000509                                                                                                                                                                                                | 0.000509                     | 0.000509                     | 0.000550                       | 0.000537                       | 0.000509                       |                                                                      |
| 0.000210                                                                                                                                                                                                | 0.000210                     | 0.000210                     | 0.000210                       | 0.000210                       | 0.000210                       | THD(I)=%25 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.00243   |
| 0.000210                                                                                                                                                                                                | 0.000210                     | 0.000210                     | 0.000210                       | 0.000211                       | 0.000212                       |                                                                      |
| 0.000210                                                                                                                                                                                                | 0.000210                     | 0.000210                     | 0.000227                       | 0.000222                       | 0.000210                       |                                                                      |
| 0.000209                                                                                                                                                                                                | 0.000209                     | 0.000209                     | 0.000209                       | 0.000209                       | 0.000209                       | THD(I)=%21 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0024145 |
| 0.000209                                                                                                                                                                                                | 0.000209                     | 0.000209                     | 0.000209                       | 0.000209                       | 0.000211                       |                                                                      |
| 0.000209                                                                                                                                                                                                | 0.000209                     | 0.000209                     | 0.000225                       | 0.000219                       | 0.000209                       |                                                                      |
| 0.000154                                                                                                                                                                                                | 0.000154                     | 0.000154                     | 0.000154                       | 0.000154                       | 0.000154                       | THD(I)=%15 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0017835 |
| 0.000154                                                                                                                                                                                                | 0.000154                     | 0.000154                     | 0.000154                       | 0.000155                       | 0.000155                       |                                                                      |
| 0.000154                                                                                                                                                                                                | 0.000154                     | 0.000154                     | 0.000166                       | 0.000163                       | 0.000154                       |                                                                      |
| 0.000062                                                                                                                                                                                                | 0.000062                     | 0.000062                     | 0.000062                       | 0.000062                       | 0.000062                       | THD(I)=%12 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0007165 |
| 0.000062                                                                                                                                                                                                | 0.000062                     | 0.000062                     | 0.000062                       | 0.000062                       | 0.000062                       |                                                                      |
| 0.000062                                                                                                                                                                                                | 0.000062                     | 0.000062                     | 0.000067                       | 0.000065                       | 0.000062                       |                                                                      |
| 0.000055                                                                                                                                                                                                | 0.000055                     | 0.000055                     | 0.000055                       | 0.000055                       | 0.000055                       | THD(I)=%10 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı =           |
| 0.000055                                                                                                                                                                                                | 0.000055                     | 0.000055                     | 0.000055                       | 0.000055                       | 0.000055                       |                                                                      |

|                                                                                                                                                                                                   |           |           |           |           |           |                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.000055                                                                                                                                                                                          | 0.000055  | 0.000055  | 0.000059  | 0.000058  | 0.000055  | 0.000632                                                                             |
| 0.000014                                                                                                                                                                                          | 0.000014  | 0.000014  | 0.000014  | 0.000014  | 0.000014  | THD(I)=%8 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0001635                  |
| 0.000014                                                                                                                                                                                          | 0.000014  | 0.000014  | 0.000014  | 0.000014  | 0.000014  |                                                                                      |
| 0.000014                                                                                                                                                                                          | 0.000014  | 0.000014  | 0.000015  | 0.000015  | 0.000014  |                                                                                      |
| 0.000004                                                                                                                                                                                          | 0.000004  | 0.000004  | 0.000004  | 0.000004  | 0.000004  | THD(I)=%5 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.000005                   |
| 0.000004                                                                                                                                                                                          | 0.000004  | 0.000004  | 0.000004  | 0.000004  | 0.000004  |                                                                                      |
| 0.000004                                                                                                                                                                                          | 0.000004  | 0.000004  | 0.000005  | 0.000005  | 0.000004  |                                                                                      |
| 0.000008                                                                                                                                                                                          | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  | THD(I)=%3 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.000089                   |
| 0.000008                                                                                                                                                                                          | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  |                                                                                      |
| 0.000008                                                                                                                                                                                          | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  |                                                                                      |
| Harmonik etkisiyle B3 te oluşan sağlanamazlık olasılığı (Enerji açısından)Bütün arıza olasılıkları için (talep faktörü 95/100 durumu için) enerjinin toplam sağlanamazlık olasılıkları            |           |           |           |           |           |                                                                                      |
| E31_T                                                                                                                                                                                             | E32_T     | E33_T     | E34_T     | E35_T     | E36_T     | THD(I)=%32 için enerjinin (T.F= % 95 için) toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.000061 |
| E37_T                                                                                                                                                                                             | E38_T     | E39_T     | E3_10_T   | E3_11_T   | E3_12_T   |                                                                                      |
| E3_13_T                                                                                                                                                                                           | E3_14_T   | E3_15_T   | E3_16_T   | E3_17_T   | E3_18_T   |                                                                                      |
| -0.000005                                                                                                                                                                                         | -0.000004 | -0.000005 | -0.000005 | -0.000005 | -0.000004 |                                                                                      |
| -0.000005                                                                                                                                                                                         | -0.000005 | -0.000005 | -0.000004 | -0.000003 | 0.000000  |                                                                                      |
| -0.000005                                                                                                                                                                                         | -0.000005 | -0.000004 | 0.000037  | 0.000024  | -0.000005 |                                                                                      |
| B4 Barasında farklı [%] THD(I) değerleri için 18 Farklı Arıza İçin B4 Gerilim Değ.leri [kVeff] ve Nominal Değere Göre B4 Barası [yüzde]Gerilim Hatası                                             |           |           |           |           |           |                                                                                      |
| V14eff                                                                                                                                                                                            | V24eff    | V34eff    | V44eff    | V54eff    | V64eff    | THD(I)=%32                                                                           |
| V74eff                                                                                                                                                                                            | V84eff    | V94eff    | V10_4eff  | V11_4eff  | V12_4eff  |                                                                                      |
| V13_4eff                                                                                                                                                                                          | V14_4eff  | V15_4eff  | V16_4eff  | V17_4eff  | V18_4eff  |                                                                                      |
| 34.3982                                                                                                                                                                                           | 33.9167   | 34.2263   | 34.3676   | 34.3297   | 33.9167   | THD(I)=%32                                                                           |
| 34.2263                                                                                                                                                                                           | 34.3676   | 34.3297   | 34.2270   | 33.2691   | 32.2293   |                                                                                      |
| 19.7631                                                                                                                                                                                           | 34.2263   | 34.1275   | 34.2263   | 19.7775   | 34.3982   |                                                                                      |
| yüzdeleri                                                                                                                                                                                         |           |           |           |           |           |                                                                                      |
| 99.7049                                                                                                                                                                                           | 98.3094   | 99.2067   | 99.6164   | 99.5063   | 98.3094   | THD(I)=%32                                                                           |
| 99.2067                                                                                                                                                                                           | 99.6164   | 99.5063   | 99.2086   | 96.4323   | 93.4183   |                                                                                      |
| 99.2067                                                                                                                                                                                           | 99.2067   | 98.9204   | 99.2067   | 57.3262   | 99.7049   |                                                                                      |
| 99.7032                                                                                                                                                                                           | 98.3054   | 99.2041   | 99.6097   | 99.5041   | 98.3054   | THD(I)=%25                                                                           |
| 99.2041                                                                                                                                                                                           | 99.6097   | 99.5041   | 99.2051   | 96.4191   | 93.4110   |                                                                                      |
| 99.2041                                                                                                                                                                                           | 99.2041   | 98.9123   | 99.2041   | 57.2800   | 99.7032   |                                                                                      |
| 99.7025                                                                                                                                                                                           | 98.3045   | 99.2025   | 99.6071   | 99.5025   | 98.3045   | THD(I)=%21                                                                           |
| 99.2025                                                                                                                                                                                           | 99.6071   | 99.5025   | 99.2038   | 96.4154   | 93.4099   |                                                                                      |
| 99.2025                                                                                                                                                                                           | 99.2025   | 98.9098   | 99.2025   | 57.2676   | 99.7025   |                                                                                      |
| 99.7011                                                                                                                                                                                           | 98.3022   | 99.2012   | 99.6041   | 99.5012   | 98.3022   | THD(I)=%15                                                                           |
| 99.2012                                                                                                                                                                                           | 99.6041   | 99.5012   | 99.2018   | 96.4073   | 93.4044   |                                                                                      |
| 99.2012                                                                                                                                                                                           | 99.2012   | 98.9045   | 99.2012   | 57.2296   | 99.7011   |                                                                                      |
| Farklı [%]THD(I) durumlarında 18 Farklı Arıza İçin B4 ten Çekilen Görünen Güçler[kVA]                                                                                                             |           |           |           |           |           |                                                                                      |
| S14                                                                                                                                                                                               | S24       | S34       | S44       | S54       | S64       | THD(I)=%32                                                                           |
| S74                                                                                                                                                                                               | S84       | S94       | S10_4     | S11_4     | S12_4     |                                                                                      |
| S13_4                                                                                                                                                                                             | S14_4     | S15_4     | S16_4     | S17_4     | S18_4     |                                                                                      |
| 24878.96                                                                                                                                                                                          | 24530.74  | 24754.63  | 24856.86  | 24829.39  | 24530.74  |                                                                                      |
| 24754.63                                                                                                                                                                                          | 24856.86  | 24829.39  | 24755.12  | 24062.36  | 23310.27  |                                                                                      |
| 14293.89                                                                                                                                                                                          | 24754.63  | 24683.19  | 24754.63  | 14304.36  | 24878.96  |                                                                                      |
| Harmonik etkisiyle B4 te oluşan sağlanamazlık olasılığı (Enerji açısından)Bütün arıza olasılıkları için (talep faktörü göz önünde bulundurulmaksızın) enerjinin toplam sağlanamazlık olasılıkları |           |           |           |           |           |                                                                                      |
| E41                                                                                                                                                                                               | E42       | E43       | E44       | E45       | E46       | THD(I)=%32                                                                           |
| E47                                                                                                                                                                                               | E48       | E49       | E4_10     | E4_11     | E4_12     |                                                                                      |
| E4_13                                                                                                                                                                                             | E4_14     | E4_15     | E4_16     | E4_17     | E4_18     |                                                                                      |
|                                                                                                                                                                                                   |           |           |           |           |           |                                                                                      |

|                                                                                                                                                                                        |           |           |           |           |           |                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.000506                                                                                                                                                                               | 0.000506  | 0.000506  | 0.000507  | 0.000506  | 0.000506  | THD(I)=%32 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.011687                  |
| 0.000506                                                                                                                                                                               | 0.000507  | 0.000506  | 0.000506  | 0.000509  | 0.000507  |                                                                                      |
| 0.000521                                                                                                                                                                               | 0.000506  | 0.000508  | 0.000506  | 0.000529  | 0.000506  |                                                                                      |
| 0.000208                                                                                                                                                                               | 0.000208  | 0.000208  | 0.000208  | 0.000208  | 0.000208  | THD(I)=%25 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0023975                 |
| 0.000208                                                                                                                                                                               | 0.000208  | 0.000208  | 0.000208  | 0.000209  | 0.000208  |                                                                                      |
| 0.000214                                                                                                                                                                               | 0.000208  | 0.000208  | 0.000208  | 0.000217  | 0.000208  |                                                                                      |
| 0.000146                                                                                                                                                                               | 0.000146  | 0.000146  | 0.000146  | 0.000146  | 0.000146  | THD(I)=%21 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0016875                 |
| 0.000146                                                                                                                                                                               | 0.000146  | 0.000146  | 0.000146  | 0.000147  | 0.000147  |                                                                                      |
| 0.000150                                                                                                                                                                               | 0.000146  | 0.000147  | 0.000146  | 0.000154  | 0.000146  |                                                                                      |
| 0.000152                                                                                                                                                                               | 0.000152  | 0.000152  | 0.000152  | 0.000152  | 0.000152  | THD(I)=%15 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0017535                 |
| 0.000152                                                                                                                                                                               | 0.000152  | 0.000152  | 0.000152  | 0.000153  | 0.000152  |                                                                                      |
| 0.000156                                                                                                                                                                               | 0.000152  | 0.000152  | 0.000152  | 0.000159  | 0.000152  |                                                                                      |
| 0.000061                                                                                                                                                                               | 0.000061  | 0.000061  | 0.000061  | 0.000061  | 0.000061  | THD(I)=%12 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0006995                 |
| 0.000061                                                                                                                                                                               | 0.000061  | 0.000061  | 0.000061  | 0.000061  | 0.000061  |                                                                                      |
| 0.000062                                                                                                                                                                               | 0.000061  | 0.000061  | 0.000061  | 0.000063  | 0.000061  |                                                                                      |
| 0.000054                                                                                                                                                                               | 0.000054  | 0.000054  | 0.000054  | 0.000054  | 0.000054  | THD(I)=%10 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0006235                 |
| 0.000054                                                                                                                                                                               | 0.000054  | 0.000054  | 0.000054  | 0.000054  | 0.000054  |                                                                                      |
| 0.000056                                                                                                                                                                               | 0.000054  | 0.000054  | 0.000054  | 0.000056  | 0.000054  |                                                                                      |
| 0.000015                                                                                                                                                                               | 0.000015  | 0.000015  | 0.000015  | 0.000015  | 0.000015  | THD(I)=%8 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0001705                  |
| 0.000015                                                                                                                                                                               | 0.000015  | 0.000015  | 0.000015  | 0.000015  | 0.000015  |                                                                                      |
| 0.000015                                                                                                                                                                               | 0.000015  | 0.000015  | 0.000015  | 0.000015  | 0.000015  |                                                                                      |
| 0.000005                                                                                                                                                                               | 0.000005  | 0.000005  | 0.000005  | 0.000005  | 0.000005  | THD(I)=%5 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.000052                   |
| 0.000005                                                                                                                                                                               | 0.000005  | 0.000005  | 0.000005  | 0.000005  | 0.000005  |                                                                                      |
| 0.000005                                                                                                                                                                               | 0.000005  | 0.000005  | 0.000005  | 0.000005  | 0.000005  |                                                                                      |
| 0.000008                                                                                                                                                                               | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  | THD(I)=%3 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.00009                    |
| 0.000008                                                                                                                                                                               | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  |                                                                                      |
| 0.000008                                                                                                                                                                               | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  | 0.000008  |                                                                                      |
| Harmonik etkisiyle B4 te oluşan sağlanamazlık olasılığı (Enerji açısından)Bütün arıza olasılıkları için (talep faktörü 95/100 durumu için) enerjinin toplam sağlanamazlık olasılıkları |           |           |           |           |           |                                                                                      |
| E41_T                                                                                                                                                                                  | E42_T     | E43_T     | E44_T     | E45_T     | E46_T     | THD(I)=%32 için enerjinin (T.F= % 95 için) toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.000023 |
| E47_T                                                                                                                                                                                  | E48_T     | E49_T     | E4_10_T   | E4_11_T   | E4_12_T   |                                                                                      |
| E4_13_T                                                                                                                                                                                | E4_14_T   | E4_15_T   | E4_16_T   | E4_17_T   | E4_18_T   |                                                                                      |
| -0.000008                                                                                                                                                                              | -0.000007 | -0.000008 | -0.000007 | -0.000008 | -0.000007 | THD(I)=%32                                                                           |
| -0.000008                                                                                                                                                                              | -0.000007 | -0.000008 | -0.000007 | -0.000005 | -0.000006 |                                                                                      |
| 0.000008                                                                                                                                                                               | -0.000008 | -0.000006 | -0.000008 | 0.000015  | -0.000008 |                                                                                      |
| B5 Barasında farklı [%] THD(I) değerleri için 18 Farklı Arıza için B5 Gerilim Değ.leri [kVeff] ve Nominal Değere Göre B3 Barası [yüzde]Gerilim Hatası                                  |           |           |           |           |           |                                                                                      |
| V15eff                                                                                                                                                                                 | V25eff    | V35eff    | V45eff    | V55eff    | V65eff    | THD(I)=%32                                                                           |
| V75eff                                                                                                                                                                                 | V85eff    | V95eff    | V10_5eff  | V11_5eff  | V12_5eff  |                                                                                      |
| V13_5eff                                                                                                                                                                               | V14_5eff  | V15_5eff  | V16_5eff  | V17_5eff  | V18_5eff  |                                                                                      |
| 34.4670                                                                                                                                                                                | 34.5007   | 34.5007   | 34.5007   | 34.5007   | 34.4670   | THD(I)=%32                                                                           |
| 34.4670                                                                                                                                                                                | 34.4670   | 34.4670   | 34.5007   | 34.5007   | 34.5007   |                                                                                      |
| 34.5007                                                                                                                                                                                | 34.5007   | 34.5007   | 34.5007   | 34.5007   | 34.5007   |                                                                                      |
| yüzdeleeri                                                                                                                                                                             |           |           |           |           |           |                                                                                      |
| 99.7049                                                                                                                                                                                | 100.0019  | 100.0019  | 100.0019  | 100.0019  | 99.9045   | THD(I)=%32                                                                           |
| 99.2067                                                                                                                                                                                | 99.9045   | 99.9045   | 100.0019  | 100.0019  | 100.0019  |                                                                                      |
| 100.0019                                                                                                                                                                               | 100.0019  | 100.0019  | 100.0019  | 100.0019  | 100.0019  |                                                                                      |
| 99.7032                                                                                                                                                                                | 100.0010  | 100.0010  | 100.0010  | 100.0010  | 99.9025   | THD(I)=%25                                                                           |
| 99.2041                                                                                                                                                                                | 99.9025   | 99.9025   | 100.0010  | 100.0010  | 100.0010  |                                                                                      |
| 100.0010                                                                                                                                                                               | 100.0010  | 100.0010  | 100.0010  | 100.0010  | 100.0010  |                                                                                      |
| 99.7025                                                                                                                                                                                | 100.0009  | 100.0009  | 100.0009  | 100.0009  | 99.9022   | THD(I)=%21                                                                           |
| 99.2025                                                                                                                                                                                | 99.9022   | 99.9022   | 100.0009  | 100.0009  | 100.0009  |                                                                                      |
| 100.0009                                                                                                                                                                               | 100.0009  | 100.0009  | 100.0009  | 100.0009  | 100.0009  |                                                                                      |
| 99.7011                                                                                                                                                                                | 100.0003  | 100.0003  | 100.0003  | 100.0003  | 99.9011   | THD(I)=%15                                                                           |
| 99.2012                                                                                                                                                                                | 99.9011   | 99.9011   | 100.0003  | 100.0003  | 100.0003  |                                                                                      |
| 100.0003                                                                                                                                                                               | 100.0003  | 100.0003  | 100.0003  | 100.0003  | 100.0003  |                                                                                      |

Farklı [%] THD(I) durumlarında 18 Farklı Arıza İçin B5 ten Çekilen Görünen Güçler[kVA]

| S15      | S25      | S35      | S45      | S55      | S65      |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| S75      | S85      | S95      | S10_5    | S11_5    | S12_5    |
| S13_5    | S14_5    | S15_5    | S16_5    | S17_5    | S18_5    |
| 37840.52 | 37877.45 | 37877.45 | 37877.45 | 37877.45 | 37840.52 |
| 37840.52 | 37840.52 | 37840.52 | 37877.45 | 37877.45 | 37877.45 |
| 37877.45 | 37877.45 | 37877.45 | 37877.45 | 37877.45 | 37877.45 |

THD(I)=%32

Harmonik etkisiyle B5 te oluşan sağlanamazlık olasılığı (Enerji açısından)Bütün arıza olasılıkları için (talep faktörü gözönünde bulundurulmaksızın)enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.011689

| E51      | E52      | E53      | E54      | E55      | E56      |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| E57      | E58      | E59      | E5_10    | E5_11    | E5_12    |
| E5_13    | E5_14    | E5_15    | E5_16    | E5_17    | E5_18    |
| 0.000508 | 0.000508 | 0.000508 | 0.000508 | 0.000508 | 0.000508 |
| 0.000508 | 0.000508 | 0.000508 | 0.000508 | 0.000508 | 0.000508 |
| 0.000508 | 0.000508 | 0.000508 | 0.000508 | 0.000508 | 0.000508 |
| 0.000209 | 0.000208 | 0.000208 | 0.000208 | 0.000208 | 0.000209 |
| 0.000209 | 0.000209 | 0.000209 | 0.000208 | 0.000208 | 0.000208 |
| 0.000208 | 0.000208 | 0.000208 | 0.000208 | 0.000208 | 0.000208 |
| 0.000154 | 0.000154 | 0.000154 | 0.000154 | 0.000154 | 0.000154 |
| 0.000154 | 0.000154 | 0.000154 | 0.000154 | 0.000154 | 0.000154 |
| 0.000154 | 0.000154 | 0.000154 | 0.000154 | 0.000154 | 0.000154 |
| 0.000150 | 0.000150 | 0.000150 | 0.000150 | 0.000150 | 0.000150 |
| 0.000150 | 0.000150 | 0.000150 | 0.000150 | 0.000150 | 0.000150 |
| 0.000150 | 0.000150 | 0.000150 | 0.000150 | 0.000150 | 0.000150 |
| 0.000061 | 0.000061 | 0.000061 | 0.000061 | 0.000061 | 0.000061 |
| 0.000061 | 0.000061 | 0.000061 | 0.000061 | 0.000061 | 0.000061 |
| 0.000061 | 0.000061 | 0.000061 | 0.000061 | 0.000061 | 0.000061 |
| 0.000054 | 0.000054 | 0.000054 | 0.000054 | 0.000054 | 0.000054 |
| 0.000054 | 0.000054 | 0.000054 | 0.000054 | 0.000054 | 0.000054 |
| 0.000054 | 0.000054 | 0.000054 | 0.000054 | 0.000054 | 0.000054 |
| 0.000015 | 0.000015 | 0.000015 | 0.000015 | 0.000015 | 0.000015 |
| 0.000015 | 0.000015 | 0.000015 | 0.000015 | 0.000015 | 0.000015 |
| 0.000015 | 0.000015 | 0.000015 | 0.000015 | 0.000015 | 0.000015 |
| 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 |
| 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 |
| 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 |
| 0.000008 | 0.000008 | 0.000008 | 0.000008 | 0.000008 | 0.000008 |
| 0.000008 | 0.000008 | 0.000008 | 0.000008 | 0.000008 | 0.000008 |
| 0.000008 | 0.000008 | 0.000008 | 0.000008 | 0.000008 | 0.000008 |

THD(I)=%32 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.011689

THD(I)=%25 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.002398

THD(I)=%21 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.001759

THD(I)=%15 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0017285

THD(I)=%12 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0007055

THD(I)=%10 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0006235

THD(I)=%8 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0001675

THD(I)=%5 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.00005

THD(I)=%3 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0000885

Harmonik etkisiyle B5 te oluşan sağlanamazlık olasılığı (Enerji açısından)Bütün arıza olasılıkları için (talep faktörü 95/100 durumu için) enerjinin toplam sağlanamazlık olasılıkları

| E51_T     | E52_T     | E53_T     | E54_T     | E55_T     | E56_T     |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| E57_T     | E58_T     | E59_T     | E5_10_T   | E5_11_T   | E5_12_T   |
| E5_13_T   | E5_14_T   | E5_15_T   | E5_16_T   | E5_17_T   | E5_18_T   |
| -0.000005 | -0.000006 | -0.000006 | -0.000006 | -0.000006 | -0.000005 |
| -0.000005 | -0.000005 | -0.000005 | -0.000006 | -0.000006 | -0.000006 |
| -0.000006 | -0.000006 | -0.000006 | -0.000006 | -0.000006 | -0.000006 |

THD(I)=%32



\*\*\*\*\* Ocak Ayı İçin Güvenilirlik Analizi Değerlendirmesinde \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Kullanılan Veriler \*\*\*\*\*

|                                                                                                                                                                                                        |                              |                              |                                |                                |                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>B3 Barasında farklı [%] THD(I) değerleri için 18 Farklı Arıza İçin B3 Gerilim Değ.leri [kVeff] ve Nominal Değere Göre B3 Barası [yüzde]Gerilim Hatası</b>                                           |                              |                              |                                |                                |                                |
| V13eff<br>V73eff<br>V13_3eff                                                                                                                                                                           | V23eff<br>V83eff<br>V14_3eff | V33eff<br>V93eff<br>V15_3eff | V43eff<br>V10_3eff<br>V16_3eff | V53eff<br>V11_3eff<br>V17_3eff | V63eff<br>V12_3eff<br>V18_3eff |
| 34.2257                                                                                                                                                                                                | 33.7473                      | 34.2254                      | 34.1573                        | 34.0892                        | 33.7473                        |
| 34.2254                                                                                                                                                                                                | 34.1573                      | 34.0892                      | 33.5074                        | 33.0275                        | 31.4187                        |
| 34.2254                                                                                                                                                                                                | 34.0890                      | 33.9180                      | 19.3218                        | 19.4999                        | 34.2257                        |
| yüzdeleri                                                                                                                                                                                              |                              |                              |                                |                                |                                |
| 99.2049                                                                                                                                                                                                | 97.8183                      | 99.2041                      | 99.0067                        | 98.8094                        | 97.8183                        |
| 99.2041                                                                                                                                                                                                | 99.0067                      | 98.8094                      | 97.1228                        | 95.7318                        | 91.0688                        |
| 99.2041                                                                                                                                                                                                | 98.8088                      | 98.3131                      | 56.0053                        | 56.5216                        | 99.2049                        |
| <b>Harmonik etkisiyle B3 te oluşan sağlanamazlık olasılığı (Enerji açısından)Bütün arıza olasılıkları için(talep faktörü gözönünde bulundurulmaksızın) enerjinin toplam sağlanamazlık olasılıkları</b> |                              |                              |                                |                                |                                |
| E31<br>E37<br>E3_13                                                                                                                                                                                    | E32<br>E38<br>E3_14          | E33<br>E39<br>E3_15          | E34<br>E3_10<br>E3_16          | E35<br>E3_11<br>E3_17          | E36<br>E3_12<br>E3_18          |
| 0.000709                                                                                                                                                                                               | 0.000711                     | 0.000709                     | 0.000710                       | 0.000710                       | 0.000711                       |
| 0.000709                                                                                                                                                                                               | 0.000710                     | 0.000710                     | 0.000712                       | 0.000713                       | 0.000717                       |
| 0.000709                                                                                                                                                                                               | 0.000710                     | 0.000710                     | 0.000769                       | 0.000752                       | 0.000709                       |
| 0.000231                                                                                                                                                                                               | 0.000231                     | 0.000231                     | 0.000231                       | 0.000231                       | 0.000231                       |
| 0.000231                                                                                                                                                                                               | 0.000231                     | 0.000231                     | 0.000232                       | 0.000232                       | 0.000233                       |
| 0.000231                                                                                                                                                                                               | 0.000231                     | 0.000231                     | 0.000250                       | 0.000244                       | 0.000231                       |
| 0.000344                                                                                                                                                                                               | 0.000345                     | 0.000344                     | 0.000344                       | 0.000344                       | 0.000345                       |
| 0.000344                                                                                                                                                                                               | 0.000344                     | 0.000344                     | 0.000345                       | 0.000345                       | 0.000347                       |
| 0.000344                                                                                                                                                                                               | 0.000344                     | 0.000344                     | 0.000372                       | 0.000363                       | 0.000344                       |
| 0.000164                                                                                                                                                                                               | 0.000164                     | 0.000164                     | 0.000164                       | 0.000164                       | 0.000164                       |
| 0.000164                                                                                                                                                                                               | 0.000164                     | 0.000164                     | 0.000164                       | 0.000164                       | 0.000166                       |
| 0.000164                                                                                                                                                                                               | 0.000164                     | 0.000164                     | 0.000177                       | 0.000173                       | 0.000164                       |
| 0.000153                                                                                                                                                                                               | 0.000153                     | 0.000153                     | 0.000153                       | 0.000153                       | 0.000153                       |
| 0.000153                                                                                                                                                                                               | 0.000153                     | 0.000153                     | 0.000153                       | 0.000153                       | 0.000154                       |
| 0.000153                                                                                                                                                                                               | 0.000153                     | 0.000153                     | 0.000164                       | 0.000161                       | 0.000153                       |
| 0.000061                                                                                                                                                                                               | 0.000061                     | 0.000061                     | 0.000061                       | 0.000061                       | 0.000061                       |
| 0.000061                                                                                                                                                                                               | 0.000061                     | 0.000061                     | 0.000062                       | 0.000062                       | 0.000062                       |
| 0.000061                                                                                                                                                                                               | 0.000061                     | 0.000061                     | 0.000066                       | 0.000065                       | 0.000061                       |
| 0.000014                                                                                                                                                                                               | 0.000014                     | 0.000014                     | 0.000014                       | 0.000014                       | 0.000014                       |
| 0.000014                                                                                                                                                                                               | 0.000014                     | 0.000014                     | 0.000014                       | 0.000014                       | 0.000014                       |
| 0.000014                                                                                                                                                                                               | 0.000014                     | 0.000014                     | 0.000015                       | 0.000015                       | 0.000014                       |
| 0.000004                                                                                                                                                                                               | 0.000004                     | 0.000004                     | 0.000004                       | 0.000004                       | 0.000004                       |
| 0.000004                                                                                                                                                                                               | 0.000004                     | 0.000004                     | 0.000004                       | 0.000004                       | 0.000004                       |
| 0.000004                                                                                                                                                                                               | 0.000004                     | 0.000004                     | 0.000005                       | 0.000005                       | 0.000004                       |
| 0.000004                                                                                                                                                                                               | 0.000004                     | 0.000004                     | 0.000004                       | 0.000004                       | 0.000004                       |
| 0.000004                                                                                                                                                                                               | 0.000004                     | 0.000004                     | 0.000004                       | 0.000004                       | 0.000004                       |
| 0.000004                                                                                                                                                                                               | 0.000004                     | 0.000004                     | 0.000004                       | 0.000004                       | 0.000004                       |
| <b>Harmonik etkisiyle B3 te oluşan sağlanamazlık olasılığı (Enerji açısından)Bütün arıza olasılıkları için (talep faktörü 95/100 durumu için) enerjinin toplam sağlanamazlık olasılıkları</b>          |                              |                              |                                |                                |                                |
| E31_T<br>E37_T<br>E3_13_T                                                                                                                                                                              | E32_T<br>E38_T<br>E3_14_T    | E33_T<br>E39_T<br>E3_15_T    | E34_T<br>E3_10_T<br>E3_16_T    | E35_T<br>E3_11_T<br>E3_17_T    | E36_T<br>E3_12_T<br>E3_18_T    |
| 0.000196                                                                                                                                                                                               | 0.000197                     | 0.000196                     | 0.000196                       | 0.000196                       | 0.000197                       |
| 0.000196                                                                                                                                                                                               | 0.000196                     | 0.000196                     | 0.000198                       | 0.000199                       | 0.000204                       |
| 0.000196                                                                                                                                                                                               | 0.000196                     | 0.000197                     | 0.000255                       | 0.000238                       | 0.000196                       |
| <b>THD(I)=%38 için enerjinin (T.F= % 95 için) toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.004626</b>                                                                                                            |                              |                              |                                |                                |                                |

|                                                                                                                                                                                                   |          |          |          |          |          |                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.000025                                                                                                                                                                                          | 0.000026 | 0.000025 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | THD(I)=%34 için enerjinin (T.F= % 95 için) toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.000625 |
| 0.000025                                                                                                                                                                                          | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000028 |                                                                                      |
| 0.000025                                                                                                                                                                                          | 0.000026 | 0.000026 | 0.000045 | 0.000039 | 0.000025 |                                                                                      |
| B4 Barasında farklı [%] THD(I) değerleri için 18 Farklı Arıza İçin B4 Gerilim Değ.leri [kVeff] ve Nominal Değere Göre B4 Barası [yüzde]Gerilim Hatası                                             |          |          |          |          |          |                                                                                      |
| V14eff                                                                                                                                                                                            | V24eff   | V34eff   | V44eff   | V54eff   | V64eff   | THD(I)=%38                                                                           |
| V74eff                                                                                                                                                                                            | V84eff   | V94eff   | V10_4eff | V11_4eff | V12_4eff |                                                                                      |
| V13_4eff                                                                                                                                                                                          | V14_4eff | V15_4eff | V16_4eff | V17_4eff | V18_4eff |                                                                                      |
| 34.3989                                                                                                                                                                                           | 33.9180  | 34.2272  | 34.3696  | 34.3307  | 33.9180  | THD(I)=%38                                                                           |
| 34.2272                                                                                                                                                                                           | 34.3696  | 34.3307  | 34.2280  | 33.2736  | 32.2321  |                                                                                      |
| 19.7747                                                                                                                                                                                           | 34.2272  | 34.1300  | 34.2272  | 19.7959  | 34.3989  |                                                                                      |
| yüzdeleri                                                                                                                                                                                         |          |          |          |          |          |                                                                                      |
| 99.7071                                                                                                                                                                                           | 98.3131  | 99.2093  | 99.6219  | 99.5093  | 98.3131  | THD(I)=%38                                                                           |
| 99.2093                                                                                                                                                                                           | 99.6219  | 99.5093  | 99.2116  | 96.4451  | 93.4263  |                                                                                      |
| 99.2093                                                                                                                                                                                           | 99.2093  | 98.9275  | 99.2093  | 57.3795  | 99.7071  |                                                                                      |
| Harmonik etkisiyle B4 te oluşan sağlanamazlık olasılığı (Enerji açısından)Bütün arıza olasılıkları için (talep faktörü göz önünde bulundurulmaksızın) enerjinin toplam sağlanamazlık olasılıkları |          |          |          |          |          |                                                                                      |
| E41                                                                                                                                                                                               | E42      | E43      | E44      | E45      | E46      | THD(I)=%38 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.016345                  |
| E47                                                                                                                                                                                               | E48      | E49      | E4_10    | E4_11    | E4_12    |                                                                                      |
| E4_13                                                                                                                                                                                             | E4_14    | E4_15    | E4_16    | E4_17    | E4_18    |                                                                                      |
| 0.000707                                                                                                                                                                                          | 0.000708 | 0.000708 | 0.000709 | 0.000708 | 0.000708 | THD(I)=%34 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.005335                  |
| 0.000708                                                                                                                                                                                          | 0.000709 | 0.000708 | 0.000708 | 0.000712 | 0.000710 |                                                                                      |
| 0.000729                                                                                                                                                                                          | 0.000708 | 0.000710 | 0.000708 | 0.000741 | 0.000707 |                                                                                      |
| 0.000231                                                                                                                                                                                          | 0.000231 | 0.000231 | 0.000231 | 0.000231 | 0.000231 | THD(I)=%27 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0016875                 |
| 0.000231                                                                                                                                                                                          | 0.000231 | 0.000231 | 0.000231 | 0.000232 | 0.000232 |                                                                                      |
| 0.000238                                                                                                                                                                                          | 0.000231 | 0.000232 | 0.000231 | 0.000242 | 0.000231 |                                                                                      |
| 0.000146                                                                                                                                                                                          | 0.000146 | 0.000146 | 0.000146 | 0.000146 | 0.000146 | THD(I)=%22 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0019045                 |
| 0.000146                                                                                                                                                                                          | 0.000146 | 0.000146 | 0.000146 | 0.000147 | 0.000147 |                                                                                      |
| 0.000150                                                                                                                                                                                          | 0.000146 | 0.000147 | 0.000146 | 0.000154 | 0.000146 |                                                                                      |
| 0.000165                                                                                                                                                                                          | 0.000165 | 0.000165 | 0.000165 | 0.000165 | 0.000165 | THD(I)=%16 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0017555                 |
| 0.000165                                                                                                                                                                                          | 0.000165 | 0.000165 | 0.000165 | 0.000166 | 0.000165 |                                                                                      |
| 0.000170                                                                                                                                                                                          | 0.000165 | 0.000165 | 0.000165 | 0.000172 | 0.000165 |                                                                                      |
| 0.000152                                                                                                                                                                                          | 0.000152 | 0.000152 | 0.000152 | 0.000152 | 0.000152 | THD(I)=%11 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0007885                 |
| 0.000152                                                                                                                                                                                          | 0.000152 | 0.000152 | 0.000152 | 0.000153 | 0.000152 |                                                                                      |
| 0.000156                                                                                                                                                                                          | 0.000152 | 0.000152 | 0.000152 | 0.000159 | 0.000152 |                                                                                      |
| 0.000068                                                                                                                                                                                          | 0.000068 | 0.000068 | 0.000068 | 0.000068 | 0.000068 | THD(I)=%9 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0002415                  |
| 0.000068                                                                                                                                                                                          | 0.000068 | 0.000068 | 0.000068 | 0.000069 | 0.000068 |                                                                                      |
| 0.000070                                                                                                                                                                                          | 0.000068 | 0.000068 | 0.000068 | 0.000071 | 0.000068 |                                                                                      |
| 0.000021                                                                                                                                                                                          | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 | THD(I)=%5.5 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0002405                |
| 0.000021                                                                                                                                                                                          | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 |                                                                                      |
| 0.000021                                                                                                                                                                                          | 0.000021 | 0.000021 | 0.000022 | 0.000022 | 0.000021 |                                                                                      |
| 0.000004                                                                                                                                                                                          | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | THD(I)=%3.5 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.00005                  |
| 0.000004                                                                                                                                                                                          | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 |                                                                                      |
| 0.000004                                                                                                                                                                                          | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000005 | 0.000004 |                                                                                      |
| Harmonik etkisiyle B4 te oluşan sağlanamazlık olasılığı (Enerji açısından)Bütün arıza olasılıkları için (talep faktörü 95/100 durumu için) enerjinin toplam sağlanamazlık olasılıkları            |          |          |          |          |          |                                                                                      |
| E41_T                                                                                                                                                                                             | E42_T    | E43_T    | E44_T    | E45_T    | E46_T    |                                                                                      |
| E47_T                                                                                                                                                                                             | E48_T    | E49_T    | E4_10_T  | E4_11_T  | E4_12_T  |                                                                                      |
| E4_13_T                                                                                                                                                                                           | E4_14_T  | E4_15_T  | E4_16_T  | E4_17_T  | E4_18_T  |                                                                                      |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |          |          |          |          |          |                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.000194                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000194 | 0.000194 | 0.000195 | 0.000194 | 0.000194 | THD(I)=%38 için enerjinin (T.F=% 95 için) toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.004530                                                                                                      |
| 0.000194                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000195 | 0.000194 | 0.000194 | 0.000198 | 0.000196 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000216                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000194 | 0.000196 | 0.000194 | 0.000227 | 0.000194 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000025                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | THD(I)=%34 için enerjinin (T.F=% 95 için) toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.000609                                                                                                      |
| 0.000026                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000027 | 0.000026 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000032                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000037 | 0.000025 |                                                                                                                                                                                          |
| <b>B5 Barasında farklı [%] THD(I) değerleri için 18 Farklı Arıza İçin B5 Gerilim Değ.leri [kVeff] ve Nominal Değere Göre B3 Barası [yüzde]Gerilim Hatası</b><br><br>V15eff V25eff V35eff V45eff V55eff V65eff<br>V75eff V85eff V95eff V10_5eff V11_5eff V12_5eff<br>V13_5eff V14_5eff V15_5eff V16_5eff V17_5eff V18_5eff<br><br>34.4677 34.5008 34.5008 34.5008 34.5008 34.4677<br>34.4677 34.4677 34.4677 34.5008 34.5008 34.5008<br>34.5008 34.5008 34.5008 34.5008 34.5008 34.5008<br><br>yüzdeleri<br><br>99.7071 100.0022 100.0022 100.0022 100.0022 99.9063<br>99.2093 99.9063 99.9063 100.0022 100.0022 100.0022<br>100.0022 100.0022 100.0022 100.0022 100.0022 100.0022 |          |          |          |          |          | THD(I)=%38                                                                                                                                                                               |
| Harmonik etkisiyle B5 te oluşan sağlanamazlık olasılığı (Enerji açısından)Bütün arıza olasılıkları için (talep faktörü gözönünde bulundurulmaksızın)enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.011689                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |          |          |          |          | THD(I)=%38                                                                                                                                                                               |
| E51                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | E52      | E53      | E54      | E55      | E56      | THD(I)=%38 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.016255                                                                                                                      |
| E57                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | E58      | E59      | E5_10    | E5_11    | E5_12    |                                                                                                                                                                                          |
| E5_13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | E5_14    | E5_15    | E5_16    | E5_17    | E5_18    |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000707                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000707 | 0.000707 | 0.000707 | 0.000707 | 0.000707 | THD(I)=%34 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.005326                                                                                                                      |
| 0.000707                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000707 | 0.000707 | 0.000707 | 0.000707 | 0.000707 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000707                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000707 | 0.000707 | 0.000707 | 0.000707 | 0.000707 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000232                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000231 | 0.000231 | 0.000231 | 0.000231 | 0.000232 | THD(I)=%27 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.0039785                                                                                                                     |
| 0.000232                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000232 | 0.000232 | 0.000231 | 0.000231 | 0.000231 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000231                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000231 | 0.000231 | 0.000231 | 0.000231 | 0.000231 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000346                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000346 | 0.000346 | 0.000346 | 0.000346 | 0.000346 | THD(I)=%22 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.001875                                                                                                                      |
| 0.000346                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000346 | 0.000346 | 0.000346 | 0.000346 | 0.000346 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000346                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000346 | 0.000346 | 0.000346 | 0.000346 | 0.000346 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000163                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000163 | 0.000163 | 0.000163 | 0.000163 | 0.000163 | THD(I)=%16 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.001741                                                                                                                      |
| 0.000163                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000163 | 0.000163 | 0.000163 | 0.000163 | 0.000163 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000163                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000163 | 0.000163 | 0.000163 | 0.000163 | 0.000163 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000151                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000151 | 0.000151 | 0.000151 | 0.000151 | 0.000151 | THD(I)=%11 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.000714                                                                                                                      |
| 0.000151                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000151 | 0.000151 | 0.000151 | 0.000151 | 0.000151 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000151                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000151 | 0.000151 | 0.000151 | 0.000151 | 0.000151 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000062                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000062 | 0.000062 | 0.000062 | 0.000062 | 0.000062 | THD(I)=%9 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.000245                                                                                                                       |
| 0.000062                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000062 | 0.000062 | 0.000062 | 0.000062 | 0.000062 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000062                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000062 | 0.000062 | 0.000062 | 0.000062 | 0.000062 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 | THD(I)=%5.5 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.000233                                                                                                                     |
| 0.000021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000021 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000020 | 0.000020 | 0.000020 | 0.000020 | 0.000020 | THD(I)=%3.5 için enerjinin toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.000047                                                                                                                     |
| 0.000020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000020 | 0.000020 | 0.000020 | 0.000020 | 0.000020 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000020 | 0.000020 | 0.000020 | 0.000020 | 0.000020 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000004                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | Harmonik etkisiyle B5 te oluşan sağlanamazlık olasılığı (Enerji açısından). Bütün arıza olasılıkları için (talep faktörü 95/100 durumu için) enerjinin toplam sağlanamazlık olasılıkları |
| 0.000004                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 |                                                                                                                                                                                          |
| 0.000004                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 | 0.000004 |                                                                                                                                                                                          |
| E51_T                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | E52_T    | E53_T    | E54_T    | E55_T    | E56_T    |                                                                                                                                                                                          |
| E57_T                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | E58_T    | E59_T    | E5_10_T  | E5_11_T  | E5_12_T  |                                                                                                                                                                                          |

| E5_13_T  | E5_14_T  | E5_15_T  | E5_16_T  | E5_17_T  | E5_18_T  |                                                                                     |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.000193 | 0.000193 | 0.000193 | 0.000193 | 0.000193 | 0.000193 | THD(I)=%38 için enerjinin (T.F=% 95 için) toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.004440 |
| 0.000193 | 0.000193 | 0.000193 | 0.000193 | 0.000193 | 0.000193 |                                                                                     |
| 0.000193 | 0.000193 | 0.000193 | 0.000193 | 0.000193 | 0.000193 |                                                                                     |
| 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | THD(I)=%34 için enerjinin (T.F=% 95 için) toplam sağlanamazlık olasılığı = 0.000600 |
| 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 |                                                                                     |
| 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 | 0.000026 |                                                                                     |

\*\*\*\*\* (Şubat, Mart, ... Kasım) Ayları İçin Güvenilirlik \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Analizi Değerlendirmesinde Kullanılan Veriler \*\*\*\*\*

Şubat Ayı İçin Ölçülen [%] THD(I) Değerlerine Göre Enerjinin Sağlanamazlık Olasılıkları

| THD(I) [%]    | B3 Barası İçin Enerjinin Toplam Sağlanamazlık Olasılığı [KWh] | B4 Barası İçin Enerjinin Toplam Sağlanamazlık Olasılığı [KWh] | B5 Barası İçin Enerjinin Toplam Sağlanamazlık Olasılığı [KWh] |
|---------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 36            | 0.013816                                                      | 0.013634                                                      | 0.013722                                                      |
| 30            | 0.002426                                                      | 0.002392                                                      | 0.002338                                                      |
| 26            | 0.003933                                                      | 0.003876                                                      | 0.003868                                                      |
| 21            | 0.001931                                                      | 0.001350                                                      | 0.001382                                                      |
| 16            | 0.001615                                                      | 0.001605                                                      | 0.001591                                                      |
| 12            | 0.000773                                                      | 0.000755                                                      | 0.000762                                                      |
| 8             | 0.000289                                                      | 0.000301                                                      | 0.000296                                                      |
| 6             | 0.000272                                                      | 0.000284                                                      | 0.000247                                                      |
| 4             | 0.000099                                                      | 0.000108                                                      | 0.000097                                                      |
| <b>Toplam</b> | <b>0.0251565</b>                                              | <b>0.024307</b>                                               | <b>0.024355</b>                                               |

Mart Ayı İçin Ölçülen [%] THD(I) Değerlerine Göre Enerjinin Sağlanamazlık Olasılıkları

| THD(I) [%]    | B3 Barası İçin Enerjinin Toplam Sağlanamazlık Olasılığı [KWh] | B4 Barası İçin Enerjinin Toplam Sağlanamazlık Olasılığı [KWh] | B5 Barası İçin Enerjinin Toplam Sağlanamazlık Olasılığı [KWh] |
|---------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 29            | 0.003232/2                                                    | 0.003376/2                                                    | 0.003211/2                                                    |
| 24            | 0.006318/2                                                    | 0.006357/2                                                    | 0.006308/2                                                    |
| 20            | 0.001167/2                                                    | 0.006997/2                                                    | 0.003693/2                                                    |
| 16            | 0.003432/2                                                    | 0.003410/2                                                    | 0.003382/2                                                    |
| 13            | 0.001865/2                                                    | 0.001853/2                                                    | 0.001424/2                                                    |
| 11            | 0.001705/2                                                    | 0.001892/2                                                    | 0.001714/2                                                    |
| 9             | 0.000450/2                                                    | 0.000447/2                                                    | 0.000456/2                                                    |
| 5             | 0.000249/2                                                    | 0.000261/2                                                    | 0.000249/2                                                    |
| 3             | 0.000160/2                                                    | 0.000162/2                                                    | 0.000159/2                                                    |
| <b>Toplam</b> | <b>0.0091645</b>                                              | <b>0.0123775</b>                                              | <b>0.010298</b>                                               |

Nisan Ayı İçin Ölçülen [%] THD<sub>(I)</sub> Değerlerine Göre Enerjinin Sağlanamazlık Olasılıkları

| THD(I) [%]    | B3 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B4 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B5 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 26            | 0.002889/2                                                          | 0.002879/2                                                          | 0.002854/2                                                          |
| 24            | 0.007221/2                                                          | 0.007265/2                                                          | 0.007209/2                                                          |
| 21            | 0.007485/2                                                          | 0.005231/2                                                          | 0.005358/2                                                          |
| 18            | 0.002567/2                                                          | 0.002527/2                                                          | 0.002512/2                                                          |
| 14            | 0.002020/2                                                          | 0.001984/2                                                          | 0.002019/2                                                          |
| 10            | 0.001382/2                                                          | 0.001364/2                                                          | 0.001364/2                                                          |
| 7             | 0.000284/2                                                          | 0.000294/2                                                          | 0.000291/2                                                          |
| 5             | 0.000279/2                                                          | 0.000292/2                                                          | 0.000279/2                                                          |
| 3             | 0.000150/2                                                          | 0.000151/2                                                          | 0.000149/2                                                          |
| <b>Toplam</b> | <b>0.0121385</b>                                                    | <b>0.0109895</b>                                                    | <b>0.0110175</b>                                                    |

Mayıs Ayı İçin Ölçülen [%] THD<sub>(I)</sub> Değerlerine Göre Enerjinin Sağlanamazlık Olasılıkları

| THD(I) [%]    | B3 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B4 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B5 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 24            | 0.002226/2                                                          | 0.002175/2                                                          | 0.002203/2                                                          |
| 22            | 0.006156/2                                                          | 0.006079/2                                                          | 0.006094/2                                                          |
| 20            | 0.001751/2                                                          | 0.010465/2                                                          | 0.005540/2                                                          |
| 17            | 0.002396/2                                                          | 0.002366/2                                                          | 0.002377/2                                                          |
| 13            | 0.001598/2                                                          | 0.001588/2                                                          | 0.001221/2                                                          |
| 9             | 0.001029/2                                                          | 0.001022/2                                                          | 0.001043/2                                                          |
| 7             | 0.000284/2                                                          | 0.000294/2                                                          | 0.000291/2                                                          |
| 5             | 0.000299/2                                                          | 0.000313/2                                                          | 0.000299/2                                                          |
| 3             | 0.000160/2                                                          | 0.000162/2                                                          | 0.000159/2                                                          |
| <b>Toplam</b> | <b>0.0079495</b>                                                    | <b>0.0122320</b>                                                    | <b>0.0096135</b>                                                    |

Haziran Ayı İçin Ölçülen [%] THD<sub>(I)</sub> Değerlerine Göre Enerjinin Sağlanamazlık Olasılıkları

| THD(I) [%]    | B3 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B4 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B5 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 22            | 0.002425/2                                                          | 0.002395/2                                                          | 0.002401/2                                                          |
| 20            | 0.001868/2                                                          | 0.011163/2                                                          | 0.005910/2                                                          |
| 18            | 0.003772/2                                                          | 0.003663/2                                                          | 0.003642/2                                                          |
| 15            | 0.001783/2                                                          | 0.001754/2                                                          | 0.001769/2                                                          |
| 11            | 0.001042/2                                                          | 0.001156/2                                                          | 0.001047/2                                                          |
| 8             | 0.000780/2                                                          | 0.000813/2                                                          | 0.000799/2                                                          |
| 5             | 0.000160/2                                                          | 0.000167/2                                                          | 0.000159/2                                                          |
| 4             | 0.000193/2                                                          | 0.000210/2                                                          | 0.000187/2                                                          |
| 3             | 0.000164/2                                                          | 0.000166/2                                                          | 0.000163/2                                                          |
| <b>Toplam</b> | <b>0.0060935</b>                                                    | <b>0.0107435</b>                                                    | <b>0.0080385</b>                                                    |

Temmuz Ayı İçin Ölçülen [%] THD<sub>(I)</sub> Değerlerine Göre Enerjinin Sağlanamazlık Olasılıkları

| THD(I) [%]    | B3 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B4 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B5 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 20            | 0.000876/2                                                          | 0.005223/2                                                          | 0.002770/2                                                          |
| 17            | 0.003536/2                                                          | 0.003493/2                                                          | 0.003509/2                                                          |
| 15            | 0.001962/2                                                          | 0.001929/2                                                          | 0.001946/2                                                          |
| 12            | 0.001318/2                                                          | 0.001287/2                                                          | 0.001298/2                                                          |
| 10            | 0.000908/2                                                          | 0.000896/2                                                          | 0.000896/2                                                          |
| 7             | 0.000606/2                                                          | 0.000628/2                                                          | 0.000620/2                                                          |
| 5             | 0.000160/2                                                          | 0.000167/2                                                          | 0.000159/2                                                          |
| 4             | 0.000217/2                                                          | 0.000237/2                                                          | 0.000212/2                                                          |
| 2             | 0.000068/2                                                          | 0.000072/2                                                          | 0.000067/2                                                          |
| <b>Toplam</b> | <b>0.0048255</b>                                                    | <b>0.0069660</b>                                                    | <b>0.0057385</b>                                                    |

Ağustos Ayı İçin Ölçülen [%] THD<sub>(I)</sub> Değerlerine Göre Enerjinin Sağlanamazlık Olasılıkları

| THD(I) [%]    | B3 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B4 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B5 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 20            | 0.000934/2                                                          | 0.005581/2                                                          | 0.002955/2                                                          |
| 18            | 0.003594/2                                                          | 0.005581/2                                                          | 0.002955/2                                                          |
| 17            | 0.002738/2                                                          | 0.002704/2                                                          | 0.002717/2                                                          |
| 15            | 0.001962/2                                                          | 0.001929/2                                                          | 0.001946/2                                                          |
| 12            | 0.001375/2                                                          | 0.001343/2                                                          | 0.001355/2                                                          |
| 9             | 0.000997/2                                                          | 0.000990/2                                                          | 0.001010/2                                                          |
| 6             | 0.000215/2                                                          | 0.000224/2                                                          | 0.000195/2                                                          |
| 3             | 0.000128/2                                                          | 0.000130/2                                                          | 0.000127/2                                                          |
| 2             | 0.000069/2                                                          | 0.000074/2                                                          | 0.000068/2                                                          |
| <b>Toplam</b> | <b>0.0069735</b>                                                    | <b>0.0092780</b>                                                    | <b>0.0066640</b>                                                    |

Eylül Ayı İçin Ölçülen [%] THD<sub>(I)</sub> Değerlerine Göre Enerjinin Sağlanamazlık Olasılıkları

| THD(I) [%]    | B3 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B4 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B5 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 25            | 0.002673/2                                                          | 0.002637/2                                                          | 0.002638/2                                                          |
| 22            | 0.006072/2                                                          | 0.006094/2                                                          | 0.006000/2                                                          |
| 20            | 0.001693/2                                                          | 0.010116/2                                                          | 0.005356/2                                                          |
| 17            | 0.002281/2                                                          | 0.002254/2                                                          | 0.002294/2                                                          |
| 14            | 0.002020/2                                                          | 0.001984/2                                                          | 0.002019/2                                                          |
| 10            | 0.001224/2                                                          | 0.001208/2                                                          | 0.001208/2                                                          |
| 8             | 0.000403/2                                                          | 0.000420/2                                                          | 0.000412/2                                                          |
| 5             | 0.000309/2                                                          | 0.000324/2                                                          | 0.000309/2                                                          |
| 3             | 0.000157/2                                                          | 0.000158/2                                                          | 0.000156/2                                                          |
| <b>Toplam</b> | <b>0.0084160</b>                                                    | <b>0.0125975</b>                                                    | <b>0.0101960</b>                                                    |

Ekim Ayı İçin Ölçülen [%] THD<sub>(I)</sub> Değerlerine Göre Enerjinin Sağlanamazlık Olasılıkları

| THD(I) [%]    | B3 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B4 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B5 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 27            | 0.003917/2                                                          | 0.003858/2                                                          | 0.003906/2                                                          |
| 24            | 0.006900/2                                                          | 0.006744/2                                                          | 0.006828/2                                                          |
| 22            | 0.005597/2                                                          | 0.005526/2                                                          | 0.005540/2                                                          |
| 18            | 0.002439/2                                                          | 0.002400/2                                                          | 0.002386/2                                                          |
| 15            | 0.002229/2                                                          | 0.002192/2                                                          | 0.002211/2                                                          |
| 11            | 0.001705/2                                                          | 0.001892/2                                                          | 0.001714/2                                                          |
| 7             | 0.000265/2                                                          | 0.000275/2                                                          | 0.000271/2                                                          |
| 5             | 0.000299/2                                                          | 0.000313/2                                                          | 0.000299/2                                                          |
| 3             | 0.000157/2                                                          | 0.000158/2                                                          | 0.000156/2                                                          |
| <b>Toplam</b> | <b>0.0117540</b>                                                    | <b>0.0116790</b>                                                    | <b>0.0116555</b>                                                    |

Kasım Ayı İçin Ölçülen [%] THD<sub>(I)</sub> Değerlerine Göre Enerjinin Sağlanamazlık Olasılıkları

| THD(I) [%]    | B3 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B4 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] | B5 Barası İçin Enerjinin<br>Toplam Sağlanamazlık<br>Olasılığı [KWh] |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 30            | 0.003465/2                                                          | 0.003418/2                                                          | 0.003412/2                                                          |
| 26            | 0.007617/2                                                          | 0.007578/2                                                          | 0.007524/2                                                          |
| 22            | 0.003605/2                                                          | 0.003618/2                                                          | 0.003562/2                                                          |
| 18            | 0.004492/2                                                          | 0.004421/2                                                          | 0.004395/2                                                          |
| 15            | 0.002408/2                                                          | 0.002367/2                                                          | 0.002388/2                                                          |
| 12            | 0.002120/2                                                          | 0.002071/2                                                          | 0.002089/2                                                          |
| 10            | 0.000513/2                                                          | 0.000507/2                                                          | 0.000507/2                                                          |
| 5             | 0.000259/2                                                          | 0.000272/2                                                          | 0.000259/2                                                          |
| 3             | 0.000157/2                                                          | 0.000158/2                                                          | 0.000156/2                                                          |
| <b>Toplam</b> | <b>0.0123180</b>                                                    | <b>0.0122050</b>                                                    | <b>0.0121460</b>                                                    |

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 11.09.1970

Doğum yeri Kayseri

Lise

1985-1988

Fevzi Çakmak Lisei

Lisans

1989-1993

Yıldız Teknik Üniversitesi Elk.-Elektronik Fak.  
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans

1993-1996

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Müh. Anabilim Dalı

Doktora

1996-2000

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Müh. Anabilim Dalı

Çalıştığı kurumlar

1995-

YTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi  
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı (Arş. Gör.)