

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

ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE GÜVENİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik – Elektronik Mühendisi Engin AKÇAY

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK - ELEKTRONİK

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU

Eylül 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE GÜVENİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik – Elektronik Mühendisi Engin AKÇAY

Enstitü Anabilim Dalı : ELKTRİK – ELKTRONİK

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 07 / 08 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU
Jüri Başkanı

Yrd. Doç. Dr. T. Fedai ÇAVUŞ
Üye

Yrd. Doç. Dr. Mehmet GÜNDÜZ
Üye

ÖNSÖZ

Günümüz koşullarında ürün çeşitliliğinin artması ve buna bağlı olarak rekabetin artması, üretici firmaları daha kaliteli ürünü daha ekonomik koşullarda üretmeye yönlendirmiştir. Tüketici açısından bir ürünün tercih edilme nedenlerinden biri de ürünün güvenilir olmasıdır. Bugün bir otomobil alacak bir kişi, aracın fiyat ve performansının yanı sıra güvenlik testlerinden aldığı sonuçları da göz önünde bulundurmaktadır.

Her ne kadar ülkemizde hala enerji özelleştirmesi tam olarak tamamlanamamışsa da özellikle Kanada ve Amerika'da özel şirketler tarafından enerji üretimi ve dağıtımı yapılmaktadır. Rekabet koşullarına bağlı olarak firmalar, kesintisiz ve kaliteli enerjiyi müşterilerine ulaştırmakla yükümlüdürler. Bu da enerjinin güvenilirliği olarak değerlendirilir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GÜVENİLİRLİK KAVRAMI.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Güvenilirliğin Önemi.....	2
BÖLÜM 2.	
GÜVENİLİRLİK FONKSİYONU VE TEMEL GÜVENİLİRLİK KAVRAMLARI.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Olasılık Yoğunluğu ve Kümülatif Olasılık Fonksiyonu.....	3
2.3. Güvenilirlik Fonksiyonu.....	4
2.4. Temel Güvenilirlik Kavramları.....	6
2.5. Sağlanabilirlik.....	10
2.5.1. Yineleme teorisi.....	11
2.5.2. Sağlanabilirliğin sınıflandırılması.....	12
2.5.2.1. Anlık sağlanabilirlik.....	12
2.5.2.2. Ortalama sağlanabilirlik.....	13
2.5.2.3. Sürekli sağlanabilirlik.....	13

2.5.2.4. Doğal sağlanabilirlik.....	13
2.5.2.5. Kazanılmış sağlanabilirlik.....	15
2.5.2.6. İşletme sağlanabilirliği.....	15
2.6. Seri ve Paralel Yapılı Sistemlerde Güvenilirlik.....	15
2.6.1. Seri sistemler.....	15
2.6.2. Paralel sistemler.....	17
2.7. Tamir Edilebilen Sistemler.....	19
2.7.1. Bakım.....	19
2.7.1.1. Düzeltici bakım.....	20
2.7.1.2. Önleyici bakım.....	20
2.7.1.3. Denetimler.....	20
2.7.2. Tamir edilebilen seri sistemler.....	21
2.7.3. Tamir edilebilen paralel sistemler.....	22
2.8. Seri ve Paralel Sistemlerin Karşılaştırılması.....	24
2.9. Karmaşık Sistemler.....	24
2.10. Basit Bir İletim Sisteminin İncelenmesi.....	26

BÖLÜM 3.

GÜVENİLİRLİK YÖNTEMLERİ.....	27
3.1. Blok Diyagram Yöntemi.....	27
3.1.1. Minimum kesme kümesi ve sistem arıza olasılığının bulunması.....	29
3.1.2. Minimal kesmelerin bulunması.....	30
3.2. Markov Analizi.....	31
3.2.1. Ayrık Markov zincirleri.....	32
3.2.1.1. Ergodik Markov zincirleri.....	37
3.2.1.2. Zamana bağlı olasılıkların değerlendirilmesi.....	37
3.2.1.3. Sınırlı durum olasılıklarının değerlendirilmesi.....	39
3.2.1.4. Absorblama durumları.....	41
3.2.2. Sürekli Markov prosesi.....	44
3.2.2.1. Arıza oranı ve tamir süresinin bulunması.....	45
3.3. Ayrık ve Sürekli Markov Proseslerinin Uygulanması.....	48
3.4. Hata Ağacı Yöntemi (FTA).....	48

3.4.1. FTA'nın bilgisayar ortamında modellenmesi.....	49
3.4.1.1. Olaylar.....	49
3.4.1.2. Kapılar.....	50
3.4. RBD ve FTA Arasındaki Farklar.....	52
3.5. Yöntemlerin Karşılaştırılması.....	54
BÖLÜM 4.	
İLETİM SİSTEMLERİ.....	55
4.1. Giriş.....	55
4.2. Kapasite Kaybı Olasılık Tabloları.....	57
4.3. Kapasite Modeli Oluşturmak İçin Tekrarlı Algoritma.....	57
4.3.1. İki durumlu model.....	57
4.3.2. Çok durumlu model.....	57
4.4. Gram – Charlier Dağıtım Genişleme Modeli Tabanlı Fourier Dönüşüm Metodu.....	58
4.5. Sıklık ve Süre Tekniği.....	62
4.5.1. Kapasite oluşturma için tekrarlı algoritma.....	62
4.5.1.1. İki durumlu sistem.....	62
4.5.1.2. Çok durumlu sistemler.....	64
4.6. Ek Bilgiler.....	65
4.7. İletim Sistemlerine Giriş.....	65
4.8. Radyal Yapılandırmalar.....	67
4.9. Geleneksel Olasılık Yaklaşımı.....	68
4.10. Ağ Yapılandırmaları.....	73
4.11. Durum Seçimi.....	78
4.11.1. Genel kavramlar.....	78
4.12. Sistem ve Yük Noktası İndisleri.....	78
4.13. Karmaşık Sistem Güvenilirlik Değerlendirmesi İçin Veri İhtiyacı	82
4.13.1. Genel kavramlar.....	82
4.13.2. Deterministik veriler.....	83
4.13.3. Stokastik bilgiler.....	83
4.13.4. Bağımsız kayıplar.....	83
4.13.5. Bağımlı kayıplar.....	85

4.13.6. Genel sebepli kayıplar.....	85
4.13.7. İstasyon kaynaklı kayıplar.....	86
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR.....	92
EKLER.....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	121

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

NERC	Kuzey Amerika Elektrik Güvenilirliği Konseyi
R	Güvenilirlik
Q	Güvenilmezlik
MTBM	Bakımlar arası ortalama zaman
P	Olasılık
RBD	Blok Diyagram Yöntemi
FTA	Hata Ağacı Yöntemi
FOR	Zorlanmış kayıp oranı
f	Sıklık
T	Süre, periyot
LOLE	Umulan yük kaybı
MTTF	Ortalama arıza zamanı
MTTR	Ortalama tamir zamanı
MTBF	Arızalar arası ortalama zaman
m	Arıza zamanı
r	Tamir zamanı
λ	Arıza oranı
μ	Tamir oranı
A	Sağlanabilirlik
U	Sağlanamamazlık

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Güvenilirlik ve güvenilirlik fonksiyonu arasındaki ilişki.....	5
Şekil 2.2.	Arıza oranı eğrisi.....	6
Şekil 2.3.	Tek eleman için durum uzay diyagramı.....	9
Şekil 2.4.	İki elemanlı seri bir sistemin işletim periyodu.....	11
Şekil 2.5.	Anlık sağlanabilirliğin sürekli sağlanabilirliğe yaklaşma grafiği..	13
Şekil 2.6.	İki elemanlı bir sistemin durum uzay diyagramı.....	14
Şekil 2.7.	N elemanlı seri bir sistem.....	15
Şekil 2.8.	Farklı sayıda aynı özellikli eleman içeren seri sistemin güvenilirlik eğrileri.....	17
Şekil 2.9.	N elemanlı paralel sistem.....	17
Şekil 2.10.	Farklı sayıda aynı özellikli eleman içeren paralel sistemin güvenilirlik eğrileri.....	19
Şekil 2.11.	İki elemanlı bir sistemin örneklenmesi.....	24
Şekil 2.12.	Seri – paralel yapıli sistem.....	25
Şekil 2.13.	Paralel – seri yapıli sistem.....	25
Şekil 2.14.	Basit yapıli bir iletim sistemi.....	26
Şekil 3.1.	Basit yapıli bir sistemin blok diyagram gösterimi.....	27
Şekil 3.2.	Örnek sistem.....	29
Şekil 3.3.	İki elemanlı sistem.....	32
Şekil 3.4.	İki elemanlı üç zamanlı sistemin olay ağacı.....	33
Şekil 3.5.	Kanonik matris formu.....	41
Şekil 3.6.	İkileme olayı kullanılmadan FTA'ya çevrilemeyen RBD sistem modeli.....	53
Şekil 3.7.	Şekil 3.6.'daki sistemin FTA ile modllenmesi.....	53
Şekil 3.8.	Şekil 3.6.'daki sistemin bir başka gösterimi.....	53
Şekil 4.1.	Geleneksel sistem modeli.....	56

Şekil 4.2.	İki farklı karmaşık sistem örneği.....	66
Şekil 4.3.	Radyal şebeke.....	67
Şekil 4.4.	Basit iletim ağı konfigürasyonu.....	73
Şekil 4.5.	Konfigürasyonlar.....	75
Şekil 4.6.	Veri ihtiyacı.....	82
Şekil 4.7.	Temel eşzamanı bağımsız arıza modeli.....	84
Şekil 4.8.	IEEE modeli – Genel sebepli kayıp modeli.....	85
Şekil 4.9.	Karmaşık sistem modeli.....	86
Şekil 4.10.	Genel sebepli, istasyon nedenli ve bağımsız olaylar genel modeli	88
Şekil 4.11.	İki hatlı yapılandırma.....	88
Şekil A.1.	Örnek sistem.....	94
Şekil A.2.	Üç durumlu sistemin durum diyagramı.....	97
Şekil A.3.	Üç durumlu sistemin durum diyagramı.....	97
Şekil A.4.	Dört durumlu sistem.....	98
Şekil A.5.	FTA için örnek sistem.....	100
Şekil A.6.	FTA için örnek sistem.....	101
Şekil A.7.	FTA için örnek sistem.....	101
Şekil A.8.	FTA için örnek sistem.....	102
Şekil A.9.	Basit yapılu sistem.....	102
Şekil A.10	Şekil A.9'daki sistemin FTA gösterimi.....	103
Şekil A.11	Basit iletim ağı yapısı.....	109
Şekil A.12	Visual Basic ile hazırlanan programın ana sayfası.....	120

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Temel güvenlik kavramları.....	7
Tablo 2.2.	Güvenilirlik, tamir edilebilirlik ve sağlanabilirlik arasındaki ilişki.....	11
Tablo 3.1.	Blok diyagram yöntemi ile güvenilirlik hesaplamaları.....	28
Tablo 3.2.	Durum ve zaman uzayına göre kullanılacak Markov prosesi....	31
Tablo 3.3.	İki elemanlı sistemin zaman aralığı – durum olasılığı tablosu...	34
Tablo 3.4.	İki elemanlı iki durumlu bir sistemin ve kapısıyla bağlanması..	50
Tablo 3.5.	İki elemanlı iki durumlu bir sistemin veya kapısıyla bağlanması.....	50
Tablo 3.6.	İki elemanlı iki durumlu bir sistemin inhibit kapısıyla bağlanması.....	51
Tablo 3.7.	İki elemanlı iki durumlu bir sistemin nor kapısıyla bağlanması.	51
Tablo 3.8.	İki elemanlı iki durumlu bir sistemin nand kapısıyla bağlanması.....	52
Tablo 3.9.	İki elemanlı iki durumlu bir sistemin xor kapısıyla bağlanması	52
Tablo 3.10.	Yöntemlerin karşılaştırılması.....	54
Tablo 4.1.	Üretim sistemi modeli.....	71
Tablo 4.2.	İletim sistemi modeli.....	71
Tablo 4.3.	Durum olasılıkları ve sıklıklar.....	71
Tablo 4.4.	Yük noktası indisleri.....	72
Tablo 4.5.	Yük noktası indisleri – olasılık.....	73
Tablo 4.6.	Yük noktası indisleri – sıklık.....	73
Tablo 4.7.	Üretim sistemi verileri.....	74
Tablo 4.8.	İletim sistemi verileri.....	74
Tablo 4.9.	İletim sistemi istatistikleri.....	76
Tablo 4.10	Durum olasılıkları.....	77

Tablo 4.11	Durum olasılıkları.....	77
Tablo 4.12	Yıllık yük noktası indisleri.....	79
Tablo A.1	2 adet 3 MW üretim kapasiteli ünitenin çalışmama olasılıkları.	105
Tablo A.2	5 MW ünite devrede iken sistemin çalışma olasılığı.....	105
Tablo A.3.	5 MW ünite devrede değilken sistemin çalışma olasılığı.....	105
Tablo A.4.	3 üniteli sistem için kapasite kaybı olasılık tablosu.....	106
Tablo A.5.	Sistem verileri.....	106
Tablo A.6.	50 MW 3 durumlu sistem olasılığı.....	107
Tablo A.7.	LOLE için tepe yük verileri.....	109
Tablo A.8.	Üretim sistemi durum olasılıkları.....	110
Tablo A.9.	İletim sistemi durum olasılıkları.....	110
Tablo A.10.	Üretim sistemi ünitelerinin durum değerleri.....	110
Tablo A.11.	Sistem durum değerleri.....	111
Tablo A.12.	Yük noktası indisleri.....	114
Tablo A.13.	Yıllık sistem indisleri.....	115

ÖZET

Anahtar kelimeler: Güvenilirlik, iletim sistemi, sağlanabilirlik, blok diyagram yöntemi, markov analizi, hata ağacı yöntemi, radyal sistemler

Enerji, insanoğlu için vazgeçilmez bir kaynaktır. Aydınlatmada, üretimde, ısınmada vb. gibi hayatımızın her alanında varlığını sürdürmektedir. Elektrik enerjisi bu enerji türleri içerisinde önemli bir yere sahiptir.

Hayatımızda bu kadar öneme sahip olan enerjinin son kullanıcıya kesintisiz ve temiz bir şekilde ulaştırılabilmesi için güvenilirlik kavramı geliştirilmiştir.

Güvenilirlik, müşteri tarafından talep edilen miktardaki elektriğin her noktaya kaliteli bir şekilde iletilmesini sağlamak amacıyla güç sistemi elemanlarının yetenekleriyle ilgilenir.

Bu çalışmada güvenilirliğin tanımı yapılmış ve güvenilirlik kavramları açıklanmıştır. Güvenilirlik hesaplama yöntemleri ışığında enerji iletim sistemlerinde güvenilirlik değerlendirmesi yapılmıştır.

SUMMARY

Key Words: Reliability, transmission system, availability, reliability block diagram, markov analysis, fault tree analysis, radial configurations.

Energy is an indispensable source for humankind. It continues its existence all of our lives as lighting, producing, heating etc. The electrical energy has an important place in these energy types.

The reliability conception has been developed for transmitting the electric energy which is very important for our lives to the last customer as uninterrupted and clear.

Reliability refers to the ability of power system components to deliver electricity to all points of consumption, in the quantity and with the quality demanded by the customer.

In this thesis study, the meaning of the reliability is described and the conceptions of the reliability are explained. By using reliability calculating techniques, the assessment of the reliability is done in energy transmission systems.

BÖLÜM 1. GÜVENİLİRLİK KAVRAMI

1.1. Giriş

Güvenilirlik, ürünün tasarlanmış özelliklerini tam olarak yerine getirebilmesi için, ürünün kabiliyeti üzerine odaklanan geniş bir terimdir. Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse güvenilirlik, bir ürünün zaman sıfır iken sahip olduğu özelliklerinin, zaman sıfırdan farklı iken belirli koşullar altında ve belirli bir zaman aralığında hata vermeden çalışma olasılığıdır.

Kuzey Amerika Elektrik Güvenilirlik Konseyi (NERC)'e göre güvenilirlik; talep edilen miktarda ve kabul edilebilir standartlarda olan gücün müşteriye ulaştığında, elektrik sistemi elemanlarının performans sonucunun derecesidir. Başka bir deyişle güvenilirlik, müşteri tarafından talep edilen miktardaki enerjinin her noktaya kaliteli bir şekilde iletilmesini sağlamak amacıyla güç sistemi elemanlarının yetenekleriyle ilgilenir [1].

Güvenilirliği çevreleyen iki temel kavram vardır: Yeterlilik ve güvenlik. Yeterlilik, müşterinin talep ettiği elektrik enerjisinin kesintisiz olarak sistem tarafından karşılanabilmesidir [NERC 1996]. Bunun anlamı; rezerv oranı ve tepe durumlarını içeren enerji ihtiyaçlarının her zaman karşılanabilmesi için yeterli üretim ve iletim kaynaklarının mevcut olması gerekmektedir. Bu yüzden yeterlilik, statik sistem durumları, uzun süreli planlama ve yatırım ile alakalıdır [2].

Güvenlik, sistemin ani değişikliklere karşı koyma yeteneği olarak tanımlanır [NERC 1996]. Diğer bir deyişle, planlı veya planlanmamış bir devre dışı durumunda veya herhangi bir eleman arızasında sistemin bozulmadan kalma yeteneğidir. Güvenlik sistem dinamikleri ve kısa süreli işletmelerle ilgilidir. Güvenilirlik, yeterlilik ve

güvenlik şartlarını, yani hem kısa dönemde hem de uzun dönemde işletimleri inceleyen elektrik bilimidir [2].

1.2. Güvenilirliğin Önemi

Güvenilirliğin neden önemli olduğu konusunda şunlar söylenebilir:

Ün: Bir firmanın ünü, imal ettiği ürünlerle doğru orantılıdır. Firma ne kadar güvenilir ürün üretirse, tercih edilme oranı da o oranda artar.

Müşteri memnuniyeti: Güvenilir bir ürün müşteri memnuniyetini artırırken, güvenilirliği zayıf bir ürün müşteri memnuniyetsizliğine yol açar ve firmanın güvenilirliğini negatif yönde etkiler. Bu yüzden kullanılan elemanların güvenilirliği müşteri memnuniyeti açısından da önemlidir.

Garanti Ücreti: Eğer bir ürün garanti süresince işletim sırasında hata verirse, yenilenmesi veya tamiri karı azaltır ve bakım zorunluluğu getirir. Güvenilirlik analizinde doğru değerlendirmeleri yapmak ürünün güvenilirliği açısından çok önemlidir.

Ürünün güvenilirliği firmanın da güvenilirliğini etkilediğinden sonraki iş bağlantıları açısından da önemlidir. Güvenilir bir ürün sunan firma işini ciddi yaptığı ve müşteri memnuniyetini ön planda tuttuğu düşüncesini doğurur ve bu, firmanın tekrar iş alması açısından pozitif bir etki yapar.

Maliyet Analizi: İmalatçılar güvenilirlik bilgilerini alıp bunları ürünlerinin fiyatlarıyla birleştirirler. Bu tür bir analiz eğer ürün yeterli güvenilirlikte değilse maliyeti artırabilir. Bu da diğer firmaların ürünlerinin fiyatlarından fazla olması anlamına gelir.

Müşteri Gereksinimleri: Bugün birçok müşteri deneyimlerle ne tür bir güvenilirlik analizine ihtiyaç duyduğunu bilir.

BÖLÜM 2. GÜVENİLİRLİK FONKSİYONU VE TEMEL GÜVENİLİRLİK KAVRAMLARI

2.1. Giriş

Güvenilirlik fonksiyonu, belirli bir zaman süresince bir elemanın arızalanmadan çalışma olasılığı olarak tanımlanabilir.

Bir eleman için iki durum söz konusudur. Arızalı veya çalışır olma durumu. X olası durumlar olarak adlandırılırsa, X'in iki farklı değer (0 ve 1) alabildiği bu gibi durumlarda X, ayrık değişkenler olarak tanımlanır.

X değişkeni ürün veya elemanın arızalanma zamanında sıfırdan sonsuza değerler alabilir. Sıfır zamanından sonra eleman herhangi bir zamanda arızalanabilir. Bu yüzden X, bu süreç içinde herhangi bir değer alabilir. Bu durumda X, sürekli rasgele değişken olarak adlandırılır.

2.2. Olasılık Yoğunluğu ve Kümülatif Olasılık Fonksiyonu

Olasılık yoğunluğu $f(x)$, kümülatif olasılık yoğunluğu $F(x)$ olarak tanımlansın. Sürekli rasgele değişken X ise, olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(x)$ a ve b gibi iki değer alır. $a \leq b$ için

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x)dx \quad (2.1)$$

olur. Kümülatif olasılık fonksiyonu ise şu şekilde tanımlanmıştır:

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(s)ds \quad (2.2)$$

Olasılık yoğunluğu ve kümülatif olasılık yoğunluğu arasındaki ilişki

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(s)ds \Rightarrow f(x) = -\frac{d(F(x))}{dx} \quad (2.3)$$

formülüyle ifade edilir. Sonsuz zaman aralığında olasılık fonksiyonu 1'e eşittir.

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1 \quad (2.4)$$

2.3. Güvenilirlik Fonksiyonu

Bir sistem veya elemanın, çalışma koşullarında, belirlenen bir zaman aralığında çalışma olasılığına güvenilirlik denir [3]. Güvenilirlik $R(t)$ ile ve güvenilmezlik $Q(t)$ ile gösterilirse:

$$R(t) + Q(t) = 1 \quad (2.5)$$

olarak modellenir.

Matematiksel olarak ifade etmek için, öncelikle güvenilmezlik fonksiyonu belirlenmelidir. Arızalanma olasılığı olarak tanımlanan $Q(t)$, kümülatif olasılık yoğunluğu ($F(t)$) fonksiyonuna eşittir.

$$F(t) = Q(t) = \int_0^t f(s)ds \quad (2.6)$$

t süresi sonsuza giderken sistemin güvenilirlik oranı fonksiyonel olarak azalır.

$$Q(t) + R(t) = 1$$

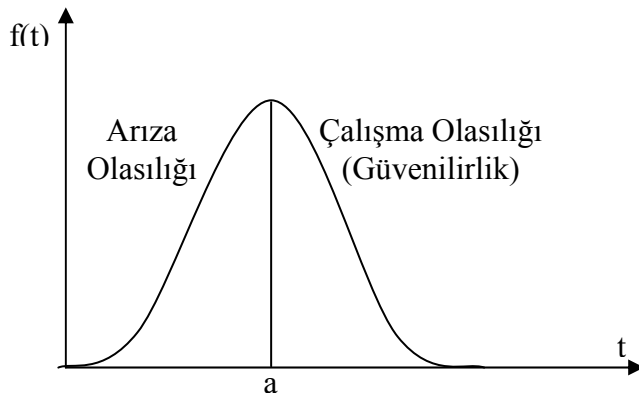
$$R(t) = 1 - Q(t)$$

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

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

$$f(t) = \frac{d(R(t))}{dt} \quad (2.7)$$

Şekil 2.1 kümülatif yoğunluk fonksiyonu (veya güvenilmezlik) ile güvenilirlik arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 2.1. Güvenilirlik ve güvenilmezlik fonksiyonu arasındaki ilişki

Güvenilirlik fonksiyonunun elde edilme süreci eksponansiyel dağılım ile gösterilir.

Bu durumda:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.8)$$

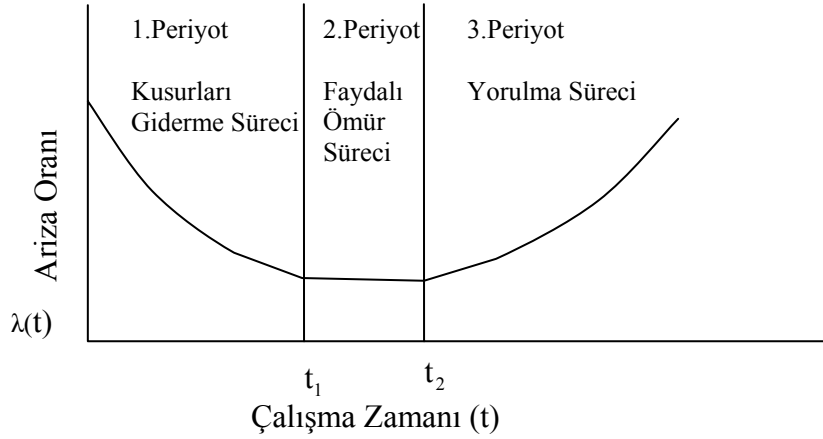
olarak elde edilir. λ arıza oranı olarak tanımlanır.

$$R(t) = 1 - \int_0^t \lambda e^{-\lambda s} ds$$

$$R(t) = 1 - [1 - e^{-\lambda t}]$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.9)$$

Böylece sabit bir arıza oranı, üstel fonksiyonlu rasgele arıza zamanına sebep olur. Aşağıda elektronik malzemeler için risk oranı eğrisi görülmektedir.



Şekil 2.2 Arıza oranı eğrisi

Kusurları Giderme Süreci: Montaj ve fabrikasyon hatalarından meydana gelir. Zamanla hataların giderilmesiyle azalır.

Faydalı Ömür Süreci: Sistemin arızaları giderildikten sonra sistemden maksimum faydanın sağlandığı süreçtir ve arıza oranı sabit kalır. Arızalar şans arızaları veya felaket arızalarıdır.

Yorulma Süreci: Sistem elemanlarının yıpranmasından dolayı zamanla performansları düşer ve arızalar tekrar ortaya çıkmaya başlar.

İşte güvenilirlik t_2 zamanının tahmini ve sistemden maksimum faydayı sağlamayı amaçlar. t_2 zamanı tahmin edilebilirse, eleman yorulması başlamadan yenisiyle değiştirilerek sistem performansının olumsuz etkilenmesinin önüne geçilir [3].

2.4. Temel Güvenilirlik Kavramları

Tablo 2.1.'de sıkça kullanılan güvenilirlik tanımları ve açıklamaları yer almaktadır.

Tablo 2.1. Temel güvenilirlik kavramları

Tanım	Açıklama
Arıza Oranı	Belirli bir zaman periyodunda meydana gelen arıza sayısıdır. Arıza oranı; genel olarak milyon veya milyar saatte meydana gelen arıza sayısını belirtir.
Arızalar Arası Ortalama Zaman (MTBF)	İki arıza arası geçen zamandır.
Ortalama Arıza Zamanı (MTTF)	Tamir edilemeyen sistemler için ortalama arıza zamanını verir.
Güvenilirlik (R(t))	Sistemin belirli koşullar altında ve belirli bir zaman aralığında arızalanmadan çalışma olasılığıdır. Güvenilirlik olasılıktır ve daima 0 ile 1 arasında bir değerdir.
Sağlanabilirlik (A)	Sağlanabilirlik bir sistemin “nasıl oluyor da x saat boyunca çalışabiliyor” sorusuna cevap veren olasılıktır. Güvenilirlikten farklıdır. Sağlanabilirliğin bulunabilmesi için ortalama tamir zamanı bilinmelidir.
Ortalama Tamir Zamanı (MTTR)	Sistemin arızalandıktan sonra tekrar işleme geçmesi arasındaki zamanı belirtir. Genel olarak arızalanan elemanın temin edilme süresi MTTR'ye dahil edilmez.
Güvenilmezlik (Q(t))	Güvenilirliğin tamlayanıdır. Güvenilirlik 0,9 ise güvenilmezlik 0,1'dir. 0 ile 1 arası bir değer alır.
Sağlanamamazlık (U)	Sağlanabilirliğin tamlayanıdır. 0 ile 1 arasında bir değer alır.

Bir elemanın faydalı ömrü;

$$E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \text{ formülüyle bulunur. Buradan;} \quad (2.10)$$

$$f(t) = -\frac{d}{dt}R(t) \quad \Rightarrow \quad E(t) = -\int_0^{\infty} t \frac{dR(t)}{dt} dt \quad (2.11)$$

elde edilir. Kısmi integrasyon ile;

$$E(t) = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.12)$$

bulunur. Buradan;

$$E(t) = \int_0^{\infty} \left\{ \exp \left[-\int_0^t \lambda(t) dt \right] \right\} dt$$

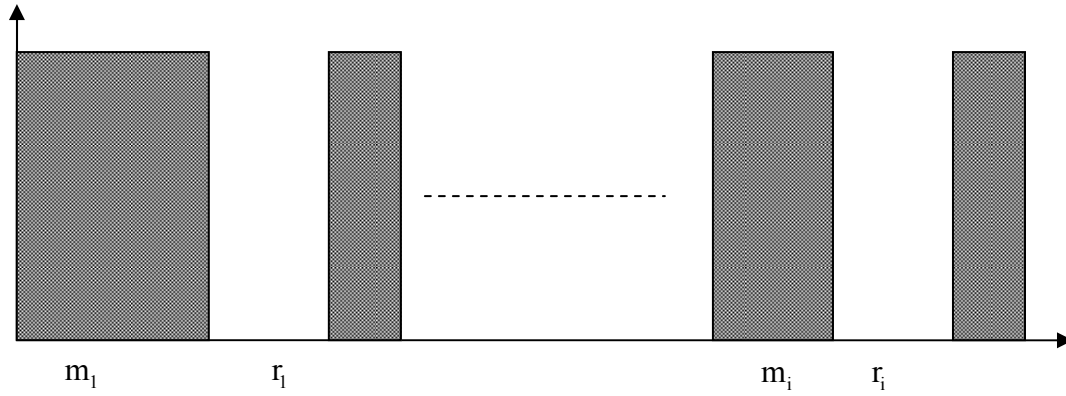
$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \lambda = \text{Lambda Tau sabiti}$$

$$E(t) = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.13)$$

olarak bulunur.

MTBF; arızalar arası ortalama zaman olarak bilinir. İsminden da anlaşılacağı üzere arızalar arası ortalama zamanı verir. Sistem bir arızadan sonra onarıldığında veya sistemdeki bir eleman yeni bir eleman ile değiştirildiğinde kullanılabilir. Onarım yapılabilen veya elemanları değiştirilebilen sistemler, tamir edilebilen sistemler olarak adlandırılır.

Onarılan bir elemandan sonra sistem tekrar işleme alındığında bir süre sonra tekrar arızaya geçebilir ve işletim tekrar duraksayabilir. Bu yüzden art arda gelen iki arıza arasındaki zaman tamir zamanı ve arıza zamanı olarak ikiye ayrılabilir. Hatalar arası zaman arıza-tamir döngü zamanı olarak adlandırılır.



Şekil 2.3. Tek eleman için durum uzay diyagramı

- m: Ortalama Arıza Zamanı
n: Toplam Devir Sayısı
r: Ortalama Tamir Zamanı

MTBF umulan arıza-tamir döngü zamanı değerini verir. Bu yüzden ortalama devir sayısı olarak adlandırılır.

Sistem iyi bir sistemle değiştirilmiş ise $E(t)$ faydalı ömür ortalama arıza zamanı olarak tanımlanır.

$$MTTF = \bar{m} = \frac{1}{\lambda} \text{ 'dir.} \quad (2.14)$$

Sistem tamir ve bakımdan dolayı yenilenmişse;

$$MTBF = \bar{T} = \bar{m} + \bar{r} \quad (2.15)$$

olur. Ortalama tamir oranı, ortalama tamir zamanının tersine eşittir. $\mu =$ Ortalama tamir zamanı ise;

$$MTTR = \bar{r} = \frac{1}{\mu} \quad (2.16)$$

olarak bulunur. Bir eleman birden fazla defa arızaya geçebilir. Bu durumda;

$$MTTF = \bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} \quad \text{ve} \quad MTTR = \bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n} \quad (2.17)$$

bulunur.

$$MTBF = MTTF + MTTR$$

$$\bar{T} = \bar{m} + \bar{r}$$

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu} = \frac{\mu + \lambda}{\lambda\mu}$$

olur. Arızalar arası ortalama zamanın (T) tersi arıza sıklığı olarak adlandırılır ve f ile gösterilir.

$$\bar{f} = \frac{1}{\bar{T}} \quad \bar{f} = \frac{\lambda\mu}{\lambda + \mu} \quad (2.18)$$

2.5. Sağlanabilirlik

Tamir edilebilen sistemler için sağlanabilirlik kavramı ortaya çıkmaktadır. Sağlanabilirlik tamir edilebilen bir eleman veya sistemin hem güvenilirlik hem de bakım için ihtiyaç duyduğu bir performans ölçütüdür. Sağlanabilirlik, sistem kullanılmak istendiğinde, sistemin düzgün çalışabilme olasılığı olarak tanımlanır. Sağlanabilirlik güvenilirlik gibi zaman kavramı ile bağlantılı bir terimdir [4].

Tablo 2.2.'de güvenilirlik, bakım ve sağlanabilirlik arasındaki ilişki gösterilmiştir. Tablo 2.2.'den de görüleceği üzere, sistemin tamir edilebilirliği veya güvenilirliği arttığında, sağlanabilirlik olasılığı da artış göstermektedir.

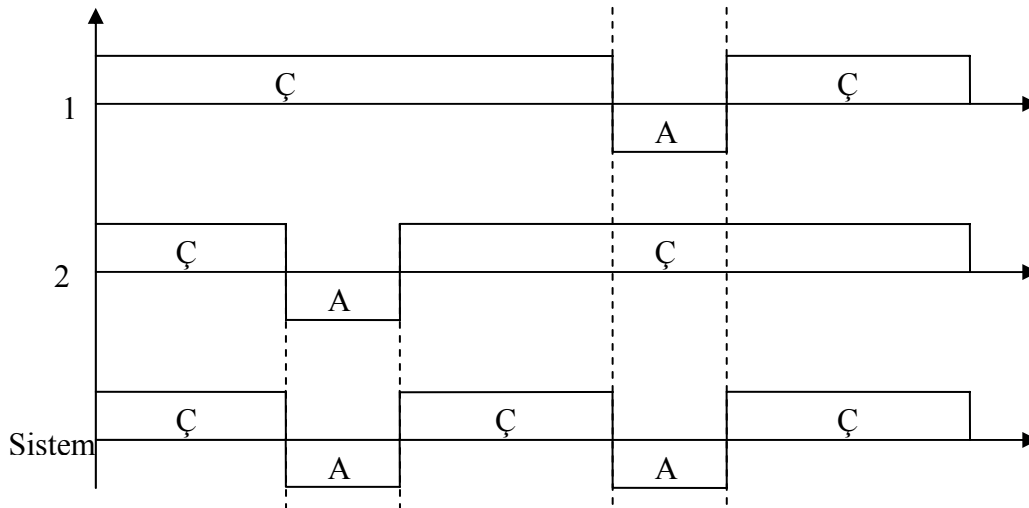
Tablo 2.2. Güvenilirlik, tamir edilebilirlik ve sağlanabilirlik arasındaki ilişki

Güvenilirlik	Tamir Edilebilirlik	Sağlanabilirlik
Sabit	Düşüş	Düşüş
Sabit	Artış	Artış
Artış	Sabit	Artış
Düşüş	Sabit	Artış

2.5.1. Yineleme teorisi

Tamir edilebilen bir sistem için işletim süresi sürekli değildir. Başka bir deyişle, tamir edilebilen sistemlerin çalışma zamanları çalışır – arızalı olarak tanımlanır. Sistem arızalanır, tamir edilir ve tekrar çalışır. Bu döngü devam eder. Bu sürece yineleme süreci adı verilir [4]. Bu yineleme sürecindeki değişkenler arıza zamanı ve tamir zamanı olarak adlandırılır.

Sistemin yineleme süreci, sistemi oluşturan elemanların yineleme süreçleri ile orantılıdır. Örneğin, bir birinden bağımsız iki elemanlı seri bir sistem ve bu sistemin çalışması şekil 2.4.'te gösterildiği gibi olsun.



Şekil 2.4. İki elemanlı seri bir sistemin işletim periyodu

Elemanlardan biri arızalandığında sistem arızaya geçer ve onarıldığında sistem tekrar çalışır. Farklı bir zamanda farklı bir eleman arızalandığında söz konusu eleman tamir edilene kadar sistem yine arızalı durumda olur.

2.5.2. Sağlanabilirliğin sınıflandırılması

Sağlanabilirlik terimi esnek ve geniş bir terimdir. Analizde hangi tür arızalanma seçildiğine bağlı olarak farklılık gösterir. Sağlanabilirlik birkaç biçimde ifade edilebilir.

1. Anlık Sağlanabilirlik
2. Ortalama Sağlanabilirlik
3. Sürekli Sağlanabilirlik
4. Kazanılmış Sağlanabilirlik
5. İşletme Sağlanabilirliği

2.5.2.1. Anlık sağlanabilirlik $A(t)$

Herhangi bir t anında sistemin işletilme olasılığıdır. $0 - t$ süresince $R(t)$ olasılığına sahip çalışan bir sistemin son tamir edilme zamanı u ise, $0 < u < t$ için;

$$\int_0^t R(t-u)m(u)du \quad (2.19)$$

olur. $m(u)$, sistemin yenileme yoğunluk fonksiyonudur. Buradan;

$$A(t) = R(t) + \int_0^t R(t-u)m(u)du \quad (2.20)$$

olarak bulunur [5].

2.5.2.2. Ortalama sağlanabilirlik

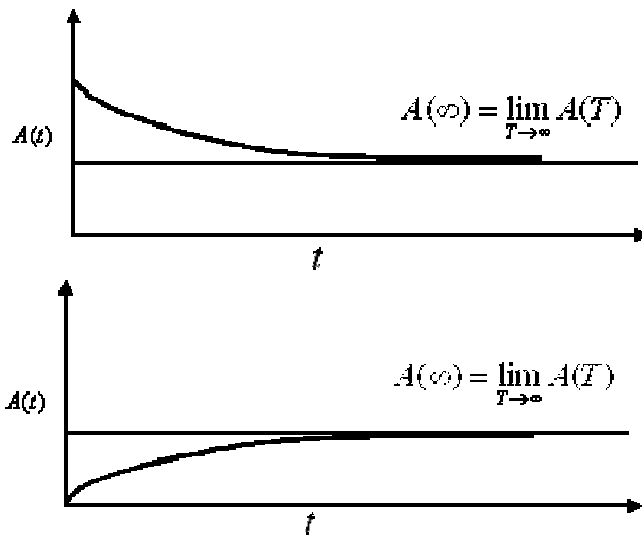
Bir periyot süresince sistemin sağlanabilirliğinin incelenmesiyle elde edilir.

$$\overline{A(t)} = \frac{1}{t} \int_0^t A(u) du \quad \text{formülüyle bulunur.} \quad (2.21)$$

2.5.2.3. Sürekli sağlanabilirlik

Zaman sonsuza yaklaştığında elde edilen sağlanabilirlik değeridir. Şekil 2.5.'te grafiksel olarak gösterilmiştir.

$$A(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) \quad (2.22)$$



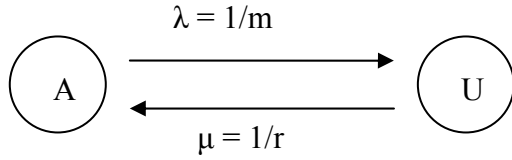
Şekil 2.5. Anlık sağlanabilirliğin sürekli sağlanabilirliğe yaklaşma grafiği

Sürekli sağlanabilirlik, sistem sağlanabilirlik değerinin sabit olduğu değer olarak düşünülebilir.

2.5.2.4. Doğal sağlanabilirlik

Sadece düzeltici bakım ihtiyacı olan sistemlerde kullanılan sürekli sağlanabilirlik türüdür. En sık kullanılan sağlanabilirlik, doğal sağlanabilirliktir. Bir eleman için iki

durum söz konusudur: Çalışma durumu (A) ve arıza durumu (U). Çalışma durumu sağlanabilirlik ve arıza durumu sağlanamamazlık olarak ele alınır.



Şekil 2.6. İki elemanlı bir sistemin durum uzay diyagramı

$$A + U = 1 \text{ 'dir.} \quad (2.23)$$

t zamanı sonsuza giderken;

$$A = \frac{MTTF}{MTBF} = \frac{\bar{m}}{\bar{T}} \text{ olur.} \quad (2.24)$$

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad \text{ve} \quad \bar{T} = \bar{m} + \bar{r}$$

$$\Rightarrow A = \frac{\bar{m}}{\bar{m} + \bar{r}} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (2.25)$$

olur. $A+U=1 \Rightarrow U=1-A$ olduğundan;

$$U = 1 - \frac{MTTF}{MTBF}$$

$$MTBF = MTTF + MTTR$$

$$U = 1 - \frac{MTTF}{MTBF} = \frac{MTBF - MTTF}{MTBF} = \frac{MTTR}{MTBF}$$

$$U = \frac{\bar{r}}{\bar{T}} = \frac{\bar{r}}{\bar{m} + \bar{r}}$$

$$U = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (2.26)$$

olarak formüle edilir. Tamir edilemeyen sistemlerde sistem sadece bir kere arızaya geçer. Daha sonra değiştirilmesi gerekir. Bu yüzden arızalar arası ortalama zaman kavramı mevcut değildir. Bu tür sistemlerde işlemler ortalama arıza zamanına göre yapılır.

2.5.2.5. Kazanılmış sağlanabilirlik

Doğal sağlanabilirlikle benzerlik göstermekle beraber, doğal sağlanabilirlikte önleyici bakım da hesaplamalara dahil edilir. Bakımlar arası ortalama zaman MTBM ve ortalama bakım zamanı \bar{M} ise:

$$A_A = \frac{MTBM}{MTBM + M} \quad \text{olur.} \quad (2.27)$$

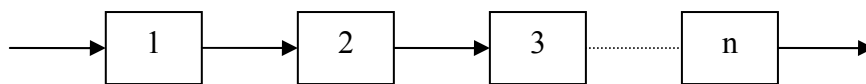
2.5.2.6. İşletme sağlanabilirliği

Sistemin çalışma zamanının, toplam çalışma süresine oranı olarak tanımlanır.

$$A_o = [\text{Çalışma Süresi}] / [\text{Toplam İşletim Süresi}] \quad (2.28)$$

2.6. Seri ve Paralel Yapılı Sistemlerde Güvenilirlik

2.6.1. Seri sistemler



Şekil 2.7. n elemanlı seri bir sistem

Seri bir sistemde, elemanlardan herhangi birinin arızalanması tüm sistemin arızalanmasına sebep olur. Başka bir deyişle, sistemin çalışabilmesi için, sistemi oluşturan tüm elemanların çalışır durumda olması gerekmektedir. Şekil 2.7'deki n elemanlı sistemin güvenilirliği:

$$R_s = P(X_1 \cap X_2 \cap \dots \cap X_n)$$

$$R_s = P(X_1)P(X_2 | X_1)P(X_3 | X_1X_2)\dots P(X_n | X_1X_2\dots X_{n-1})$$

R_s : Sistem güvenilirliği

X_i : i elemanının çalışma olayı

$P(X_i)$: i elemanının çalışma olasılığı

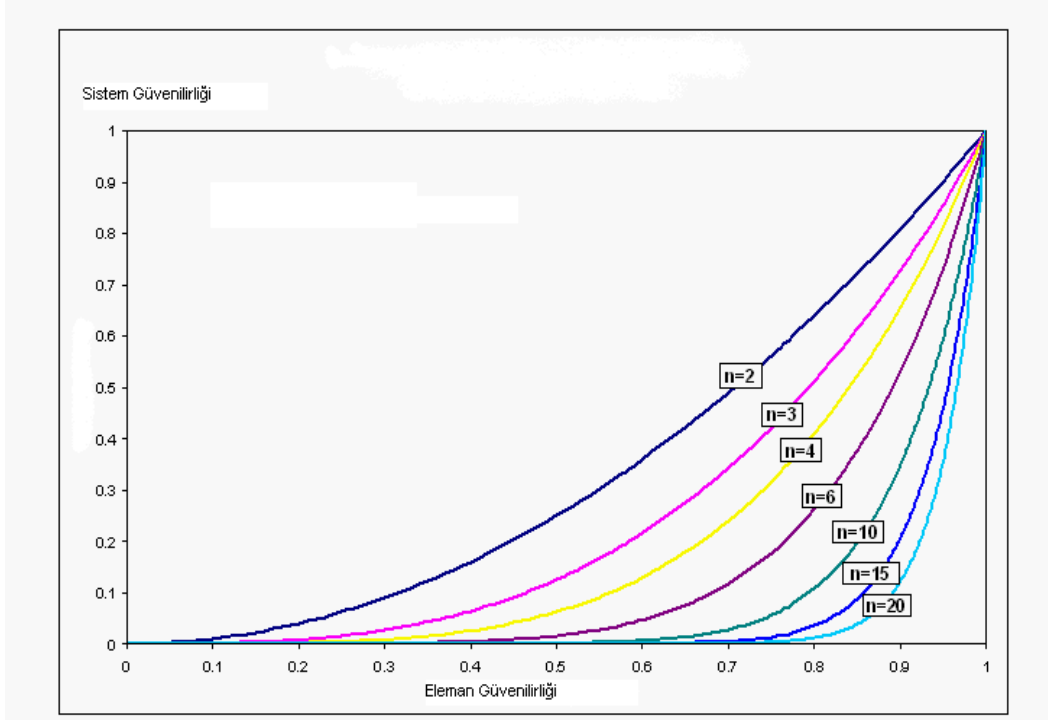
Görüldüğü üzere bir elemanın arızası diğer elemanların arıza oranlarını etkilemektedir. Birbirinden bağımsız elemanlardan oluşan seri bir sistemin güvenilirliği;

$$R_s = P(X_1)P(X_2)P(X_3)\dots P(X_n)$$

$$R_s = \prod_{i=1}^n P(X_i)$$

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2.29)$$

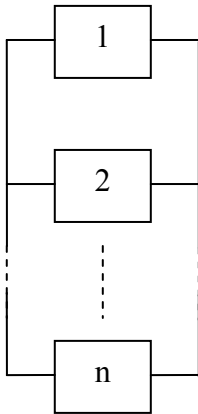
formülüyle bulunur. Seri bir sistemin güvenilirliği kendisini oluşturan elemanların güvenilirliklerinin çarpımıyla elde edilir. Seri bir sistemde eleman sayısı arttıkça sistemin güvenilirliği azalır.



Şekil 2.8. Farklı sayıda aynı özellikli eleman içeren seri sistemin güvenilirlik eğrileri

2.6.2. Paralel sistemler

Şekil 2.9'daki n elemanlı basit yapıllı paralel sistemin çalışabilmesi için, sistemi oluşturan elemanlardan herhangi birinin çalışması, sistemin çalışması anlamına gelmektedir. Birbirinden bağımsız n elemandan oluşan paralel bir sistemin arıza olasılığı veya güvenilmezliği, sistemdeki tüm elemanların arıza olasılığıyla elde edilir.



Şekil 2.9. n elemanlı paralel sistem

$$Q_s = P(X_1 \cap X_2 \cap X_3 \cap \dots \cap X_n)$$

$$Q_s = P(X_1)P(X_2 | X_1)P(X_3 | X_1 X_2) \dots P(X_n | X_1 X_2 \dots X_{n-1})$$

olur. Burada,

Q_s : Sistem güvenilmezliği

X_i : i elemanın arıza olayı

$P(X_i)$: i elemanın arızalanma olasılığı

$$Q_s = P(X_1)P(X_2)P(X_3) \dots P(X_n)$$

$$Q_s = \prod_{i=1}^n P(X_i)$$

$$Q_s = \prod_{i=1}^n Q_i \quad (2.30)$$

Paralel bir sistemi oluşturan elemanların güvenilmezliklerinin çarpımı, sistem güvenilmezliğini verir. Sistem güvenilirliği ise;

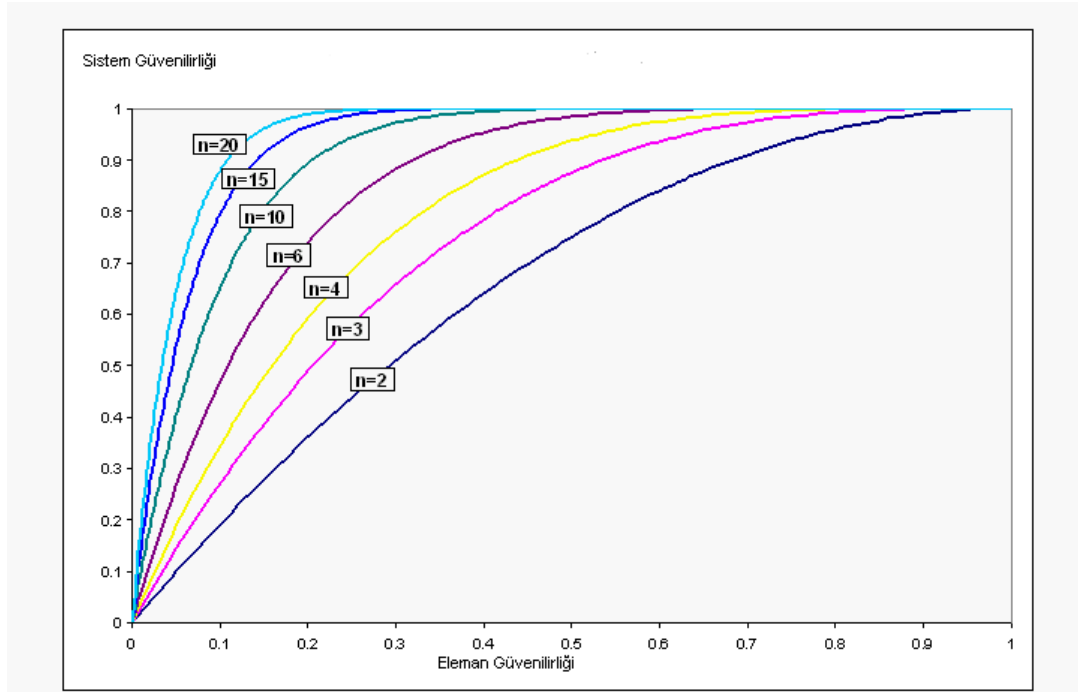
$$R_s = 1 - Q_s$$

$$R_s = 1 - [(1 - R_1)(1 - R_2) \dots (1 - R_n)]$$

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (2.31)$$

olarak bulunur.

Bir sistemde paralel eleman sayısı arttıkça sistem güvenilirliği pozitif yönde etkilenir.



Şekil 2.10. Farklı sayıda aynı özellikli eleman içeren paralel sistemin güvenilirlik eğrileri

2.7. Tamir Edilebilen Sistemler

Tamir edilebilen sistemler, sistemde bir arıza olduğunda, sistem elemanlarını tamir etme / yenileme gibi bakım olaylarını beraberinde getirir. Bu da sistemin genel yapısını değiştirir. Sistemde tamir edilebilen bir eleman varsa bu eleman, sistemin davranışını etkiler. Çünkü sistemdeki elemanların ömürleri yenileme sebebiyle farklılık gösterecektir. Sistem davranışını kavrayabilmek için ek modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde tamir edilebilen sistemler hakkında bilgi verilecektir.

2.7.1. Bakım

Bakım, işletim esnasında arızalı olan ünitenin yenilenmesi ve tekrar çalışır duruma gelmesi olarak tanımlanabilir. Tamir edilebilen sistemler için bakım sistemin ömrü açısından başrol oyuncusudur. Sistemin güvenilirlik, sağlanabilirlik, işletim masrafları gibi tüm davranışlarını etkilemektedir. Bakım üç ana başlık altında incelenebilir.

2.7.1.1. Düzeltici bakım

Sistem bir hatadan dolayı kesintiye uğradığında uygulanan bakım yöntemidir. Arızalı üniteyi tekrar devre almak için uygulanan bakım yöntemidir. Düzeltici bakımın ne zaman uygulanacağı bilinemez. Çünkü eleman arızası herhangi bir zamanda meydana gelebilir. Düzeltici bakım üç adımda uygulanır.

Problemin Teşhisi: Bakım ekibi sistemdeki arızalı bölge ve elemanları belirler.

Onarım/Değiştirme: Arızalı elemanlar belirlendikten sonra gerekli müdahaleler yapılır.

Doğrulama: Arızalı eleman yenisiyle değiştirildikten veya onarıldıktan sonra doğru olarak çalıştığı bakım elemanlarınca test edilir.

2.7.1.2. Önleyici bakım

Önleyici bakım, düzeltici bakımdan farklı olarak, sistem arızaya geçmeden elemanların tamiri veya yenisiyle değiştirilmesi şeklinde uygulanır. Sistem elemanlarının arızalanmasını engellemek için uygulanan bakım yöntemidir. Periyodik bakımlar önleyici bakımlardır.

Önleyici bakımda sistem elemanının arızalanması o elemanın kullanım ömrü ile alakalıdır. Aynı özellik ve tipte iki elemanın, üretim koşullarına ve işletim koşullarına bakılmaksızın aynı sürede arızaya geçtiği kabul edilir. Fakat pratikte her ürünün maruz kaldığı işletim koşulları farklıdır. Bu yüzden önleyici bakım metodu bakım planları için uygun bir plan değildir.

2.7.1.3. Denetimler

Denetimler gizli arızaları ortaya çıkarmak için kullanılırlar. Gizli arıza, etkin olmayan arıza olarak da adlandırılır. Denetim esnasında eleman arızalanmadığı sürece elemana herhangi bir bakım uygulanmaz veya kısmi müdahaleler yapılır.

2.7.2. Tamir edilebilen seri sistemler

İki elemanlı seri bir sistem için,

A_1 ; 1. elemanın sağlanabilirliği

A_2 ; 2. elemanın sağlanabilirliği

m_1 ; 1. elemanın ortalama arıza zamanı

m_2 ; 2. elemanın ortalama arıza zamanı

r_1 ; 1. elemanın ortalama tamir zamanı

r_2 ; 2. elemanın ortalama tamir zamanı

λ_1 ; 1. elemanın arıza oranı

λ_2 ; 2. elemanın arıza oranı

olsun. Tamir edilebilen seri sistemler için sağlanabilirlik

$$A_{\text{sis}} = A_1 \times A_2 \quad \text{formülü ile hesaplanır.} \quad (2.32)$$

$$A_1 = \frac{\bar{m}_1}{\bar{m}_1 + \bar{r}_1} \quad \text{ve} \quad A_2 = \frac{\bar{m}_2}{\bar{m}_2 + \bar{r}_2} \quad \text{ise;}$$

$$A_{\text{sis}} = \frac{\bar{m}_1}{\bar{m}_1 + \bar{r}_1} \times \frac{\bar{m}_2}{\bar{m}_2 + \bar{r}_2} \quad (2.33)$$

Sistemin arıza sıklığı= (1. elemanın arıza sıklığı) x (2. elemanın sağlanabilirliği)
+ (2. elemanın arıza sıklığı) x (1. elemanın sağlanabilirliği)

$$f_{\text{sis}} = f_1 A_2 + f_2 A_1 \quad (2.34)$$

$$f_{\text{sis}} = \frac{1}{m_i + r_i} \quad (2.35)$$

formülleriyle hesaplanır.

$$A = \frac{\bar{m}}{m+r} \quad A = mf \quad m_{\text{sis}} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad m_{\text{sis}} = \frac{1}{\lambda_{\text{sis}}} \quad (2.36)$$

olduğundan iki elemanlı seri sistemin arıza oranı $\lambda_{\text{sis}} = \lambda_1 + \lambda_2$ olarak bulunur.

$$N \text{ elemanlı seri sistemin arıza oranı } \lambda_{\text{sis}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (2.37)$$

$$N \text{ elemanlı seri sistemin tamir süresi ise } r_{\text{sis}} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i r_i}{\lambda_{\text{sis}}} \quad (2.38)$$

olur.

2.7.3. Tamir edilebilir paralel sistemler

İki elemanlı paralel bir sistem için,

U_1 : 1. elemanın sağlanamazlığı

U_2 : 2. elemanın sağlanamazlığı

m_1 : 1. elemanın ortalama arıza zamanı

m_2 : 2. elemanın ortalama arıza zamanı

r_1 : 1. elemanın ortalama tamir zamanı

r_2 : 2. elemanın ortalama tamir zamanı

λ_1 : 1. elemanın arıza oranı

λ_2 : 2. elemanın arıza oranı

Tamir edilebilen seri sistemler için sağlanamazlık,

$$U_{\text{sis}} = U_1 \times U_2 \quad (2.39)$$

formülü yardımıyla bulunur.

$$U = 1 - A = \frac{\bar{r}}{1 + \lambda r}$$

$$U_{\text{sis}} = \frac{\bar{r}_1}{1 + \lambda_1 r_1} \frac{\bar{r}_2}{1 + \lambda_2 r_2}$$

$$f = \frac{\lambda}{1 + \lambda r}$$

olduğundan;

$$f_{\text{sis}} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (\bar{r}_1 + \bar{r}_2)}{(1 + \lambda_1 r_1)(1 + \lambda_2 r_2)} \quad \text{olarak bulunur. Buradan;} \quad (2.40)$$

$$U_{\text{sis}} = r_{\text{sis}} f_{\text{sis}}$$

$$r_{\text{sis}} = \frac{\bar{r}_1 \bar{r}_2}{r_1 + r_2}$$

$$U_{\text{sis}} = \frac{r_{\text{sis}}}{r_{\text{sis}} + m_{\text{sis}}}$$

$$m_{\text{sis}} = \frac{r_{\text{sis}} (1 - U_{\text{sis}})}{U_{\text{sis}}} \quad (2.41)$$

elde edilir. Buradan sistemin arıza oranı;

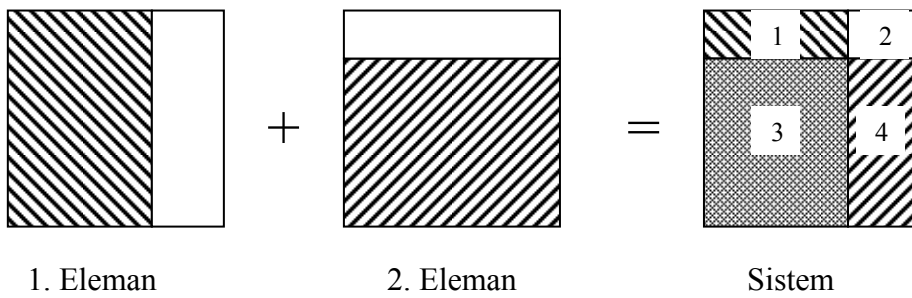
$$\lambda_{\text{sis}} = \frac{1}{m_{\text{sis}}}$$

$$\lambda_{\text{sis}} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (\bar{r}_1 + \bar{r}_2)}{1 + \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2} \quad (2.42)$$

şeklindedir.

2.8. Seri ve Paralel Sistemlerin Karşılaştırılması

Şekil 2.11'deki taralı alanlar elemanların çalışır durumları, beyaz alanlar ise elemanların arıza durumlarıdır. Seri sistemde 1 numaralı alanda 1. eleman; 4 numaralı alanda 2. eleman; 2 numaralı alanda hem 1. hem de 2. eleman arıza durumundadır. Seri sistemin çalışabilmesi için her iki elemanın da çalışması gerekiyordu. Bu durumda 1.,2. ve 4. bölgedeki durumlarda sistem arızada olacaktır. 3. bölgede ise her iki eleman da çalışır durumda olduğundan sistem çalışacaktır.



Şekil 2.11. İki elemanlı bir sistemin örneklenmesi

Paralel sistemde ise iki elemandan birinin çalışması yeterli olacağından yukarıdaki sistem 1,3 ve 4 numaralı alanlarda çalışacaktır. 2 numaralı alanda ise her iki elemanda arızalı olduğundan bu bölgede sistem arızaya geçecektir.

Sistem güvenilirliği açısından düşünüldüğünde paralel sistemler seri sistemlere oranla daha güvenilir sistemlerdir diyebiliriz.

2.9. Karmaşık Sistemler

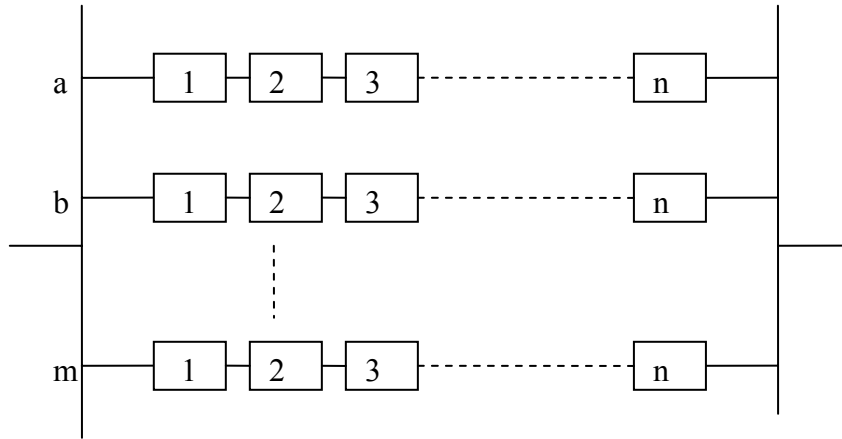
Sistem şekil 2.12'deki gibi seri elemanların paralel olarak birleşmesinden oluşuyorsa sistemin güvenilirliği;

$$R_a = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n$$

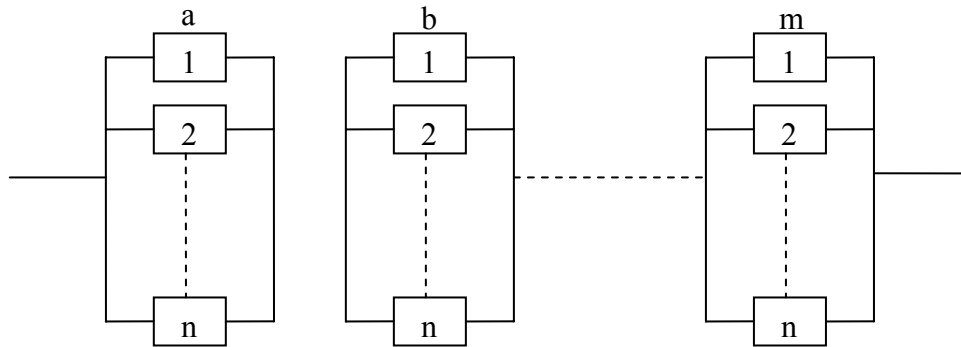
$$R_{sis} = 1 - [(1 - R_a) \times (1 - R_b) \dots (1 - R_n)]$$

formülüyle bulunur. Eğer tüm elemanların güvenilirlikleri birbirine eşit ise;

$$R_{\text{sis}} = 1 - (1 - R^n)^m \quad \text{olur.} \quad (2.43)$$



Şekil 2.12. Seri – paralel yapıli sistem



Şekil 2.13. Paralel – seri yapıli sistem

Eğer sistem şekil 2.13'teki gibi paralel elemanların seri birleşimi şeklinde ise sistem güvenilirliği;

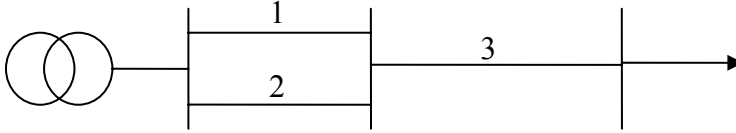
$$R_a = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \dots (1 - R_n)$$

$$R_{\text{sis}} = R_a \times R_b \times \dots \times R_m$$

ile hesaplanır. Tüm elemanların güvenilirlik değerleri birbirine eşit ise bu durumda sistem güvenilirliği;

$$R_{\text{sis}} = [1 - (1 - R)^m]^n \text{ olur.} \quad (2.44)$$

2.10. Basit Bir İletim Sisteminin İncelenmesi



Şekil 2.14. Basit bir iletim sistemi

Şekildeki sistemde arızalara göre sistemin çalışma durumları şöyledir:

1. eleman devre dışı 2 ve 3 numaralı elemanlar çalışıyorsa sistem 2 ve 3 yolunu takip ederek çalışmaya devam eder.

2. eleman devre dışı, 1 ve 3 numaralı elemanlar çalışıyorsa sistem 1 ve 3 yolunu takip ederek çalışmaya devam eder.

1. ve 2. eleman devre dışı ise sistem 3 numaralı eleman besleyemeyecek ve sistem çalışamayacaktır.

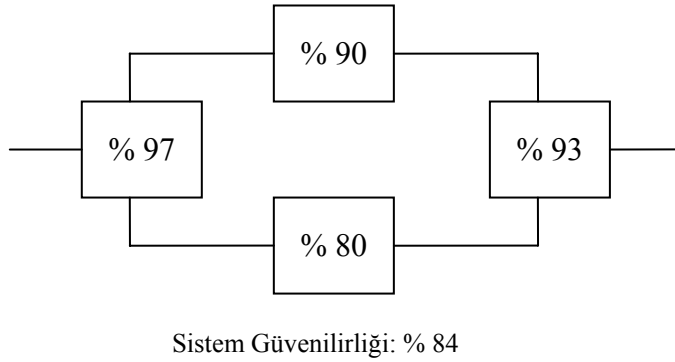
1 ve 2 numaralı elemanlar çalışıyor ve 3 numaralı eleman devre dışı ise sistem çalışamayacaktır.

1 veya 2 numaralı elemanlardan biri aşırı yük sebebiyle geçici olarak devreden çıktıysa yük azaltımına giderek diğer yoldan sistem beslenmeye devam edilebilir.

BÖLÜM 3. GÜVENİLİRLİK YÖNTEMLERİ

3.1. Blok Diyagram Yöntemi

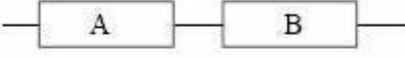
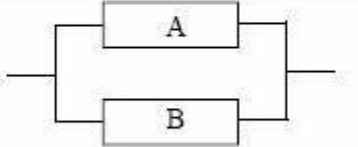
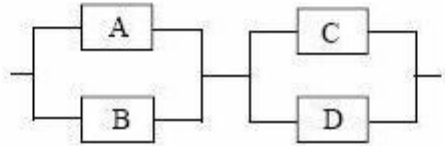
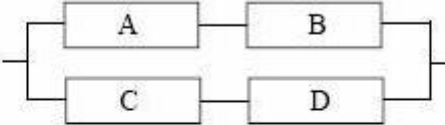
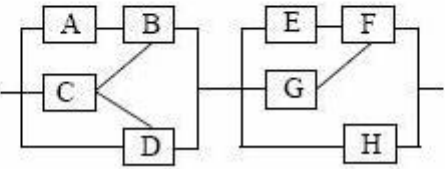
Blok diyagram yöntemi (RBD), sistem karakteristiği ve güvenilirliğini bulmak için lojik teknikleri kullanan grafiksel bir yöntemdir [6]. Sistemdeki her eleman bir blok ile ifade edilir. RBD, başarılı bir sistem için yol veya yolları gösterir. Her yol bloklardan ve konnektörlerden oluşmaktadır. Konnektörler, bloklar arası bağlantıları gösterir. Sistemdeki herhangi bir yol başarılı bir şekilde işletilebiliyorsa, sistem çalışmaktadır. Blok diyagramdaki tüm yollar arızalı ise sistem arızadadır [7]. Şekil 3.1.'de basit yapılı bir sistemin blok diyagram gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Basit yapılı bir sistemin blok diyagram gösterimi

Tablo 3.1.'de seri-paralel yapılı sistemler için blok diyagram yöntemiyle sistem güvenilirliğinin hesaplanması gösterilmiştir [8].

Tablo 3.1. Blok diyagram yöntemi ile güvenilirlik hesaplamaları

Tip	Blok Diyagram Gösterimi	Güvenilirlik
Seri		$R_s = (R_A R_B)$
Paralel		$R_s = 1 - (1 - R_A) \times (1 - R_B)$
Seri - Paralel		$R_s = (1 - (1 - R_A) \times (1 - R_B)) \times (1 - (1 - R_C) \times (1 - R_D))$
Paralel - Seri		$R_s = 1 - (1 - (R_A R_C)) \times (1 - (R_B R_D))$
Karmaşık		

Blok diyagramın uygulanma aşamaları şu şekildedir [7]:

1. Analiz edilecek sistem belirlenir.
2. Sistem elemanlarına ayrılır.
3. Seri- Paralel kombinasyonlar belirlenir.
4. Sistemdeki her eleman diyagramda farklı bir blok ile gösterilir.
5. Aralarında ilişki olan bloklar birleştirilir.

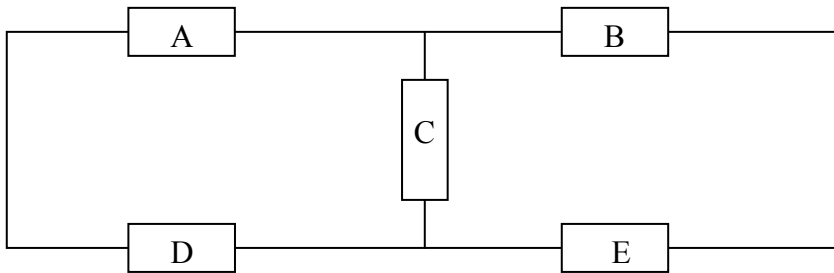
Blok diyagramı yöntemi ile analiz gerçekleştirilirken göz önünde bulundurulması gereken birkaç nokta vardır [8].

1. Her bloğun güvenilirlik değerlerinin tek tek bilinmesi gerekmektedir.
2. Blokları birleştiren hatların güvenilirliği 1 kabul edilir.

3. Her bloğun güvenilirliği bir diğerinden bağımsızdır.
4. Başarılı her yol diyagramda gösterilir.

3.1.1. Minimum kesme kümesi ve sistem arıza olasılığının bulunması

Arızalandığında sistemin durmasına sebep olan elemanlar kümesine kesme kümesi denir. Diğer bir deyişle blok diyagramda, arızalandığında giriş ile çıkış arasındaki tüm yolları kesen elemanlar kümesine kesme kümesi denir [3].



Şekil 3.2. Örnek sistem

Şekil 3.2.'deki sistem için minimal kesmeler;

$$C_1 = A \cap D \quad C_2 = B \cap E$$

$$C_3 = A \cap C \cap E \quad C_4 = D \cap C \cap B$$

olarak bulunur. Bu sistemin arıza olasılığı;

$$T = C_1 \cup C_2 \cup C_3 \cup C_4$$

$$P(T) = P(C_1 \cup C_2 \cup C_3 \cup C_4)$$

olur. Kesme kümesi N olduğunda sistem arıza olasılığı;

$$P(T) = P(C_1 \cup C_2 \cup C_3 \dots \cup C_N) \quad \text{olur.}$$

Olasılık teorisine göre:

$$P(T) = \sum_{i=1}^N P(C_i) - \sum_{i=2}^N \sum_{j=1}^{i-1} P(C_i \cap C_j) + \sum_{i=3}^N \sum_{j=2}^{i-1} \sum_{k=1}^{j-1} P(C_i \cap C_j \cap C_k) \dots \mp (-1)^{N-1} P(C_1 \cap C_2 \dots \cap C_N) \quad (3.1)$$

$$P(C_i \cap C_j \cap C_k) = P(C_i)P(C_j)P(C_k) \quad (3.2)$$

olarak yazılır.

$$P_1(T) = \sum_{i=1}^N P(C_i) \quad (3.3)$$

$$P_2(T) = P_1(T) - \sum_{i=2}^N \sum_{j=1}^{i-1} P(C_i \cap C_j) \text{ 'dir.} \quad (3.4)$$

Birinci dereceden kesmeler genelde kesin sonucu vermekle beraber ikinci dereceden kesmeler de hesaplanır. Üçüncü dereceden daha yüksek kesmeler genelde ihmal edilir.

3.1.2. Minimal kesmelerin bulunması

1. Minimal yollar bulunur.
2. Şekil 3.2'deki sistem için minimal yollar:
 $C_1 = A \cap D$ $C_2 = B \cap E$
 $C_3 = A \cap C \cap E$ $C_4 = D \cap C \cap B$
3. Her yoldaki elemanları içeren yol matrisi bulunur. Eğer eleman herhangi bir yolda var ise 1 ile yok ise 0 ile ifade edilir.
4. Yol matrisinin her bir sütununun tüm elemanları sıfırdan farklı ise bu sütunu temsil eden eleman birinci dereceden kesmedir.
5. İki sütundan kesme elde ediliyorsa bu ikinci dereceden kesmedir.
6. Her sütun için bu işlem bir artırılarak devam edilir.
7. Maksimum kesme elde edilene kadar bu işlem devam ettirilir.

3.2. Markov Analizi

Blok diyagram yöntemi hem tamir edilebilen hem de tamir edilemeyen sistemlerde uygulanabilmesine karşın, tamir edilebilen sistemlerde tamir zamanı, çalışma zamanı göz önüne alındığında ihmal edilirdi. Markov analizi bu problemin üstesinden gelmektedir [3].

Markov analizi; sistemin şu anki durumunu değerlendirerek gelecekteki davranışını bulmaya yarayan stokastik prosesinin özel bir yöntemidir. Sistem geçmişten bağımsız olarak kabul edilir. Sistem geçmişten bağımsız olarak kabul edildiği için durumlar hafızasız olarak nitelenir [9].

Sistemin temel davranışları (arızalar, bakım vs.) zamandan bağımsız ve homojen ise bu sistem Homojen Markov Prosesi olarak adlandırılır. Fakat bir elemanın arıza veya tamir oranı şu anki zamana bağlıdır. Homojen Markov prosesinde arıza veya tamir süresi zamandan bağımsız olarak kabul edildiğinden bir sistemi incelemede sistemin gerçek karakteristiğini sağlamayabilir. Bunun için genel stokastik metotları bu prosese dahil edilmelidir.

Markov Analizi zaman ve durum uzayındaki davranışlarına göre Ayrık Zamanlı veya Sürekli Zamanlı Markov Analizleri diye iki kısımda incelenir. Tablo 3.2’de durum ve zaman uzayına göre hangi analizin kullanılabileceği gösterilmiştir.

Tablo 3.2: Durum ve zaman uzayına göre kullanılacak olan Markov prosesi

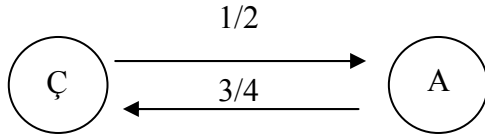
Durum Uzayı	Zaman Uzayı	Model Adı
Ayrık	Ayrık	Ayrık Zamanlı Markov Zinciri
Ayrık	Sürekli	Sürekli Zamanlı Markov Zinciri
Sürekli	Ayrık	Sürekli Durumlu Ayrık Zamanlı Markov Prosesi
Sürekli	Sürekli	Sürekli Durumlu Sürekli Zamanlı Markov Prosesi

Güvenilirlik uygulamalarının birçoğunda durum uzayı ayrık, zaman uzayı süreklidir. Bu yüzden Sürekli Zamanlı Markov Analizi en çok uygulanan metottur.

Bu bölümde hem Ayrık Zamanlı Markov Zinciri hem de Sürekli Zamanlı Markov Zinciri incelenecektir.

3.2.1. Ayrık Markov zincirleri

Çalışma ve arıza olmak üzere 2 durumlu bir sistem şekil 3.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. İki elemanlı sistem

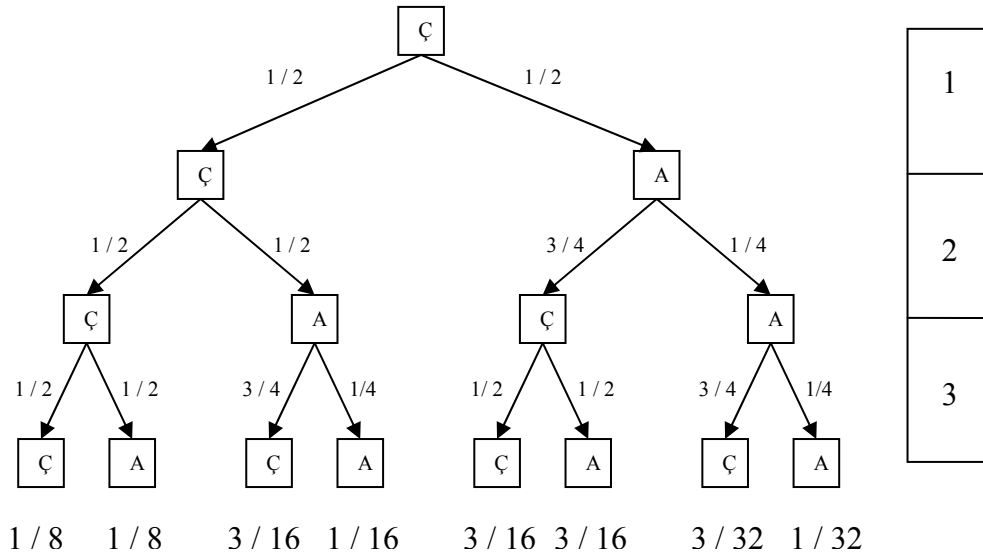
Sistem sabit ve durumlar arasında geçiş olduğundan ayrık Markov zinciri ile ifade edilir. Sistemin çalışma durumundan arıza durumuna geçiş olasılığı $1/3$ olduğundan ve başka bir durum söz konusu olmadığından sistemin çalışma durumunda kalma olasılığı;

$$P_{\text{ç}} = 1 - 1/2 = 1/2 \text{ 'dir.}$$

Aynı şekilde sistemin arıza durumunda kalma olasılığı;

$$P_{\text{a}} = 1 - 3/4 = 1/4 \text{ 'tür.}$$

Sistemin ilk incelendiği anda çalışır durumda olduğu varsayılırsa, ilk durum aralığında sistem $1/2$ oranında arıza durumuna geçer ve $1/2$ oranında çalışma durumunda kalır. Sistem her bir çalışma aralığında bir önceki durumdan bağımsız olarak değerlendirilir. Buna göre sistemin 3 zamanlı bir çalışma ağacı şu şekilde gerçekleşir:



Şekil 3.4: İki elemanlı üç zamanlı sistemin olay ağacı

Ağacın her bir dalının olasılığı, takip eden her bir dalının olasılığının çarpımına eşittir. Sistemin bütün durumlarda çalışır olma olasılığı;

$$(1/2)(1/2)(1/2) = 1 / 8 \text{ 'dir.}$$

Belirli bir zaman aralığı sonunda sistemin herhangi bir durumda kalma olasılığı o duruma ait dal olasılıklarının toplamından elde edilir. Tüm olasılıkların toplamı yine 1 olacaktır.

3. zaman aralığı sonunda bu sistemin çalışır durumda olma olasılığı $19 / 32 = 0,59$ olur.

3. zaman aralığı sonunda sistemin arızalı durumda olma olasılığı ise $13 / 32 = 0,41$ olarak bulunur.

Tablo 3.3.'te her bir zaman aralığında sistemin durum olasılıkları görülmektedir.

Tablo 3.3: İki elemanlı sistemin zaman aralığı – durum olasılığı tablosu

Zaman Aralığı	Durum Olasılıkları	
	Çalışma	Arıza
1	0,5	0,5
2	0,625	0,375
3	0,59	0,41

Zaman aralığı sayısı arttıkça durum olasılıkları sabit bir değere doğru gitmektedir. Bu Markov analizi koşullarına uygun çoğu sistemin karakteristiğidir. Durum olasılıklarının zamana bağlı değeri olarak bilinir. Sistemin ilk çalışma koşulu analiz açısından çok önemlidir. Örneğin sistemin analizi çalışma durumundan değil de arıza durumundan itibaren başlamış olsaydı sistemin zaman aralıklarındaki çalışma olasılıkları farklılık gösterebilirdi.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P^n = W \quad (3.5)$$

Burada W , her kolonun kendi içindeki değerleri bir birine eşit olan bir matristir.

Ayrık Markov zinciri matematiksel olarak şöyle modellenir:

Durum uzayının sonlu veya sayılabilir olduğu varsayalım. Zaman uzayı $T = (0, 1, 2, \dots)$ olsun. $\{X_k, k \in T\}$ ise,

$$\Pr[X_{k+1} = x_{k+1} \mid X_0 = x_0, \dots, X_k = x_k] = \Pr[X_{k+1} = x_{k+1} \mid X_k = x_k] \quad (3.6)$$

olur. Eğer Markov analizinin durum uzayı ayrık ise Markov zinciri adı verilir. $\Pr[X_{k+1} = j \mid X_k = i]$ durum olasılıkları Markov zincirinin geçiş olasılıkları olarak bilinir. Bu geçiş olasılıkları k zamanına bağlı olabilir. Markov zinciri tamamen eşitlik (3.6)'da verilen geçiş olasılıklarına ve sistemin başlangıç durumuyla değerlendirilir [10]. ($X_0 = x_0$)

$$\Pr[X_0 = x_0, \dots, X_k = x_k] = \Pr[X_k = x_k | X_0 = x_0, \dots, X_{k-1} = x_{k-1}] \Pr[X_0 = x_0, \dots, X_{k-1} = x_{k-1}]$$

Markov zinciri tanımından;

$$\Pr[X_0 = x_0, \dots, X_k = x_k] = \Pr[X_k = x_k | X_{k-1} = x_{k-1}] \Pr[X_0 = x_0, \dots, X_{k-1} = x_{k-1}]$$

$$\Pr[X_0 = x_0, \dots, X_k = x_k] = \prod_{j=1}^k \Pr[X_j = x_j | X_{j-1} = x_{j-1}] \Pr[X_0 = x_0] \quad (3.7)$$

elde edilir. Eğer geçiş olasılıkları k zamanından bağımsız ise bu durumda sabit markov zinciri adını alır.

$$P_{ij} = \Pr[X_{k+1} = j | X_k = i] \quad (3.8)$$

N durumlu bir S durum uzayı ele alınsın. Yani X_k N farklı duruma geçebilsin. Bu durumda;

$$s[k] = [s_1[k] s_2[k] \dots s_N[k]] \quad s_i[k] = \Pr[X_k = i] \quad (3.9)$$

olur. $s[k]$, 1 x N elemanlı bir vektör oluşturur. k ayrık zamanında X_k , N farklı durumdan biri olabilir. $\sum_{i=1}^N \Pr[X_k = i] = 1$ olduğunu biliyoruz.

Vektör notasyonundan,

$$s[k]u = \sum_{i=1}^N 1s_i[k] = 1$$

$$u^T = [1 \quad 1 \quad \dots \quad 1]$$

Sabit Markov Zincirinde X_{k+1} ve X_k birbirlerine toplam olasılık yasasıyla bağlıdır.

$$\Pr[X_{k+1} = j] = \sum_{i=1}^N \Pr[X_{k+1} = j | X_k = i] \Pr[X_k = i] = \sum_{i=1}^N P_{ij} \Pr[X_k = i]$$

$$s[k+1] = s[k]P$$

Burada P stokastik geçiş matrisi adını alır.

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1;N-1} & P_{1N} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \dots & P_{2;N-1} & P_{2N} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & \dots & P_{3;N-1} & P_{3N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{N-1;1} & P_{N-1;2} & P_{N-1;3} & \dots & P_{N-1;N-1} & P_{N-1;N} \\ P_{N1} & P_{N2} & P_{N3} & \dots & P_{N;N-1} & P_{NN} \end{bmatrix}$$

Stokastik geçiş matrisinde,

$$\sum_{j=1}^N P_{ij} = 1 \text{ 'dir.} \quad (3.10)$$

P_{ij} , i durumundaki sistemin belirli bir zaman aralığı sonunda j durumuna geçme olasılığıdır.

Buradan şu sonuç çıkarılabilir: Herhangi bir k zamanında Markov zincirinde kesinlikle bir durum geçişi mevcuttur. Bu durum, k-1 zamanındaki durumla aynı olabilir. N x N elemanlı bir geçiş matrisi $N^2 - N$ durum içerir. Her bir satır elemanları toplamı 1 olacağından aynı durumda kalma olasılığı satırdaki diğer tüm elemanların toplamının 1'den çıkarılmasıyla bulunur [9].

Şekil 3.4.'teki sistem için için stokastik geçiş matrisi,

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 3/4 & 1/4 \end{bmatrix} \text{ şeklindedir.}$$

3.2.1.1. Ergodik Markov zincirleri

Ergodik bir sistemde herhangi bir k zamanında herhangi bir i durumdan j durumuna geçiş her zaman mümkündür. Eğer sistem bir i durumuna giriyor ve o durumdan çıkamıyorsa o sistem ergodik değildir [11].

Bir sistemin ergodik olabilmesi için bütün durumlar arasında geçiş olabilmelidir. Ergodik sistemler indirgenemez sistemler olarak da bilinir.

Sistemin bir i durumuna geçmesi ve sistem yeniden başlatılmadığı sürece o durumdan kurtulamamasına absorblama durumu denir [12].

Bir Markov zincirinin P matrisinin kuvvetini aldığımızda elemanlarından hiç biri sıfır olmuyorsa o sistem düzenli zincir adıyla anılır. Buradan şu sonucu elde edebiliriz: Eğer sistemin tüm elemanları sıfırdan farklı ise o sistem düzenlidir. Sistemin P geçiş matrisinde sıfır olduğu halde P matrisinin kuvvetini aldığımızda sıfır olan eleman kalmıyorsa o sistem yine düzenlidir [13].

3.2.1.2. Zamana bağlı olasılıkların değerlendirilmesi:

Şekil 3.3.'teki basit sistemi ele alınsın. Bu sistemin stokastik geçiş olasılığı matrisi:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 3/4 & 1/4 \end{bmatrix}$$

Bu matrisi kendisi ile çarparsak:

$$P^2 = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 3/4 & 1/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 3/4 & 1/4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5/8 & 3/8 \\ 9/16 & 7/16 \end{bmatrix}$$

Çalışır durumdan başlayıp 2 zaman aralığı sonra sistemin tekrar çalışır durumda olması olasılığı tablo 3.3'ten de hatırlanacağı gibi 5/8 idi. Burada da görüldüğü gibi sistemin çalışır durumda olma olasılığı $P_{11}^2 = 5/8$ 'dir.

Yine sistemin çalışma durumundan başlayıp 2 zaman aralığı sonrasında arızalı duruma geçme olasılığı $3/8$ idi.

Burada şu sonuç elde edilir: Bir sistemin n . zamandaki durumu o sistemin stokastik geçiş matrisinin n . dereceden kuvvetini almakla bulunabilir.

Sistemin belirli bir durumda başlama olasılığı 1 iken diğer tüm durumlar sıfır olur. Bu koşul, sıfır koşulu olarak bilinir ve ilk başlangıç koşulları bilinmeyen sistemlerde uygulanır. İlk koşulları bilinmeyen bir P^n matrisi, göreve başlanılan herhangi bir sistem durumunda olma olasılığını gösteren $P(0)$ başlangıç olasılık vektörüyle çarpılır.

Şekil 3.3.'teki sistem çalışır durumda incelenmeye başlanıyorsa,

$$P(0) = [1 \ 0] \text{ olarak alınır.}$$

$t = 0$ anında sistemin çalışır durumda olma olasılığı 1 ve sistemin arızalı olma olasılığı 0 olduğundan yukarıdaki denklem yazılır.

2 zaman aralığı sonra sistemin durum olasılıklarını gösteren olasılık vektörü:

$$P(2) = P(0)P^2$$

$$P(2) = [1 \ 0] \begin{bmatrix} 5/8 & 3/8 \\ 9/16 & 7/16 \end{bmatrix}$$

$$P(2) = [5/8 \ 3/8]$$

Sistemin başlangıç çalışır durum kabul edildiğinde 2 zaman aralığı sonra sistemin yine çalışır olma olasılığı $5/8$ 'dir.

Sistemin başlangıç durumu arızalı kabul edilseydi;

$$P(0) = [0 \quad 1]$$

$$P(2) = P(0)P^2$$

$$P(2) = [0 \quad 1] \begin{bmatrix} 5/8 & 3/8 \\ 9/16 & 7/16 \end{bmatrix}$$

$$P(2) = [9/16 \quad 7/16]$$

olurdu. Görüldüğü gibi sistemin arızalı durumdan başladığı varsayıldığında 2 zaman aralığı sonra çalışır durumda olma olasılığı yine aynı çıktı. Buradan ifadeyi genellersek:

$$P(n) = P(0)P^n \tag{3.11}$$

ifadesi elde edilir [13].

3.2.1.3. Sınırlı durum olasılıklarının değerlendirilmesi

Sistemin sürekli hal durum olasılıkları yukarıda da açıklandığı gibi P geçiş matrisinin kuvvetleri alınarak hesaplanabilir. Fakat yüksek dereceler için bu çok uzun bir süreçtir.

Stokastik geçiş olasılıkları matrisini daha fazla çarpmayla sınırlı durum olasılıklarının değeri değişmez [9]. Bu teoreme göre;

$$wP = w \tag{3.12}$$

Bu eşitliği şekil 3.3'teki sisteme uygulandığında;

$$P = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 3/4 & 1/4 \end{bmatrix}$$

$$w = [P_1 \quad P_2]$$

$$wP = w$$

$$[P_1 \ P_2] \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 3/4 & 1/4 \end{bmatrix} = [P_1 \ P_2]$$

$$\frac{1}{2}P_1 + \frac{3}{4}P_2 = P_1 \Rightarrow \frac{-1}{2}P_1 + \frac{3}{4}P_2 = 0$$

$$\frac{1}{2}P_1 + \frac{1}{4}P_2 = P_2 \Rightarrow \frac{1}{2}P_1 - \frac{3}{4}P_2 = 0$$

Stokastik geçiş matrisinde her bir satırın elemanları toplamı 1 olmalıydı. Bu denklem yukarıdaki birinci denklemin yerine yazılırsa;

$$\frac{-1}{2}P_1 + \frac{3}{4}P_2 = 0$$

$$P_1 + P_2 = 1$$

$$\begin{bmatrix} -1/2 & 3/4 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Yukarıdaki denklem $AP=B$ formundadır. $P = A^{-1}B$ olur.

Matris derecesi küçük sistemler için Cramer Kuralı uygulanabilir. Cramer kuralı gereği yukarıdaki sistem çözüldüğünde:

$$P_1 = \frac{\begin{vmatrix} 0 & 3/4 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -1/2 & 3/4 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}} \Rightarrow P_1 = \frac{[0 \times 1] - [1 \times (3/4)]}{[(-1/2) \times 1] - [1 \times (3/4)]} \Rightarrow P_1 = \frac{0 - 3/4}{(-1/2) - (3/4)} = \frac{-3/4}{-5/4}$$

$$\Rightarrow P_1 = 3/5$$

$$P_2 = \frac{\begin{vmatrix} -1/2 & 0 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -1/2 & 3/4 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}} \Rightarrow P_2 = \frac{[(-1/2) \times 1] - [0 \times 1]}{-5/4} \Rightarrow P_2 = \frac{-1/2}{-5/4} \Rightarrow P_2 = 2/5$$

3.2.1.4. Absorblama durumları

Sistemin girdiği bir i durumundan kurtulamaması durumuna denir ($P_{ii} = 1$). Eğer sistemde en az bir absorblama durumu varsa, kaçınılmaz olarak o sistem absorblama durumuna düşer [13].

Absorblanmış Markov zincirinde, absorblanmamış durumlar geçiş durumları olarak adlandırılır.

Absorblama durumları, sistemde oluşacak negatif etkileri engellemek için bulunan güvenlik koşulları gibi düşünülebilir. Burada güvenilirlik analizinin gereksinimi; sistemin absorblama durumuna girmeden önceki zaman aralığında nasıl çalışacağıdır. Absorblama durumu, sistemin arzu edilmeyen durum veya durumlara girmeden önce, çalıştığı zaman aralıklarının ortalama sayısını değerlendirmektedir. Zaman aralığı sayısı arttıkça sistemin absorblama durumuna geçme olasılığı artar.

Kanonik Form:

Stokastik geçiş olasılıkları matrisinden, absorblama durumuna ait satır ve sütunların silinmesiyle kısaltılmış Q matrisi elde edilir. r absorblama durumlu, t geçiş durumlu bir P geçiş matrisi aşağıdaki kanonik şekli alır.

$$P = \begin{array}{c} \text{Tr.} \quad \text{Abs.} \\ \text{Tr.} \left[\begin{array}{c|c} Q & R \end{array} \right] \\ \text{Abs.} \left[\begin{array}{c|c} 0 & I \end{array} \right] \end{array}$$

Şekil 3.5. Kanonik matris formu

Burada I , r 'den r 'ye birim matris; 0 , r 'den t 'ye geçiş matrisi; R , t 'den r 'ye geçiş matrisi ve Q ise t 'den t 'ye geçiş matrisidir.

P^n matrisinin p_{ij}^n elemanı, s_i durumundan başlayan sistemin n adım sonra s_j durumuna geçme olasılığıdır.

Absorblama durumlu bir $I - Q$ matrisinin tersi, N matrisidir. N , sistemin absorblama durumuna girmeden zaman aralıklarının umulan sayısıdır.

$$(I - Q)x = 0 \quad x = Qx \quad (3.13)$$

olsun. İterasyon yöntemiyle çözümlerse;

$$x = Q^n x$$

$$Q^n \rightarrow 0 \Rightarrow Q^n x \rightarrow 0 \quad \text{ve } x = 0$$

olur. Buradan;

$$(I - Q)^{-1} = N$$

$$(I - Q)(I + Q + Q^2 + \dots + Q^n) = I - Q^{n+1} \quad (3.14)$$

elde edilir. Eşitliğin her iki tarafı da N ile çarpılırsa;

$$I + Q + Q^2 + \dots + Q^n = N(I - Q^{n+1})$$

$$N = I + Q + Q^2 + \dots \quad (3.15)$$

bulunur.

s_i ve s_j iki geçiş durumu olsun ve sabit olsunlar. $X^{(k)}$, k adım sonra $s_j = 1$ olan, diğer durumlarda 0 olan rasgele bir değişken olarak tanımlansın. Her k adımı için değişken i ve j 'ye bağlıdır. Matematiksel olarak;

$$P(X^{(k)} = 1) = q_{ij}^{(k)} \quad (3.16a)$$

$$P(X^{(k)} = 0) = 1 - q_{ij}^{(k)} \quad (3.16b)$$

Burada $q_{ij}^{(k)}$, Q^k matrisinin ij . elemanıdır.

s_i başlangıç durumlu bir sistemin n adım sonra s_j durumunda kalma zamanının umulan sayısı;

$$E(X^{(0)} + X^{(1)} + \dots + X^{(n)}) = q_{ij}^{(0)} + q_{ij}^{(1)} + \dots + q_{ij}^{(n)} \text{ 'dir.}$$

n sonsuz ise;

$$E(X^{(0)} + X^{(1)} + \dots) = q_{ij}^{(0)} + q_{ij}^{(1)} + \dots = n_{ij}$$

formülü bulunur. Zaman aralıklarının umulan sayısının matematiksel ifadesi;

$$E(x) = \sum_{i=1}^{\infty} x_i P_i \quad \text{olarak bulunur.} \quad (3.17)$$

$N = (I - Q)^{-1}$ matrisi P matrisinin temel (fundamental) matrisi adını alır.

N matrisinin tüm elemanları 1 olan c kolon matrisi ile çarpımı sistemin absorblama durumuna girmeden önce atacağı adımların umulan sayısını verir.

$$t = Nc \quad (3.18)$$

N matrisinin kanonik formdaki R matrisi bize geçiş durumundan absorblama durumuna geçiş matrisi olan B matrisini verir.

$$B = NR \quad (3.19)$$

3.2.2. Sürekli Markov prosesi

Ayrık zamanlı Markov zincirleri 1988 yılında Courcoubetis ve Yannakis tarafından ve 1994 yılında Hansson ve Jonsson tarafında geliştirilmiştir. Fakat büyük stokastik sistemler sürekli zamanda işletilir [14].

Ayrık zamanlı Markov zincirinde, geçişten önce belirli bir zaman diliminde, sistemin kesin olarak bir i durumunda olduğu kabul edilir. Bu bölümde zaman sınırlandırmasını kaldırıp, sistemin Markov özelliklerini kaybetmeden, herhangi bir durumda sürekli olarak kalması durumu incelenecektir.

Ayrık zamanlı Markov zincirinde olduğu gibi sürekli zamanlı Markov prosesinin işletilmesi için sistemin ergodik olması gerekmektedir.

Ayrık zamanlı Markov zinciri ile sürekli zamanlı Markov prosesi arasındaki önemli bir fark, isimlerinden de anlaşılacağı üzere zamandır. Durum geçişleri arasındaki zaman geçişleri eksponansiyel olduğundan, uzay aralığında durum geçişlerini ihmal etmek olanaksızdır. Bir diğer önemli fark ise durum geçiş olasılıklarıdır [15].

$X(t)$ ile tanımlanan bir stokastik süreç için eğer tüm $t \geq 0, s \geq 0$ ise, bu süreç sürekli zamanlı markov prosesi olarak adlandırılır.

$$P(X(s+t) = j | X(s) = i, \{X(u) : 0 \leq u \leq s\}) = P(X(s+t) = j | X(s) = i) = P_{ij}(t) \quad (3.20)$$

$P_{ij}(t)$ sürekli zamanlı Markov prosesi için geçiş olasılığıdır ve i durumundaki sistemin t zaman aralığı sonra sistemin j durumunda olma olasılığını gösterir. Ayrık zamanlı Markov zincirinde i durumundan j durumuna geçiş süresi ihmal edilirdi.

Ayrık zamanlı Markov zincirinden farklı olarak sistemin i durumundan j durumuna geçmesi anında çok kısa bir zaman aralığında sistem bu iki durum arasında bulunur.

n zaman aralıkları, $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ ve X_1, X_2, \dots, X_n durumları için;

$$P\{X(t_n) \geq x_n | X(t_1) = x_1, X(t_2) = x_2, \dots, X(t_{n-1}) = x_{n-1}\} = P\{X(t_n) \leq x_n | X(t_{n-1}) = x_{n-1}\}$$

$$P_{x_{n-2}, x_n} = P\{X(t_n) = x_n | X(t_{n-1}) = x_{n-1}\}$$

geçiş olasılıklarıdır. t_{n-1} ile t_n arasındaki geçiş adımı k diye tanımlanırsa;

$$P_{x_n, x_{n+k}} = P\{X(t_{n+k}) = x_{n+k} | X(t_n) = x_n\} \quad (3.21)$$

t_{n-1} zamanındaki i durumundan t_n zamanındaki j durumuna geçiş adımı:

$$P_{ij} = P\{X(t_n) = j | X(t_{n-1}) = i\} \quad (3.22)$$

Geçiş olasılığı sadece zaman farkına bağlıysa, sürekli Markov zinciri olarak tanımlanır. Bu yüzden Markov zinciri i durumundan j durumuna geçiş olasılıklarını içeren bir stokastik geçiş olasılığı matrisi şeklinde tanımlanabilir. P_{ij} sabit ve zamandan bağımsızdır [16].

3.2.2.1. Arıza oranı ve tamir süresinin bulunması

λ , arıza sayısı/çalışma süresi

μ , tamir sayısı/tamir süresi

olarak tanımlanan bir sistemin durumları P_1 ve P_2 olsun.

Güvenilirlik kavramından $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$

$P(\text{Çalışma}) = [t \text{ anında çalışma ve } dt \text{ aralığında arızalanmama}]$
 $+ [t \text{ anında arızalı olma ve } dt \text{ aralığında tamir olma}]$ ise

$$P_1(t + dt) = P_1(t)(1 - \lambda dt) + P_2(t)\mu dt$$

$$P_2(t + dt) = P_2(t)(1 - \mu dt) + P_1(t)\lambda dt$$

$$\frac{P_1(t + dt) - P_1(t)}{dt} = -\lambda P_1(t) + \mu P_2(t)$$

$$\left. \frac{P_1(t + dt) - P_1(t)}{dt} \right|_{dt \rightarrow 0} = \frac{dP_1(t)}{dt} = P_1'(t)$$

$$P_1'(t) = -\lambda P_1(t) + \mu P_2(t)$$

$$P_2'(t) = \lambda P_1(t) - \mu P_2(t)$$

$$\begin{bmatrix} P_1'(t) \\ P_2'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda & \mu \\ \lambda & -\mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \end{bmatrix}$$

t zamanı sonsuza giderken $P_1'(t) = 0$ olur. Bu durumda;

$$-\lambda P_1 + \mu P_2 = 0$$

$$\lambda P_1 - \mu P_2 = 0$$

$$P_1 + P_2 = 1$$

Sürekli durum olasılıkları;

$$P_1 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (3.23a)$$

$$P_2 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad \text{olarak bulunur.} \quad (3.23b)$$

Arıza Oranının Bulunması:

Sistemin arızada olduğu durumlar absorblama durumlarıdır. Geçiş olasılıkları matrisi (P) bulunduğundan sonra sisteme ait absorblama durumları P matrisinden çıkarılarak Q matrisi elde edilir. $n \times n$ elemanlı bir P matrisinde absorblama durumu k ise Q matrisinin boyutu $(n-k) \times (n-k)$ 'dir.

1. Birim matristen kısaltılmış Q matrisi çıkarılarak temel matris elde edilir.
($N = I - Q$)
2. N matrisinin tersi alınır. $N^{-1} = \frac{1}{\det[N]} N$
3. Sistemin çalışmaya başladığı duruma ait tüm satır elemanları toplamı alınarak ortalama arıza zamanı (m) elde edilir.
4. $m = \frac{1}{\lambda}$ olduğundan $\lambda = \frac{1}{m}$ olarak bulunur. (3.24)

Tamir Süresinin Bulunması:

Tamir süresinin bulunması işlemi arıza oranının bulunması işlemleriyle aynıdır.

1. P geçiş olasılıkları matrisinden absorblama durumları çıkarılarak K matrisi bulunur.
2. Birim matristen kısaltılmış K matrisi çıkarılarak fundamental matris elde edilir. ($S = I - K$)
3. S matrisinin tersi alınır. $S^{-1} = \frac{1}{\det[S]} S$
4. Sistemin çalışmaya başladığı duruma ait tüm satır elemanları toplamı alınarak tamir süresi bulunur.

3.3. Ayrık ve Sürekli Markov Proseslerinin Uygulanması

Bir sistem Markov prosesi ile çözülmek isteniyorsa aşağıdaki adımlar uygulanmalıdır:

1. Sistemin durumları bulunarak bu durumlar arasındaki geçişler tayin edilir.
2. Geçiş diyagramı yardımıyla stokastik geçiş matrisi oluşturulur. Gerektiğinde sınırlı durum olasılıkları hesaplanır.
3. Sistemin absorblama durumları geçiş matrisinden çıkarılarak elde edilen yeni Q matrisi yardımıyla ortalama arıza zamanı ve ortalama tamir süresi bulunur.

3.4. Hata Ağacı Yöntemi

Hata ağacı yöntemi blok diyagram yöntemi gibi grafiksel olarak sistem karakteristiği ve güvenilirliği için lojik teknikleri kullanan bir yöntemdir [17].

Hata ağacı yöntemi (Fault Tree Analysis – FTA) sistem dizaynı, geliştirme ve işletimde kullanılan en etkili yöntemlerden biridir. FTA 40 yılı aşkın bir süredir uzay bilimlerinde, nükleer ve ulaşım endüstrilerinde kullanılan bir yöntemdir. Bilgisayar ile modellenebilmesi ve görsellik olması yaygınlaşmasının ana sebepleridir. FTA daha çok aşağıdaki nedenlerden dolayı kullanılır:

1. Kritik elemanları belirlemede,
2. Üretim gereksinimlerini bulmada,
3. Üretim güvenilirliğini bulmada,
4. Üretim riskini görmede,
5. Kaza/olayları incelemeye,
6. Dizayn değişikliklerini sınamada,
7. Sebep sonuç ilişkisini görüntülemeye,
8. Genel sebepli arızaları belirlemede kullanılır.

FTA genel yapıdan başlayarak en üstteki spesifik yapıya doğru giden bir analiz yöntemidir.

Sistemdeki olay üst olay olarak belirlenir. Sistemin kollarının her biri temel olay adıyla anılır. FTA'da doğru modelleme çok önemlidir. Kullanışlı bir FTA modellenmesi basit ve kolay anlaşılabilir olmalıdır.


3.4.1. FTA'nın bilgisayar ortamında modellenmesi

Günümüzde bilgisayar destekli FTA kullanılarak birçok karmaşık sistem modellenebilmekte ve güvenilirliği denetlenebilmektedir.


FTA'nın bilgisayarla modellenebilmesi için temel lojik kapılarının bilinmesi gerekmektedir. Temel bazı lojik kapılar ve olaylar şunlardır:

3.4.1.1. Olaylar


Temel Olay:

Hata ağacındaki en düşük seviyeyi gösterir. Temel olay sistem modellemesinde bir olayın vuku bulma olasılığını gösterir.  ile gösterilir.

Öngörülmemiş Olay:


Temel olaya benzemesine karşın analiz sırasında ihmal edilmiş fakat sistemin durmasına sebep olabilecek arızalardır. VE kapısı anlatıldığında daha ayrıntılı bahsedilecektir.  ile gösterilir.

Şarta Bağlı Olay:

İnhibit kapısıyla birlikte kullanılır. Olayın meydana gelebilmesi için mutlaka olması gereken şartı ifade eder.  ile ifade edilir.

3.4.1.2. Kapılar


AND Kapısı:

Ve kapısı ile bağlanan elemanların hepsinin 1 olması durumunda çıkış 1 olur. Diğer hallerde çıkış 0 olur. Birbirine seri olarak bağlı elemanların modellenmesinde kullanılır.  ile gösterilir.

Tablo 3.4: İki elemanlı iki durumlu bir sistemin ve kapısı ile bağlanması

A	B	Sonuç
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1


OR Kapısı:

Veya kapısı ile birbirine bağlanmış elemanlardan herhangi birinin çalışır olması sistemin çalışması için yeterlidir. Paralel bağlı elemanların modellenmesinde kullanılır.  ile modellenir.

Tablo 3.5: İki elemanlı iki durumlu bir sistemin veya kapısı ile bağlanması

A	B	Sonuç
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1


INHIBIT Kapısı:

Giriş olayları oluştuğunda ve şarta bağlı bir olay gerçekleştiğinde meydana gelen olayları betimlemek için kullanılan kapıdır.  ile ifade edilir.


3.6: İki elemanlı iki durumlu bir sistemin inhibit kapısı ile bağlanması

A	B	Şart	Sonuç
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

NOT Kapısı:

NOT kapısı kullanılan bir sistemde çıkış daima girişin tersidir. Eğer giriş işareti 0 ise çıkış işareti 1, giriş işareti 1 ise çıkış 0 olur. NOT kapısı  ile sembolize edilir.


NOR Kapısı:

NOT ve OR kapılarının birleşiminden oluşur. OR kapısında giriş işaretlerinden birinin 1 olması durumunda çıkış 1 olurdu. NOR kapısı kullanıldığında ise tüm girişler 0 iken çıkış 1 olur, diğer durumlarda çıkış 0 olur.  ile gösterilir.

Tablo 3.7: İki elemanlı iki durumlu bir sistemin nor kapısı ile bağlanması

A	B	Sonuç
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0


NAND Kapısı:

AND kapısı ile NOT kapısının birleşimidir.  ile gösterilir.

3.8: İki elemanlı iki durumlu bir sistemin nand kapısı ile bağlanması

A	B	Sonuç
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

XOR Kapısı:

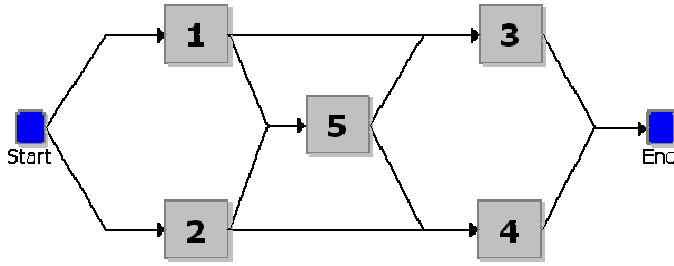
Girişlerden birinin olup diğerinin olmaması durumunda 1 çıkışı veren, diğer hallerde 0 çıkışı veren kapıdır.  ile gösterilir.

3.9: İki elemanlı iki durumlu bir sistemin xor kapısı ile bağlanması

A	B	Sonuç
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

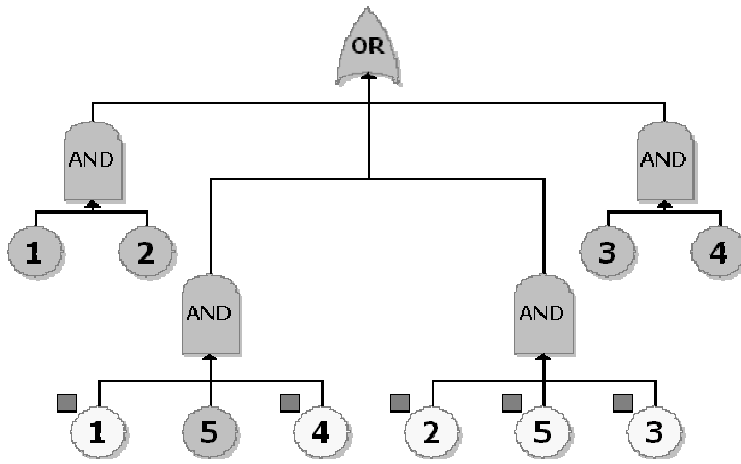
3.4. RBD ve FTA Arasındaki Farklar

FTA ile RBD arasındaki en temel farklılık, FTA'da arıza uzayında işlemler yapılırken RBD'de çalışma uzayında sistem güvenilirliği analiz edilir. Diğer bir ifadeyle, RBD başarılı kombinasyonlara bakarken, FTA arıza kombinasyonlarını inceler. Buna ek olarak hata ağacı genel olarak sabit olasılıkları analiz eder. Hata ağacında bir olayın meydana gelme olasılığı sabittir. Buna karşın blok diyagram yöntemi zamana bağlı değişen dağıtımlar için başarılı güvenilirlik eşitliklerini içerebilir. Genel olarak hata ağacı bazı özel uygulamalar haricinde blok diyagram yöntemine çevrilebilir. Fakat özellikle çok karmaşık sistemleri blok diyagram yönteminden hata ağacı yöntemine çevirmek daha zordur. [18]

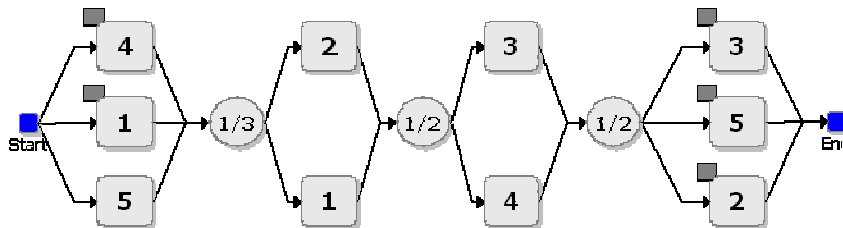


Şekil 3.6. İkileme olayı kullanılmadan FTA'ya çevrilemeyen RBD sistem modeli

Şekil 3.6.'daki sistemi hata ağacı ile gösterebilmek için 5 numaralı olay iki kere kullanılmıştır. Şekil 3.8.'deki sistem, şekil 3.6. ve şekil 3.7.'deki sistemin farklı bir gösterimidir.



Şekil 3.7. Şekil 3.6.'daki sistemin FTA ile modellenmesi



Şekil 3.8. Şekil 3.16.'daki sistemin bir başka gösterimi

Blok diyagram yöntemindeki her eleman farklı yollarla verilebilir: Arıza oranı, bir periyot süresince güvenilirlik oranı, ortalama arıza zamanı vs. Bir sistemin güvenilirliği $R = e^{-\lambda T}$ ile ifade edilir. Bir elemanın arıza oranı ne kadar dikkatli

belirlenirse belirlensin, sistem içindeki davranışı açısından, sisteme yerleştirildikten sonra tekrar analiz edilmelidir.

3.5. Yöntemlerin Karşılaştırılması

Tablo 3.10: Yöntemlerin karşılaştırılması

	RBD	FTA	Markov Analizi
Tanım	Modüler veya blok yapı ile başarılı sistem lojikleri modellenir.	Sistem seviye arızalarını, harici olayları, koşula bağlı olayları modeller. Genel olarak kritik arıza olasılığının çok düşük olduğu güvenlik analizleri için kullanılır.	Tamir edilebilir, öncelikli, yük paylaşımı vb. kompleks sistemleri modellemede kullanılır.
Avantajları	Kolay anlaşılabilir. Analitik metotlar kullanılarak kolaylıkla değerlendirilir. Bloklar kullanılarak değişik elemanlar sisteme kolaylıkla eklenebilir. Öncelikli elemanı belirlemek kolaydır. Başarılı yolları bulmak kolaydır.	Olaylar genel arızalar olabilir. Sistem kesmeleri kolaylıkla görülebilir. Sistem arızaları kolaylıkla anlaşılabilir. Detaylar eklenebilir. Olay ağacı yöntemi ile kompleks davranışlar modellenebilir	Esneklik sağlar Kompleks senaryoların modellenmesine olanak sağlar Duruma bağlı geçiş olasılıkları bulunabilir.
Dezavantajları	Sadece tek tip arıza modellenebilir Sadece arıza ve tamir olayları ile tutarlı yapılar modellenebilir.	Modellemeler statiktir. Bekleme durumları incelenemez. Öncelikler belirlenemez. Modüler olmayan sistemlerde hesaplama çok uzun sürebilir.	Modellemeler daha zordur. Anlaşılması daha zordur. Hesaplama zamanı uzun sürebilir.

BÖLÜM 4. İLETİM SİSTEMLERİ

4.1. Giriş

İletim sistemi değerlendirmeleri üretim sistemi değerlendirmeleri ile birlikte yapılır. Bu yüzden iletim sistemi değerlendirmesinden önce üretim sistemi değerlendirmesi yapılmış olmalıdır.

Yeterli sayıda kaynakla sistemin ihtiyaç duyduğu miktarda üretim kapasitesini belirlemek, güç sistemi plan ve işletiminin önemli bir parçasıdır. Bu sorun iki ana başlık altında değerlendirilebilir: Statik kapasite ve işletim kapasitesi. Statik kapasite, uzun dönemde sistemin toplam sistem ihtiyaçlarıyla ilgili kısımdır. İşletim kapasitesi ise kısa dönemde sistemin o anki ihtiyaç duyduğu yük miktarı ile ilgilidir. Bu alanlar planlama aşamasında alternatiflerle birlikte değerlendirilmelidir. Karar verildiği andan itibaren kısa dönem ihtiyaçları, işletim problemleri olarak ortaya çıkar.

Statik ihtiyaçlarda, ileriki sistem ihtiyaçları planlanmış olan kurulu kapasite dikkate alınır. Statik rezerv, bakım, planlanmamış arızalar ve aşırı yükten sistemi korumak için yeterli düzeyde olmalıdır. Yıllar süren araştırmalar sonucunda planlanmış ve kurulu gücün bir rezerv oranı belirlenmiştir. Rezerv oranının belirlenmesinde önemli olan, aynı zaman diliminde her bir sistem için hesaplanan birbirinden tamamen farklı tepe yüklerin kapasite ihtiyaç yeterliliğinin kıyaslanması eğilimidir.

Rezerv oranındaki bir diğer kriter, toplam rezerv kapasitesi aşılmadığı sürece hiçbir ünite devre dışı bırakılmamalıdır. Rezerv oranı sistemdeki en büyük üniteyi karşılayabilecek kapasitenin üzerine, sistemdeki toplam kapasitenin belirli bir oranı eklenerek elde edilir. Olasılık teknikleri kullanıldığında bu karakteristik ile sık sık karşılaşılır.

Statik ve işletim kapasitesinin temel farklılığı zaman süresidir. Bu yüzden her iki kapasite farklı verilere sahip olacağından farklı hesaplamalar gerektirmektedir. Yük kaybı olasılığı veya beklenti metodu, verilen üretim konfigürasyonu yeterliliğini değerlendirmek için en çok kullanılan olasılık metotlarıdır. Birçok faktör ve değişken içermektedir.



Şekil 4.1. Genel Sistem Modeli

Üretim sistemi güvenilirlik değerlendirmesi temel olasılık metoduyla veya sıklık ve süre tekniği ile yapılabilir. Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın öncelikle sistemdeki kapasite miktarı oluşturulmalıdır. Kapasite oluşturma yöntemleri farklılık göstermektedir. Bu metotlardan en büyük ünite rezervi ve rezerv oranı metotları aynı değerdeki sistemler için çok farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu yüzden güvenilir metotlar değildir.

Kapasite oluşturmadaki bir diğer teknik de tekrarlı algoritma metodudur. Özellikle az üniteye sahip sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok üniteye sahip sistemlerde ise Gram - Charlier dağıtım genişleme modeli tabanlı Fourier dönüşüm metodu uygulanmaktadır. Tekrarlı algoritma metodu çok üniteli sistemlerde uzun bir hesaplama süreci gerektirmektedir. Gram – Charlier yöntemi ise daha kısa sürede değerlendirme yapılmasına imkan vermektedir.

Sıklık ve süre tekniği üretim sistemi modellemesinde kullanılacak bir diğer yöntemdir. Hesaplaması temel olasılık yöntemine göre nispeten daha karmaşık olmasına rağmen, daha fazla veri içermesi, durum olasılıkları ve sıklıklarının belirlenmesi gibi nedenlerden dolayı tercih edilen bir yöntemdir. Her iki yöntem için kapasite oluşturma teknikleri hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

4.2. Kapasite Kaybı Olasılık Tabloları

Üretim sistemi değerlendirmesi yapılırken kapasite kaybı olasılık tablosu oluşturulmalıdır. Üretimdeki yaklaşık yük kaybı, kapasite kaybı olasılık tablosu olarak bilinir. Sistemdeki tüm üniteler benzer ise, kapasite kaybı olasılığı binom açılımı yoluyla kolaylıkla bulunabilir. Gerçek hayat uygulamalarında ise sistemin tüm üniteleri her zaman benzer değildir. Üniteler, basit olasılık teknikleri ile birleştirilebilir ve bu sayede tekrarlı olarak kullanılarak basit ama güçlü bir modelleme oluşturulabilir.

4.3. Kapasite Modeli Oluşturmak İçin Tekrarlı Algoritma

Kapasite modeli basit bir algoritma oluşturularak kurulabileceği gibi yine basit bir algoritma ile üniteler modelden çıkarılabilir. Bu yaklaşım çok durumlu üniteler için de kullanılabilir.

4.3.1. İki durumlu model

X MW kapasiteli bir sisteme C MW kapasiteli bir sistem eklensin ve bu sistemin zorlanmış kayıp oranı U olsun. Bu durumda;

$$P(X) = (1 - U)P'(X) + (U)P'(X - C) \quad (4.1)$$

formülü bulunur. $P(X)$ ve $P'(X)$ X MW kapasiteli sistemin ünite eklendikten sonra ve eklenmeden önceki kümülatif olasılığını gösterir. $X \leq 0$ için $P'(X) = 1$ 'dir. Diğer durumlarda $P'(X) = 0$ 'dır.

4.3.2. Çok durumlu sistemler

Çok durumlu sistemler için (4.1) eşitliği aşağıdaki şekilde düzenlenir:

$$P(X) = \sum_{i=1}^n p_i P'(X - C_i) \quad (4.2)$$

- n : Ünite Durum Sayısı
 C_i : Ünite eklendikten sonrası için, i durumunun kayıp kapasitesi
 P_i : i durumu olasılığı

Ünite çıkarma için bu işlemlerin tersi yapılır.

4.4. Gram-Charlier Dağıtım Genişleme Modeli Tabanlı Fourier Dönüşüm Metodu

Üretim sistemi kayıp kapasitesi ayrık dağıtıma sahiptir ve olasılıkları genel olarak tekrarlı metotlarla hesaplanır. Eğer sistem çok büyükse, sistem kayıp kapasitesi ayrık dağıtımını, sürekli dağıtıma yakınladır. Diğer bir ifadeyle, sistem büyüdükçe dağıtım normal dağıtıma yaklaşır[19]. Bu durumda kapasite kaybı olasılık tablosu nispeten daha kolay geliştirilir. Tablodaki tek giriş, dağıtımın ortalamasıyla elde edilebilir. Schenk ve Rau tarafından geliştirilen Gram - Charlier dağıtım genişleme modeli tabanlı Fourier dönüşüm metodu ile sürekli model oluşturulur. Sürekli modelin oluşturulma aşamaları şu şekildedir[20]:

- C_i : MW cinsinden i . Ünitenin kapasitesi
 q_i : i . Ünitenin zorlanmış kayıp oranı
 n : Ünite sayısı

Adım 1: Sistemdeki her ünite için aşağıdaki büyüklükler hesaplanır.

$$m_1(i) = C_i q_i$$

$$m_2(i) = C_i^2 q_i$$

$$m_3(i) = C_i^3 q_i$$

$$m_4(i) = C_i^4 q_i$$

$$V_i^2 = m_2(i) - m_1^2(i)$$

$$M_3(i) = m_3(i) - 3m_1(i)m_2(i) + 2m_1^3(i)$$

$$M_4(i) = m_4(i) - 4m_1(i)m_3(i) + 6m_1^2(i)m_2(i) - 2m_1^4(i)$$

Adım 2: Birinci adım sonuçlarından şu parametreler hesaplanır.

$$M = \sum_{i=1}^n m_1(i)$$

$$V^2 = \sum_{i=1}^n V_i^2$$

$$M_3 = \sum_{i=1}^n M_3(i)$$

$$M_4 = \sum_{i=1}^n (M_4(i) - 3V_i^4) + 3V^4$$

$$G_1 = M_3 / V^3$$

$$G_2 = (M_4 / V^4) - 3$$

Adım 3: İstenen herhangi bir x MW kayıp kapasite için;

$$Z_1 = \frac{x - M}{V}$$

$$Z_2 = \frac{x + M}{V}$$

Z2 değerine göre aşağıdaki 3 durumdan biri hesaplanır.

Durum 1: $Z_2 \leq 2,0$ ise;

$N(Z)$ Gaussian dağılımı ile iki alan bulunur.

$$N(Z) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)}} e^{-\frac{1}{2}Z^2}, \quad -\infty < Z < \infty$$

$$1. \text{ Alan} = \int_{Z_1}^{\infty} N(Z) dZ$$

$$2. \text{ Alan} = \int_{-\infty}^{-Z_2} N(Z) dZ = \int_{Z_2}^{\infty} N(Z) dZ$$

Kayıp kapasitenin X MW'tan büyük olma olasılığı bu iki alanın toplamı ile bulunur.

Durum 2: $2 < Z \leq 5,0$ ise:

Durum 1'deki gibi alanlar hesaplanır. Daha sonra aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir.

$$N^{(2)}(Z_i) = (Z_i^2 - 1)N(Z_i)$$

$$N^{(3)}(Z_i) = (-Z_i^3 + 3Z_i)N(Z_i)$$

$$N^{(5)}(Z_i) = (-Z_i^5 + 10Z_i^3 - 15Z_i)N(Z_i)$$

$$K_i = G_1 - \frac{1}{6} N^{(2)}(Z_i) - \frac{G_2}{24} N^{(3)}(Z_i) - \frac{G_1^2}{72} N^{(5)}(Z_i)$$

Kayıp kapasitenin X MW'tan büyük olma olasılığı $\text{Alan1} + \text{Alan2} + K_1 + K_2$ olarak bulunur.

Durum 3: $Z > 5,0$

Bu durumda Alan2 ve K_2 değerleri, Alan1 ve K_1 değerine oranla çok küçük olacağından ihmal edilirler. Olasılık Alan1 ile K_1 'in toplamıyla elde edilir.

Açıklanan bu metot iki durumlu bir sistem için geçerlidir. Çok durumlu sistemler için

q_i : Tam kapasite devre dışı durumu için FOR

q_{ik} : Sınırlı devre dışı durumu için FOR

c_{ik} : Sınırlı durumlar için kapasiteler

r : Çok durum sayısı olarak tanımlanırsa;

$$m_1(i) = c_i q_i + \sum_{k=1}^r c_{ik} q_{ik}$$

$$m_2(i) = c_i^2 q_i + \sum_{k=1}^r c_{ik}^2 q_{ik}$$

$$m_3(i) = c_i^3 q_i + \sum_{k=1}^r c_{ik}^3 q_{ik}$$

$$m_4(i) = c_i^4 q_i + \sum_{k=1}^r c_{ik}^4 q_{ik}$$

Kayıp kapasite olasılık tablosundan bir ünite çıkarılır veya eklenirse, (M,V,G1,G2) parametreleri yeniden hesaplanarak olasılıklar tekrar hesaplanır.

Sistemdeki jeneratör sayısı az ise tekrarlı algoritma metodu, sistem büyük ise Fourier dönüşüm metodu daha doğru sonuçlar vermektedir.

Fourier Dönüşüm Metodu uygulanması kolay ve verimli bir yöntemdir. Çok sayıda jeneratör içeren ve zorlanmış kayıp oranı büyük sistemler için daha kesin sonuçlar verir. Bu yüzden özellikle fosil yakıtı kullanan ünitelerde kullanılır. Hidroelektrik santrali uygulamalarında zorlanmış kayıp oranı düşük olduğundan tekrarlı algoritma metodu kullanılır.

4.5. Sıklık ve Süre Tekniği

Üretim sistemi değerlendirmesindeki bir diğer yöntem de sıklık ve süre tekniğidir. Temel olasılık metodundaki temel indisler, umulan sayıda gün veya saat için, sağlanabilir kapasiteyi aşan aşırı yük ve kurulu kapasitenin yetersiz kaldığı sağlanamayan enerjiyi göstermektedir. Alternatif yapılandırmaların ve genişlemelerin karşılaştırılabilmesi için uygun bir yöntemdir. Buna rağmen yetersiz kapasite durumlarının meydana gelme sıklığı veya süresini verememektedirler.

$$\text{Sağlanabilirlik} = A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{f}{\lambda} \Rightarrow f = A\lambda \quad (4.3)$$

İki durumlu bir model için durumda olmama olasılığı; o duruma girme oranı ile o durumda olmama olasılığının çarpımına eşittir. Duruma giriş sıklığı durumdan ayrılma sıklığına eşittir. Sıklık ve süre tekniğinde de sistemdeki durumlar azaltılabilir.

4.5.1. Kapasite modeli oluşturmak için tekrarlı algoritma

Tablodan ünite çıkarmak için de kullanılabilen basit algoritmalar ile kapasite modeli oluşturulabilir. Bu yaklaşım çok durumlu sistemlere de uygulanabilir. Önce iki durumlu bir sisteme bu teknik uygulanacak daha sonra çok durumlu sistemler için örnek verilecektir.

4.5.1.1. İki durumlu sistem

C MW kapasiteli X MW zorlanmış kayıp değerine (Forced Outage Rate – FOR - Sağlanamamazlık) sahip bir ünitenin zorlanmış kayıp oranı U olduğu varsayılırsa;

$$P(X) = p'(X)(1 - U) + p'(X - C)U \quad (4.4)$$

$$\lambda_+(X) = \frac{p'(X)(1 - U)\lambda'_+(X) + p'(X - C)U(\lambda'_+(X - C) + \mu)}{p(X)} \quad (4.5)$$

$$\lambda_{-}(X) = \frac{p'(X)(1-U)(\lambda'_{-}(X) + \lambda) + p'(X-C)U(\lambda'_{-}(X-C))}{p(X)} \quad (4.6)$$

$\lambda_{+}(X), \lambda_{-}(X)$ ve $p(X)$ parametreleri tek durum olasılıkları ve üniteden eklendikten sonra üst kapasiteye geçme ve alt kapasiteye geçme olasılıklarıdır. Eşitliklerde X değeri C değerinden küçük ise:

$$p'(X-C) = 0$$

$$\lambda'_{+}(X-C) = 0$$

$$\lambda'_{-}(X-C) = 0$$

Bu prosedür ilk ünite eklendiğinde başlar. Bu durumda:

$$\lambda_{+}(0) = 0$$

$$\lambda_{-}(0) = \lambda_1$$

$$\lambda_{+}(C_1) = \mu_1$$

$$\lambda_{+}(X) = \lambda_{-}(X) = 0 \quad X \neq 0, C_1$$

Aşağıdaki formüller yardımıyla kümülatif sıklık ve olasılık değerleri hesaplanabilir.

$$P(X) = P(Y) + p(X) \quad (4.7)$$

$$F(X) = F(Y) + p(X)(\lambda_{+}(X) - \lambda_{-}(X)) \quad (4.8)$$

Y , kapasite kaybı durumunun X MW'tan büyük olduğunu gösterir.

Elde edilecek tabloya çevrim süresi ve ortalama süre eklenerek daha geniş ve tam bir tablo elde edilir.

Çevrim süresi = 1 / çevrim sıklığı

Ortalama Süre = durum olasılığı / durum sıklığı

4.5.1.2. Çok durumlu sistemler

Çok durumlu sistemler temel yaklaşım veya sıklık ve süre tekniği kullanılarak elde edilebilir.

$$p(X) = \sum_{i=1}^n p'(X - C_i) p_i \quad (4.9)$$

$$\lambda_+(X) = \frac{\sum_{i=1}^n p'(X - C_i) p_i (\lambda'_+(X - C_i) + \lambda_+(C_i))}{p(X)} \quad (4.10)$$

$$\lambda_-(X) = \frac{\sum_{i=1}^n p'(X - C_i) p_i (\lambda'_-(X - C_i) + \lambda_-(C_i))}{p(X)} \quad (4.11)$$

Kümülatif frekans şu formül yardımıyla elde edilir:

$$F_t(X) = \sum_{i=1}^n (p_i (F'(X - C_i) + P'(X - C_i) (\lambda_+(C_i) - \lambda_-(C_i))) - P'(X - C_i) \Delta(C_i))$$

$$\Delta C_i = \left(\sum_{j=n}^i p_j (\lambda_+(C_j) - \lambda_-(C_j)) \right) - F(C_i)$$

$$F(X_1) = 0$$

$$F(X_2) = F_t(X_2) - F_t(X_1)$$

$$F(X_i) = F_t(X_i)$$

$$P'(X - C_i) = 1, F'(X - C_i) = 0, \quad X < C_i$$

(4.12)

İkili modelde, iki durum arasında sıklıkların geçişi her iki yöne kesin olarak dengelidir. Fakat çok durumlu sistemlerde bu durum söz konusu değildir. Bu yüzden çok durumlu sistemlerde ($F(C_i)$) kümülatif sıklık olarak ifade edilir.

Tekrarlamalı algoritmalarda eğer sistemden ünite çıkarılıyorsa şu formüller kullanılır.

$$p'(X) = \frac{p(X) - \sum_{i=2}^n p'(X - C_i)p_i}{p_1} \quad (4.13)$$

$$\lambda'_+(X) = \frac{p(X)\lambda_+(X) - \sum_{i=2}^n p'(X - C_i)p_i(\lambda'_+(X - C_i) + \lambda_+(C_i))}{p'(X)p_1} \quad (4.14)$$

$$\lambda'_-(X) = \frac{p(X)\lambda_-(X) - \sum_{i=2}^n p'(X - C_i)p_i(\lambda'_-(X - C_i) + \lambda_-(C_i)) - p'(X)p_1\lambda_-(0)}{p'(X)p_1} \quad (4.15)$$

4.6. Ek Bilgiler

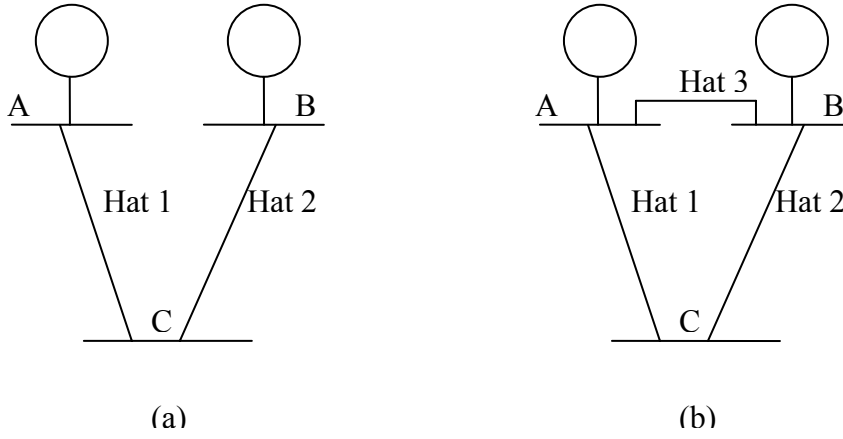
Üretim sistemi değerlendirmesine yük kaybı indisleri, enerji kaybı indisleri, sınırlı enerjili üniteler, umulan enerji kaybı, umulan sağlanamayan enerji gibi değerler ile bozucu etkiler ve planlanmış bakımlar da dikkate alınmalıdır. Bunun yanı sıra ileriki yıllardaki ihtiyaçlara göre kapasite genişleme analizi de yapılmalıdır.

4.7. İletim Sistemlerine Giriş

Güç sistemi planlamasındaki en önemli elemanlardan biri yük ihtiyaçlarını karşılayabilmek için ne kadar üretim yapılması gerekliliğidir. Bu değerlendirme şekil 4.1'de gösterilen sistem ile yapılır. Bu değerlendirme yapılırken üretim kapasitesinin sistem yükünü karşılayabilecek seviyede olup olmaması incelenir.

Üretim kapasitesi kadar öneme sahip bir diğer nokta da üretilen enerjilerin müşteri yük noktasına taşıyacak uygun iletim sisteminin geliştirilmesidir [21].

İletim sistemi, üretim sistemi ve yükü birbirine bağlayan sistem olduğundan hem üretilen enerjiyi taşıma kapasitesine sahip olmalı hem de talep edilen yükü karşılayabilmelidir.



Şekil 4.2. İki farklı karmaşık sistem örneği

Şekil 4.2'de A ve B baralarındaki jeneratörlerin üretim kapasitesi 10'ar MW olsun. C barasındaki yük ise 20 MW olarak kabul edilsin. Şekil 4.2(a)'da hat 1 ve hat 2 10 MW üretimi taşıma kapasitesine sahip olmalı. Hat 1'in koptuğu varsayılırsa B barası 20 MW yükü tek başına besleyemeyecektir. Bu nedenle C barasında yük azaltımına gidilmelidir. Hangi yüklerin atılması gerektiği dağıtım sisteminde yapılan değerlendirme sonucu ortaya çıkar. Yerinde ve zamanında müdahalenin yapılmaması sistemin çökmesi ile sonuçlanabilir.

Şekil 4.2(b)'de ise A ve B baraları Hat 3 ile birbirlerine bağlanmıştır. Hat 1'in yine koptuğu varsayılırsa bu defa A barası hat 3 ve hat 2 üzerinden C yük noktasını besleyebilecektir. Fakat eğer hatların enerji taşıma kapasiteleri yeni duruma göre düzenlenmezlerse bu defa hat 2 üretim kapasitesini karşılayamayacak ve yine sistemde çökme meydana gelecektir. Bu yüzden iletim sistemi değerlendirmesi yapılırken hat yapılandırılmaları önemli bir yer tutmaktadır.

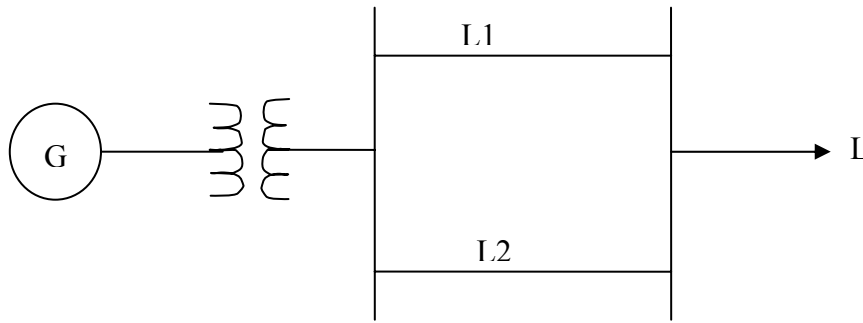
İletim sistemi iki ana başlık altında incelenir. Bunlar ana iletim sistemi ve dağıtım sistemleridir. Ana iletim sistemi, enerjiyi müşteriye kesintisiz ve güvenilir olarak taşıyabilmek için, üretim sistemi ile birlikte uygun biçimde dikkatli bir şekilde ilişkilendirilmelidir. Genellikle radyal şebeke şeklindedir. Birçok sistemde dağıtım

sistemi tasarımı, iletim sistemi geliştirme sürecinden tamamen ayrı olarak değerlendirilir. İndirme merkezlerinin ortaya çıkmasıyla beraber dağıtım sistemi dizaynı tam anlamıyla iletim sisteminden bağımsız ve ayrı bir sistem olarak ortaya çıkmıştır. Güvenilirlik değerlendirmelerinde bu iki sistemi birleştirmek, iletim sisteminin yük noktası indisini iletim sistemi için güvenilirlik indisi olarak kullanılmasıyla sağlanır.

Ek olarak, üretilen enerjinin indirme istasyonlarına taşınması esnasındaki arızaları önlemek için, iletim sisteminin bakım esnasında talep edilen yükleri karşılayabilmesi gerekmektedir. İletim sistemi için kullanılan modeller hem statik hem dinamik etmenleri kullanmalıdır.

4.8. Radyal Yapılandırmalar

Karmaşık sistem değerlendirmesinin ilk uygulaması, iletim elemanlarının da dikkate alınmasıdır. En temel sistem konfigürasyonlarından birisi radyal yapıli şebekelerdir. Şekil 4.3'te örnek bir radyal şebeke görölmektedir.



Şekil 4.3. Radyal şebeke

Üretim sistemi ile yük arasındaki basit seri-paralel yapı her zaman şekil 4.3'te görüldüğü gibi olmayabilir. İletim sistemi modelinin geliştirilmesi karmaşık olabilir. Fakat model bir kere oluşturulduğunda yük noktasında karmaşık bir model oluşturmak için üretim sistemi modeli ile birleştirilebilir.

Eşdeğer modelin geliştirme süreci şekil 4.3 ele alınarak incelenecektir. Bu yaklaşım dağıtılmış üretim ve yük noktalarını içeren birbirine bağlanmış konfigürasyonlar için

uygun değildir. Bu tür sistemleri değerlendirmek için hat yüklenmeleri, sürekli stabil limitleri, bakım gerilim seviyelerini içeren daha genel bir yaklaşıma ihtiyaç duyulur.

4.9. Geleneksel Olasılık Yaklaşımı

Çoğu güvenilirlik değerlendirmelerinde eleman arızaları bağımsız olaylarmış gibi kabul edilir. Fakat bazı eleman arızaları sistem arızasına sebebiyet verebilir. Bu durumun yeterli paralel beslemeye sahip olmayan hatlarda ortaya çıkma olasılığı daha fazladır. Eğer yük değişken olarak kabul edilirse ve olasılık dağıtımı olarak tanımlanırsa, eleman arızasına bağlı olarak beklenen herhangi bir terminaldeki arıza, kalan elemanların yük taşıma kapasitesine ve yük aşım limitine bağlıdır. Yük noktasındaki arıza gerilim düşümü şeklinde gerçekleşebilir [22].

Eğer bir A olayının meydana gelmesi B_j olaylarına bağlı olarak gerçekleşiyorsa bu durumda:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(A | B_i)P(B_i) \quad (4.16)$$

A olayı sadece B'nin çalışır ve arızalı gibi iki durumuna bağlı ise bu durumda:

$$P(A) = P(A | B_C)P(B_C) + P(A | B_A)P(B_A) \quad (4.17)$$

A sistem arızası olarak tanımlanırsa:

$$P(\text{Sistem Arızası}) = P(\text{Sistem Arızası} | B \text{ çalışır})P(B_C) + P(\text{Sistem Arızası} | B \text{ arızalı})P(B_A) \quad (4.18)$$

Bu yaklaşım şekil 4.3'teki sisteme uygulanabilir.

P_g : Üretim yetersizliği olasılığı

P_c : İletim yetersizliği olasılığı

Q_s : Sistem arıza olasılığı

A_1, U_1 : Hat 1 sağlanabilirliği ve sağlanamamazlığı

A_2, U_2 : Hat 2 sağlanabilirliği ve sağlanamamazlığı olarak ifade edilirse;

$$Q_s = Q_s (L_1 \text{ devrede}) A_1 + Q_s (L_1 \text{ devre dışı}) U_1 \quad (4.19)$$

olarak bulunur. Kapasite değişimi ve iletim yetersizliği olasılıkları bağımsız olarak kabul edilirse sistem arıza olasılığı;

$$Q_s = A_1[A_2(P_g + P_c(1,2) - P_g P_c(1,2)) + U_2(P_g + P_c(1) - P_g P_c(1))] + U_1[A_2(P_g + P_c(2) - P_g P_c(2)) + U_2] \quad (4.20)$$

Bir ağdaki K barasında oluşan Q_k arıza olasılığı:

$$Q_k = \sum_j [P(B_j)(P_{gj} + P_{lj} - P_{gj}P_{lj})] \quad \text{olarak ifade edilir.} \quad (4.21)$$

B_j : İletim ağındaki devredışı durumu

P_{gj} : Devredışı üretim kapasitesinin rezerv kapasitesini aşma olasılığı

P_{lj} : K barasındaki yükün sağlanan maksimum yük oranını arızasız olarak karşılama olasılığı

K barasındaki umulan arıza sıklığı ise şu şekilde formülize edilir:

$$F_K = \sum_j [F(B_j)(P_{gj} + P_{lj} - P_{gj}P_{lj})] \quad (4.22)$$

(4.21) ve (4.22) eşitlikleri tek hatlı sistemler için geçerlidir. Raydal konfigürasyonlar için genel bir tanımlama yapmak gerekirse:

$$Q_K = \sum_j [P(B_j)P_{lj}] \quad (4.23)$$

$$F_k = \sum_j [F(B_j)P_{1j}] \quad (4.24)$$

Bu durumda, jeneratör kayıpları ve iletim sistemi kayıpları birbirlerinden bağımsızdır ve üretim planlaması ve yük akışı sonuçları buna uygun olarak düzeltilmiştir. Eşitlik (4.23) yük modeli geçişleri için sıklık elemanlarını içermez. Geçişlerin sisteme eklenebilmesi için tüm sistem yükünün aynı anda yüksek yük seviyesinden düşük yük seviyesine geçtiği varsayılır. Eşitlik (4.22) ve (4.24) her biri arıza durumunu gösteren geçişler arası sıklıkları içerir.

Şekil 4.3'teki sisteme aşağıdaki değerler uygulanırsa:

Üretim üniteleri:

6x40 MW $\lambda = 0,01$ arıza / gün = 3,65 arıza / yıl
 $\mu = 0,49$ tamir/gün = 178,85 tamir / yıl
 $U = 0,02$

İletim Elemanları

2 Hat $\lambda = 0,5$ arıza / yıl
 $\mu = 7,5$ saat / tamir
 $U = 0,0004279$

Yük

Tepe Yük 180 MW

Yük süre eğrisi %100'den %70'e düşen düz bir hat olarak kabul edilsin.

Tablo 4.1'de üretim kapasitesi modeli (kapasite kaybı olasılık tablosu) görülmektedir. Tablo 4.2'de ise iletim kapasitesi modeli görülmektedir.

Tablo 4.1. Üretim Sistemi Modeli

Durum	Kayıptaki Gen. Sayısı	Sağlanabilir Kapasite (MW)	Olasılık	Ayrılma Oranı	Sıklık
1	0	240	0,88584238	21,9	19,399948
2	1	200	0,10847049	197,1	21,379534
3	2	160	0,00553421	372,3	2,060386
4	3	120	0,00015059	547,5	0,082448
5	4	80	0,00000230	722,7	0,001666
6	5	40	0,00000002	897,9	0,000017
7	6	00	0,00000000	1073,1	0,000000

Tablo 4.2’de her hattın kapasitesi X ile işaretlenmiştir. Hatların asıl taşıma kapasiteleri yük noktasındaki başarı kriterine göre belirlenir. Yük talebine ek olarak gerilim seviyesi gerekliliği ihmal edilirse, hattın karakteristiği VAR ile birleştirilmiş ve son gerilim zorlanmasını içermelidir. Bir hat oranı belirlenirse, problem çalışma kalitesi yerine iletme geçer ve biraz daha basitleşir [23].

Tablo 4.2. İletim sistemi modeli

Durum	Devre Dışı Kalmış Hat S.	Sağlanabilir Kapasite (MW)	Olasılık	Ayrılma Oranı	Sıklık
1	0	2X	0,99914438	1,0	0,999144
2	1	1X	0,00085543	1168,5	0,999574
3	2	0X	0,00000018	2336,0	0,000428

Tablo 4.3’te birleştirilmiş durum olasılıkları ve sıklıklar gösterilmiştir. Tek hattın taşıma kapasitesi X , 160 MW olarak kabul edilmiştir.

Tablo 4.3. Durum olasılıkları ve sıklıklar

	Durum	Aktif Kap.	Durum			Arıza	
			Olasılık	Sıklık	P_{1j}	Olasılık	Sıklık
1	0G 0L	240	0,88508444	20,268433	0,00000000	0,00000000	0,000000
2	0G 1L	160	0,00075778	0,902061	0,37037038	0,00028066	0,334097
3	0G 2L	0	0,00000016	0,000382	1,00000000	0,00000016	0,000382
4	1G 0L	200	0,10837768	21,469619	0,00000000	0,00000000	0,000000
5	1G 1L	160	0,00009279	0,126713	0,37037038	0,00003437	0,046931
6	1G 2L	0	0,00000002	0,000050	1,00000000	0,00000002	0,000050
7	2G 0L	160	0,00552947	2,064152	0,37037038	0,00204795	0,764501
8	2G 1L	160	0,00000473	0,007294	0,37037038	0,00000175	0,002702
9	2G 2L	0	0,00000000	0,000003	1,00000000	0,00000000	0,000003

Tablo 4.3. (Devam)

10	3G 0L	120	0,00015046	0,082528	1,00000000	0,00015046	0,082528
11	3G 1L	120	0,00000013	0,000221	1,00000000	0,00000013	0,000221
12	3G 2L	0	0,00000000	0,000000	1,00000000	0,00000000	0,000000
13	4G 0L	80	0,00000230	0,001667	1,00000000	0,00000230	0,001667
14	4G 1L	80	0,00000000	0,000004	1,00000000	0,00000000	0,000004
15	4G 2L	0	0,00000000	0,000000	1,00000000	0,00000000	0,000000
16	5G 0L	40	0,00000002	0,000017	1,00000000	0,00000002	0,000017
17	5G 1L	40	0,00000000	0,000000	1,00000000	0,00000000	0,000000
18	5G 2L	0	0,00000000	0,000000	1,00000000	0,00000000	0,000000
19	6G 0L	0	0,00000000	0,000000	1,00000000	0,00000000	0,000000
20	6G 1L	0	0,00000000	0,000000	1,00000000	0,00000000	0,000000
21	6G 2L	0	0,00000000	0,000000	1,00000000	0,00000000	0,000000
						0,0251783	1,233102

Eşitlik (4.24) arıza durumları arasındaki olası geçişleri içerir bu yüzden 21 durumlu Markov modeli değerlendirilerek belirlenen kapasite sınır duvarının biraz üstünde arıza sıklığını verir. Arıza durumları arasındaki geçişleri içermez. Tablo 4.4 değişik hat taşıma kapasitelerinde 180 MW tepe yükün, yük noktası arıza olasılığı ve sıklığını gösterir.

Tablo 4.4. Yük noktası indisleri

Hat Kapasitesi (MW)	Olasılık	Sıklık
100	0,00305635	1,885441
110	0,00305635	1,885441
120	0,00305635	1,885441
130	0,00299300	1,808646
140	0,00283461	1,616831
150	0,00267622	1,424967
160	0,00251783	1,233102
170	0,00236032	1,042589
180	0,00220280	0,852075
190	0,00220280	0,852075
200	0,00220280	0,852075

Tepe yük değeri 180 MW'tır ve tablo 4.4'ten de görüldüğü gibi hat kapasitesi tepe yükten büyükse veya eşitse indisler sabittir. Bu şartlar altında her iki hat kaybı varsa veya iki veya daha fazla ünite devreden çıkmışsa arıza ortaya çıkar. 120 MW veya daha düşük hat kapasiteleri için de indisler sabittir. 180 MW tepe yükün düşük yük

seviyesi 126 MW'tır. Bu yüzden iletim kapasitesi 126 MW'ın altında düştüğünde sistem yine arızalı duruma geçecektir. Tablo 4.5'te ve 4.6'da değişik hat kapasiteleri ve tepe yükleri için yük noktası indisleri verilmiştir.

Tablo 4.5: Yük noktası indisleri – Olasılık

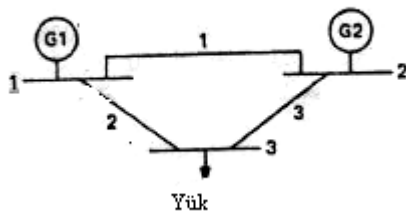
Tepe Yük (MW)	Hat Kapasitesi (MW)				
	120	140	160	180	200
200	0,00469472	0,00469472	0,00440962	0,00412609	0,00384257
180	0,00305635	0,00283461	0,00251783	0,00220280	0,00220280
160	0,00084075	0,00048438	0,00012800	0,00012800	0,00012800
140	0,00048150	0,00007422	0,00007422	0,00007422	0,00007422
120	0,00000251	0,00000251	0,00000251	0,00000251	0,00000251

Tablo 4.6: Yük noktası indisleri – Sıklık (meydana gelme / yıl)

Tepe Yük (MW)	Hat Kapasitesi (MW)				
	120	140	160	180	200
200	2,497042	2,497042	2,151686	1,808762	1,465837
180	1,885441	1,616831	1,233101	0,852075	0,852075
160	0,934471	0,502776	0,071081	0,071081	0,071081
140	0,534893	0,041527	0,041527	0,041527	0,041527
120	0,002123	0,002123	0,002123	0,002123	0,002123

4.10. Ağ Yapılandırılmaları

Şekil 4.4'teki sistem ele alınacak olursa:



Şekil 4.4. Basit iletim ağı konfigürasyonu

Çalışma süresince günlük tepe yük eğrisi %100'den %60'a ve yük - süre eğrisi %100'den %40'a düştüğü varsayılın. Tepe yük değeri 110 MW olsun. İletim sistemi tamamen güvenilir olsun ve herhangi bir kapasite sınırlaması olmasın.

Tablo 4.7. Üretim sistemi verileri

	Ünite Sayısı	Kapasite	Sağlanamamazlık	Arıza Oranı (arıza/yıl)	Tamir Oranı (tamir / yıl)
1	4	20	0,01	1	99
2	2	30	0,05	3	57
Toplam	6	140			

Tablo 4.8. İletim sistemi verileri

Hat	Bağlandı		λ	μ	R (ohm)	X (ohm)	B/2	100 MVA baz	
								oranı MVA	pu
1	1	2	4	8	0,0912	0,4800	0,0282	80	0,8
2	1	3	5	8	0,0800	0,5000	0,0212	100	1,0
3	2	3	3	10	0,0798	0,4200	0,0275	90	0,9

Bu şartlar altında bir yıllık periyot için sistem indisleri:

$$\text{LOLE} = 1,3089 \text{ gün/yıl}$$

$$\text{LOLP} = 0,003586$$

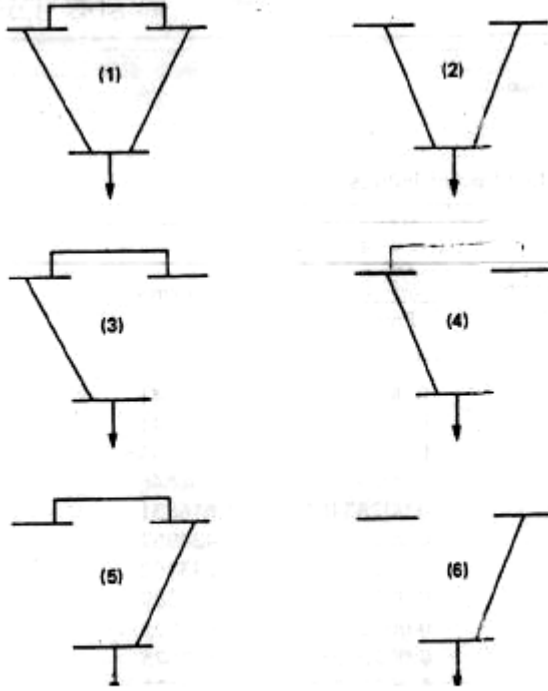
$$\text{LOEE} = 267,6 \text{ MWh}$$

$$\text{LOLP} = 0,0024$$

Yük noktası arıza olasılığı için şu formülden faydalanılabilir:

$$\begin{aligned}
Q_s = & A_2 [A_3 [[P_g(1,2) + P_c(1) - P_g(1,2)P_c(1)] A_1 + [P_g(1,2) + P_c(2) - P_g(1,2)P_c(2)] U_1] \\
& + U_3 [A_1 [P_g(1,2) + P_c(3) - P_g(1,2)P_c(3)] + U_1 [P_g(1) + P_c(4) - P_g(1)P_c(4)]]] \\
& + U_2 [A_3 [A_1 [P_g(1,2) + P_c(5) - P_g(1,2)P_c(5)] + U_1 [P_g(2) + P_c(6) - P_g(2)P_c(6)]] + U_3]
\end{aligned}
\tag{4.25}$$

$P_c(j)$ terimi şekil 4.5'teki j konfigürasyonundaki olasılığı gösterir.



Şekil 4.5. Konfigürasyonlar

Uygun yük modeli kullanılarak, her konfigürasyon için ayrı ayrı yük akışı yapıldığında, her konfigürasyonun yetersiz iletim kapasite olasılığı bulunabilir. Bu durumda kullanılacak bir takım çözüm teknikleri vardır. Her model farklı modelleme teknikleri içermektedir ve bu yüzden farklı yük noktası güvenilirlik indisleri elde edilir. En basit yaklaşım iletim hattı zorlanmasının ihmal edilmesi ve süreklilik tek kriteridir. Bir sonraki adım hat kapasitesinin bazı maksimum değerler alınarak geçiş yaklaşımının uygulanmasıdır.

Şekil 4.4'te gösterilen sistem için hat sağlanabilirlik ve sağlanamazlık değerleri tablo 4.8'deki veriler kullanılarak tablo 4.9'da gösterilmiştir.

Tablo 4.9. İletim sistemi istatistikleri

Hat	Sağlanabilirlik	Sağlanamamazlık
1	0,99636033	0,00363967
2	0,99545455	0,00454545
3	0,99658703	0,00341297

Yük noktasındaki sistem arıza olasılığı eşitlik (4.25) yardımıyla bulunabilir. Eğer iletim sisteminde bir kaybın olmadığı kabul edilirse ve yeterli üretim kapasitesi tek kriter ise bu durumda:

$$Q_s = 0,09807433$$

Bu hesaplamada yükün yıl boyunca 110 MW olarak sabit kaldığı kabul edilmiştir. Bu yıllık değer olarak belirlenebilir. 0,09803430 değere sahip 30 MW veya daha fazla devre dışı değere sahip üretim sistemi ile kıyaslanabilir. 30 MW kayıp durumu, 110 MW yüke ek olarak iletim sistemi kayıpları gibi bazı sistem arızalarını göstermek için hesaba katılır. Bu yıllık indeks, yük değişimleri ihmal edildiğinden sistem güvenilirliğini tam olarak vermez. Yine de bu, basit fakat çok kullanışlı bir indekstir.

Eşitlik (4.21) ve (4.22) yük noktası arızasının olasılık ve sıklığını bulmakta da kullanılabilir. Tablo 4.10 iletim kaybı olmayan durumlar için iletim ve üretim durum olasılıklarını gösterir.

Yük tepe değerinin 110 MW sabit olması yerine yük değişimleri hesaba katılabilir. Bu şartlar altında Tablo 4.10'daki P_g ve P_{1j} değerleri düşer çünkü Q_s değeri, düşük yük seviyelerinde daha düşük değere sahiptir.

Umulan arıza sıklığını hesaplamak için eşitlik (4.22)'deki değerlere ek olarak tablo 4.10'daki her durumdan ayrılma oranları gerekmektedir. Bu değerler ve durum sıklıkları tablo 4.11'de gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Durum Olasılıkları

j Durumu	Devrede Olmayan Hat	$P(B_j)$	P_g	P_{1j}	P (Sistem Arızası) Tek
1	0	0,98844633	0,09803430	0	0,09690164
2	1	0,00361076	0,09803430	0	0,00035398
3	2	0,00451345	0,09803430	0	0,00044247
4	3	0,00339509	0,09803430	0	0,00033185
5	1,2	0,00001649	1,0	0	0,00001649
6	1,3	0,00001287	1,0	0	0,00001237
7	2,3	0,00001546	1,0	1	0,00001546
8	1,2,3	0,00000006	1,0	1	0,00000006
			Yıllık	Q_s	0,9807433

Tablo 4.11. Durum sıklıkları

j Durumu	Devrede Olmayan Hat	Ayrılma Oranı	$F(B_j)$	Arıza Sıklığı
1	0	12	11,86135596	1,16281973
2	1	1103	3,98266828	0,39043810
3	2	1102	4,97382190	0,48760515
4	3	885	2,99580465	0,29369161
5	1,2	2193	0,03616257	0,03616257
6	1,3	1976	0,02444312	0,02444312
7	2,3	1975	0,03053350	0,03053350
8	1,2,3	3066	0,00018396	0,00018396
		Yıllık	F_s	2,42587774 f/yıl

Hattaki aşırı yüklenmeden dolayı bir hat sistemden çıkarılırsa yük noktası indisi büyür. Hat 2 ve 3'ün aşırı yüklenmesi sebebiyle sağlanamaz olduğunu varsayalım. Bu şartlar altında, yük noktası arızalarının artmasına bağlı olarak yük azalabilir. Bu durumda;

$$Q_s = 0,10520855$$

$$F_s = 9,61420753 \text{ f/yr}$$

4.11. Durum Seçimi

4.11.1. Genel kavramlar

Eşitlik (4.21) ve (4.22) üretim tesislerini bir eşitlik modeliymiş gibi değerlendirir ve bu yüzden toplam tek durum sayısı azaltılmalıdır. Eşitlik (4.23) ve (4.24) her üretim ünitesi ve iletim hattını ayrı ayrı elemanlar olarak değerlendirir ve böylece yaklaşımın esnekliği artar. Fakat buna bağlı olarak değerlendirilen durum sayısı da artış gösterir. Bu sistemde 9 elemanın toplam 512 durumu söz konusudur. Bu yüzden durum sayısını azaltmak gereklidir. Durum sayısı azaltımı birkaç metotla yapılabilir.

En basit yöntem olasılık seviyelerinin belirlenmesidir[24]. Belirli bir değer altındaki olasılıklar ihmal edilerek düzenlenebilir. Bir başka yöntem aynı kayıpları veren durumları gruplamaktır [21]. Bütün yöntemlerdeki amaç; gerçek bir sistemde meydana gelebilecek olayları azaltmaktır. Kullanışlı bir yaklaşım, bağımsız olaylar için kayıp durumlarını sonuçlarını hesaba katmalıdır. Ek olarak bağımlı kayıp durumlarını da aynı olasılıkta değerlendirmelidir Şu aşamada önce bağımsız kayıplar değerlendirilecektir. Bağımlı kayıplar ileriki bölümlerde işlenecektir.

4.12 Sistem ve Yük Noktası İndisleri

Şekil 4.4'te gösterilen sistem çok basit yapıdadır. Gerçek bir sistemde daha fazla sayıda yük noktası vardır ve her noktanın farklı bir güvenilirlik indisi mevcuttur [23]. Temel parametreler, her yük için arıza olasılık ve sıklık parametreleridir. Temel değerlerden ek indisler yaratılabilir. Sistem indislerini bulmak için, tek tek yük noktası indisleri toplanabilir. Ek olarak üretim yeterliliğine karar vermek, ihtiyaç duyulan miktarda enerjinin iletim ağından müşteri yük noktasına iletilmesini düzenlemek için yine indisler toplanabilir. [23,24]. Tablo 4.12 kullanılacak yük noktası indislerini listelemektedir.

Eğer bu indisler tek yük seviyesi için hesaplandıysa ve bir yıl için baz olarak kabul edilmişse, yıllık değerler olarak belirtilmelidir. Yıllık değerler tepe yüklerle

hesaplandığından, gerçek yıllık indislerden daha yüksektir. Tablo 4.12’de listelenen indisler aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir.

$$\text{Arıza olasılığı} = Q_k = \sum P_j P_{Kj} \quad (4.26)$$

$$\text{Arıza Sıklığı} = F_k = \sum F_j P_{Kj} \quad (4.27)$$

J : Ağdaki bir kayıp durumu

P_j : J kaybının oluşma olasılığı

F_j : J kayıp durumunun meydana gelme sıklığı

P_{Kj} : j kaybı süresince K barasının beslediği yükün, maksimum yük değerini aştığı yük olasılığıdır.

Tablo 4.12. Yıllık yük noktası indisleri

Temel Değerler

- Arıza Olasılığı
- Umulan Arıza Sıklığı
- Umulan Gerilim Dalgalanması Sayısı
- Umulan Yük Azalması Sayısı
- Umulan Yük Azalması
- Umulan Sağlanamayan Enerji
- Umulan Yük Azalması Süresi

Maksimum Değerler

- Maksimum Yük Azalması
- Maksimum Enerji Azalması
- Maksimum Azalma Süresi

Ortalama Değerler

- Ortalama Yük Azalması
- Ortalama Enerji Azalması
- Ortalama Azalma Süresi

Tablo 4.12. (Devam)

Bara İzolasyon Değerleri

Umulan Azalma Sayısı

Umulan Yük Azalması

Umulan Sağlanamayan Enerji

Umulan Yük Azalması Süresi

$$\text{Umulan gerilim dalgalanması sayısı} = \sum_{j \in V} F_j \quad (4.28)$$

$j \in V$, K barasında meydana gelen tüm gerilim dalgalanmaları olasılıklarını kapsar.

$$\text{Umulan yük azalması sayısı} = \sum_{j \in x, y} F_j \quad (4.29)$$

$j \in x$, K barasındaki yük azalması yardımıyla hafifletilen hat yüklenmelerinin sonuçlarını içeren tüm olasılıklardır.

$j \in y$, K barası izolasyonu sonuçlarını içeren tüm olasılıklardır.

$$\text{Umulan yük azalması} = \sum_{j \in x, y} L_{Kj} F_j \text{ MW} \quad (4.30)$$

L_{Kj} j olasılığına bağlı olarak artan hat aşırı yüklenmelerini hafifletmek için veya j olayına bağlı K barası izolasyonu sonucu, K barasındaki yük azalmasıdır.

$$\text{Umulan sağlanamayan enerji} = \sum_{j \in x, y} L_{Kj} D_{Kj} F_j \text{ MWh} \quad (4.31)$$

$$= \sum_{j \in x, y} L_{Kj} P_j \times 8760 \text{ MWh} \quad (4.32)$$

D_{Kj} : j olasılığı süresince K barası izolasyonu sonucu veya j olayına bağlı yük azalmasının ulaştığı saat bazındaki süredir.

$$\text{Yük azalmasının umulan sayısı: } \sum_{j \in X, Y} D_{Kj} F_j \quad \text{saat} \quad (4.33)$$

$$\sum_{j \in X, Y} P_j \times 8760 \quad \text{saat} \quad (4.34)$$

$$\text{Maksimum yük azalması} = \text{Max}\{L_{K1}, L_{K2}, \dots, L_{Kj}, \dots\} \quad (4.35)$$

$$\text{Maksimum enerji azalması} = \text{Max}\{L_{K1} D_{K1}, L_{K2} D_{K2}, \dots, L_{Kj} D_{Kj}, \dots\} \quad (4.36)$$

$$\text{Yük azalması maksimum süresi} = \text{Max}\{D_{K1}, D_{K2}, \dots, D_{Kj}, \dots\} \quad (4.37)$$

$$\text{Ortalama yük azalması} = \frac{\sum_{j \in X, Y} L_{Kj} F_j}{\sum_{j \in X, Y} F_j} \quad \text{MW / azalma} \quad (4.38)$$

$$\text{Ortalama sağlanamayan enerji} = \frac{\sum_{j \in X, Y} L_{Kj} D_{Kj} F_j}{\sum_{j \in X, Y} F_j} \quad \text{MWh / azalma} \quad (4.39)$$

$$\text{Ortalama azalma süresi} = \frac{\sum_{j \in X, Y} D_{Kj} F_j}{\sum_{j \in X, Y} F_j} \quad \text{saat / azalma} \quad (4.40)$$

K barası izolasyonundan dolayı indisler:

$$\text{Umulan azalma sayısı} = \sum_{j \in Y} F_j \quad (4.41)$$

$$\text{Umulan yük azalması} = \sum_{j \in y} L_{kj} F_j \quad \text{MW} \quad (4.42)$$

$$\text{Umulan Sağlanamayan Enerji} = \sum_{j \in y} L_{kj} D_{kj} F_j \quad (4.43)$$

$$= \sum_{j \in x, y} L_{kj} P_j \times 8760 \quad \text{MWh} \quad (4.44)$$

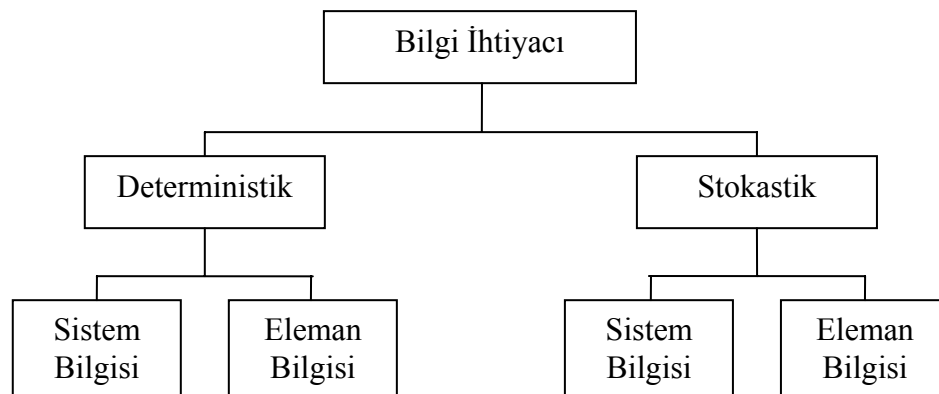
$$\text{Umulan yük azalması süresi} = \sum_{j \in y} D_{kj} F_j \quad (4.45)$$

$$\sum_{j \in x, y} P_j \times 8760 \quad \text{saat} \quad (4.46)$$

4.13. Karmaşık Sistem Güvenilirlik Değerlendirmesi İçin Veri İhtiyacı

4.13.1. Genel kavramlar

Üretim ve iletim sistemini kapsayan değerlendirmeler karmaşık problemlerdir. Bu analiz için gerekli bilgiler şekil 4.6'daki gibi iki ana başlık altında toplanabilir. Bu iki veri stokastik ve deterministik bilgilerdir.



Şekil 4.6. Veri ihtiyaçları

4.13.2. Deterministik veriler

Bu veri, hem genel sistem hem de sistemi oluşturan elemanlar için gereklidir. Eleman verileri hat empedans ve suseptansı, akım taşıma kapasitesi, üretim ünitesi parametresi gibi bilinen parametreleri içerir. Bu verilerin çalışma süresince belirlenmesi çok zor değildir. Belirli kayıp durumlarında sistem bilgilerini anlamak, değerlendirmek ve sistem sonuçlarını hesaplamak zordur. Bilgisayar modeli gerçek sistemdekine uygun olmalıdır, aksi takdirde sonuçlar gerçeği yansıtmazlar.

4.13.3. Stokastik veriler

Stokastik veriler kendi içinde iki gruba ayrılır: Eleman ve sistem bilgileri. Sistemdeki tek tek elemanların arıza ve tamir parametreleri, sistemi oluşturan elemanlara aittir. İki veya daha fazla eleman gerektiren sistem olayları için karar vermek gerekmektedir. Bu tip bilgiler sisteme özgüdür ve sistem analizinde daha çok ikinci veya üçüncü veri olarak sisteme eklenir. Sistem bilgisi genel iletim hattı konfigürasyonundan veya istasyon nedenli etkilerden kaynaklanan çoklu arızaların sonuçlarını içerir.

Değişik tipteki kayıplar şöyle gruplanabilir:

1. Bağımsız kayıplar
2. Bağımlı kayıplar
3. Genel sebepli veya genel durumlu kayıplar
4. İstasyon nedenli kayıplar

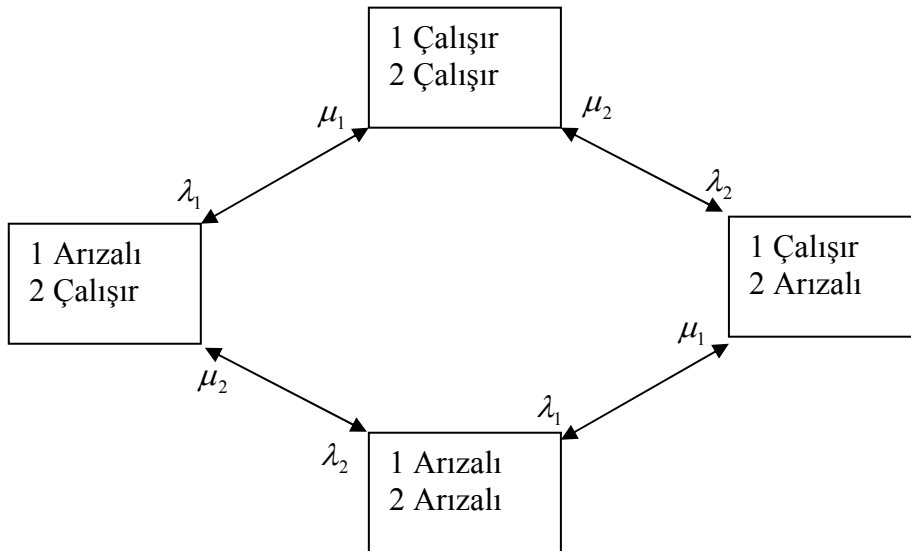
4.13.4. Bağımsız kayıplar:

Bağımsız kayıplar, iki veya daha fazla sayıda elemanı içeren, anlaşılması en basit kayıplardır. Üst üste binen veya eş zamanlı bağımsız olaylarmış gibi kabul edilir. Bu tip bir kayıp olasılığı her eleman için arıza olasılıklarının bir sonucudur. Bu tip uygulamalarda çalışır ve arızalı durumlarını içeren basit temel modeller kullanılır.

Elemanın çalışır durumdan arızalı duruma geçme oranı arıza oranı (λ) ile gösterilir. Arızalı durumdan çalışır duruma geçme olasılığı tamir oranı (μ) ile gösterilir ve daha karmaşıktır. Zorlanmış kayıptan çalışır duruma geçme birkaç farklı yolla yapılabilir. Bu yollar eleman arızalı durumlarının bulunması olasılığında önemli değişikliklere neden olabilir. Genellikle sağlanamamazlık olarak gösterilir. Arızalı durumdan çalışır duruma geçme işlemlerinden bazıları;

- Yüksek hızlı otomatik yeniden kapama,
- Düşük hızlı otomatik kapama,
- Tamirsiz,
- Tamirli şeklindedir.

Bu prosesler farklı kayıp oranlarına sahip olmalarından dolayı farklı tamir oranlarına sahiptirler. Şekil 4.7'de bağımsız arızaları içeren iki durumlu bir sistem gösterilmiştir. Zorlanmış kayıplara ek olarak, eleman bakım için planlı olarak devreden çıkarılmış olabilir. Planlı kayıplar rasgele arızalardan olmadığından doğrudan kayıp oranına eklenmemelidir.



Şekil 4.7. Temel eşzamanlı bağımsız arıza modeli

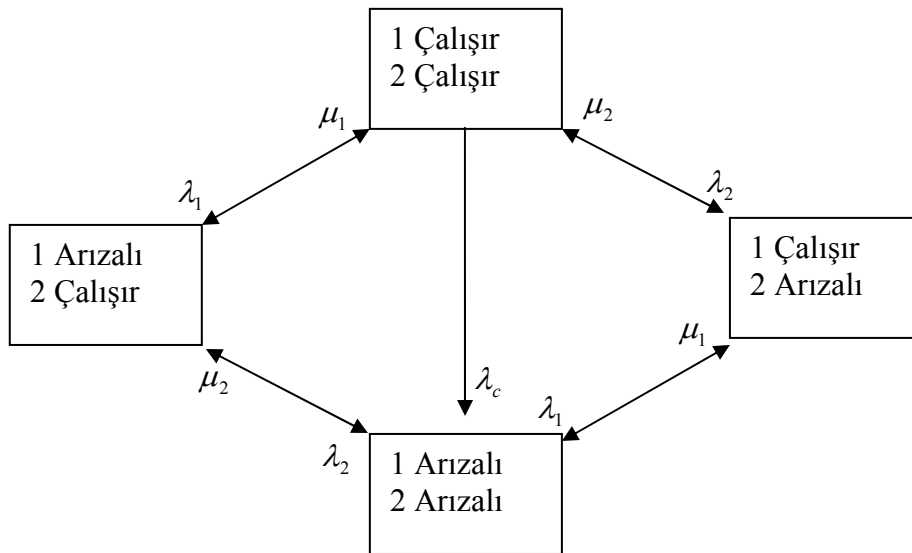
4.13.5. Bağımlı kayıplar:

Adında anlaşılacağı üzere bu kayıpların meydana gelmesi, diğer kayıplardan en az birine bağlıdır. Bu kayıplar normalde karmaşık sistem güvenilirlik değerlendirmelerinde hesaba katılmaz.

4.13.6. Genel sebepli kayıplar

Bağımsız kayıplardaki gibi, iki veya daha fazla eleman içeren eşzamanlı bağımsız kayıp olayının meydana gelme olasılığı, tek eleman kayıp olasılıklarının bir sonucudur. Eğer tek eleman kaybı düşükse, sonuç oldukça küçük olur. Genel sebepli kayıp olasılığının sonuçları beklenmeyen kayıp olasılıklarına göre çok daha büyük olabilir. Bu kayıplar, ikinci veya daha yüksek sıralı bağımsız kayıp ile karşılaştırıldığında, bara güvenilirlik indisine etkisi önemli olabilir.

Genel sebepli kayıplar, birbirine bağlı olmayan çoklu arıza etkilerine sahip harici olaylardır. Genel sebepli arızaların en belirginini iki veya daha fazla iletim devresinin beslediği uzun iletim sistemi arızasıdır. [25].

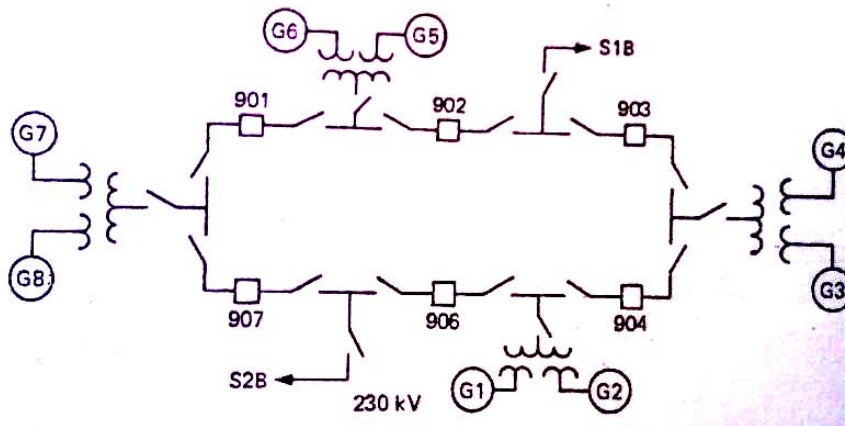


Şekil 4.8. IEEE modeli – Genel sebepli kayıp modeli

IEEE alt komitesi tarafından, aynı yöndeki veya aynı uzunluktaki iki iletim sistemi için belirlenen genel sebepli arıza modeli şekil 4.8’de gösterilmiştir. Şekil 4.8, şekil 4.7 ile benzerlik göstermektedir. Bu model genel sebepli arızalar dahil tüm arızalar için aynı tamir prosesinin uygulandığını varsayar. Şekilde 1. durumdan 4. duruma geçiş olan ve λ_c ile gösterilen kısım genel sebepli arızaları ifade eder.

4.13.7. İstasyon kaynaklı kayıplar

İki veya daha fazla iletim elemanının kaybı muhakkak aynı yönde olmak zorunda değildir. İstasyon merkezli nedenlerden dolayı da kayıplar meydana gelebilir. İstasyon merkezli kayıplar, kesicideki topraklamadan dolayı, kesicinin takılmasından dolayı, bara arızası sebebiyle veya bu arızaların birkaçı nedeniyle meydana gelebilir. Bu tip kayıplar bağımsız kayıplarla birleştirilerek hat ve/veya jeneratör kayıp oranı olarak gösterilmiştir. Bu tip bir davranış terminal istasyonundaki bir olaydan kaynaklandığından sistemdeki birden fazla elemanın eş zamanlı devre dışı kalması olayıyla aynı şekilde değerlendirilemez. Bu yüzden, bu tür olayları farklı değerlendirmek gerekmektedir [24]. İstasyon merkezli arızaların yük noktası güvenilirlik indisi üzerinde kayda değer bir etkisi vardır. Şekil 4.9’da bu durum görülmektedir.



Şekil 4.9. Karmaşık sistem modeli

Şekil 4.9’da görülebileceği üzere, 901, 902 ve 907 kesicilerinde bir topraklama arızası meydana geldiğinde sistemdeki dört jeneratör sistemden izole edilir. Bu tip bir olay normalde üretim kapasitesi veya karmaşık sistem güvenilirlik

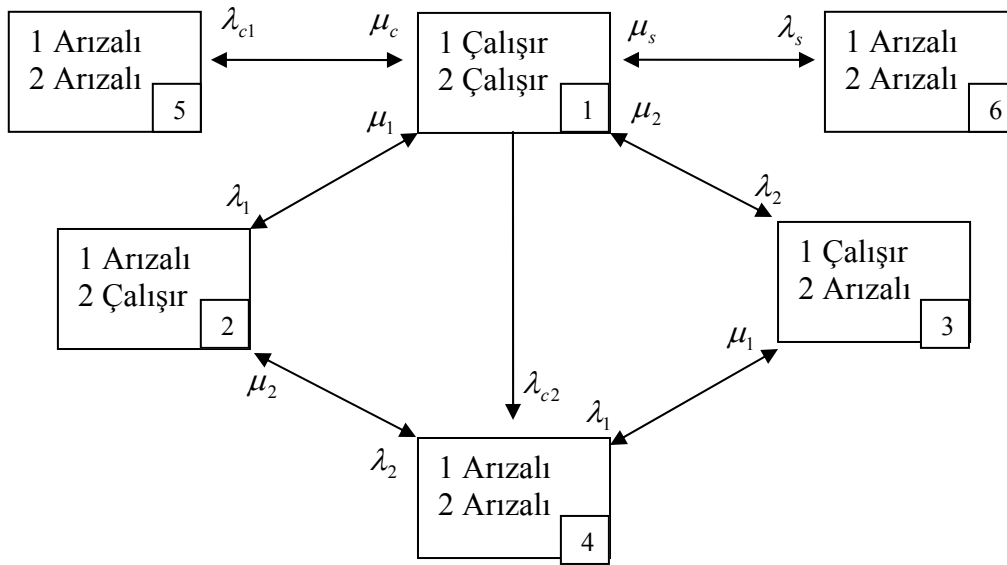
değerlendirmelerinde değerlendirilmez. Bu kaybın ortadan kaldırılma süresi, arızanın giderilmesi ve kesicinin tekrar kapatılmasıyla ilgilidir. Basitçe ifade etmek gerekirse, dört jeneratörün devreye girmesi için kesicilerin devreye alınmaları gerekmektedir. Bunun anlamı, terminal nedenli istasyonları gidermek ve sistemi devreye almak doğrudan bir tamir olayına gerek duyulmaksızın anahtarlama ile yapılabilir. Bu yüzden farklı bir modele ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 4.10, hem genel sebepli hem de istasyon nedenli arızaları içeren bir model olabilir.

Şekil 4.10'daki durum geçiş diyagramında iki genel sebepli arıza olayı tanımlanmıştır. (λ_{c1} ve λ_{c2}). Bu olaylar fiziksel olarak farklı olaylardır. İlk durumda, tamir süreci, bağımsız kayıp olaylarındaki gibidir. İkinci durum ise genel nedenli tamir prosesi içermektedir.

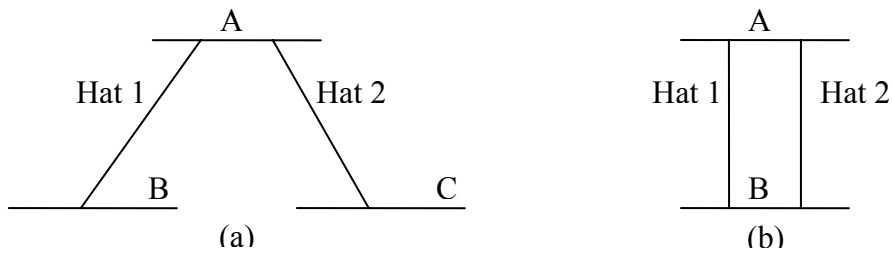
Genel sebepli ve istasyon nedenli olaylar sistem iletim elemanlarında farklı etkiler yaparlar. Şekil 4.11 iki hatlı konfigürasyonları göstermektedir. Şekil 4.11(a)'da 1. hat ve 2. hat A istasyonundan başlayıp birbirinden farklı B ve C istasyonlarında sonlanıyorlar. A istasyonundaki bir eleman arızasından veya üst üste binen birbirinden bağımsız iki bağımsız olay sebebiyle bu iki hat devreden çıkabilir. Şekil 4.11(b)'de ise her iki hat da B istasyonunda sonlanmaktadır. Bu durumda farklı bir kayıp meydana gelebilir. Eğer hatlar aynı yapıda ise veya aynı ortak yoldan gidiyorlarsa genel sebepli arıza nedeniyle her iki hat da devreden çıkabilir. Geniş ve kapsamlı bir analiz için tüm bu olasılıklar sistem hesaplamalarında göz önüne alınmalıdır.

Bu yüzden karmaşık sistem güvenilirlik değerlendirmeleri için stokastik data ihtiyaçları, hem tek tek eleman parametrelerini hem de birden fazla ve belki sisteme özgü bilgileri içeren yüksek seviyeli dataları içermektedir.

Görünen o ki, nispeten yüksek miktarda datalar tek eleman kayıpları ile ilişkilidir.



Şekil 4.10. Genel sebepli, istasyon nedenli ve bağımsız olaylar genel modeli



Şekil 4.11. İki hatlı yapılandırma

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Güvenilirlik, ürünün tasarlanmış özelliklerini tam olarak yerine getirmesi için ürünün kabiliyeti üzerine odaklanan geniş bir terimdir. Elektrik enerjisi için ifade etmek gerekirse güvenilirlik, müşteri tarafından talep edilen miktardaki enerjinin her noktaya kaliteli ve sürekli bir şekilde iletilmesini sağlamak amacıyla güç sistemi elemanlarının yetenekleriyle ilgilenir.

Enerji sistemlerinde güvenilirlik değerlendirmesi yapılabilmesi için bir takım teknikler geliştirilmiştir. Kullanılan verilere ve verilerin doğruluğuna göre bu teknikler bir birlerinden farklı sonuçlar verebilmektedirler. Hata ağacı yöntemi görsel olması, fazla bilgiye ihtiyaç duyulmaması ve büyük sistemlerin kolaylıkla modellenebilmesi sebebiyle bu teknikler içerisindeki en basit olanıdır. Sıklık ve süre tekniği ile geliştirilmiş Markov analizi ise daha karmaşık hesaplamalar içermesine rağmen daha fazla bilgi içermesi sebebiyle gerçek hayata daha yakın güvenilirlik sonuçları vermektedir. Visual Basic ile hazırlanan programda, 7 numaralı karmaşık sistem örneğinde hem kesme yöntemi ile hem de hata ağacı yöntemi ile hesaplama yapılmıştır.

Enerji sistemlerinde güvenilirlik değerlendirmesi üç ana başlık altında yapılabilir. Birincisi enerjinin üretildiği bölüm olan üretim sistemi, ikincisi üretim sistemi ile dağıtım sistemini birbirine bağlayan iletim sistemi ve üçüncüsü dağıtım istasyonundan müşteriye ulaşan kısmı kapsayan dağıtım sistemi güvenilirliğidir.

Yeterli üretim kapasitesinin tespiti ve gelecekteki yük taleplerinin tahmini, ileride sisteme eklenecek üretim kapasitesinin belirlenmesi üretim sistemi değerlendirmesinin birinci aşamasıdır. Puant yükler dikkate alınmalı, bakımlar planlanmalı ve buna göre bir rezerv üretim kapasitesi belirlenmelidir. Genel olarak rezerv oranı sistemdeki en büyük kapasitenin belirli bir oranda fazlası rezerv oranı

olarak kabul edilir. Üretim kapasitesi talep edilen yükle orantılıdır. Bu yüzden üretim sistemi güvenilirlik değerlendirmesi yapılırken yaygın olarak yük noktasındaki tepe yükler hesaplamalarda kullanılarak sistemin talep edilen yüke hemen cevap verebilmesi ve olası bir yüklenmede üretim sisteminin çökmemesi amaçlanır. Gerçek bir üretim sisteminde çok sayıda ünite bulunmaktadır. Değerlendirme yapılırken birbirine benzer üniteler gruplanarak durum sayısı azaltılır ve hesaplama kolaylaştırılır.

İletim sistemi güvenilirlik değerlendirmeleri genellikle üretim sistemi değerlendirmesinden sonra, üretim sistemleri ile birlikte ele alınır. İletim sistemleri, dağıtım sistemi ve üretim sistemini birbirine bağlayan, onları konuşturan sistemlerdir. İletim sistemi elemanları hem talep edilen yükü karşılayabilmeli hem de üretim kapasitesini taşıyabilmelidir.

İletim sistemi güvenilirlik değerlendirmesi karmaşık bir süreç içermesine karşın, model bir kere oluşturulduğunda yük noktasında karmaşık bir model oluşturmak için kullanılabilir. İletim sistemi güvenilirliği hesaplamalarında, sistemi meydana getiren elemanların indisleri, yük noktası talebi, üretim kapasitesi gibi etmenlerin yanı sıra şebeke yapısı da sistem güvenilirliğini etkilemektedir. Yük noktasının üretim sistemine uzaklığı iletim hattının uzunluğunu artıracaktır. Üretim sisteminde ani yük değişiklikleri ve olası arızaları karşılamak üzere belirlenen rezerv oranının sistem güvenilirliğini artırması gibi, iletim sistemlerinde kullanılan paralel hatlar da sistem güvenilirliğine pozitif etki yapar. Yine gelecekteki yük talepleri göz önüne alınarak hat kapasiteleri belirlenmelidir.

İletim sistemi değerlendirmelerinde yaygın olarak sıklık ve süre tekniği kullanılmaktadır.

Güvenilirlik başlı başına bir mühendislik dalı haline gelmiş ve uzmanlarca bu değerlendirmelerin kolaylıkla yapılabilmesi için çeşitli bilgisayar programları geliştirilmiştir.

Karmaşık sistem güvenilirlik değerlendirmelerinde bilgi toplama ve toplanan bilgileri değerlendirebilme çok önemli bir yer tutar. Enerji endüstrisinde toplanan bilgiler içinden hangilerinin nasıl kullanılacağına dair üzerinde anlaşılmış bir metot bulunmamaktadır. İletim sistemi değerlendirmesi yapılırken sistemin şu anki üretim ve yük durumu, gelecekte müşteri tarafından talep edilmesi öngörülen enerji miktarı ve buna bağlı olarak üretim kapasitesi genişlemesi, sistemde meydana gelebilecek olası arızalar ve bu arızaların giderilme süreci gibi durumlar göz önüne alınmalıdır.

Tek yük noktası indisleri ve sistem indisleri değerlidir. Birbirlerinin yerine geçmezler, birbirlerini tamamlarlar ve birbirlerine hizmet eden iki ayrı fonksiyondurlar. Bu yüzden hem sistemin genel ihtiyaçları hem de elemanların tek tek durumları dikkate alınmalıdır.

Gerçek bir sistemde karmaşık sistem güvenilirlik değerlendirmesi çok karmaşık bir problemdir. Karmaşık sistem güvenilirlik değerlendirmesi, gerçek sistemin kayıp durumları altında fiziksel olarak nasıl davranacağını gösterir. Aynı zamanda hesaplanan indislerin ne gösterdiğini ve ne içermediğini bildirir. Uygulama yapılacak alan ve indisler, uygun bir değerlendirme için dikkatlice incelenmeli ve hesaplanmalıdır.

KAYNAKLAR

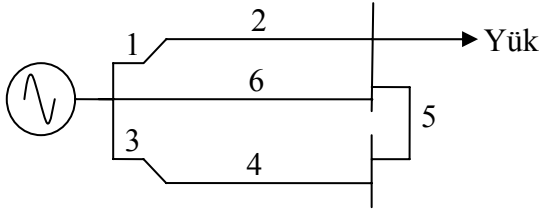
- [1] North America Electric Reliability Council, Reliability Engineering and Cost-Benefit for Use in Power System Planning and Design, Electricity Council Research Memorandum, ECR/m966 (October 1976)
- [2] OSBORN J. & KAWANN C., Reliability of U.S. Electricity System: Recent Trends and Current Issues, August 2001
- [3] YANIKOĞLU E., Ders Notları,2006
- [4] Reliasoft Corporation, Weibull Software, Technical Articles, Introduction to Repairable Systems, Availability, Mart 2007
- [5] ELSAYED E., Reliability Engineering, Addison Wesley, Reading MA, 1996
- [6] Reliasoft Corporation, Weibull Software, Technical Articles, Serial Systems, Mart 2007
- [7] ABD-ALLAH A., Extending RBD to Software Architecture
- [8] KALIA P., Organizational Introduction, RBD, George C Marshall Space Flight Center, Nisan 2006
- [9] Relex Software, Reliability Articles, <http://www.relex.com>, Nisan 2007
- [10] Discrete Time Markov Chains, Mart 2007
- [11] S.P. Meynan & R.L. Twedie, Markov Chains and Stochastic Stability, September 2005
- [12] Harchol-Balter & Lafferty, Probability and Computing, March 2006
- [13] Markov Chain, Nisan 2007
- [14] AZIZ A., SANWAL K., SINGHAL V., Model Checking Continuous Time Markov Chains
- [15] Continuous Time Markov Chains, Şubat 2007
- [16] IEOR-Continuous Time Markov Chains, Şubat 2007

- [17] Reliability Analysys of Large Fault Trees Using the Versely Failure Rate, Relex Software, Reliability Articles, Mart 2007
- [19] BHAVARAJU M.P., An Analysys of generating Capacity Reserve Requirements, IEEE (1974), Paper no. C-74-155-0
- [20] SCHENK K.F., RAU N.S., Application of Fourier Transform Techniques for The Assesment of Reliability of Generating Systems, IEEE Winter Power Meeting (1979), Paper No. A-79-103-3
- [21] BILLINGTON R., Power System Reliability Evaluation, Gordon and Breach, New York 1970
- [22] BILLINGTON R., Composite System Reliability Evaluation, IEEE Transactions, on Power Apparatus and Systems, PAS-88 (1969)
- [23] ALLAN R.N., TAKIEDDINE F.N., Network Limitations on Generating Systems Reliability Evaluation Technuqies, Paper No. A 78 070-5 presented at the IEEE PES Winter Power Meeting, New York, January 1978
- [24] Relex Software, Reliability Articles, Mart 2007
- [25] <http://www.columbia.edu/~umk1/Reliability/Lesson1R.html>, May1s 2007

EKLER

EK A. Örnekler

Örnek 1: Şekil A.1'deki sistem için $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 0,9$ 'dur. Sistemin güvenilirlik değerlerini bulunuz.



Şekil A.1. Örnek Sistem

Çözüm:

Minimal yollar bulunur.

$$Y_1 = 1,2$$

$$Y_2 = 6$$

$$Y_3 = 3,4,5$$

Yol matrisi oluşturulur.

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Birinci dereceden kesme için her bir sütuna tek tek bakılır.

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Görüldüğü gibi tek bir sütunda tüm elemanların bir olduğu bir yol olmadığından birinci dereceden kesme yok.

İkinci dereceden kesme için sütunlar ikişer ikişer incelenir. Tüm elemanların bir olduğu yol olmadığından ikinci dereceden kesme yok.

Üçüncü dereceden kesmeler:

$$C_1 = 1 \cap 3 \cap 6 \quad C_2 = 1 \cap 4 \cap 6$$

$$C_3 = 1 \cap 5 \cap 6 \quad C_4 = 2 \cap 3 \cap 6$$

$$C_5 = 2 \cap 4 \cap 6 \quad C_6 = 2 \cap 5 \cap 6$$

Dördüncü dereceden kesmeler:

$$C_7 = 1 \cap 2 \cap 3 \cap 6 \quad C_1 \text{ kesmesinde aynı elemanlar olduğundan ihmal edilir.}$$

$$C_8 = 1 \cap 2 \cap 4 \cap 6 \quad C_5 \text{ kesmesinde aynı elemanlar olduğundan ihmal edilir.}$$

Dördüncü dereceden diğer kesmeler de aynı sebeplerden ihmal edilir.

$$P(C_1) = P(1)P(3)P(6) = Q_1Q_3Q_6 = 0,1 \times 0,1 \times 0,1 = 1 \times 10^{-3}$$

$$P(C_2) = P(1)P(4)P(6) = Q_1Q_4Q_6 = 0,1 \times 0,1 \times 0,1 = 1 \times 10^{-3}$$

$$P(C_3) = P(1)P(5)P(6) = Q_1Q_5Q_6 = 0,1 \times 0,1 \times 0,1 = 1 \times 10^{-3}$$

$$P(C_4) = P(2)P(3)P(6) = Q_2Q_3Q_6 = 0,1 \times 0,1 \times 0,1 = 1 \times 10^{-3}$$

$$P(C_5) = P(2)P(4)P(6) = Q_2Q_4Q_6 = 0,1 \times 0,1 \times 0,1 = 1 \times 10^{-3}$$

$$P(C_6) = P(2)P(5)P(6) = Q_2Q_5Q_6 = 0,1 \times 0,1 \times 0,1 = 1 \times 10^{-3}$$

$$P(C_1 \cap C_2) = P(C_1)P(C_2) = 1 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^{-3} = 1 \times 10^{-6} \cong 0$$

$$P(C_1 \cap C_2) = P(C_1 \cap C_3) = P(C_1 \cap C_4) = P(C_1 \cap C_5) = P(C_1 \cap C_6)$$

$$= P(C_2 \cap C_3) = P(C_2 \cap C_4) = P(C_2 \cap C_5) = P(C_2 \cap C_6) = P(C_3 \cap C_4)$$

$$= P(C_3 \cap C_5) = P(C_3 \cap C_6) = P(C_4 \cap C_5) = P(C_4 \cap C_6) = P(C_5 \cap C_6) \cong 0$$

$$P(T) = P(C_1) + P(C_2) + P(C_3) + P(C_4) + P(C_5) + P(C_6) - P(C_1 \cap C_2) \\ - P(C_1 \cap C_3) \dots - P(C_5 \cap C_6)$$

$$P(T) = 10^{-3} + 10^{-3} + 10^{-3} + 10^{-3} + 10^{-3} + 10^{-3} = 6 \times 10^{-3}$$

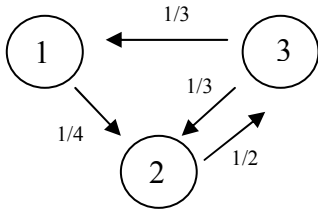
$$R(T) = 1 - Q(T)$$

$$R(T) = 1 - 6 \times 10^{-3} \Rightarrow R(T) = 0,994$$

olarak bulunur.

Visual Basic ile hazırlanmış programda bu sistem için farklı güvenilirlik değerleri girilerek sistem güvenilirliği hesaplanabilir.

Örnek 2: Şekil A.2'deki sistemin ergodik olup olmadığını inceleyiniz.



Şekil A.2. Üç durumlu sistemin durum diyagramı

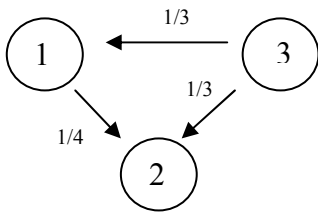
Çözüm:

Şekil A.2’deki sistemin stokastik geçiş matrisi:

$$P = \begin{bmatrix} 3/4 & 1/4 & 0 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 \end{bmatrix}$$

Görüldüğü gibi sistem herhangi bir k zamanında bir i durumundan j durumuna geçebilmektedir. O yüzden bu sistem ergodiktir.

Örnek 3: Aşağıdaki sistemin stokastik olup olmadığını inceleyiniz.



Şekil A.3. Üç durumlu sistemin durum diyagramı

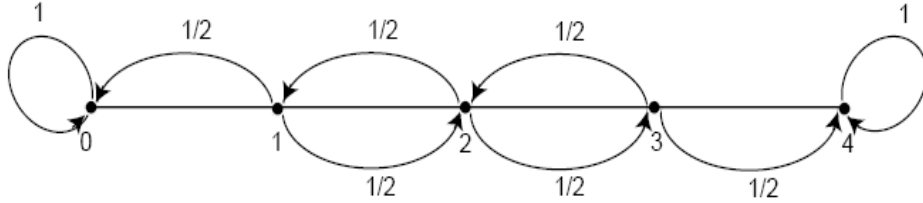
Çözüm:

Şekil A.3’teki sistem için stokastik geçiş matrisi,

$$P = \begin{bmatrix} 3/4 & 1/4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 \end{bmatrix}$$

Görüldüğü üzere sistem 2 durumuna geçtiğinde 2 durumundan kurtulamıyor. Bu yüzden bu sistem ergodik değildir.

Örnek 4: Şekil A.4'teki sistemin ergodik olup olmadığını inceleyiniz.



Şekil A.4. Dört durumlu sistem

Çözüm:

Şekil A.4'teki sistem incelendiğinde, zaman aralığı arttıkça sistemin çalışır durumdan arızalı duruma geçme olasılığı artmaktadır. Böylece zaman aralığı sistemin arıza durumuna geçmesini sağlayacak büyüklüğe ulaşacaktır.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2}\right)^n = 0$$

Sistemin stokastik geçiş matrisi:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Şekil A.4.'teki sistemde 1,2 ve 3 durumları geçiş durumlarıdır. 0 ve 4 durumları ise absorblama durumlarıdır.

Örnek 5: Şekil A.4'teki sistem için indirgenmiş Q matrisini, N temel matrisini, sistemin absorblama durumuna girmeden önce atacağı adımların umulan sayısını ve absorblama durumuna geçiş matrisini bulunuz.

Çözüm:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{idi. P matrisinin kanonik formu,}$$

$$P = \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 0 \\ 4 \end{array} \left[\begin{array}{ccc|cc} 1 & 2 & 3 & 0 & 4 \\ 0 & 1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] = \begin{bmatrix} Q & R \\ 0 & I \end{bmatrix}$$

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$I - Q = \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & 0 \\ -1/2 & 1 & -1/2 \\ 0 & -1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad N = (I - Q)^{-1} = \begin{bmatrix} 3/2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1 & 3/2 \end{bmatrix}$$

Sistem ikinci durumdan başladığında 1,2 ve 3 durumlarına geçmesi umulan sayıları 1,2 ve 1dir.

$$t = Nc = \begin{bmatrix} 3/2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1 & 3/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \\ 4 \\ 3 \end{bmatrix}$$

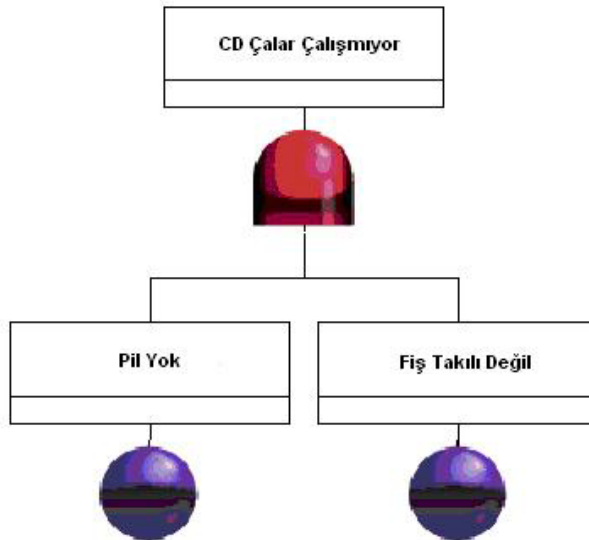
Kanonik formdan;

$$R = \begin{bmatrix} 1/2 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{bmatrix}$$

$$B = NR = \begin{bmatrix} 3/2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1 & 3/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/2 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{bmatrix} \Rightarrow B = \begin{bmatrix} 3/4 & 1/4 \\ 1/2 & 1/2 \\ 1/4 & 3/4 \end{bmatrix}$$

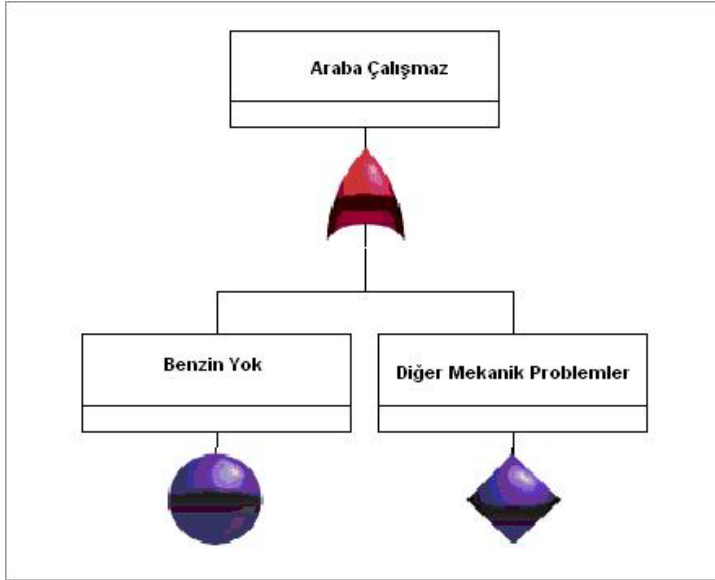
B matrisine göre sistemin birinci durumdan sıfıncı duruma geçme olasılığı $3/4$, dördüncü duruma geçme olasılığı ise $1/4$ 'tür.

Örnek 6: Şekil A.5'teki sistem için pilin olmaması durumu ve fişin takılı olmaması durumu birer temel olaydır. Bu iki olay birbirlerine AND kapısı ile bağlanmıştır. Pil yoksa ve fiş takılı değilse CD player çalışmaz.



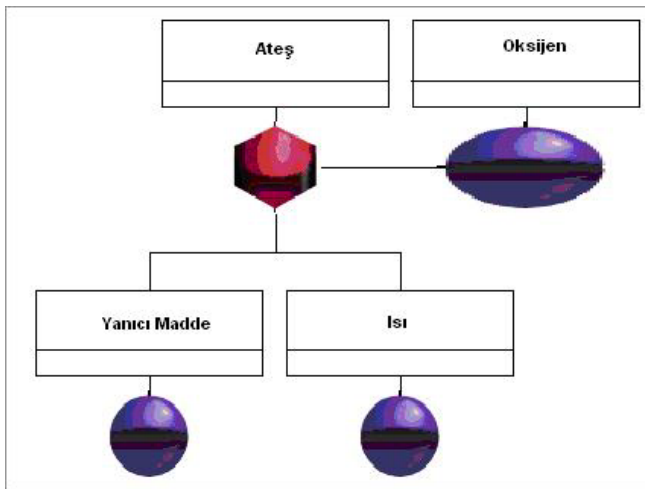
Şekil A.5. FTA için örnek sistem

Örnek 7: Şekil A.6’da temel olay ile öngörülmemiş olay birbirlerine OR kapısı ile bağlanmıştır. Araçta benzin yoksa veya analiz esnasında göz ardı edilmiş olan herhangi başka bir mekanik arıza meydana geldiğinde araç çalışmaz.



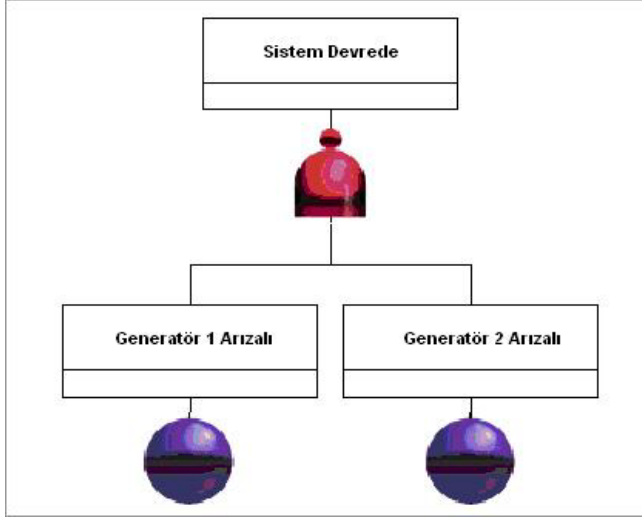
Şekil A.6. FTA için örnek sistem

Örnek 8: Şekil A.7’de inhibit kapısı gösterilmiştir. Oksijen şartı bağlı bir olaydır. Yakıt ve ısı kaynağı giriş işaretleridir. Yakıt ve ısı kaynağının varsa ve ortamda oksijen mevcut ise ateş oluşur.



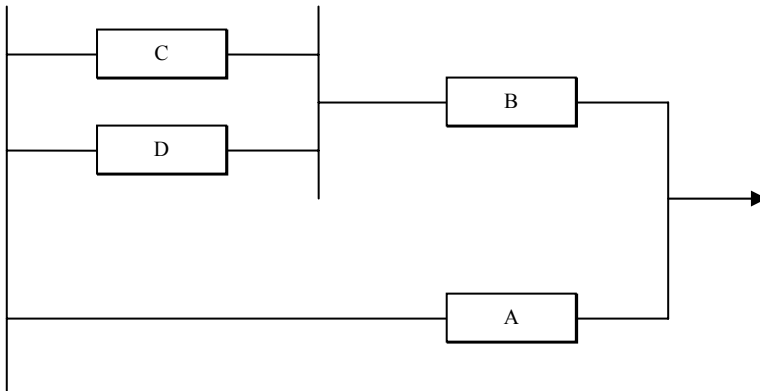
Şekil A.7. FTA için örnek sistem

Örnek 9: Şekil A.8’de ise jeneratörler birbirlerine NAND kapısı ile bağlanmıştır. Her iki jeneratör de çalışıyorsa sistem çalışmıyor.



Şekil A.8. FTA için örnek sistem

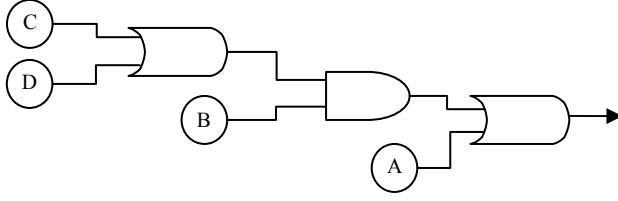
Örnek 10: Şekil A.9’deki sistem için $Q(A) = 0,1$ $Q(B) = 0,2$ $Q(C) = 0,25$ $Q(D) = 0,3$ olarak verilmiştir. Sistemin hata ağacı yöntemi ile ve blok diyagram yöntemi ile çözünüz ve sonuçları karşılaştırınız.



Şekil A.9 Basit yapı bir sistem

Çözüm:

Şekil A.9’deki sistemin FTA ile gösterimi şekil A.10’daki gibidir.



Şekil A.10. FTA gösterimi

C ve D elemanları birbirlerine OR kapısı ile bağlıdırlar. Bu iki eleman birbirlerine paralel bağlıdırlar. C ve D elemanlarının olasılıkları sonucu $P'(B)$ ile gösterilirse:

$$P'(B) = 1 - [Q(D) \times Q(C)] = 1 - [0,25 \times 0,3] = 1 - 0,075 \Rightarrow P'(B) = 0,925$$

B ve B' elemanları birbirlerine AND kapısı ile bağlıdırlar. Bu iki elemanın olasılık sonucu $P'(A)$ ile ifade edilir:

$$P'(A) = P'(B) \times P(B) = 0,925 \times (1 - 0,2) \Rightarrow P'(A) = 0,74$$

A ve A' elemanları birbirlerine yine OR kapısı ile bağlıdır ve bu iki elemanın olasılıklarından sistemin olasılığı elde edilir.

$$P_{\text{sis}} = 1 - [Q(A) \times (1 - P'(A))] = 1 - [0,2 \times 0,26] = 1 - 0,052 \Rightarrow P_{\text{sis}} = 0,948$$

olarak bulunur.

Blok diyagram ile çözüm ise aşağıdaki şekilde yapılır.

Minimal yollar:

$$Y_1 = A$$

$$Y_2 = C \cap B$$

$$Y_3 = D \cap B$$

Yol matrisi:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Birinci dereceden kesme yok.

İkinci dereceden kesme:

$$C_1 = A \cap B$$

Üçüncü dereceden kesmeler:

$$C_2 = A \cap B \cap C$$

$$C_3 = A \cap B \cap D$$

$$C_4 = A \cap C \cap D$$

C_2 ve C_3 ikinci dereceden kesmenin içinde mevcut olduğundan hesaplanmaz.

$$P(C_1) = P(A)P(B) = Q(A)Q(B) = 0,1 \times 0,2 = 0,02$$

$$P(C_4) = P(A)P(C)P(D) = Q(A)Q(C)Q(D) = 0,1 \times 0,25 \times 0,3 = 0,0075$$

$$P(C_1 \cap C_4) = P(C_1)P(C_4) = 0,02 \times 0,0075 \cong 0$$

$$P(T) = P(C_1) + P(C_4) - P(C_1 \cap C_4) = 0,02 + 0,0075$$

$$P(T) = Q(T) = 0,0275$$

$$R(T) = 1 - Q(T) = 1 - 0,0275 \Rightarrow R(T) = 0,9725$$

Sonuç: Görüldüğü gibi sonuçlar birbirlerine yakın değerler olmasına rağmen farklılık göstermektedir. Her güvenilirlik yöntemi kendine has özellikler gösterdiğinden elde edilen sonuçların farklılığı normal kabul edilmektedir.

Örnek 11: FOR = 0,02 olan 2 adet 3 MW ve 1 adet 5 MW ünite içeren bir sistem ele alınsın. 3 MW ünitelerin tabloları tablo A.1’de gösterilmiştir. Sistemin kümülatif durum olasılıkları ve tek durum olasılıklarını bulunuz.

Çözüm:

2 durumlu 5 MW üretim kapasiteli ünite bu iki sisteme eklenebilir. Ünitenin çalışma olasılığı $1 - 0,02 = 0,98$ ve arıza olasılığı 0,02’dir. Tablo A.2 ve tablo A.3’te birleştirilmiş olasılıklar bulunmaktadır.

Tablo A.1: 2 adet 3 MW üretim kapasiteli ünitenin çalışmama olasılıkları

Devre Dışı Olan Kapasite	Olasılık
0 MW	0,9604
3 MW	0,392
6 MW	0,0004
	1,0000

Tablo A.2: Beş MW’lık ünite devrede iken sistemin çalışma olasılığı

Devre Dışı Olan Kapasite	Olasılık
$0 + 0 = 0$ MW	$(0,9604) (0,98) = 0,941192$
$3 + 0 = 3$ MW	$(0,392) (0,98) = 0,038416$
$6 + 0 = 6$ MW	$(0,0004) (0,98) = 0,00392$
	0,98

Tablo A.3: 5 MW’lık ünite devrede değilken sistemin çalışma olasılıkları

Devre Dışı Olan Kapasite	Olasılık
$0 + 5 = 5$ MW	$(0,9604) (0,02) = 0,19208$
$3 + 5 = 8$ MW	$(0,392) (0,02) = 0,00784$
$6 + 5 = 11$ MW	$(0,0004) (0,02) = 0,000008$
	0,03

Bu iki tablo birleştirilip tekrar düzenlenirse tablo A.4 elde edilir. Tablo A.4'teki olasılık değerleri herhangi bir ünitenin devreden çıkması olasılığını verir. Kümülatif olasılık, kaybın belirtilen miktara eşit veya belirtilen miktardan büyük olduğu durumlardaki kapasite miktarı olasılığı olarak tanımlanır.

Tablo A.4. Üç üniteli sistem için kapasite kaybı olasılık tablosu

Devrede Olmayan Kapasite	Olasılık	Kümülatif Olasılık
0	0,941192	1,00
3	0,038416	0,058808
5	0,019208	0,020392
6	0,000392	0,001184
8	0,000784	0,000792
11	0,000008	0,000008
	1,00	

Örnek 12: Üretim sistemi modeline kapasite eklemek.

Çözüm:

Sağlanabilirlik oranı 0,98 olan tablo A.5'teki sistem incelenecek olursa sistem kapasite kaybı olasılıkları şu şekilde gerçekleşir.

Tablo A.5. Sistem verileri

Ünite No.	Kapasite (MW)	Arıza Oranı(f/gün)	Tamir Oranı(r/gün)
1	25	0,01	0,49
2	25	0,01	0,49
3	50	0,01	0,49

İlk ünite için:

$$P(0) = (1 - 0,02)(1,0) + (0,02)(1,0) = 1,0$$

$$P(25) = (1 - 0,02)(0) + (0,02)(1,0) = 0,02$$

İkinci ünite birinci üniteye eklensin

$$P(0) = (1 - 0,02)(1,0) + (0,02)(1,0) = 1,0$$

$$P(25) = (1 - 0,02)(0,02) + (0,02)(1,0) = 0,0396$$

$$P(50) = (1 - 0,02)(0) + (0,02)(0,02) = 0,0004$$

Üçüncü ünite de sisteme eklendiğinde;

$$P(0) = (1 - 0,02)(1,0) + (0,02)(1,0) = 1,0$$

$$P(25) = (1 - 0,02)(0,0396) + (0,02)(1,0) = 0,058808$$

$$P(50) = (1 - 0,02)(0,0004) + (0,02)(1,0) = 0,020392$$

$$P(75) = (1 - 0,02)(0) + (0,02)(0,396) = 0,000792$$

$$P(100) = (1 - 0,02)(0) + (0,02)(0,004) = 0,000008$$

olarak bulunur.

Örnek 13: Üretim sistemi için kapasite ekleme metoduyla çok durumlu sistem örneği

Çözüm:

Tablo A.6'da üç durumlu 50 MW ünite gösterilmiştir. Tablo A.5'teki 50 MW ünite yerine bu ünite sisteme eklenirse 3. adım şu şekilde gerçekleşir.

Tablo A.6. 50 MW 3 durumlu sistem olasılıkları

Durum	Devredışı Kapasite	Durum Olasılığı (pi)
1	0	0,96
2	20	0,033
3	50	0,007

$$P(0) = (0,96)(1,0) + (0,033)(1,0) + (0,007)(1,0) = 1,0$$

$$P(20) = (0,96)(0,0396) + (0,033)(1,0) + (0,007)(1,0) = 0,078016$$

$$P(25) = (0,96)(0,0396) + (0,033)(0,0396) + (0,007)(1,0) = 0,0463228$$

$$P(45) = (0,96)(0,0004) + (0,033)(0,0396) + (0,007)(1,0) = 0,0086908$$

$$P(50) = (0,96)(0,0004) + (0,033)(0,0004) + (0,007)(1,0) = 0,0073972$$

$$P(70) = (0,96)(0) + (0,033)(0,004) + (0,007)(0,0396) = 0,0002904$$

$$P(75) = (0,96)(0) + (0,033)(0) + (0,007)(0,0396) = 0,0002772$$

$$P(100) = (0,96)(0) + (0,033)(0) + (0,007)(0,0004) = 0,0000028$$

Örnek14: Üretim sistemi modeli için kapasite çıkarma metodu.

Çözüm:

Tablo A.5'teki sistemde 50 MW kapasiteli ünite çıkarıldığında kayıp kapasite olasılığı:

$$P(0) = \frac{(1,0) - (0,02)(1,0)}{0,98} = 1,0$$

$$P(25) = \frac{(0,058808) - (0,02)(1,0)}{0,98} = 0,0396$$

$$P(50) = \frac{(0,020392) - (0,02)(1,0)}{0,98} = 0,0004$$

Örnek 15: Umulan Yük Kaybı (LOLE) hesaplaması.

Tablo A.5'teki 100 MW kapasiteli sistem incelensin. Tablo A.7 bir yıllık yük verilerini göstermektedir.

Tablo A.7 LOLE için tepe yük verileri

Günlük Tepe Yük (MW)	57	52	46	41	34
Olay Sayısı	12	83	107	116	47

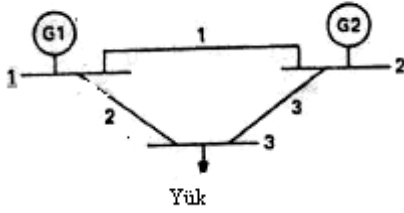
$$\text{LOLE} = 12P(100 - 57) + 83P(100 - 52) + 107P(100 - 46) + 116P(100 - 41) + 47P(100 - 34)$$

$$\text{LOLE} = 12(0,020392) + 83(0,020392) + 107(0,000792) + 116(0,000792) + 47(0,000792)$$

$$\text{LOLE} = 2,15108 \text{ gün / yıl}$$

Aynı LOLE indeksi, günlük tepe yük değişim eğrisi kullanılarak da bulunabilirdi.

Örnek 16: İletim sistemlerinde durum seçimi uygulaması.



Şekil A.11. Basit iletim ağı yapısı

Çözüm:

İletim sistemine ait sağlanamamazlık, üretim sistemi ünitesine göre çok düşüktür. Bu yüzden üretim sistemini kapsayan bir değerlendirmede daha fazla sayıda olasılık seviyesi kullanılmalıdır. Üretim sistemi üniteleri için durum bilgileri tablo A.8'de gösterilmiştir. İletim sistemi bilgileri tablo A.9'dadır. Üretim ve iletim sistemi beraber olarak tablo A.10'da görülmektedir.

Tablo A.8. Üretim sistemi durum olasılıkları

Durum	Kayıptaki Gen. Sayısı	Sağlanabilir Kapasite (MW)	Olasılık	Ayrılma Oranı	Sıklık
1	0	240	0,88584238	21,9	19,399948
2	1	200	0,10847049	197,1	21,379534
3	2	160	0,00553421	372,3	2,060386
4	3	120	0,00015059	547,5	0,082448
5	4	80	0,00000230	722,7	0,001666
6	5	40	0,00000002	897,9	0,000017
7	6	00	0,00000000	1073,1	0,000000

Tablo A.9. İletim sistemi durum sıklıkları

j Durumu	Devrede Olmayan Hat	Ayrılma Oranı	$F(B_j)$	Arıza Sıklığı
1	0	12	11,86135596	1,16281973
2	1	1103	3,98266828	0,39043810
3	2	1102	4,97382190	0,48760515
4	3	885	2,99580465	0,29369161
5	1,2	2193	0,03616257	0,03616257
6	1,3	1976	0,02444312	0,02444312
7	2,3	1975	0,03053350	0,03053350
8	1,2,3	3066	0,00018396	0,00018396
		Yıllık	F_s	2,42587774 f/yıl

Tablo A.10. Üretim sistemi ünitelerinin durum değerleri

1. Ünite			Oran		2. Ünite			Oran	
Durum	Çalışmayan Ünite	Olasılık	λ_+	λ_-	Durum	Çalışmayan Ünite	Olasılık	λ_+	λ_-
1	0	0,96059601	0	4	1	0	0,9025	0	6
2	1	0,03881196	99	3	2	1	0,0950	57	3
3	2	0,00058806	198	2	3	2	0,0025	114	0
4	3	0,00000396	297	1					
5	4	0,00000001	396	0					

İletim kaybı yerine, yük noktası arızası sonucu olarak 30 MW kayıp güç, 110 MW yük seviyesine eklendiği varsayılmıştır. Tablo A.10'dan da görüleceği üzere, yük

seviyesi 2. üretim istasyonundaki ünitelerden birinin çalışmadığı andaki değerden daha düşükse, Q_s ve F_s büyük ölçüde değişir. Bu şartlar altında;

$$Q_s = 0,00658129$$

$$F_s = 1,1364886 \text{ sıklık/yıl} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Tablo A.11. Sistem durum değerleri

Durum	Çalışmayan B_j Eleman	Arıza				
		Olasılık $P(B_j)$	Sıklık $F(B_j)$	P_{1j}	Olasılık P_j	Sıklık F_j
1	-	0,85692158	18,85227476	0		
2	G1	0,03462309	4,15477080	0		
3	G1, G1	0,00052449	0,11436062	1,0	0,00052449	0,11436062
4	G1, G2	0,00364454	0,63414996	1,0	0,00364454	0,63414996
5	G1, L1	0,00012648	0,15329376	0		
6	G1, L2	0,00015810	0,19145910	0		
7	G1, L3	0,00011857	0,11774001	0		
8	G2	0,09020227	6,85537252	1,0	0,09020227	6,85537252
9	G2, G2	0,00237374	0,30858620	1,0	0,00237374	0,30858620
10	G2, L1	0,00032951	0,38783327	1,0	0,00032951	0,38783327
11	G2, L2	0,00041188	0,48438029	1,0	0,00041188	0,48438029
12	G2, L3	0,00030891	0,29315559	1,0	0,00030891	0,29315559
13	L1	0,00313030	3,48402390	0		
14	L1, L2	0,00001430	0,03150290	1,0	0,00001430	0,03150290
15	L1, L3	0,00001072	0,02128992	1,0	0,00001072	0,02128992
16	L2	0,00391288	4,35112256	0		
17	L2, L3	0,00001340	0,02659900	1,0	0,00001340	0,02659900
18	L3	0,00293466	2,62652070	0		
					0,09783386	9,15723027

Tablo A.11'deki değerler, 110 MW sabit yük seviyesi için yıllık değerlerdir. Her durum için, yükün kapasiteyi aştığı olasılık hesaba katılarak yük modeli analize dahil edilebilir. Tablo A.11'deki P_{1j} değeri buna bağlı olarak düzenlenir ve Q_s ve F_s

indisleri periyodik veya yıllık baz değeri olur. Tablo A.8 ve Tablo A.10'daki F_s değerleri arasındaki fark, üretim üniteleri geçişlerinden dolayı, sıklık, eşitlik (4.22)'de ihmal edilmiş fakat eşitlik (4.24)'da dahil edilmiştir. Üretim sisteminin rezerv oranı büyürse, aradaki fark azalır.

İletim hattındaki aşırı yüklenmeyi gösterebilmek için hat 2 ve 3'ün çalışmadığı varsayılın. Bu şartlar altında yük noktası indisleri artacağından yük azaltımına gidilmelidir. Bu durumda:

$$Q_s = 0,10495807$$

$$F_s = 16,44407264 \text{ sıklık/yıl}$$

Bazı yükler azaltılarak veya bırakılarak aşırı yüklenme elemine edilebilir. Bu tekniği kullanmak için bir yük akışı tekniğine ihtiyaç vardır.

Örnek 17: Sistem ve yük noktası indisleri için sayısal değerlendirme.

Çözüm:

Şekil A.9'da gösterilen sistem için yük noktası indisleri tablo A.11'deki sonuçlar yardımıyla hesaplanabilir. Bu hesaplama tablosu A.12'de gösterilmiştir. Hat yükleri ve her olasılık için hat kaybını belirlemek için yük akışını hesaplamak gerekir. Yük akışıyla birlikte güç faktörü 0,95 ve rasgele olarak 5 MW hat kaybı yük barası talebine eklenmiştir. Tablo A.12'de gösterilen yük noktası indisleri aşağıdaki gibidir:

3. baradaki yıllık yük noktası indisleri:

Temel Değerler:

Arıza olasılığı: 0,10495807

Arıza Sıklığı: 16,444 f/yıl

Umulan Azalma Sayısı:

Toplam:	16,444
İzole:	0,0266

Umulan Yük Azalması:

Toplam:	274,44 MW
İzole:	2,93 MW

Umulan Sağlanamayan Enerji:

Toplam	7310,65 MWh
İzole:	12,90 MWh

Umulan Yük Azalması Süresi

Toplam:	919,43 saat
İzole:	0,12 saat

Maksimum Değerler Bara 3:

Maksimum yük azalması	110 MW
Durum	L2 ve L3 devre dışı
Olasılık	0,00001340

Maksimum Enerji Azalması

Durum	G2 devre dışı
Olasılık	0,09020227

Maksimum Yük Azalma Süresi

Durum	G2 devre dışı
Olasılık	0,09020227

Ortalama Değerler:

Ortalama Yük Azalımı	$274,44/16,444 = 16,69$ MW/azalma
Ortalama Sağlanamayan Enerji	$7310,65/16,444 = 444,58$ MWh / azalma
Ortalama Azalma Süresi	$919,43 / 16,444 = 55,91$ saat / azalma

Tablo A.12. Yük noktası indisleri

Durum	Çalışmayan Ünite	Olasılık	Sıklık	Sağlanan Kapasite	P _{kj}	D _{kj}	L _{kj}	ELC (MW)	NLC	EENS	EDLC
1	-	0,85692158	18,85227476	140	0	398,18	0	0	0	0	0
2	G1	0,03462309	4,15477080	120	0	73,00	0	0	0	0	0
3	G1,G1	0,00052449	0,11436062	100	1	40,18	15	1,7154	0,11436	68,92	4,5454
4	G1,G2	0,00364454	0,63414996	90	1	50,34	25	15,8537	0,63415	798,08	31,9262
5	G1,L1	0,00012648	0,15329376	120	0	7,23	0	0	0	0	0
6	G1,L2	0,00015810	0,19145910	86	1	7,23	29	5,5500	0,19142	40,13	1,3850
7	G1,L3	0,00011857	0,11774001	95	1	8,82	20	2,3548	0,11774	20,77	1,0387
8	G2	0,09020227	6,85537252	110	1	115,26	5	34,2769	6,85537	3980,76	790,1719
9	G2,G2	0,00237374	0,30858620	80	1	67,38	35	10,8005	0,30859	727,74	20,7940
10	G2,L1	0,00032951	0,38783327	110	1	7,44	5	1,9392	0,38783	14,43	2,8864
11	G2,L2	0,00041188	0,48438029	86	1	7,45	29	14,0470	0,48438	104,65	3,6081
12	G2,L3	0,00030891	0,29315559	95	1	9,23	20	5,8631	0,29316	54,12	2,7061
13	L1	0,00313030	3,48402390	140	0	7,87	0	0	0	0	0
14	L1,L2	0,00001430	0,03150290	60	1	3,84	55	1,7327	0,3150	6,90	0,1253
15	L1,L3	0,00001072	0,02128992	95	1	4,41	35	0,7451	0,02129	3,29	0,0939
16	L2	0,00391288	4,35112256	86	1	7,88	29	126,1025	4,35112	993,69	34,2768
17	L2,L3	0,00001340	0,02659900	0	1	4,41	110	2,9254	0,02660	12,90	0,1174
18	L3	0,00293466	0,02659900	95	1	9,79	20	52,5304	2,62652	514,27	25,7076
								274,441	16,444	7310,65	919,4327

- ELC : Umulan Yük Azalımı
 NLC : Umulan Yük Azaltma Sayısı
 EENS : Umulan Sağlanamayan Enerji
 EDLC : Umulan Yük Azalma Süresi

Genel sistem yeterliliğini sağlayabilmek için tek yük noktası indisleri toplanabilir. Tablo A.13 sistem indisleri listesini göstermektedir.

A.13. Yıllık Sistem İndisleri

Temel İndisler

- Güç kesilme indeksi
- Ortalama sağlanan güç MW azalma /dağıtım
- Enerji azalma indeksi

Ortalama Değerler

- Yük noktası başına ortalama azalma sayısı
- Yük noktası başına ortalama azalma
- Yük noktası başına ortalama enerji azalması
- Yük noktası başına ortalama enerji azalma süresi
- Yük noktası başına ortalama gerilim dalgalanması sayısı

Maksimum Değerler

- Herhangi bir olasılık durumu altında maksimum sistem yük azalması
 - Herhangi bir olasılık durumu altında maksimum sağlanamayan enerji
-

Bu indisler üç baralı sistem için aşağıdaki biçimde hesaplanabilir.

Güç kesilme indeksi:

$$\frac{\sum_K \sum_{j \in x,y} L_{Kj} F_j}{L_s} = \frac{274,44}{110} = 2,4949 \quad \text{MW / MW-yıl} \quad (\text{A.1})$$

L_s sistemdeki toplam yüküdür.

Ortalama sağlanan güç indeksi

$$\frac{\sum_K \sum_{j \in x,y} L_{Kj} F_j}{\sum_{j \in x,y} F_j} = \frac{274,44}{16,444} = 16,6894 \quad \text{Mw / dağıtım} \quad (\text{A.2})$$

Güç Enerji Azalma İndeksi

$$\frac{\sum_K \sum_{x \in x,y} 60 L_{Kj} D_{Kj} F_j}{L_s} = \frac{60 \times 7310,65}{110} = 3732,33 \quad \text{MW dakika / MW yıl} = 62,21 \text{ MWh / MW-yıl} \quad (\text{A.3})$$

Düzenlenmiş güç enerji azalma indeksi

$$\frac{\sum_K \sum_{x \in x,y} L_{Kj} D_{Kj} F_j}{8760 L_s} = \frac{7310,65}{8760 \times 110} = 0,00758681 \quad (\text{A.4})$$

İletim güç enerji azalması indeksi şiddet indeksini gösterir. Toplam sağlanamayan enerji MW - dakika olarak belirtilir ve sistem tepe yüküne bölünür. Bir sistem dakikası, sistem tepe değerindeki toplam sistem yükünün bir dakikalık kesintisine eşittir. Gerçek sistemin kayıp zamanını farklıdır, çünkü gerçek sistemlerde kesinti sadece tepe değerinde gerçekleşmez.

Ortalama azalma sayısı / yük noktası

$$\frac{\sum_K \sum_{j \in x,y} F_j}{C} = \frac{16,444}{1} = 16,444 \quad (\text{A.5})$$

C Yük noktası sayısı. Bu örnekte sadece 1 yük noktası vardır.

Yük noktası başına ortalama yük azalması

$$\frac{\sum_K \sum_{j \in x,y} L_{Kj} F_j}{C} = 274,44 \quad \text{MW / yıl} \quad (\text{A.6})$$

Yük noktası başına ortalama enerji azalması

$$\frac{\sum_K \sum_{x \in x,y} L_{Kj} D_{Kj} F_j}{C} = 7310,65 \quad \text{MWh / yıl} \quad (\text{A.7})$$

Yük noktası başına ortalama yük azalma süresi

$$\frac{\sum_K \sum_{j \in x,y} D_{Kj}}{C} = 919,43 \quad \text{saat / yıl} \quad (\text{A.8})$$

Yük noktası başına ortalama gerilim dalgalanması

$$\frac{\sum_K \sum_{j \in V} F_j}{C} \quad (\text{A.9})$$

Yük akışı her olasılık için değerlendirilerek ve her yük barası için kabul edilebilir gerilim seviyeleri belirlenerek ortalama gerilim dalgalanması sayısının yük noktası sayısına oranı belirlenir.

Maksimum sistem yük azalması her hangi bir olasılık için

$$\text{Max} \left\{ \sum L_{K1}, \sum L_{K2}, \dots, \sum L_{Kj}, \dots \right\} = 110 \text{MW} \quad (\text{A.10})$$

L2 ve L3 çalışmıyorken olasılık = 0,00001340

Herhangi bir olasılık durumu için sistem maksimum sağlanamayan enerji:

$$\text{Max} \left\{ \sum_K L_{K1} D_{K1}, \sum_K L_{K2} D_{K2}, \dots, \sum_K L_{Kj} D_{Kj}, \dots \right\} = 3980,76 \text{MWh} \quad (\text{A.11})$$

G2 devre dışı durumu için olasılık: 0,09020227

Ek B. Visual Basic İle Güvenilirlik Değerlendirmesi Programı

Visual programa dillerinin en önemli özelliklerinden biri programın ekran tasarımını kodla değil, tasarım zamanı görsel olarak rahatça yapılabilmesidir. Visual Basic, programlama dilleri içerisinde en kolay dillerden birisidir.

Visual Basic ile hazırlanan güvenilirlik değerlendirmesi programı dört ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerden güvenilirlik, seri ve paralel sistemler ile güvenilirlik yöntemleri bölümlerinde, güvenilirlik hakkında temel bilgilere yer verilmiş ve güvenilirlik yöntemleri açıklanmıştır.

Dördüncü bölüm olan örnekler bölümü kendi içerisinde üç bölüme ayrılmıştır. Seri örnekler kısmında seri sistem örneklerine yer verilmiştir. Bu örneklerde eleman güvenilirliğin sistem güvenilirliğine etkisi, eleman sayısının sistem güvenilirliğine etkisi gibi durumlar gösterilmiştir. Paralel sistem örnekleri, seri sistem örnekleri ile aynı özelliklere sahiptir. Karmaşık sistem örneklerinde ise değişik sistemler için hesaplama yapılmasına olanak sağlanmıştır.

Bugün birçok güvenilirlik programı kullanıcılara değişik alternatifler sunmaktadır. Bu programı diğerlerinden ayıran fark, konu anlatımlı olması ve temel güvenilirlik kavramları üzerine inşa edilmiş olmasıdır. Piyasadaki diğer programlarla çok daha karmaşık işlemler yapılabilir.



Şekil A.12. Visual Basic ile hazırlanan programın ana sayfası

Engin AKÇAY

28.Ekim.1981 yılında Batman'da doğdu. 1992 yılında Batman Petrol İlk Okulu'ndan, 1999 yılında da Batman Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl Dumlupınar Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisli Bölümü'ne yatay geçiş yapan Engin AKÇAY, 2003 yılında bu bölümden mezun oldu. 2003 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik – Elektronik Ana Bilim Dalı Elektrik Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.

2005 yılında askerlik görevini tamamladıktan sonra Temmuz 2005'te IPC Enerji şirketinde teknik servis mühendisi olarak göreve başladı. Nisan 2005 yılında Seta Mühendislik ve Makine İmalat A.Ş. şirketinde Elektrik – Otomasyon departmanında göreve başlayan Engin AKÇAY, halen aynı firmada teklif hazırlama, elektrik ve otomasyon malzemelerinin satın alınması, elektrik projelerinin çizimi ve otomasyon programının yazılması ile saha yöneticiliği görevlerini yürütmektedir.