

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYASAL PROSES ENDÜSTRİSİ İÇİN RİSK DEĞERLENDİRME

Nurşan DAĞLI TANRIVERDİ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2013**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Nurşan DAĞLI TANRIVERDİ tarafından hazırlanan “**Kimyasal Proses Endüstri için Risk Değerlendirme**” adlı tez çalışması 04/11/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Yahya SUYADAL

Jüri Üyeleri:

Başkan : Doç. Dr. Mustafa N. İLHAN

G.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı/Güvenliği ABD

Üye : Prof. Dr. Yahya SUYADAL

Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Hale HAPOĞLU

Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof.Dr. İbrahim DEMİR

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KİMYASAL PROSES ENDÜSTRİSİ İÇİN RİSK DEĞERLENDİRME

Nurşan DAĞLI TANRIVERDİ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yahya SUYADAL

Sanayi devrimi ile yoğun olarak gündeme gelen meslek hastalıkları ve iş kazaları, günümüzde de iş sağlığı ve güvenliği açısından önemli bir konudur. İşyerlerinde yeterli sağlık ve güvenlik önlemlerinin yokluğu nedeniyle ortaya çıkan meslek hastalıkları ve iş kazaları, çalışanların hayatını ve sağlığını doğrudan etkilediği gibi, işletmeler ve ülke ekonomisi için de önemli maliyetler oluşturmaktadır. Risk kavramı; İş hayatında genel olarak tehlike ile eş anlamlı kullanılmakla birlikte, ileride ortaya çıkması beklenen fakat olup olmayacağı kesin olarak bilinmeyen olaylar için kullanılır. Buna göre risk, zarar ve/veya kayıplara yol açabilecek bir olayın ortaya çıkma olasılığı olup, aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$\text{Risk (İş günü kaybı / Yıl)} = \text{Sıklık (Kaza sayısı / Yıl)} \times \text{Şiddet (İş günü kaybı / Kaza sayısı)}$$

“Project Management Body of Knowledge (PMBOK)” olarak bilinen Risk Analiz Rehberi’nden yola çıkılarak, Risk Yönetim Süreci, ortamdaki tehlikeleri belirleyen, onların kritik değişkenler ve fonksiyonlar üzerindeki etkilerini araştıran ve koruma amaçlı mekanizma veya stratejiler geliştiren bir tekniktir. Risk yönetim süreci; yönetim politikası, prosedürler ve görev tanımlarını kurma bağlamında, içerik tanımlama, inceleme ve değerlendirme uygulamalarını kapsamaktadır. Risk yönetimi kavramı, kazaların önlenmesi için sistematik ve gerçekçi bir çatı kurulmasını sağlar.

Literatürde çok sayıda risk değerlendirme yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada mevcut yöntemlerden; Olasılık Teorisi, Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP), Olay Ağacı Analizi (ETA) ve Hata Ağacı Analizi (FTA) metodolojileri incelenmiştir. Kimyasal Proses Endüstrisinde yer alan Soğutma Borulu Reaktör, Kesikli Reaktör, Egzotermik Polimerizasyon Reaktörü, Dolgulu Damıtma Kolonu, Kademeli Damıtma Kolonu, Dolgulu Absorpsiyon Kolonu, Kademeli Absorpsiyon Kolonu, Isı Değiştirici, Buharlaştırıcı, Yoğuşturucu, Santrifüj Pompa/Kompresör, Sprey Kurutucu, Mikser Kurutucu ve Döner Kurutucularda HAZOP formları oluşturulmuştur. Olasılık Teorisi ile hesaplamalar yapılarak, her biri için arıza/yıl olasılıkları hesaplanmıştır. Olay Ağacı Analizleri (ETA) yapılarak, sistemde yıllık devam eden, durdurulan ve kontrolden çıkan olaylar hesaplanmıştır. Hata Ağacı Analizleri (FTA) yapılarak, arızaya neden olabilecek tüm olayların arıza/yıl olasılıkları hesaplanmıştır. “Monte Carlo Simülasyonu”nun risk değerlendirme konusuna yönelik bir paket programı olan “@Risk” yazılımının “Risk Coumpound” alt programı ile Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2008, 2009, 2010, 2011 iş kazası verilerinden seçilen Türkiye çapındaki endüstriyel faaliyet gruplarında (NACE Sınıflanlandırmasına göre) sıklık ve şiddet değerleri ile hesaplamalar yapılmış, grafikler oluşturulmuş ve yıllık iş günü kayıpları; Kağıt ve Kağıt Ürünleri İmalatı için 2954 gün/yıl, Kok Kömürü ve Petrol Ürünleri İmalatı için 279 gün/yıl, Kimyasal Ürünler İmalatı için 3804 gün/yıl, Kauçuk ve Plastik Ürünler İmalatı için 9408 gün/yıl, Metalik Olmayan Ürünler İmalatı için 18958 gün/yıl, Ana Metal Sanayi için 23400 gün/yıl, Elk. Gaz, Buhar ve Hava Sis. Üret. Dağıt. için 1602 gün/yıl, Suyun Toplanması Arıtılması ve Dağıt. için 615 gün/yıl ve Atık Maddelerin Değerlendirilmesi için 1531 gün/yıl olarak öngörülmüştür.

Kasım 2013, 209 sayfa

Anahtar Kelimeler: Risk analizi / değerlendirme, Kimyasal proses güvenliği, Endüstriyel kaza, Monte Carlo Simülasyonu

ABSTRACT

Master Thesis

RISK ASSESSMENT FOR THE CHEMICAL PROCESS INDUSTRY

Nurşan DAĞLI TANRIVERDİ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Yahya SUYADAL

With the industrial revolution came up as a busy occupational diseases and occupational accidents is an important issue in terms of occupational health and safety today. Due to the lack of adequate health and safety measures in the workplace, occurring occupational diseases and occupational accidents directly affects the lives and health of employees and is also important costs for businesses and the country's economy. The concept of risk; is used synonymous with danger in business and is also used for events which are expected to arise in the future but it is unknown whether or not in business. Accordingly risk; is probability of occurrence of an event that may lead to damage and / or loss and is defined as follows:

Risk (Business day loss / Year) = Frequency (Number of accidents / Year) × Severity (Business day loss / Number of accidents)

Based on Risk Analysis Guide known as “Project Management Body of Knowledge (PMBOK)”, Risk Management Process is a technique which determines hazards in the environment, investigates their effects on the critical variables and functions, develops strategies or mechanism for the protection. Risk Management Process includes content identification, investigation and assessment practices in the context of management policy, procedures and job descriptions. The concept of risk management provides the establishment of a systematic and realistic roof.

There are many of risk assessment method in the literature. In this study, Probability Theory, Hazard and Operability Analysis (HAZOP), Event Tree Analysis (ETA), and Fault Tree Analysis (FTA) methodologies were examined in available methods. HAZOP forms were created for Cooling Pipe Reactor, Batch Reactor, Exothermic Polymerization Reactor, Packed Distillation Column, Stage Distillation Column, Packed Absorption Column, Stage Absorption Column, Heat Exchanger, Evaporator, Condenser, Centrifugal Pump / Compressor, Spray Dryer, Mixer Dryer and Rotary Dryers in the Chemical Process Industry. Calculations were made with the Probability Theory and failure / year probabilities were calculated for each one. Event Tree Analysis (ETA) was made and continued, shut down and runaway events were calculated in the system. Fault Tree Analysis (FTA) was made and failure / year probabilities of all events that could cause a failure were calculated. "@ Risk" software "Risk Coumpound" subprogram which is a package program about risk assessment of "Monte Carlo Simulation" was used and industrial activity groups (according to NACE classification) around Turkey were selected from Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2008, 2009, 2010, 2011 occupational accident data. The frequency and severity values were calculated, graphics were created and business day losses were estimated for Paper and Paper Products Manufacturing 2954 day/year, Coke and Petroleum Products Manufacturing 279 day/year, Chemical Products Manufacturing 3804 day/year, Rubber and Plastic Products Manufacturing 9408 day/year, Non-Metallic Products Manufacturing 18958 day/year, Base Metal Industry 23400 day/year, Electric, Gas, Steam and Air Systems Manufacturing Distribution 1602 day/year, Water Collection Purification Distribution 615 day/year, Waste Materials Evaluation 1531 day/year.

November 2013, 209 pages

Key Words: Risk analysis / assessment, Chemical process safety, Industrial accidents, Monte Carlo Simulation

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı boyunca beni yönlendiren, araştırmalarımnda bilgi ve önerileri ile bana yardımcı olan ve beni destekleyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yahya SUYADAL'a (Ankara Üniversitesi), her türlü konuda yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Yasemin İLHAN'a, istatistiki veriler konusunda bana yardımcı olan arkadaşım Damla KESKİN'e, iş hayatı ve yüksek lisans çalışmalarımnda beni yalnız bırakmayan arkadaşım Ayşe Ebru KOÇAK'a ve Ertem Sıhhi Tesisat Teknolojisi A.Ş. Genel Müdürü Sayın Ömer KANTAROĞLU'na teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan aileme ve eşim Koray TANRIVERDİ'ye sonsuz sevgilerimle.

Nurşan DAĞLI TANRIVERDİ

Ankara, Kasım 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	5
2.1 Tehlike ve İşletilebilirlik Çalışmaları (HAZOP)	5
2.2 Olasılık Teorisi	17
2.2.1 Öngörülebilir ve öngörülemez arızalar	33
2.2.2 Tesadüf olasılığı	38
2.3 Olay Ağacı Analizi (ETA)	40
2.4 Hata Ağacı Analizi (FTA)	46
2.4.1 Minimal cut setlerin belirlenmesi.....	52
2.4.2 Hata ağacında sayısal hesaplamaları kullanma.....	55
2.5 @Risk Yazılım Programı ile Hesaplama	56
2.5.1 Monte Carlo Simülasyonu nedir?	56
2.5.2 Monte Carlo Simülasyonu nasıl çalışır?	57
2.5.3 @RISK Yazılım Programı nasıl çalışır?.....	59
2.5.3.1 Modelinizi ayarlayın	59
2.5.3.2 Simülasyonu çalıştırın.....	61
2.5.3.3 Risklerinizi anlayın	61
3. METERYAL VE YÖNTEM	64
3.1 Soğutma Borulu Reaktör.....	65
3.1.1 Soğutma Borulu Reaktör için HAZOP Formu	66
3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama	68
3.1.3 Soğutma Borulu Reaktör için Olay Ağacı	73
3.1.4 Soğutma Borulu Reaktör için Hata Ağacı	78

3.2 Ekzotermik Polimerizasyon Reaktörü	79
3.2.1 Ekzotermik Polimerizasyon Reaktörü için HAZOP Formu	80
3.2.2 Ekzotermik Polimerizasyon Reaktörü için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama.....	81
3.2.3 Ekzotermik Polimerizasyon Reaktörü için Olay Ağacı.....	82
3.2.4 Ekzotermik Polimerizasyon Reaktörü için Hata Ağacı.....	84
3.3 Kesikli Reaktör.....	85
3.3.1 Kesikli Reaktör için HAZOP Formu.....	86
3.3.2 Kesikli Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama	87
3.3.3 Kesikli Reaktör için Olay Ağacı.....	88
3.3.4 Kesikli Reaktör için Hata Ağacı	90
3.4 Isı Değiştirici.....	91
3.4.1 Isı Değiştirici için HAZOP Formu.....	92
3.4.2 Isı Değiştirici için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama	93
3.4.3 Isı Değiştirici için Olay Ağacı.....	94
3.4.4 Isı Değiştirici için Hata Ağacı	96
3.5 Buharlaştırıcı.....	97
3.5.1 Buharlaştırıcı için HAZOP Formu	98
3.5.2 Buharlaştırıcı için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama	99
3.5.3 Buharlaştırıcı için Olay Ağacı.....	100
3.5.4 Buharlaştırıcı için Hata Ağacı	102
3.6 Yoğuşturucu	103
3.6.1 Yoğuşturucu için HAZOP Formu	104
3.6.2 Yoğuşturucu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama	105
3.6.3 Yoğuşturucu için Olay Ağacı	106
3.6.4 Yoğuşturucu için Hata Ağacı	107
3.7 Santrifüj Pompa/Kompresör	108
3.7.1 Santrifüj Pompa/Kompresör için HAZOP Formu	109
3.7.2 Santrifüj Pompa/Kompresör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama	110
3.7.3 Santrifüj Pompa/Kompresör için Olay Ağacı	111
3.7.4 Santrifüj Pompa/Kompresör için Hata Ağacı	113

3.8 Kademeli Damıtma Kolonu.....	114
3.8.1 Kademeli Damıtma Kolonu için HAZOP Formu	116
3.8.2 Kademeli Damıtma Kolonu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı	
hesaplama	118
3.8.3 Kademeli Damıtma Kolonu için Olay Ağacı	119
3.8.4 Kademeli Damıtma Kolonu için Hata Ağacı	124
3.9 Dolgulu Damıtma Kolonu	125
3.9.1 Dolgulu Damıtma Kolonu için HAZOP Formu	127
3.9.2 Dolgulu Damıtma Kolonu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı	
hesaplama	129
3.9.3 Dolgulu Damıtma Kolonu için Olay Ağacı	130
3.9.4 Dolgulu Damıtma Kolonu için Hata Ağacı	135
3.10 Dolgulu Absorpsiyon Kolonu	136
3.10.1 Dolgulu Absorpsiyon Kolonu için HAZOP Formu.....	138
3.10.2 Dolgulu Absorpsiyon Kolonu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı	
hesaplama.....	140
3.10.3 Dolgulu Absorpsiyon Kolonu için Olay Ağacı.....	141
3.10.4 Dolgulu Absorpsiyon Kolonu için Hata Ağacı	145
3.11 Kademeli Absorpsiyon Kolonu	146
3.11.1 Kademeli Absorpsiyon Kolonu için HAZOP Formu	147
3.11.2 Kademeli Absorpsiyon Kolonu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı	
hesaplama.....	149
3.11.3 Kademeli Absorpsiyon Kolonu için Olay Ağacı.....	150
3.11.4 Kademeli Absorpsiyon Kolonu için Hata Ağacı.....	153
3.12 Sprey Kurutucu	154
3.12.1 Sprey Kurutucu için HAZOP Formu.....	155
3.12.2 Sprey Kurutucu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama	157
3.12.3 Sprey Kurutucu için Olay Ağacı.....	158
3.12.4 Sprey Kurutucu için Hata Ağacı	160
3.13 Mikser Kurutucu.....	161
3.13.1 Mikser Kurutucu için HAZOP Formu	162
3.13.2 Mikser Kurutucu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama	164

3.13.3 Mikser Kurutucu için Olay Ağacı	165
3.13.4 Mikser Kurutucu için Hata Ağacı	167
3.14 Döner Kurutucu	168
3.14.1 Döner Kurutucu için HAZOP Formu	170
3.14.2 Döner Kurutucu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama.....	171
3.14.3 Döner Kurutucu için Olay Ağacı.....	172
3.14.4 Döner Kurutucu için Hata Ağacı.....	175
3.15 Risk Compound Alt Programı ile Nicel Analiz	177
3.15.1 Kağıt ve Kağıt Ürünleri İmalatı.....	179
3.15.2 Kok Kömürü ve Petrol Ürünleri İmalatı	180
3.15.3 Kimyasal Ürünler İmalatı	181
3.15.4 Kauçuk ve Plastik Ürünler İmalatı	182
3.15.5 Metalik Olmayan Ürünler İmalatı	183
3.15.6 Ana Metal Sanayi.....	184
3.15.7 Elektrik, Gaz, Buhar ve Hava Sistemleri Üretimi	185
3.15.8 Suyun Toplanması ve Arıtılması	186
3.15.9 Atık Maddelerin Değerlendirilmesi.....	187
4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	189
KAYNAKLAR	195
EKLER.....	198
EK 1 2008 Yılı İş Kazaları TÜİK Verileri	199
EK 2 2009 Yılı İş Kazaları TÜİK Verileri	201
EK 3 2010 Yılı İş Kazaları TÜİK Verileri	203
EK 4 2011 Yılı İş Kazaları TÜİK Verileri	205
EK 5 2011 Yılı İşletme Girişim Sayıları TÜİK Verileri	207
ÖZGEÇMİŞ.....	209

KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ

Kısaltmalar

A	Kullanılabilirlik
DP	Diferansiyel basınç (Differential pressure)
ETA	Olay ağacı analizi (Event tree analysis)
FTA	Hata ağacı analizi (Fault tree analysis)
HAZOP	Tehlike ve işletilebilirlik analizi (Hazard and operability analysis)
MTBF	Arızalar arası ortalama süre (Mean time between failures)
MTBC	Tesadüfler arası ortalama süre (Mean time between coincidence)
NACE	Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması (Nomenclature générale des Activités économiques dans les Communautés Européennes)
P	Arıza olasılığı, güvenilmezlik (Probability)
PFDs	Proses akış diyagramları (Process flow diagrams)
P&IDs	Proses ve cihaz diyagramları (Process and instrumentation diagrams)
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
PT	Olasılık teorisi (Probability theory)
R	Güvenilirlik (Reliability)
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
U	Kullanılamazlık

Simgeler

$f(t)$	Arıza yoğunluğu
μ	Arıza hızı (arıza/yıl)
τ_i	Kontrol süresi
τ_o	İşletim süresi
τ_{o_i}	Belli bir takım arızalar arasındaki işletim süresi
τ_r	Arıza süresi, durgunluk
τ_{r_i}	Belli bir arıza için tamir süresi
τ_u	Kontrol boyunca ortalama kullanılamazlık süresi
λ	Olay sıklığı
λ_d	Tehlikeli olayların ortalama sıklığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Soğutma suyu tarafından kontrol edilen ekzotermik reaksiyon.....	14
Şekil 2.2 Poisson dağılımının grafiksel gösterimi.....	19
Şekil 2.3 μ , f , P ve R fonksiyonlarının çizimleri.....	20
Şekil 2.4 Proses malzemesi için banyo küveti arıza hızı eğrisi.....	21
Şekil 2.5 Lognormal dağılım eğrileri.....	22
Şekil 2.6 Bileşen bağlantılarının değişik tipler için hesaplanması.....	27
Şekil 2.7 Akış kontrol sistemi	28
Şekil 2.8 Bir alarmı ve solenoid besleme girişi bulunan kimyasal reaktör	30
Şekil 2.9 Öngörülen arızalar için bileşen süreleri	34
Şekil 2.10 Öngörülemeyen arızalar için bileşen süreleri	36
Şekil 2.11 Yüksek sıcaklık alarmlı ve sıcaklık kontrollü reaktör	42
Şekil 2.12 Şekil 2.11'deki reaktör soğutma suyu kaybı kazası için olay ağacı	43
Şekil 2.13 Olay ağacındaki bir güvenlik fonksiyonunda hesaplama sırası	45
Şekil 2.14 Şekil 2.11'de yüksek sıcaklık durdurma sistemli reaktör için olay ağacı	46
Şekil 2.15 Teker patlamasına neden olan olaylar için hata ağacı	48
Şekil 2.16 Bir hata ağacında kullanılan mantık aktarım bileşenleri	49
Şekil 2.17 Örnek 2.6 için hata ağacı	52
Şekil 2.18 @RISK dağılım paleti.....	59
Şekil 2.19 Devam etmekte olan simülasyon	61
Şekil 2.20 @RISK grafik örnekleri.....	62
Şekil 3.1 Soğutma borulu reaktör kontrol sistemi.....	65
Şekil 3.2 Soğutma borulu reaktör sistemi için soğutucu akış kontrolü hatası olay ağacı.....	73
Şekil 3.3 Soğutma borulu reaktör sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı.....	74
Şekil 3.4 Soğutma borulu reaktör sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı.....	75
Şekil 3.5 Soğutma borulu reaktör sistemi için besleme akış kontrolü hatası olay ağacı.....	76
Şekil 3.6 Soğutma borulu reaktör sistemi için seviye kontrolü hatası olay ağacı.....	77
Şekil 3.7 Soğutma borulu reaktör sistemi için hata ağacı	78
Şekil 3.8 Egzotermik polimerizasyon reaktörü kontrol sistemi	79

Şekil 3.9 Ekzotermik polimerizasyon reaktör sistemi için akış kontrolü hatası olay ağacı.....	82
Şekil 3.10 Ekzotermik polimerizasyon reaktör sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı.....	83
Şekil 3.11 Ekzotermik polimerizasyon reaktör sistemi için hata ağacı	84
Şekil 3.12 Kesikli reaktör kontrol sistemi.....	85
Şekil 3.13 Kesikli reaktör sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı.....	88
Şekil 3.14 Kesikli reaktör sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı.....	89
Şekil 3.15 Kesikli reaktör sistemi için hata ağacı	90
Şekil 3.16 Isı değiştirici kontrol sistemi.....	91
Şekil 3.17 Isı değiştirici sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı.....	94
Şekil 3.18 Isı değiştirici sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı.....	95
Şekil 3.19 Isı değiştirici sistemi için hata ağacı	96
Şekil 3.20 Buharlaştırıcı kontrol sistemi.....	97
Şekil 3.21 Buharlaştırıcı sistemi için besleme akış kontrolü hatası olay ağacı.....	100
Şekil 3.22 Buharlaştırıcı sistemi için seviye kontrolü hatası olay ağacı	101
Şekil 3.23 Buharlaştırıcı sistemi için hata ağacı	102
Şekil 3.24 Yoğuşturucu kontrol sistemi	103
Şekil 3.25 Yoğuşturucu sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı	106
Şekil 3.26 Yoğuşturucu sistemi için hata ağacı	107
Şekil 3.27 Santrifüj pompa/kompresör kontrol sistemi.....	108
Şekil 3.28 Santrifüj pompa/kompresör sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı.....	111
Şekil 3.29 Santrifüj pompa/kompresör sistemi için çıkış akış kontrolü hatası olay ağacı.....	112
Şekil 3.30 Santrifüj Pompa/Kompresör sistemi için hata ağacı.....	113
Şekil 3.31 Kademeli damıtma kolonu kontrol sistemi	115
Şekil 3.32 Kademeli damıtma kolonu sistemi için besleme akış kontrolü hatası olay ağacı.....	119
Şekil 3.33 Kademeli damıtma kolonu sistemi için üst ürün seviye kontrolü hatası olay ağacı.....	120

Şekil 3.34 Kademeli damıtma kolonu sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı.....	121
Şekil 3.35 Kademeli damıtma kolonu sistemi için seviye kontrolü hatası olay ağacı.....	122
Şekil 3.36 Kademeli damıtma kolonu sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı.....	123
Şekil 3.37 Kademeli damıtma kolonu sistemi için hata ağacı	124
Şekil 3.38 Dolgulu damıtma kolonu kontrol sistemi	126
Şekil 3.39 Dolgulu damıtma kolonu sistemi için besleme akış kontrolü hatası olay ağacı.....	130
Şekil 3.40 Dolgulu damıtma kolonu sistemi için üst kolon basınç kontrolü hatası olay ağacı	131
Şekil 3.41 Dolgulu damıtma kolonu sistemi için üst ürün seviye kontrolü hatası olay ağacı	132
Şekil 3.42 Dolgulu damıtma kolonu sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı.....	133
Şekil 3.43 Dolgulu damıtma kolonu sistemi için alt kolon basınç kontrolü hatası olay ağacı	134
Şekil 3.44 Dolgulu damıtma kolonu sistemi için hata ağacı	135
Şekil 3.45 Dolgulu absorpsiyon kolonu kontrol sistemi	137
Şekil 3.46 Dolgulu absorpsiyon kolonu sistemi için besleme akış kontrolü hatası olay ağacı	141
Şekil 3.47 Dolgulu absorpsiyon kolonu sistemi için üst kolon basınç kontrolü hatası olay ağacı	142
Şekil 3.48 Dolgulu absorpsiyon kolonu sistemi için alt kolon basınç kontrolü hatası olay ağacı	143
Şekil 3.49 Dolgulu absorpsiyon kolonu sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı.....	144
Şekil 3.50 Dolgulu absorpsiyon kolonu sistemi için hata ağacı	145
Şekil 3.51 Kademeli absorpsiyon kolonu kontrol sistemi.....	146
Şekil 3.52 Kademeli absorpsiyon kolonu sistemi için besleme akış kontrolü hatası olay ağacı	150

Şekil 3.53 Kademeli absorpsiyon kolonu sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı.....	151
Şekil 3.54 Kademeli absorpsiyon kolonu sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı.....	152
Şekil 3.55 Kademeli absorpsiyon kolonu sistemi için hata ağacı	153
Şekil 3.56 Sprey kurutucu kontrol sistemi	154
Şekil 3.57 Sprey kurutucu sistemi için hava girişi sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı.....	158
Şekil 3.58 Sprey kurutucu sistemi için atık hava sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı.....	159
Şekil 3.59 Sprey kurutucu sistemi için hata ağacı.....	160
Şekil 3.60 Mikser kurutucu kontrol sistemi	161
Şekil 3.61 Mikser kurutucu sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı	165
Şekil 3.62 Mikser kurutucu sistemi için akış hızı kontrolü hatası olay ağacı.....	166
Şekil 3.63 Mikser kurutucu sistemi için hata ağacı.....	167
Şekil 3.64 Döner kurutucu kontrol sistemi	169
Şekil 3.65 Döner kurutucu sistemi için hava girişi sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı.....	172
Şekil 3.66 Döner kurutucu sistemi için atık hava sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı.....	173
Şekil 3.67 Döner kurutucu sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı	174
Şekil 3.68 Döner kurutucu sistemi için hata ağacı	175
Şekil 3.69 Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı grafiği	179
Şekil 3.70 Kok kömürü ve petrol ürünleri imalatı grafiği.....	180
Şekil 3.71 Kimyasal ürünler imalatı grafiği.....	181
Şekil 3.72 Kauçuk ve plastik ürünler imalatı grafiği	182
Şekil 3.73 Metalik olmayan ürünler imalatı grafiği	183
Şekil 3.74 Ana metal sanayi grafiği	184
Şekil 3.75 Elk. gaz, buhar ve hava sist. üretim grafiği	185
Şekil 3.76 Suyun toplanması ve arıtılması grafiği	186
Şekil 3.77 Atık maddelerin değerlendirilmesi grafiği.....	187
Şekil 3.78 Seçilen faaliyet guplarının yıllık ortalama iş günü kayıpları	188

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 HAZOP yöntemi için kullanılan rehber kelimeler	7
Çizelge 2.2 Proses boruları için geçerli rehber kelime ve proses parametre kombinasyonları	8
Çizelge 2.3 Proses tankları için geçerli rehber kelime ve proses parametre kombinasyonları	8
Çizelge 2.4 ASME Standartlarına göre semboller ve anlamları	10
Çizelge 2.5 HAZOP sapma tablosu	11
Çizelge 2.6 Kayıt bilgileri için HAZOP formu	13
Çizelge 2.7 Örnek 2.1 için HAZOP formu	15
Çizelge 2.8 Seçilmiş çeşitli proses bileşenleri için arıza hızları	26
Çizelge 3.1 Soğutma borulu reaktör için HAZOP formu	66
Çizelge 3.2 Ekzotermik polimerizasyon reaktörü için HAZOP formu.....	80
Çizelge 3.3 Kesikli reaktör için HAZOP formu.....	86
Çizelge 3.4 Isı değiştirici için HAZOP formu	92
Çizelge 3.5 Buharlaştırıcı için HAZOP formu.....	98
Çizelge 3.6 Yoğusturucu için HAZOP formu.....	104
Çizelge 3.7 Santrifüj pompa/kompresör için HAZOP formu	109
Çizelge 3.8 Kademeli damıtma kolonu için HAZOP formu.....	116
Çizelge 3.9 Dolgulu damıtma kolonu için HAZOP formu	127
Çizelge 3.10 Dolgulu absorpsiyon kolonu için HAZOP formu.....	138
Çizelge 3.11 Kademeli absorpsiyon kolonu için HAZOP formu	147
Çizelge 3.12 Sprey kurutucu için HAZOP formu.....	155
Çizelge 3.13 Mikser kurutucu için HAZOP formu.....	162
Çizelge 3.14 Döner kurutucu için HAZOP formu	170
Çizelge 3.15 Seçilen üniteler için uygulanan risk değerlendirme metodolojilerinin analizi.....	176
Çizelge 3.16 Riskin şiddetinin belirlenmesi.....	178
Çizelge 3.17 Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı için belirlenen verilerin ortalama değerleri	179

Çizelge 3.18 Kok kömürü ve petrol ürünleri imalatı için belirlenen verilerin ortalama değerleri	180
Çizelge 3.19 Kimyasal ürünler imalatı için belirlenen verilerin ortalama değerleri.....	181
Çizelge 3.20 Kauçuk ve plastik ürünler imalatı için belirlenen verilerin ortalama değerleri	182
Çizelge 3.21 Metalik olmayan ürünler imalatı için belirlenen verilerin ortalama değerleri	183
Çizelge 3.22 Ana metal sanayi için belirlenen verilerin ortalama değerleri	184
Çizelge 3.23 Elk. gaz, buhar ve hava sist. üretimi için belirlenen verilerin ortalama değerleri	185
Çizelge 3.24 Suyun toplanması ve arıtılması için belirlenen verilerin ortalama değerleri	186
Çizelge 3.25 Atık maddelerin değerlendirilmesi için belirlenen verilerin ortalama değerleri	187
Çizelge 3.26 Seçilen faaliyet gruplarının yıllık ortalama iş günü kayıpları	188

1. GİRİŞ

Bir toplumda gerçek anlamda iş güvenliğinin sağlanabilmesi için her şeyden önce iş güvenliği bilincinin oluşması gerekir. Anayasada, yasalarda ve tüm iş güvenliği mevzuatında getirilen hukuki güvence mekanizmaları ne kadar iyi düzenlenmiş olurlarsa olsunlar, ilgili tüm çevre ve kişilerde bu güvenceleri korumak ve işletmek konusunda yeterli bir bilinç oluşturulamamışsa, kağıt üzerindeki temennilerden başka bir anlam taşımazlar. O halde, gerçek güvence bu konuda tüm ilgililerde bir istek ve inanç yaratılabilmesinde saklıdır. Öte yandan, üniversitelerin, araştırma kurumlarının, kitle haberleşme araçlarının, meslek kuruluşlarının ve bu konuda kurulacak gönüllü derneklerin iş güvenliği faaliyetlerine etkili bir biçimde katılması, iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesi amacına olumlu katkılar getirebilecektir (Greenberg ve Cramer 1991).

ILO (Uluslararası Çalışma Örgütü)'nün kayıtlarına göre; her 15 saniyede bir kişi ölmekte ve her 15 saniyede 160 kişi iş kazası geçirmektedir. **DÜNYADA**, yılda 317 milyon iş kazası olmakta ve 2.3 milyon kişi hayatını kaybetmektedir. (www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang--en/index.htm/2013)

Risk kavramı, iş hayatında genel olarak tehlike ile eş anlamlı kullanılmakla birlikte, ileride ortaya çıkması beklenen fakat olup olmayacağı kesin olarak bilinmeyen olaylar için kullanılır. Buna göre risk, zarar ve/veya kayıplara yol açabilecek bir olayın ortaya çıkma olasılığı olup, aşağıdaki gibi tanımlanır (Greenberg ve Cramer 1991).

$Risk = Olasılık \times Şiddet$

Riski nicel olarak modelleyebilmek için olasılık teorisinden yararlanılır. Belli bir zaman dilimi içerisinde gerçekleşen olay (kaza) sayısına ait dağılım fonksiyonunun ortalama ve varyans değerleri birbirine eşit olup, bu kazalar nedeniyle ortaya çıkan iş günü kayıplarının tahmini için literatürde Poisson dağılımından yararlanılmaktadır (www.riskanaliz.net/insaat-islerinde-is-guvenligi-acisindan-risk-degerlendirmesi/ 2011). Bu dağılım fonksiyonu ise aşağıdaki formülle tanımlanır;

$$P(r) = \frac{e^{-\mu} \mu^r}{r!}$$

Burada, μ ; dağılımın ortalaması, r ; nadiren görülen olay sayısıdır. Hiç kaza olmadığı durumu ifade eden olayın görülme olasılığı hesaplandıktan sonra, olayın birbirini izleyen sayıda görülme olasılıkları şu şekilde hesaplanabilir (Kesici ve Kocabaş 1998);

$$P(0) = \frac{e^{-\mu} \mu^0}{0!} = e^{-\mu}$$

$$P(1) = \frac{e^{-\mu} \mu^1}{1!} = \mu P(0)$$

⋮

$$P(n) = \frac{e^{-\mu} \mu^n}{n!} = \frac{\mu}{n} P(n-1)$$

Bir işletmedeki iş kazası risklerini değerlendirebilmek için belli bir zaman dilimi içerisinde gerçekleşen iş kazası ve işgünü kayıplarının dağılımlarının ortaya çıkarılması gerekir. Daha sonra bu dağılımlara uygun modeller seçilir. Böylece, iş kazaları ve işgünü kayıpları matematiksel olarak formüle edilerek olasılık hesapları yapılabilir. Bu amaçla; Literatürde farklı yaklaşımlar kullanılmakla birlikte, genellikle Poisson dağılımından yararlanılır. Riskin büyüklüğü şu formülle verilmektedir (www.riskanaliz.net/insaat-islerinde-is-guvenligi-acisinden-risk-degerlendirmesi/2011, Vose 2000).

$$\text{Risk (İş günü kaybı / yıl)} = \text{İş kazası sayısı} \times \text{İş günü kaybı}$$

Kimya endüstrisinde yer alan üretim prosesleri; reaktörler, ayırma kolonları, ısı değiştiriciler gibi birçok üniteyi kapsar. Bu üniteler ise; boru hatları, vanalar, akış/sıcaklık/basınç/seviye ölçerler gibi bir çok proses bileşeninden oluşur. Endüstriyel kazalar genellikle bir ünitenin kontrol sisteminde meydana gelen bir aksaklık sonucu ortaya çıkar. Proses bileşenlerinin ortalama arıza hızına ilişkin veriler literatürde yer almaktadır. Bu veriler ve olasılık teorisi kullanılarak ilgili dağılımlar belirlenebilir. Kazaların risk değerlendirmesi yapılarak, iş kazası ve işgünü kaybı yaşanmaması için gerekli önlemler alınabilir (Sinnot 1999).

“Project Management Body of Knowledge (PMBOK)” olarak bilinen Risk Analiz Rehberi’nden yola çıkılarak, Risk Yönetim Süreci, ortamdaki tehlikeleri belirleyen, onların kritik değişkenler ve fonksiyonlar üzerindeki etkilerini araştıran ve koruma amaçlı mekanizma veya stratejiler geliştiren bir tekniktir. Bu sürecin oluşturulmasının amacı, işletmelerin hedeflerine ulaşmaları için en etkin, en hızlı ve en güvenilir yolları araştırmaktır (Özkılıç 2005). Risk yönetim süreci; yönetim politikası, prosedürler ve görev tanımlarını kurma bağlamında, içerik tanımlama, inceleme ve değerlendirme uygulamalarını kapsamaktadır. Risk yönetimi kavramı, kazaların önlenmesi için sistematik ve gerçekçi bir çatı kurulmasını sağlar (www.riskanaliz.net/insaat-islerinde-is-guvenligi-acisindan-risk-degerlendirmesi/2011).

Tehlikelerin belirlenmesi için işletmede; ölüme, hastalığa, yaralanmaya, hasara veya diğer kayıplara sebebiyet verebilecek tüm istenmeyen olaylar tanımlanır. Tehlikelerin tanımlanmasından sonra, tehlikelerin doğasının, mekanizmasının ve dikkate değer sonuçlarının anlaşılması gerekir. Tehlike önceden tanımlandığında, olayların ortaya çıkma olasılığı ve ortaya çıktığında maruz kalınabilecek sonuçları böylece belirlenebilir (www.riskanaliz.net/insaat-islerinde-is-guvenligi-acisindan-risk-degerlendirmesi/2011; Özkılıç 2005, Anonim 2011A).

Tehlike tanımlandıktan sonra, riskler değerlendirilir, derecelendirilir ve gerekli kontrol ölçümlerinin yapılması için prosedürler oluşturulur. Risk değerlendirilmesi aşamasında, kabul edilebilirliğine karar vermek için, riskin önemi üzerinde kapsamlı olarak durulur. Daha sonra, risk seviyelerinin kabul edilebilirliğinin önceden belirlenmiş kriterler ile kıyaslanması yapılır (Anonim 2011A).

İhtiyaç duyulan risk kontrol önlemleri; öncelikle tehlikelerin bertaraf edilmesi ve riskin ortadan kaldırılması, risk ortadan kaldırılamıyorsa, riskin kabul edilebilir bir seviyeye indirilmesi prensibini yansıtmalıdır. Riskler, normalde bir veya birkaç kontrol önlemi ile azaltılabilirler. Uygun kontrol ölçümleri bu aşamada devreye girer. Kontrol ölçümleri, “Mühendislik Kontrolleri” veya “Yönetimle İlgili Kontroller” vasıtasıyla yapılabilir (www.riskanaliz.net/insaat-islerinde-is-guvenligi-acisindan-risk-degerlendirmesi/2011, Özkılıç 2005).

Riskin belirlenmesi, risk değerlendirme ve kontrol önlemlerinin ardından; riski ortadan kaldırmaya/azaltmaya yönelik gerekli faaliyetlerin, zamanında izlenmesi ve gözden geçirilmesinin de mutlaka yapılması gerekir.

Literatürde çok sayıda risk değerlendirme yöntemi bulunmaktadır. Sınama inceleme niteliğindeki bu yüksek lisans tezi kapsamında mevcut yöntemlerden; Olasılık Teorisi, Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP), Olay Ağacı Analizi (ETA) ve Hata Ağacı Analizi (FTA) metodolojileri incelenmiştir. Kimyasal Proses Endüstrisinde yer alan Soğutma Borulu Reaktör, Kesikli Reaktör, Egzotermik Polimerizasyon Reaktörü, Dolgulu Damıtma Kolonu, Kademeli Damıtma Kolonu, Dolgulu Absorpsiyon Kolonu, Kademeli Absorpsiyon Kolonu, Isı Değiştirici, Buharlaştırıcı, Yoğuşturucu, Santrifüj Pompa/Kompresör, Sprey Kurutucu, Mikser Kurutucu ve Döner Kurutucularda HAZOP formları oluşturulmuştur. Olasılık Teorisi ile hesaplamalar yapılarak, her biri için arıza/yıl olasılıkları hesaplanmıştır. Olay Ağacı Analizleri (ETA) yapılarak, sistemde yıllık devam eden, durdurulan ve kontrolden çıkan olaylar hesaplanmıştır. Hata Ağacı Analizleri (FTA) yapılarak, arızaya neden olabilecek tüm olayların arıza/yıl olasılıkları hesaplanmıştır.

“Monte Carlo Simülasyonu”nun risk değerlendirme konusuna yönelik bir paket programı olan “@Risk” yazılımının “Risk Coumpound” alt programı ile Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2008, 2009, 2010, 2011 iş kazası verilerinden seçilen Türkiye çapındaki endüstriyel faaliyet gruplarında (NACE Sınıflanlandırmasına göre) sıklık ve şiddet değerleri ile hesaplamalar yapılmış, grafikler oluşturulmuş ve yıllık iş günü kayıpları; Kağıt ve Kağıt Ürünleri İmalatı, Kok Kömürü ve Petrol Ürünleri İmalatı, Kimyasal Ürünler İmalatı, Kauçuk ve Plastik Ürünler İmalatı, Metalik Olmayan Ürünler İmalatı, Ana Metal Sanayi, Elk. Gaz, Buhar ve Hava Sis. Üret. Dağıt., Suyun Toplanması Arıtılması ve Dağıt. ve Atık Maddelerin Değerlendirilmesi için gün/yıl olarak öngörülmüştür. (Khan ve Abbasi 1998, 1999, 2001, Khan vd. 2001, 2002, Crowl ve Louvar 2002, Abbasi ve Abbasi 2008, <http://www.palisade.com/risk/2012>, Anonim 2013D).

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP)

HAZOP çalışması, kimyasal proses tesisindeki tehlikeleri belirleyen resmi bir yöntemdir (Anonymous 1992). Yöntem, tehlikeleri belirlemede etkilidir ve kimya endüstrisi tarafından da geçerli kabul edilir.

HAZOP çalışmalarına başlamadan önce, proses bilgileri kontrol edilmelidir. Bu bilgiler, güncel proses akış diyagramlarını (PFDs), proses ve alet yerleştirme diyagramlarını (P&IDs), detaylı ekipman özelliklerini, yapı malzemelerini ve kütle ve enerji denkliklerini kapsar.

HAZOP yapılacak yerde, bir HAZOP grubu oluşturulmakta ve beyin fırtınası gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada, çalışmaya katılanlara, çeşitli olayların olması ya da olmaması durumunda ne gibi sonuçların ortaya çıkacağı sorulmaktadır. HAZOP çalışmalarının tümü tecrübeli işletme, laboratuvar, teknik ve güvenlik uzmanlarının karışımıyla oluşmuş bir kurul gerektirir. Bir kişi HAZOP lideri olmak zorundadır ve kurul başkanı gibi hizmet etmelidir. Bu kişi tartışmaya öncülük etmek ve yeniden inceleme altında, HAZOP yöntemi ve kimyasal proses ile ilgili tecrübeli olmak zorundadır. Bu fonksiyonu kişisel bir bilgisayarda uygulamayı sağlayacak birkaç ticari yazılım olmasına rağmen, bir kişi de kaydedilen sonuçların taslağını belirlemek zorundadır. Kurul 5 saat toplanır. Toplantı süresi, ilgi ve tüm kurul üyelerinin katılımı için kısa tutulmak zorundadır. Büyük bir proses, HAZOP çalışmasını tamamlamak için birkaç ay haftada iki defa toplantı yapmayı gerektirebilir. Eskizsiz bir HAZOP çalışması, büyük bir zaman ayırma ve çaba gerektirir (Greenberg ve Cramer 1991, Cocchiara vd. 2001, Crowl ve Louvar 2002, Özkılıç 2005).

HAZOP yöntemi, bir analizi tamamlamak için aşağıdaki basamakları kullanır:

1. Detaylı akım şeması ile başlar. Akım şeması, proses ünitelerinin sayısına ayrılır. Böylece, reaktör alanı bir ünite ve depolama tankı başka bir ünite olabilir. Çalışma için bir ünite seçilir.

2. Bir çalışma devresi seçilir (tank, boru, işletme talimatı).
3. Çalışma devresinin çalışma amacı anlatılır. Örneğin V-1 tankı, benzen hammaddesi depolamak için tasarlanmıştır ve gerektiğinde reaktörü beslemek için kullanılır.
4. Bir proses parametresi seçilir: akış, seviye, sıcaklık, basınç, konsantrasyon, pH, viskozite, hal (katı, sıvı veya gaz), karıştırma, hacim, reaksiyon, numune, bileşen, başlangıç, durma, stabilite, güç, inertlik.
5. Olası sapmaları önermede, proses parametresi için rehber kelimeye başvurulur. Rehber kelimelerin listesi, çizelge 2.1’de gösterilmektedir. Proses parametre kombinasyonlarında bazı rehber kelimeler, proses boruları ve tankları için çizelge 2.2–2.3’de gösterildiği gibidir.
6. Eğer sapma kabul edilebilirse, her koruyucu sistemin olası nedenleri ve kayıtları belirlenir.
7. Sapmanın sonuçları değerlendirilir.
8. Tavsiye edilen çalışma.
9. Tüm bilgileri kaydetmek.
10. Seçilen proses parametresine tüm uygun rehber kelimeleri uygulamadan önce 5’den 9’a kadar olan basamaklar tekrar edilir.
11. Verilen çalışma devresi için tüm uygun proses parametreleri dikkate almadan önce 4’den 10’a kadar olan basamaklar tekrar edilir.
12. Akış diyagramında verilen bölüm ve devam eden sonraki bölüm için tüm çalışma devrelerini dikkate almadan önce 2’den 11’e kadar olan basamaklar tekrar edilir (Greenberg ve Cramer 1991, Kletz 1992, Crowl ve Louvar 2002, Özkılıç 2005).

Prosesin etkin bir şekilde kontrol edilmesine yardımcı olmak ve prosesteki tehlikeli sapmaları normal proses koşullarıyla karşılaştırmak amacıyla, basınç, sıcaklık, akış hızı vb. parametrelerin durumlarını nitelemek için ‘Fazla’, ‘Az’, ‘Hiç’ vb. çeşitli anahtar kelimeler kullanılmaktadır (Cocchiara vd. 2001), (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 HAZOP yöntemi için kullanılan rehber kelimeler (Khan ve Abbasi 1998, 2001, Crowl ve Louvar 2002)

Rehber Kelimeler	Anlamı	Yorumlar
NO, NOT, NONE	Amacın tamamen olumsuz	Elde edilen tasarım amacı bölümlerinden hiçbiri.
MORE, HIGHER, GREATER	Nicel artış	Akış hızı ve sıcaklık gibi miktarlarda ve ısıtma, reaksiyon gibi olaylarda geçerlidir.
LESS, LOWER	Nicel azalış	Akış hızı ve sıcaklık gibi miktarlarda ve ısıtma, reaksiyon gibi olaylarda geçerlidir.
AS WELL AS	Nicel artış	Proses akımlarının atıkları gibi eklenen olaylarla, tüm tasarım ve işletme amaçları gerçekleştirilir.
PART OF	Nicel azalış	Tasarım amaçlarının bazıları gerçekleşir, bazıları gerçekleşmez.
REVERSE	Mantıksal karşıtlık	Akış veya kimyasal reaksiyon gibi olaylarda oldukça uygundur. Ayrıca maddeler için de uygundur (örneğin panzehir yerine aşı).
OTHER THAN	Eksiksiz yerine koyma	Gerçekleşen amacın bir bölümü değil, orijinal amaç başka bir şey ile değiştirilir.
SOONER THAN	Çok erken veya yanlış düzen	Proses basamaklarında veya olaylarında başvurulur.
LATER THAN	Çok geç veya yanlış düzen	Proses basamaklarında veya olaylarında başvurulur.
WHERE ELSE	Eklenen konum	Proses bölgelerinde veya işletim yöntemindeki bölgelerde başvurulur.

Çizelge 2.2 Proses boruları için geçerli rehber kelime ve proses parametre kombinasyonları, x geçerli kombinasyonları anlatır (Crowl ve Louvar 2002)

Proses Parametreleri	No, not, none	More, Higher, greater	Less, lower	As well as	Part of	Reverse	Other than	Sooner, faster	Later, slower	Where else
Akış	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Sıcaklık		x	x					x	x	
Basınç		x	x	x				x	x	
Konsantrasyon	x	x	x	x	x		x	x	x	
pH		x	x					x	x	
Vizkozite		x	x					x	x	
Hal		x		x				x	x	

Çizelge 2.3 Proses tankları için geçerli rehber kelime ve proses parametre kombinasyonları, x geçerli kombinasyonları anlatır (Crowl ve Louvar 2002)

Proses Parametreleri	No, not, none	More, Higher, greater	Less, lower	As well as	Part of	Reverse	Other than	Sooner, faster	Later, slower	Where else
Seviye	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Sıcaklık		x	x					x	x	
Basınç		x	x	x				x	x	
Konsantrasyon	x	x	x	x	x		x	x	x	
pH		x	x					x	x	
Vizkozite		x	x					x	x	
Karıştırma	x	x	x		x	x		x	x	
Hacim	x	x	x	x	x			x	x	x
Reaksiyon	x	x	x				x	x	x	
Hal				x			x	x	x	
Örnek	x			x	x		x	x	x	

AS WELL AS, PART OF ve OTHER THAN gibi rehber kelimeler, uygulamada kavramsal olarak zor olabilir. AS WELL AS'ın anlamı, ek olarak tasarım planını amaçlamak için farklı bir şey de olabilir. Örneğin bir sıvının kaynaması, eklenen bir

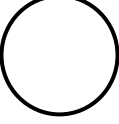
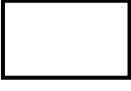
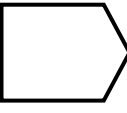
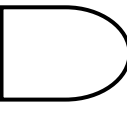
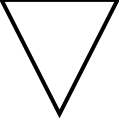
bileşenin aktarımı veya beklenenden başka bir yerdeki akış aktarımı olabilir. PART OF'un anlamı, bileşenlerden birinin ayrılması veya akımın tercihli olarak prosesin sadece bir bölümüne pompalanmasıdır. OTHER THAN, beklenen malzeme için yedekleme yapıldığı, başka bir yere aktarıldığı veya katılaştığı ve taşınmadığı durumlar için uygulanır. SOONER THAN, LATER THAN ve WHERE ELSE kesikli prosesler için uygundur (Khan ve Abbasi 1998, 2001, Crowl ve Louvar 2002).

HAZOP uygulaması uzun zaman ve emek gerektiren sistematik bir çalışmadır ve disiplinli bir takım tarafından gerçekleştirilmelidir. HAZOP takımına, tecrübeli bir iş sağlığı ve güvenliği uzmanının liderlik yapmalıdır (Cocchiara vd. 2001). HAZOP takımı, aşağıda belirtilen çalışanlardan oluşan bir çalışma grubundan oluşmaktadır:

- Fabrikanın işveren vekili
- Fabrika müdürü
- İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı
- İşletme (Proses) Mühendisi
- Sistem ve Otomasyon Mühendisi
- Elektrik Mühendisi
- İnşaat Mühendisi (Gerekli olan durumlarda)

HAZOP çalışmasına başlamadan önce, American Society of Mechanical Engineers (ASME) standardına uygun bir proses akım şemasının çıkartılması, çalışmanın başarısını arttırmaktadır. ASME standardında kullanılan semboller, çizelge 2.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 ASME standartlarına göre semboller ve anlamları (Özkılıç 2005)

Sembol	Aktivite	Çoğunlukla gözlenen sonuç
	Operasyon	Ürün, başarılı bir adım, prodesteki ilerleme adımı, değişiklik adımı
	Denetleme	Nitel veya nitel uygulama
	Taşıma	Nakliye veya taşıma
	Gecikme	Müdahale, çatışma, engel veya gecikme
	Depolama	Ambarda depolama, stoklama, bir bölümde tutma

HAZOP sonucu değerlendirilmeden önce yapılan çalışmanın amacı açıklanmakta, prosesin bir değişkeni seçilmekte ve kılavuz kelimeler kullanılarak anlamlı bir tehlikeli sapma belirlenmektedir. Tehlikeli sapmalar, ‘HAZOP Sapma Tablosu’ yardımıyla belirlenmektedir (Çizelge 2.5). Daha sonra, belirlenen tehlikeli sapmalar için, HAZOP takımı tarafından muhtemel nedenlerin listesi hazırlanmakta ve tehlikeli sapmaların sonuçları dikkatle gözden geçirilmektedir. Bir sonraki aşamada, sapmanın oluşmasını önleyici koruyucu önlemler tanımlanmakta ve önlemlerin alınmasından sonra kalan riskin kabul edilebilir olup olmadığına karar verilmektedir. Kalan riskin kabul edilemez bir düzeyde olduğu durumlarda, yapılacak eylemler belirlenmektedir (Özkılıç 2005).

Çizelge 2.5 HAZOP sapma tablosu (Özkılıç 2005)

	KILAVUZ KELİMELER						
	Fazla	Az	Hiç	Ters	Parçası	...ka- dar iyi	...den başka
Akış	Yüksek akış	Düşük akış	Akış yok	Akış yönü ters			İçerik kaybı
Basınç	Yüksek basınç	Düşük basınç	Vakum		Kısmi basınç		
Sıcaklık	Yüksek sıcaklık	Düşük sıcaklık			Kriyojenik		
Seviye	Yüksek seviye	Düşük seviye	Seviye yok				İçerik kaybı
Kompozisyon veya durum	İlave faz	Kayıp faz		Durumun değişmesi	Yanlış içerik	Kirletici etki	Yanlış materyal
Reaksiyon	Yüksek reaksiyon oranı	Düşük reaksiyon oranı	Reaksiyon yok	Ters reaksiyon	Eksik reaksiyon	Yan etki	Yanlış reaksiyon
Zaman	Çok uzun	Çok kısa					Yanlış zaman
Sıra	Adım çok geç	Adım çok erken	Geriye kalan adım		Geriye kalan adımın bir parçası	Ekstra bir eylemin dahil olması	Yanlış eylem uygulaması

HAZOP çalışması bir prosese uygulanıp çalışma bitirildikten sonra, proses içinde çalışanlardan ya da HAZOP takım üyelerinden, çalışma sırasında gözden kaçırılmış bir tehlikeli sapma ile ilgili bilgi gelebilmektedir. Bu tür bir bilgi gelmesi durumunda, seçilen sistem, hat, donanım veya teçhizatın tehlikeli sapması tanımlanmakta, ölçümleme yapılmakta ve yeni bir eylem planı belirlenmektedir. HAZOP tamamlandıktan sonra, prosesin her bir bölümü için, değişkenlere verilen anahtar ve kılavuz kelimeleri, tehlikeli sapmaları, tehlikeli sapma nedenlerini, tehlikeli sapma sonuçlarını ve azaltma ölçümlerini içeren bir ‘Tehlike ve İşletilebilirlik Çalışması Risk Değerlendirme Formu’ oluşturulmaktadır.

HAZOP, bir işletmedeki proseslerdeki tehlikeli sapmaların belirlenmesi aşamasında etkilidir; ancak bir işletmede, proseslerin yanında mekanik işler, elektrik işleri, depolama işleri ve yardımcı işler de mevcuttur. Bu işlerde ortaya çıkabilecek tehlikelerin belirlenmesi için, HAZOP yanında, diğer risk değerlendirme yöntemlerinden bir veya birkaçının da uygulanması gerekmektedir. HAZOP yönteminin kolayca uygulanabilmesi için, HAZOP takımı tarafından Tehlike ve İşletilebilirlik Çalışma Formu kullanılmaktadır (Cocchiara vd. 2001).

HAZOP uygulaması yapıldıktan sonra, bazı durumlarda yenilenmesi gerekmektedir. Bu durumların bazıları şunlardır:

- Risk değerlendirmesi amacıyla HAZOP takımının belirlediği sürelerde
- Çalışma koşullarında önemli bir değişiklik olduğunda
- Ortam ölçümleri ve sağlık gözetimlerinin sonuçlarına göre gerektiğinde
- Proseste veya operasyonda kimyasal maddeler nedeni ile herhangi bir kaza olduğunda
- En az beş yılda bir defa
- Tamir ve bakım işlerine başlamadan önce
- Prosese bir eklenti ilave edildiğinde veya tehlikeli kimyasal maddeler içeren yeni bir faaliyette

HAZOP yönteminin önemli bir kısmı, kayıt gerektiren bir sistemdir ve sonuçlarda kullanılır. Bunu başaran birçok yöntem vardır ve çoğu firma, yaptıkları şeylerin özel yollarını uyarlamak için yaklaşımlarını, müşterilerinin isteğine uygun hale getirir.

Çizelge 2.6, temel HAZOP formunun bir çeşidini anlatır. “Öğ” anlamına gelen ilk kolon, dikkate alınan her durum için tek bir tanımlayıcı temin etmede kullanılır. Numaralandırma sistemi, numara-sayı kombinasyonu için kullanılır. Böylece “1A” ismi, ilk çalışma devresi ve ilk rehber kelime için adlandırılır. İkinci kolon, dikkate alınan çalışma devresini listeler. Üçüncü kolon, proses parametresini listeler ve dördüncü kolon, sapmaları veya rehber kelimeleri listeler. Sonraki üç kolon, analiz sonuçları için çok önemlidir. İlk kolon, olası olayları listeler. Bu olaylar, kurul ile belirlenir ve özel sapma-rehber kelime kombinasyonuna bağlıdır. Sonraki kolon,

sapmanın olası sonuçlarını listeler. Son kolon, kaza sonucu oluşan tehlikeyi önlemek için gereken çalışmayı listeler. Bu üç kolonda listelenen öğeler, ardışık olarak numaralandırılır. Son birkaç kolon, iş sorumluluğu ve iş bitirmeyi takip etmek için kullanılır (Crowl ve Louvar 2002).

Çizelge 2.6 Kayıt bilgileri için HAZOP formu (Crowl ve Louvar 2002)

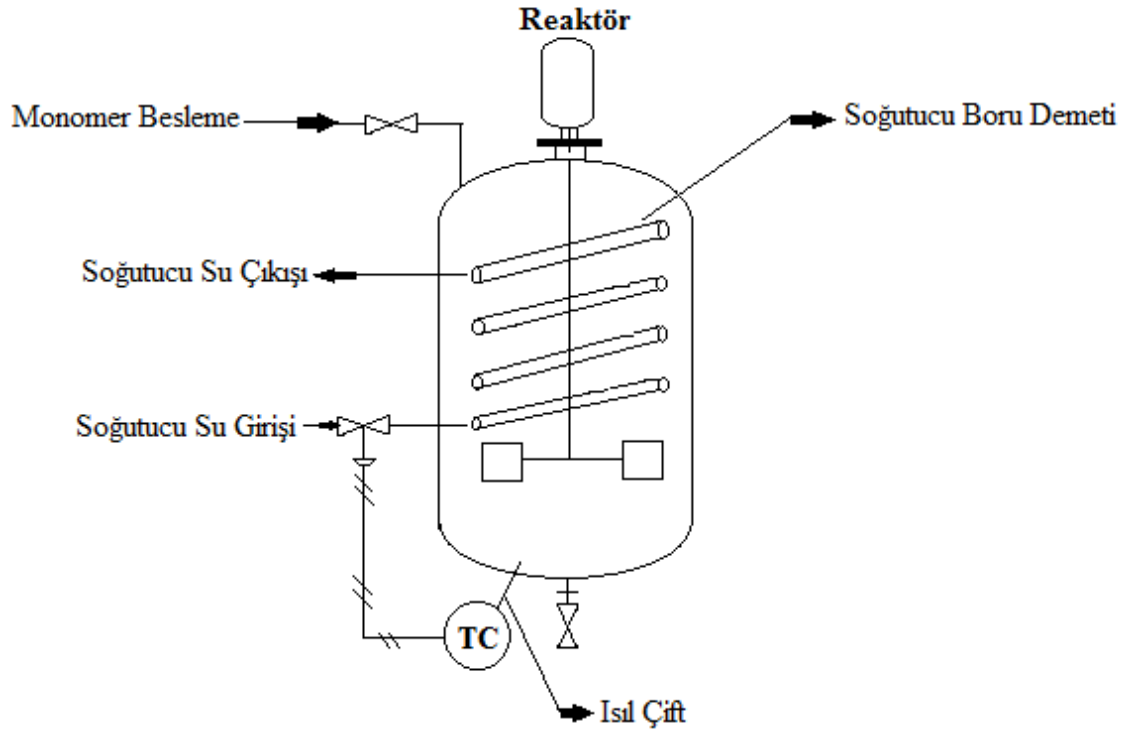
Proje adı:				Tarih:	Sayfa:	Tamamlanmış:		
Proses:						Olay yok:		
Bölüm:				Referans çizim:		Yanıt tarihi:		
Öge	Çalışma devresi	Proses parametreleri	Sapma (anahtar kelimeler)	Olası olaylar	Olası sonuçlar	Gerekli olaylar	Atanan:	

Örnek 2.1:

Dikkate alınan reaktör sistemi Şekil 2.1’de gösterilmektedir. Reaksiyon ekzotermiktir, çünkü soğutma sistemi, reaksiyondaki fazla enerjiyi uzaklaştırmayı sağlar. Soğutma fonksiyonunun kaybolması durumunda, reaktör sıcaklığı artacaktır. Eklenen enerjinin serbest bırakılması, reaksiyon hızının artmasına neden olur. Sonuç, reaktör tankının patlama basıncından fazla basınç ile kontrolsüz reaksiyondur.

Reaktör içindeki sıcaklık ölçülür ve vana tarafından soğutma suyu akış kontrolü yapılır.

Proses güvenliğini geliştirmek için bu üniteye bir HAZOP çalışması uygulanır. Soğutucu boru demeti (proses parametreleri: akış ve sıcaklık) ve karıştırıcı (proses parametresi: karıştırma) devreleri çalışması gibi kullanılır (Crowl ve Louvar 2002).



Şekil 2.1 Soğutma suyu tarafından kontrol edilen ekzotermik reaksiyon (Crowl ve Louvar 2002)

Çözüm:

Belirlenmiş proses parametreleriyle, soğutucu boru demeti ve karıştırıcı çalışma devresi için rehber kelimeler uygundur.

Tamamlanmış analizin sadece küçük bir bölümü olan HAZOP sonuçları çizelge 2.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.7 Örnek için HAZOP formu (Crowl ve Louvar 2002)

Proje Adı: Örnek-1				Tarih:		Sayfa:14		Tamamlanmış:	
Proses: Örnek 1'deki Reaktör								Olay Yok:	
Bölüm: Örnek 1'de gösterilen Reaktör				Referans Çizim: Şekil 2.1				Yanıt Tarihi:	
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:		
1A	Soğutma Boruları	Akış	No	1. Kontrol vanası arızalandığında kapanır 2. Tıkalı soğutma boruları 3. Soğutma suyu servis arızası	1. Soğutma kaybı, olası sızıntı 2. " 3. "	1. Arızalandığında açık olması için vana seçilir 2. Bakım yöntemi ile birlikte filtre takmak Soğutma suyu akış ölçer ve düşük akış alarmı takmak Alarm operatörüne yüksek sıcaklık alarmı takmak 3. Su seviyesinin emniyet ve monitor güvenilirliği 4. Kritik malzeme listesinde yer alır 5. 1A.1'e bakın			
1B			High	1. Kontrol vanası arızalandığında açılır 2. Kontrol edici arızalanır ve vanayı açar	1. Reaktör soğuması, olası sızıntı 2. "	1. Operatörü bilgilendirme ve güncelleştirme 2. 1A.4'e bakın			
1C			Low	1. Kısmen tıkalı soğutma hattı 2. Kısmi su kaynağı arızası 3. Kontrol vanası arızası	1. Azaltılmış soğutma, olası sızıntı 2. " 3. "	1. 1A.2'ye bakın 2. 1A.2'ye bakın 3. Kritik malzeme listesinde yer alır			
1D			As well as	1. Kirlilik	1. Mümkün değil	1. Yok			
1E			Part of	1. 1C'ye bakın					
1F			Rerverse	1. Geri akıştaki su kaynağı sonucu arıza 2. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Soğutma kaybı, olası sızıntı 2. "	1. 1A.2'ye bakın 2. Emniyet vanası takmak			
1G			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					
1H			Sooner than	1. Soğutma erken başlar	1. Yok				
1I			Later than	1. Operatör hatası	1. Sıcaklık artışı, olası sızıntı	1. Soğutma akışı ve reaktör beslemesini birbirine bağlamak			
1J			Where else	1. Olasılık dikkate alınmaz					
1K		Sıcaklık	High	1. Yüksek su sıcaklığı	1. Soğutma sistemi kapasitesi sınırlı, sıcaklık artar	1. Yüksek akış alarmı ve/veya soğutma suyu yüksek sıcaklık alarmı takmak			
1L			Low	1. Düşük su sıcaklığı	1. Yok-kontrol kolları	1. Yok			
2A	Karıştırıcı	Karıştırma	No	1. Karıştırıcı motor arızası 2. Güç arızası	1. Karıştırma yok, reaksiyona girmeyen madde birikimi olası 2. Monomer besleme devam eder, reaksiyona girmeyen madde birikimi	1. Besleme hattı bağlamak 2. Monomer besleme vanası, güç kaybı kapalıyken arıza vermeli			
2B			More	1. Yüksek motor hızı sonucu karıştırıcı motor kontrol edici arızalanır	1. Yok				

Bu çalışmadan (Örnek 2.1) elde edilen olası proses benzetimleri şu şekilde sıralanır:

- Soğutma fonksiyonu kaybı olayında operatörü uyarmak için yüksek sıcaklık alarmı takılır,
- Yüksek sıcaklık durdurma sistemi takılır (yüksek reaktör sıcaklığı olayında, sistem otomatik olarak prosesi durdurur; reaktör durdurulmadan önce yeniden soğutmayı uygun bir zamanda operatöre sağlamak için, durdurma sıcaklığı alarm sıcaklığından yüksek olmalıdır),
- Geri akışa engel olmak için soğutma borusuna emniyet vanası takılır (reaktör içeriğini yukarı yönde akıştan ve borulardaki sızıntı olayında geri akıştan engellemek için reaktörden önce ve sonra emniyet vanası takılır),
- Soğutma borusunun doluluğundan emin olmak için periyodik olarak kontrol yapılır,
- Olası kirlilikleri ve beslemenin kesilmesini dikkate almak için soğutma suyu kaynağı çalışır,
- Soğutma suyu akış ölçer ve düşük akış alarmı (soğutma kaybının hızlı bir şekilde gösterimini sağlayan) takılır.

Soğutma suyu sistemi arızalandığında (arıza kaynağı ne olursa olsun), yüksek sıcaklık alarmı ve acil durum durdurma sistemi, kontrolsüz reaksiyonu engeller. Uygulanan HAZOP çalışmasını yeniden inceleme kurulu, takılan geri akış kontrol edici ve kontrol vanasının gereksiz olduğuna karar verir. Yüksek sıcaklık alarmı ve durdurma sistemi, bu olayda kontrolsüz reaksiyona engel olur. Benzer şekilde, soğutucu su kaynağı kaybı veya tıkalı soğutma borusu, alarm veya acil durum durdurma sisteminin biri tarafından algılanır. Yeniden inceleme kurulu, tüm soğutucu su arızalarının doğru bir şekilde raporlanmasını önerir ve eğer aniden özel bir durum meydana gelirse, eklenen proses benzetimleri temin edilir.

Sadece tek bir proses hedefi dikkate alınmasına rağmen, Örnek 2.1 önerilen proses değişiklikleri sayısının iyi olduğunu gösterir (Crowl ve Louvar 2002).

2.2 Olasılık Teorisi

RİSK; zarar ve/veya kayıplara yol açabilecek bir olayın ortaya çıkma olasılığıdır. Riskin büyüklüğü şu şekilde formüle edilir (www.riskanaliz.net/insaat-islerinde-is-guvenligi-acisindan-risk-degerlendirmesi/2011);

$$\text{Risk (İş günü kaybı / Yıl)} = \text{Sıklık (Kaza sayısı / Yıl)} \times \text{Şiddet (İş günü kaybı / Kaza sayısı)}$$

Olasılık dağılımı, tesadüfi bir olayın ortaya çıkabilmesi sonucunda meydana gelen değerleri ifade etmektedir. Ancak, bu değerlerin rastsal olayın ortaya çıkabilmesi için mümkün olan tüm sonuçları kapsaması gerekmektedir. Örneğin, bir tesadüfi olay olarak madeni paranın tek bir defa havaya atılıp yere düşmesi ele alınacak olursa; değerler 'yazı' veya 'tura'; olasılıklar ise her iki değer için $\frac{1}{2}$ olacaktır. Yani madeni bir paranın tek bir defa atılma olayı için iki değer ve ilişkili iki olasılık vardır. Bu olasılık dağılımı, ayrıık olasılık dağılımıdır; çünkü sayılabilir şekilde birbirinden ayrı sonuçlar ve bunlara bağlı olan pozitif olasılıklar vardır (Iman 1994).

Olasılık dağılımı ve tanımladığı rastsal değişkenler, istatistik bilim dalının içerdiği önemli alt bölümleridir. Olasılık dağılımları olasılık incelemesi ve değişik türdeki olayların olasılığının tanımlanması için kullanılan modellerdir. Ancak olasılık dağılımlarını kullanmak için yapılan matematiksel işlemlerde çok önemli zorluklar ortaya çıkmaktadır; çünkü birçok standart aritmetik ve cebirsel işlemlerin olasılık dağılımları için uygulanması mümkün olmamaktadır (Iman 1994).

Kesikli olasılık dağılımı: Bir olasılık dağılımının birikimli dağılım fonksiyonu sadece aralıklı zıplamalarla artış gösterebiliyorsa, bu olasılık dağılımı kesikli olasılık dağılımı olarak tanımlanmaktadır. Kesikli olasılık dağılımlarında, sayılabilir şekilde ayrı ayrı sonuçlar ve bunlara bağlı pozitif olasılık değerleri vardır.

Bir kesikli tesadüfi değişken için, olasılığı olmayan bütün değerleri kapsayan küme, sonlu veya sayılabilir sonsuz küme olarak tanımlanmaktadır. Çünkü sayılamayacak kadar büyük sayıda pozitif sayıların toplamı her durumda yakınsama eğilimi göstermektedir. Kesikli dağılımlar, olasılık fonksiyonu olarak şu şekilde ifade edilmektedir:

$$F(x) = \Pr [X \leq x] = \sum_{x_i \leq x} P(x_i) \quad (2.1)$$

Bernoulli dağılımı, binom dağılımı, geometrik dağılım ve Poisson dağılımı kesikli olasılık dağılımlarına örnek olarak gösterilebilir (Lind ve Mason 1997).

Sürekli olasılık dağılımı: Bir olasılık dağılımının birikimli dağılım fonksiyonunun sürekli bir fonksiyon olduğu durumlarda (Bağlı olduğu değişken X olmak üzere, reel sayılar kümesi içinde tüm x değerleri için $\Pr[X = x] = 0$ olduğu zaman), bu dağılım sürekli olasılık dağılımı olarak tanımlanmaktadır.

Diğer bir matematiksel kullanılış şekline göre, sürekli olasılık dağılımı terimi sadece mutlak sürekli dağılımlar için kullanılmakta ve bu dağılımlar, olasılık yoğunluk fonksiyonu ile nicel olarak ifade edilmektedir.

Uniform dağılım, üssel dağılım, normal dağılım, lognormal dağılım ve Weibull dağılımı sürekli olasılık dağılımlarına örnek olarak gösterilebilmektedir (Lind ve Mason 1997). Bu çalışma kapsamında kullanılan Poisson ve Lognormal olasılık dağılımları aşağıda açıklanmıştır.

Poisson dağılımı: Bir prosesdeki ekipman arızaları veya hatalar, özel bileşenlerin karmaşık etkileşimi sonucu meydana gelir. Prosesdeki bir arızanın tüm olasılıkları, bu etkileşimin niteliğine bağlıdır.

Tesadüfi değişkenlerin, sabit bir aralıkta gözlenen olay sayısına eşit olduğu durumlar, Poisson Dağılımı ile ifade edilebilmektedir. Bu dağılımda, belli aralıkta ortaya çıkan olay sayısının beklenen değeri (olayın ortalama ortaya çıkma sayısı) λ olup, aralık uzunluğuyla doğru orantılı sabit bir sayıdır (Bülbül 2001).

Veriler, özel bir donanım bileşeni arıza hızında toplanır. Uygun veriler ile ortalama olarak, belli bir zaman periyodundan sonra bileşen arızaları şeklinde gösterilebilir. Bu, ortalama arıza hızı olarak ifade edilir ve arıza/zaman birimleriyle μ şeklinde tanımlanır. $(0,t)$ zaman aralığı boyunca arıza oluşmayacak bileşenin olasılığı, Poisson dağılımı ile verilir (Roffel ve Rijnsdorp 1982):

$$R(t) = e^{-\mu t} \quad (2.2)$$

R güvenilirliktir. Eşitlik 2.2, μ arıza hızını sabit varsayar. $t \rightarrow \infty$ giderken güvenilirlik 0'a gider. Bu olaylar, arıza hızı μ değerine bağlıdır. Farklı ve daha karmaşık dağılımlar kullanılabilir. Bu basit üssel dağılım genellikle kullanılanlardan biridir çünkü sadece tek bir parametre olan μ 'yü gerektirir. Güvenilirliğin tümü arıza olasılığı P şeklinde ifade edilir (veya güvenilmezlik) ve şöyle verilir (Kesici ve Kocabaş 1998):

$$P(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (2.3)$$

Arıza yoğunluk fonksiyonu, arıza olasılığının türevi şeklinde ifade edilir:

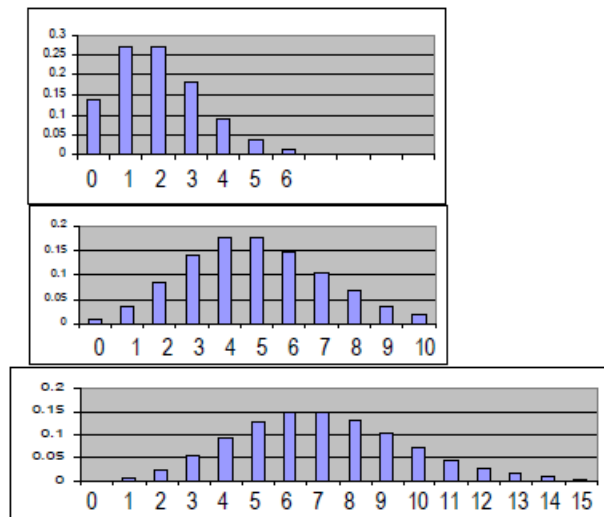
$$f(t) = \frac{dP(t)}{dt} = \mu e^{-\mu t} \quad (2.4)$$

Tüm arıza yoğunluk fonksiyonu altındaki alan 1'dir.

Arıza yoğunluk fonksiyonu, $t_0 - t_1$ zaman aralığındaki en az bir arıza olasılığı P 'yi, hesaplamada kullanılır:

$$P(t_0 \rightarrow t_1) = \int_{t_0}^{t_1} f(t) dt = \mu \int_{t_0}^{t_1} e^{-\mu t} dt = e^{-\mu t_1} - e^{-\mu t_0} \quad (2.5)$$

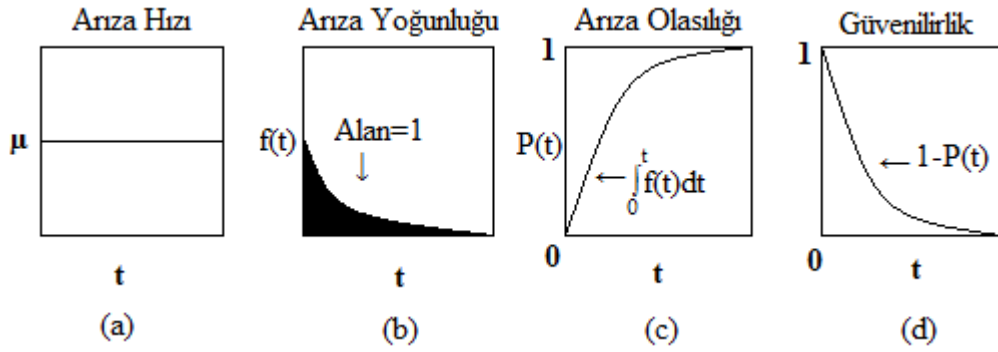
Poisson dağılımı fonksiyonları, grafiksel olarak şekil 2.2'deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Poisson dağılımının grafiksel gösterimi, sırasıyla $\mu=2$, $\mu=3$ ve $\mu=5$ için (Yolcubal 2011)

Şekil 2.2'deki grafiklerden görüldüğü üzere, μ arttıkça dağılım normal dağılıma yaklaşmaktadır (Yolcubal 2011). Bu dağılımlarda x eksenini belli değerlerin ortaya çıkma sayısını, y eksenini ise bu değerlerin ortaya çıkma sayısı olasılığını yani sıklık değerini ifade etmektedir. Poisson dağılımı, Poisson süreci ile birlikte ortaya çıkmaktadır. Poisson süreci, belli olguların birim zaman, alan, mekan veya hacimde sabit bir olasılıkla oluşması şeklinde gerçekleşmektedir (Kartal 1999).

μ , f , P ve R fonksiyonlarının tipik çizimleri şekil 2.3'de gösterilmektedir (Vose 2000, Crowl ve Louvar 2002)

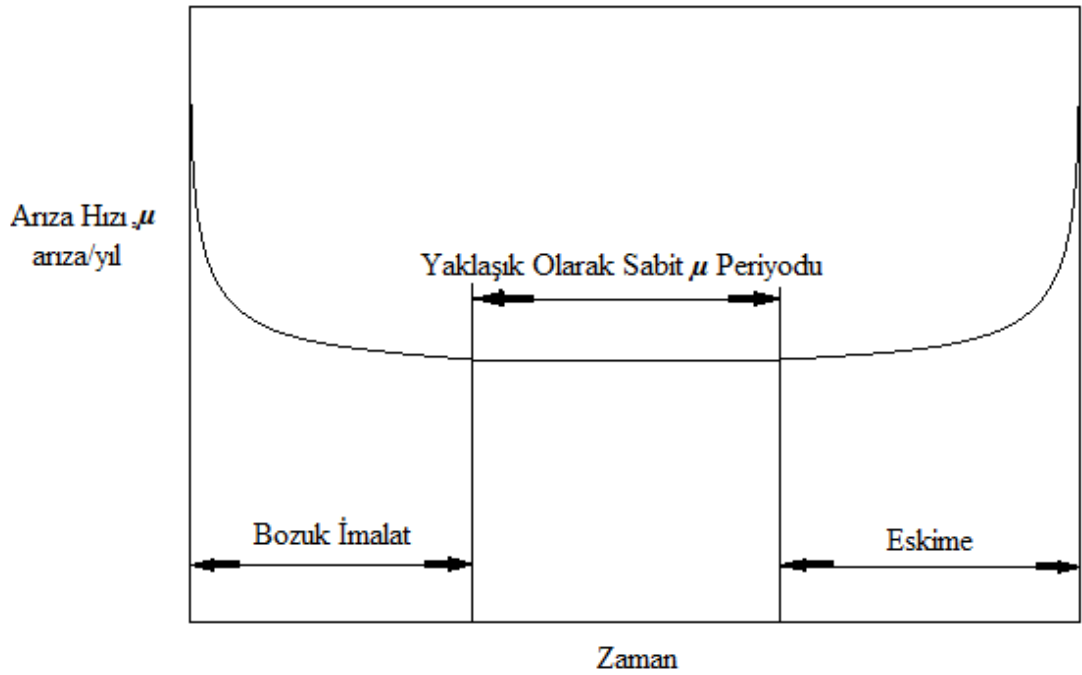


Şekil 2.3.a arıza hızı μ , b. arıza yoğunluğu $f(t)$, c. arıza olasılığı $P(t)$, d. güvenilirlik $R(t)$ tipik çizimleri (Crowl ve Louvar 2002)

İntegral, t_1 ve t_0 zaman aralığındaki arıza yoğunluk fonksiyonu altında kalan toplam alanı tanımlayan kısımdır. Bileşendeki iki arıza arasındaki zaman aralığı, arızalar arası ortalama süre (MTBF) olarak tanımlanır ve arıza yoğunluk fonksiyonunun birinci momenti ile hesaplanır.

$$E(t) = MTBF = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \frac{1}{\mu} \quad (2.6)$$

2.2'den 2.6'a kadarki eşitlikler, sadece sabit arıza hızı μ için geçerlidir. Çoğu bileşen, şekil 2.4'deki gibi, tipik bir banyo küveti arıza hızı şeklinde gösterilir. Arıza hızı, bileşen yeni olduğu zaman (bozuk imalat) ve eski olduğu zaman (eskime) oldukça yüksektir. Bu iki periyot arası (şekil 2.4'de çizgilerle belirtilen), arıza hızı 2.2'den 2.6'a kadar geçerli olan eşitliklerde sabittir.



Şekil 2.4 Proses malzemesi için banyo küveti arıza hızı eğrisi. Arıza hızı yaklaşık olarak bileşenin orta kısmı boyunca sabittir (Crowl ve Louvar 2002).

Lognormal dağılım: Lognormal dağılım, normal dağılımlı olmayan (çarpık dağılımlı) verileri normal dağılım hesaplamaları ile analiz edebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Gerçek değerlerin (x değerleri), doğal logaritmaları alındığı zaman, ortaya çıkan dağılıma Lognormal dağılım denmektedir (Koch ve Link 1980). Burada, $Y=\ln(x)$ 'tir. Lognormal dağılıma sahip x rastsal değişkeninin olasılık dağılım fonksiyonu, aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right], x > 0$$

$$f(x) = 0, x < 0 \quad (2.7)$$

Lognormal dağılım fonksiyonları için ortalama ve varyans değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\mu_x = e^{\left(\mu_Y + \frac{\sigma_Y^2}{2}\right)} \quad (2.8)$$

$$\mu_Y = \ln\left(\frac{\mu_X}{\left(\frac{\sigma_X^2}{\mu_X^2} + 1\right)^{1/2}}\right) \quad (2.9)$$

$$\sigma_X = \mu_X \cdot (e^{\sigma_Y^2} - 1)^{1/2} \quad (2.10)$$

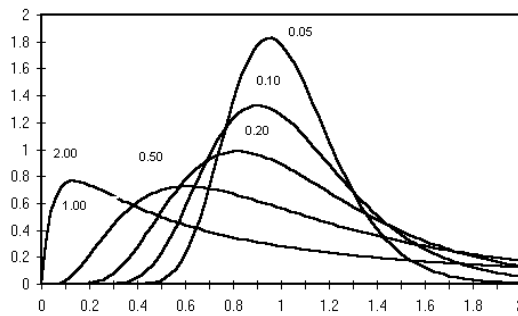
$$\sigma_Y = \left(\ln\left(\frac{\sigma_X^2}{\mu_X^2} + 1\right)\right)^{1/2} \quad (2.11)$$

Hesaplanan ortalama ve standart sapma değerleri yardımıyla, standart lognormal dağılım değişkeni olan z değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2.12)$$

Yukarıdaki denklemler için, x istenilen değer sayısı, μ ortalama değer, z istenilen değeri aşma olasılığı, σ varyans değeridir.

Belirlenen z değerleri olasılık tablosunda karşılaştırılarak, olasılık değeri hesaplanabilmektedir. Lognormal fonksiyonlar, şekil 2.5'deki gibi bir dağılım göstermektedir (Lind ve Mason 1997).



Şekil 2.5 Ortalama değeri 1 olup varyansları farklı olan lognormal dağılım eğrileri (Lind ve Mason 1997)

Şekil 2.5'de gösterilen dağılımlarda x eksenini gerçek değer sayısının logaritması alınmış halinin değerini, y eksenini ise bu değerlerin istenilen değerden sapma olasılığını yani

şiddet değerini ifade etmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, varyans değeri arttıkça grafiğin simetrikliği azalmakta ve grafik asimetrikleşmektedir (Lind ve Mason 1997).

Daha önce de bahsedildiği üzere, bir proste nicel risk analizi yapılabilmesi için, proste riskler olasılık dağılımlarıyla matematiksel model haline getirilmelidir. Bu olasılık dağılımlarının ortaya çıkabilmesi için ise, sistemin simülasyonu oluşturulmalıdır (Khan ve Abbasi 2001). Simülasyon (Benzetim), bir sistemdeki neden sonuç ilişkilerini bilgisayara taşıyarak, değişik koşullar altında sisteme ait davranışların bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan bir istatistiksel modelleme tekniği olarak tanımlanmaktadır (Evans ve Olson 1998).

Simülasyon tekniğinin problemlere yaklaşımı, sistemin yapısına ve bu yapıya bağlı olarak kurulacak modele göre değişiklik göstermektedir. Bu bağlamda, Statik Simülasyon Modeli, Dinamik Simülasyon Modeli, Sürekli Simülasyon Modeli, Kesikli Simülasyon Modeli, Stokastik Simülasyon Modeli ve Deterministik Simülasyon Modeli gibi simülasyon modelleri mevcuttur. Belli bir zaman aralığında, prosesle ilgili eldeki veri çok olduğu zaman, risklerin gerçekleşme olasılıkları dinamik simülasyon modeli ile belirlenebilmektedir. Belli bir zaman aralığında prosesle ilgili eldeki veriler az olduğu zaman ise, risklerin gerçekleşme olasılıkları stokastik simülasyon modeli ile belirlenebilmektedir (Altan vd. 2004).

Bir simülasyonda ne kadar çok deneme yapılırsa, sonuç o kadar güvenilir olmaktadır. Elde yapılan hesaplamalarda, çok deneme yapabilmek için çok fazla zaman ve emek harcamak gerekmektedir. Ancak, bir prosesin matematiksel modelini bilgisayarda oluşturabilmek için gerekli yazılım programlarına ve bilgisayar bilgisine sahip olunduğu zaman, düşük ücretle ve çok kısa bir sürede, çok denemeli simülasyonlar oluşturulabilmektedir (Khan ve Abbasi 2001). @Risk, Vose, İdeal Risk, vb. bilgisayar programları yardımıyla, bir sistemde dakikalar içinde binlerce deneme yapılarak sonuçların grafik halinde çıktısı alınabilmektedir (Vose 2008).

Proses Üniteleri Arası Etkileşim: Kimya fabrikalarındaki kazalar genellikle, birtakım proses bileşenlerinin karmaşık etkileşimi sonucu meydana gelir. Tüm proses arıza olasılıkları, ayrı bileşen olasılıklarından hesaplanır.

Proses bileşenleri iki farklı biçimde etkileşir. Bazı durumlarda proses arızası, paralel olan bir takım bileşenlerin eşzamanlı arızasını gerektirir. Bu paralel yapı uygun AND fonksiyonu ile tanımlanır. Bunun anlamı, ayrı bileşenler için arıza olasılıkları çarpılmalıdır.

$$P = \prod_{i=1}^n P_i \quad (2.13)$$

n , bileşenlerin toplam sayısı ve P_i , her bileşenin arıza olasılığıdır.

Bu kural kolay ezberlenir çünkü paralel bileşenler için olasılıklar (*probabilities*) çarpılır.

Paralel üniteler için toplam güvenilirlik şu şekilde verilir:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (2.14)$$

R_i , tek bir proses bileşeni güvenilirliğidir.

Proses bileşenleri seri şekilde de etkileşir. Bunun anlamı, seri bileşenlerdeki her bir bileşen arızası, proses arızası ile sonuçlanacaktır. Uygun OR fonksiyonu bu durumu anlatır. Seri bileşenler için tüm proses güvenilirliği, ayrı bileşenler için güvenilirliklerin çarpımı ile bulunur:

$$R = \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (2.15)$$

Arıza olasılıklarının tümü şu şekilde hesaplanır:

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (2.16)$$

Bir sistem için oluşturulan A ve B bileşenleri, eşitlik 2.16'da açılmıştır:

$$P(A \text{ veya } B) = P(A) + P(B) - P(A)P(B) \quad (2.17)$$

$P(A)P(B)$ çapraz ürün terimi, iki defa örtüşmüş olayı saymak için denge sağlar. Havaya atılan zar örneği dikkate alınır ve sayının çift veya 3'e bölünebilme belirlenir. Bu durumda:

$$P(\text{çift veya 3'e bölünebilme}) = P(\text{çift}) + P(3'e \text{ bölünebilme}) - P(\text{çift ve 3'e bölünebilme})$$

Son terim, sağlanan her iki durumu çıkarır. Eğer arıza olasılıkları küçükse (ortak bir olay), $P(A)P(B)$ terimi ihmal edilebilir ve eşitlik 2.17'de sadeleşir:

$$P(A \text{ veya } B) = P(A) + P(B) \quad (2.18)$$

Bu sonuç her bileşen için genelleştirilebilir. Bu özel durum eşitlik 2.16'da sadeleşir (Vose 2000, Crowl ve Louvar 2002):

$$P = \sum_{i=1}^n P_i$$

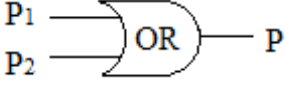
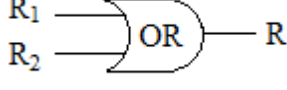
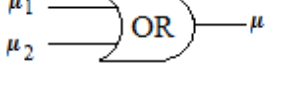
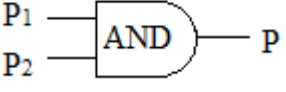
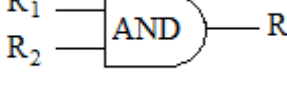
Tipik proses bileşenlerinin birkaçı için arıza hızları çizelge 2.8'de temin edilmiştir. Bunlar, tipik bir kimya tesisinde belirlenen ortalama değerlerdir.

Çizelge 2.8 Seçilmiş çeşitli proses bileşenleri için arıza hızları (μ) (Less 1996)

Cihazlar	Arıza / yıl
Kontrol Edici	0.29
Kontrol Vanası	0.60
Akış Ölçümü (Akışkanlar)	1.14
Akış Ölçümü (Katılar)	3.75
Akış Anahtarı	1.12
Gaz-Sıvı Kromatografi	30.6
El Vanası	0.13
Gösterge Lambalar	0.044
Seviye Ölçümü (Sıvılar)	6.86
Oksijen Analizörü	5.65
pH metra	5.88
Basınç Ölçümü	1.41
Basınç Rahatlatma Vanası	0.022
Basınç Anahtarı	0.14
Solenoid Vana	0.42
Kademeli Motor	0.044
Sıyırma Kağıt Kaydedici	0.22
Sıcaklık Ölçümü (Isılçift)	0.52
Sıcaklık Ölçümü (Termometre)	0.027
Vana Pozisyonlayıcı	0.44

Asıl değerler, üreticiye, yapı malzemesine, tasarıma ve diğer faktörlere bağlıdır. Bu analizdeki varsayımlar, bağımsız, zor ve aralıklı olmayan arızalardır ve bir malzemedeki arıza bitişik malzemeleri önemsemez ve sonuç olarak arıza olasılığı artırılır.

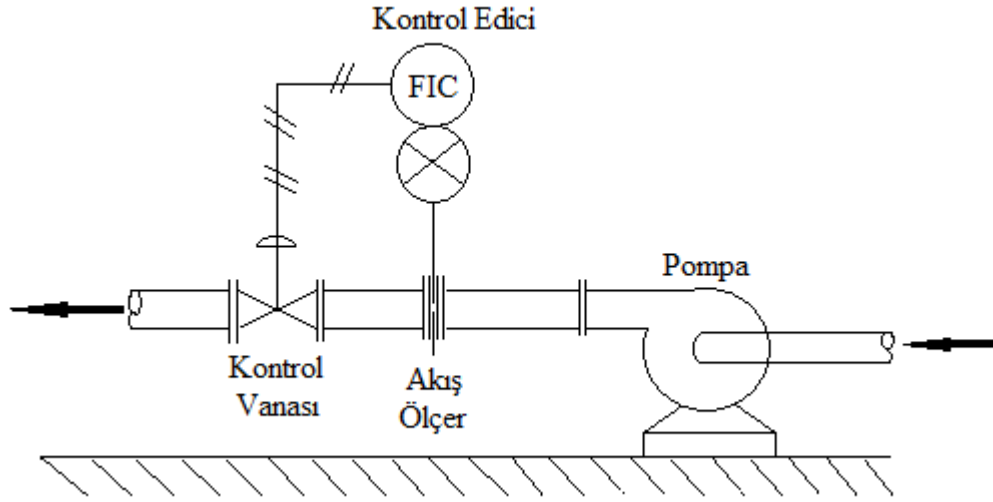
Paralel ve seri proses bileşenleri için hesaplamaların özeti şekil 2.6’da gösterilmektedir (Crowl ve Louvar 2002, Özkılıç 2005).

Arıza Olasılığı (P)	Güvenilirlik	Arıza Hızı (μ)
 $P = 1 - (1 - P_1) (1 - P_2)$ $P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)$	 $R = R_1 R_2$ $R = \prod_{i=1}^n R_i$	 $\mu = \mu_1 + \mu_2$ $\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i$
Bileşenlerin Seri Bağlantısı: Her iki bileşenin arızaları eklenerek toplam sistem arızası bulunur.		
 $P = P_1 P_2$ $P = \prod_{i=1}^n P_i$	 $R = 1 - (1 - R_1) (1 - R_2)$ $R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$	$\mu = (-\ln R) / t$
Bileşenlerin Paralel Bağlantısı: Sistemin arızalanması için her iki bileşenin de arızalanması gerekir. Not; arıza hızını kombine etmek için elverişli yol yoktur.		

Şekil 2.6 Bileşen bağlantılarının değişik tipler için hesaplanması (Crowl ve Louvar 2002)

Örnek 2.2:

Kimyasal reaktör soğutma borusundaki su akışı, şekil 2.7’de gösterilen sistem tarafından kontrol edilmektedir. Akış, bir diferansiyel basınç (DP) cihazı tarafından ölçülmektedir, kontrol edici tahmini bir kontrol stratejisine karar verir ve kontrol vanası soğutucu akışı çalıştırır. Sistem için tüm arıza hızı, güvenilirlik, güvenilirlik ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) belirlenir. İşletim süresi 1 yıl varsayılır.



Şekil 2.7 Akış kontrol sistemi (Crowl ve Louvar 2002).
Kontrol sistemi bileşenleri seri bağlanmıştır.

Çözüm:

Bu proses bileşenleri seri bağlanmıştır. Bu yüzden, bileşenlerden herhangi biri arızalanırsa, tüm sistem arızalanır. Güvenilirlik ve arıza olasılığı, eşitlik 2.2 ve 2.3’de kullanılan her bileşen için hesaplanır. Sonuçlar tabloda gösterilmektedir. Arıza hızları çizelge 2.8’den alınmıştır.

Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$
Kontrol Vanası	0.60	0.55	0.45
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Diferansiyel Basınç (DP) Ünitesi	1.41	0.24	0.76

Seri bileşenler için toplam güvenilirlik, eşitlik 2.15’de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Sonuç:

$$R = \prod_{i=1}^3 R_i = (0.55)(0.75)(0.24) = 0.10$$

Arıza olasılığı şuradan hesaplanmıştır:

$$P = 1 - R = 1 - 0.10 = 0.90/\text{yıl}$$

Tüm arıza hızı, güvenilirlik tanımı kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 2.2):

$$0.10 = e^{-\mu}$$

$$\mu = -\ln(0.10) = 2.30 \text{ arıza/yıl}$$

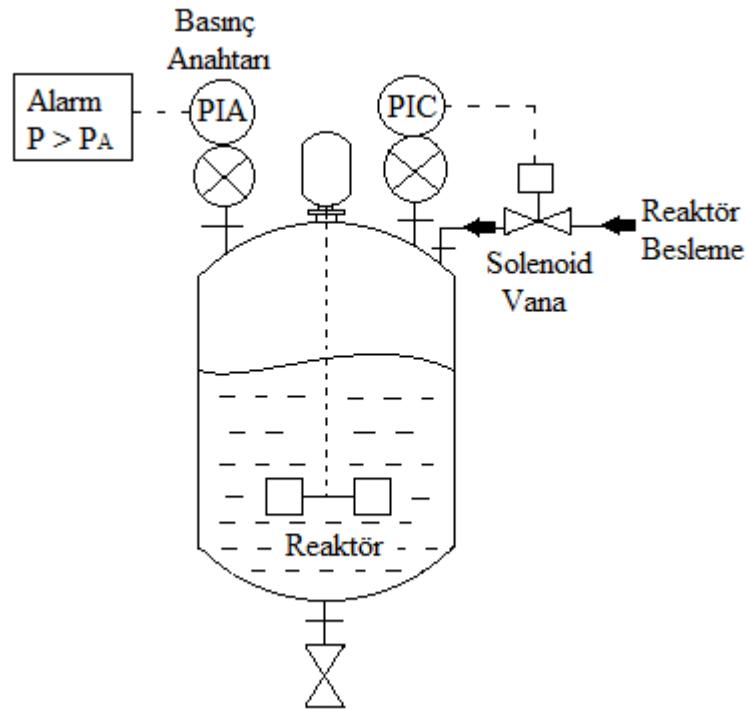
Arızalar arası ortalama süre (MTBF) eşitlik 2.6 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$MTBF = \frac{1}{\mu} = 0.43 \text{ yıl}$$

Bu sistemin ortalama olarak her 0.43 yılda bir defa arızalanması beklenmektedir (Crowl ve Louvar 2002).

Örnek 2.3:

Bir kimyasal reaktördeki güvenlik sistemleri çizimi şekil 2.8’de gösterilmektedir. Bu reaktör tehlikeli reaktör basınçlarında, yüksek basınç alarmını operatöre bildirmeyi sağlar. Bu, reaktörün içinde bulunan bir basınç anahtarı ile alarm ışık göstergesine iletilir. Otomatik yüksek basınç durdurma sistemine ek bir güvenlik kurulmuştur. Bu sistem, alarm sisteminden biraz yüksek bir basınçta çalıştırılmaktadır ve basınç anahtarı reaktör besleme yolundaki solenoid vanaya bağlıdır. Bu otomatik sistem tehlikeli basınçta besleme akışını durdurur. Yüksek basınç durumu için, toplam arıza hızı, güvenilirlik ve MTBF değerleri hesaplanır. İşletim süresini bir yıl varsayılır. Ayrıca, bileşen arıza olasılıklarına dayanan toplam arıza olasılığı için bir anlatım geliştirilir (Crowl ve Louvar 2002).



Şekil 2.8 Bir alarmı ve solenoid besleme girişi bulunan kimyasal reaktör (Crowl ve Louvar 2002).

Alarm ve besleme durdurma sistemleri paralel bağlanmıştır.

Çözüm:

Arıza hız verileri çizelge 2.8’de mevcuttur. Her bileşen için güvenilirlik ve arıza olasılıkları, eşitlik 2.2 ve 2.3 kullanılarak hesaplanmıştır:

Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$
1. Basınç Anahtarı 1	0.14	0.87	0.13
2. Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
3. Basın Anahtarı 2	0.14	0.87	0.13
4. Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34

Tehlikeli bir yüksek basınç reaktör durumu yalnızca, alarm sistemi ve durdurma sisteminin her ikisindeki arıza durumunda meydana gelir. Bu iki bileşen paraleldir. Bileşenlerin alarm sistemi seridir:

$$R = \prod_{i=1}^2 R_i = (0.87)(0.96) = 0.835$$

$$P = 1 - R = 1 - 0.835 = 0.165/\text{yıl}$$

$$\mu = -\ln R = -\ln(0.835) = 0.180 \text{ arıza/yıl}$$

$$MTBF = \frac{1}{\mu} = 5.56 \text{ yıl}$$

Bileşenlerin durdurma sistemleri de seridir:

$$R = \prod_{i=1}^2 R_i = (0.87)(0.66) = 0.574$$

$$P = 1 - R = 1 - 0.574 = 0.426/\text{yıl}$$

$$\mu = -\ln R = -\ln(0.574) = 0.555 \text{ arıza/yıl}$$

$$MTBF = \frac{1}{\mu} = 1.80 \text{ yıl}$$

Bu iki sistem eşitlik 2.13 kullanılarak birleştirilir:

$$P = \prod_{i=1}^2 P_i = (0.165)(0.426) = 0.0702$$

$$R = 1 - P = 1 - 0.070 = 0.930/\text{yıl}$$

$$\mu = -\ln R = -\ln(0.930) = 0.073 \text{ arıza/yıl}$$

$$MTBF = \frac{1}{\mu} = 13.7 \text{ yıl}$$

Alarm sistemi için sadece bir arıza, her 5.5 yılda bir defa beklenmektedir. Benzer şekilde, yüksek basınç durdurma sistemli bir reaktör için sadece bir arıza her 1.80 yılda bir defa beklenmektedir. Bununla birlikte, paralel bağlı her iki sistemde MTBF, önemli bir şekilde geliştirilmiştir ve birleştirilmiş arıza her 13.7 yılda bir beklenmektedir.

Toplam arıza olasılığı şu şekilde verilir:

$$P = P(A) P(S)$$

$P(A)$ alarm sistemi arıza olasılığıdır ve $P(S)$ acil durum durdurma sistemi arıza olasılığıdır. Alternatif bir yöntem direk olarak eşitlik 2.17'ye başvurur. Alarm sistemi için:

$$P(A) = P_1 + P_2 - P_1 P_2$$

Durdurma sistemi için:

$$P(S) = P_3 + P_4 - P_3 P_4$$

Toplam arıza olasılığı:

$$P = P(A) P(S) = (P_1 + P_2 - P_1 P_2) (P_3 + P_4 - P_3 P_4)$$

Elde edilen sayıları yerine koyarsak:

$$P = [0.13 + 0.04 - (0.13)(0.04)] [0.34 + 0.13 - (0.34)(0.13)]$$

$$P = (0.165)(0.426) = 0.0702$$

Sonuç önceki cevapla aynıdır.

Eğer P_1 P_2 ve P_3 P_4 çarpımlarının küçük olduğu varsayılırsa:

$$P(A) = P_1 + P_2$$

$$P(S) = P_3 + P_4$$

$$P = P(A) P(S) = (P_1 + P_2) (P_3 + P_4)$$

$$P = 0.080$$

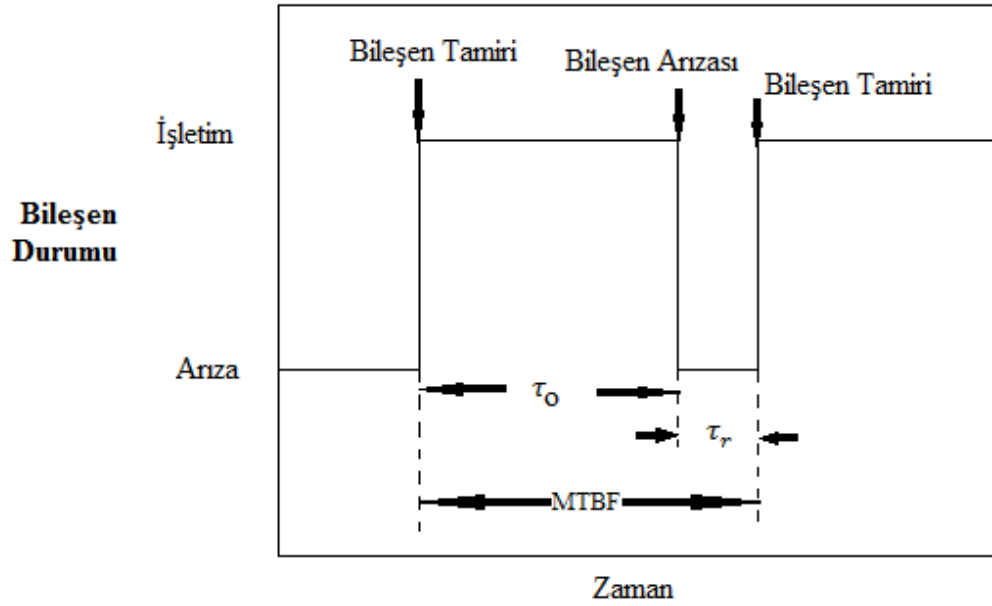
Bu cevap ve bundan önce bulunan cevap arasındaki fark %14.3'tür. Bileşen olasılıkları, bu örnekte çapraz çarpımların ihmal varsayımı gibi küçük değildir (Crowl ve Louvar 2002).

2.2.1 Öngörülebilir ve öngörülemez arızalar

Örnek 2.3'de, operatördeki alarm veya durdurma sistemlerinden birinin, hemen belli olan toplam arızaları ve ihmal edilebilir bir sürede onarılması varsayılmıştır. Acil durum alarmları ve durdurma sistemleri sadece tehlikeli bir durum meydana geldiğinde kullanılır. Durumu fark eden operatör hariç, ekipman arızası mümkündür. Bu, öngörülemez arıza olarak tanımlanır. Düzenli ve güvenli ekipman kontrolü dışında, alarm ve acil durum sistemleri fark edilmeden arızalanabilir. Hemen belli olan arızalar öngörülebilir arızalar olarak tanımlanır.

Arabadaki patlak bir lastik, sürücü tarafından hemen fark edilir. Bununla birlikte, bagajdaki yedek lastik patlak olabilir (sürücünün yedeğe ihtiyaç duymadan önce problemin farkına varması hariç).

Şekil 2.9’da öngörülen arızalar için terimler gösterilmektedir. Bileşenin çalıştığı zaman işletim süresi olarak tanımlanır ve τ_o ile gösterilir. Arıza meydana geldikten sonra, durgunluk veya arıza süresi olarak ifade edilen bir süre (τ_r), bileşenleri tamir etmeye gerek duyulur. MTBF gösterildiği gibi, işletim ve arıza süresidir (Crowl ve Louvar 2002).



Şekil 2.9 Öngörülen arızalar için bileşen süreleri. Arıza tamir için belli bir süreye gerek duyar (Crowl ve Louvar 2002).

Belli bir bileşen için durgun veya arıza süresi periyodunda öngörülen bir takım arızalar için durgunluk süresi ortalama olarak hesaplanır:

$$\tau_r \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_{r_i} \quad (2.19)$$

n arıza veya durgunluk meydana gelme sıklık sayısıdır ve

τ_{r_i} belli bir arıza için tamir süresidir.

Benzer şekilde, arıza veya işletim süresinden önceki zaman şu şekilde verilir:

$$\tau_o \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_{o_i} \quad (2.20)$$

τ_{o_i} belli bir takım arızalar arasındaki işletim süresidir.

MTBF, işletim ve tamir süresidir:

$$MTBF = \frac{1}{\mu} = \tau_r + \tau_o \quad (2.21)$$

Bu, kullanılabilir olup olmadığını belirlemek için uygundur. Kullanılabilirlik A , bileşen veya prosesin işlevliliğinin bulunabilmesi için basit olasılıktır. Kullanılamazlık U , bileşen veya prosesin işlevsizliğinin bulunabilmesi için olasılıktır. Kesin olarak:

$$A + U = 1 \quad (2.22)$$

τ_o niceliği, işletim süresindeki proses süresi olarak tanımlanır ve $\tau_r + \tau_o$ toplam zaman olarak ifade edilir. Tanımlama sonucu, kullanılabilirlik şu şekilde verilir:

$$A = \frac{\tau_o}{\tau_r + \tau_o} \quad (2.23)$$

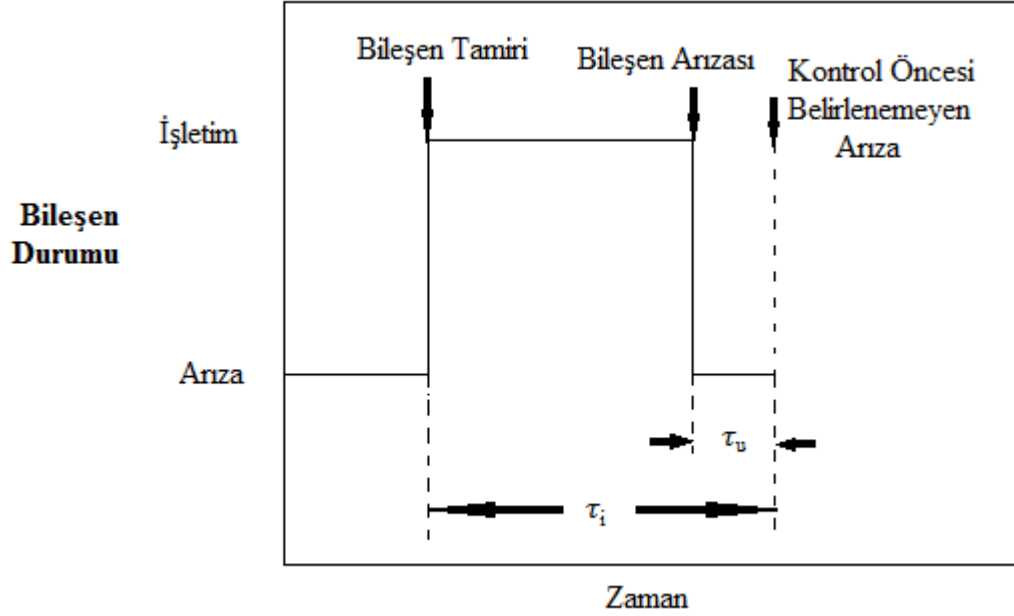
ve benzer şekilde kullanılamazlık:

$$U = \frac{\tau_r}{\tau_r + \tau_o} \quad (2.24)$$

Eşitlik 2.23 ve 2.24, eşitlik 2.21'in sonucuyla birleştirilirse, öngörülebilir arızalar için kullanılabilirlik ve kullanılamazlık eşitliklerini yazabiliriz:

$$\boxed{\begin{aligned} U &= \mu \tau_r \\ A &= \mu \tau_o \end{aligned}} \quad (2.25)$$

Öngörülemeyen arızalar için, arıza sadece düzenli kontrolden sonra belli olur. Bu durum, şekil 2.10’da gösterilmektedir (Crowl ve Louvar 2002).



Şekil 2.10 Öngörülemeyen arızalar için bileşen süreleri (Crowl ve Louvar 2002)

Eğer τ_u , kontrol aralığı boyunca ortalama kullanılmazlık süresiye ve τ_i , kontrol süresiye:

$$U = \frac{\tau_u}{\tau_i} \quad (2.26)$$

Kullanılmazlık ortalama süresi, arıza olasılığından hesaplanır:

$$\tau_u = \int_0^{\tau_i} P(t)dt \quad (2.27)$$

Eşitlik 2.26 ile birleştirirsek:

$$U = \frac{1}{\tau_i} \int_0^{\tau_i} P(t)dt \quad (2.28)$$

Arıza olasılığı $P(t)$ eşitlik 2.28’de yerine yazılır ve integre edilir.

Sonuç:

$$U = 1 - \frac{1}{\mu\tau_i}(1 - e^{-\mu\tau_i}) \quad (2.29)$$

Kullanılabilirlik için ifade:

$$A = \frac{1}{\mu\tau_i}(1 - e^{-\mu\tau_i}) \quad (2.30)$$

Eğer $\mu\tau_i \ll 1$ ise, arıza olasılığı yaklaşık olarak:

$$P(t) \approx \mu\tau \quad (2.31)$$

ve eşitlik 2.28 integre edilirse, öngörülemeyen arızalar:

$$\boxed{U = \frac{1}{2}\mu\tau_i} \quad (2.32)$$

Bu, uygun ve pratik bir sonuçtur. Öngörülemeyen arızalar için yaklaşık olarak açıklanırsa, proses veya bileşen kontrol aralığının eş yarı süresi boyunca kullanılabilir değildir. Kontrol aralığındaki azalma, öngörülemeyen bir arızanın kullanılabilirliğinin arttığını göstermektedir.

Eşitlik 2.26'dan 2.32'e kadar uygun bir tamir süresi varsayılır. Bu çoğu zaman geçerli bir varsayımdır çünkü çalışır durumdaki proses ekipmanı genellikle saatlerce tamir edilir, oysaki kontrol aralıkları çoğu zaman ayda bir yapılır (Crowl ve Louvar 2002).

Örnek 2.4:

Örnek 2.3'deki alarm ve durdurma sistemlerinin her ikisi için kullanılabilirlik ve kullanılamazlığı hesaplanır. Kontrol olayları bakımının ayda bir kez yapıldığı ve tamir süresinin ihmal edilebilir olduğunu varsayılır (Crowl ve Louvar 2002).

Çözüm:

Her iki sistem de meydana çıkmayan arızalar olarak açıklanır. Alarm sistemi için arıza hızı $\mu=0.18$ arıza/yıl'dır. Kontrol süresi $1/12 = 0.083$ yıldır. Kullanılamazlık eşitlik 2.32'den hesaplanır:

$$U = \frac{1}{2} \mu \tau_i = \left(\frac{1}{2}\right) (0.18)(0.083) = 0.0075$$

$$A = 1 - U = 0.992$$

Alarm sistemi %99.2 kullanılabilir. Durdurma sistemi için $\mu=0.55$ arıza/yıl'dır. Dolayısıyla:

$$U = \frac{1}{2} \mu \tau_i = \left(\frac{1}{2}\right) (0.55)(0.083) = 0.023$$

$$A = 1 - U = 0.977$$

Durdurma sistemi %99.7 kullanılabilir (Crowl ve Louvar 2002).

2.2.2 Tesadüf olasılığı

Tüm proses bileşenleri, arıza sonucu kullanılamaz olarak açıklanır. Alarmlar ve acil durum sistemleri için, tehlikeli bir proses olayı meydana geldiği zaman bu sistemlerin kullanılabilmesi pek mümkün değildir. Tehlike, yalnızca bir proses alt üst olduğunda ve acil durum sistemi kullanılamaz olduğunda meydana gelir. Bu, olayların bir tesadüf olmasını gerektirir.

Tehlikeli proses olayının T_i zaman aralığı içinde p_d kez meydana geldiği varsayılır. Bu olayın sıklığı şu şekilde verilir:

$$\lambda = \frac{p_d}{T_i} \quad (2.33)$$

Kullanılamazlık U ile bir acil durum sistemi için, tehlikeli bir durumdur. Yalnızca bir proses olayı olduğunda ve acil durum sistemi kullanılamaz olduğunda meydana gelecektir. Bu, bütün $p_d U$ olaylarıdır.

Tehlikeli olayların ortalama sıklığı λ_d , zamanla ayrılan tehlikeli tesadüflerin sayısıdır:

$$\lambda_d = \frac{p_d U}{T_i} = \lambda U \quad (2.34)$$

Küçük arıza hızları için $U = \frac{1}{2} \mu \tau_i$ ve $p_d = \lambda T_i$ 'dir. Eşitlik 2.34'de yerine yazılırsa:

$$\lambda_d = \frac{1}{2} \lambda \mu \tau_i \quad (2.35)$$

Tesadüfler arası ortalama zaman (MTBC), tehlikeli tesadüflerin ortalama sıklığının tersidir (Crowl ve Louvar 2002):

$$MTBC = \frac{1}{\lambda_d} = \frac{2}{\lambda \mu \tau_i} \quad (2.36)$$

Örnek 2.5:

Örnek 2.4'deki reaktör için, yüksek basınç olayı her 14 ayda bir beklenmektedir. Yüksek basınç farkı ve acil durum durdurma cihazı için MTBC'yi hesaplanır. Kontrol olayları bakımının her ay yapıldığı varsayılır (Crowl ve Louvar 2002).

Çözüm:

Proses olaylarının sıklığı eşitlik 2.33'de verilmektedir:

$$\lambda = 1 \text{ olay} / [(14 \text{ ay})(1 \text{ yıl}/12 \text{ ay})] = 0.857/\text{yıl}$$

Kullanılabilirlik eşitlik 2.32'den hesaplanır:

$$U = \frac{1}{2} \mu \tau_i = \left(\frac{1}{2}\right) (0.55)(0.083) = 0.023$$

Tehlikeli tesadüflerin ortalama sıklığı eşitlik 2.34'de verilmektedir:

$$\lambda_d = \lambda U = (0.857)(0.023) = 0.020$$

MTBC, eşitlik 2.36'dan:

$$MTBC = \frac{1}{\lambda_d} = \frac{1}{0.020} = 50 \text{ yıl}$$

Eşzamanlı bir yüksek basınç olayının ve acil durum durdurma cihazı arızasının her 50 yılda bir meydana geleceği beklenmektedir.

Eğer kontrol aralığı yarıya indirilirse, $U = 0.023$, $\lambda_d = 0.010$ ve MTBC sonucu 100 yıldır. Bu kayda değer bir değerdir ve uygun zamanda yapılan kontrol programının neden önemli olduğunu gösterir (Crowl ve Louvar 2002).

2.3 Olay Ağacı Analizi (ETA)

Olay ağacı bir başlangıç olayı ile başlar ve sonuca doğru çalışır. Bu yaklaşım tümevarım yöntemidir. Bu metot, hataların nasıl oluşabileceğini ve meydana gelme olasılığı bilgilerini temin eder.

Bu analiz metodunda, bir sistemin davranışını temsil eden basit bir ağaç ve bu ağaç üzerinde ikiye ayrılan dallar oluşturulmaktadır. Final çıktıları, analizi yapan kişiyi geri döndürülemez hatalara ve kesin başarı sonuçlarına götürmektedir. Bu metoda 'Bernouilli Modeli' de denmektedir (Clemens 2002).

Bir fabrikada kaza meydana geldiğinde, çeşitli güvenlik sistemleri kazanın yayılmasının engellenmesinde etkili olur. Bu güvenlik sistemleri doğru ya da hatalı olabilir. Olay

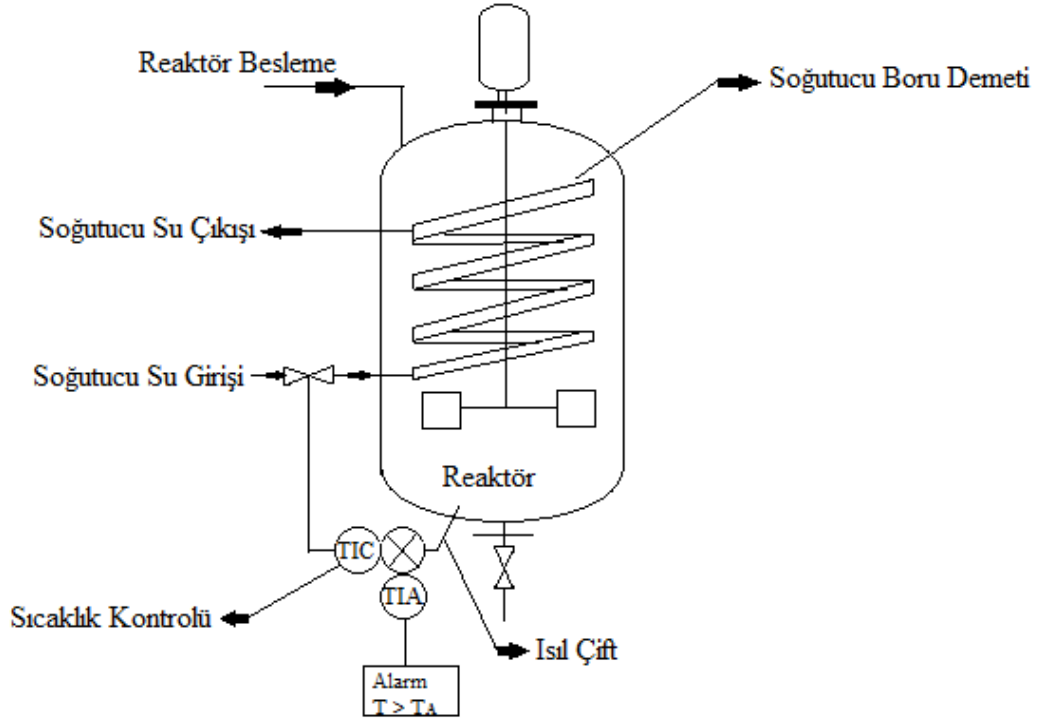
ağacı yaklaşımı, güvenlik sistemleri tarafından takip edilen olay başlangıcının etkilerini içerir (Greenberg ve Cramer1991, Crowl ve Louvar 2002).

Olay ağacı analizinde tipik adımlar şu şekildedir (Anonymous 1992);

1. İlgili başlangıç olayını tanımlamak
2. Başlangıç olayına değinerek tasarlanan güvenlik fonksiyonlarını tanımlamak
3. Olay ağacını düzenlemek
4. Sonuçlanan kaza olaylarını sıralamak

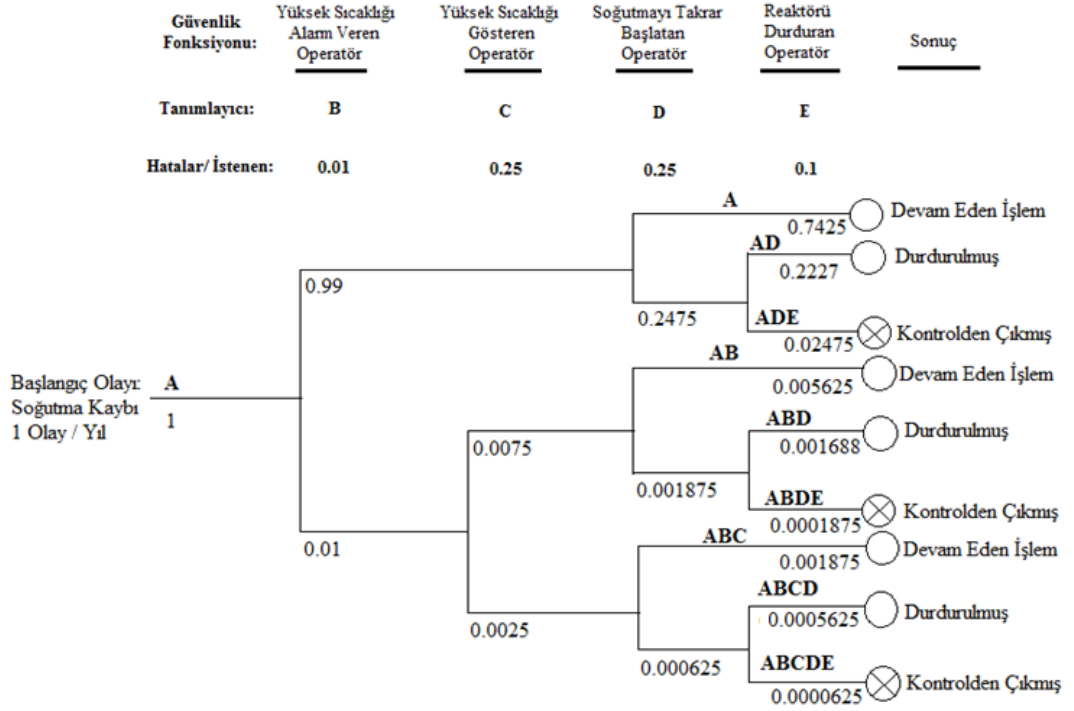
Eğer uygun veriler kullanılabilirse, çeşitli olayların sayısal değerlerinin saptanması için bu yöntem kullanılabilir. Olayların kesin sırasının olasılığının hesaplanmasında ve gelişmelerin gerekliliğinin ne olduğuna karar vermede etkin bir şekilde kullanılır.

Kimyasal reaktör sistemi şekil 2.11’de gösterilmektedir. Yüksek sıcaklık alarmı, reaktör içindeki yüksek sıcaklık operatörüne uyarı vermesi için kurulmuştur (Crowl ve Louvar 2002).



Şekil 2.11 Yüksek sıcaklık alarmlı ve sıcaklık kontrollü reaktör (Crowl ve Louvar 2002)

Soğutucu kaybı başlangıç olayı için olay ağacı, şekil 2.12’de gösterilmektedir. Dört güvenlik fonksiyonu tanımlanmıştır. Bunlar çizelgenin üst kısmında yazılmıştır. İlk güvenlik fonksiyonu, yüksek sıcaklık alarmıdır. İkinci güvenlik fonksiyonu, normal kontrol boyunca yüksek reaktör sıcaklığını bildiren operatördür. Üçüncü güvenlik fonksiyonu, problemi zamanında düzelterek soğutucu akışkanı yeniden temin eden operatördür. Son güvenlik fonksiyonu, acil bir durumda reaktörü durduran operatör tarafından başlatılır. Bu güvenlik fonksiyonlarının hangi şekilde uygun oldukları sayfa boyunca sırayla yazılmıştır (Crowl ve Louvar 2002).



Şekil 2.12 Şekil 2.11'deki reaktör soğutma suyu kaybı kazası için olay ağacı (Crowl ve Louvar 2002)

Durdurulmuş = $0.2227 + 0.001688 + 0.0005625 = 0.2250$ olay / yıl

Kontrolde Çıkış = $0.02475 + 0.0001875 + 0.0000625 = 0.02500$ olay / yıl

Olay ağacı soldan sağa doğru ve başlangıç olayı, solda sayfanın merkezine ilk olarak yazılmıştır. Çizgi, başlangıç olayından ilk güvenlik fonksiyonuna kadar çizilir. Bu noktada güvenlik fonksiyonu doğru da olabilir hata da verebilir. Kural gereğince, doğru işlemde yukarı doğru, hatalı işlemde aşağı doğru düz bir çizgi çizilir. Bu iki durumdan sonraki güvenlik fonksiyonuna kadar yatay çizgiler çizilir.

Eğer güvenlik fonksiyonu uygun değilse, yatay çizgi dallanmadan güvenlik fonksiyonuna kadar devam eder. Bu örnekte, üst kısım, yüksek sıcaklığı uyarıcı operatörün olduğu yer olan ikinci fonksiyona kadar devam eder. Eğer yüksek sıcaklık alarmı doğru bir şekilde çalışırsa, operatör yüksek sıcaklık koşullarının önceden farkında olacaktır.

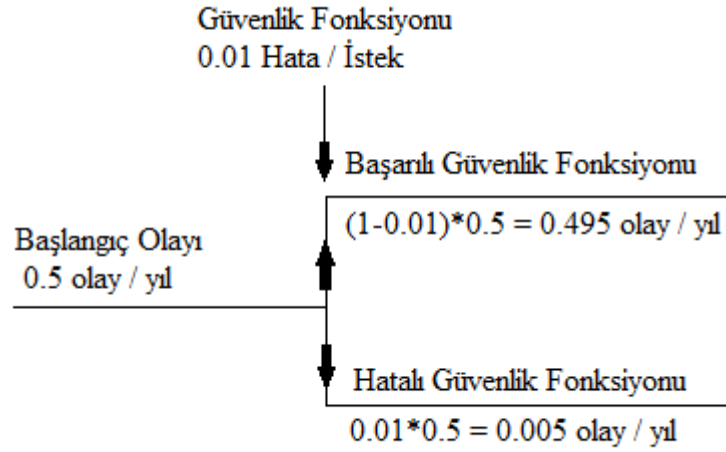
Tanım sırası ve sonuçlar, olay ağacını en sağ tarafındaki alanda gösterilir. Açık daireler güvenli durumları gösterir ve çapraz daireler de güvenli olamayan durumları temsil eder.

Sıralı tanımlama kolonundaki yazı gösterimi, belirli bir olayı tanımlamak için kullanılır. Başlangıç olayı her zaman gösterimdeki ilk bilgiyi içerir. Bu çalışmada, farklı bir başlangıç olayında farklı bir bilgi kullanılacaktır. Buradaki örnek için, ADE yazı sırası D ve E güvenlik fonksiyonlarının hatası tarafından takip edilen A başlangıç olayını açıklar.

Olay ağacı, eğer veriler güvenlik fonksiyonlarının hata oranlarında ve başlangıç olayının meydana çıkma oranında kabul edilebilir olursa nicel olarak kullanılabilir. Bu örnekte, soğutma kaybı olayının yılda bir defa gerçekleştiği varsayılır. Gerekli yere yerleştirildikleri zaman, malzeme güvenlik fonksiyonu hatasının %1 olduğu varsayılır. Bu hata oranı 0.01 hata/malzeme'dir. Operatörün yüksek reaktör sıcaklığının $\frac{3}{4}$ 'ünü göstereceğini ve $\frac{3}{4}$ operatörün yeniden tesis edilen soğutma suyunda başarılı olacağı varsayılır. Her iki durum da hata oranının $\frac{1}{4}$ veya 0.25 hata/malzeme olduğunu anlatır. Sonuçta operatör, sistemi tahmini olarak 10 defada 9 kez başarılı bir şekilde kapatır. Bu hata oranı 0.10 hata/malzeme'dir.

Güvenlik fonksiyonları için hata oranları, kolon başlıklarının alt tarafına yazılır. Başlangıç olayları için meydana gelme sıklığı, başlangıç olayı kaynaklı çizgilerin alt tarafına yazılır.

Her kesişme noktasında yapılan hesaplama sırası şekil 2.13'de gösterilmektedir (Crowl ve Louvar 2002).



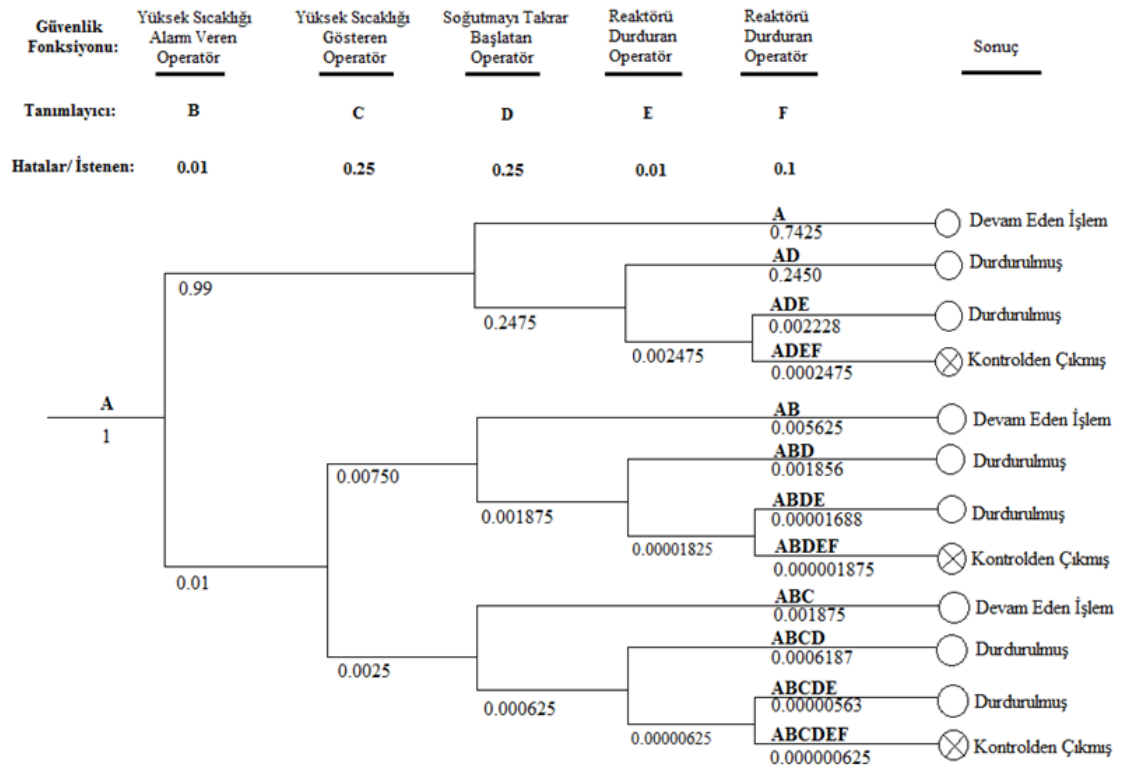
Şekil 2.13 Olay ağacındaki bir güvenlik fonksiyonunda hesaplama sırası (Crowl ve Louvar 2002)

Üst kısımda, kural gereği, başarılı bir güvenlik fonksiyonu ve alt kısımda da hata gösterilir. Alt dallanma sıklığı, güvenlik fonksiyonu hata oranının yeni dallanma sıklığı çarpımıyla hesaplanır. Üst dallanma sıklığı, güvenlik fonksiyonu hata oranının 1 (verilen güvenlik fonksiyonu başarı oranı)’den çıkarılmasıyla ve daha sonra yeni dallanma sıklığı çarpımıyla hesaplanır.

Olay ağacı ile ilgili şekil 2.12’de gösterilen kesin sıklık, güvenilir olamayan durumların (daire ve çapraz işaretli durumlar) miktarıdır. Bu örnekte kesin sıklık, yılda 0.025 hata (ADE, ABDE ve ABCDE’deki hata miktarı) olarak tahmin edilmiştir.

Bu olay ağacı analizleri, tehlikeli ani bir reaksiyonun ortalama yılda 0.025 defa veya 40 senede bir defa meydana gelebileceğini göstermektedir. Olası bir çözüm, yüksek sıcaklık reaktörüne durdurma sistemi eklemektir. Bu kontrol sistemi, reaktör sıcaklığı sabit bir değerin üzerine çıktığı zaman reaktörü durduracaktır. Acil durdurma sıcaklığı, soğutma suyunu yeniden yükleyen operatör için uygun durumu sağlayan alarm değerinden daha yüksek bir değer olacaktır.

Modifiye edilmiş proses için olay ağacı şekil 2.14’de gösterilmektedir. Eklenen güvenlik fonksiyonu, yüksek sıcaklık alarm hataları veya yüksek sıcaklık gösteren operatör hataları olduğu zaman bir yedek güvenlik fonksiyonu temin eder. Ani reaksiyonun yılda 0.00025 defa veya 400 yılda bir defa meydana gelmesi tahmin edilmektedir. Bu, basit bir durdurma sisteminin eklenmesiyle elde edilen önemli bir gelişmedir (Crowl ve Louvar 2002).



Şekil 2.14 Şekil 2.11’de yüksek sıcaklık durdurma sistemli reaktör için olay ağacı (Crowl ve Louvar 2002)

Durdurulmuş = $0.2450 + 0.001856 + 0.00001688 + 0.0006187 = 0.2475$ olay / yıl

Kontrolenden Çıkış = $0.0002475 + 0.000001875 + 0.000000625 = 0.0002500$ olay / yıl

2.4 Hata Ağacı Analizi (FTA)

Hata ağacı, kazalara neden olabilecek tehlikeleri inceleme yolları için bir çıkarım yöntemidir. Bu yaklaşım, iyi tanımlanmış bir kaza veya temel olay ile başlar ve kazaya neden olabilecek çeşitli senaryolarda geriye doğru çalışır.

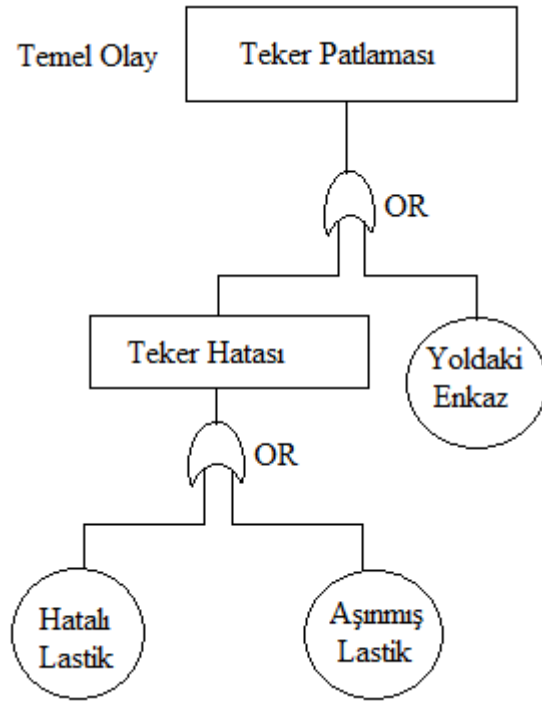
FTA ile oluşturulan mantıksal diyagramlar yardımıyla, bazı olayların bileşimlerinin ne gibi hatalara yol açabileceği önceden tahmin edilebilmektedir. Bir hata ağacı, sistemdeki bütün olası riskleri, hasar türlerini veya hata olaylarını içerebilmekte ve genelde en üst olaya göre düzenlenmektedir (Gilbert 2008).

Hata ağacı analizinin ana hedefleri şunlardır:

- Bir sistemin güvenilirliğinin tanımlanması
- Bir probleme etki eden ve karşılıklı ilişki içinde bulunan olumsuzlukların belirlenmesi ve bu olumsuzlukların oluşma olasılıklarının değerlendirilmesi
- Bir sistemde tehlike olarak hissedilen tüm problemlerin veya olumsuzlukların sistematik olarak ortaya koyulması (Clemens 2002)

Örnek olarak, bir otomobilin tekerinin patlamasına iki olası olay neden olur. Bunlardan biri çivi gibi, yoldaki enkaza doğru sürmekten dolayıdır. Diğer olası sebep, lastik hatasıdır. Teker patlaması temel bir olay gibi tanımlanır. Bu iki etmen, ya basit ya da orta düzey olaylardır. Basit olaylar daha fazla tanımlanamayan olaylardır, orta düzey olaylar daha fazla tanımlanabilen olaylardır. Bu örnekte, enkazlı yola sürmek basit bir olaydır çünkü daha ileri olay olmaması mantığa uygundur. Lastik hatası orta düzey bir olaydır çünkü ya hatalı lastikten ya da aşınmış lastikten kaynaklanır (Greenberg ve Cramer 1991, Crowl ve Louvar 2002, Khan vd. 2002).

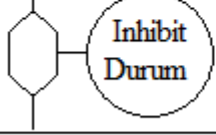
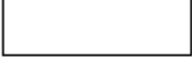
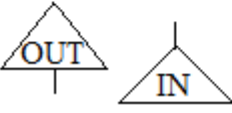
Teker patlaması örneği, bir hata ağacı mantık diyagramı kullanılarak resmedilip, şekil 2.15’de gösterilmektedir.



Şekil 2.15 Teker patlamasına neden olan olaylar için hata ağacı (Crowl ve Louvar 2002)

Daireler basit olayları ve dikdörtgenler orta düzey olayları belirtir. Balık gibi olan sembol mantık fonksiyonunu ifade eder. Bunun anlamı, girdi olaylarından biri, oluşacak çıktı olayına neden olacaktır. Şekil 2.15’de gösterildiği gibi, teker patlamasına ya yoldaki enkaz ya da teker hatası sebep olur. Benzer şekilde, teker hatasına ya hatalı lastik ya da aşınmış lastik sebep olur.

Hata ağacındaki olaylar, malzeme hataları için kısıtlandırılmaz. Onlar yazılım, insan ve çevresel faktörleri de içerebilir. Mantığa uygun karmaşık kimyasal prosesler için eklenen mantık fonksiyonlarının sayısı, hata ağacı yapmaya ihtiyaç duyar (Crowl ve Louvar 2002, Greenberg ve Cramer 1991, Özkılıç 2005). Detaylı bir liste, şekil 2.16’da verilmektedir.

	AND Girişi:	Çıktı olayı sonucu tüm girdi olaylarının oluşmasını eşzamanlı gerektirir.
	OR Girişi:	Çıktı olayı sonucu herhangi bir özel olayın oluşmasını gerektirir.
	INHIBIT Olay:	Çıktı olayı eğer girdi olayı ve inhibit olay meydana gelirse olacaktır.
	Basit Olay:	Daha fazla tanıma gerek olmayan bir hata olayıdır.
	Ara Olay:	Diğer birkaç olayın etkileşiminden sonuçlanan bir olaydır.
	Gelişmemiş Olay:	Uygun bilgi olmadığından dolayı daha fazla gelişemeyen bir olaydır.
	Dış Olay:	Hata ağacı için sınır koşulu olan bir olaydır.
	Aktarım İşaretleri:	Hata ağacında sayfadaki bir çizime giriş ve çıkış ile aktarım yapmak için kullanılır.

Şekil 2.16 Bir hata ağacında kullanılan mantık aktarım bileşenleri (Crowl ve Louvar 2002)

AND mantık fonksiyonu, paralel etkileşimdeki prosesleri tanımlamak için önemlidir. Bunun anlamı, AND mantık fonksiyonunun çıktı durumu, sadece girdi durumlarının her ikisi de aktif olduğunda etkinlik gösterir. INHIBIT fonksiyonu, sadece kısa zamanlı hatalara sebep olan olaylar için kullanılır. Örneğin, yoldaki enkaza doğru sürmek her zaman tekerin patlamasına neden olmaz. INHIBIT girişi, şekil 2.15'deki hata ağacında, bu durumu anlatmak için kullanılmıştır.

Esas hata ağacı çizilmeden önce, başlangıç adımlarının birkaçı belirlenmelidir:

1. Temel olay kesinlikle tanımlanır. “Yüksek reaktör sıcaklığı” veya “çok yüksek sıvı seviyesi” gibi olaylar kesin ve uygundur. “Reaktör patlaması” veya “proses yangını” gibi olaylar çok belirsizdir, hatta “vana sızıntısı” gibi bir olay çok özeldir.
2. Sürmekte olan olay tanımlanır. Temel olay meydana geldiğinde, kesin olan mevcut durumlar ne?
3. İzin verilmeyen olaylar tanımlanır. Bunlar, beklenmedik veya üzerinde düşünülmeyen mevcut olaylardır. Elektrik tesisatı hataları, yıldırım, kasırgalar ve hortumlar buna örnek verilebilir.
4. Prosesin fiziksel sınırları tanımlanır. Hata ağacında dikkate alınan bileşenler nedir?
5. Ekipman düzeni tanımlanır. Açık veya kapalı vanalar hangileri? Sıvı seviyeleri ne? Bu normal bir işletim durumu mu?
6. Çözünürlük seviyesi tanımlanır. Analiz herhangi bir vanayı dikkate alacak mı veya vana bileşenlerini dikkate almak için gerekli olacak mı?

Yöntemde sonraki basamak hata ağacını çizmektir. Öncelikle, sayfanın üst kısmına temel olay çizilir. Temel olay gibi tanımlama yapmak, hata ağacı sayfadaki birçok çizime genişlediği zaman, daha sonraki karışıklığı engeller.

İkinci olarak, esas olayları belirlemek temel olaya katkı sağlar. Bunlar, ara, basit, gelişmemiş veya harici olaylar gibi çizimde aşağı doğru yazılır. Eğer bu olaylar paralel bağlıysa (tüm olaylar, meydana gelmiş temel olay için düzenli olmak zorundadır), bir AND girişi tarafından temel olaya birleştirilmelidir.

Eğer bu olaylar seri bağlıysa (herhangi bir olay, meydana gelmiş temel olay için olabilir), bir OR girişi tarafından temel olaya birleştirilmelidir. Eğer yeni olaylar temel

olaya bir mantık fonksiyonu tarafından birleştirilemiyorsa, yeni olaylar muhtemelen yanlış bir şekilde belirtilmiştir. Amaçlanan hata ağacı, ayrı olay basamaklarını hesaplamak için, temel olay yöntemini meydana getirmelidir.

Yeni ara olayların herhangi biri dikkate alınır. Tek bir olaya katkı sağlamak için meydana gelmesi gereken olaylar neler? Bunlar, ara, basit, gelişmemiş veya harici olaylar gibi çizimde aşağı doğru yazılır. Daha sonra, hangi mantık fonksiyonunun bu yeni olayların etkileşimini anlatacağına karar verilir.

Basit, gelişmemiş veya harici olaylar tarafından tüm dallar sonlandırılana kadar, hata ağacı gelişmeye devam eder. Tüm ara olaylar genişletilmelidir (Crowl ve Louvar 2002, Greenberg ve Cramer1991).

Örnek 2.6:

Örnek 2.3'deki alarm göstergesi ve acil durum durdurma sistemini tekrar dikkate alınır. Bu sistem için hata ağacı çizilir (Crowl ve Louvar 2002).

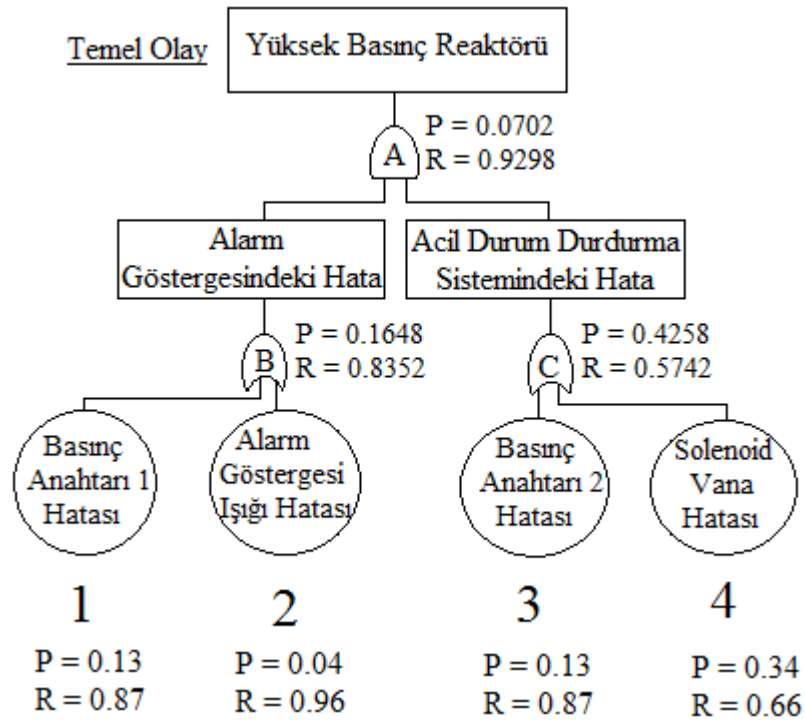
Çözüm:

İlk adım problemi tanımlamaktır.

1. Temel olay: Yüksek basınç sonucu reaktörün tanımlanması
2. Sürmekte olan olay: Yüksek proses basıncı
3. İzin verilmeyen olaylar: Karıştırıcı hatası, elektrik hataları, tesisat hataları, kasırgalar, hortumlar
4. Fiziksel sınırlar: Şekil 2.8'de gösterilen ekipman
5. Ekipman düzeni: Solenoid vana açık, reaktör akışı besliyor
6. Çözünürlük seviyesi: Şekil 2.8'de gösterilen ekipman

Temel olay hata ağacının en üstüne yazılır ve temel olay olarak belirlenir. İki olay yüksek basınç için meydana gelmelidir: alarm göstergesindeki hata ve acil durum

durdurma sistemindeki hata. Bu olaylar birlikte olmalıdır çünkü bir AND fonksiyonu tarafından birleştirilmek zorundadırlar. Alarm göstergesi, basınç anahtarı 1 veya alarm göstergesi ışığındaki hataların biri tarafından arızalanabilir. Bunlar OR fonksiyonu tarafından birleştirilmelidir. Acil durum durdurma sistemi, basınç anahtarı 2 veya solenoid vana hatalarının biri tarafından arızalanabilir. Bunlar da OR fonksiyonu tarafından birleştirilmelidir. Tamamlanan hata ağacı şekil 2.17’de gösterilmektedir.



Şekil 2.17 Örnek 2.6 için hata ağacı (Crowl ve Louvar 2002)

2.4.1 Minimal cut setlerin belirlenmesi

Öncelikle hata ağacı tamamen çizilir, birkaç hesaplama gerçekleştirilebilir. İlk hesaplama minimal cut set (veya min cut set) olarak belirlenir. Minimal cut setler, temel olaya sebep olan çeşitli olaylar grubudur. Genel olarak, temel olay, olayların farklı kombinasyonlarının bir çeşidi olarak meydana gelebilir. Temel olaya sebep olan, farklı tek olaylar grubu, minimal cut setlerdir.

Minimal cut setler, temel olayı meydana getirebilecek çeşitli yolları belirlemek için uygundur. Minimal cut setlerin bazıları, diğerlerinden daha yüksek bir olasılığa sahiptir. Örneğin, sadece iki olayı içeren bir grup, üç olayı içeren bir gruptan daha uygundur. Benzer şekilde, insan etkileşimini içeren bir grup, yalnızca malzeme içerenden daha fazla hata yapmaya müsaittir. Bu basit kurallara dayanarak, minimal cut setler, hata olasılığı ile ilgili olarak sıralanır. Yüksek olasılık ayarları, eklenen güvenlik sistemlerinin gerekli olup olmadığını belirlemek için dikkatlice incelenir.

Minimal cut setler, Fussell ve Vesely tarafından geliştirilen bir yöntem kullanılarak belirlenir. Bu yöntem bir örnek yapılarak çok iyi bir şekilde ifade edilmiştir (Crowl ve Louvar 2002, Greenberg ve Cramer 1991, Özkılıç 2005, Fussell ve Vesely 1972).

Örnek 2.7:

Örnek 2.6'daki hata ağacı için minimal cut setler belirlenir (Crowl ve Louvar 2002).

Çözüm

Yöntemdeki ilk adım, harfleri kullanarak tüm girişleri tanımlamak ve rakamları kullanarak tüm basit olayları tanımlamaktır. Bu durum, şekil 2.17'de gösterilmektedir. İlk mantık girişi temel olayın altına yazılır:

A

AND girişleri cut setteki olayların sayısını artırır, oysaki OR girişleri basamakların artmasına neden olur. Şekil 2.17'deki mantık girişi A, iki girdiye sahiptir: girişlerden biri B ve girişlerden diğeri C'dir. Çünkü A girişi bir AND girişidir. A girişi B ve C girişi tarafından değiştirilir:

~~A~~B C

B girişı, olay 1 ve olay 2'den girdilere sahiptir. Çünkü B girişı bir OR girişıdır, B girişı devam eden sıranın altına bir sıra eklenerek değıştirilir. İlk sıranın kalan kolonundaki tüm girişler, bu yeni sıraya kopyalanır:

A B	1	C
2		C
1		

İlk sıranın ikinci kolonuna yazılan C, yeni sıraya kopyalanır.

Sonra, ilk sıradaki C girişı, girdileri tarafından yer değıştirir. Çünkü C girişı de bir OR girişıdır, C basit olay 3 tarafından yer değıştirir ve daha sonra diğerk olay ile üçüncü bir sıra ortaya çıkar. İlk sıradaki diğerk kolondan 1 mutlaka kopyalanır:

A B	1	C 3
2		C
1		4

Son olarak, ikinci sıradaki C girişı, girdileri tarafından yer değıştirir. Bu dördüncü bir sırayı üretir:

A B	1	C 3
2		C 3
1		4
2		4

Cut setler daha sonradır:

1, 3
2, 3
1, 4
2, 4

Bunun anlamı, temel olay, basit olaylardaki bu basamakların herhangi birinin sonucunda meydana gelir.

Yöntem her zaman minimal cut setleri vermez. Bazen bir basamak takip eden biçimde olabilir:

1, 2, 2

Bu basit bir şekilde 1, 2'ye düşürülür. Bazen basamaklar süper basamakları içerebilir.

Örneğin,

1, 2
1, 2, 4
1, 2, 3

İkinci ve üçüncü basamak, ilk basit basamağın süper basamaklarıdır, çünkü olay 1 ve 2 birliktedir. Süper basamaklar, minimal cut setleri yapmak için çıkarılır. Bu örnek için süper basamaklar yoktur (Crowl ve Louvar 2002).

2.4.2 Hata ağacında sayısal hesaplamaları kullanma

Hata ağacı, temel olayın olasılığını belirlemek için sayısal hesaplamaları gösterirken kullanılabilir. Bu, iki yolla yapılır.

İlk yaklaşım ile hesaplamalar hata ağacı diyagramının kendisi kullanılarak gösterilir. Tüm basit, dış ve gelişmemiş olayların hata olasılıkları hata ağacına yazılır. Sonra, gerekli hesaplamalar, çeşitli mantık girişleri üzerinde gösterilir. Bir AND girişi üzerinde olasılıkların artması ve bir OR girişinde güvenilirliklerin artması gibi.

Hesaplamalar, temel olaya ulaşılan kadar bu biçimde hesaplanır. INHIBIT girişler, özel bir AND girişi halinde dikkate alınır.

Bu yöntemin sonuçları şekil 2.17'de gösterilmektedir. *P* sembolü olasılığı anlatır ve *R* sembolü güvenilirliği anlatır. Basit olaylar için hata olasılıkları, Örnek 2.3'den elde edilmişti.

Diğer yöntem, minimal cut setleri kullanmaktır. Bu yöntem, tüm olayların olasılıklarının küçük olması kaydıyla gerçek sonuca yaklaşır. Genel olarak, bu sonuç esas olasılıktan daha büyük bir sayıyı içerir. Eşitlik 2.17’de gösterilen, vektörel çarpım terimlerinin olasılığı varsayılan bu yaklaşım, ihmal edilebilir.

Minimal cut setler çeşitli hata biçimlerinde gösterilir. Örnek 2.7 için, 1, 3 veya 2, 3 veya 1, 4 veya 2, 4 olayları temel olaya neden olabilir. Ayrıntılı hata olasılığını tahmin etmek için, cut set olasılıkları birlikte eklenir. Bu durum:

$$P (1 \text{ AND } 3) = (0.13) (0.13) = 0. 0169$$

$$P (2 \text{ AND } 3) = (0.04) (0.13) = 0. 0052$$

$$P (1 \text{ AND } 4) = (0.13) (0.34) = 0. 0442$$

$$P (2 \text{ AND } 4) = (0.04) (0.34) = \underline{0. 013}$$

$$\text{Total} \quad 0.0799$$

0.0702 gerçek sonucu için bu yaklaşımlar, hata ağacı kullanılarak elde edilir. Cut setler OR fonksiyonu tarafından birbirleri ile ilgilidir. Örnek 2.7 için, tüm cut set olasılıkları eklenir. Eşitlik 2.17’de gösterildiği gibi, bu yaklaşık bir sonuçtur çünkü vektörel çarpım terimleri ihmal edilir. Küçük olasılıklar için vektörel çarpım terimleri ihmal edilebilir ve bu toplam gerçek sonuca yaklaşacaktır (Crowl ve Louvar 2002).

2.5 @Risk Yazılım Programı ile Hesaplama

@Risk Yazılım Programı “Monte Carlo Simülasyonu”nun risk değerlendirme konusuna yönelik bir paket programdır.

2.5.1 Monte Carlo Simülasyonu nedir?

Monte Carlo Simülasyonu, kantitatif (nicel) analizlerde ve alınan kararlardaki riskler için, insanların hesap yapmasına olanak sağlayan, bilgisayar tabanlı matematiksel tekniktir. Bu teknik, finans, proje yönetimi, enerji, üretim, mühendislik, araştırma ve

geliştirme, sigorta, yağ ve gaz, ulaşım ve çevre gibi tamamen bambaşka alanlarda profesyoneller tarafından kullanılabilir.

Monte Carlo Simülasyonu, olası çıktıların seviyesi ve seçilen her kazanın meydana gelme ihtimalleri ile karar almayı sağlar. Bu orta yollu kararlar için tüm olası sonuçlarla birlikte uç ihtimalleri (riske atılan çıktılar ve çok ölçülü kararlar) gösterir.

Monte Carlo Simülasyonu, tesadüfi değişkenlerin kullanıldığı bir simülasyon modelidir ve bu metot kullanılarak istenilen güvenilirlik derecesine bağlı olarak çok sayıda yinelemeler yoluyla risk olasılığı değerleri elde edilebilmektedir.

Bu teknik ilk defa atom bombası üzerinde çalışan fizikçiler tarafından kullanıldı; Monaco'nun gazonlarıyla ünlü şehri olan Monte Carlo diye adlandırıldı. II. Dünya Savaşı'nda tanınmasından beri, Monte Carlo Simülasyonu fiziksel ve kavramsal sistemlerde bir çeşit model olarak kullanılıyor.

2.5.2 Monte Carlo Simülasyonu nasıl çalışır?

Monte Carlo Simülasyonu, esas belirsizlikleri içeren her faktör için, değerlerin aralığını yerine koyarak, olası sonuçların yapı modellerine risk analizi yapar. Daha sonra sonuçları, olası fonksiyonlardan ayarlanan rastgele değerlerin, her zaman farklı birini kullanarak sonuçları defalarca hesaplar. Belirsizliklerin numarasına ve özel olanların aralığına bağlı olarak, Monte Carlo Simülasyonu, tamamlanmadan önce binlerce veya on binlerce defa yeniden hesaplamaları içerebilir. Monte Carlo Simülasyonu, olası çıkış değerlerinin dağılımını gerçekleştirir.

Olası dağılımları kullanarak, değişkenler, oluşan farklı çıktıların farklı olasılıklarını içerebilir. Olası dağılımlar, risk analizindeki değişkenlerin belirsizliklerinin tanımlanmasındaki gerçekçi yoldan daha fazlasıdır.

Monte Carlo Simülasyonu boyunca, değerler girdilerin olası dağılımlarından rastgele örneklendirilir. Ayarlanan her örnek iterasyon olarak adlandırılır ve bu örnekten çıkan sonuçlar kaydedilir. Monte Carlo Simülasyonu bunu yüzlerce ve binlerce kez yapar ve

sonuç uygun çıktıların olası dağılımıdır. Bu yolla, Monte Carlo Simülasyonu, ayrıntılı görünümünün ne olabileceğinden fazlasını temin eder. Bu size sadece ne olabileceğini değil, nasıl olabileceğini de söyler.

Monte Carlo Simülasyonu belirleyicinin üzerinde olan avantajların numarasını veya “tek nokta tahmini” analizini temin eder:

- **Olası Sonuçlar:** Sonuçlar size, çıktıların her birinin sadece ne olabileceğini değil, nasıl olabileceğini de gösterir.
- **Grafiksel Sonuçlar:** Monte Carlo Simülasyonunun ürettiği sonuçlardan dolayı, farklı çıktıları ve onların oluşma ihtimallerini grafikte oluşturmak kolaydır.
- **Duyarlılık Analizi:** Sadece birkaç olay ile belirleyici analiz, değişkenlerin etkilerini çıktılarda iyi bir şekilde görmeyi zorlaştırır. Monte Carlo Simülasyonunda girdilerin en son sonuçlar üzerinde yaptığı büyük etkiyi görmek kolaydır.
- **Senaryo Analizi:** Belirleyici modellerde, farklı girdiler için farklı değerlerin kombinasyonlarını, tamamen farklı senaryolardaki etkilerini görmek için modellemek çok zordur. Monte Carlo Simülasyonunu kullanarak, araştırmacılar belirli çıktılar oluştuğunda, hangi girdilerin hangi değerlere sahip olduğunu birlikte tamamen görebilirler. Bu takip eden bir başka analiz için çok önemlidir.
- **Girdilerin Korelasyonu:** Monte Carlo Simülasyonunda, girdi değişkenleri arasındaki ilişkilerin birbirine bağlılığını modellemek mümkündür. Bu nasıl açıklayacağının hassasiyeti için önemlidir, aslında, bazı faktörle arttığında, diğerleri dolayısıyla artar ya da azalır.

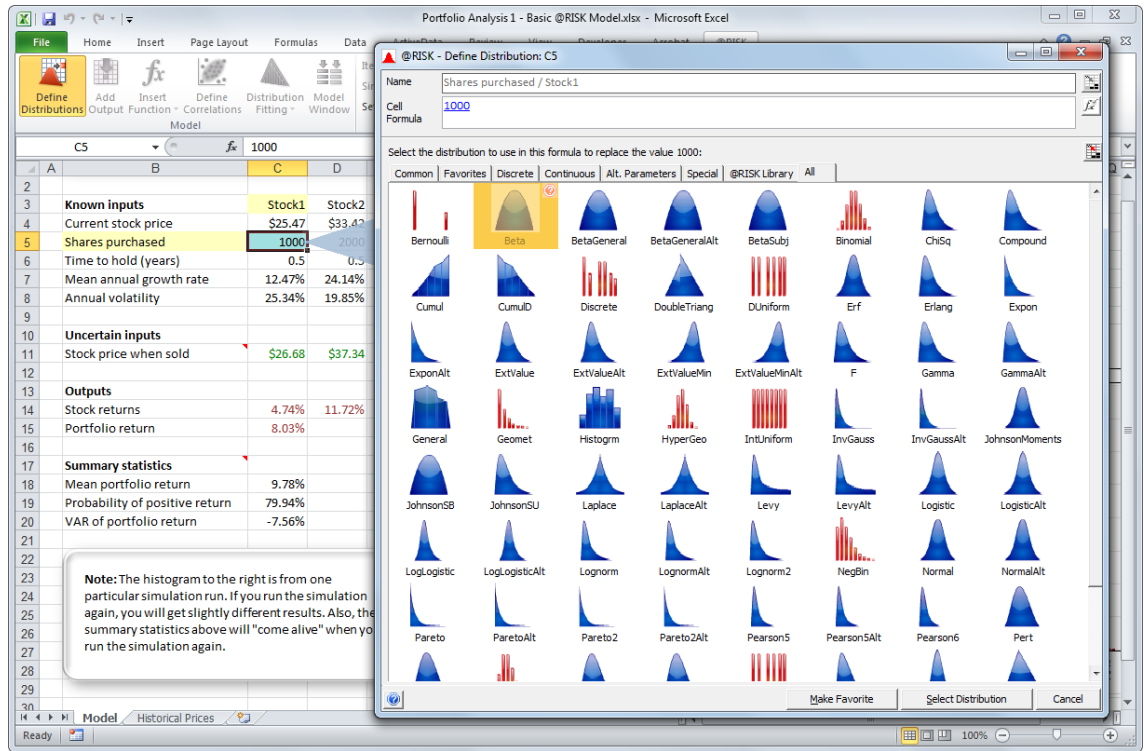
Monte Carlo Simülasyonunu pekiştirmek, tüm dağılım fonksiyonlarının çeşitliliğinden daha hassas örneklerle sahip Latin Hiperküp örneğini kullanmaktır (Kuyucu 2008, <http://www.palisade.com/risk/2012>).

2.5.3 @RİSK Yazılım Programı nasıl çalışır?

@RİSK ile bir analizi çalıştırma, üç basit adımdan oluşur:

2.5.3.1 Modelinizi ayarlayın

Normal, tek tip ve diğer 35 çeşitten oluşan @RİSK olasılık dağılım fonksiyonları ile tablonuzdaki belirsiz değerleri değiştirerek başlayın. Bu @RİSK fonksiyonları, sadece bir hücreye bağlı tek bir durumda onu sınırlayarak, yerine alabileceği farklı olası değerler aralığını temsil eder. Grafiksel bir galeriden kendi dağıtımınızı seçebilirsiniz veya bir giriş için belirli tarihsel verileri kullanarak dağılımları tanımlayabilirsiniz. @RİSK bileşik fonksiyon dağılımlarını bile birleştirir. @RİSK Kütüphane veya takas sayesinde spesifik dağılım fonksiyonlarını diğer kullanıcılar ile paylaşabilirsiniz.



Şekil 2.18 @RİSK dağılım paleti

Daha sonra, ‘ekranın alt satırındaki’ ilgilendiğiniz çıkış değerlerini seçin. Bu değerler potansiyel kar, YG, sigorta tazminat ödemesi, hastalığın iyileşme oranı veya herhangi bir şey olabilir.

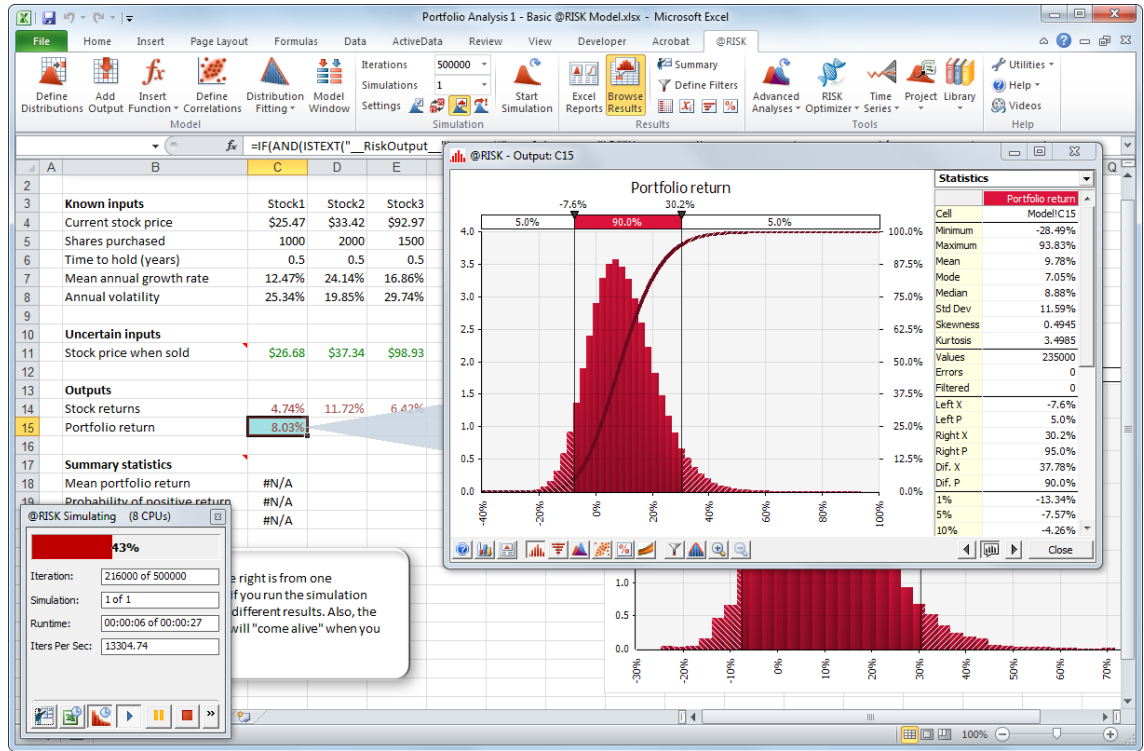
Kolaylıkla Belirsizlikleri Tanımlayın: @RISK 40 dağılım fonksiyonu ile birlikte gelir. Excel'in yerel işlevlerinde aynı biçimde davrandığını ve toplam modellenmesine esneklik veren gerçek Excel fonksiyonları bulunmaktadır. @RISK dağılım fonksiyonunu seçmek kolaydır. Çünkü fonksiyonları önizleme ve seçmeden önce çeşitli dağıtımlarını karşılaştırmak için @RISK grafiksel dağılımı galeri içinde mevcuttur. Hatta yüzdelik parametrelerin yanı sıra standart parametreler ve karşılaştırma için paylaşımlı farklı dağıtım grafikleri kullanarak dağılımlarını kurabilirsiniz. Tarihsel veya endüstri verilerini kullanabilir ve @RISK içine entegre edilmiş olan veri uydurma aracı BestFit® sayesinde iyi dağılım fonksiyonu ve doğru parametreleri seçebilirsiniz. Uyuma olasılığı olan veri tipini seçebilir (ör. devamlı ayırık veya kümülatif), verileri filtreleyerek uygun olan dağıtım türlerini ve kullanılacak Chi-Squared gruplamasını belirleyebilirsiniz. Gömme dağılımlar, yapılan üç istatistiksel teste göre sıralanır ve dağılımların grafiksel karşılaştırılması yapılabilir. Hatta çoklu donatılmış dağılımların grafiklerini üst üste inceleyebilirsiniz. Uygun sonuçlar @RISK fonksiyonları ile bağlantılı olabilir, bu nedenle fonksiyonların otomatik veri girişleri değiştiğinde güncellenir. Girdi dağılımları tek tek veya bir zaman serisi içinde birbiri ile ilişkili olabilir. Korelasyonlar hızla Excel üzerinde açılır, matrisleri tanımlanır ve ilişkili zaman serileri tek bir tıklamayla eklenebilir. İlişkili zaman serisi her dönemde benzer dağılım içeren bir dizi çoklu-dönem aralığında oluşturulur. Pano stil @RISK Model penceresinde, Modelinizin tüm @RISK fonksiyonları ve korelasyonları - küçük resimli grafikler – özetlenmiştir. Tablo hücrelerine göz attığınız gibi dağıtım grafiklerini de açılır olarak izleyebilirsiniz.

Modellerinizi Diğerleri ile Paylaşın: @RISK fonksiyonlarını diğer @RISK kullanıcılarla paylaşmak için, bir SQL veritabanında @RISK Kütüphanesinde saklanabilir. @RISK fonksiyonları ayrıca, işlev değişim özelliği ile modellerinizin @RISK yüklü olmayan meslektaşlarınızla paylaşılır olmasını sağlar. @ RISK fonksiyonları "takas" 'da iken @RISK çizelgenizde oluşabilecek değişiklikleri takip

edecektir. Bu modelde formül güncellemesi olduğunda @RISK formülleri güncelleştirmesinin nasıl yapıldığını kontrol edebilirsiniz.

2.5.3.2 Simülasyonu çalıştırın

Benzet düğmesini tıklayın ve izleyin. @RISK, tablonuzdaki modeli binlerce kez yeniden hesaplar. Her zaman, @RISK, örnekleri girdiğiniz @RISK fonksiyonlarından rastgele değerler alır, modelinizin içine yerleştirir ve ortaya çıkan sonuçları kaydeder. Demo modunda da simülasyon çalıştırılarak kullanıcılar için işlemi açıklar, grafikler ve güncelleme raporları ile simülasyonu yapar.

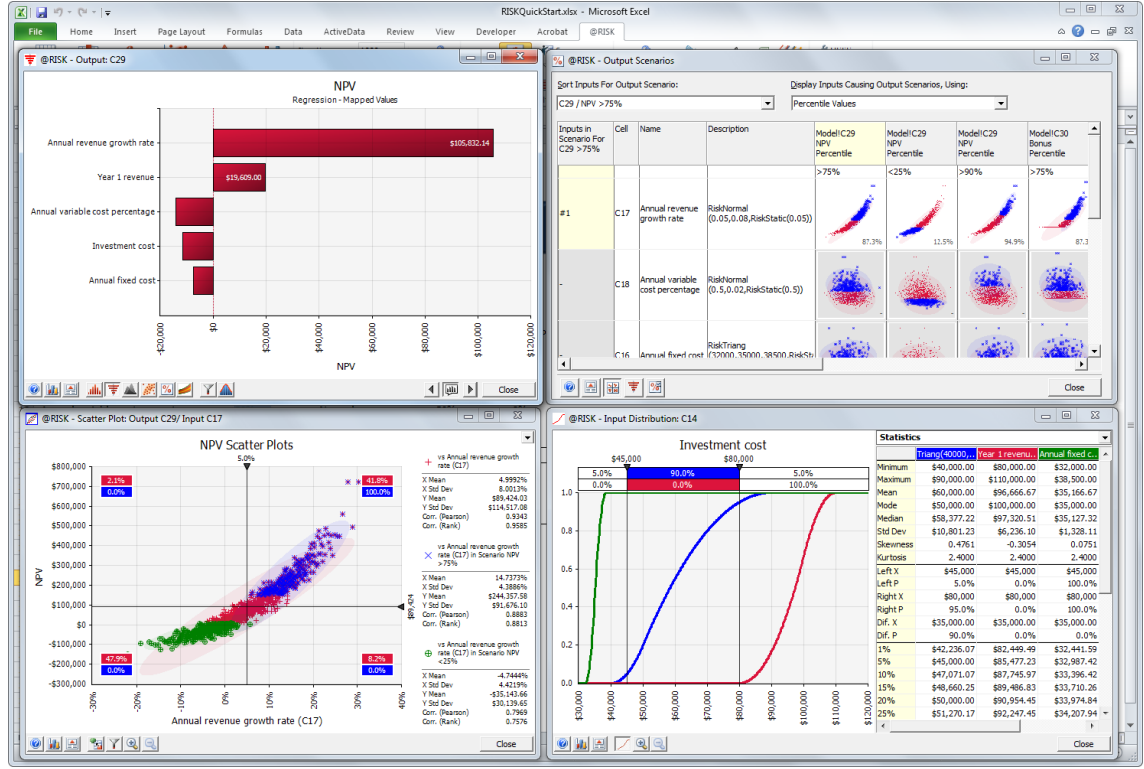


Şekil 2.19 Devam etmekte olan simülasyon

2.5.3.3 Risklerinizi anlayın

Simülasyon sonucunda bir dizi olası sonuçlara göz atın, olasılıklar dahil olmak üzere hepsi ortaya çıkacaktır. Histogramlar ile grafik sonuçları, dağılım grafikleri, kümülatif eğriler, kutu grafikleri ve daha fazlası. Tornado çizelgeleri ve duyarlılık analizi ile kritik

faktörler tanımlaması. Excel, Word veya PowerPoint içine sonuçları yapıştırabilir ya da diğer @RISK kullanıcıları için @RISK Kütüphanesi içine koyabilirsiniz. Hatta hemen Excel çalışma kitabı içine sonuçları ve çizelgeleri kaydedebilirsiniz.



Şekil 2.20 @RISK grafik örnekleri

Sade, Kolay Anlaşılan Sonuçlar: @RISK sonuçları yorumlamak ve sunmak için geniş bir yelpazede grafikler sunar. Histogramlar ve kümülatif eğriler farklı sonuçların olasılıklarını göstermektedir. Birden çok sonuçları karşılaştırmak için Overlay grafiklerini kullanabilirsiniz, zaman içerisinde veya aralıklar üzerindeki risk ve eğilimleri görmek için özet grafikleri ve kutu grafiklerini kullanabilirsiniz. Sağ tıklama menüleri ve kullanışlı araç çubukları ile kolay kullanım. Tüm grafikler tamamen özelleştirilebilir - dahil başlıklar, eksenler, ölçekleme, renkler ve daha fazlası- ayrıca Excel, Word veya PowerPoint'e aktarmak için hazır haldedir. Tablo hücrelerine göz attığınız gibi sonuçları da açılır grafikler şeklinde izleyebilirsiniz.

@RISK modellerde kritik faktörleri belirlemek için duyarlılık ve senaryo analizleri sağlar. Çıkışlar üzerindeki etkisine göre modelinizdeki dağılım fonksiyonlarını sıralamak için duyarlılık analizi kullanın. Kolay yorumlayabilir Tornado diyagramı ile net bir şekilde sonuçları görün veya dağılım grafikleri ile ilişkileri açığa çıkarın. Duyarlılık analizi, tüm girişleri model çıkışları için formülleri kendi önceliğe göre önceden takip etmektedir böylece gereksiz veriler azaltılır. Buna ek olarak, değer duyarlılık analizi için giriş olarak kabul edilmesi istenilen bir formülü seçmek için @RISK kullanıcısının Marka Girdi fonksiyonunu kullanabilirsiniz. Bu şekilde duyarlılık raporları düzenleyerek, birden fazla dağıtım tek bir giriş ile birleştirilebilir.

Çıkışlar ve girişler için tüm simülasyon sonuçları - küçük resimli grafikler ile - pano stil @RISK Sonuçlar Özet penceresinde özetlenmiştir. Simülasyon sonuçları Excel çalışma kitabına doğrudan kaydedilir ve ayrıca diğer @RISK kullanıcılarıyla paylaşmak içinde @RISK Kütüphanesine yerleştirilmiş olabilir (<http://www.palisade.com/risk/2012>).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamında ilk olarak tasarıma yönelik, kimyasal proses endüstrisinde yer alan ünitelerden Soğutma Borulu Reaktör, Egzotermik Polimerizasyon Reaktörü, Kesikli Reaktör, Kademeli Damıtma Kolonu, Dolgulu Damıtma Kolonu, Dolgulu Absorpsiyon Kolonu, Kademeli Absorpsiyon Kolonu, Isı Değiştirici, Buharlaştırıcı, Yoğuşturucu, Santrifüj Pompa/Kompresör, Sprey Kurutucu, Mikser Kurutucu ve Döner Kurutucu için Nitel Analiz kapsamında HAZOP Formları doldurulmuş, Nicel Analiz kapsamında Olasılık Teorisi, Olay Ağacı ve Hata Ağacı Analiz hesaplamaları yapılmıştır.

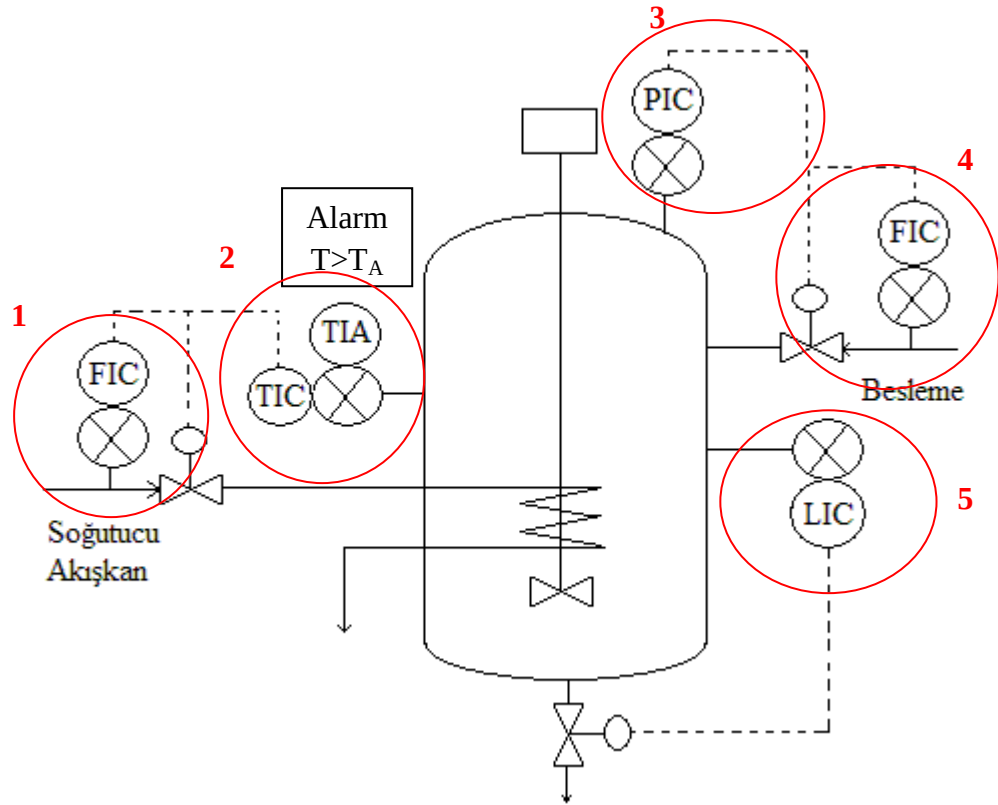
İkinci olarak “Monte Carlo Simülasyonu”nun risk değerlendirme konusuna yönelik bir paket programı olan “@Risk” yazılımının “Risk Coumpound” alt programı ile Türkiye İstatistik Kurumu 2008, 2009, 2010, 2011 iş kazası verilerinden, Türkiye çapındaki endüstriyel faaliyet gruplarından (NACE Sınıflanlandırmasına göre) kod numaraları aşağıda verilen faaliyet grupları seçilmiştir:

- 17- Kağıt ve Kağıt Ürünleri İmalatı
- 19- Kok Kömürü ve Petrol Ürünleri İmalatı
- 20- Kimyasal Ürünler İmalatı
- 22- Kauçuk ve Plastik Ürünler İmalatı
- 23- Metalik Olmayan Ürünler İmalatı
- 24- Ana Metal Sanayi
- 35- Elk. Gaz, Buhar ve Hava Sis. Üret. Dağıt.
- 36- Suyun Toplanması Arıtılması ve Dağıt.
- 38- Atık Maddelerin Değerlendirilmesi (Anonim 2013D)

Bu faaliyet gruplarının kaza sayıları (sıklık) ve meslek hastalığı, sürekli iş göremezlik ve ölüm sayıları (şiddet) ile hesaplamalar yapılmış ve ortalama yıllık iş günü kayıpları öngörülmüştür.

3.1 Soğutma Borulu Reaktör

Soğutma borulu reaktör sisteminde reaksiyon ekzotermiktir, soğutma sistemi reaksiyondaki fazla enerjiyi uzaklaştırmayı sağlar. Soğutucu akışkanın girişteki akış hızı ölçülür ve kontrol edici soğutucu akışkan besleme yolundaki solenoid vana ile tehlikeli akış hızında soğutucu akışkanın beslemesini durdurur (1 numaralı sistem). Soğutma fonksiyonunun kaybolması durumunda, reaktör sıcaklığı artacaktır ve buna bağlı olarak reaksiyon hızı artacaktır. Sonuç, reaktör tankının patlama basıncından fazla basınç ile kontrolsüz reaksiyonudur. Bu yüzden reaktörde sıcaklık ölçümü yapılır ve bir sıcaklık alarm sistemi ile sıcaklık ($T > T_A$) operatöre verilir ve solenoid vana ile kontrol edilir (2 numaralı sistem). Reaktörde basınç ölçümü yapılır ve solenoid vana ile basınç kontrolü sağlanır (3 numaralı sistem). Besleme akışı da aynı şekilde kontrol edilir (4 numaralı sistem). Seviye kontrolü ile reaktör içindeki seviye ölçülür solenoid vana ile kontrol sağlanır (5 numaralı sistem).



Şekil 3.1 Soğutma borulu reaktör kontrol sistemi

3.1.1 Soğutma Borulu Reaktör için HAZOP Formu

Çizelge 3.1 Soğutma borulu reaktör için HAZOP formu

Proje Adı: Soğutma Borulu Reaktör				Tarih:		Sayfa:65		Tamamlanmış:	
Proses: Soğutma Borulu Reaktör								Olay Yok:	
Bölüm: 3.1				Referans Çizim: 3.1				Yanıt Tarihi:	
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:		
1A	Soğutma Boruları	Akış	No Not None	1. Soğutma suyu arızası 2. Tıkalı boru 3. Solenoid vana arızası 4. Kontrol edici arızası 5. Akış ölçer arızası	1. Soğutma kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. " 5. "	1. Su seviyesinin emniyet ve monitör güvenilirliği 2. Filtre takmak Periyodik bakım yapmak 3. Periyodik bakım yapmak 4. Kritik malzeme listesinde yer alır 5. "			
1B			High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Akış ölçer arızası	1. Aşırı soğutma, olası sızıntı 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
1C			Low	1. Kısmen tıkalı borular 2. Solenoid vana arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Akış ölçer arızası	1. Soğutma kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. "	1. Filtre takmak, Periyodik bakım yapmak 2. Periyodik bakım yapmak 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "			
1D			As well as	1. Kirlilik	1. Mümkün değil				
1E			Part of	1. 1C'ye bakın					
1F			Rerverse	1. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Soğutma kaybı, olası sızıntı	1. Periyodik bakım yapmak			
1G			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					
1H			Sooner than	1. Soğutma erken başlar	1. Yok				
1I			Later than	1. Kontrol edici hatası	1. Sıcaklık artışı, olası sızıntı	1. Kritik malzeme listesinde yer alır			
2A	Reaktör	Sıcaklık	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası 4. Alarm arızası	1. Yüksek sıcaklık, reaktör patlaması 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. " 4. Periyodik bakım yapmak			
2B			Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası	1. Düşük sıcaklık 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
2C			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					

Çizelge 3.1 Soğutma borulu reaktör için HAZOP formu (devam)

Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:				
2D	Besleme Borusu	Basınç	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	1.Yüksek basınç, reaktör patlaması 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "					
2E			Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	1.Düşük basınç 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "					
2F			Seviye	No Not None High	1. Seviye yok, 3A'ya bakın						
2G				Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Seviye ölçümü arızası	1.Yüksek seviye, reaktör taşması 2. " 3. "					1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "
3A		Akış	Other than No Not None	1. İçerik kaybı, 3A'ya bakın 1. Besleme arızası 2. Tıkalı boru 3. Solenoid vana arızası 4. Kontrol edici arızası 5. Akış ölçer arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. " 5. "	1. Besleme seviyesinin emniyet ve monitör güvenilirliği 2. Filtre takmak Periyodik bakım yapmak 3. Periyodik bakım yapmak 4. Kritik malzeme listesinde yer alır 5. "					
3B			High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Akış ölçer arızası	1. Aşırı besleme, olası sızıntı 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2.Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "					
3C			Low	1. Kısmen tıkalı borular 2. Solenoid vana arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Akış ölçer arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. "	1. Filtre takmak, Periyodik bakım yapmak 2. Periyodik bakım yapmak 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "					
3D			As well as Part of Reverse Other than Sooner than Later than		1. Kirlilik	1.Mümkün değil					
3E					1. 3C'ye bakın						
3F					1. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Besleme kaybı, olası sızıntı					1. Periyodik bakım yapmak
3G		1. Olasılık dikkate alınmaz									
3H			1. Besleme erken başlar	1.Yok							
3I			1. Konrtol edici hatası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Kritik malzeme listesinde yer alır						

3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama

Soğutma borulu reaktör için olasılık teorisi ile hesaplama yapılırken çizelge 2.8'den yararlanılır ve ilgili proses bileşenleri için arıza hızları (μ) kullanılarak güvenilirlik ve arıza olasılığı hesaplanır. Daha sonra sıcaklık, basınç, akış hızı ve seviye kontrolü için ilgili bileşenlerin kombinasyonları hesaplanarak, soğutma borulu reaktör için arıza hızı ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) hesaplanır.

Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34
Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
Sıcaklık Ölçümü (Isıl Çift)	0.52	0.60	0.40
Basınç Ölçümü	1.41	0.24	0.76
Akış Ölçümü (Akışkanlar)	1.14	0.32	0.68
Seviye Ölçümü (Sıvılar)	6.86	0.001	0.999

İşletim süresi 1 yıl varsayılır.

1 Numaralı Sistem (Soğutucu Akışkan İçin Akış Kontrol)

Akış kontrolü yapılırken Kontrol Edici, Solenoid Vana ve Akış Ölçümü bileşenleri dikkate alınır ve hesaplama yapılır.

Seri bileşenler için toplam güvenilirlik:

$$R = \prod_{i=1}^3 R_i = (0.75)(0.66)(0.32) = 0.16 \text{ olay/yıl}$$

Arıza olasılığı:

$$P = 1 - R = 1 - 0.16 = 0.84 \text{ olay/yıl}$$

Tüm arıza hızı, güvenilirlik tanımı kullanılarak hesaplanmıştır:

$$0.16 = e^{-\mu}$$

$$\mu = -\ln(0.16) = 1.83 \text{ arıza/yıl}$$

Arızalar arası ortalama süre (MTBF):

$$MTBF = \frac{1}{\mu} = 0.55 \text{ yıl}$$

Soğutucu akışkan akış kontrol sisteminin ortalama olarak her 0.55 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

2 Numaralı Sistem (Sıcaklık Kontrol)

Sıcaklık kontrolü yapılırken Kontrol Edici, Solenoid Vana, Alarm Göstergesi ve Sıcaklık Ölçümü (Isıl Çift) bileşenleri dikkate alınır ve hesaplama yapılır.

Seri bileşenler için toplam güvenilirlik:

$$R = \prod_{i=1}^4 R_i = (0.75)(0.66)(0.96)(0.60) = 0.29 \text{ olay/yıl}$$

Arıza olasılığı:

$$P = 1 - R = 1 - 0.29 = 0.71 \text{ olay/yıl}$$

Tüm arıza hızı, güvenilirlik tanımı kullanılarak hesaplanmıştır:

$$0.29 = e^{-\mu}$$

$$\mu = -\ln(0.29) = 1.2 \text{ arıza/yıl}$$

Arızalar arası ortalama süre (MTBF):

$$MTBF = \frac{1}{\mu} = 0.83 \text{ yıl}$$

Sıcaklık kontrol sisteminin ortalama olarak her 0.83 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

3 Numaralı Sistem (Basınç Kontrol)

Basınç kontrolü yapılırken Kontrol Edici, Solenoid Vana ve Basınç Ölçümü bileşenleri dikkate alınır ve hesaplama yapılır.

Seri bileşenler için toplam güvenilirlik:

$$R = \prod_{i=1}^3 R_i = (0.75)(0.66)(0.24) = 0.12 \text{ olay/yıl}$$

Arıza olasılığı:

$$P = 1 - R = 1 - 0.12 = 0.88 \text{ olay/yıl}$$

Tüm arıza hızı, güvenilirlik tanımı kullanılarak hesaplanmıştır:

$$0.12 = e^{-\mu}$$

$$\mu = -\ln(0.12) = 2.12 \text{ arıza/yıl}$$

Arızalar arası ortalama süre (MTBF):

$$MTBF = \frac{1}{\mu} = 0.47 \text{ yıl}$$

Basınç kontrol sisteminin ortalama olarak her 0.47 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

4 Numaralı Sistem (Besleme İçin Akış Kontrol)

Akış kontrolü yapılırken Kontrol Edici, Solenoid Vana ve Akış Ölçümü bileşenleri dikkate alınır ve hesaplama yapılır.

Seri bileşenler için toplam güvenilirlik:

$$R = \prod_{i=1}^3 R_i = (0.75)(0.66)(0.32) = 0.16 \text{ olay/yıl}$$

Arıza olasılığı:

$$P = 1 - R = 1 - 0.16 = 0.84 \text{ olay/yıl}$$

Tüm arıza hızı, güvenilirlik tanımı kullanılarak hesaplanmıştır:

$$0.16 = e^{-\mu}$$

$$\mu = -\ln(0.16) = 1.83 \text{ arıza/yıl}$$

Arızalar arası ortalama süre (MTBF):

$$MTBF = \frac{1}{\mu} = 0.55 \text{ yıl}$$

Besleme akış kontrol sisteminin ortalama olarak her 0.55 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

5 Numaralı Sistem (Seviye Kontrol)

Seviye kontrolü yapılırken Kontrol Edici, Solenoid Vana ve Seviye Ölçümü (Sıvılar) bileşenleri dikkate alınır ve hesaplama yapılır.

Seri bileşenler için toplam güvenilirlik:

$$R = \prod_{i=1}^3 R_i = (0.75)(0.66)(0.001) = 0.0005 \text{ olay/yıl}$$

Arıza olasılığı:

$$P = 1 - R = 1 - 0.0005 = 0.9995 \text{ olay/yıl}$$

Tüm arıza hızı, güvenilirlik tanımı kullanılarak hesaplanmıştır:

$$0.0005 = e^{-\mu}$$

$$\mu = -\ln(0.0005) = 7.6 \text{ arıza/yıl}$$

Arızalar arası ortalama süre (MTBF):

$$MTBF = \frac{1}{\mu} = 0.13 \text{ yıl}$$

Seviye kontrol sisteminin ortalama olarak her 0.13 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

Tüm Sistem Kontrol

Soğutma borulu reaktör için tüm sistem kontrolünde, Sıcaklık, Basınç, Akış ve Seviye Kontrol sistemleri birbirine paralel bağlıdır.

Paralel bileşenler için arıza olasılığı:

$$P = \prod_{i=1}^5 P_i = (0.71)(0.88)(0.84)(0.84)(0.9995) = 0.441 \text{ olay/yıl}$$

Toplam güvenilirlik:

$$R = 1 - P = 1 - 0.441 = 0.559 \text{ olay/yıl}$$

Tüm arıza hızı, güvenilirlik tanımını kullanılarak hesaplanmıştır:

$$0.559 = e^{-\mu}$$

$$\mu = -\ln(0.559) = 0.58 \text{ arıza/yıl}$$

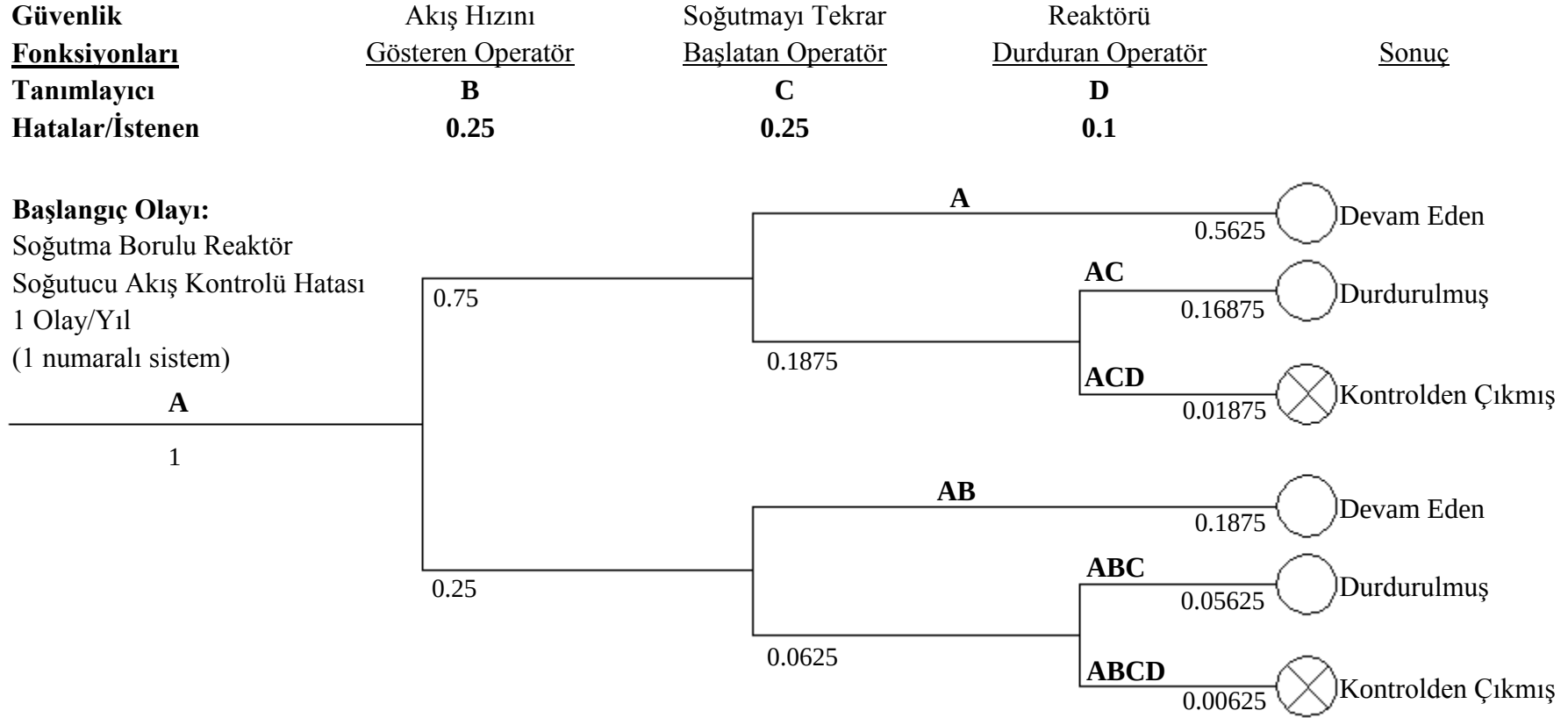
Arızalar arası ortalama süre (MTBF):

$$MTBF = \frac{1}{\mu} = 1.72 \text{ yıl}$$

Soğutma borulu reaktör sisteminin ortalama olarak her 1.72 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

Bileşen	Güvenilirlik R= e^{-μt}(olay/yıl)	Arıza Olasılığı P=1-R (olay/yıl)	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	MTBF (yıl)
1 Numaralı Sistem (Akış Kontrol)	0.16	0.84	1.83	0.55
2 Numaralı Sistem (Sıcaklık Kontrol)	0.29	0.71	1.2	0.83
3 Numaralı Sistem (Basınç Kontrol)	0.12	0.88	2.12	0.47
4 Numaralı Sistem (Akış Kontrol)	0.16	0.84	1.83	0.55
5 Numaralı Sistem (Seviye Kontrol)	0.0005	0.9995	7.6	0.13
Tüm Sistem	0.559	0.441	0.58	1.72

3.1.3 Soğutma Borulu Reaktör için Olay Ağacı

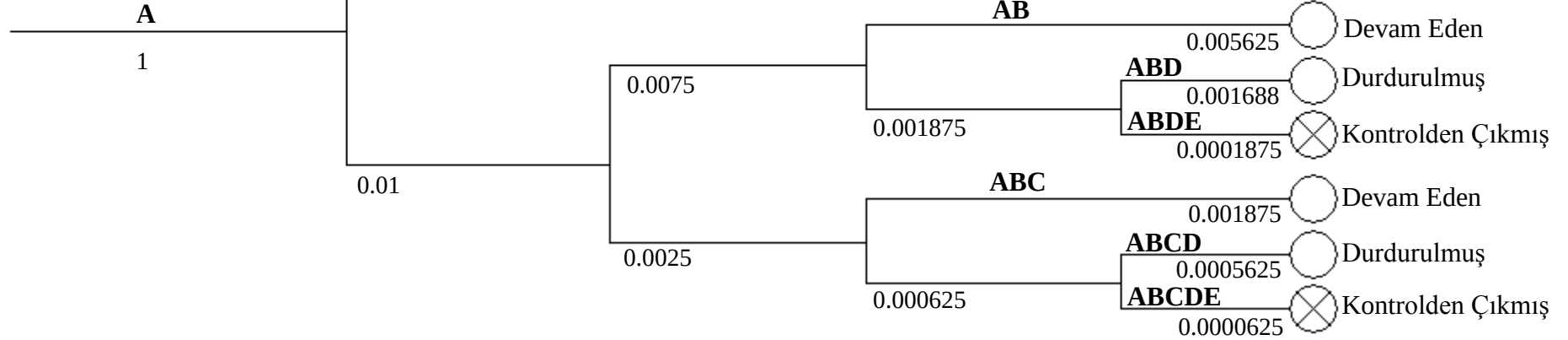


Şekil 3.2 Soğutma borulu reaktör sistemi için soğutucu akış kontrolü hatası olay ağacı
Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
 (Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik Fonksiyonları	Yüksek Sıcaklığı Alarm Veren Operatör	Sıcaklığı Gösteren Operatör	Soğutmayı Tekrar Başlatan Operatör	Reaktörü Durduran Operatör	Sonuç
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	E	
	0.01	0.25	0.25	0.1	

Başlangıç Olayı:

Soğutma Borulu Reaktör
Sıcaklık Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(2 numaralı sistem)



Şekil 3.3 Soğutma borulu reaktör sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolenden Çıkış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik

Fonksiyonları

Tanımlayıcı

Hatalar/İstenen

Basıncı
Gösteren Operatör

B
0.25

Beslemeyi Tekrar
Başlatan Operatör

C
0.25

Reaktörü
Durduran Operatör

D
0.1

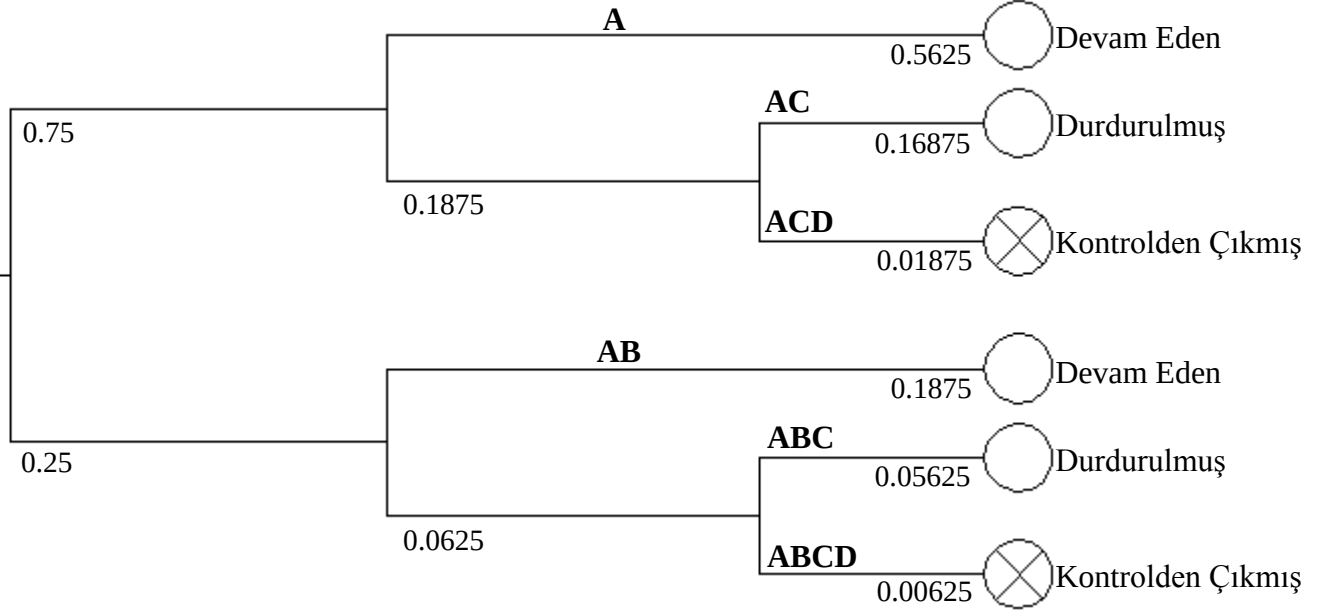
Sonuç

Başlangıç Olayı:

Soğutma Borulu Reaktör
Basınç Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(3 numaralı sistem)

A

1



Şekil 3.4 Soğutma borulu reaktör sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik**Fonksiyonları****Tanımlayıcı****Hatalar/İstenen**

Akış Hızını
Gösteren Operatör

B
0.25

Beslemeyi Tekrar
Başlatan Operatör

C
0.25

Reaktörü
Durduran Operatör

D
0.1

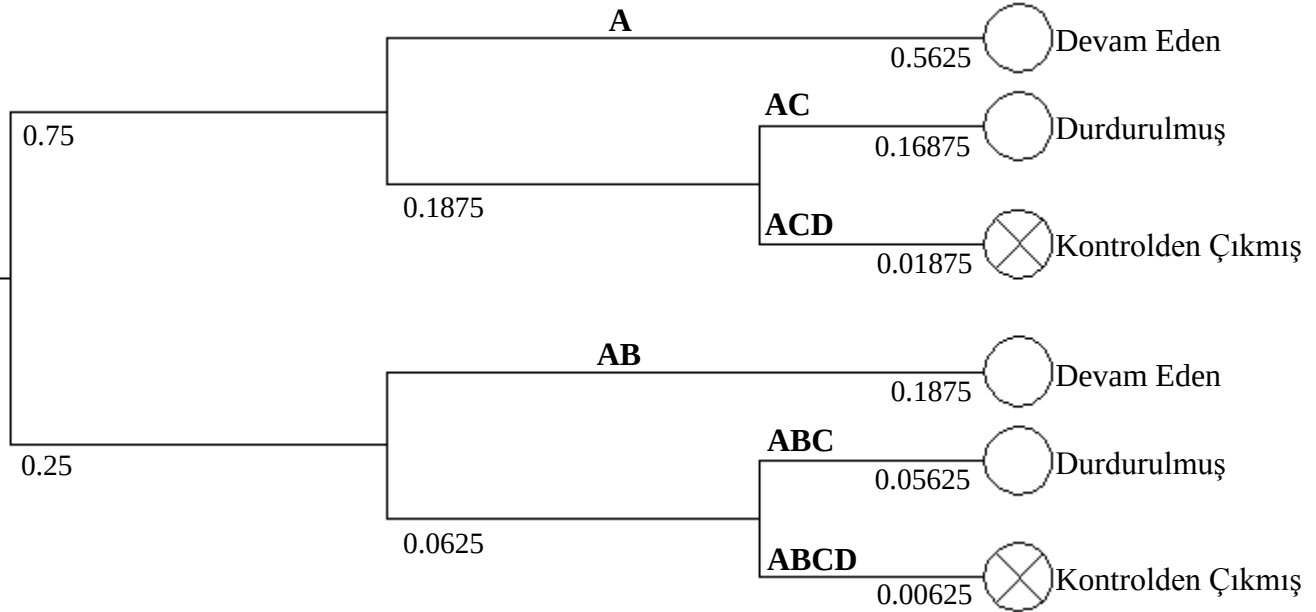
Sonuç

Başlangıç Olayı:

Soğutma Borulu Reaktör
Besleme Akış Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(4 numaralı sistem)

A

1



Şekil 3.5 Soğutma borulu reaktör sistemi için besleme akış kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolde Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik
Fonksiyonları
Tanımlayıcı
Hatalar/İstenen

Seviyeyi
Gösteren Operatör
B
0.25

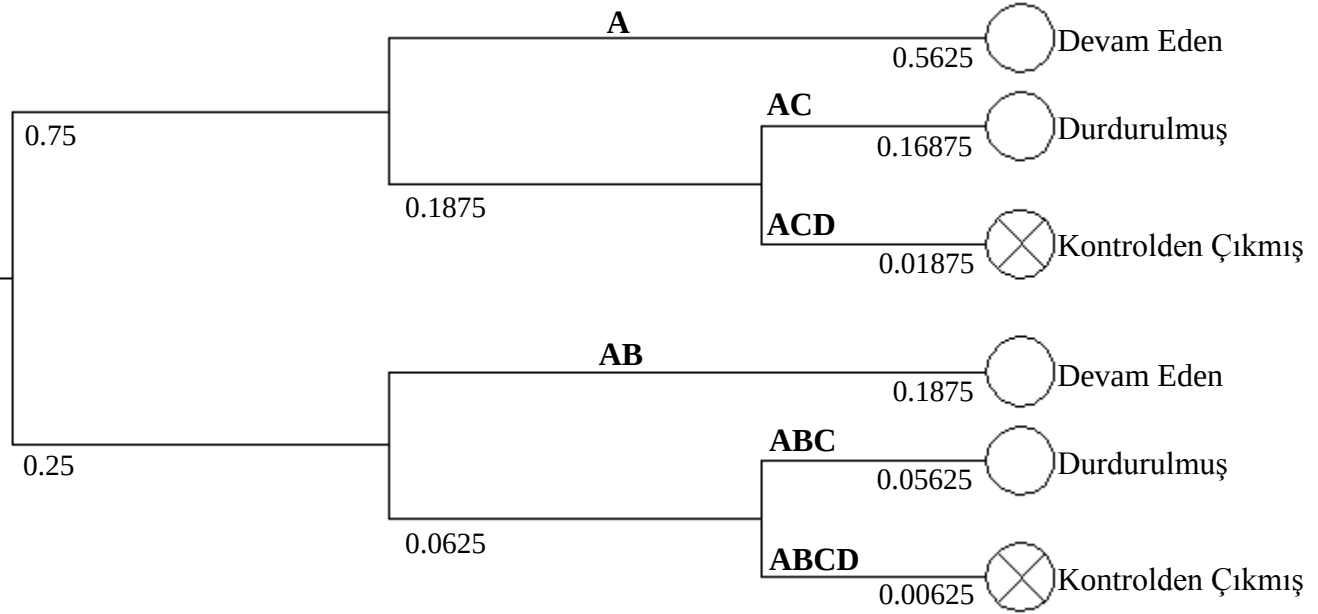
Ürün Çıkışını Tekrar
Başlatan Operatör
C
0.25

Reaktörü
Durduran Operatör
D
0.1

Sonuç

Başlangıç Olayı:
Soğutma Borulu Reaktör
Seviye Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(5 numaralı sistem)

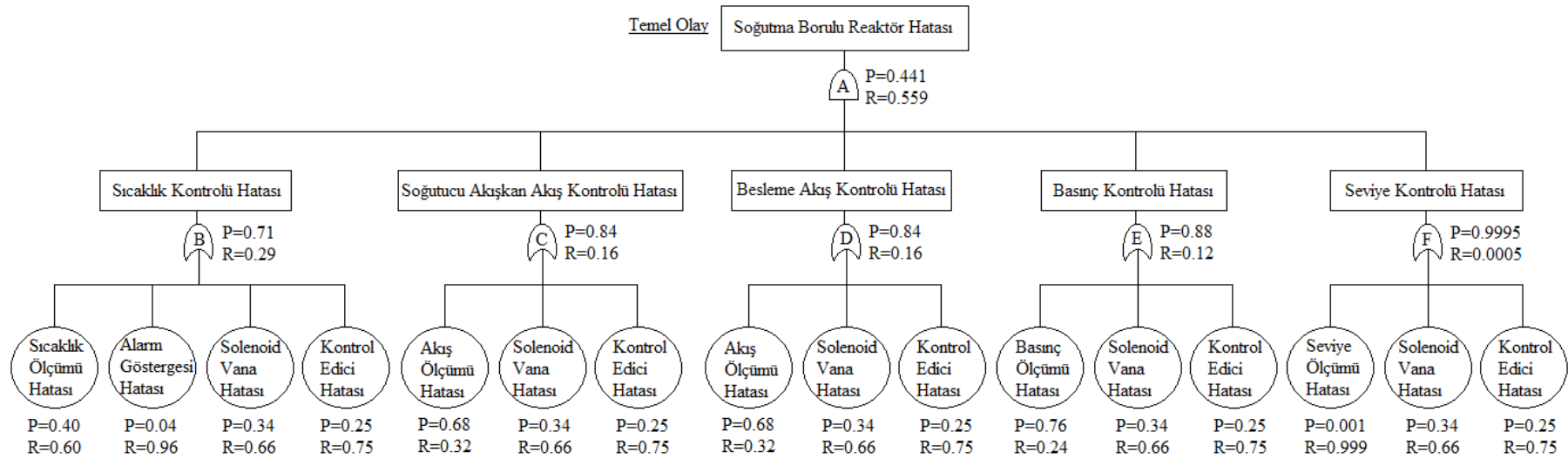
A
1



Şekil 3.6 Soğutma borulu reaktör sistemi için seviye kontrolü hatası olay ağacı
Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

3.1.4 Soğutma Borulu Reaktör için Hata Ağacı

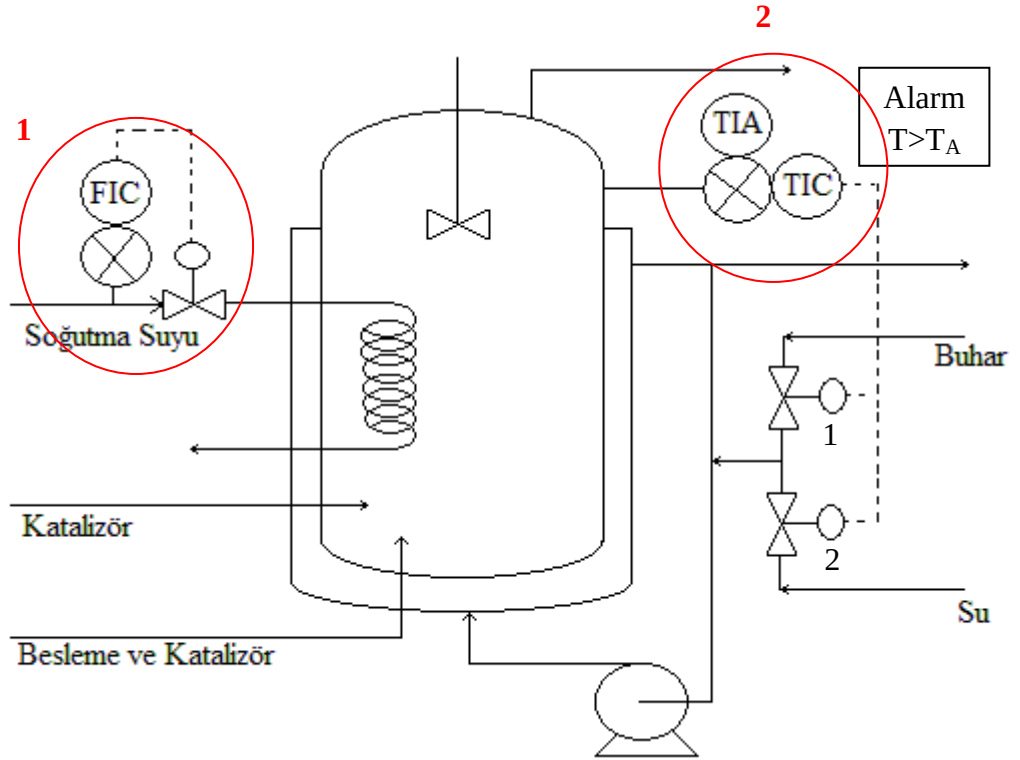
Soğutma borulu reaktör sistemi için hata ağacı analizi yapılırken, temel olay soğutma borulu reaktör hatası olarak dikkate alınır. Bu arızaya neden olabilecek tüm olayların analizi yapılarak, güvenilirlik ve arıza olasılıkları tek tek hata ağacı üzerine yazılır. Değerler olasılık teorisi kısmında hesaplanan değerlerdir (hata ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.4 Hata Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



Şekil 3.7 Soğutma borulu reaktör sistemi için hata ağacı

3.2 Ekzotermik Polimerizasyon Reaktörü

Egzotermik polimerizasyon reaktör sisteminde, soğutma suyu akış hızı ölçülerek kontrol edilir ve bir kontrol edici ile solenoid vana sistemine bağlanarak, tehlikeli durumlarda soğutma suyu beslemesi kontrol edilir (1 numaralı sistem). Soğutma fonksiyonunun kaybolması durumunda, reaktör sıcaklığı artacaktır ve buna bağlı olarak reaksiyon hızı artacaktır. Sonuç, reaktör tankının patlama basıncından fazla basınç ile kontrolsüz reaksiyonudur. Bu yüzden reaktörde sıcaklık ölçümü yapılır ve bir sıcaklık alarm sistemi ile sıcaklık ($T > T_A$) operatöre uyarı verilir, su ve buhar beslemelerine bağlı solenoid vanalar ile kontrol edilir (2 numaralı sistem).



Şekil 3.8 Egzotermik polimerizasyon reaktörü kontrol sistemi (Perry ve Chilton 1974)

3.2.1 Ekzotermik Polimerizasyon Reaktörü için HAZOP Formu

Çizelge 3.2 Ekzotermik polimerizasyon reaktörü için HAZOP formu

Proje Adı: Ekzotermik Polimerizasyon Reaktörü				Tarih:		Sayfa:80		Tamamlanmış:	
Proses: Ekzotermik Polimerizasyon Reaktörü								Olay Yok:	
Bölüm: 3.2				Referans Çizim: 3.8				Yanıt Tarihi:	
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:		
1A	Soğutma Boruları	Akış	No Not None	1. Soğutma suyu arızası 2. Tıkalı boru 3. Solenoid vana arızası 4. Kontrol edici arızası 5. Akış ölçer arızası	1. Soğutma kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. " 5. "	1. Su seviyesinin emniyet ve monitör güvenilirliği 2. Filtre takmak 3. Periyodik bakım yapmak 4. Kritik malzeme listesinde yer alır 5. "			
1B			High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Akış ölçer arızası	1. Aşırı soğutma, olası sızıntı 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
1C			Low	1. Kısmen tıkalı borular 2. Solenoid vana arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Akış ölçer arızası	1. Soğutma kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. "	1. Filtre takmak, 2. Periyodik bakım yapmak 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "			
1D			As well as Part of	1. Kirlilik 1.1C'ye bakın	1. Mümkün değil				
1E			Rerverse	1. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Soğutma kaybı, olası sızıntı	1. Periyodik bakım yapmak			
1G			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					
1H			Sooner than	1. Soğutma erken başlar	1. Yok				
1I			Later than	1. Kontrol edici hatası	1. Sıcaklık artışı, olası sızıntı	1. Kritik malzeme listesinde yer alır			
2A	Reaktör	Sıcaklık	High	1. Solenoid vana 1 arızası 2. Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Sıcaklık ölçümü arızası 5. Alarm arızası	1. Yüksek sıcaklık, reaktör patlaması 2. " 3. " 4. " 5. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. " 4. Periyodik bakım yapmak 5. "			
2B			Low	1. Solenoid vana 1 arızası 2. Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Sıcaklık ölçümü arızası	1. Düşük sıcaklık 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. " 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "			
2C			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					

3.2.2 Ekzotermik Polimerizasyon Reaktörü için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama

Ekzotermik polimerizasyon reaktörü için olasılık teorisi ile hesaplama yapılırken Çizelge 2.8'den yararlanılır ve ilgili proses bileşenleri için arıza hızları (μ) kullanılarak güvenilirlik ve arıza olasılığı hesaplanır. Daha sonra sıcaklık ve akış hızı kontrolü için ilgili bileşenlerin kombinasyonları hesaplanarak, ekzotermik polimerizasyon reaktörü için arıza hızı ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) hesaplanır (detaylı hesaplama basamaklarını “3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı Hesaplama” kısmında bulabilirsiniz).

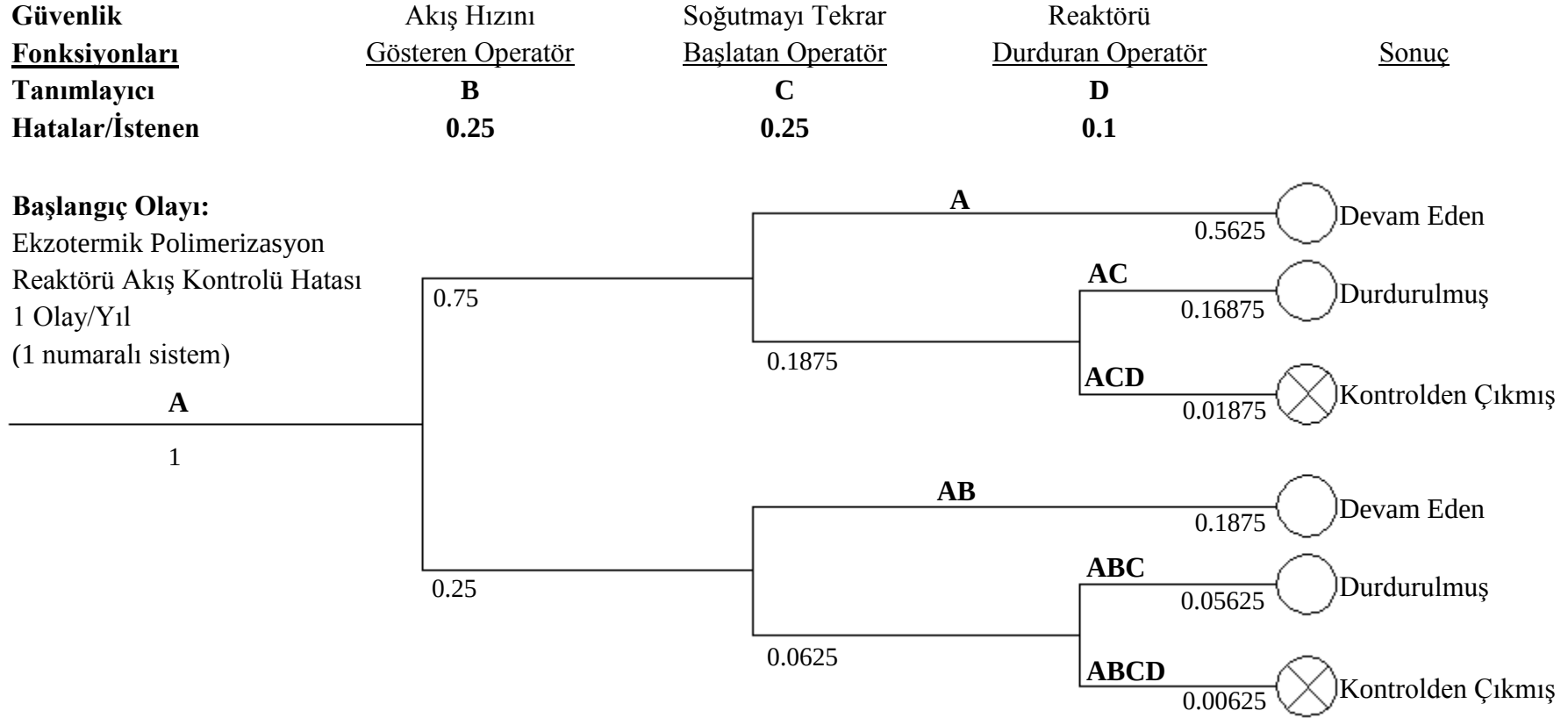
Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34
Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
Sıcaklık Ölçümü (Isıl Çift)	0.52	0.60	0.40
Basınç Ölçümü	1.41	0.24	0.76

İşletim süresi 1 yıl varsayılır.

Bileşen	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	MTBF (yıl)
1 Numaralı Sistem (Akış Kontrol)	0.16	0.84	1.83	0.55
2 Numaralı Sistem (Sıcaklık Kontrol)	0.19	0.81	1.7	0.60
Tüm Sistem	0.32	0.68	1.14	0.88

Ekzotermik polimerizasyon reaktör sisteminin ortalama olarak her 0.88 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

3.2.3 Ekzotermik Polimerizasyon Reaktörü için Olay Ağacı

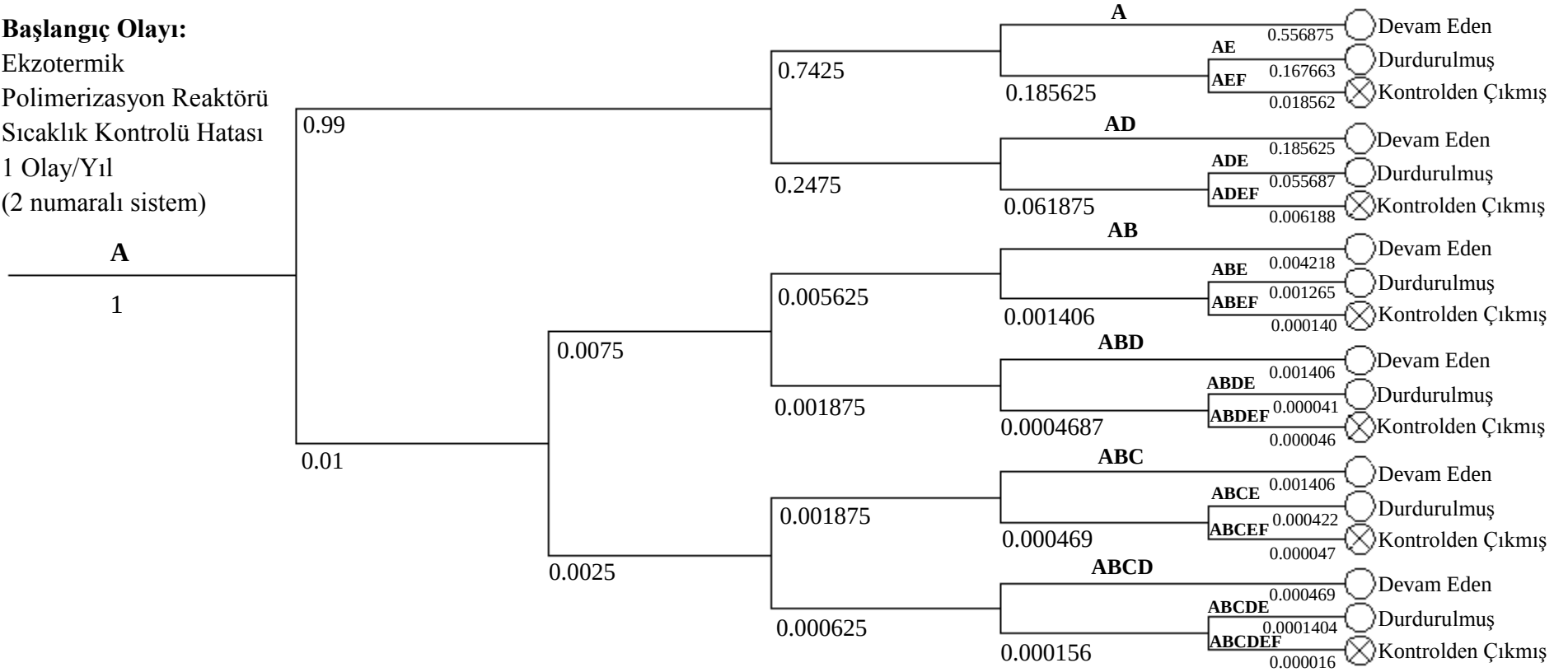


Şekil 3.9 Ekzotermik polimerizasyon reaktör sistemi için akış kontrolü hatası olay ağacı
Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik Fonksiyonları	Yüksek Sıcaklığı Alarm Veren Operatör	Sıcaklığı Gösteren Operatör	Buhar Girişini Tekrar Başlatan Operatör	Su Girişini Tekrar Başlatan Operatör	Reaktörü Durduran Operatör	Sonuç
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	E	F	
	0.01	0.25	0.25	0.25	0.1	

Başlangıç Olayı:

Ekzotermik
Polimerizasyon Reaktörü
Sıcaklık Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(2 numaralı sistem)

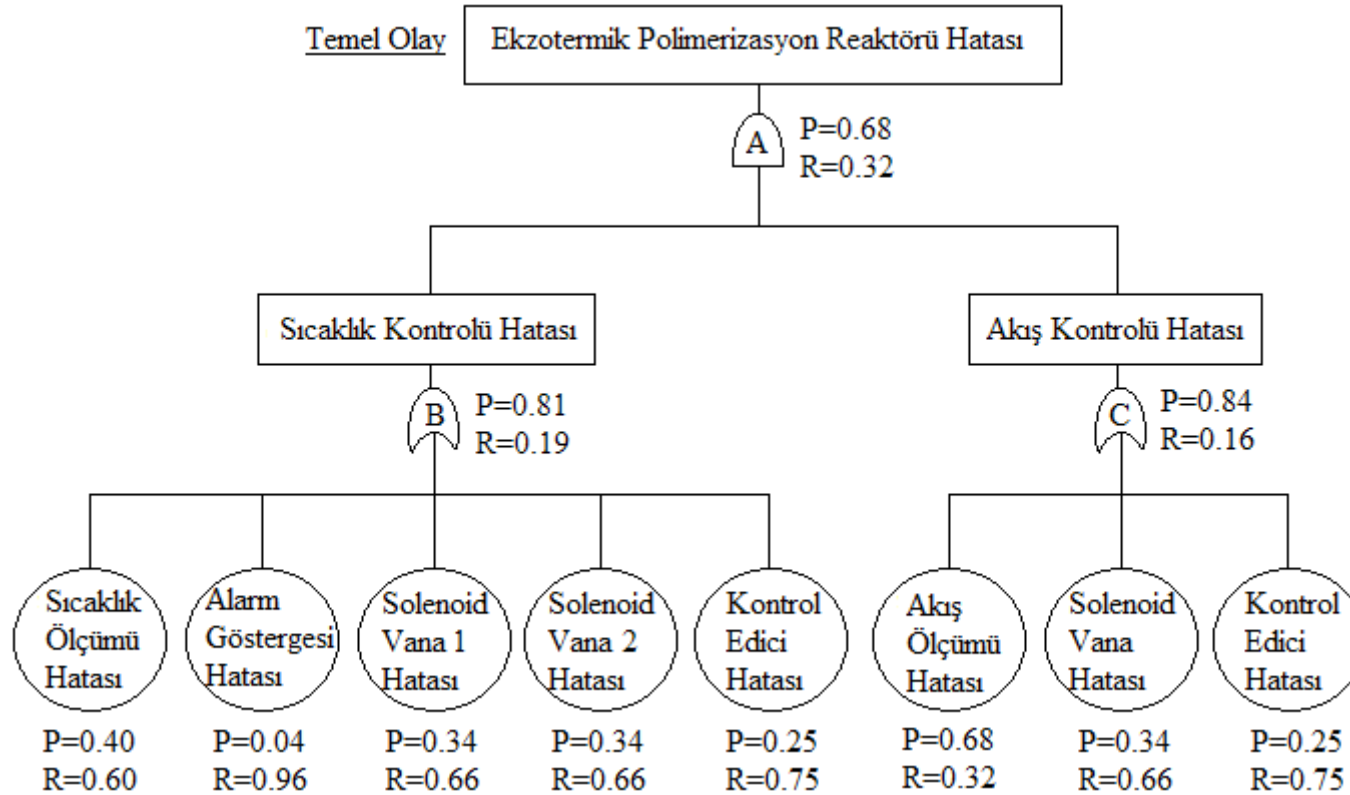


Şekil 3.10 Ekzotermik polimerizasyon reaktör sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolde Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

3.2.4 Ekzotermik Polimerizasyon Reaktörü için Hata Ağacı

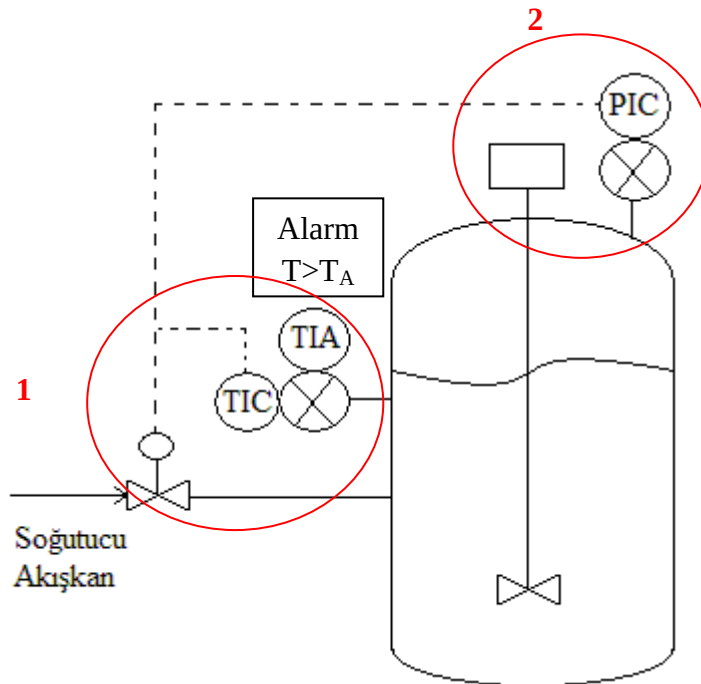
Ekzotermik polimerizasyon reaktör sistemi için hata ağacı analizi yapılırken, temel olay ekzotermik polimerizasyon reaktör hatası olarak dikkate alınır. Bu arızaya neden olabilecek tüm olayların analizi yapılarak, güvenilirlik ve arıza olasılıkları tek tek hata ağacı üzerine yazılır. Değerler olasılık teorisi kısmında hesaplanan değerlerdir (hata ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.4 Hata Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



Şekil 3.11 Ekzotermik polimerizasyon reaktör sistemi için hata ağacı

3.3 Kesikli Reaktör

Reaksiyona girecek bileşenler reaksiyon başlangıcında reaktöre beslenir. Reaksiyon süresince reaktöre tekrar bir besleme yapılmaz ve ürün çıkışı gerçekleşmez. Reaksiyon belli bir süre sonra sona erdirilir ve ürünler ile reaksiyona giren bileşenlerin kalanları reaktörden alınır. Soğutma fonksiyonunun kaybolması durumunda, reaktör sıcaklığı artacaktır ve buna bağlı olarak reaksiyon hızı artacaktır. Bu yüzden reaktörde sıcaklık ölçümü yapılır ve bir sıcaklık alarm sistemi ile sıcaklık ($T > T_A$) operatöre uyarı verilir ve solenoid vana ile kontrol edilir (1 numaralı sistem). Reaktörde basınç ölçümü yapılır ve bir kontrol edici ile basınç kontrolü sağlanır (2 numaralı sistem).



Şekil 3.12 Kesikli reaktör kontrol sistemi

3.3.1 Kesikli Reaktör için HAZOP Formu

Çizelge 3.3 Kesikli reaktör için HAZOP formu

Proje Adı: Kesikli Reaktör				Tarih:		Sayfa:86		Tamamlanmış:	
Proses: Kesikli Reaktör								Olay Yok:	
Bölüm: 3.3				Referans Çizim: 3.12				Yanıt Tarihi:	
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:		
1A	Soğutma Boruları	Akış	No Not None	1. Soğutma suyu arızası 2. Tıkalı boru 3. Solenoid vana arızası 4. Kontrol edici arızası	1. Soğutma kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. "	1. Su seviyesinin emniyet ve monitör güvenilirliği 2. Filtre takmak Periyodik bakım yapmak 3. Periyodik bakım yapmak 4. Kritik malzeme listesinde yer alır			
1B			High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası	1. Aşırı soğutma, olası sızıntı 2. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır			
1C			Low	1. Kısmen tıkalı borular 2. Solenoid vana arızası 3. Kontrol edici arızası	1. Soğutma kaybı, olası sızıntı 2. " 3. "	1. Filtre takmak, Periyodik bakım yapmak 2. Periyodik bakım yapmak 3. Kritik malzeme listesinde yer alır			
1D			As well as Part of	1. Kirlilik 1.1C'ye bakın	1. Mümkün değil				
1E			Rerverse	1. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Soğutma kaybı, olası sızıntı	1. Periyodik bakım yapmak			
1G			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					
1H			Sooner than	1. Soğutma erken başlar	1. Yok				
1I			Later than	1. Kontrol edici hatası	1. Sıcaklık artışı, olası sızıntı	1. Kritik malzeme listesinde yer alır			
2A	Reaktör	Sıcaklık	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası 4. Alarm arızası	1. Yüksek sıcaklık, reaktör patlaması 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. " 4. Periyodik bakım yapmak			
2B			Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası	1. Düşük sıcaklık 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
2C			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					
2D		Basınç	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	1. Yüksek basınç, reaktör patlaması 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
2E			Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	1. Düşük basınç 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			

3.2.2 Kesikli Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama

Kesikli reaktör için olasılık teorisi ile hesaplama yapılırken çizelge 2.8'den yararlanılır ve ilgili proses bileşenleri için arıza hızları (μ) kullanılarak güvenilirlik ve arıza olasılığı hesaplanır. Daha sonra sıcaklık ve basınç kontrolü için ilgili bileşenlerin kombinasyonları hesaplanarak, kesikli reaktör için arıza hızı ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) hesaplanır (detaylı hesaplama basamaklarını “3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı Hesaplama” kısmında bulabilirsiniz).

Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34
Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
Sıcaklık Ölçümü (Isıl Çift)	0.52	0.60	0.40
Akış Ölçümü (Akışkanlar)	1.14	0.32	0.68

İşletim süresi 1 yıl varsayılır.

Bileşen	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	MTBF (yıl)
1 Numaralı Sistem (Sıcaklık Kontrol)	0.29	0.71	1.2	0.83
2 Numaralı Sistem (Basınç Kontrol)	0.12	0.88	2.12	0.47
Tüm Sistem	0.375	0.625	0.98	1.02

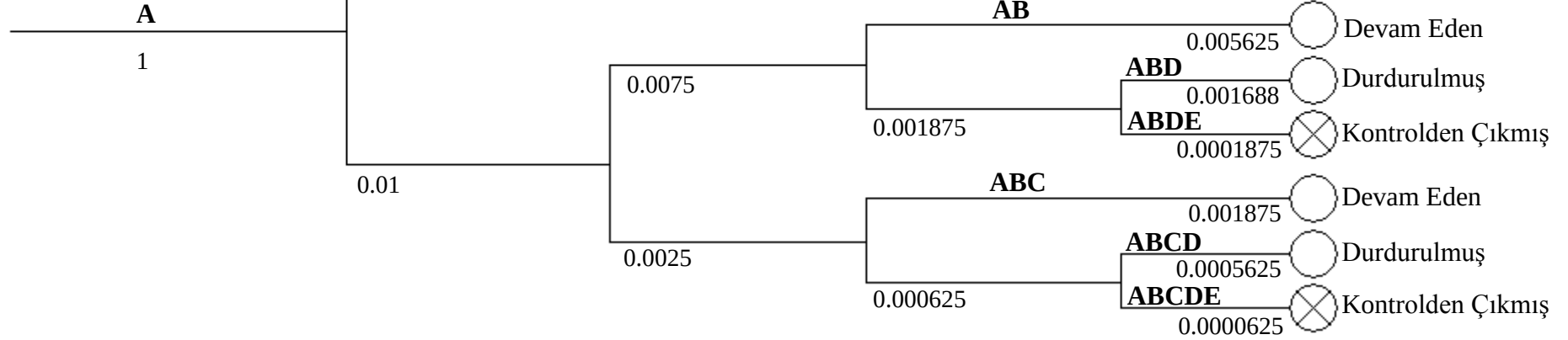
Kesikli reaktör sisteminin ortalama olarak her 1.02 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

3.3.3 Kesikli Reaktör için Olay Ağacı

Güvenlik Fonksiyonları	Yüksek Sıcaklığı Alarm Veren Operatör	Sıcaklığı Gösteren Operatör	Soğutmayı Tekrar Başlatan Operatör	Reaktörü Durduran Operatör	Sonuç
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	E	
	0.01	0.25	0.25	0.1	

Başlangıç Olayı:

Kesikli Reaktör
Sıcaklık Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(1 numaralı sistem)



Şekil 3.13 Kesikli reaktör sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolinden Çıkış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik

Fonksiyonları

Tanımlayıcı

Hatalar/İstenen

Basıncı
Gösteren Operatör

B
0.25

Soğutmayı Tekrar
Başlatan Operatör

C
0.25

Reaktörü
Durduran Operatör

D
0.1

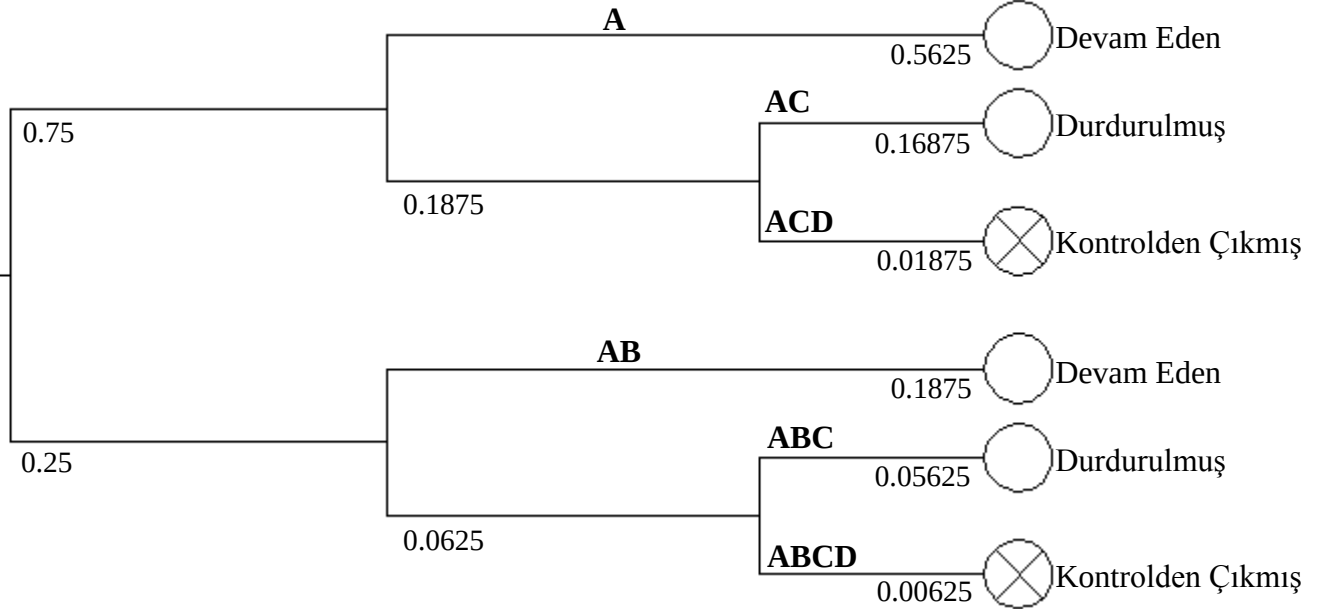
Sonuç

Başlangıç Olayı:

Kesikli Reaktör
Basınç Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(2 numaralı sistem)

A

1

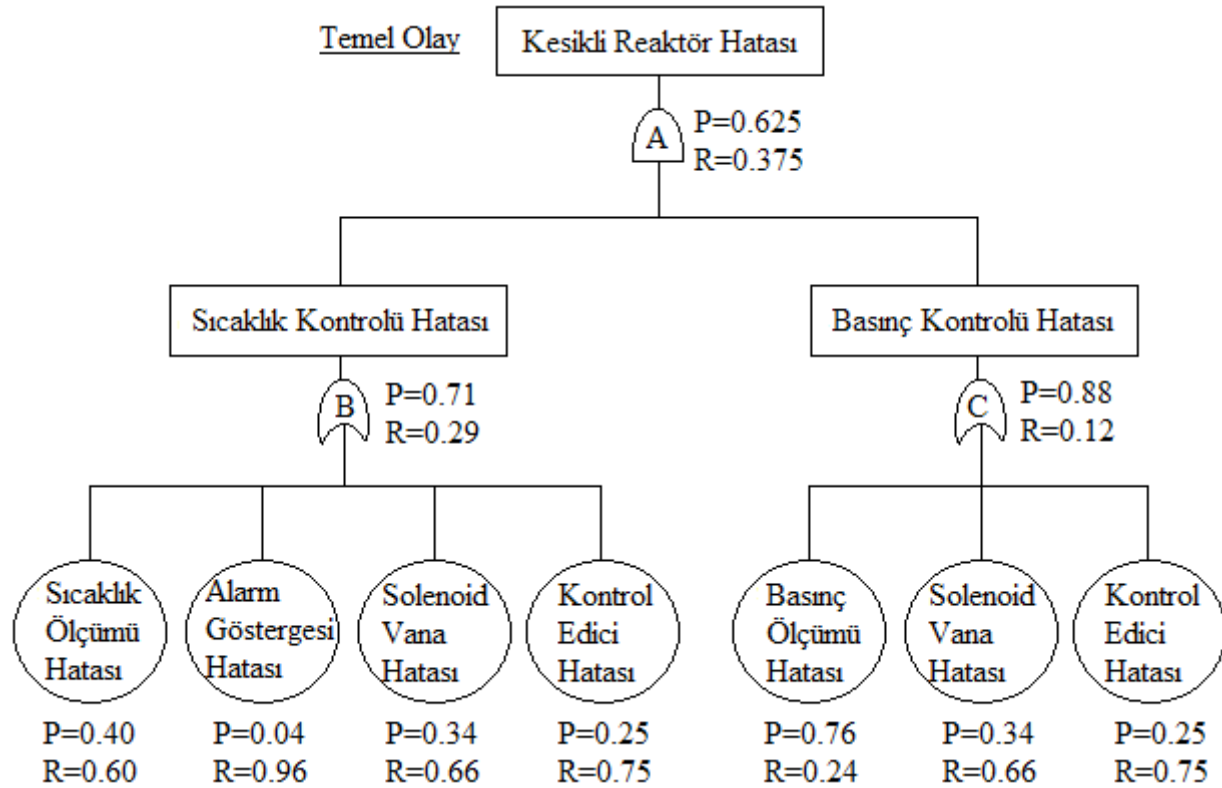


Şekil 3.14 Kesikli reaktör sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

3.3.4 Kesikli Reaktör için Hata Ağacı

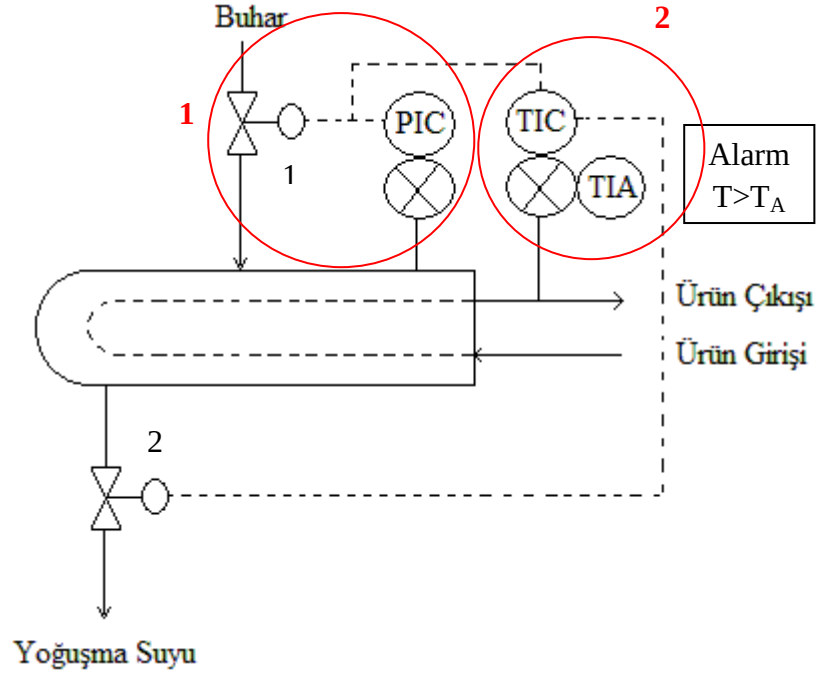
Kesikli reaktör sistemi için hata ağacı analizi yapılırken, temel olay kesikli reaktör hatası olarak dikkate alınır. Bu arızaya neden olabilecek tüm olayların analizi yapılarak, güvenilirlik ve arıza olasılıkları tek tek hata ağacı üzerine yazılır. Değerler olasılık teorisi kısmında hesaplanan değerlerdir (hata ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.4 Hata Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



Şekil 3.15 Kesikli reaktör sistemi için hata ağacı

3.4 Isı Değiştirici

Isı değiştiriciler, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasında ısı enerjisinin değişimini sağlayan cihazlardır. Isı değiştirici kontrol sisteminde, reaktördeki basınç ölçülerek bir kontrol edici ile buhar girişindeki solenoid vana kontrol edilir (1 numaralı sistem). Ürün çıkışında sıcaklık ölçümü yapılarak, kontrol edici ile buhar girişinde ve yoğuşma suyu çıkışındaki solenoid vanalar kontrol edilir. Aynı zamanda alarm sistemi ile tehlikeli sıcaklıklara ($T > T_A$) ulaşıldığında sesli uyarı verilerek de kontrol sağlanır (2 numaralı sistem).



Şekil 3.16 Isı değiştirici kontrol sistemi (Perry ve Chilton 1974)

3.4.1 Isı Değiştirici için HAZOP Formu

Çizelge 3.4 Isı değiştirici için HAZOP formu

Proje Adı: Isı Değiştirici				Tarih:	Sayfa:92	Tamamlanmış:	
Proses: Isı Değiştirici						Olay Yok:	
Bölüm: 3.4				Referans Çizim: 3.16		Yanıt Tarihi:	
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:
1A	Isı Değiştirici	Basınç	High	1. Solenoid vana arızası	1.Yüksek basınç, ısı değiştirici patlaması	1. Periyodik bakım yapmak	
1B			Low	2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	2. " 3. "	2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "	
1C		Sıcaklık	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	1.Düşük basınç 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "	
1D			Low	1.Solenoid vana 1 arızası 2.Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4.Sıcaklık ölçümü arızası 5.Alarm arızası	1. Yüksek basınç, ısı değiştirici patlaması 2. " 3. " 4. " 5. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. " 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. " 5. Periyodik bakım yapmak	
				Other than	1.Solenoid vana 1 arızası 2.Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4.Sıcaklık ölçümü arızası	1.Düşük sıcaklık 2. " 3. " 4. "	
1E				1.Olasılık dikkate alınmaz			

3.4.2 Isı Değiştirici için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama

Isı değiştirici için olasılık teorisi ile hesaplama yapılırken çizelge 2.8’den yararlanılır ve ilgili proses bileşenleri için arıza hızları (μ) kullanılarak güvenilirlik ve arıza olasılığı hesaplanır. Daha sonra sıcaklık ve basınç kontrolü için ilgili bileşenlerin kombinasyonları hesaplanarak, ısı değiştirici için arıza hızı ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) hesaplanır (detaylı hesaplama basamaklarını “3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı Hesaplama” kısmında bulabilirsiniz).

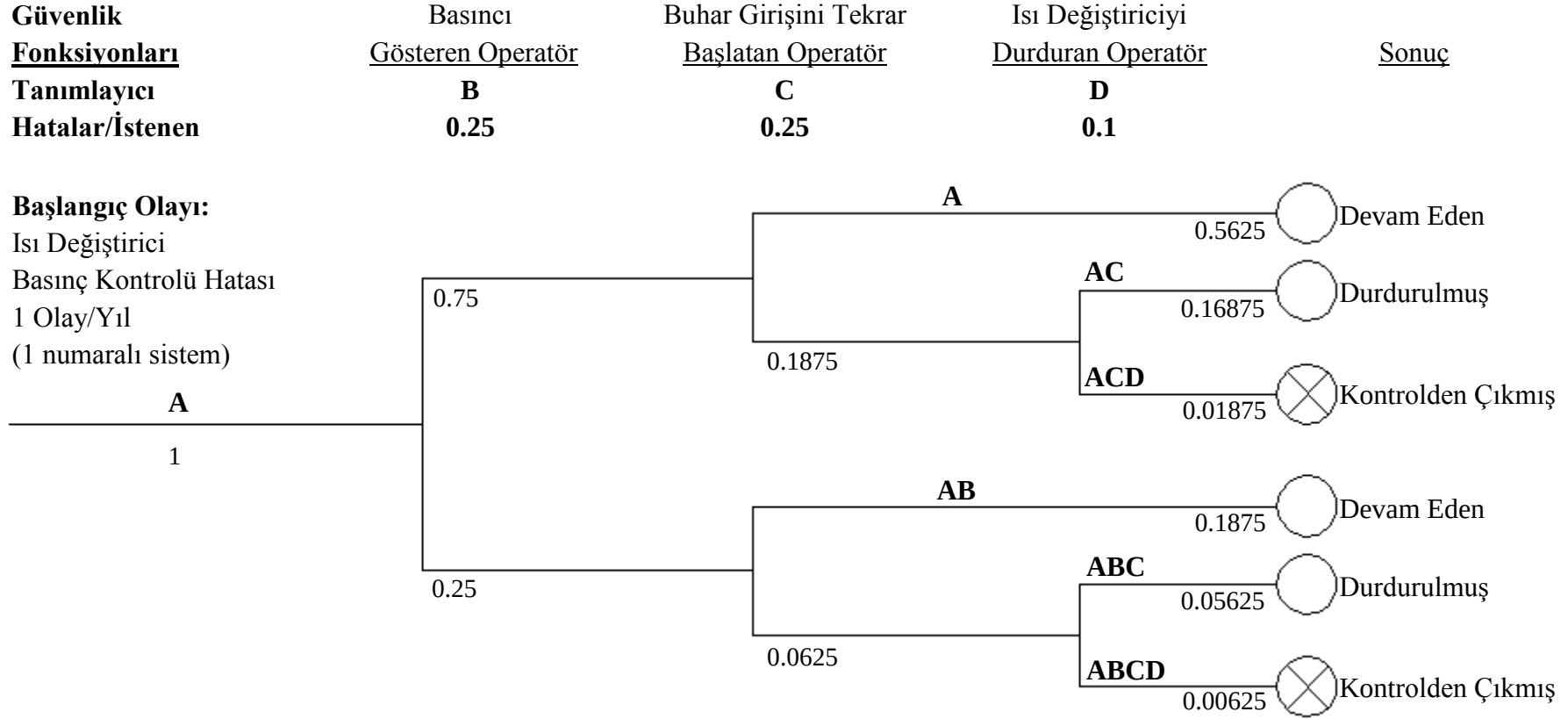
Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34
Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
Sıcaklık Ölçümü (Isıl Çift)	0.52	0.60	0.40
Basınç Ölçümü	1.41	0.24	0.76

İşletim süresi 1 yıl varsayılır.

Bileşen	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	MTBF (yıl)
1 Numaralı Sistem (Basınç Kontrol)	0.12	0.88	2.12	0.47
2 Numaralı Sistem (Sıcaklık Kontrol)	0.19	0.81	1.7	0.60
Tüm Sistem	0.287	0.713	1.25	0.80

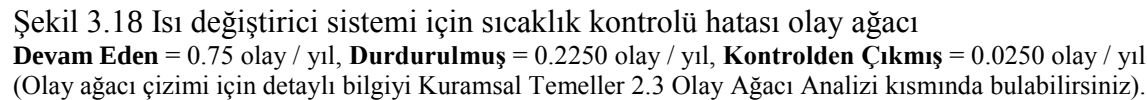
Isı değiştirici sisteminin ortalama olarak her 0.80 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

3.4.3 Isı Değiştirici için Olay Ağacı



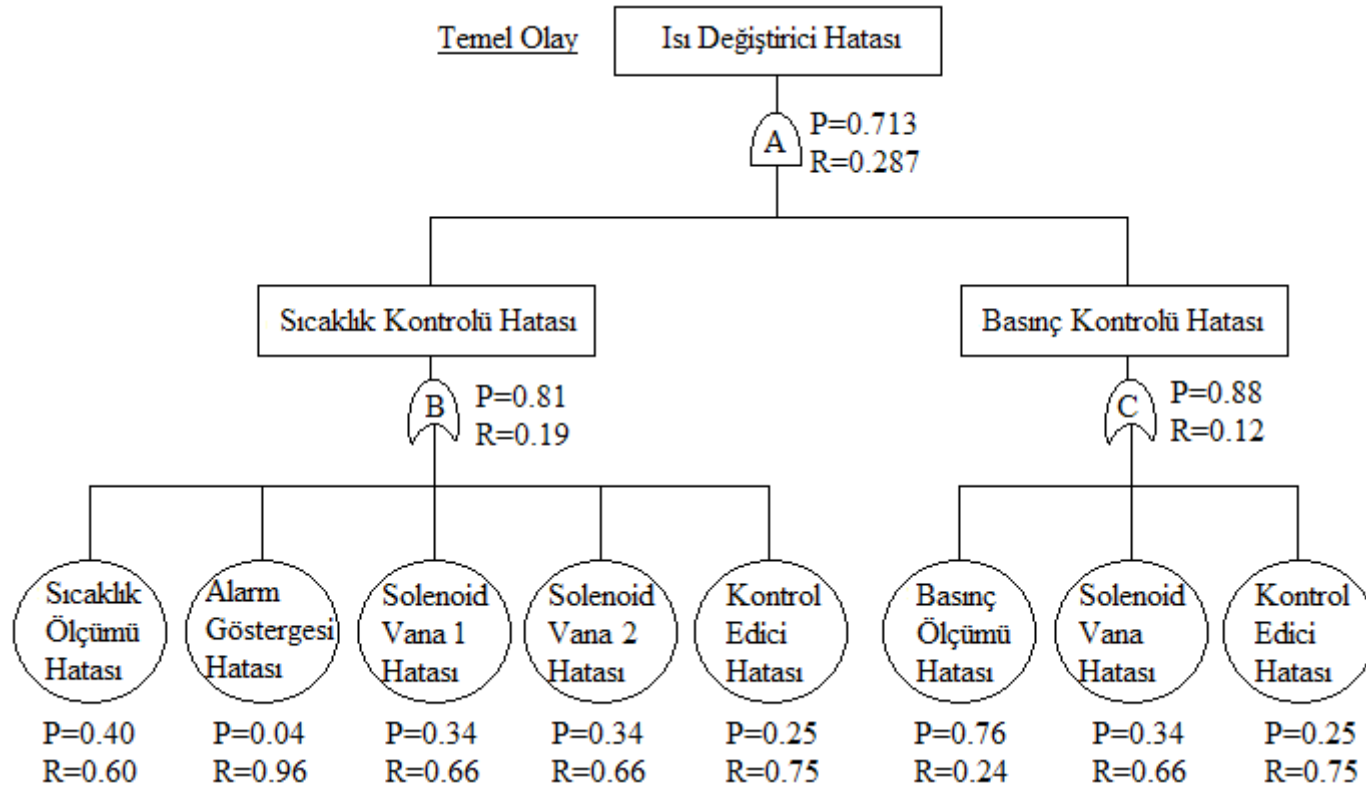
Şekil 3.17 Isı değiştirici sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



3.4.4 Isı Değiştirici için Hata Ağacı

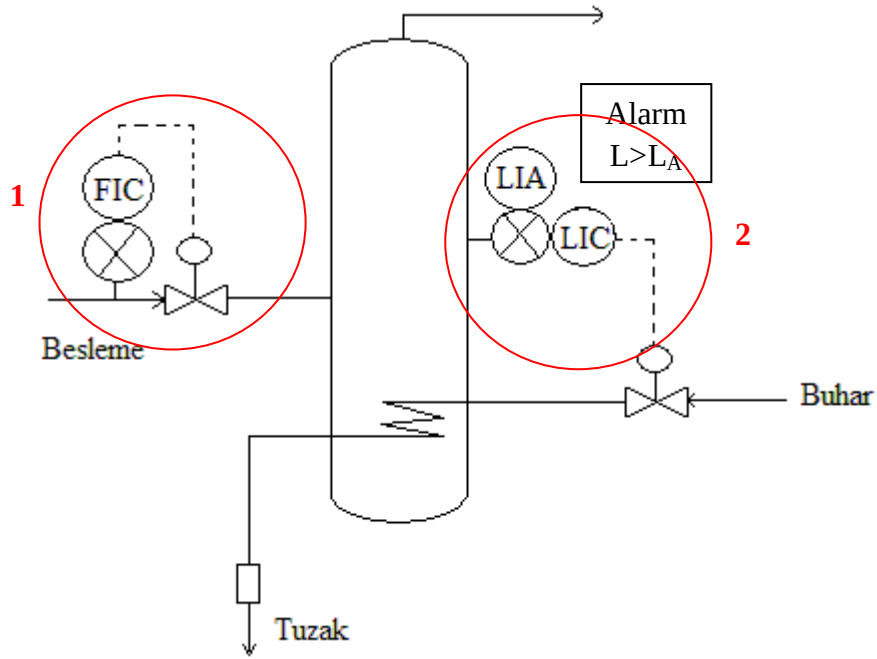
Isı değiştirici sistemi için hata ağacı analizi yapılırken, temel olay ısı değiştirici hatası olarak dikkate alınır. Bu arızaya neden olabilecek tüm olayların analizi yapılarak, güvenilirlik ve arıza olasılıkları tek tek hata ağacı üzerine yazılır. Değerler olasılık teorisi kısmında hesaplanan değerlerdir (hata ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.4 Hata Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



Şekil 3.19 Isı değiştirici sistemi için hata ağacı

3.5 Buharlaştırıcı

Buharlaştırma; biri uçucu diğeri uçucu olmayan veya uçuculuğu çok düşük bileşenlerden oluşan çözeltiden, daha uçucu olan bileşenin buharlaştırılması ile çözeltiyi derişikletirme işlemidir. Buharlaştırıcı bir maddenin soğutucu akışkanın buharlaşma gizli ısını kullanarak soğutur. Buharlaştırıcı kontrol sisteminde beslemenin akış hızı ölçülür, tehlikeli akış hızında kontrol edici ve solenoid vana ile kontrol sağlanır (1 numaralı sistem). Buna ek olarak, seviye ölçümü yapılarak kontrol edici ve solenoid vana ile kontrol sağlanır. Ayrıca bir seviye alarm sistemi ile tehlikeli seviyelerde ($L > L_A$) operatöre uyarı verilir, kontrol edici ve solenoid vana ile tehlikeli durumlarda kontrol sağlanır (2 numaralı sistem).



Şekil 3.20 Buharlaştırıcı kontrol sistemi (Sinnot 1999)

3.5.1 Buharlaştırıcı için HAZOP Formu

Çizelge 3.5 Buharlaştırıcı için HAZOP formu

Proje Adı: Buharlaştırıcı				Tarih:		Sayfa:98		Tamamlanmış:	
Proses: Buharlaştırıcı								Olay Yok:	
Bölüm: 3.5				Referans Çizim: 3.20				Yanıt Tarihi:	
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:		
1A	Besleme Borusu	Akış	No Not None	1. Besleme arızası 2. Tıkalı boru 3. Solenoid vana arızası 4. Kontrol edici arızası 5. Akış ölçer arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. " 5. "	1. Besleme seviyesinin emniyet ve monitör güvenilirliği 2. Filtre takmak 3. Periyodik bakım yapmak 4. Kritik malzeme listesinde yer alır 5. "			
1B			High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Akış ölçer arızası	1. Aşırı besleme, olası sızıntı 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
1C			Low	1. Kısmen tıkalı borular 2. Solenoid vana arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Akış ölçer arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. "	1. Filtre takmak, 2. Periyodik bakım yapmak 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "			
1D			As well as	1. Kirlilik	1. Mümkün değil				
1E			Part of	1. 3C'ye bakın					
1F			Rerverse	1. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Periyodik bakım yapmak			
1G			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					
1H			Sooner than	1. Besleme erken başlar	1. Yok				
1I			Later than	1. Kontrol edici hatası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Kritik malzeme listesinde yer alır			
2A	Buharlaştırıcı	Seviye	No Not None	1. Seviye yok, 1A'ya bakın					
2B			High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Seviye ölçümü arızası 4. Alarm arızası	1. Yüksek seviye, taşma 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. " 4. Periyodik bakım yapmak			
2C			Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Seviye ölçümü arızası	1. Düşük seviye 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
2D			Other than	1. İçerik kaybı, 1A'ya bakın					

3.5.2 Buharlaştırıcı için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama

Buharlaştırıcı için olasılık teorisi ile hesaplama yapılırken çizelge 2.8’den yararlanılır ve ilgili proses bileşenleri için arıza hızları (μ) kullanılarak güvenilirlik ve arıza olasılığı hesaplanır. Daha sonra akış hızı ve seviye kontrolü için ilgili bileşenlerin kombinasyonları hesaplanarak, buharlaştırıcı için arıza hızı ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) hesaplanır (detaylı hesaplama basamaklarını “3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı Hesaplama” kısmında bulabilirsiniz).

Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34
Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
Akış Ölçümü (Akışkanlar)	1.14	0.32	0.68
Seviye Ölçümü (Sıvılar)	6.86	0.001	0.999

İşletim süresi 1 yıl varsayılır.

Bileşen	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	MTBF (yıl)
1 Numaralı Sistem (Akış Kontrol)	0.16	0.84	1.83	0.55
2 Numaralı Sistem (Seviye Kontrol)	0.0005	0.9995	7.6	0.13
Tüm Sistem	0.16	0.84	1.83	0.55

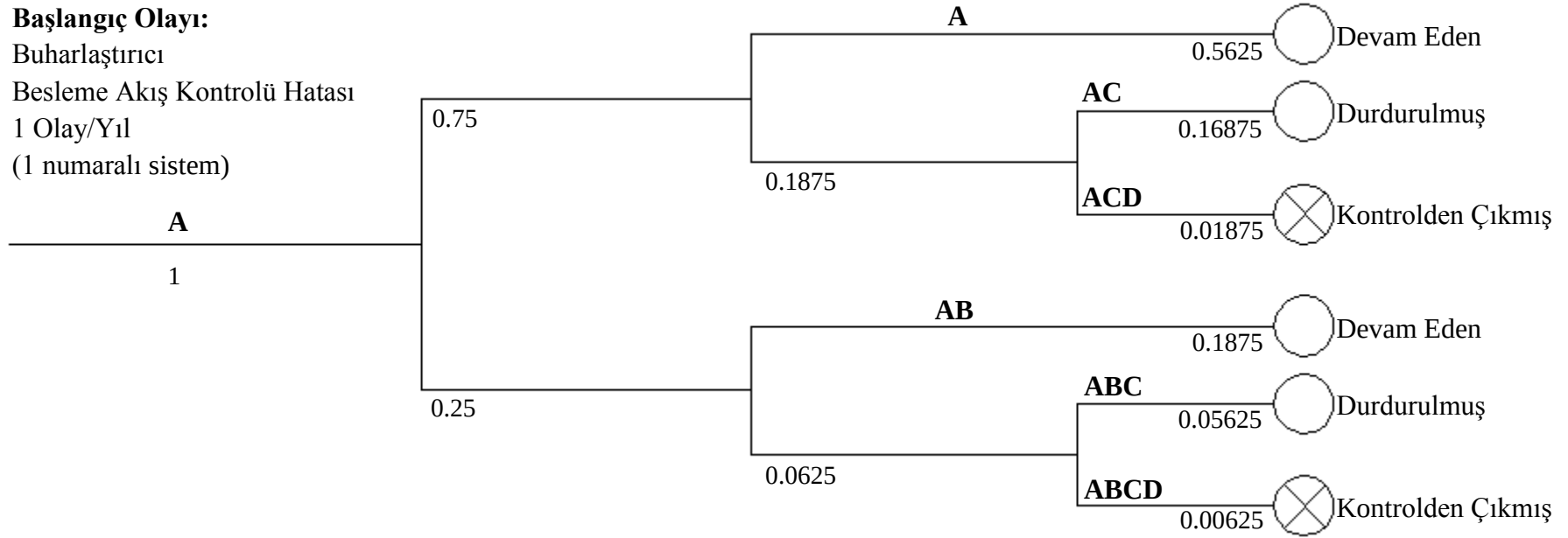
Buharlaştırıcı sisteminin ortalama olarak her 0.55 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

3.5.3 Buharlaştırıcı için Olay Ağacı

Güvenlik Fonksiyonları	Akış Hızını Gösteren Operatör	Beslemeyi Tekrar Başlatan Operatör	Buharlaştırıcıyı Durduran Operatör	Sonuç
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	
	0.25	0.25	0.1	

Başlangıç Olayı:

Buharlaştırıcı
Besleme Akış Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(1 numaralı sistem)



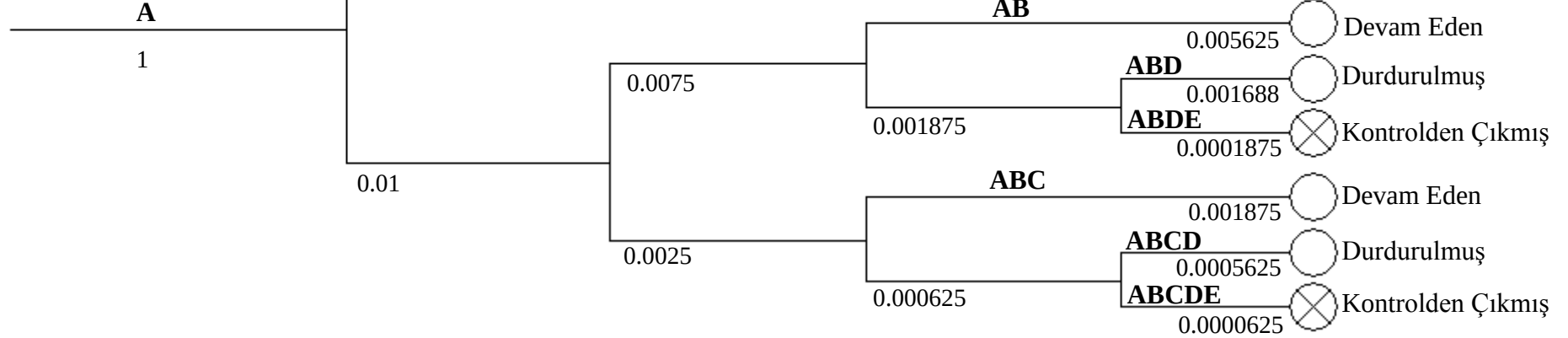
Şekil 3.21 Buharlaştırıcı sistemi için besleme akış kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik Fonksiyonları	Yüksek Seviyeyi Alarm Veren Operatör	Seviyeyi Gösteren Operatör	Buhar Girişini Tekrar Başlatan Operatör	Buharlaştırıcıyı Durduran Operatör	Sonuç
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	E	
	0.01	0.25	0.25	0.1	

Başlangıç Olayı:

Buharlaştırıcı
Seviye Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(2 numaralı sistem)

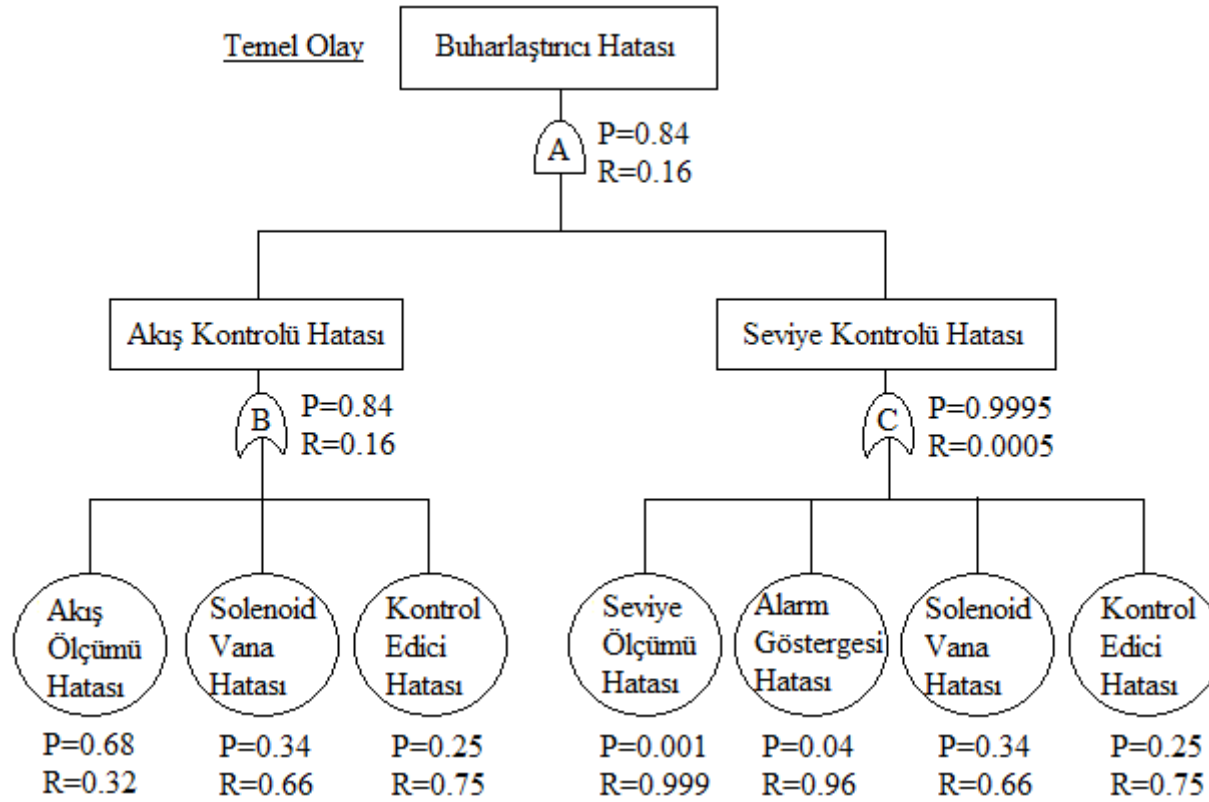


Şekil 3.22 Buharlaştırıcı sistemi için seviye kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

3.5.4 Buharlaştırıcı için Hata Ağacı

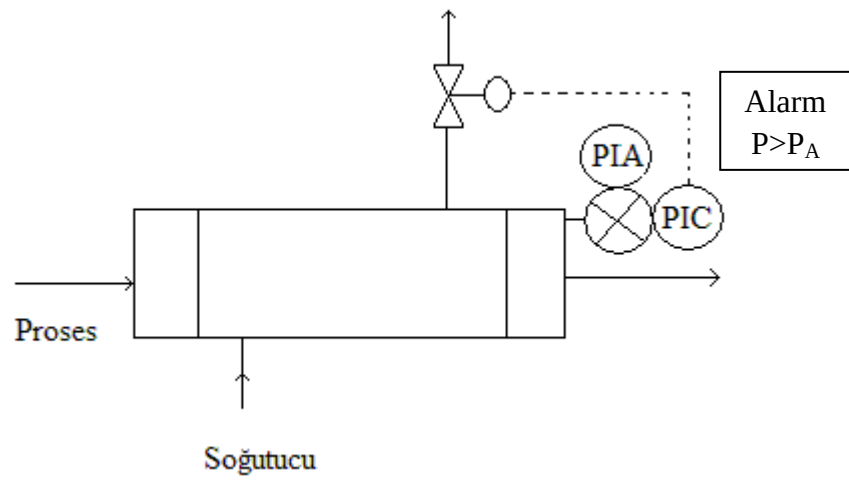
Buharlaştırıcı sistemi için hata ağacı analizi yapılırken, temel olay buharlaştırıcı hatası olarak dikkate alınır. Bu arızaya neden olabilecek tüm olayların analizi yapılarak, güvenilirlik ve arıza olasılıkları tek tek hata ağacı üzerine yazılır. Değerler olasılık teorisi kısmında hesaplanan değerlerdir (hata ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.4 Hata Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



Şekil 3.23 Buharlaştırıcı sistemi için hata ağacı

3.6 Yoğuşturucu

Soğutucu sistemlerde soğutmayı sağlayan maddenin gaz olarak girdikten sonra ısını çevreye vererek sıvı hale geçtiği bölümdür. Yoğuşturucu kontrol siteminde basınç ölçümü yapılır ve bir kontrol edici ile soğutucu çıkışındaki solenoid vanaya bağlanarak kontrol sağlanır. Ayrıca bir basınç alarm sistemi ile tehlikeli basınçlarda ($P > P_A$) operatöre uyarı verilir, kontrol edici ve solenoid vana ile tehlikeli durumlarda kontrol sağlanır.



Şekil 3.24 Yoğuşturucu kontrol sistemi (Sinnot 1999)

3.6.1 Yoğuşturucu için HAZOP Formu

Çizelge 3.6 Yoğuşturucu için HAZOP formu

Proje Adı: Yoğuşturucu				Tarih:		Sayfa:104		Tamamlanmış:	
Proses: Yoğuşturucu								Olay Yok:	
Bölüm: 3.6				Referans Çizim: 3.24				Yanıt Tarihi:	
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:		
1A	Soğutma Boruları	Akış	No Not None	1. Soğutma suyu arızası 2. Tıkalı boru 3. Solenoid vana arızası 4. Kontrol edici arızası	1. Soğutma kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. "	1. Su seviyesinin emniyet ve monitör güvenilirliği 2. Filtre takmak 3. Periyodik bakım yapmak 4. Kritik malzeme listesinde yer alır			
1B			High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası	1. Aşırı soğutma, olası sızıntı 2. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır			
1C			Low	1. Kısmen tıkalı borular 2. Solenoid vana arızası 3. Kontrol edici arızası	1. Soğutma kaybı, olası sızıntı 2. " 3. "	1. Filtre takmak, Periyodik bakım yapmak 2. Periyodik bakım yapmak 3. Kritik malzeme listesinde yer alır			
1D			As well as	1. Kirlilik	1. Mümkün değil				
1E			Part of	1. 1C'ye bakın					
1F			Rerverse	1. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Soğutma kaybı, olası sızıntı	1. Periyodik bakım yapmak			
1G			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					
1H			Sooner than	1. Soğutma erken başlar	1. Yok				
1I			Later than	1. Kontrol edici hatası	1. Sıcaklık artışı, olası sızıntı	1. Kritik malzeme listesinde yer alır			
2A	Yoğuşturucu	Basınç	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası 4. Alarm arızası	1. Yüksek basınç, yoğuşturucu patlaması 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. " 4. Periyodik bakım yapmak			
2B			Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası	1. Düşük basınç 2. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır			

3.6.2 Yoğuşturucu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama

Yoğuşturucu için olasılık teorisi ile hesaplama yapılırken çizelge 2.8’den yararlanılır ve ilgili proses bileşenleri için arıza hızları (μ) kullanılarak güvenilirlik ve arıza olasılığı hesaplanır. Daha sonra basınç kontrolü için ilgili bileşenlerin kombinasyonları hesaplanarak, yoğuşturucu için arıza hızı ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) hesaplanır (detaylı hesaplama basamaklarını “3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı Hesaplama” kısmında bulabilirsiniz).

Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34
Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
Basınç Ölçümü	1.41	0.24	0.76

İşletim süresi 1 yıl varsayılır.

Bileşen	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	MTBF (yıl)
Basınç Kontrol Tüm Sistem	0.11	0.89	2.21	0.45

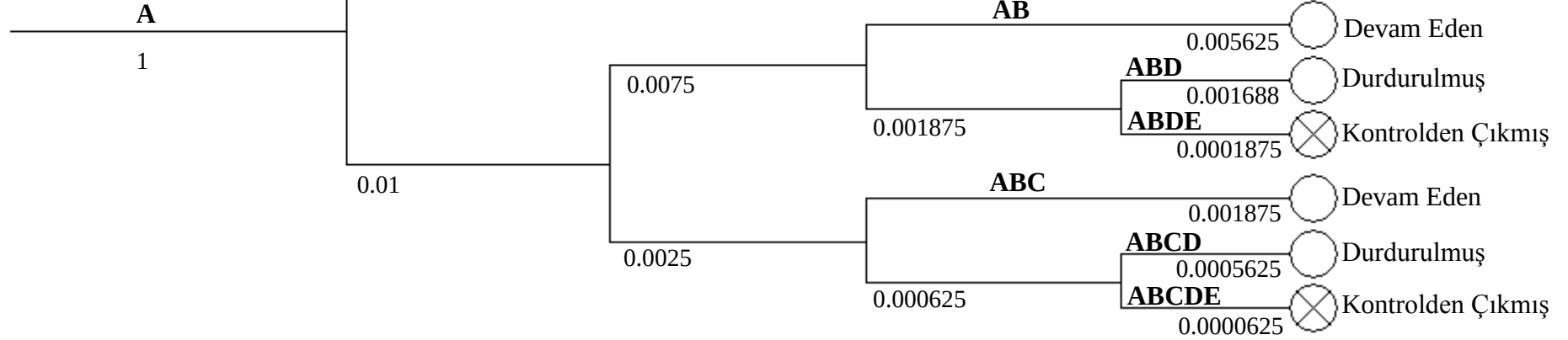
Yoğuşturucu kontrol sistemin ortalama olarak her 0.45 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

3.6.3 Yoğuşturucu için Olay Ağacı

Güvenlik Fonksiyonları	Yüksek Basıncı Alarm Veren Operatör	Basıncı Gösteren Operatör	Soğutucu Çıkışını Tekrar Başlatan Operatör	Yoğuşturucuyu Durduran Operatör	Sonuç
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	E	
	0.01	0.25	0.25	0.1	

Başlangıç Olayı:

Yoğuşturucu Basınç Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl

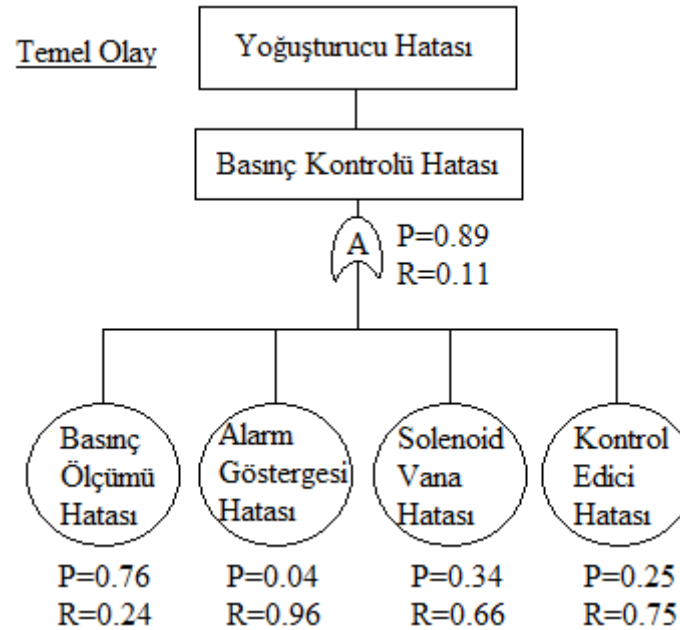


Şekil 3.25 Yoğuşturucu sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolenden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

3.6.4 Yoğuşturucu için Hata Ağacı

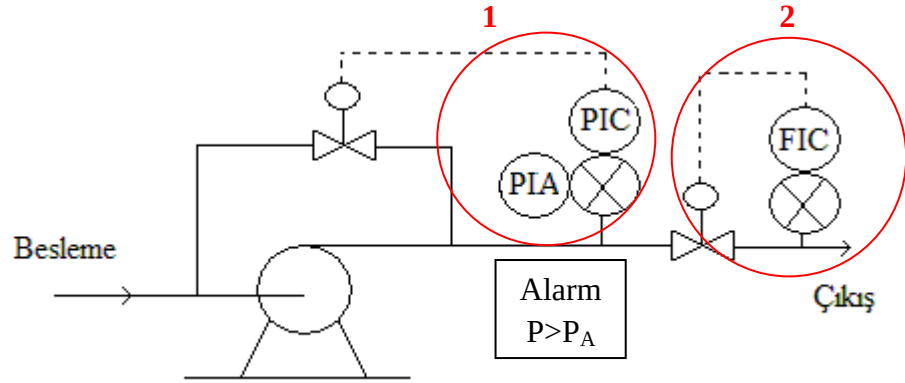
Yoğuşturucu sistemi için hata ağacı analizi yapılırken, temel olay yoğuşturucu hatası olarak dikkate alınır. Bu arızaya neden olabilecek tüm olayların analizi yapılarak, güvenilirlik ve arıza olasılıkları tek tek hata ağacı üzerine yazılır. Değerler olasılık teorisi kısmında hesaplanan değerlerdir (hata ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.4 Hata Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



Şekil 3.26 Yoğuşturucu sistemi için hata ağacı

3.7 Santrifüj Pompa/Kompresör

Santrifüj pompa ve kompresörler sıvıların/gazların enerjisini veya basıncını artıran makinalardır. Bu bakımdan bir sıvının/gazın alçak seviyeden yüksek seviyeye veya düşük basınçtan yüksek basınca gönderilebilmesi için santrifüj pompa ve kompresörler kullanılır. Pompalar sıvılar için, kompresörler ise gazlar için kullanılan makinalardır. Santrifüj pompa/kompresör kontrol sistemi çıkışında basınç ölçümü yapılır ve bir kontrol edici ile solenoid vanaya bağlanarak kontrol sağlanır. Bir basınç alarm sistemi ile tehlikeli basınçlarda ($P > P_A$) operatöre uyarı verilir, kontrol edici ve solenoid vana ile tehlikeli durumlarda kontrol sağlanır (1 numaralı sistem). Ayrıca çıkışta akış hızı ölçümü de yapılır ve bir kontrol edici ile solenoid vanaya bağlanarak kontrol sağlanır (2 numaralı sistem).



Şekil 3.27 Santrifüj pompa/kompresör kontrol sistemi (Sinnott 1999)

3.7.1 Santrifüj Pompa/Kompresör için HAZOP Formu

Çizelge 3.7 Santrifüj pompa/kompresör için HAZOP formu

Proje Adı: Santrifüj Pompa/Kompresör				Tarih:		Sayfa:109		Tamamlanmış:		
Proses: Santrifüj Pompa/Kompresör								Olay Yok:		
Bölüm: 3.7				Referans Çizim: 3.27				Yanıt Tarihi:		
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:			
1A	Santrifüj pompa/kompresör	Basınç	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası 4. Alarm arızası	1. Yüksek basınç, patlama 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "				
1B			Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	1. Düşük basınç 2. " 3. "	4. Periyodik bakım yapmak 1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "				
2A			Akış	No	1. Besleme arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Besleme seviyesinin emniyet ve monitör güvenilirliği			
2B				Not	2. Tıkalı boru	2. "	2. Filtre takmak			
	None	3. Solenoid vana arızası 4. Kontrol edici arızası 5. Akış ölçer arızası		3. " 4. " 5. "	3. Periyodik bakım yapmak 4. Kritik malzeme listesinde yer alır 5. "					
	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Akış ölçer arızası		1. Aşırı besleme, olası sızıntı 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "					
2C			Low	1. Kısmen tıkalı borular	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Filtre takmak, Periyodik bakım yapmak				
2D			As well as Part of	2. Solenoid vana arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Akış ölçer arızası	2. " 3. " 4. "	2. Periyodik bakım yapmak 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "				
				1. Kirlilik	1. Mümkün değil					
				1. 1C'ye bakın	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Periyodik bakım yapmak				
2F			Rerverse	1. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Besleme kaybı, olası sızıntı					
2G			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz						
2H			Sooner than	1. Besleme erken başlar	1. Yok					
2I			Later than	1. Kontrol edici hatası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Kritik malzeme listesinde yer alır				

3.7.2 Santrifüj Pompa/Kompresör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama

Santrifüj Pompa/Kompresör için olasılık teorisi ile hesaplama yapılırken çizelge 2.8’den yararlanılır ve ilgili proses bileşenleri için arıza hızları (μ) kullanılarak güvenilirlik ve arıza olasılığı hesaplanır. Daha sonra basınç ve akış hızı kontrolü için ilgili bileşenlerin kombinasyonları hesaplanarak, santrifüj pompa/kompresör için arıza hızı ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) hesaplanır (detaylı hesaplama basamaklarını “3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı Hesaplama” kısmında bulabilirsiniz).

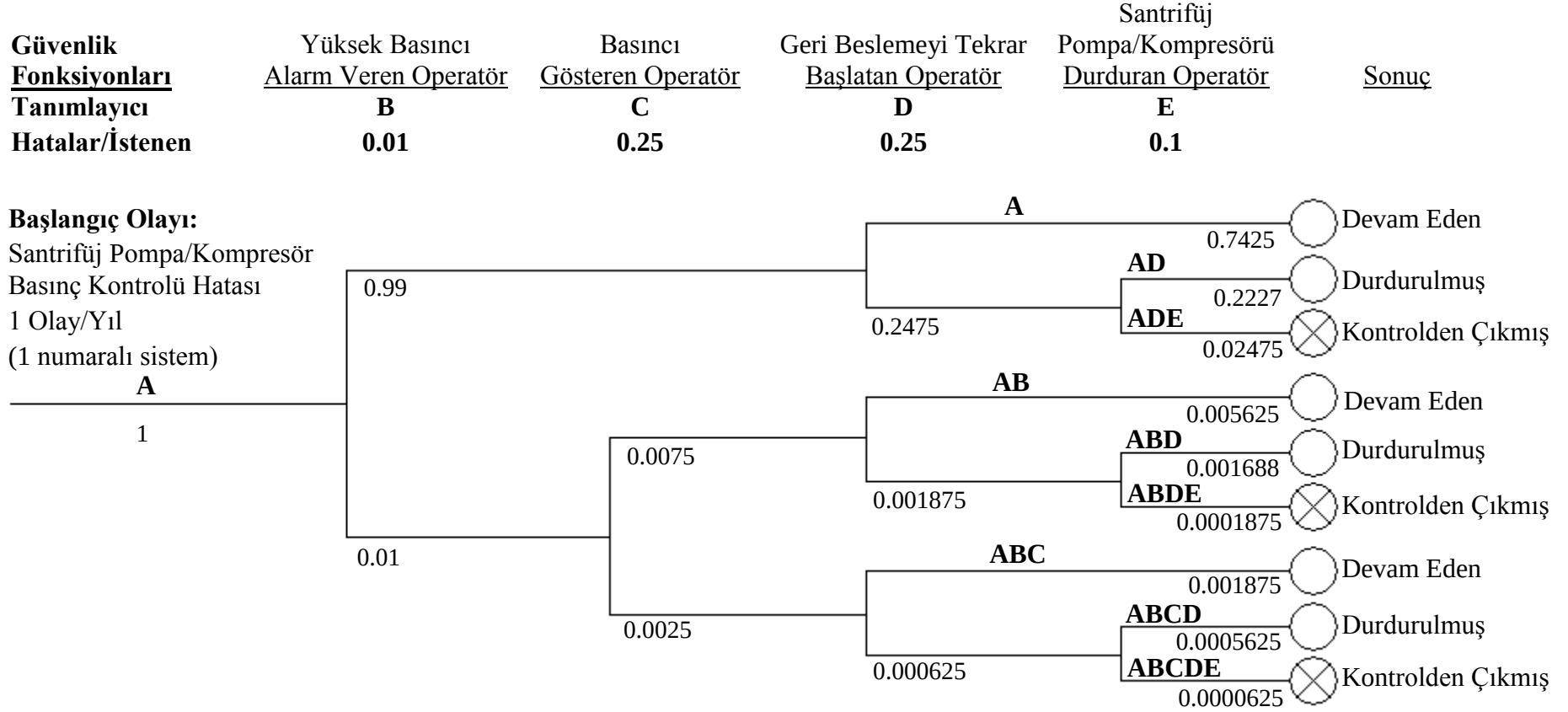
Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34
Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
Basınç Ölçümü	1.41	0.24	0.76
Akış Ölçümü (Akışkanlar)	1.14	0.32	0.68

İşletim süresi 1 yıl varsayılır.

Bileşen	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	MTBF (yıl)
1 Numaralı Sistem (Basınç Kontrol)	0.11	0.89	2.21	0.45
2 Numaralı Sistem (Akış Kontrol)	0.16	0.84	1.83	0.55
Tüm Sistem	0.252	0.748	1.38	0.73

Santrifüj Pompa/Kompresör sisteminin ortalama olarak her 0.73 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

3.7.3 Santrifüj Pompa/Kompresör için Olay Ağacı



Şekil 3.28 Santrifüj pompa/kompresör sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolde Çıkış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

**Güvenlik
Fonksiyonları
Tanımlayıcı
Hatalar/İstenen**

**Yüksek Akış Hızını
Gösteren Operatör
B
0.25**

**Çıkışı Tekrar
Başlatan Operatör
C
0.25**

**Santrifüj
Pompa/Kompresörü
Durduran Operatör
D
0.1**

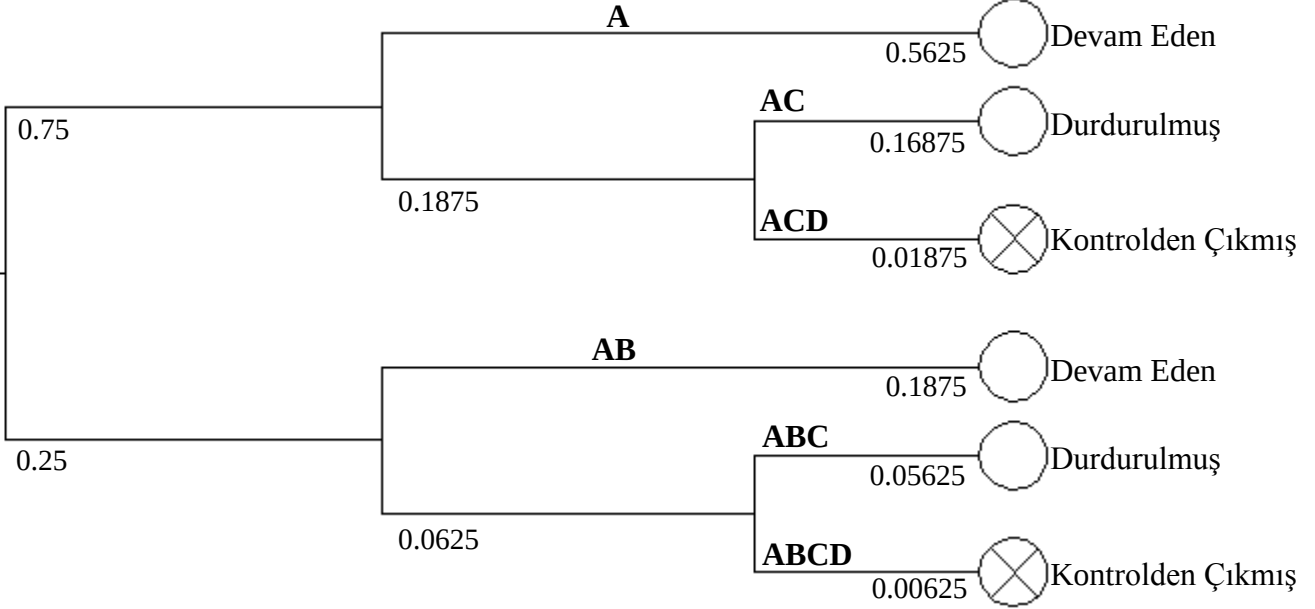
Sonuç

Başlangıç Olayı:

Santrifüj Pompa/Kompresör
Çıkış Akış Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(2 numaralı sistem)

A

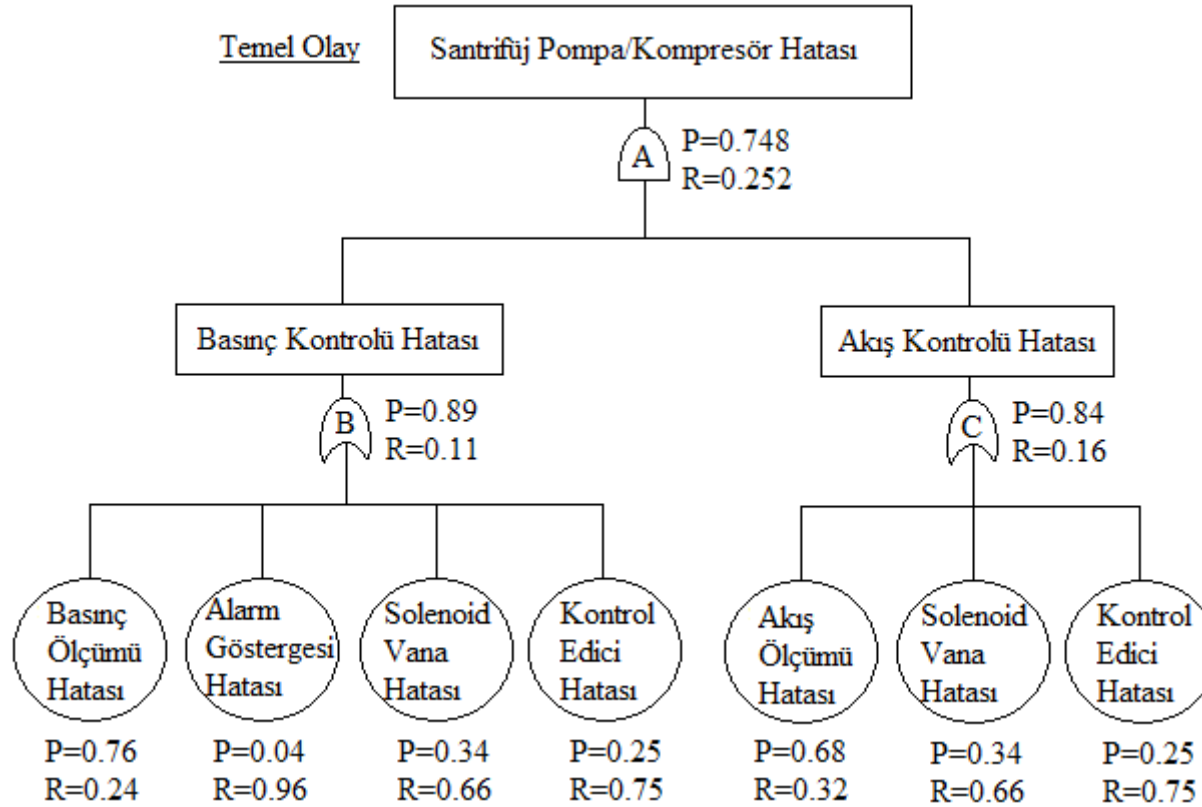
1



Şekil 3.29 Santrifüj pompa/kompresör sistemi için çıkış akış kontrolü hatası olay ağacı
Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
 (Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

3.7.4 Santrifüj Pompa/Kompresör için Hata Ağacı

Santrifüj Pompa/Kompresör sistemi için hata ağacı analizi yapılırken, temel olay santrifüj pompa/kompresör hatası olarak dikkate alınır. Bu arızaya neden olabilecek tüm olayların analizi yapılarak, güvenilirlik ve arıza olasılıkları tek tek hata ağacı üzerine yazılır. Değerler olasılık teorisi kısmında hesaplanan değerlerdir (hata ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.4 Hata Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

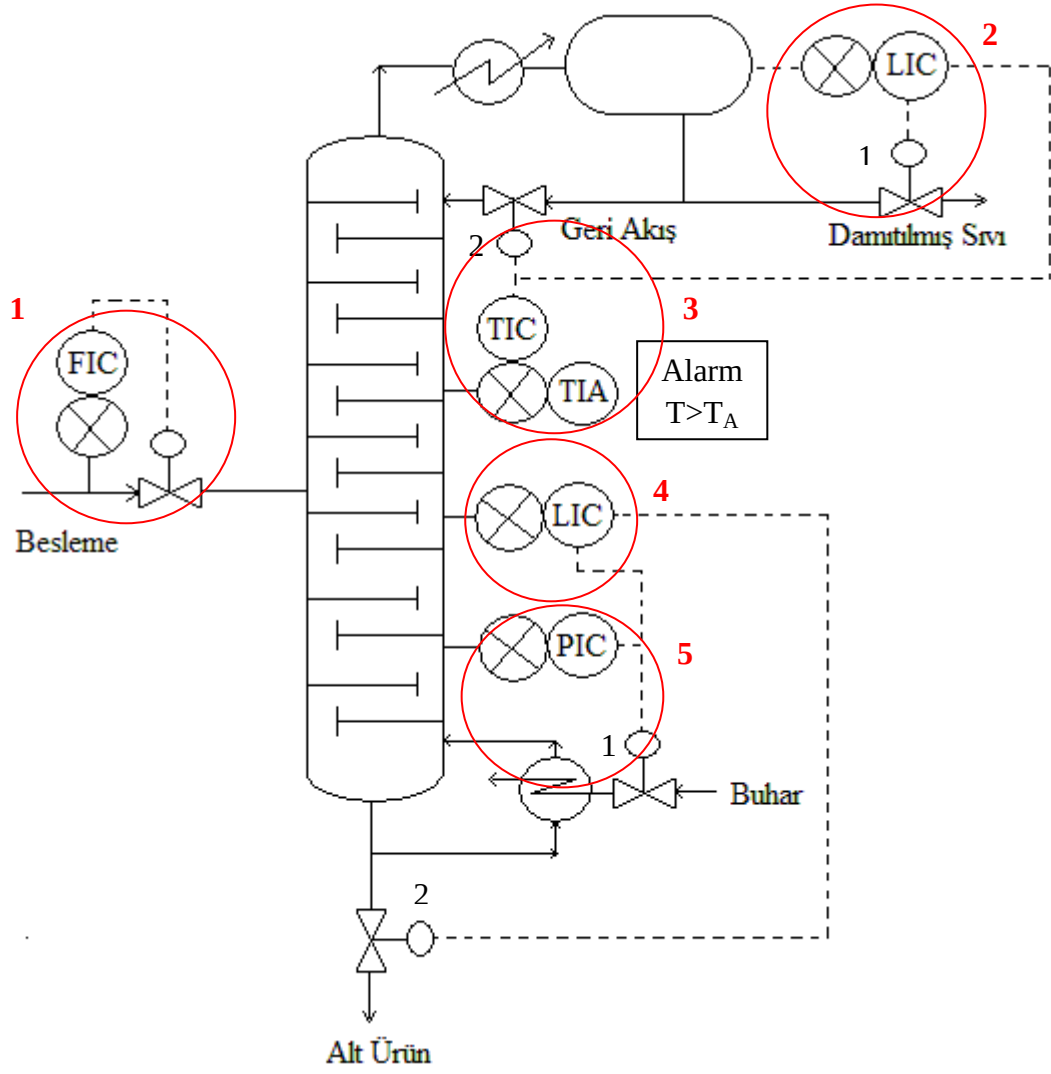


Şekil 3.30 Santrifüj pompa/kompresör sistemi için hata ağacı

3.8 Kademeli Damıtma Kolonu

Damıtma kolonları, sıvı - gaz karışımları ayırmak için kullanılır, çalışma prensibi maddeler arasında uçuculuk farkını kullanarak en uçucu maddeyi kolon tepesinde en az uçucu olan maddeyi kolon dibinden almaktır. Eş aralıklı olarak dizilmiş özel metal levhalardan oluşur. Birçok çeşidi vardır bu tepsilerin, örneğin delikli tepsiler, vanalı tepsiler, bubble-cap tepsiler vs. Hepsinin amacı aynıdır, buhar basıncı belli bir mertebeye gelen buharı bir üst tepsiye yollamak ve dengedeki sıvıyı bir miktara kadar tepsi üstünde tutup gerisi bir alt tepsiye yollamaktır.

Kademeli damıtma kolonu kontrol sisteminde besleme akış hızı ölçülür ve bir kontrol edici ile besleme girişindeki solenoid vanaya bağlanır, tehlikeli durumlarda kontrol sağlanır (1 numaralı sistem). Üst ürünün de seviyesi ölçülür ve bir kontrol edici ile damıtılmış sıvı çıkışındaki ve geri akış beslemesindeki solenoid vanalar ile kontrol sağlanır (2 numaralı sistem). Kolonda sıcaklık ölçümü yapılır ve bir sıcaklık alarm sistemi ile sıcaklık ($T > T_A$) operatöre uyarı verilir, kontrol edici ve solenoid vana ile tehlikeli durumlarda kontrol sağlanır (3 numaralı sistem). Kolon seviyesi ölçülür ve bir kontrol edici ile buhar girişindeki ve alt ürün çıkışında solenoid vanalar ile kontrol sağlanır (4 numaralı sistem). Kolon basıncı ölçülür, kontrol edici ile buhar girişindeki solenoid vanaya bağlanır ve buhar girişi kontrol edilir (5 numaralı sistem).



Şekil 3.31 Kademeli damıtma kolonu kontrol sistemi

3.8.1 Kademeli Damıtma Kolonu için HAZOP Formu

Çizelge 3.8 Kademeli damıtma kolonu için HAZOP formu

Proje Adı: Kademeli Damıtma Kolonu				Tarih:		Sayfa:116		Tamamlanmış:	
Proses: Kademeli Damıtma Kolonu								Olay Yok:	
Bölüm: 3.8				Referans Çizim: 3.31				Yanıt Tarihi:	
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:		
1A	Besleme Borusu	Akış	No Not None	1. Besleme arızası 2. Tıkalı boru 3. Solenoid vana arızası 4. Kontrol edici arızası 5. Akış ölçer arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. " 5. "	1. Besleme seviyesinin emniyet ve monitör güvenilirliği 2. Filtre takmak Periyodik bakım yapmak 3. Periyodik bakım yapmak 4. Kritik malzeme listesinde yer alır 5. "			
1B			High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Akış ölçer arızası	1. Aşırı besleme, olası sızıntı 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
1C			Low	1. Kısmen tıkalı borular 2. Solenoid vana arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Akış ölçer arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. "	1. Filtre takmak, Periyodik bakım yapmak 2. Periyodik bakım yapmak 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "			
1D			As well as	1. Kirlilik	1. Mümkün değil				
1E			Part of	1. 1C'ye bakın					
1F			Rerverse	1. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Periyodik bakım yapmak			
1G			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					
1H			Sooner than	1. Besleme erken başlar	1. Yok				
1I			Later than	1. Kontrol edici hatası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Kritik malzeme listesinde yer alır			
2A	Kolon	Sıcaklık	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası 4. Alarm arızası	1. Yüksek sıcaklık, kolon patlaması 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. " 4. Periyodik bakım yapmak			
2B			Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası	1. Düşük sıcaklık 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
2C			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					

Çizelge 3.8 Kademeli damıtma kolonu için HAZOP formu (devam)

Öğe	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:				
2D	Üst Ürün	Basınç	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	1.Yüksek basınç, kolon patlaması 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "					
2E			Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	1.Düşük basınç 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "					
2F		Seviye	No	1. Seviye yok, 1A'ya bakın							
2G			Not								
2H			None								
2I			High								1. Solenoid vana 1 arızası 2. Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Seviye ölçümü arızası
3A		Seviye	Low	1. Solenoid vana 1 arızası 2. Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Seviye ölçümü arızası	1.Düşük seviye 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. " 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "					
3B			Other than	1. İçerik kaybı, 1A'ya bakın 1. Seviye yok, 1A'ya bakın							
3C			No								
3D			Not								
3E		None									
3F		High	1. Solenoid vana 1 arızası 2. Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Seviye ölçümü arızası	1.Yüksek seviye, kolon taşması 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. " 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "						
3G		Low	1. Solenoid vana 1 arızası 2. Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Seviye ölçümü arızası	1.Düşük seviye 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. " 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "						
3H		Other than	1. İçerik kaybı, 1A'ya bakın								

3.8.2 Kademeli Damıtma Kolonu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama

Kademeli damıtma kolonu için olasılık teorisi ile hesaplama yapılırken çizelge 2.8'den yararlanılır ve ilgili proses bileşenleri için arıza hızları (μ) kullanılarak güvenilirlik ve arıza olasılığı hesaplanır. Daha sonra sıcaklık, basınç, akış hızı ve seviye kontrolü için ilgili bileşenlerin kombinasyonları hesaplanarak, kademeli damıtma kolonu için arıza hızı ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) hesaplanır (detaylı hesaplama basamaklarını “3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı Hesaplama” kısmında bulabilirsiniz).

Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34
Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
Sıcaklık Ölçümü (Isıl Çift)	0.52	0.60	0.40
Basınç Ölçümü	1.41	0.24	0.76
Akış Ölçümü (Akışkanlar)	1.14	0.32	0.68
Seviye Ölçümü (Sıvılar)	6.86	0.001	0.999

İşletim süresi 1 yıl varsayılır.

Bileşen	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	MTBF (yıl)
1 Numaralı Sistem (Akış Kontrol)	0.16	0.84	1.83	0.55
2 Numaralı Sistem (Seviye Kontrol)	0.0003	0.9997	8.1	0.12
3 Numaralı Sistem (Sıcaklık Kontrol)	0.29	0.71	1.2	0.83
4 Numaralı Sistem (Seviye Kontrol)	0.0003	0.9997	8.1	0.12
5 Numaralı Sistem (Basınç Kontrol)	0.12	0.88	2.12	0.47
Tüm Sistem	0.475	0.525	0.74	1.34

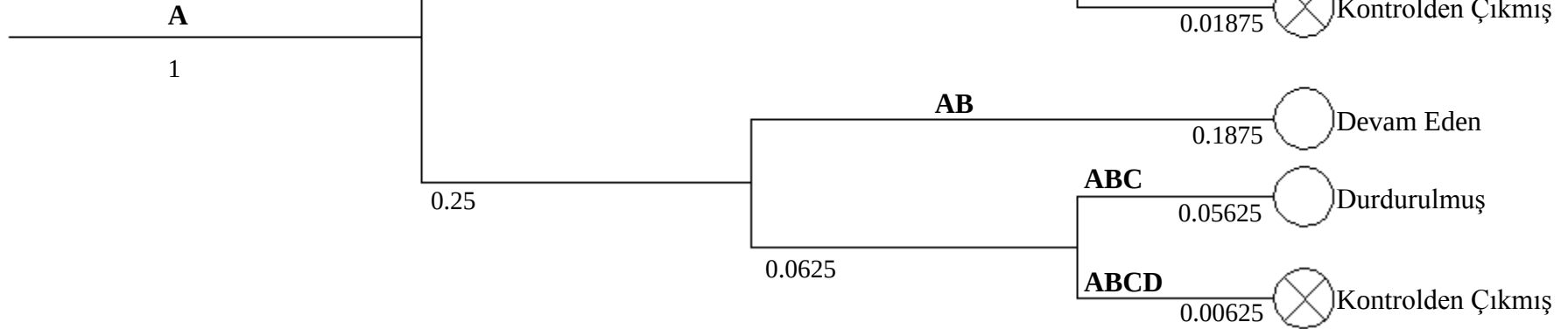
Kademeli damıtma kolonu sisteminin ortalama olarak her 1.34 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

3.8.3 Kademeli Damıtma Kolonu için Olay Ağacı

<u>Güvenlik Fonksiyonları</u>	<u>Akış Hızını Gösteren Operatör</u>	<u>Beslemeyi Tekrar Başlatan Operatör</u>	<u>Kolonunu Durduran Operatör</u>	<u>Sonuç</u>
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	
	0.25	0.25	0.1	

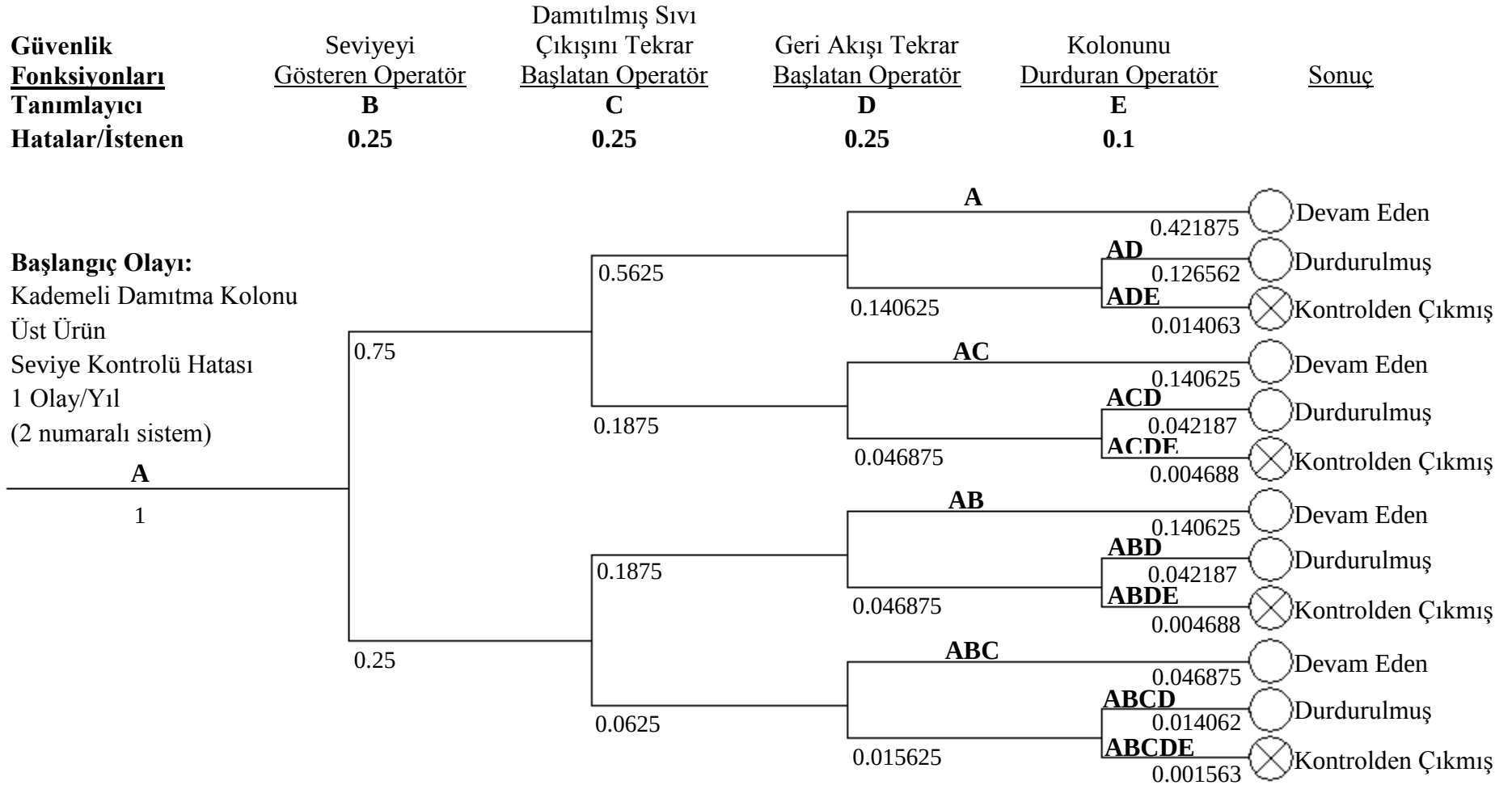
Başlangıç Olayı:

Kademeli Damıtma Kolonu
Besleme Akış Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(1 numaralı sistem)



Şekil 3.32 Kademeli damıtma kolonu sistemi için besleme akış kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



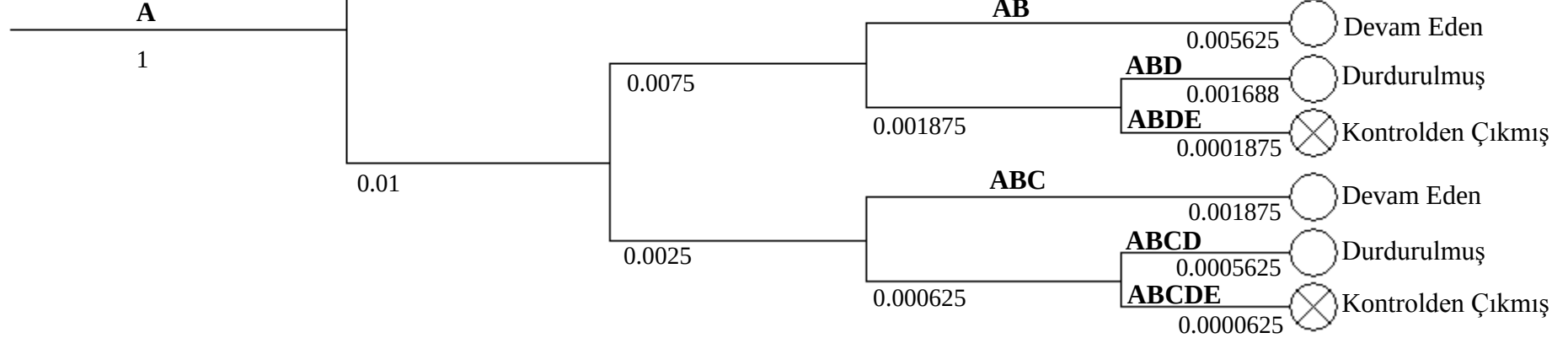
Şekil 3.33 Kademeli damıtma kolonu sistemi için üst ürün seviye kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolde Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik Fonksiyonları	Yüksek Sıcaklığı Alarm Veren Operatör	Sıcaklığı Gösteren Operatör	Geri Akışı Tekrar Başlatan Operatör	Kolonunu Durduran Operatör	Sonuç
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	E	
	0.01	0.25	0.25	0.1	

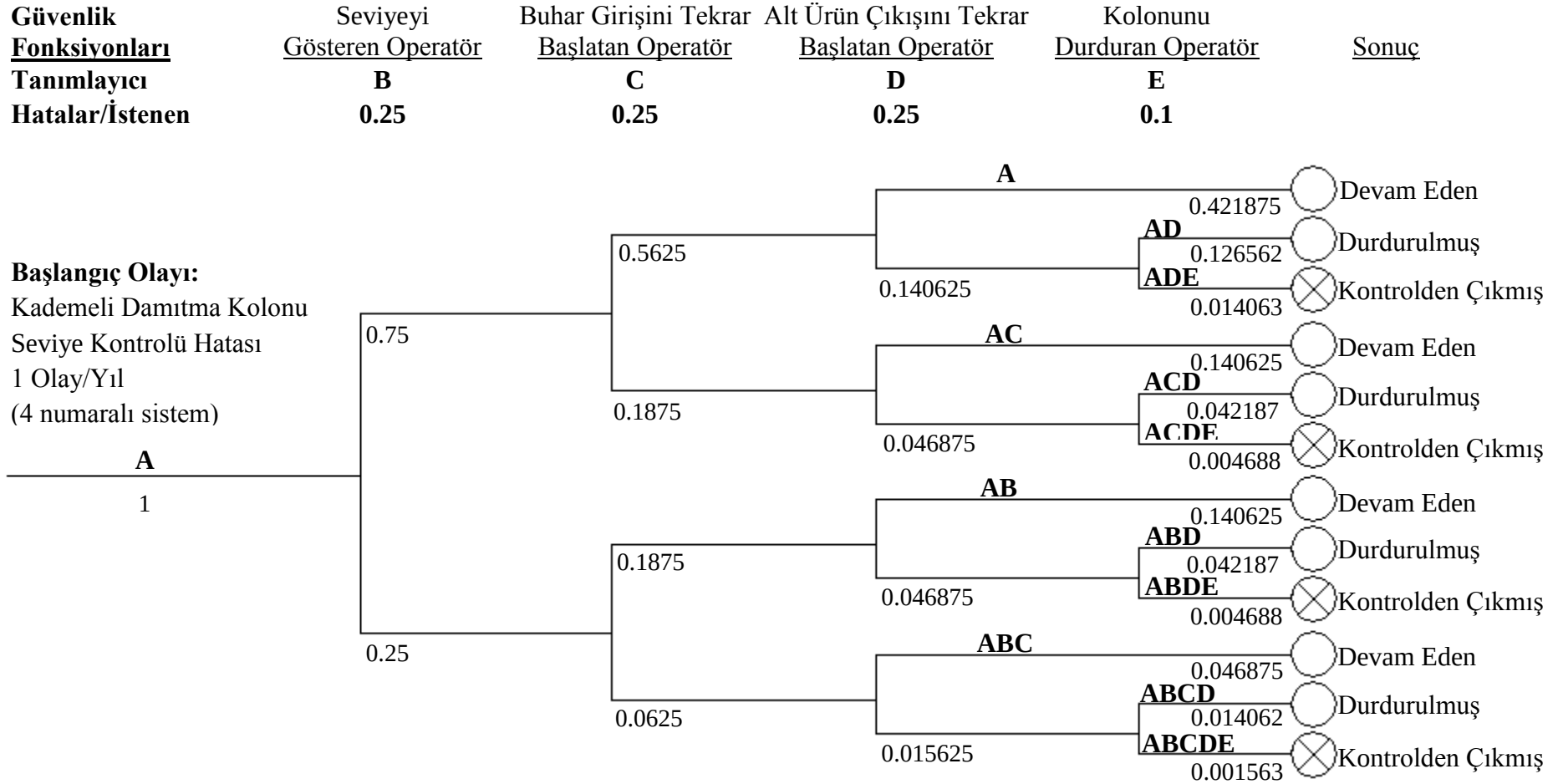
Başlangıç Olayı:

Kademeli Damıtma Kolonu
Sıcaklık Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(3 numaralı sistem)



Şekil 3.34 Kademeli damıtma kolonu sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



Şekil 3.35 Kademeli damıtma kolonu sistemi için seviye kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolde Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik
Fonksiyonları
Tanımlayıcı
Hatalar/İstenen

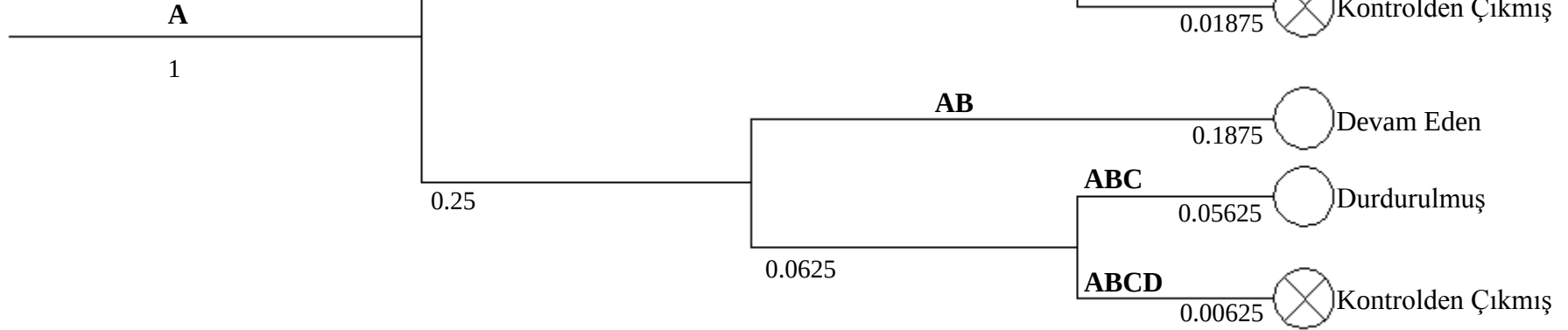
Basıncı
 Gösteren Operatör
B
0.25

Buhar Girişini Tekrar
 Başlatan Operatör
C
0.25

Kolonunu
 Durduran Operatör
D
0.1

Sonuç

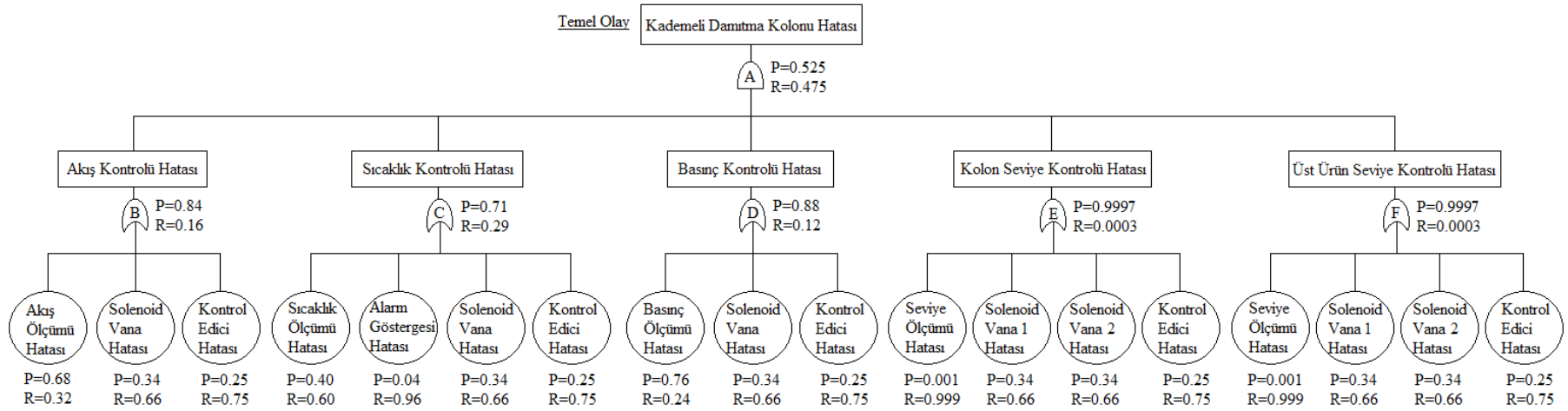
Başlangıç Olayı:
 Kademeli Damıtma Kolonu
 Basınç Kontrolü Hatası
 1 Olay/Yıl
 (5 numaralı sistem)



Şekil 3.36 Kademeli damıtma kolonu sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı
Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
 (Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

3.8.4 Kademeli Damıtma Kolonu için Hata Ağacı

Kademeli damıtma kolonu sistemi için hata ağacı analizi yapılırken, temel olay kademeli damıtma kolonu hatası olarak dikkate alınır. Bu arızaya neden olabilecek tüm olayların analizi yapılarak, güvenilirlik ve arıza olasılıkları tek tek hata ağacı üzerine yazılır. Değerler olasılık teorisi kapsamında hesaplanan değerlerdir (hata ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.4 Hata Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

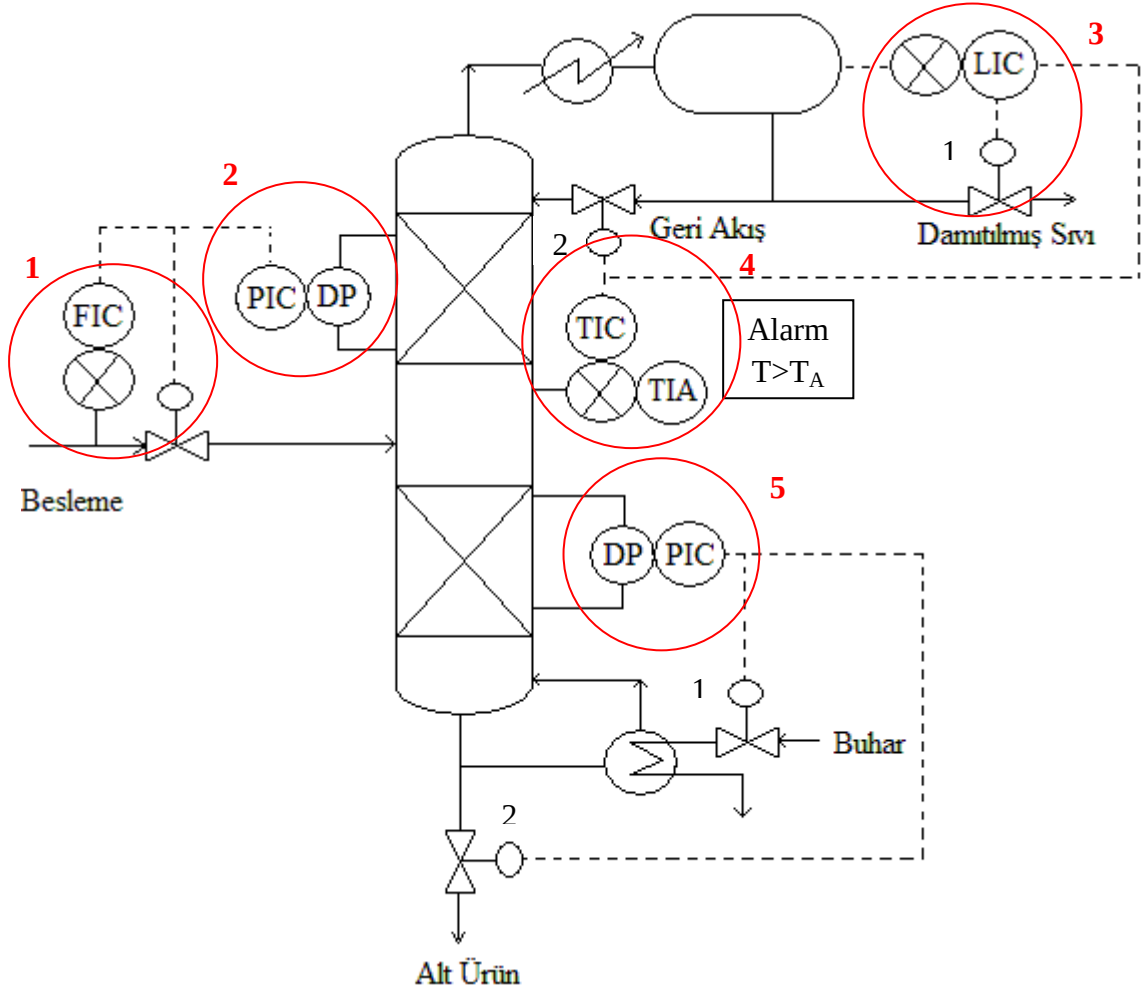


Şekil 3.37 Kademeli damıtma kolonu sistemi için hata ağacı

3.9 Dolgulu Damıtma Kolonu

Damıtma kolonları, sıvı - gaz karışımları ayırmak için kullanılır, çalışma prensibi maddeler arasında uçuculuk farkını kullanarak en uçucu maddeyi kolon tepesinde en az uçucu olan maddeyi kolon dibinden almaktır. Kademeli kolonlara göre daha yeni bir teknolojidir. Yüzey alanı/hacim oranı yüksek maddeler kolon içine rastgele veya bir düzen içinde dizilir. Yapısal dolgular ya da Raschig Ringi gibi parça olarak dolgu maddeleri vardır. Bunlar polimer, metal, seramikveya cam olabilir. Karışım içindeki maddenini kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak seçilir.

Dolgulu damıtma kolonu kontrol sisteminde besleme akış hızı ölçülür ve bir kontrol edici ile besleme girişindeki solenoid vanaya bağlanır, tehlikeli durumlarda kontrol sağlanır (1 numaralı sistem). Kolon basıncı alt kolon ve üst kolon olmak üzere iki yerden de ölçülür. Üst kolonda ölçülen basınç kontrol edici ile besleme girişindeki solenoid vanaya bağlanır ve besleme girişi kontrol edilir (2 numaralı sistem). Üst ürünün seviyesi ölçülür ve bir kontrol edici, damıtılmış sıvı çıkışındaki ve geri akış beslemesindeki solenoid vanalar ile kontrol sağlar (3 numaralı sistem). Kolonda sıcaklık ölçümü yapılır ve bir sıcaklık alarm sistemi ile sıcaklık ($T > T_A$) operatöre uyarı verilir, kontrol edici ve solenoid vana ile tehlikeli durumlarda kontrol sağlanır (4 numaralı sistem). Alt kolonda ölçülen basınç ölçülür ve kontrol edici, buhar girişindeki ve alt ürün çıkışındaki solenoid vanalar ile kontrol sağlar (5 numaralı sistem).



Şekil 3.38 Dolgulu damıtma kolonu kontrol sistemi

3.9.1 Dolgulu Damıtma Kolonu için HAZOP Formu

Çizelge 3.9 Dolgulu damıtma kolonu için HAZOP formu

Proje Adı: Dolgulu Damıtma Kolonu				Tarih:		Sayfa:127		Tamamlanmış:	
Proses: Dolgulu Damıtma Kolonu								Olay Yok:	
Bölüm: 3.9				Referans Çizim: 3.38				Yanıt Tarihi:	
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:		
1A	Besleme Borusu	Akış	No Not None	1. Besleme arızası 2. Tıkalı boru 3. Solenoid vana arızası 4. Kontrol edici arızası 5. Akış ölçer arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. " 5. "	1. Besleme seviyesinin emniyet ve monitör güvenilirliği 2. Filtre takmak Periyodik bakım yapmak 3. Periyodik bakım yapmak 4. Kritik malzeme listesinde yer alır 5. "			
1B			High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Akış ölçer arızası	1. Aşırı besleme, olası sızıntı 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
1C			Low	1. Kısmen tıkalı borular 2. Solenoid vana arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Akış ölçer arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. "	1. Filtre takmak, Periyodik bakım yapmak 2. Periyodik bakım yapmak 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "			
1D			As well as	1. Kirlilik	1. Mümkün değil				
1E			Part of	1. 1C'ye bakın					
1F			Rerverse	1. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Periyodik bakım yapmak			
1G			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					
1H			Sooner than	1. Besleme erken başlar	1. Yok				
1I			Later than	1. Kontrol edici hatası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Kritik malzeme listesinde yer alır			
2A	Kolon	Sıcaklık	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası 4. Alarm arızası	1. Yüksek sıcaklık, kolon patlaması 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. " 4. Periyodik bakım yapmak			
2B			Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası	1. Düşük sıcaklık 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
2C			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					

Çizelge 3.9 Dolgulu damıtma kolonu için HAZOP formu (devam)

Öğe	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:				
3A	Üst Kolon	Basınç	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	1.Yüksek basınç, kolon patlaması 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "					
3B			Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	1.Düşük basınç 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "					
4A	Alt Kolon	Basınç	High	1. Solenoid vana 1 arızası 2. Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Basınç ölçümü arızası	1.Yüksek basınç, kolon patlaması 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. " 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "					
4B			Low	1. Solenoid vana 1 arızası 2. Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Basınç ölçümü arızası	1.Düşük basınç 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. " 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "					
5A	Üst Ürün	Seviye	No Not None	1. Seviye yok, 1A'ya bakın							
5B			High	1. Solenoid vana 1 arızası 2. Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Seviye ölçümü arızası	1.Yüksek seviye, kolon taşması 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. " 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "					
5C			Low	1. Solenoid vana 1 arızası 2. Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Seviye ölçümü arızası	1.Düşük seviye 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. " 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "					
5D			Other than	1. İçerik kaybı, 1A'ya bakın							

3.9.2 Dolgulu Damıtma Kolonu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama

Dolgulu damıtma kolonu için olasılık teorisi ile hesaplama yapılırken çizelge 2.8'den yararlanılır ve ilgili proses bileşenleri için arıza hızları (μ) kullanılarak güvenilirlik ve arıza olasılığı hesaplanır. Daha sonra sıcaklık, basınç, akış hızı ve seviye kontrolü için ilgili bileşenlerin kombinasyonları hesaplanarak, dolgulu damıtma kolonu için arıza hızı ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) hesaplanır (detaylı hesaplama basamaklarını “3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı Hesaplama” kısmında bulabilirsiniz).

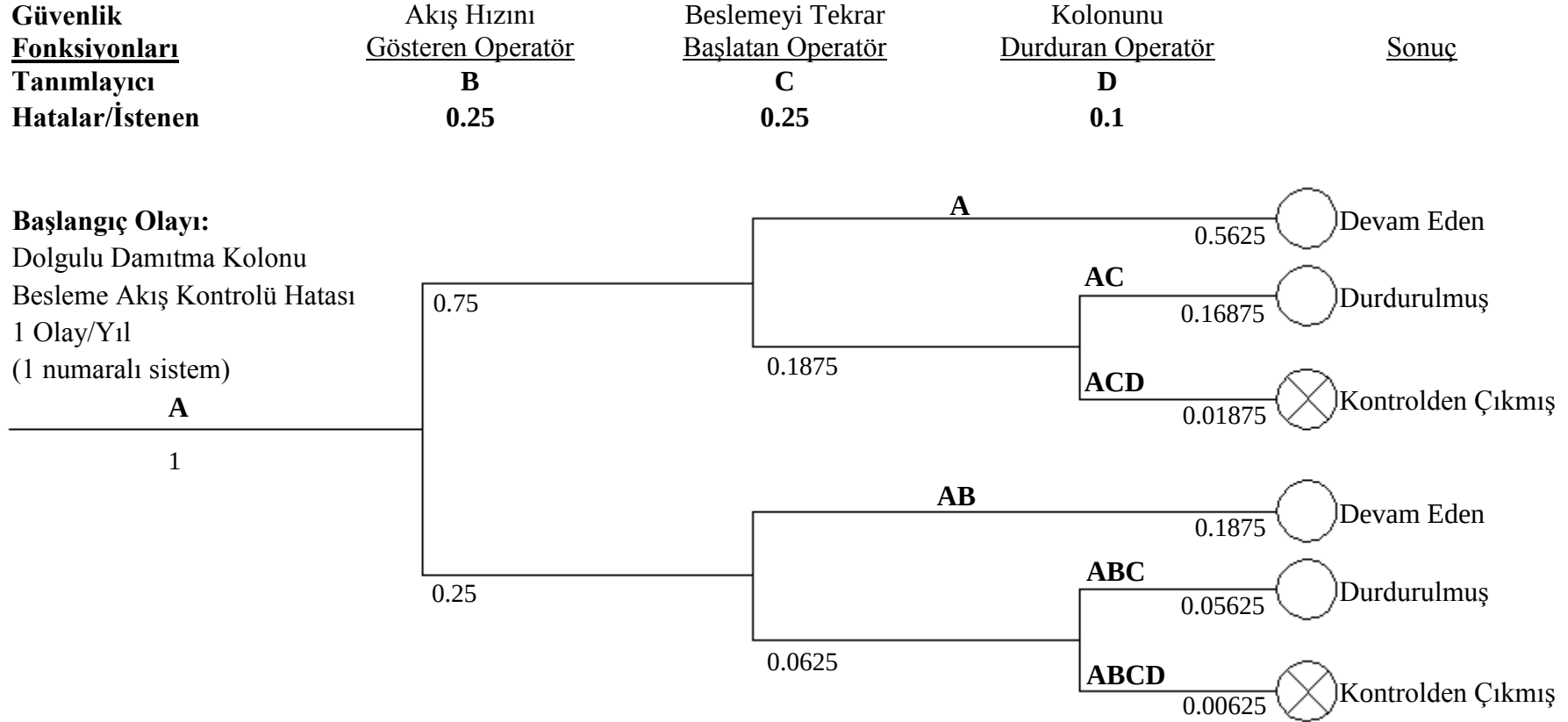
Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34
Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
Sıcaklık Ölçümü (Isıl Çift)	0.52	0.60	0.40
Basınç Ölçümü	1.41	0.24	0.76
Akış Ölçümü (Akışkanlar)	1.14	0.32	0.68
Seviye Ölçümü (Sıvılar)	6.86	0.001	0.999

İşletim süresi 1 yıl varsayılır.

Bileşen	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	MTBF (yıl)
1 Numaralı Sistem (Akış Kontrol)	0.16	0.84	1.83	0.55
2 Numaralı Sistem (Basınç Kontrol)	0.12	0.88	2.12	0.47
3 Numaralı Sistem (Seviye Kontrol)	0.0003	0.9997	8.1	0.12
4 Numaralı Sistem (Sıcaklık Kontrol)	0.29	0.71	1.2	0.83
5 Numaralı Sistem (Basınç Kontrol)	0.08	0.92	2.53	0.40
Tüm Sistem	0.517	0.483	0.66	1.52

Dolgulu damıtma kolonu sisteminin ortalama olarak her 1.52 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

3.9.3 Dolgulu Damıtma Kolonu için Olay Ağacı



Şekil 3.39 Dolgulu damıtma kolonu sistemi için besleme akış kontrolü hatası olay ağacı
Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
 (Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

**Güvenlik
Fonksiyonları
Tanımlayıcı
Hatalar/İstenen**

Basıncı
Gösteren Operatör
B
0.25

Beslemeyi Tekrar
Başlatan Operatör
C
0.25

Kolonunu
Durduran Operatör
D
0.1

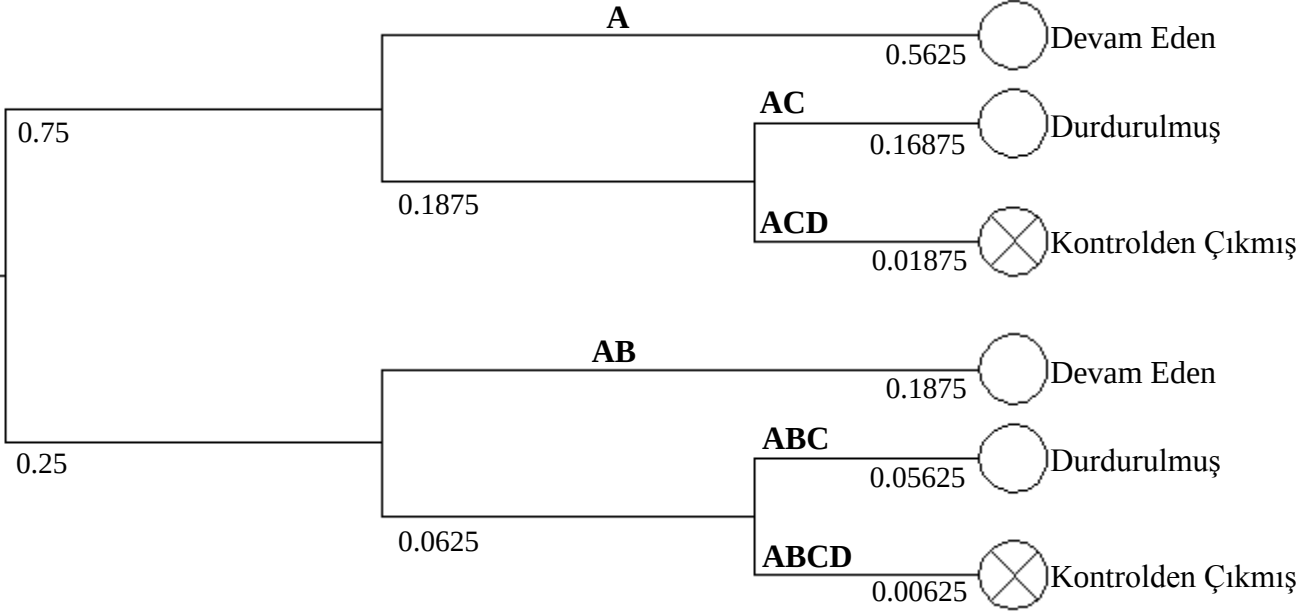
Sonuç

Başlangıç Olayı:

Dolgulu Damıtma Kolonu
Üst Kolon Basıncı Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(2 numaralı sistem)

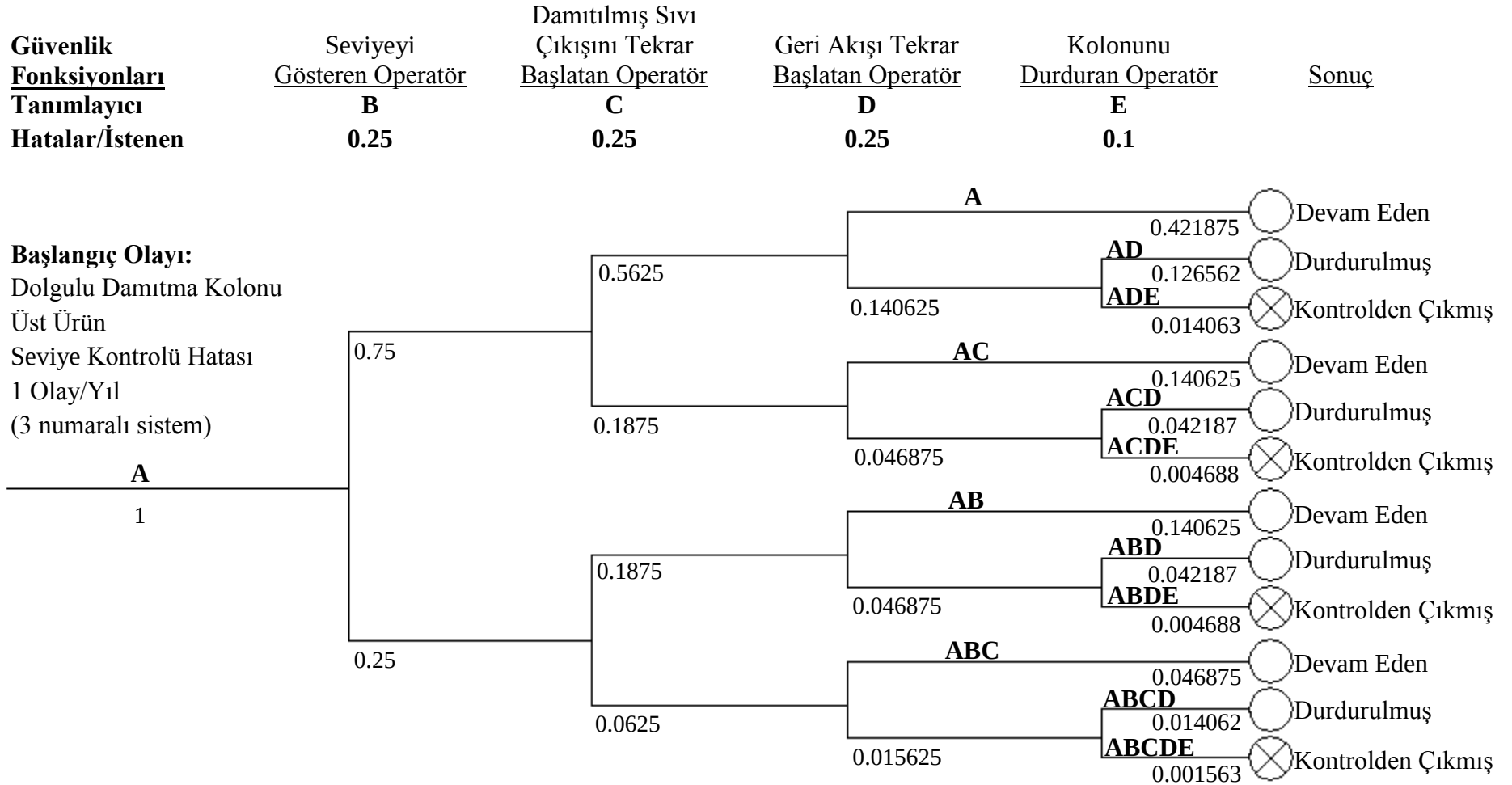
A

1



Şekil 3.40 Dolgulu damıtma kolonu sistemi için üst kolon basıncı kontrolü hatası olay ağacı

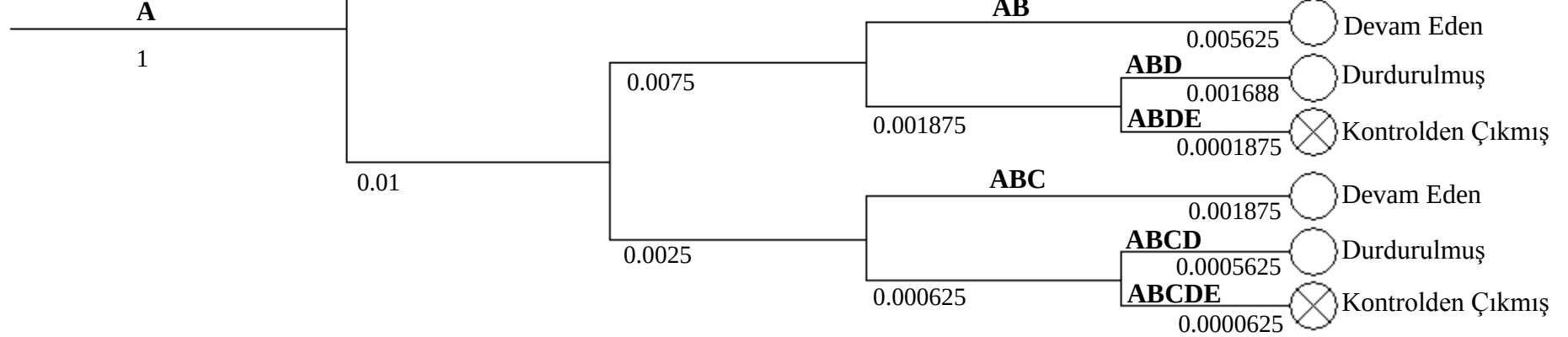
Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



Güvenlik Fonksiyonları	Yüksek Sıcaklığı Alarm Veren Operatör	Sıcaklığı Gösteren Operatör	Geri Akışı Tekrar Başlatan Operatör	Kolonunu Durduran Operatör	Sonuç
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	E	
	0.01	0.25	0.25	0.1	

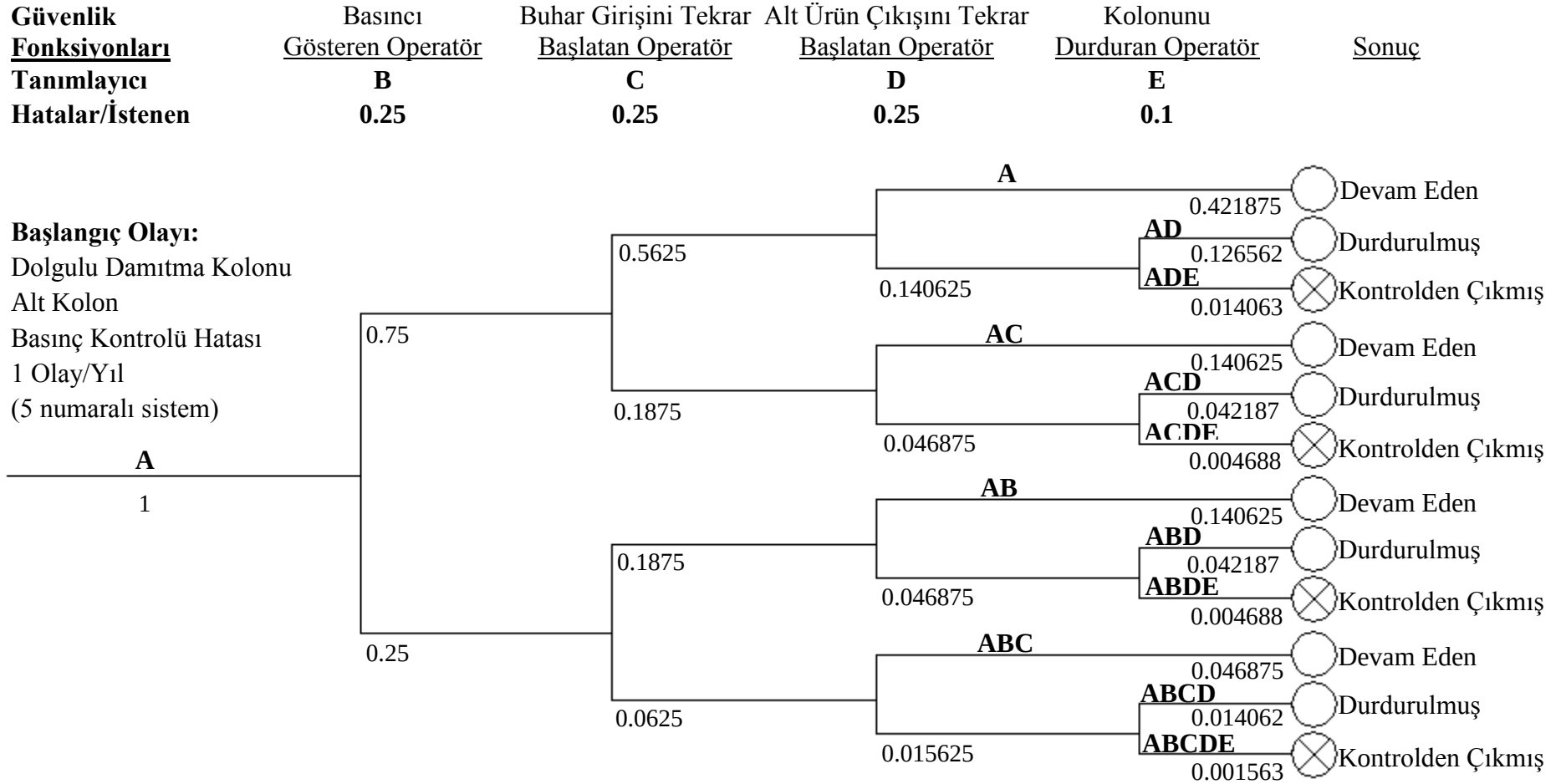
Başlangıç Olayı:

Dolgulu Damıtma Kolonu Sıcaklık Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(4 numaralı sistem)



Şekil 3.42 Dolgulu damıtma kolonu sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

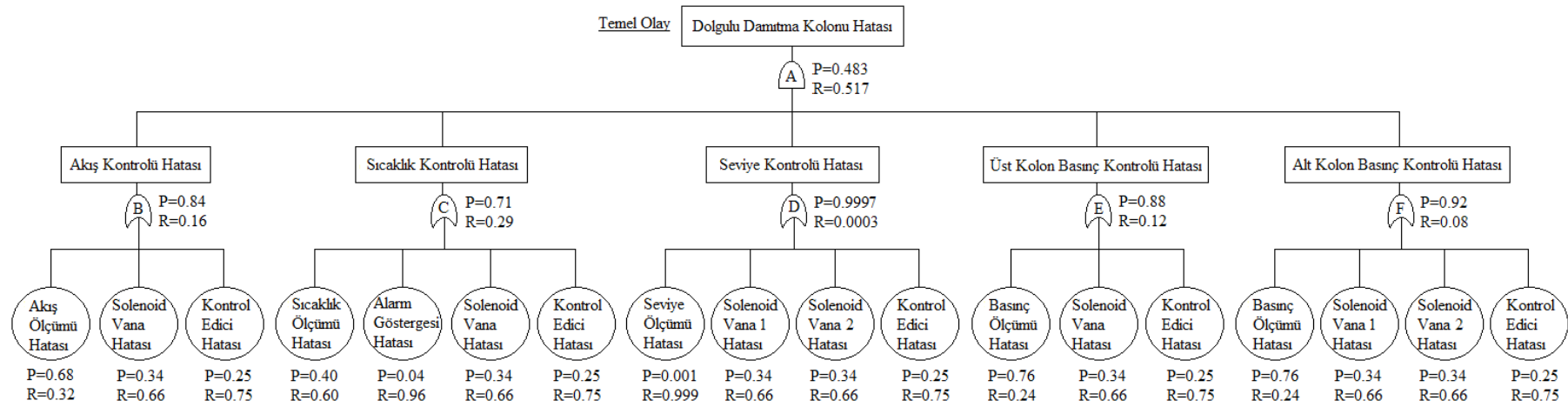


Şekil 3.43 Dolgulu damıtma kolonu sistemi için alt kolon basınç kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolde Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

3.9.4 Dolgulu Damıtma Kolonu için Hata Ağacı

Dolgulu damıtma kolonu sistemi için hata ağacı analizi yapılırken, temel olay dolgulu damıtma kolonu hatası olarak dikkate alınır. Bu arızaya neden olabilecek tüm olayların analizi yapılarak, güvenilirlik ve arıza olasılıkları tek tek hata ağacı üzerine yazılır. Değerler olasılık teorisi kısmında hesaplanan değerlerdir (hata ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.4 Hata Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

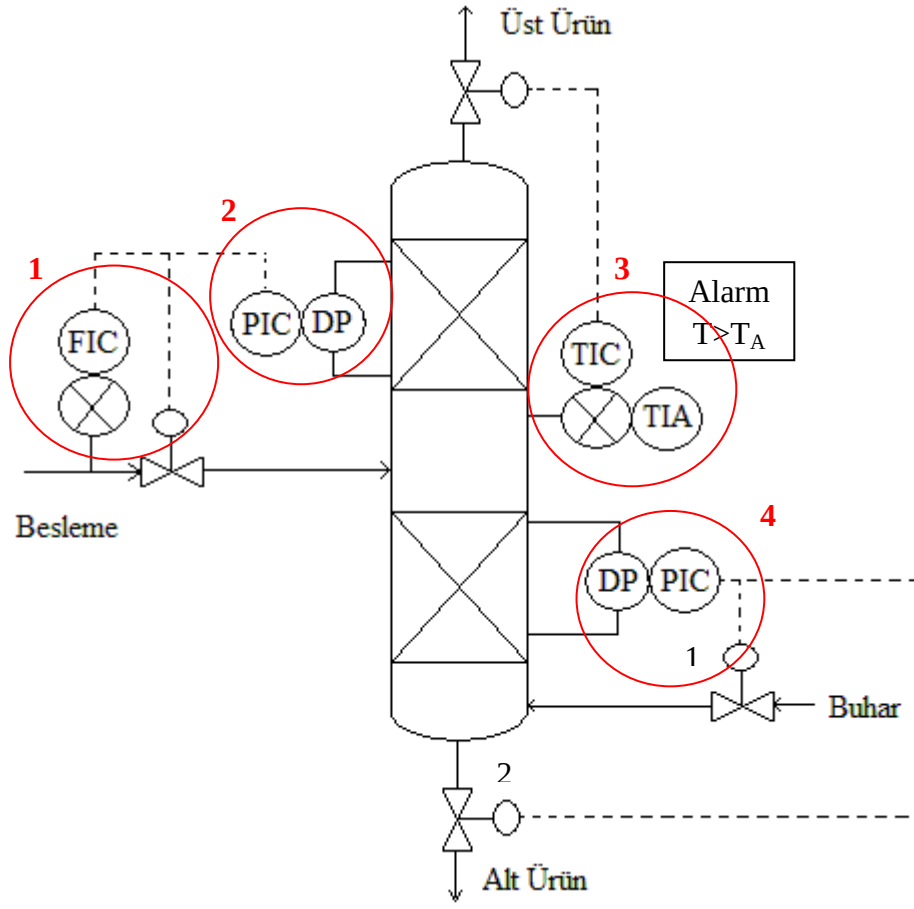


Şekil 3.44 Dolgulu damıtma kolonu sistemi için hata ağacı

3.10 Dolgulu Absorpsiyon Kolonu

Gaz absorpsiyonu, bir gaz karışımının içerdği bir ya da birden fazla bileşeni çözmek üzere uygun bir sıvı ile temas ettirilerek, gaz bileşenlerin sıvı çözeltilerinin elde edilmesi işlemidir. Dolgulu absorpsiyon kolonu; korozif akışkanla çalışılırken, köpük yapan sıvılar söz konusu ise, basınç düşmesinin az olması istendiğinde ve $D < 0.6$ m olan küçük ölçekli sistemler için tercih edilir.

Dolgulu absorpsiyon kolonu kontrol sisteminde besleme akış hızı ölçülür ve bir kontrol edici ile besleme girişindeki solenoid vanaya bağlanır, tehlikeli durumlarda kontrol sağlanır (1 numaralı sistem). Kolon basıncı alt kolon ve üst kolon olmak üzere iki yerden de ölçülür. Üst kolonda ölçülen basınç kontrol edici ile besleme girişindeki solenoid vanaya bağlanır ve besleme girişi kontrol edilir (2 numaralı sistem). Kolonda sıcaklık ölçümü yapılır ve bir sıcaklık alarm sistemi ile sıcaklık ($T > T_A$) operatöre uyarı verilir, kontrol edici ve solenoid vana ile üst ürün çıkışındaki tehlikeli durumlarda kontrol sağlanır (3 numaralı sistem). Alt kolonda ölçülen basınç ölçülür ve kontrol edici, buhar girişindeki ve alt ürün çıkışındaki solenoid vanalar ile kontrol sağlar (4 numaralı sistem).



Şekil 3.45 Dolgulu absorpsiyon kolonu kontrol sistemi

3.10.1 Dolgulu Absorpsiyon Kolonu için HAZOP Formu

Çizelge 3.10 Dolgulu absorpsiyon kolonu için HAZOP formu

Proje Adı: Dolgulu Absorpsiyon Kolonu				Tarih:		Sayfa:138		Tamamlanmış:	
Proses: Dolgulu Absorpsiyon Kolonu								Olay Yok:	
Bölüm: 3.10				Referans Çizim: 3.45				Yanıt Tarihi:	
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:		
1A	Besleme Borusu	Akış	No Not None	1. Besleme arızası 2. Tıkalı boru 3. Solenoid vana arızası 4. Kontrol edici arızası 5. Akış ölçer arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. " 5. "	1. Besleme seviyesinin emniyet ve monitör güvenilirliği 2. Filtre takmak Periyodik bakım yapmak 3. Periyodik bakım yapmak 4. Kritik malzeme listesinde yer alır 5. "			
1B			High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Akış ölçer arızası	1. Aşırı besleme, olası sızıntı 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
1C			Low	1. Kısmen tıkalı borular 2. Solenoid vana arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Akış ölçer arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. "	1. Filtre takmak, Periyodik bakım yapmak 2. Periyodik bakım yapmak 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "			
1D			As well as	1. Kirlilik	1. Mümkün değil				
1E			Part of	1. 1C'ye bakın					
1F			Rerverse	1. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Periyodik bakım yapmak			
1G			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					
1H			Sooner than	1. Besleme erken başlar	1. Yok				
1I			Later than	1. Kontrol edici hatası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Kritik malzeme listesinde yer alır			
2A	Kolon	Sıcaklık	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası 4. Alarm arızası	1. Yüksek sıcaklık, kolon patlaması 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. " 4. Periyodik bakım yapmak			
2B			Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası	1. Düşük sıcaklık 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
2C			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					

Çizelge 3.10 Dolgulu absorpsiyon kolonu için HAZOP formu (devam)

Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:	↓	↓	↓	↓
3A	Üst Kolon	Basınç	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	1.Yüksek basınç, kolon patlaması 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "					
3B			Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	1.Düşük basınç 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "					
4A	Alt Kolon	Basınç	High	1. Solenoid vana 1 arızası 2. Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Basınç ölçümü arızası	1.Yüksek basınç, kolon patlaması 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. " 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "					
4B			Low	1. Solenoid vana 1 arızası 2. Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Basınç ölçümü arızası	1.Düşük basınç 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. " 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "					

3.10.2 Dolgulu Absorpsiyon Kolonu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama

Dolgulu absorpsiyon kolonu için olasılık teorisi ile hesaplama yapılırken çizelge 2.8'den yararlanılır ve ilgili proses bileşenleri için arıza hızları (μ) kullanılarak güvenilirlik ve arıza olasılığı hesaplanır. Daha sonra sıcaklık, basınç ve akış hızı kontrolü için ilgili bileşenlerin kombinasyonları hesaplanarak, dolgulu absorpsiyon kolonu için arıza hızı ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) hesaplanır (detaylı hesaplama basamaklarını “3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı Hesaplama” kısmında bulabilirsiniz).

Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34
Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
Sıcaklık Ölçümü (Isıl Çift)	0.52	0.60	0.40
Basınç Ölçümü	1.41	0.24	0.76
Akış Ölçümü (Akışkanlar)	1.14	0.32	0.68

İşletim süresi 1 yıl varsayılır.

Bileşen	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	MTBF (yıl)
1 Numaralı Sistem (Akış Kontrol)	0.16	0.84	1.83	0.55
2 Numaralı Sistem (Basınç Kontrol)	0.12	0.88	2.12	0.47
3 Numaralı Sistem (Sıcaklık Kontrol)	0.29	0.71	1.2	0.83
4 Numaralı Sistem (Basınç Kontrol)	0.08	0.92	2.53	0.40
Tüm Sistem	0.517	0.483	0.66	1.52

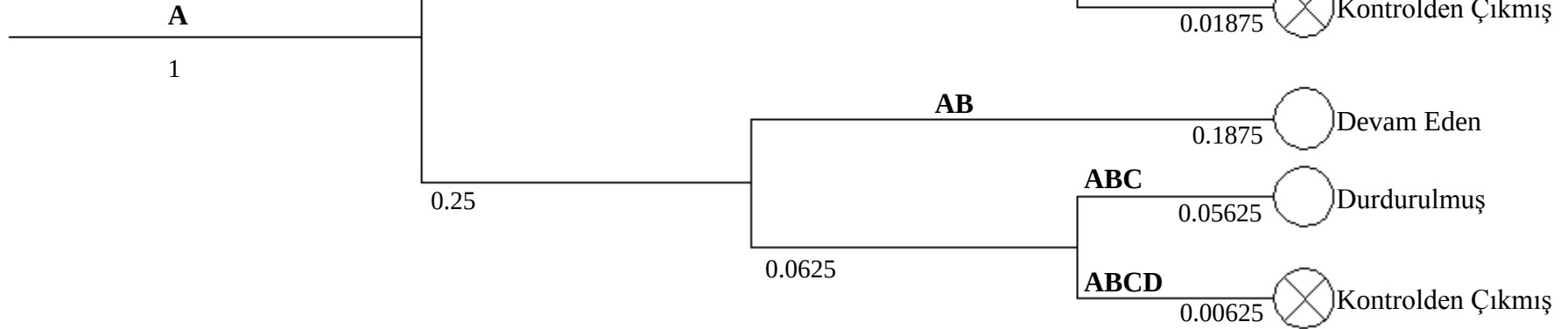
Dolgulu absorpsiyon kolonu sisteminin ortalama olarak her 1.52 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

3.10.3 Dolgulu Absorpsiyon Kolonu için Olay Ağacı

<u>Güvenlik Fonksiyonları</u>	Akış Hızını Gösteren Operatör	Beslemeyi Tekrar Başlatan Operatör	Kolonunu Durduran Operatör	Sonuç
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	
	0.25	0.25	0.1	

Başlangıç Olayı:

Dolgulu Absorpsiyon Kolonu
Besleme Akış Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(1 numaralı sistem)



Şekil 3.46 Dolgulu absorpsiyon kolonu sistemi için besleme akış kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik
Fonksiyonları
Tanımlayıcı
Hatalar/İstenen

Basıncı
Gösteren Operatör
B
0.25

Beslemeyi Tekrar
Başlatan Operatör
C
0.25

Kolonunu
Durduran Operatör
D
0.1

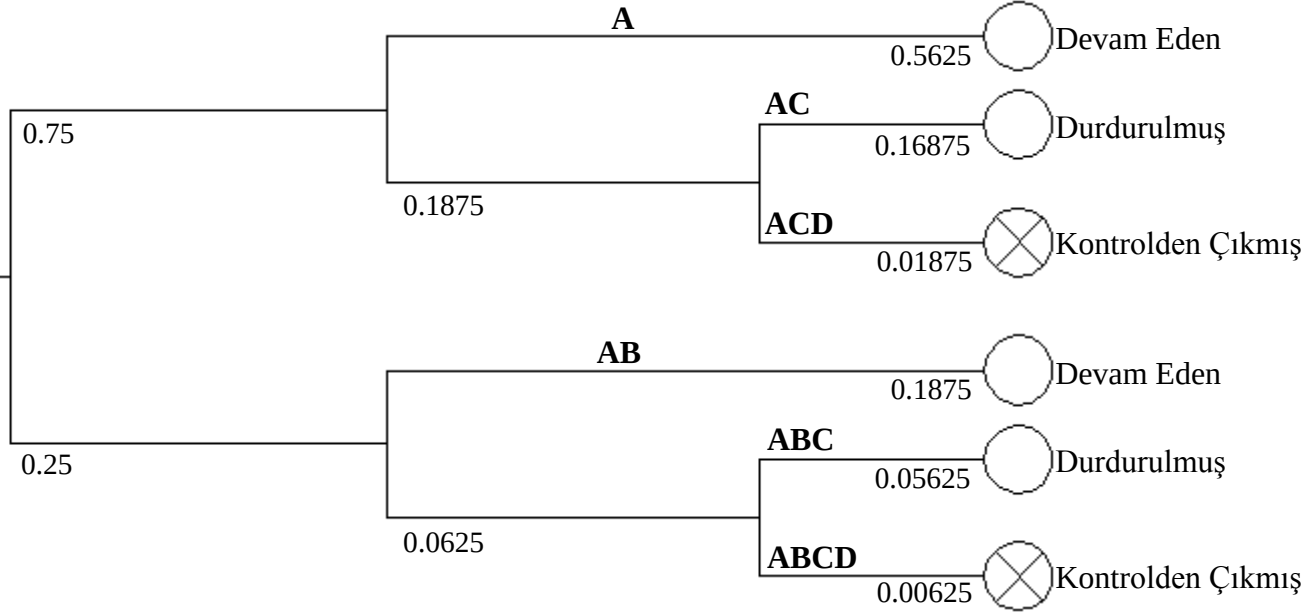
Sonuç

Başlangıç Olayı:

Dolgulu Absorpsiyon Kolonu
Üst Kolon Basıncı Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(2 numaralı sistem)

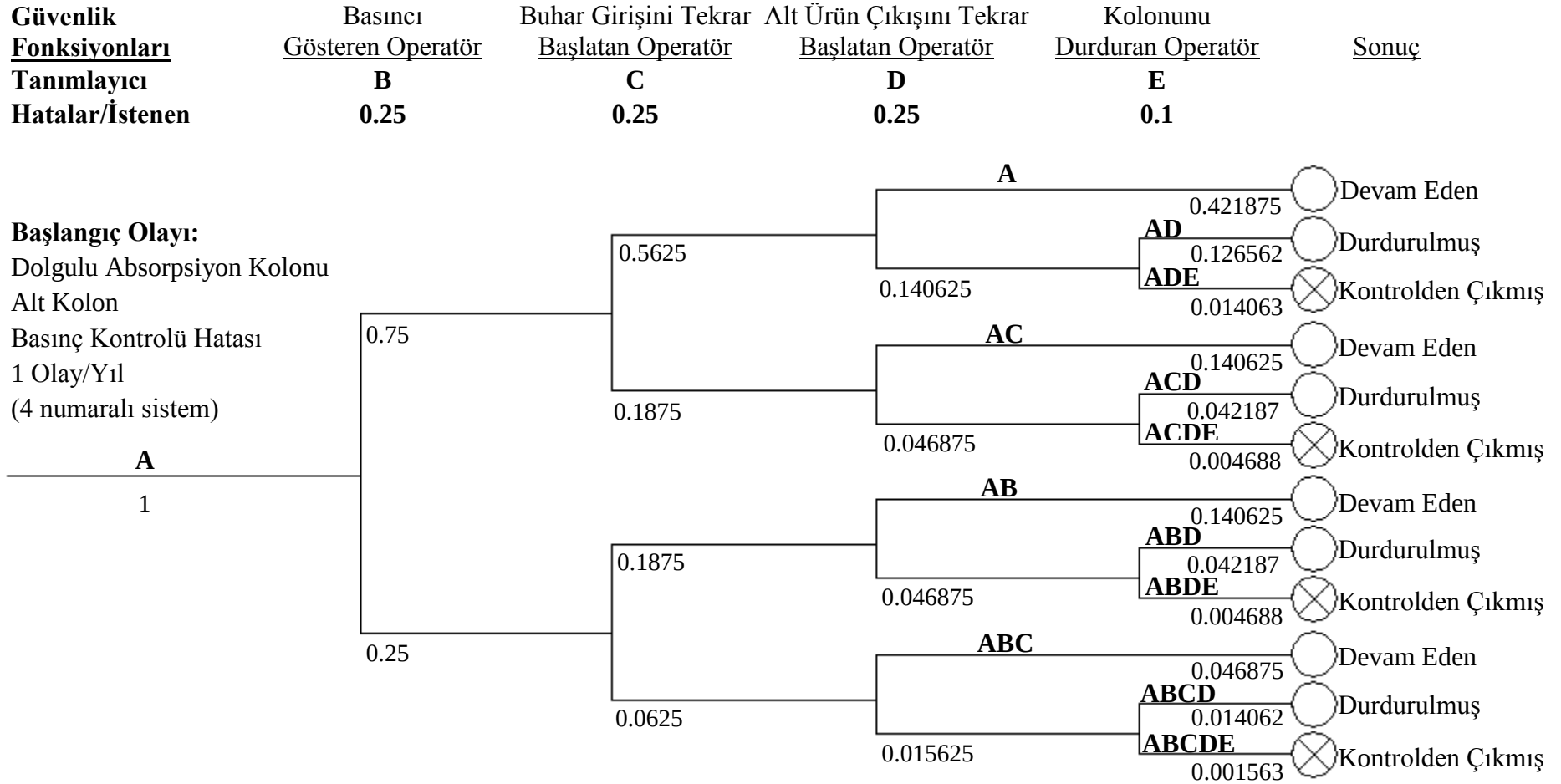
A

1



Şekil 3.47 Dolgulu absorpsiyon kolonu sistemi için üst kolon basıncı kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



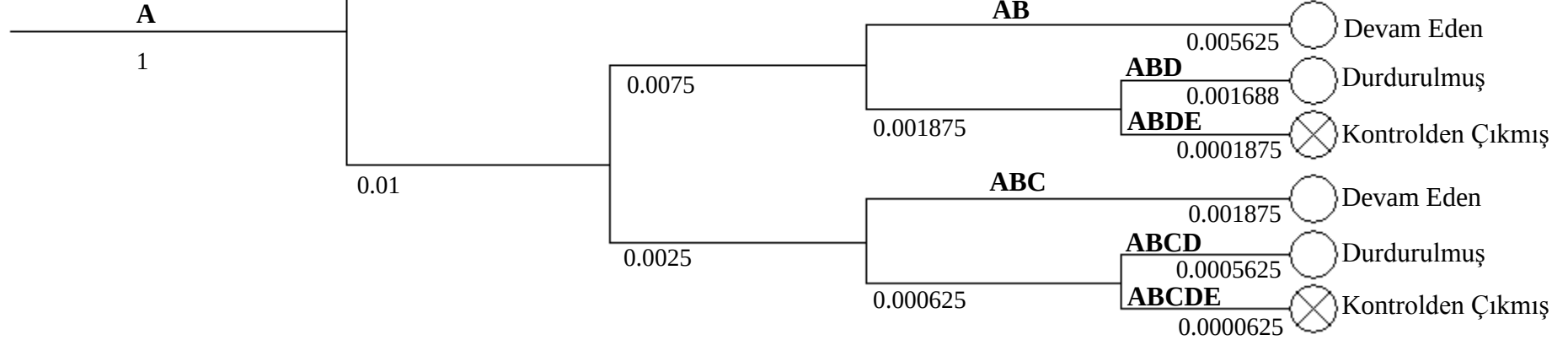
Şekil 3.48 Dolgulu absorpsiyon kolonu sistemi için alt kolon basınç kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolde Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik Fonksiyonları	Yüksek Sıcaklığı Alarm Veren Operatör	Sıcaklığı Gösteren Operatör	Üst Ürün Çıkışını Tekrar Başlatan Operatör	Kolonunu Durduran Operatör	Sonuç
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	E	
	0.01	0.25	0.25	0.1	

Başlangıç Olayı:

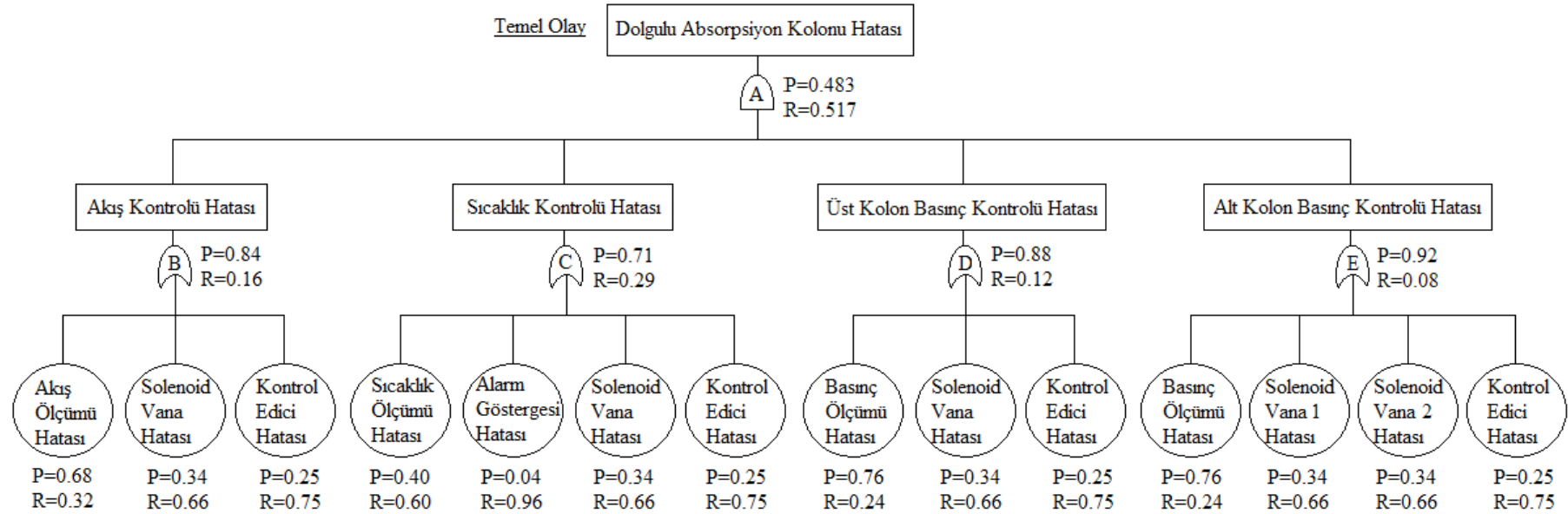
Dolgu Absorpsiyon Kolonu
Sıcaklık Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(3 numaralı sistem)



Şekil 3.49 Dolgu absorpsiyon kolonu sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı
Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolde Çıkış** = 0.0250 olay / yıl
 (Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

3.10.4 Dolgulu Absorpsiyon Kolonu için Hata Ağacı

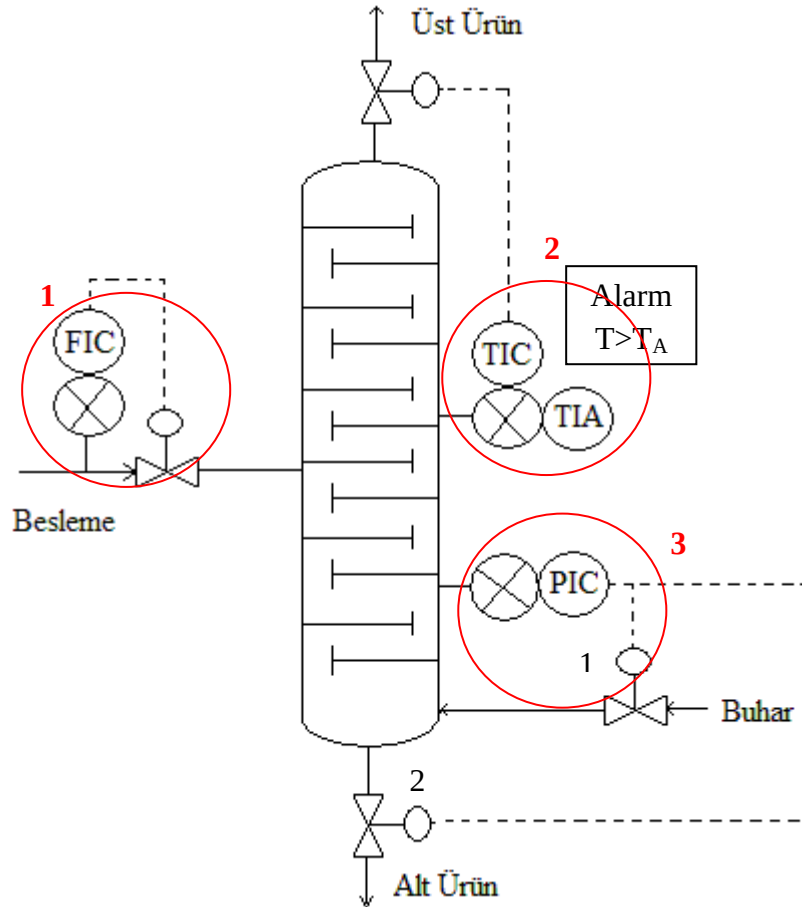
Dolgulu absorpsiyon kolonu sistemi için hata ağacı analizi yapılırken, temel olay dolgulu absorpsiyon kolonu hatası olarak dikkate alınır. Bu arızaya neden olabilecek tüm olayların analizi yapılarak, güvenilirlik ve arıza olasılıkları tek tek hata ağacı üzerine yazılır. Değerler olasılık teorisi kısmında hesaplanan değerlerdir (hata ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.4 Hata Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



Şekil 3.50 Dolgulu absorpsiyon kolonu sistemi için hata ağacı

3.11 Kademeli Absorpsiyon Kolonu

Gaz absorpsiyonu, bir gaz karışımının içerdiği bir ya da birden fazla bileşeni çözmek üzere uygun bir sıvı ile temas ettirilerek, gaz bileşenlerin sıvı çözeltilerinin elde edilmesi işlemidir. Kademeli absorpsiyon kolonu; büyük ölçekli işletimlerde, sıvı akış hızı düşük olduğunda, gaz akış hızı yüksek ise, ard arda soğutma gerekiyorsa ve akışkanın taşıdığı katılarca kolonun tıkanma ihtimali varsa tercih edilir. Kademeli absorpsiyon kolonu kontrol sisteminde besleme akış hızı ölçülür ve bir kontrol edici ile besleme girişindeki solenoid vanaya bağlanır, tehlikeli durumlarda kontrol sağlanır (1 numaralı sistem). Kolonda sıcaklık ölçümü yapılır ve bir sıcaklık alarm sistemi ile sıcaklık ($T > T_A$) operatöre uyarı verilir, kontrol edici ve solenoid vana ile üst ürün çıkışındaki tehlikeli durumlarda kontrol sağlanır (2 numaralı sistem). Kolon basıncı ölçülür ve kontrol edici, buhar girişindeki ve alt ürün çıkışındaki solenoid vanalar ile kontrol sağlar (3 numaralı sistem).



Şekil 3.51 Kademeli absorpsiyon kolonu kontrol sistemi

3.11.1 Kademeli Absorpsiyon Kolonu için HAZOP Formu

Çizelge 3.11 Kademeli absorpsiyon kolonu için HAZOP formu

Proje Adı: Kademeli Absorpsiyon Kolonu				Tarih:		Sayfa:147		Tamamlanmış:	
Proses: Kademeli Absorpsiyon Kolonu								Olay Yok:	
Bölüm: 3.11				Referans Çizim: 3.51				Yanıt Tarihi:	
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:		
1A	Besleme Borusu	Akış	No Not None	1. Besleme arızası 2. Tıkalı boru 3. Solenoid vana arızası 4. Kontrol edici arızası 5. Akış ölçer arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. " 5. "	1. Besleme seviyesinin emniyet ve monitör güvenilirliği 2. Filtre takmak Periyodik bakım yapmak 3. Periyodik bakım yapmak 4. Kritik malzeme listesinde yer alır 5. "			
1B			High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Akış ölçer arızası	1. Aşırı besleme, olası sızıntı 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
1C			Low	1. Kısmen tıkalı borular 2. Solenoid vana arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Akış ölçer arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı 2. " 3. " 4. "	1. Filtre takmak, Periyodik bakım yapmak 2. Periyodik bakım yapmak 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "			
1D			As well as	1. Kirlilik	1. Mümkün değil				
1E			Part of	1. 1C'ye bakın					
1F			Rerverse	1. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Periyodik bakım yapmak			
1G			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					
1H			Sooner than	1. Besleme erken başlar	1. Yok				
1I			Later than	1. Kontrol edici hatası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Kritik malzeme listesinde yer alır			
2A	Kolon	Sıcaklık	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası 4. Alarm arızası	1. Yüksek sıcaklık, kolon patlaması 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. " 4. Periyodik bakım yapmak			
2B			Low	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası	1. Düşük sıcaklık 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "			
2C			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz					

Çizelge 3.11 Kademeli absorpsiyon kolonu için HAZOP formu (devam)

Öğe	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:				
2D		Basınç	High	1. Solenoid vana 1 arızası 2. Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Basınç ölçümü arızası	1.Yüksek basınç, kolon patlaması 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. " 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "					
2E			Low	1. Solenoid vana 1 arızası 2. Solenoid vana 2 arızası 3. Kontrol edici arızası 4. Basınç ölçümü arızası	1.Düşük basınç 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. " 3. Kritik malzeme listesinde yer alır 4. "					

3.11.2 Kademeli Absorpsiyon Kolonu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama

Kademeli absorpsiyon kolonu için olasılık teorisi ile hesaplama yapılırken çizelge 2.8'den yararlanılır ve ilgili proses bileşenleri için arıza hızları (μ) kullanılarak güvenilirlik ve arıza olasılığı hesaplanır. Daha sonra sıcaklık, basınç ve akış hızı kontrolü için ilgili bileşenlerin kombinasyonları hesaplanarak, kademeli absorpsiyon kolonu için arıza hızı ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) hesaplanır (detaylı hesaplama basamaklarını “3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı Hesaplama” kısmında bulabilirsiniz).

Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34
Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
Sıcaklık Ölçümü (Isıl Çift)	0.52	0.60	0.40
Basınç Ölçümü	1.41	0.24	0.76
Akış Ölçümü (Akışkanlar)	1.14	0.32	0.68

İşletim süresi 1 yıl varsayılır.

Bileşen	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	MTBF (yıl)
1 Numaralı Sistem (Akış Kontrol)	0.16	0.84	1.83	0.55
2 Numaralı Sistem (Sıcaklık Kontrol)	0.29	0.71	1.2	0.83
3 Numaralı Sistem (Basınç Kontrol)	0.08	0.92	2.53	0.40
Tüm Sistem	0.45	0.55	0.80	1.25

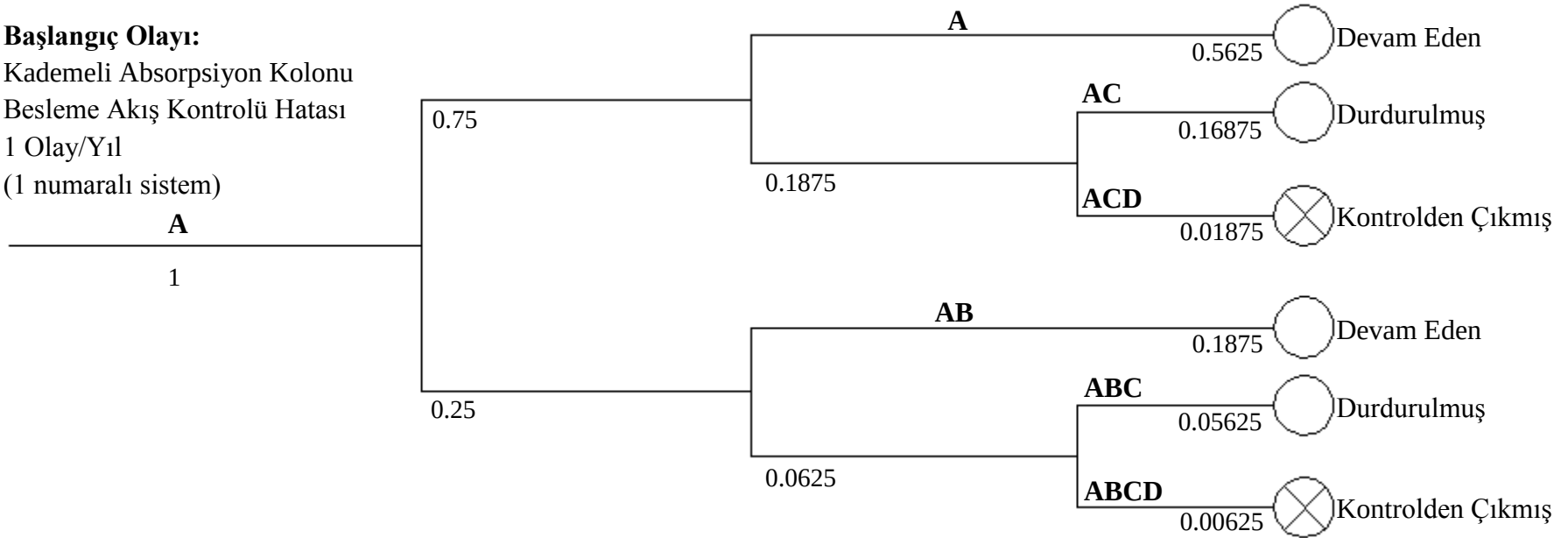
Kademeli absorpsiyon kolonu sisteminin ortalama olarak her 1.25 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

3.11.3 Kademeli Absorpsiyon Kolonu için Olay Ağacı

<u>Güvenlik Fonksiyonları</u>	<u>Akış Hızını Gösteren Operatör</u>	<u>Beslemeyi Tekrar Başlatan Operatör</u>	<u>Kolonunu Durduran Operatör</u>	<u>Sonuç</u>
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	
	0.25	0.25	0.1	

Başlangıç Olayı:

Kademeli Absorpsiyon Kolonu
Besleme Akış Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(1 numaralı sistem)



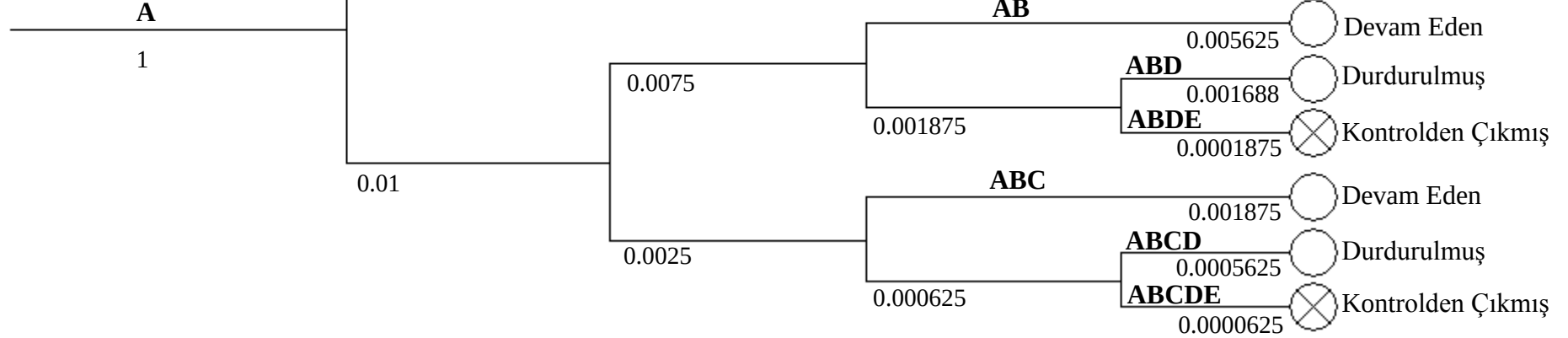
Şekil 3.52 Kademeli absorpsiyon kolonu sistemi için besleme akış kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik Fonksiyonları	Yüksek Sıcaklığı Alarm Veren Operatör	Sıcaklığı Gösteren Operatör	Üst Ürün Çıkışını Tekrar Başlatan Operatör	Kolonunu Durduran Operatör	Sonuç
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	E	
	0.01	0.25	0.25	0.1	

Başlangıç Olayı:

Kademeli Absorpsiyon Kolonu
Sıcaklık Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(2 numaralı sistem)

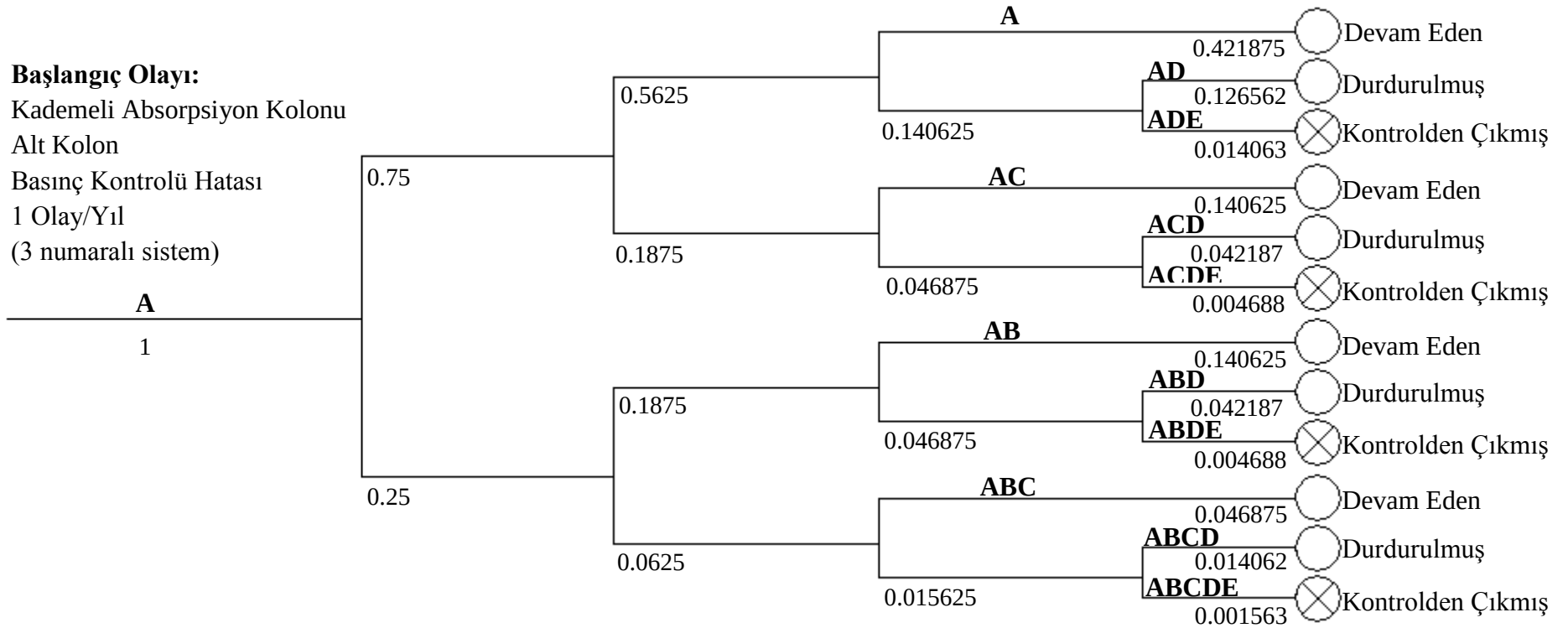


Şekil 3.53 Kademeli absorpsiyon kolonu sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı
Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkış** = 0.0250 olay / yıl
 (Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik Fonksiyonları	Basıncı Gösteren Operatör	Buhar Girişini Tekrar Başlatan Operatör	Alt Ürün Çıkışını Tekrar Başlatan Operatör	Kolonunu Durduran Operatör	Sonuç
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	E	
	0.25	0.25	0.25	0.1	

Başlangıç Olayı:

Kademeli Absorpsiyon Kolonu
Alt Kolon
Basınç Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(3 numaralı sistem)

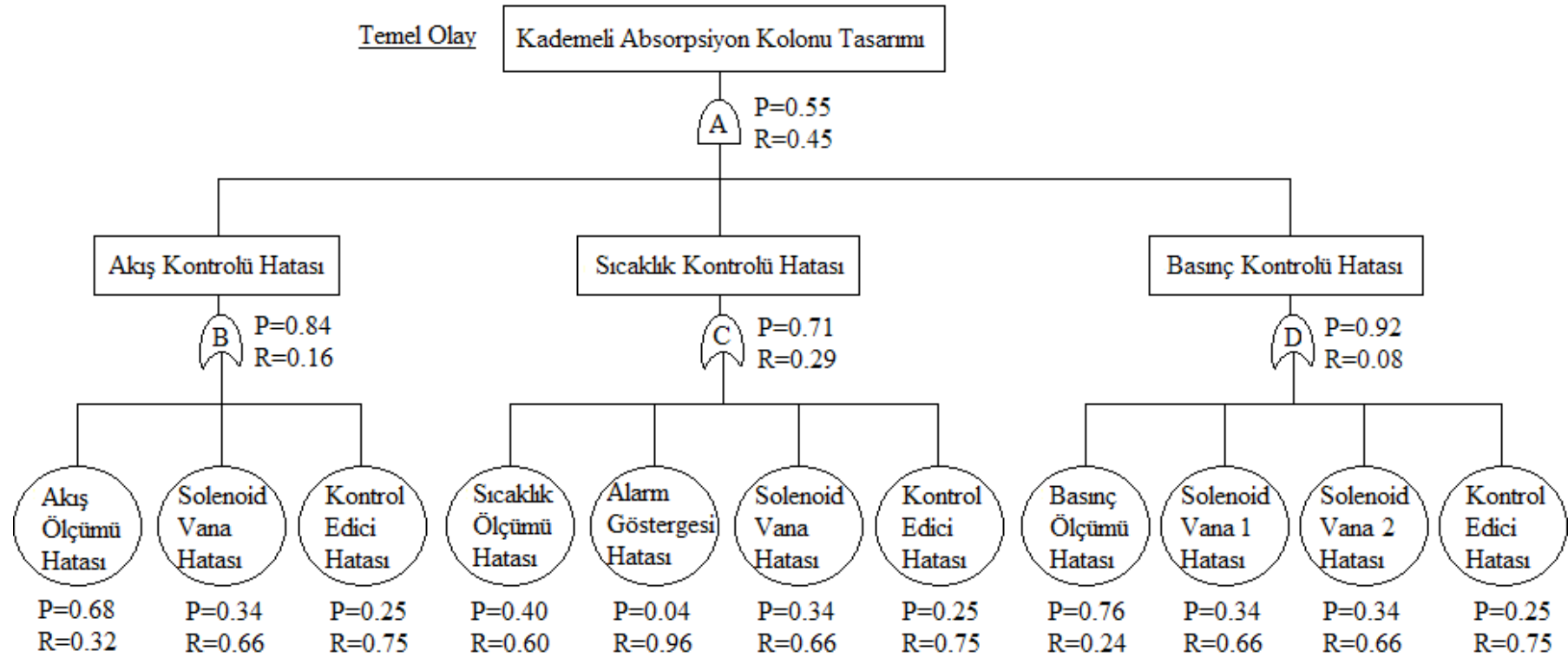


Şekil 3.54 Kademeli absorpsiyon kolonu sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolenden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

3.11.4 Kademeli Absorpsiyon Kolonu için Hata Ağacı

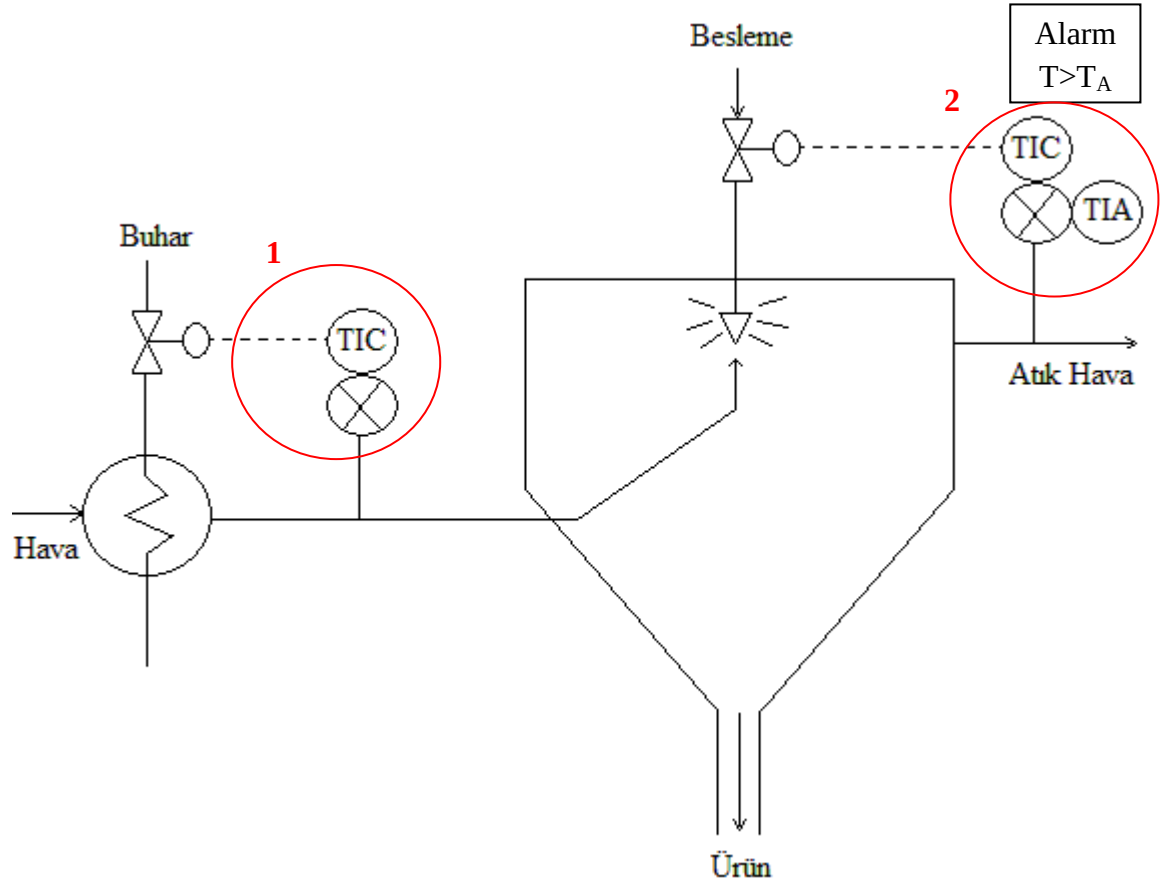
Kademeli absorpsiyon kolonu sistemi için hata ağacı analizi yapılırken, temel olay kademeli absorpsiyon kolonu hatası olarak dikkate alınır. Bu arızaya neden olabilecek tüm olayların analizi yapılarak, güvenilirlik ve arıza olasılıkları tek tek hata ağacı üzerine yazılır. Değerler olasılık teorisi kısmında hesaplanan değerlerdir (hata ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.4 Hata Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



Şekil 3.55 Kademeli absorpsiyon kolonu sistemi için hata ağacı

3.12 Sprey Kurutucu

Sıvıların, yarı sıvıların, emülsiyonların, süspansiyonların, pürelerin ve benzeri materyallerin kurutulmasında kullanılan etkin ve nispeten yeni bir tekniktir. Materyal içindeki su yüksek sıcaklıkta buharlaşır ve kurutmada kullanılan havanın sürükleyici etkisiyle uzaklaştırılırken partiküller halindeki kurumuş materyal başka bir yerde toplanır. Sprey kurutucu kontrol sisteminde hava girişi sıcaklığı ölçülür ve bir kontrol edici ile solenoid vanaya bağlanarak kontrol sağlanır (1 numaralı sistem). Atık havanın da sıcaklığı ölçülür ve bir sıcaklık alarm sistemi ile sıcaklık ($T > T_A$) operatöre uyarı verilir. Kontrol edici ve besleme girişindeki solenoid vana ile tehlikeli atık hava sıcaklığı durumunda kontrol sağlanır (2 numaralı sistem).



Şekil 3.56 Sprey kurutucu kontrol sistemi (Perry ve Chilton 1974)

155

Proje Adı: Sprey Kurutucu				Tarih:		Sayfa:155		Tamamlanmış:	
Proses: Sprey Kurutucu								Olay Yok:	
Bölüm: 3.12				Referans Çizim: 3.56				Yanıt Tarihi:	
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:		
1A	Kurutucu Besleme Borusu	Akış	No	1. Besleme arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Besleme seviyesinin emniyet ve monitör güvenilirliği			
			Not	2. Tıkalı boru	2. "	2. Filtre takmak			
			None	3. Solenoid vana arızası	3. "	Periyodik bakım yapmak			
				4. Kontrol edici arızası	4. "	3. Periyodik bakım yapmak			
1B			High	1. Solenoid vana arızası	1. Aşırı besleme, olası sızıntı	4. Kritik malzeme listesinde yer alır			
				2. Kontrol edici arızası	2. "	1. Periyodik bakım yapmak			
1C			Low	1. Kısmen tıkalı borular	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	2.Kritik malzeme listesinde yer alır			
				2. Solenoid vana arızası	2. "	1. Filtre takmak,			
				3. Kontrol edici arızası	3. "	Periyodik bakım yapmak			
				1. Kirlilik	1.Mümkün değil	2. Periyodik bakım yapmak			
1D	Kurutucu Hava Girişi	Sıcaklık	As well as	1. 1C'ye bakın	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Periyodik bakım yapmak			
1E			Part of	1. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Besleme kaybı, olası sızıntı				
1F			Rerverse	1. Olasılık dikkate alınmaz					
1G			Other than	1. Besleme erken başlar	1.Yok				
1H			Sooner than	1. Konrtol edici hatası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Kritik malzeme listesinde yer alır			
1I			Later than	1. Solenoid vana arızası	1.Yüksek sıcaklık, kurutucu patlaması	1. Periyodik bakım yapmak			
2A			High	2. Kontrol edici arızası	2. "	2. Kritik malzeme listesinde yer alır			
				3. Sıcaklık ölçümü arızası	3. "	3. "			
2B			Low	1.Solenoid vana arızası	1.Düşük sıcaklık	1. Periyodik bakım yapmak			
				2. Kontrol edici arızası	2. "	2. Kritik malzeme listesinde yer alır			
2C		Other than	3. Sıcaklık ölçümü arızası	3. "	3. "				
			1.Olasılık dikkate alınmaz						

Çizelge 3.12 Sprey kurutucu için HAZOP formu (devam)

Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:	↓	↓	↓	↓
3A	Kurutucu Atık Hava	Sıcaklık	High	1.Solenoid vana arızası	1.Yüksek sıcaklık, kurutucu patlaması	1. Periyodik bakım yapmak					
3B			Low	2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası 4.Alarm arızası	2. " 3. " 4. "	2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. " 4. Periyodik bakım yapmak					
3C			Other than	1.Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası 1.Olasılık dikkate alınmaz	1.Düşük sıcaklık 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "					

3.12.2 Sprey Kurutucu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama

Sprey kurutucu için olasılık teorisi ile hesaplama yapılırken çizelge 2.8'den yararlanılır ve ilgili proses bileşenleri için arıza hızları (μ) kullanılarak güvenilirlik ve arıza olasılığı hesaplanır. Daha sonra sıcaklık için ilgili bileşenlerin kombinasyonları hesaplanarak, sprey kurutucu için arıza hızı ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) hesaplanır (detaylı hesaplama basamaklarını “3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı Hesaplama” kısmında bulabilirsiniz).

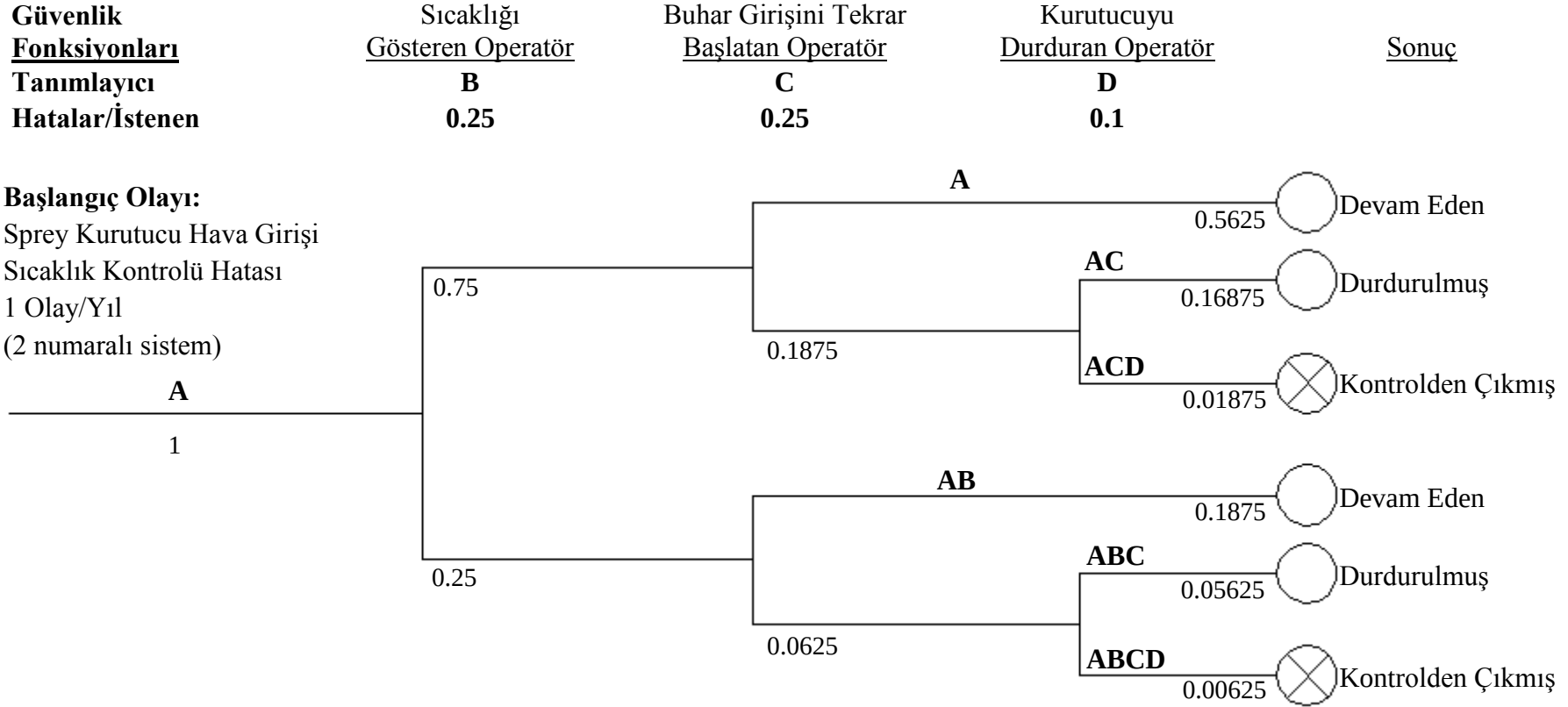
Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34
Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
Sıcaklık Ölçümü (Isıl Çift)	0.52	0.60	0.40

İşletim süresi 1 yıl varsayılır.

Bileşen	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	MTBF (yıl)
1 Numaralı Sistem (Sıcaklık Kontrol)	0.297	0.703	1.21	0.82
2 Numaralı Sistem (Sıcaklık Kontrol)	0.29	0.71	1.2	0.83
Tüm Sistem	0.50	0.50	0.70	1.4

Sprey kurutucu sisteminin ortalama olarak her 1.4 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

3.12.3 Sprey Kurutucu için Olay Ağacı

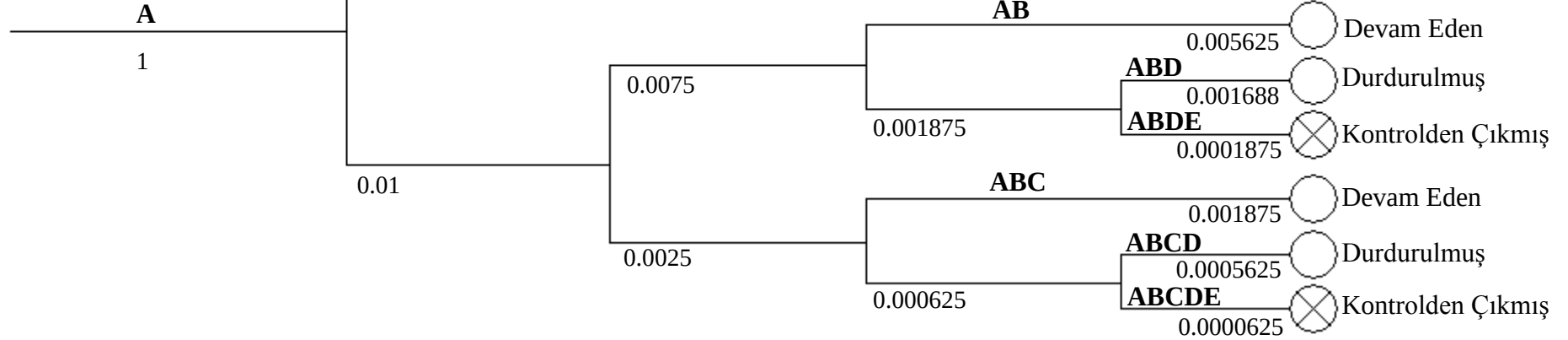


Şekil 3.57 Sprey kurutucu sistemi için hava girişi sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı
Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
 (Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik Fonksiyonları	Yüksek Sıcaklığı Alarm Veren Operatör	Sıcaklığı Gösteren Operatör	Beslemeyi Tekrar Başlatan Operatör	Kurutucuyu Durduran Operatör	Sonuç
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	E	
	0.01	0.25	0.25	0.1	

Başlangıç Olayı:

Sprey Kurutucu Atık Hava Sıcaklık Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(1 numaralı sistem)

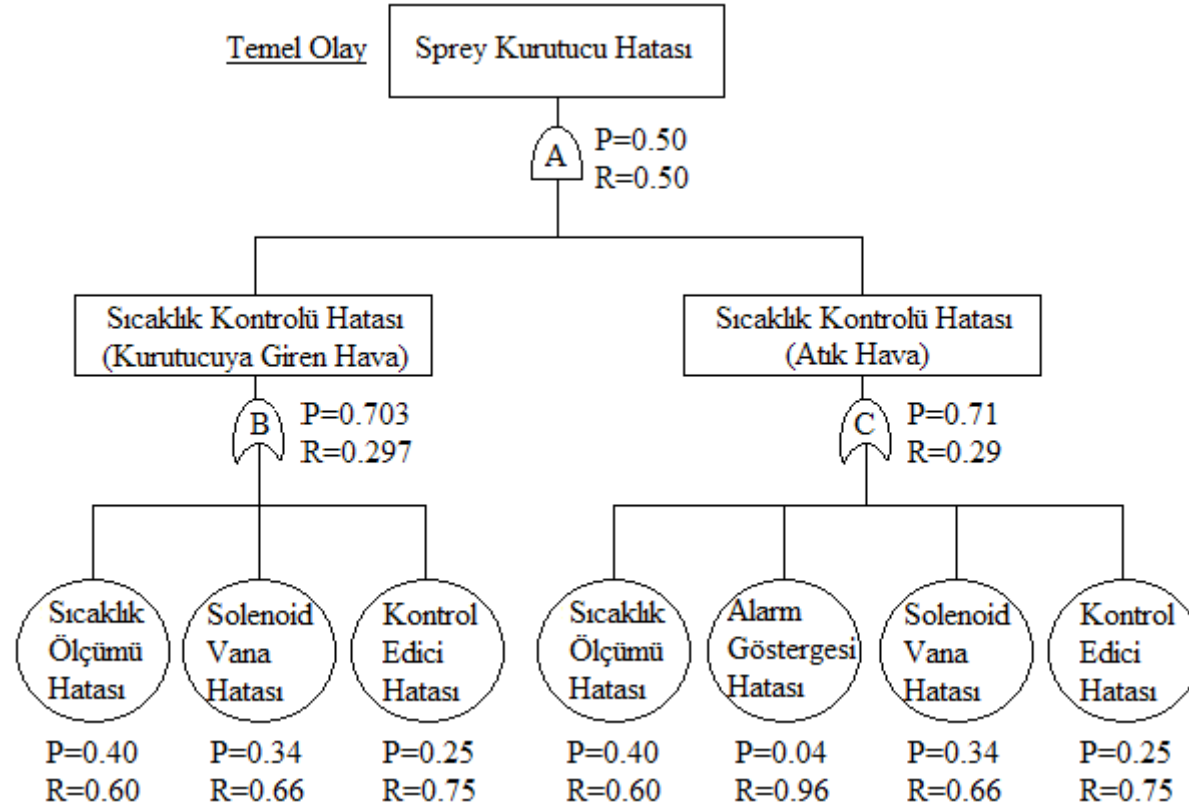


Şekil 3.58 Sprey kurutucu sistemi için atık hava sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

3.12.4 Sprey Kurutucu için Hata Ağacı

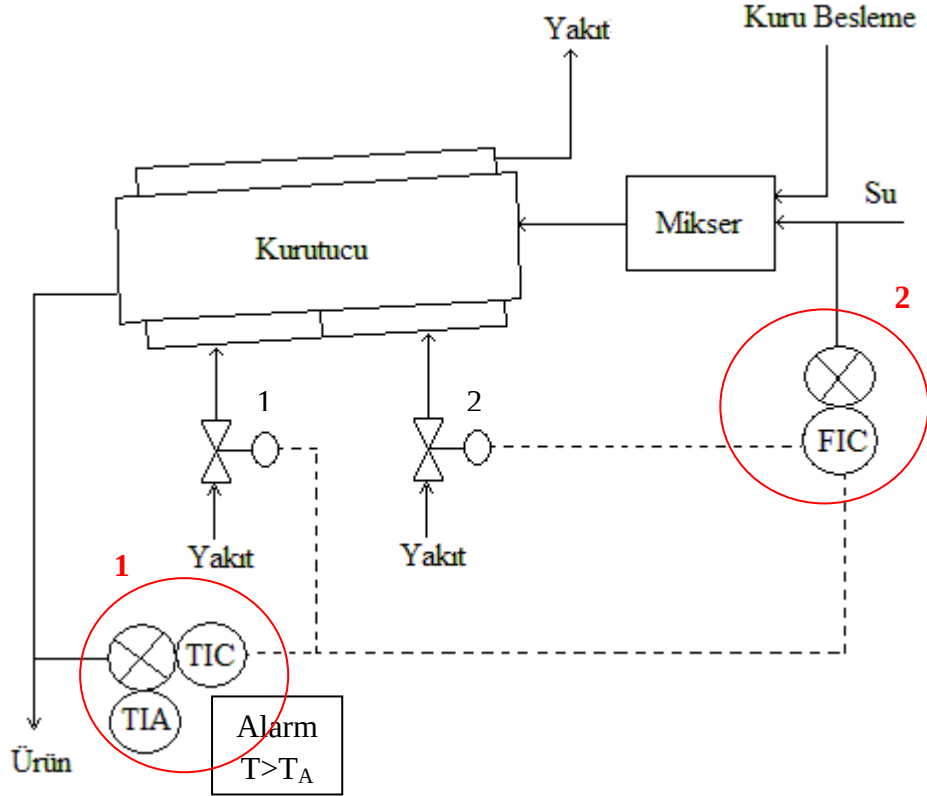
Sprey kurutucu sistemi için hata ağacı analizi yapılırken, temel olay spreya kurutucu hatası olarak dikkate alınır. Bu arızaya neden olabilecek tüm olayların analizi yapılarak, güvenilirlik ve arıza olasılıkları tek tek hata ağacı üzerine yazılır. Değerler olasılık teorisi kısmında hesaplanan değerlerdir (hata ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.4 Hata Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



Şekil 3.59 Sprey kurutucu sistemi için hata ağacı

3.13 Mikser Kurutucu

Mikser kurutucu sisteminde su ve kuru besleme mikserde karıştırıldıktan sonra kurutucu sistemine girmektedir. Kurutucu, ceketlerdeki yakıt ile kurutma işlemini gerçekleştirmektedir. Mikser kurutucu kontrol sisteminde ürünün sıcaklığı ölçülür ve bir sıcaklık alarm sistemi ile sıcaklık ($T > T_A$) operatöre uyarı verilir, kontrol edici ve solenoid vana ile tehlikeli ürün sıcaklığı durumunda kontrol sağlanır (1 numaralı sistem). Su giriş akış hızı ölçülür ve bir kontrol edici ile iki yakıt girişlerindeki solenoid vanalara bağlanarak kontrol sağlanır (2 numaralı sistem).



Şekil 3.60 Mikser kurutucu kontrol sistemi (Perry ve Chilton 1974)

3.13.1 Mikser Kurutucu için HAZOP Formu

Çizelge 3.13 Mikser kurutucu için HAZOP formu

Proje Adı: Mikser Kurutucu				Tarih:		Sayfa:162		Tamamlanmış:	
Proses: Mikser Kurutucu								Olay Yok:	
Bölüm: 3.13				Referans Çizim: 3.60				Yanıt Tarihi:	
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:		
1A	Kurutucu Ürün Çıkışı	Sıcaklık	High	1.Solenoid vana arızası	1.Yüksek sıcaklık, kurutucu patlaması	1. Periyodik bakım yapmak			
2. Kontrol edici arızası				2. "	2. Kritik malzeme listesinde yer alır				
3.Sıcaklık ölçümü arızası		3. "	3. "						
4.Alarm arızası		4. "	4. Periyodik bakım yapmak						
1B		Low	1.Solenoid vana arızası	1.Düşük sıcaklık	1. Periyodik bakım yapmak				
2. Kontrol edici arızası			2. "	2. Kritik malzeme listesinde yer alır					
3. Sıcaklık ölçümü arızası		3. "	3. "						
1C		Su Besleme Borusu	Akış	Other than No Not None	1.Olasılık dikkate alınmaz				
2A	1. Besleme arızası				1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Besleme seviyesinin emniyet ve monitör güvenilirliği			
	2. Tıkalı boru				2. "	2. Filtre takmak			
	3. Akış ölçer arızası				3. "	3. Periyodik bakım yapmak			
2B	1. Akış ölçer arızası				1. Aşırı besleme, olası sızıntı	1.Kritik malzeme listesinde yer alır			
2C	1. Kısmen tıkalı borular				1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Filtre takmak,			
	2. Akış ölçer arızası				2. "	2. Periyodik bakım yapmak			
2D	As well as Part of Reverse Other than Sooner than Later than	1. Kirlilik	1.Mümkün değil	2. Kritik malzeme listesinde yer alır					
2E		1. 2C'ye bakın							
2F		1. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Periyodik bakım yapmak					
2G		1. Olasılık dikkate alınmaz							
2H		1. Besleme erken başlar	1.Yok						
2I		1. Besleme geç başlar	1.Yok						

Çizelge 3.13 Mikser kurutucu için HAZOP formu (devam)

Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:				
3A	Yakıt Besleme Boruları	Akış	No Not None	1. Besleme arızası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Besleme seviyesinin emniyet ve monitör güvenilirliği 2. Filtre takmak Periyodik bakım yapmak 3. Periyodik bakım yapmak 4. " 5. Kritik malzeme listesinde yer alır 6. " 7. " 8. "					
				2. Tıkalı boru	2. "						
				3. Solenoid vana 1 arızası	3. "						
				4. Solenoid vana 2 arızası	4. "						
				5. Akış hızı konrtol edici hatası	5. "						
				6. Sıcaklık konrtol edici hatası	6. "						
				7. Akış ölçer arızası	7. "						
				8. Sıcaklık ölçümü arızası	8. "						
3B		High	1.Solenoid vana 1 arızası	1. Aşırı besleme, olası sızıntı	1. Periyodik bakım yapmak						
			2.Solenoid vana 2 arızası	2. "	2. "						
			3. Akış hızı kontrol edici hatası	3. "	3. Kritik malzeme listesinde yer alır						
			4. Sıcaklık kontrol edici hatası	4. "	4. "						
			5. Akış ölçer arızası	5. "	5. "						
			6. Sıcaklık ölçümü arızası	6. "	6. "						
3C		Low	1. Kısmen tıkalı borular	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Filtre takmak, Periyodik bakım yapmak						
			2.Solenoid vana 1 arızası	2. "	2. Periyodik bakım yapmak						
			3.Solenoid vana 2 arızası	3. "	3. "						
			4. Akış hızı kontrol edici hatası	4. "	4. Kritik malzeme listesinde yer alır						
			5. Sıcaklık kontrol edici hatası	5. "	5. "						
			6. Akış ölçer arızası	6. "	6. "						
			7. Sıcaklık ölçümü arızası	7. "	7. "						
3D				1. Kirlilik	1.Mümkün değil						
3E			As well as	1. 3C'ye bakın							
3F			Part of								
3G			Rerverse	1. Yüksek geri basınçtan dolayı geri akış	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Periyodik bakım yapmak					
3H			Other than	1. Olasılık dikkate alınmaz							
3I			Sooner than	1. Besleme erken başlar	1.Yok						
			Later than	1. Akış hızı kontrol edici hatası	1. Besleme kaybı, olası sızıntı	1. Kritik malzeme listesinde yer alır					
				2. Sıcaklık kontrol edici hatası	2. "	2. "					

3.13.2 Mikser Kurutucu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama

Mikser kurutucu için olasılık teorisi ile hesaplama yapılırken çizelge 2.8’den yararlanılır ve ilgili proses bileşenleri için arıza hızları (μ) kullanılarak güvenilirlik ve arıza olasılığı hesaplanır. Daha sonra sıcaklık ve akış hızı kontrolü için ilgili bileşenlerin kombinasyonları hesaplanarak, mikser kurutucu için arıza hızı ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) hesaplanır (detaylı hesaplama basamaklarını “3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı Hesaplama” kısmında bulabilirsiniz).

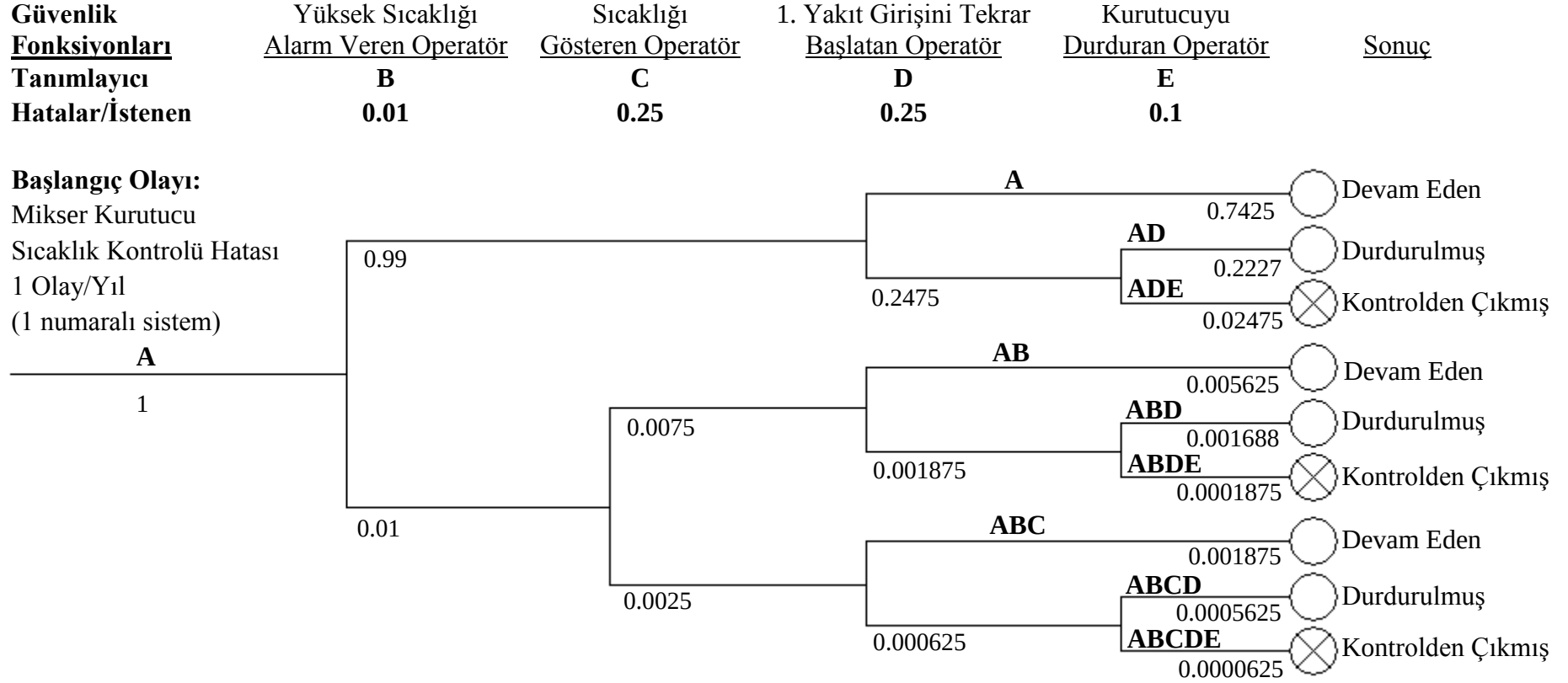
Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34
Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
Sıcaklık Ölçümü (Isıl Çift)	0.52	0.60	0.40
Akış Ölçümü (Akışkanlar)	1.14	0.32	0.68

İşletim süresi 1 yıl varsayılır.

Bileşen	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	MTBF (yıl)
1 Numaralı Sistem (Sıcaklık Kontrol)	0.29	0.71	1.2	0.83
2 Numaralı Sistem (Akış Kontrol)	0.11	0.89	2.21	0.45
Tüm Sistem	0.37	0.63	0.99	1.1

Mikser kurutucu sisteminin ortalama olarak her 1.01 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

3.13.3 Mikser Kurutucu için Olay Ağacı



Şekil 3.61 Mikser kurutucu sistemi için sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik
Fonksiyonları
Tanımlayıcı
Hatalar/İstenen

Akış Hızını
 Gösteren Operatör
B
0.25

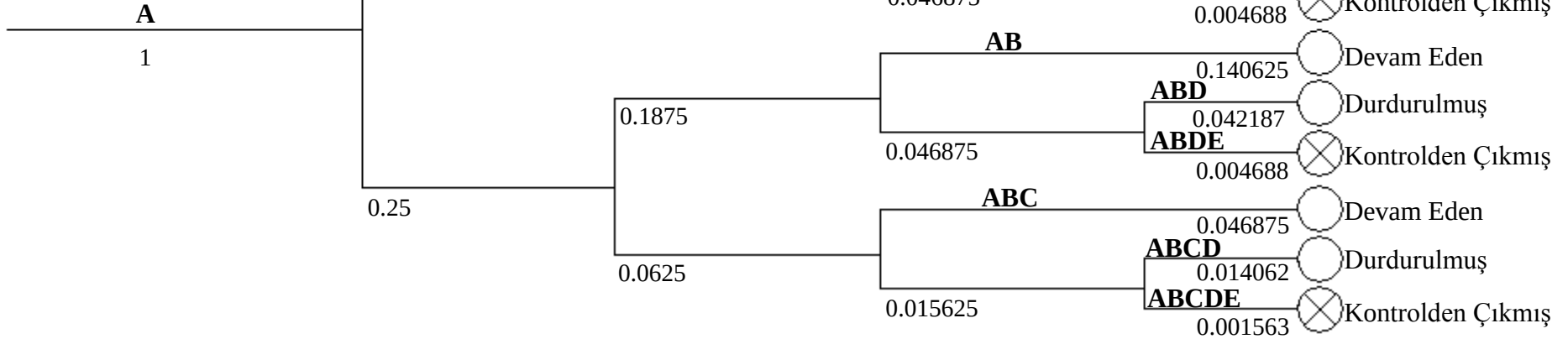
1.Yakıt Girişini Tekrar
 Başlatan Operatör
C
0.25

2.Yakıt Girişini Tekrar
 Başlatan Operatör
D
0.25

Kolonunu
 Durduran Operatör
E
0.1

Sonuç

Başlangıç Olayı:
 Mikser Kurutucu
 Akış Hızı Kontrolü Hatası
 1 Olay/Yıl
 (2 numaralı sistem)

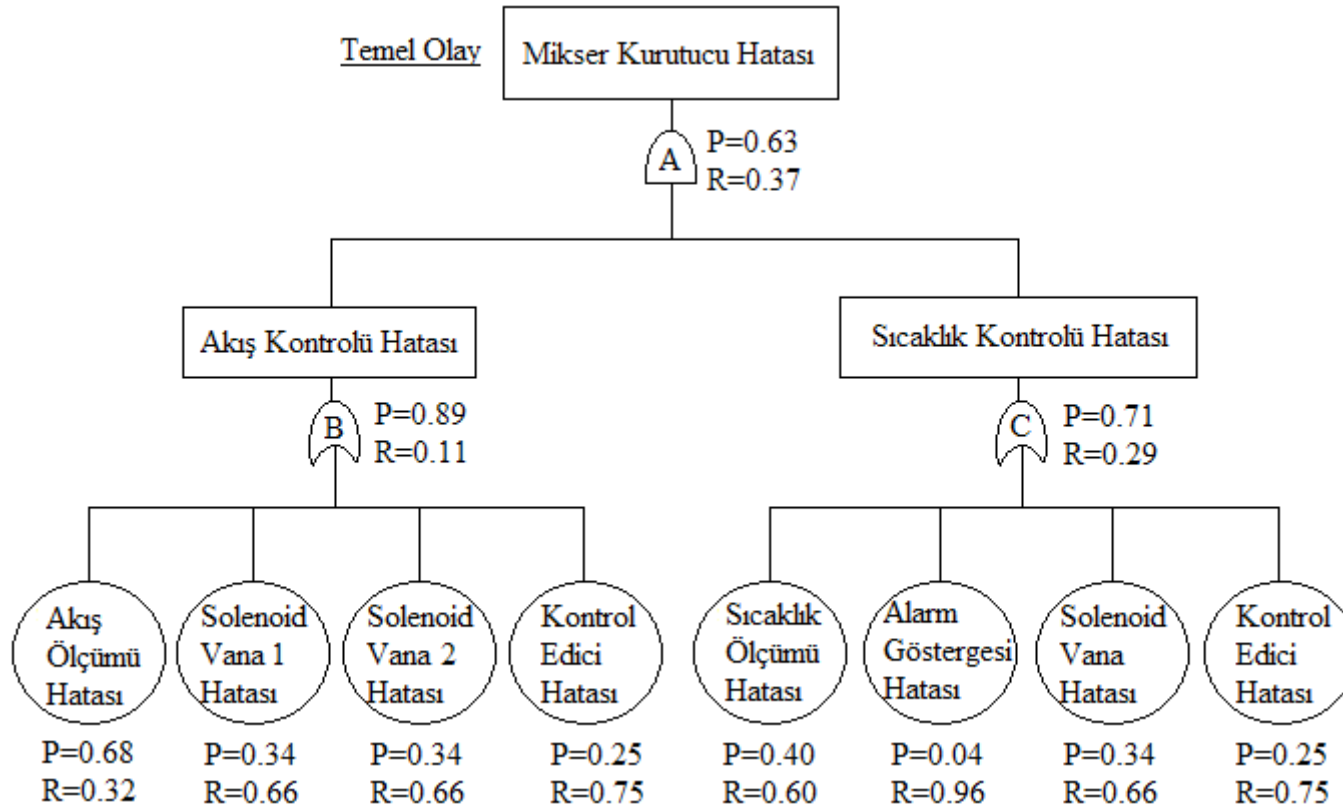


Şekil 3.62 Mikser kurutucu sistemi için akış hızı kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolde Çıkmış** = 0.0250 olay / yıl
 (Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

3.13.4 Mikser Kurutucu için Hata Ağacı

Mikser kurutucu sistemi için hata ağacı analizi yapılırken, temel olay mikser kurutucu hatası olarak dikkate alınır. Bu arızaya neden olabilecek tüm olayların analizi yapılarak, güvenilirlik ve arıza olasılıkları tek tek hata ağacı üzerine yazılır. Değerler olasılık teorisi kısmında hesaplanan değerlerdir (hata ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.4 Hata Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

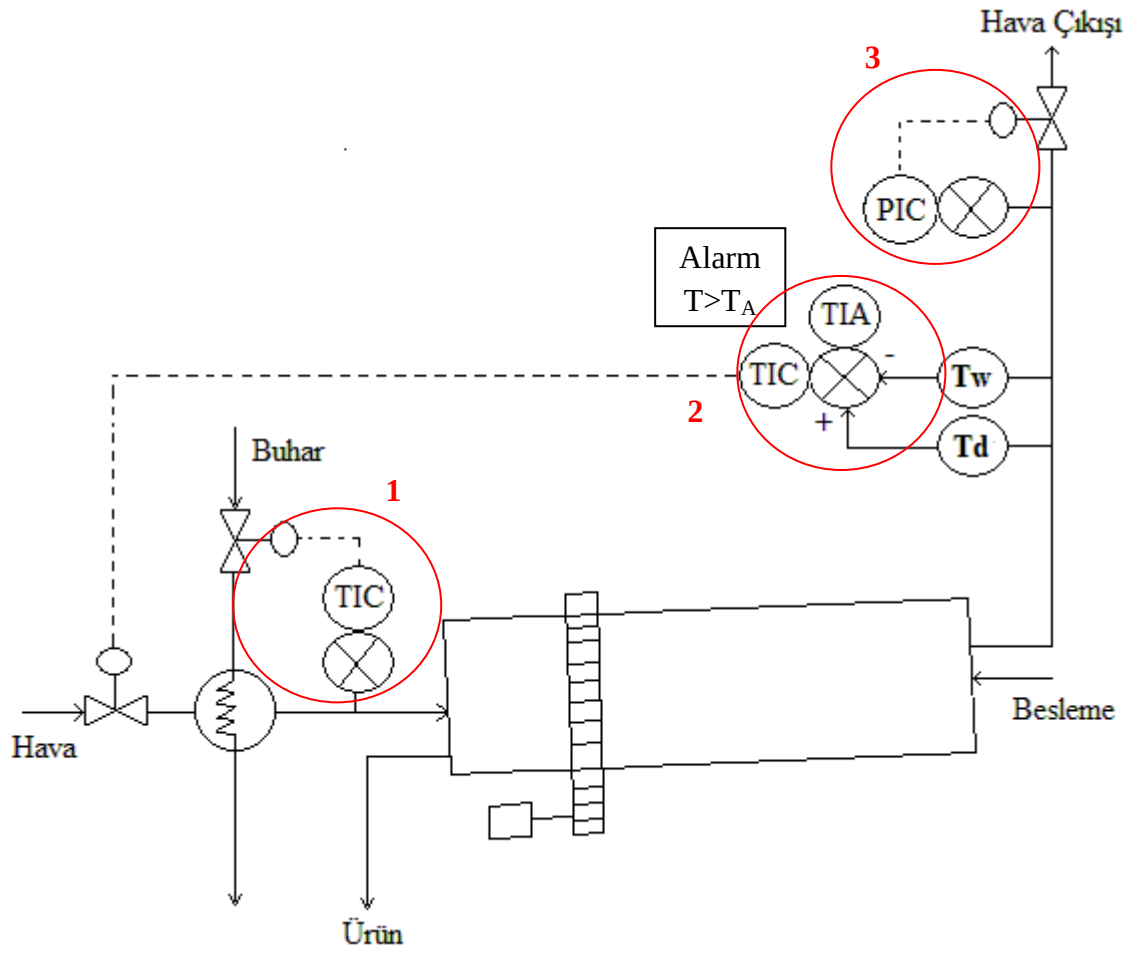


Şekil 3.63 Mikser kurutucu sistemi için hata ağacı

3.14 Döner Kurutucu

Döner kurutmalar sanayilerde geniş kullanma alanı bulan endüstriyel bir kurutma tipidir. Kurutulacak malzemenin rutubetine fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre çeşitli malzemelerden (karbon çelik, paslanmaz çelik gibi) çeşitli boy ve çaplarda tasarlanırlar. Döner kurutucularda kurutulacak malzemenin hassasiyetine göre direkt veya indirekt ve uygun sıcaklıklarda kurutma havası kullanılır. Kurutma havasının kurutma içinde kurutulacak malzeme ile teması ya paralel akım şeklinde veya ters akım şeklinde olur. Kurutulacak malzeme döner kurutmaya bir uçtan beslenir, kurutma içindeki kanalcıklar ve kurutmanın eğimi vasıtası ile diğer uca doğru hareketli bir şekilde iletilirler. Bu hareket sırasında sıcak kurutma havası ile temasta olan malzeme kurutmanın diğer ucundan kurutulmuş olarak alınır.

Döner kurutucu kontrol sisteminde hava giriş sıcaklığı ölçülür ve bir kontrol edici ile buhar girişlerindeki solenoid vanaya bağlanarak kontrol sağlanır (1 numaralı sistem). Hava çıkışındaki ıslak ve kuru hava sıcaklıkları ölçülür ve bir sıcaklık alarm sistemi ile sıcaklık ($T > T_A$) operatöre uyarı verilir, kontrol edici ile tehlikeli hava sıcaklığı durumunda hava girişindeki solenoid vana ile kontrol sağlanır (2 numaralı sistem). Hava çıkışındaki basınç ölçülür ve bir kontrol edici ile hava çıkışındaki solenoid vanaya bağlanarak kontrol sağlanır (3 numaralı sistem).



Şekil 3.64 Döner kurutucu kontrol sistemi (Perry ve Chilton 1974)

3.14.1 Döner Kurutucu için HAZOP Formu

Çizelge 3.14 Döner kurutucu için HAZOP formu

Proje Adı: Döner Kurutucu				Tarih:	Sayfa:170	Tamamlanmış:	
Proses: Döner Kurutucu						Olay Yok:	
Bölüm: 3.14				Referans Çizim: 3.64		Yanıt Tarihi:	
Öge	Çalışma Devresi	Proses Parametresi	Anahtar Kelime	Olası Olaylar	Olası Sonuçlar	Gerekli Olaylar	Atanan:
1A	Kurutucu Hava Girişi	Sıcaklık	High	1.Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası	1.Yüksek sıcaklık, kurutucu patlaması 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "	
1B			Low	1.Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası	1.Düşük sıcaklık 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "	
1C			Other than High	1.Olasılık dikkate alınmaz 1.Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası	1.Yüksek sıcaklık, kurutucu patlaması 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. " 4. Periyodik bakım yapmak	
2A	Kurutucu Hava Çıkışı	Sıcaklık	High	1.Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası 4.Alarm arızası	1.Yüksek sıcaklık, kurutucu patlaması 2. " 3. " 4. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. " 4. Periyodik bakım yapmak	
2B			Low	1.Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Sıcaklık ölçümü arızası	1.Düşük sıcaklık 2. " 3. "	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "	
2C			Other than High	1.Olasılık dikkate alınmaz 1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	1.Yüksek basınç, kurutucu patlaması 2. " 3. " 1.Düşük basınç	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. " 1. Periyodik bakım yapmak	
2D		Basınç	High	1. Solenoid vana arızası 2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	1.Yüksek basınç, kurutucu patlaması 2. " 3. " 1.Düşük basınç	1. Periyodik bakım yapmak 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. " 2. Kritik malzeme listesinde yer alır	
2E			Low	2. Kontrol edici arızası 3. Basınç ölçümü arızası	2. " 3. " 2. Kritik malzeme listesinde yer alır 3. "		

3.14.2 Döner Kurutucu için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı hesaplama

Döner kurutucu için olasılık teorisi ile hesaplama yapılırken çizelge 2.8'den yararlanılır ve ilgili proses bileşenleri için arıza hızları (μ) kullanılarak güvenilirlik ve arıza olasılığı hesaplanır. Daha sonra sıcaklık ve basınç kontrolü için ilgili bileşenlerin kombinasyonları hesaplanarak, döner kurutucu için arıza hızı ve arızalar arası ortalama süre (MTBF) hesaplanır (detaylı hesaplama basamaklarını “3.1.2 Soğutma Borulu Reaktör için Olasılık Teorisi ile Arıza Olasılığı Hesaplama” kısmında bulabilirsiniz).

Bileşen	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$
Kontrol Edici	0.29	0.75	0.25
Solenoid Vana	0.42	0.66	0.34
Alarm Göstergesi	0.044	0.96	0.04
Sıcaklık Ölçümü (Isıl Çift)	0.52	0.60	0.40
Basınç Ölçümü	1.41	0.24	0.76

İşletim süresi 1 yıl varsayılır.

Bileşen	Güvenilirlik $R = e^{-\mu t}$ (olay/yıl)	Arıza Olasılığı $P = 1 - R$ (olay/yıl)	Arıza Hızı μ (arıza/yıl)	MTBF (yıl)
1 Numaralı Sistem (Sıcaklık Kontrol)	0.297	0.703	1.21	0.82
2 Numaralı Sistem (Sıcaklık Kontrol)	0.29	0.70	1.2	0.83
3 Numaralı Sistem (Basınç Kontrol)	0.12	0.88	2.12	0.47
Tüm Sistem	0.56	0.44	0.58	1.72

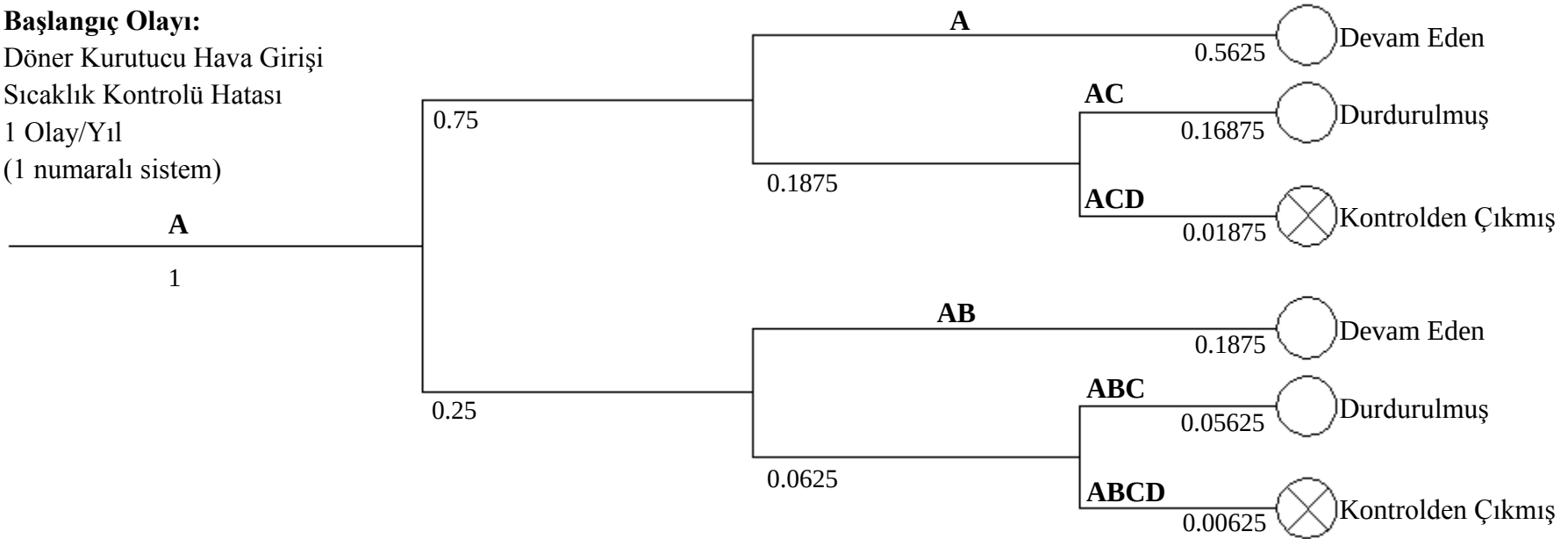
Döner kurutucu sisteminin ortalama olarak her 1.72 yılda bir defa arızalanması öngörülmektedir.

3.14.3 Döner Kurutucu için Olay Ağacı

<u>Güvenlik</u> <u>Fonksiyonları</u> <u>Tanımlayıcı</u> <u>Hatalar/İstenen</u>	<u>Sıcaklığı</u> <u>Gösteren Operatör</u> B 0.25	<u>Buhar Girişini Tekrar</u> <u>Başlatan Operatör</u> C 0.25	<u>Kurutucuyu</u> <u>Durduran Operatör</u> D 0.1	<u>Sonuç</u>
---	---	---	---	--------------

Başlangıç Olayı:

Döner Kurutucu Hava Girişi
Sıcaklık Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(1 numaralı sistem)



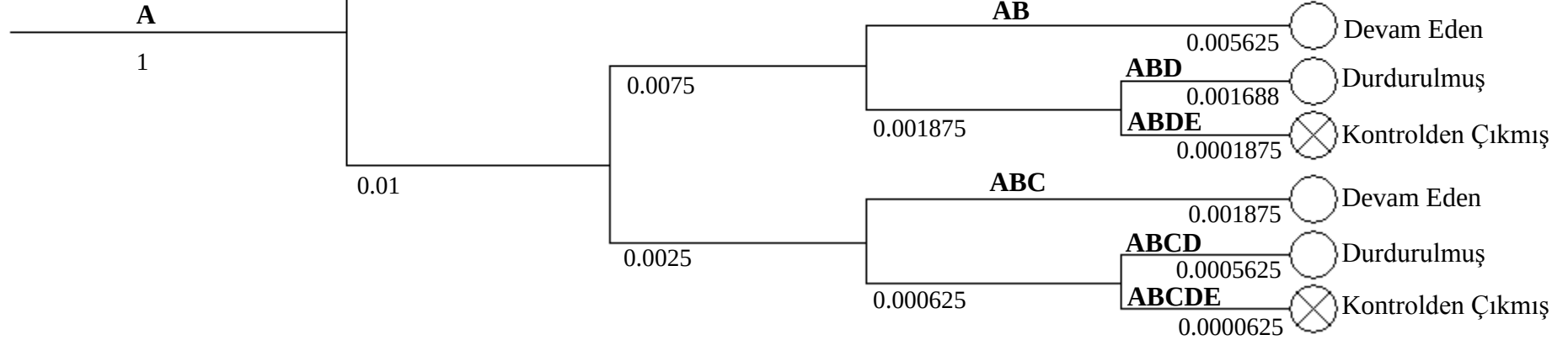
Şekil 3.65 Döner kurutucu sistemi için hava girişi sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolde Çıkış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik Fonksiyonları	Yüksek Sıcaklığı Alarm Veren Operatör	Sıcaklığı Gösteren Operatör	Hava Girişini Tekrar Başlatan Operatör	Kurutucuyu Durduran Operatör	Sonuç
Tanımlayıcı Hatalar/İstenen	B	C	D	E	
	0.01	0.25	0.25	0.1	

Başlangıç Olayı:

Döner Kurutucu Atık Hava Sıcaklık Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(2 numaralı sistem)



Şekil 3.66 Döner kurutucu sistemi için atık hava sıcaklık kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolde Çıkış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

Güvenlik
Fonksiyonları
Tanımlayıcı
Hatalar/İstenen

Basıncı
Gösteren Operatör
B
0.25

Hava Çıkışını Tekrar
Başlatan Operatör
C
0.25

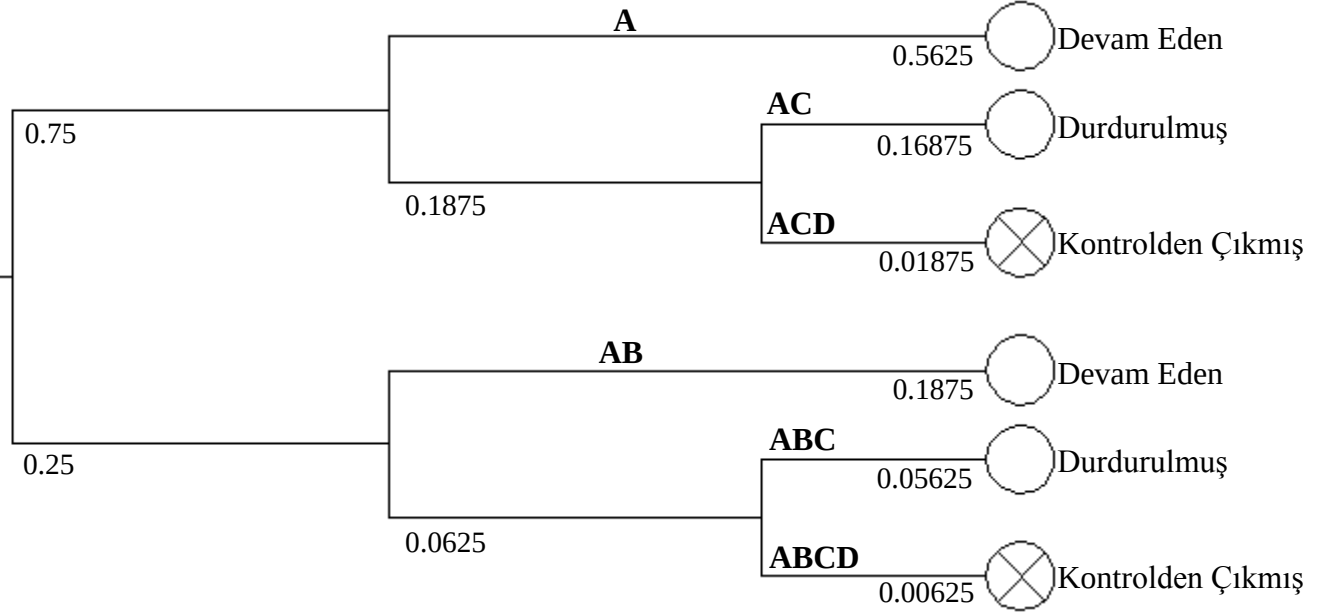
Kurutucuyu
Durduran Operatör
D
0.1

Sonuç

Başlangıç Olayı:

Döner Kurutucu
Basınç Kontrolü Hatası
1 Olay/Yıl
(3 numaralı sistem)

A
1

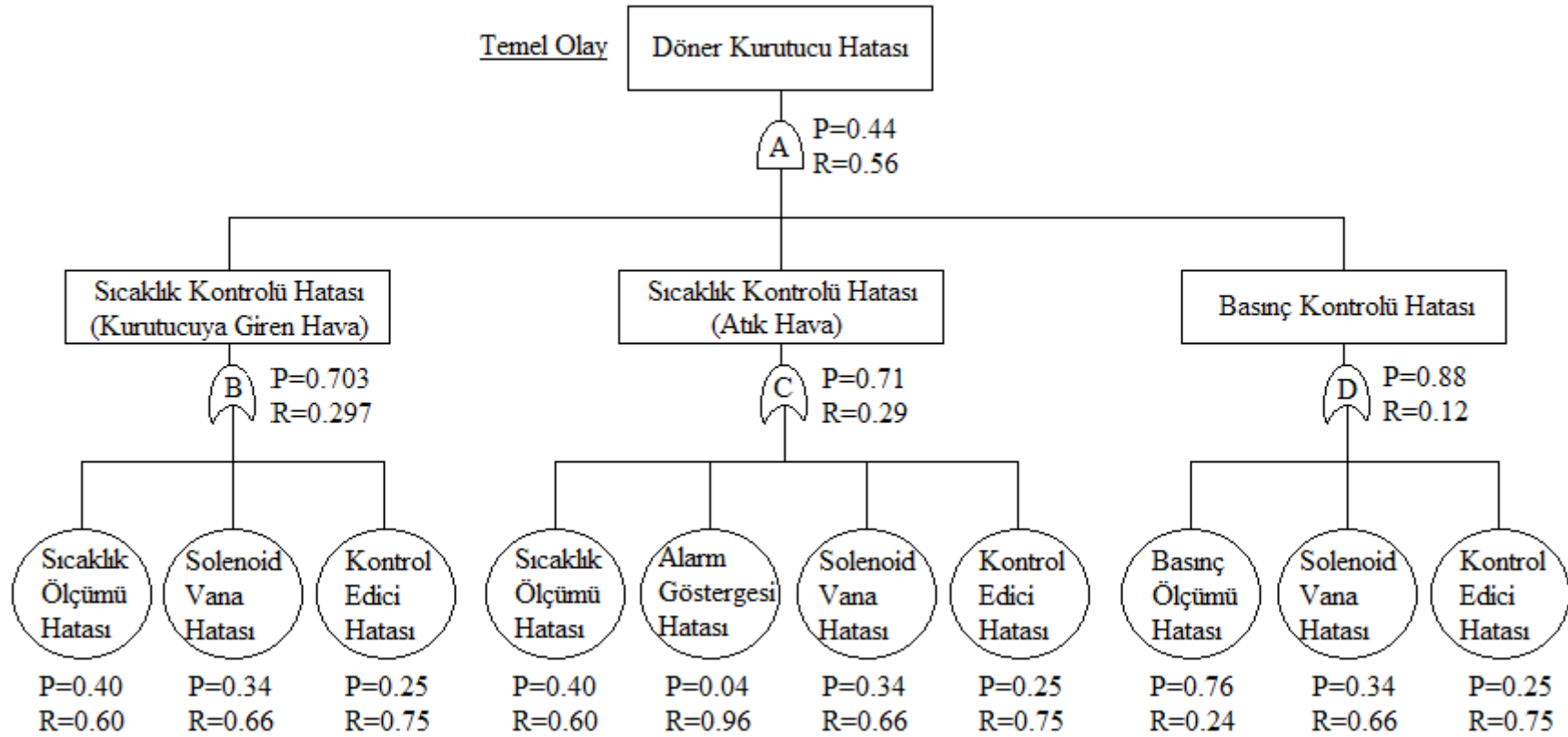


Şekil 3.67 Döner kurutucu sistemi için basınç kontrolü hatası olay ağacı

Devam Eden = 0.75 olay / yıl, **Durdurulmuş** = 0.2250 olay / yıl, **Kontrolden Çıkış** = 0.0250 olay / yıl
(Olay ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.3 Olay Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).

3.14.4 Döner Kurutucu için Hata Ağacı

Döner kurutucu sistemi için hata ağacı analizi yapılırken, temel olay döner kurutucu hatası olarak dikkate alınır. Bu arızaya neden olabilecek tüm olayların analizi yapılarak, güvenilirlik ve arıza olasılıkları tek tek hata ağacı üzerine yazılır. Değerler olasılık teorisi kısmında hesaplanan değerlerdir (hata ağacı çizimi için detaylı bilgiyi Kuramsal Temeller 2.4 Hata Ağacı Analizi kısmında bulabilirsiniz).



Şekil 3.68 Döner kurutucu sistemi için hata ağacı

Çizelge 3.15 İncelenen üniteler için uygulanan risk değerlendirme yöntemlerinin analizi

		ANALİZ YÖNTEMİ					
		Olasılık Teorisi (PT: Probability Theory)	Olay Ağacı Analizi (ETA: Event Tree Analysis)			Hata Ağacı Analizi (FTA: Fault Tree Analysis)	
	İNCELENEN ÜNİTE	1/MTBF (olay/yıl)	Devam Eden İşlem (olay/yıl)	Durdurulmuş İşlem (olay/yıl)	Kontrolden Çıkmış İşlem (olay/yıl)	Güvenilirlik R (olay/yıl)	Arıza Olasılığı P (olay/yıl)
1	Soğutma Borulu Reaktör	0.58	3.75	1.125	0.125	0.559	0.441
2	Egzotermik Polimerizasyon Reaktörü	1.14	1.5	0.45	0.05	0.32	0.68
3	Kesikli Reaktör	0.98	1.5	0.45	0.05	0.375	0.625
4	Isı Değiştirici	1.25	1.5	0.45	0.05	0.287	0.713
5	Buharlaştırıcı	1.82	1.5	0.45	0.05	0.16	0.84
6	Yoğuşturucu	2.22	0.75	0.2250	0.0250	0.11	0.89
7	Santrifüj Pompa/Kompresör	1.37	1.5	0.45	0.05	0.252	0.748
8	Kademeli Damıtma Kolonu	0.75	3.75	1.125	0.125	0.475	0.525
9	Dolgulu Damıtma Kolonu	0.66	3.75	1.125	0.125	0.517	0.483
10	Dolgulu Absorpsiyon Kolonu	0.66	3.75	1.125	0.125	0.517	0.483
11	Kademeli Absorpsiyon Kolonu	0.8	2.25	0.675	0.075	0.45	0.55
12	Sprey Kurutucu	0.71	1.5	0.45	0.05	0.45	0.55
13	Mikser Kurutucu	0.99	1.5	0.45	0.05	0.37	0.63
14	Döner Kurutucu	0.58	2.25	0.675	0.075	0.56	0.44

3.15 Risk Compound Alt Programı ile Nicel Analiz

Günümüzde risk analizi her türlü iş alanında kullanılmakta ve kullanıldığı alana göre finansal risk analizi, sigortacılıkta risk analizi, stres yönetiminde risk analizi vb. farklı uygulamalar içermektedir. @Risk programı, risk analizinin uygulandığı alana göre, 61 farklı olasılık dağılımını ve bu dağılımları içeren alt programları içermekte, bu yüzden de farklı alanlardaki işverenler tarafından tercih edilmektedir. Bu alt programlardan biri de, Poisson ve Lognormal olasılık dağılımlarının Monte Carlo Simülasyonu yardımıyla birleştirilerek risk dağılım grafiklerinin elde edilmesini sağlayan ‘Risk Compound’ alt-programıdır (<http://www.palisade.com/risk/2012>).

Risk Compound, stokastik modellemelerde risk analizi yapılabilmesi amacıyla kullanılan bir alt-programdır. Risk Compound alt-programının çalıştırılabilmesi için, program açıldıktan sonra sıklık değerleri ‘Frequency’ bölümüne, şiddet değerlerin ise ‘Severity’ bölümüne girilmeli, daha sonra da simülasyonun başlatılması için ‘Run Simulation’ butonuna basılmalıdır.

Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınan iş kazası verileri doğrultusunda, ‘Frequency’ bölümüne 2008, 2009, 2010 ve 2011 yıllarında meydana gelmiş kazaların ortalaması yazılır, ‘Severity’ değerlerini belirleyebilmek için ise çizelge 3.1’de yer alan şiddet tanımına bakılarak, meslek hastalığı şiddeti 4, sürekli iş göremezlik şiddeti 5 ve ölüm şiddeti 5 olarak belirlenir. Programın ‘Severity’ bölümünde yer alan iki değer için en küçük ve en büyük rakam seçilir ve daha sonra ‘Run Simulation’ butonuna basılarak grafikler elde edilir. Elde edilen grafiklerdeki ‘Mean’ değeri bize yıllık ortalama iş günü kaybını vermektedir (<http://www.palisade.com/risk/2012>, Anonim 2013D).

Çizelge 3.16 Riskin şiddetinin belirlenmesi (Özkılıç 2005)

Şiddet	Derecelendirme
Çok hafif (1)	İş saati kaybı yok, ilk yardım gerektiren durum
Hafif (2)	İş günü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ve ayakta tedavi gerektiren durum
Orta derecede (3)	Hafif yaralanmaya sebebiyet veren, yatarak tedavi gerektiren durum
Ciddi (4)	Ciddi yaralanmaya sebebiyet veren, uzun süreli tedavi gerektiren durum, meslek hastalığı
Çok ciddi (5)	Ölüme veya sürekli iş görememezliğe sebebiyet veren durum

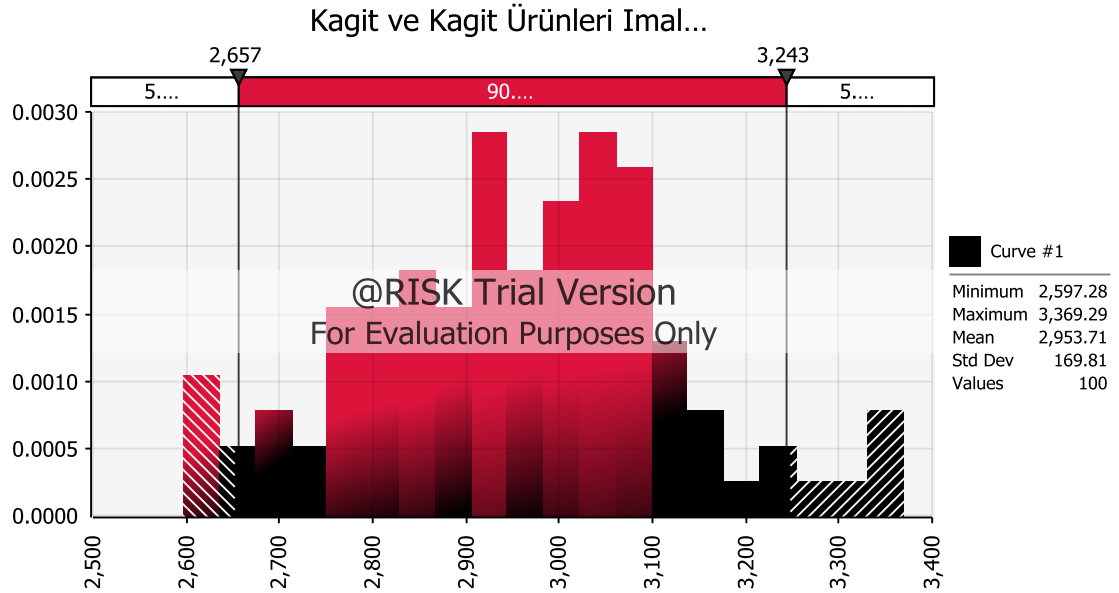
3.15.1 Kağıt ve Kağıt Ürünleri İmalatı

Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınan iş kazası verilerinde 2011 yılı için Türkiye çapında Kağıt ve Kağıt Ürünleri İmalatı için 3015 işletme girişi yapılmıştır.

Çizelge 3.17 Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı için belirlenen verilerin ortalama değerleri

Kağıt ve Kağıt Ürünleri İmalatı (yıl)	İş Kazası Sayısı	Meslek Hastalığı Sayısı	Sürekli İş Göremezlik Sayısı	Ölüm Sayısı
2008	540	1	10	0
2009	613	0	16	1
2010	587	3	11	2
2011	625	1	12	6
ORT.	591.25	1.25	12.25	2.25

Programda ‘Frequency’ (sıklık) değeri yerine 591.25; ‘Severity’ (şiddet) değeri yerine ise (4,5) değerleri yazılır ve ‘Run Simulation’ butonuna basılarak grafik elde edilir.



Şekil 3.69 Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı grafiği

Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı için ‘Mean’ yıllık ortalama iş günü kaybı 2954 gün/yıl olarak öngörülmüştür.

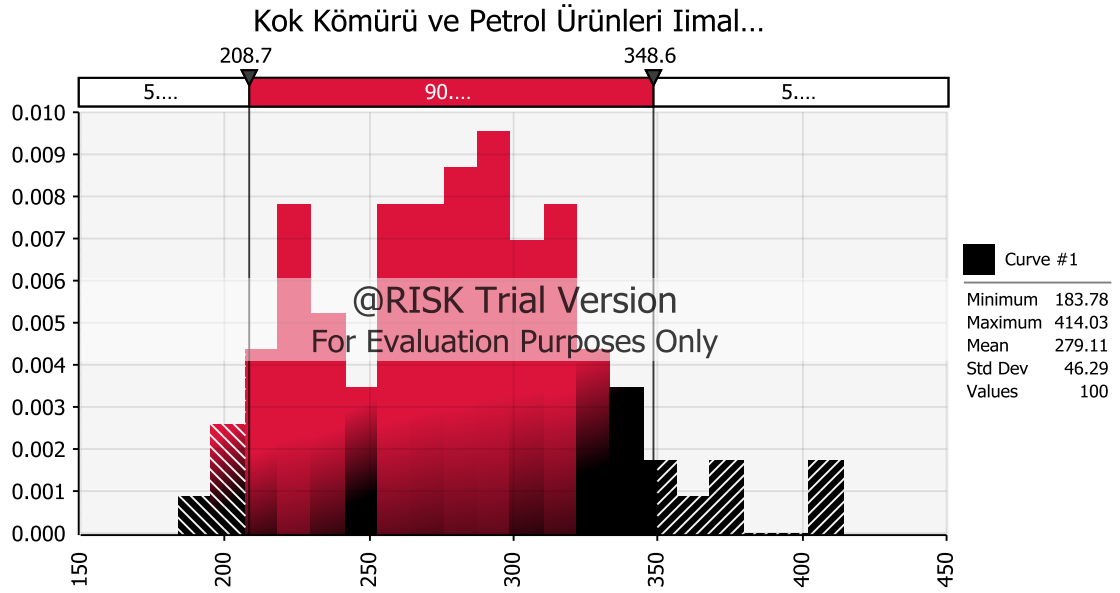
3.15.2 Kok Kömürü ve Petrol Ürünleri İmalatı

Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınan iş kazası verilerinde 2011 yılı için Türkiye çapında Kok Kömürü ve Petrol Ürünleri İmalatı için 584 işletme girişi yapılmıştır.

Çizelge 3.18 Kok kömürü ve petrol ürünleri imalatı için belirlenen verilerin ortalama değerleri

Kok Kömürü ve Petrol Ürünleri İmalatı (yıl)	İş Kazası Sayısı	Meslek Hastalığı Sayısı	Sürekli İş Göremezlik Sayısı	Ölüm Sayısı
2008	60	0	0	0
2009	77	0	2	0
2010	40	1	2	2
2011	48	0	2	5
ORT.	65.25	0.25	1.5	1.75

Programda ‘Frequency’ (sıklık) değeri yerine 65.25; ‘Severity’ (şiddet) değeri yerine ise (4,5) değerleri yazılır ve ‘Run Simulation’ butonuna basılarak grafik elde edilir.



Şekil 3.70 Kok kömürü ve petrol ürünleri imalatı grafiği

Kok kömürü ve petrol ürünleri imalatı için ‘Mean’ yıllık ortalama iş günü kaybı 279 gün/yıl olarak öngörülmüştür.

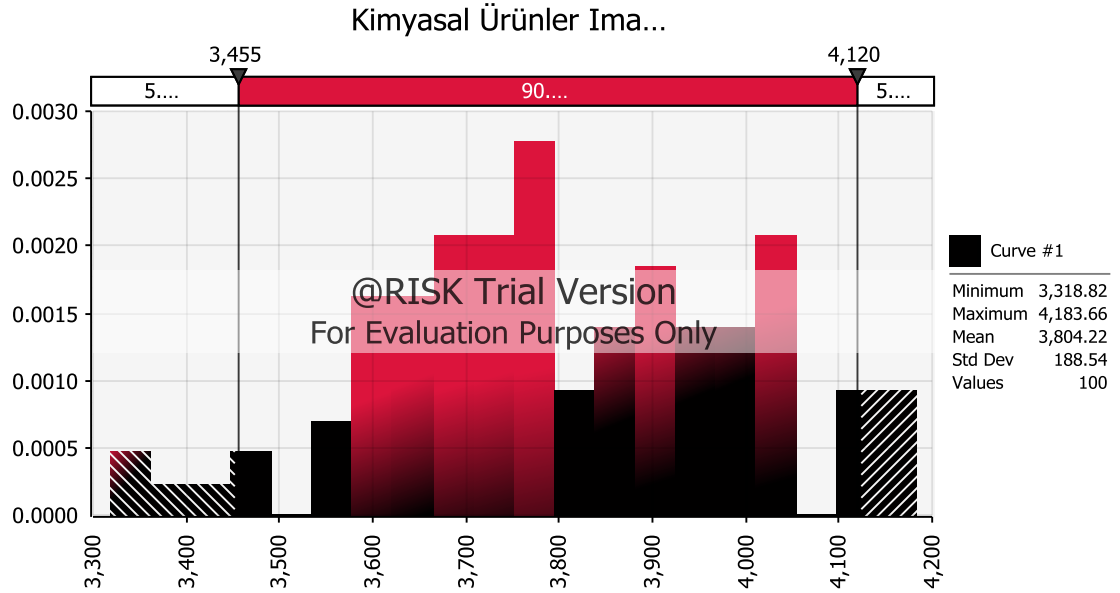
3.15.3 Kimyasal Ürünler İmalatı

Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınan iş kazası verilerinde 2011 yılı için Türkiye çapında Kimyasal Ürünler İmalatı için 7914 işletme girişi yapılmıştır.

Çizelge 3.19 Kimyasal ürünler imalatı için belirlenen verilerin ortalama değerleri

Kimyasal Ürünler İmalatı (yıl)	İş Kazası Sayısı	Meslek Hastalığı Sayısı	Sürekli İş Göremezlik Sayısı	Ölüm Sayısı
2008	654	2	11	6
2009	785	3	7	3
2010	833	7	27	13
2011	765	8	29	18
ORT.	759	5	18.5	10

Programda ‘Frequency’ (sıklık) değeri yerine 759; ‘Severity’ (şiddet) değeri yerine ise (4,5) değerleri yazılır ve ‘Run Simulation’ butonuna basılarak grafik elde edilir.



Şekil 3.71 Kimyasal ürünler imalatı grafiği

Kimyasal ürünler imalatı için ‘Mean’ yıllık ortalama iş günü kaybı 3804 gün/yıl olarak öngörülmüştür.

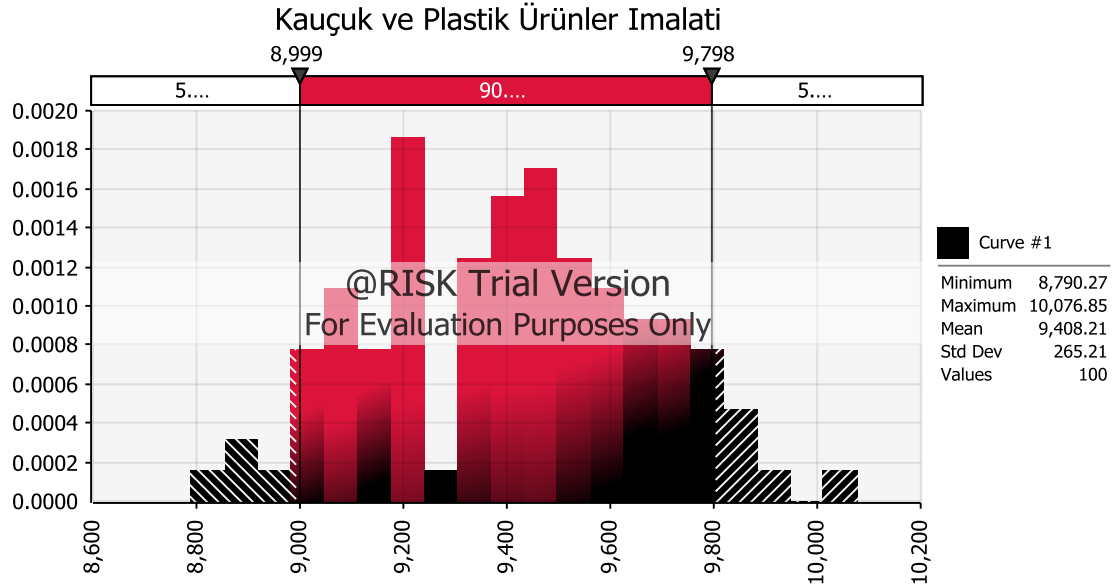
3.15.4 Kauçuk ve Plastik Ürünler İmalatı

Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınan iş kazası verilerinde 2011 yılı için Türkiye çapında Kauçuk ve Plastik Ürünler İmalatı için 17843 işletme girişi yapılmıştır.

Çizelge 3.20 Kauçuk ve plastik ürünler imalatı için belirlenen verilerin ortalama değerleri

Kauçuk ve Plastik Ürünler İmalatı (yıl)	İş Kazası Sayısı	Meslek Hastalığı Sayısı	Sürekli İş Göremezlik Sayısı	Ölüm Sayısı
2008	1673	1	46	5
2009	1818	2	43	3
2010	1903	6	37	4
2011	2124	2	46	7
ORT.	1879.5	2.75	43	4.75

Programda ‘Frequency’ (sıklık) değeri yerine 1879.5; ‘Severity’ (şiddet) değeri yerine ise (4,5) değerleri yazılır ve ‘Run Simulation’ butonuna basılarak grafik elde edilir.



Şekil 3.72 Kauçuk ve plastik ürünler imalatı grafiği

Kauçuk ve plastik ürünler imalatı için ‘Mean’ yıllık ortalama iş günü kaybı 9408 gün/yıl olarak öngörülmüştür.

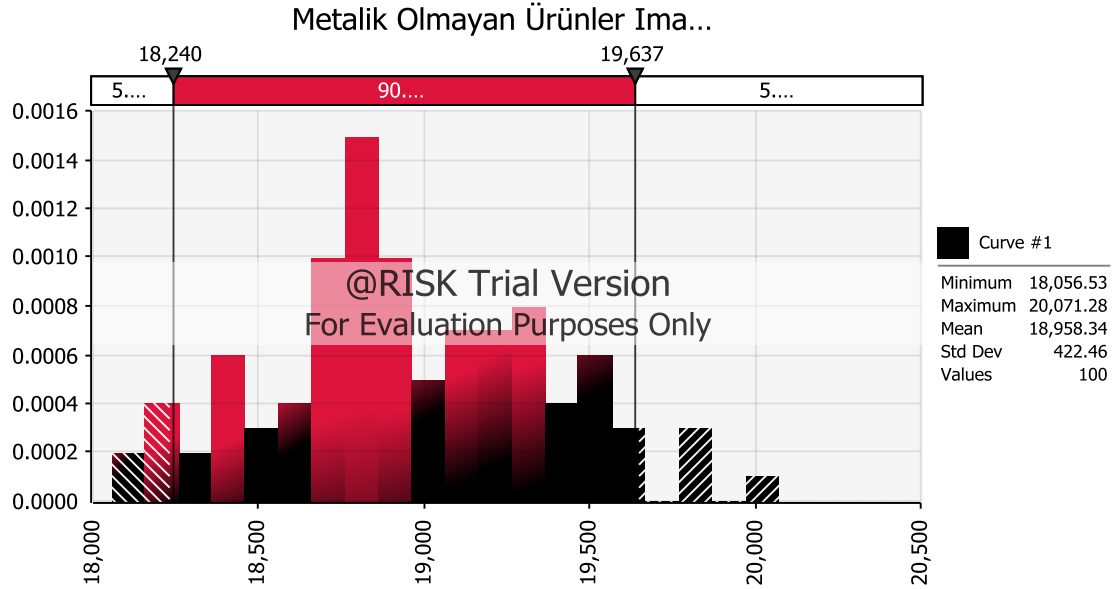
3.15.5 Metalik Olmayan Ürünler İmalatı

Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınan iş kazası verilerinde 2011 yılı için Türkiye çapında Metalik Olmayan Ürünler İmalatı için 18836 işletme girişi yapılmıştır.

Çizelge 3.21 Metalik olmayan ürünler imalatı için belirlenen verilerin ortalama değerleri

Metalik Olmayan Ürünler İmalatı (yıl)	İş Kazası Sayısı	Meslek Hastalığı Sayısı	Sürekli İş Göremezlik Sayısı	Ölüm Sayısı
2008	3504	1	75	24
2009	3569	4	42	12
2010	3861	15	82	38
2011	4240	16	101	39
ORT.	3793.5	9	75	28.25

Programda ‘Frequency’ (sıklık) değeri yerine 3793.5; ‘Severity’ (şiddet) değeri yerine ise (4,5) değerleri yazılır ve ‘Run Simulation’ butonuna basılarak grafik elde edilir.



Şekil 3.73 Metalik olmayan ürünler imalatı grafiği

Metalik olmayan ürünler imalatı için ‘Mean’ yıllık ortalama iş günü kaybı 18958 gün/yıl’dır.

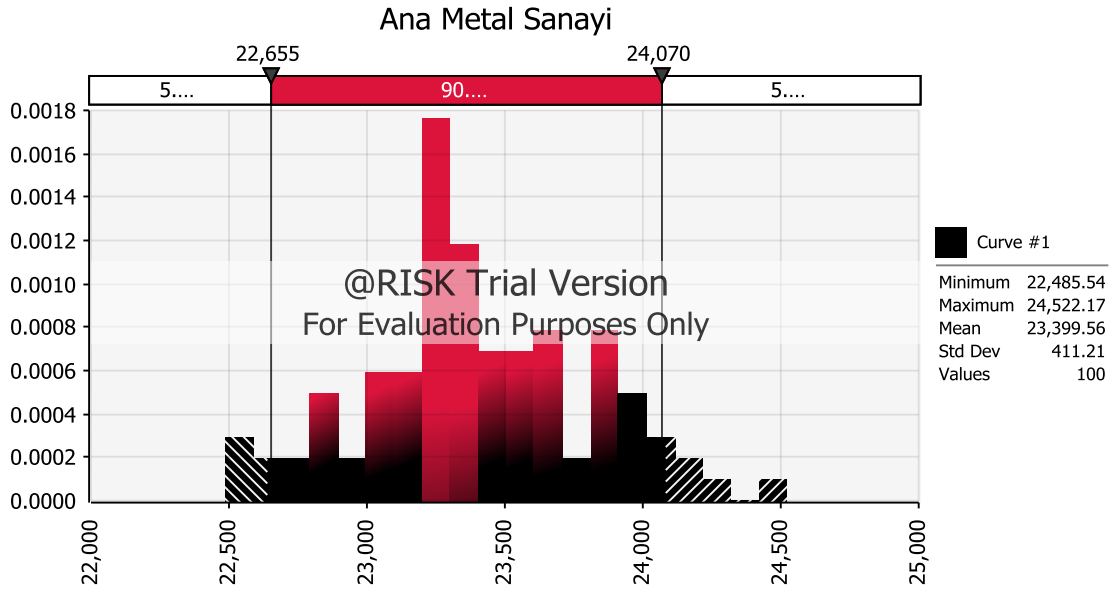
3.15.6 Ana Metal Sanayi

Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınan iş kazası verilerinde 2011 yılı için Türkiye çapında Ana Metal Sanayi için 7682 işletme girişi yapılmıştır.

Çizelge 3.22 Ana metal sanayi için belirlenen verilerin ortalama değerleri

Ana Metal Sanayi (yıl)	İş Kazası Sayısı	Meslek Hastalığı Sayısı	Sürekli İş Göremezlik Sayısı	Ölüm Sayısı
2008	4029	8	56	19
2009	4819	25	41	2
2010	4621	26	43	24
2011	4272	18	64	18
ORT.	4685.25	19.25	51	15.75

Programda ‘Frequency’ (sıklık) değeri yerine 4685.25; ‘Severity’ (şiddet) değeri yerine ise (4,5) değerleri yazılır ve ‘Run Simulation’ butonuna basılarak grafik elde edilir.



Şekil 3.74 Ana metal sanayi grafiği

Ana metal sanayi için ‘Mean’ yıllık ortalama iş günü kaybı 23400 gün/yıl olarak öngörülmüştür.

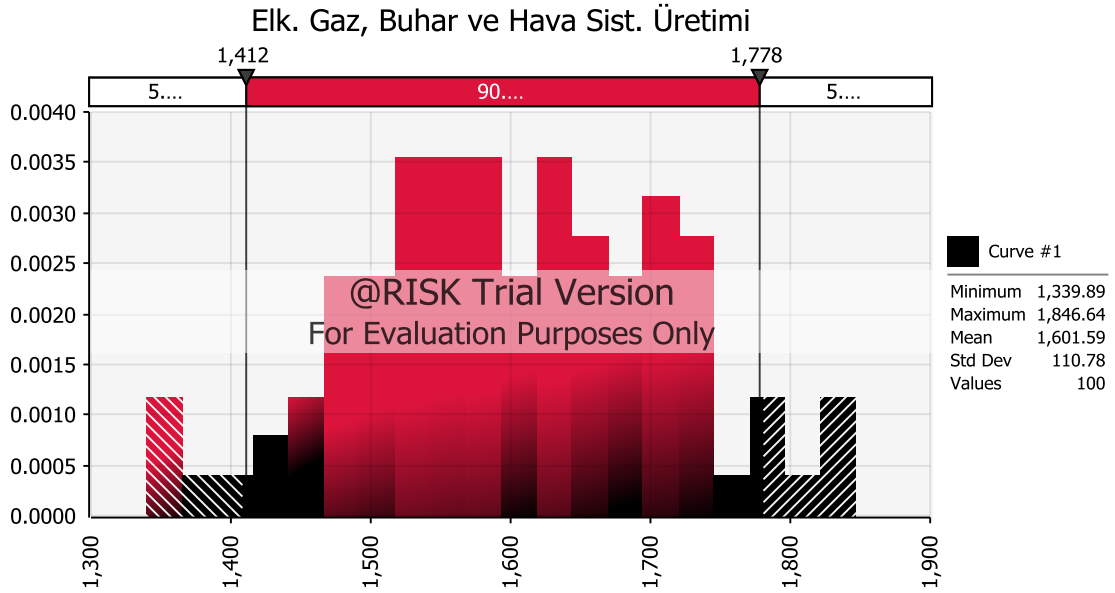
3.15.7 Elektrik, Gaz, Buhar ve Hava Sistemleri Üretimi

Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınan iş kazası verilerinde 2011 yılı için Türkiye çapında Elk. Gaz, Buhar ve Hava Sist. Üretimi için 2585 işletme girişi yapılmıştır.

Çizelge 3.23 Elk. gaz, buhar ve hava sist. üretimi için belirlenen verilerin ortalama değerleri

Elk. Gaz, Buhar ve Hava Sist. Üretimi (yıl)	İş Kazası Sayısı	Meslek Hastalığı Sayısı	Sürekli İş Göremezlik Sayısı	Ölüm Sayısı
2008	310	0	12	9
2009	383	0	8	1
2010	290	3	78	16
2011	294	1	58	15
ORT.	319.25	1	39	10.25

Programda ‘Frequency’ (sıklık) değeri yerine 319.25; ‘Severity’ (şiddet) değeri yerine ise (4,5) değerleri yazılır ve ‘Run Simulation’ butonuna basılarak grafik elde edilir.



Şekil 3.75 Elk. gaz, buhar ve hava sist. üretim grafiği

Elk. gaz, buhar ve hava sist. üretimi için ‘Mean’ yıllık ortalama iş günü kaybı 1602 gün/yıl olarak öngörülmüştür.

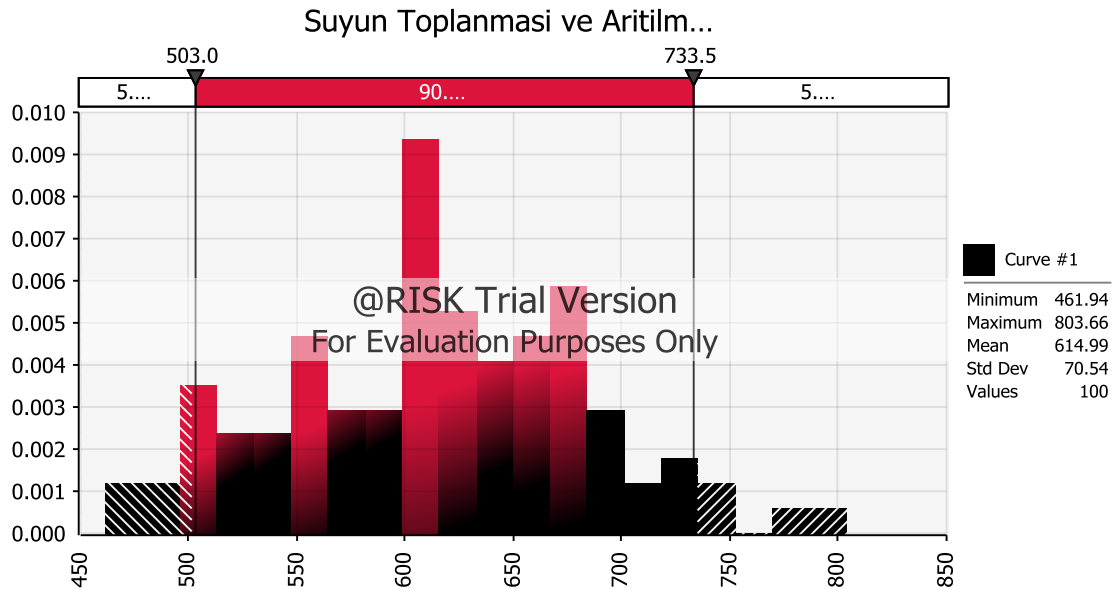
3.15.8 Suyun Toplanması ve Arıtılması

Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınan iş kazası verilerinde 2011 yılı için Türkiye çapında Suyun Toplanması ve Arıtılması için 209 işletme girişi yapılmıştır.

Çizelge 3.24 Suyun toplanması ve arıtılması için belirlenen verilerin ortalama değerleri

Suyun Toplanması ve Arıtılması (yıl)	İş Kazası Sayısı	Meslek Hastalığı Sayısı	Sürekli İş Göremezlik Sayısı	Ölüm Sayısı
2008	191	0	5	5
2009	141	0	1	1
2010	86	2	29	4
2011	76	0	16	5
ORT.	123.5	0.5	12.75	3.75

Programda ‘Frequency’ (sıklık) değeri yerine 123.5; ‘Severity’ (şiddet) değeri yerine ise (4,5) değerleri yazılır ve ‘Run Simulation’ butonuna basılarak grafik elde edilir.



Şekil 3.76 Suyun toplanması ve arıtılması grafiği

Suyun toplanması ve arıtılması için ‘Mean’ yıllık ortalama iş günü kaybı 615 gün/yıl olarak öngörülmüştür.

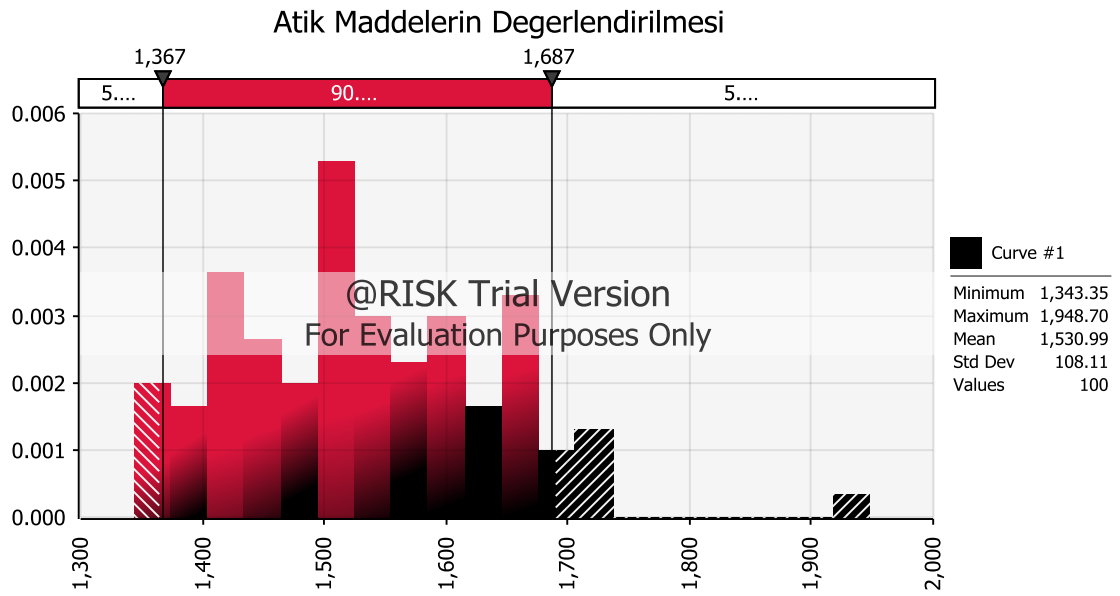
3.15.9 Atık Maddelerin Değerlendirilmesi

Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınan iş kazası verilerinde 2011 yılı için Türkiye çapında Suyun Toplanması ve Arıtılması için 1180 işletme girişi yapılmıştır.

Çizelge 3.25 Atık maddelerin değerlendirilmesi için belirlenen verilerin ortalama değerleri

Atık Maddelerin Değerlendirilmesi (yıl)	İş Kazası Sayısı	Meslek Hastalığı Sayısı	Sürekli İş Göremezlik Sayısı	Ölüm Sayısı
2008	266	0	9	4
2009	350	0	4	1
2010	254	1	27	12
2011	348	1	26	15
ORT.	304.5	0.5	16.5	8

Programda ‘Frequency’ (sıklık) değeri yerine 304.5; ‘Severity’ (şiddet) değeri yerine ise (4,5) değerleri yazılır ve ‘Run Simulation’ butonuna basılarak grafik elde edilir.

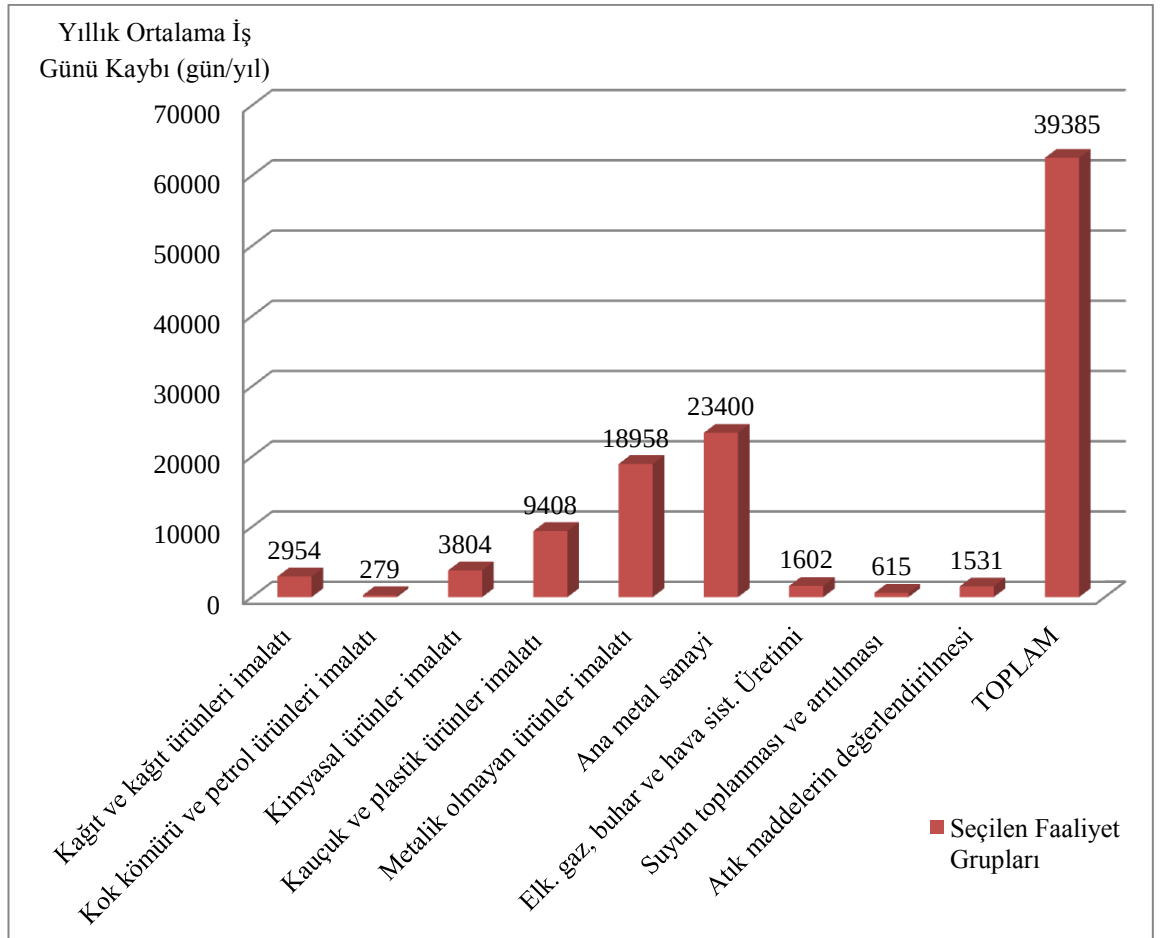


Şekil 3.77 Atık maddelerin değerlendirilmesi grafiği

Atık maddelerin değerlendirilmesi için ‘Mean’ yıllık ortalama iş günü kaybı 1531 gün/yıl olarak öngörülmüştür.

Çizelge 3.26 Seçilen faaliyet gruplarının yıllık ortalama iş günü kayıpları

Faaliyet Grubu	Yıllık Ortalama İş Günü Kaybı (gün/yıl)
Kağıt ve Kağıt Ürünleri İmalatı	2954
Kok Kömürü ve Petrol Ürünleri İmalatı	279
Kimyasal Ürünler İmalatı	3804
Kauçuk ve Plastik Ürünler İmalatı	9408
Metalik Olmayan Ürünler İmalatı	18958
Ana Metal Sanayi	23400
Elk. Gaz, Buhar ve Hava Sist. Üretimi	1602
Suyun Toplanması ve Arıtılması	615
Atık Maddelerin Değerlendirilmesi	1531
TOPLAM	39385



Şekil 3.78 Seçilen faaliyet gruplarının yıllık ortalama iş günü kayıpları

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında, iki ana konu üzerinde durulmuştur. Birincisi; tasarıma yönelik sistemler aşağıdaki gibi listelenmiştir:

- Soğutma Borulu Reaktör
- Egzotermik Polimerizasyon Reaktörü
- Kesikli Reaktör
- Isı Değiştirici
- Buharlaştırıcı
- Yoğuşturucu
- Santrifüj Pompa/Kompresör
- Kademeli Damıtma Kolonu
- Dolgulu Damıtma Kolonu
- Dolgulu Absorpsiyon Kolonu
- Kademeli Absorpsiyon Kolonu
- Sprey Kurutucu
- Mikser Kurutucu
- Döner Kurutucu

Bu sistemlerde risk analiz metodlarından Tehlike ve işletilebilirlik analizi (HAZOP: Hazard and operability analysis) formları oluşturulmuştur, Olasılık Teorisi (PT: Probability theory) ile her bir sistem için Arızalar arası ortalama süre (MTBF: Mean time between failures) hesaplanmıştır, Olay ağacı analizi (ETA: Event tree analysis) yapılarak sistemde yıllık devam eden, durdurulan ve kontrolden çıkan olaylar hesaplanmıştır, Hata ağacı analizi (FTA: Fault tree analysis) yapılarak, arızaya neden olabilecek tüm olayların arıza/yıl olasılıkları hesaplanmıştır. Tüm bu sonuçlar rehber halinde çizelge 3.15’de sunulmuştur.

İkincisi ise; “Monte Carlo Simülasyonu”nun risk değerlendirme konusuna yönelik bir paket programı olan “@Risk” yazılımının “Risk Coumpound” alt programı ile Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2008, 2009, 2010, 2011 iş kazası verilerinden, Türkiye çapındaki Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflamasına göre

(NACE: Nomenclature générale des Activités économiques dans les Communautés Européennes) listelenen endüstriyel faaliyet gruplarından seçimler yapılmıştır:

- Kağıt ve Kağıt Ürünleri İmalatı
- Kok Kömürü ve Petrol Ürünleri İmalatı
- Kimyasal Ürünler İmalatı
- Kauçuk ve Plastik Ürünler İmalatı
- Metalik Olmayan Ürünler İmalatı
- Ana Metal Sanayi
- Elk. Gaz, Buhar ve Hava Sis. Üret. Dağıt.
- Suyun Toplanması Arıtılması ve Dağıt.
- Atık Maddelerin Değerlendirilmesi (Anonim 2013D)

Seçilen bu faaliyet gruplarında yıllık ortalama iş günü kayıpları öngörülmüştür.

Tehlike ve işletilebilirlik analizi (HAZOP: Hazard and operability analysis) yaklaşımı, prosesdeki işletim yöntemi ve işletim bozuklukları sonucu elde edilen bilgiler sayesinde, tehlikelerin incelenmesini daha eksiksiz bir şekilde temin eder. Detaylı HAZOP çalışmalarını uygulayan şirketler, daha iyi proses işletimi sağlar, az zaman harcar, ürün kalitesi gelişir, daha az atık üretir ve çalışanlar güvenli proseste kendinden daha emindir. HAZOP çalışmasının dezavantajı, uygulamak için yorucudur, oldukça fazla personel zamanı gerektirir ve özel risk tehlikelerini sadece imkan dahilinde inceleyebilir.

Olay ağacı analizi (ETA: Event tree analysis), olası hata biçimlerinin senaryolarını temin etmek için kullanışlıdır. Eğer nicel veriler uygunsa, hata sıklığından yapılmış bir tahmin olabilir. Bu, güvenlik gelişimi için tasarımın değiştirilmesinde çok başarılı bir şekilde kullanılır. Ciddi proseslerdeki zorluk, büyük bir olay ağacında hesaplama yaparken çok detaylı olmasıdır. Eğer olası bir hesaplama denenirse, olay ağacındaki her güvenlik fonksiyonu için veriler uygun olmak zorundadır. Bir olay ağacı, verilen bir hatayla başlar ve elde edilen sonuçları bir sayı ile bitirir. Eğer bir mühendis belirli bir sonuç ile ilgilenirse, sonucu seçtiği hatadan elde edeceği kesin değildir. Belki de bu, olay ağacının en büyük dezavantajıdır.

Hata ağacı (FTA: Fault tree analysis), kısmen arızalanmayan malzemenin özel bir parçası olan “zor” hatalar olarak tanımlanır. Ayrıca bu yaklaşımda, bileşen hata olasılıklarındaki bir değişim sonucu, bileşenlerin birindeki bir hatanın diğer bileşenleri etkilemeyeceği farz edilir. Farklı kişiler tarafından geliştirilen hata ağaçları çoğu zaman farklı yapıdadır. Farklı ağaçlar genellikle farklı hata olasılıklarını tahmin eder. Hata ağaçlarındaki bu doğru olmayan yapı oldukça büyük bir problemdir. Hata ağacının dezavantajı, hata ağacının çok büyük olduğu epeyce karmaşık prosesler olmasıdır. Hata ağacı yüzlerce giriş içerir. Bu boyuttaki olay ağacı, tamamlanması yıllar süren oldukça fazla zaman gerektirir. Ayrıca, bir hata ağacı geliştiricinin tüm hata biçimlerini dikkate alması asla mümkün değildir. Daha eksiksiz hata ağaçları genellikle daha tecrübeli mühendisler tarafından geliştirilir. Eğer hata ağacı, temel olay için bir hata olasılığı hesaplamada kullanılırsa, daha sonra hata ağacındaki tüm olaylar için hata olasılıklarına ihtiyaç duyulur. Bu olasılıklar, çoğu zaman bilinemez veya tam olarak bilinemez.

Hata ağaçları, minimal cut setleri belirlemek için de kullanılır. Minimal cut setler, meydana gelebilecek temel olaylar için farklı yollarda çok geniş kavramayı sağlar. Bazı firmalar, tüm minimal cut setlerinin dört taneden biri olması veya daha fazla bağımsız hatalara sahip olmak için bir kontrol yöntemi benimser. Bu tabi ki de, önemli bir ölçüde sistem güvenilirliğini artırır. Sonuç olarak, tüm hata ağacı yöntemleri bilgisayar uygulamasını mümkün kılar. Yazılım, grafiksel hata ağaçları çizimi için, minimal cut setleri belirlemek için ve hata olasılıklarını hesaplamak için uygundur. Proses ekipmanlarının farklı çeşitleri için hata olasılıklarını içeren referans kütüphaneler de bulunmaktadır.

Hata ağacı ve olay ağacı arasındaki ilişki; olay ağacı bir başlangıç olayı ile başlar ve temel olaya doğru yürür (tümevarım yöntemi), hata ağacı temel bir olay ile başlar ve başlangıç olayına doğru geri gider (tumdengelim yöntemi). Başlangıç olayları, olaya neden olur, temel olaylar en son sonuçtur. Bu iki yöntem, hata ağacı için temel olayların, olay ağacı için başlangıç olayı olmasında bağlantı kurar. İkisi de, başlangıç nedenlerinden en son sonuçlara kadarki tüm yollarda, bir olayın eksiksiz bir şekilde tanımını yapmak için birlikte kullanılır. Olasılıklar ve sıklıklar bu diyagramlarda birleştirilir.

Olasılık Teorisi (PT: Probability theory) ile yapılan hesaplamalar sonucunda Arızalar arası ortalama süre (MTBF: Mean time between failures); Soğutma Borulu Reaktör için 1.72 yıl, Egzotermik Polimerizasyon Reaktörü için 0.88 yıl, Kesikli Reaktör için 1.02 yıl, Isı Değiştirici için 0.80 yıl, Buharlaştırıcı için 0.55 yıl, Yoğuşturucu için 0.45 yıl, Santrifüj Pompa/Kompresör için 0.73 yıl, Kademeli Damıtma Kolonu için 1.34 yıl, Dolgulu Damıtma Kolonu için 1.52 yıl, Dolgulu Absorpsiyon Kolonu için 1.52 yıl, Kademeli Absorpsiyon Kolonu için 1.25 yıl, Sprey Kurutucu için 1.4 yıl, Mikser Kurutucu için 1.01 yıl ve Döner Kurutucu için 1.72 yıl olarak öngörülmüştür. Bu sonuçlar sayesinde üretimde yer alan bu ünitelerin risk değerlendirmesi kapsamında bakım ve onarımlarına dikkat edilmesi amaçlanmıştır.

@Risk programı, risk analizinin uygulandığı alana göre, 61 farklı olasılık dağılımını ve bu dağılımları içeren alt programları içermekte, bu yüzden de farklı alanlardaki işverenler tarafından tercih edilmektedir. Poisson ve Lognormal olasılık dağılımlarının Monte Carlo Simülasyonu yardımıyla birleştirilerek risk dağılım grafiklerinin elde edilmesini sağlayan ‘Risk Compound’ alt-programı, stokastik modellemelerde risk analizi yapılabilmesi amacıyla kullanılır. Risk Compound alt-programının çalıştırılabilmesi için, program açıldıktan sonra sıklık değerleri ‘Frequency’ bölümüne, şiddet değerlerin ise ‘Severity’ bölümüne girilir, daha sonra da simülasyonun başlatılması için ‘Run Simulation’ butonuna basılır.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2008, 2009, 2010, 2011 iş kazası verilerinden seçilen Türkiye çapındaki endüstriyel faaliyet gruplarında (NACE Sınıflanlandırmasına göre) meydana gelmiş kazaların ortalaması ‘Frequency’ bölümüne yazılır. ‘Severity’ değerlerini belirleyebilmek için ise şiddet tanımına bakılarak, meslek hastalığı şiddeti 4, sürekli iş göremezlik şiddeti 5 ve ölüm şiddeti 5 olarak belirlenir. Programın ‘Severity’ bölümünde yer alan iki değer için en küçük ve en büyük rakam seçilir ve daha sonra ‘Run Simulation’ butonuna basılarak grafikler elde edilir. Elde edilen grafiklerdeki ‘Mean’ değeri bize yıllık ortalama iş günü kaybını vermektedir. Türkiye çapındaki endüstriyel faaliyet gruplarında (NACE Sınıflanlandırmasına göre) yıllık iş günü kayıpları; Kağıt ve Kağıt Ürünleri İmalatı için 2954 gün/yıl, Kok Kömürü ve Petrol Ürünleri İmalatı için 279 gün/yıl, Kimyasal Ürünler İmalatı için 3804 gün/yıl, Kauçuk

ve Plastik Ürünler İmalatı için 9408 gün/yıl, Metalik Olmayan Ürünler İmalatı için 18958 gün/yıl, Ana Metal Sanayi için 23400 gün/yıl, Elk. Gaz, Buhar ve Hava Sis. Üret. Dağıt. için 1602 gün/yıl, Suyun Toplanması Arıtılması ve Dağıt. için 615 gün/yıl ve Atık Maddelerin Değerlendirilmesi için 1531 gün/yıl olarak öngörülmüştür. Bu değerler, yıllık ekonomik kayıpları hesaplamak için kullanılabilir.

Ayrıca, 29 Aralık 2012 Tarihli ve 28512 Sayılı Resmî Gazetede; İş Güvenliği Uzmanlarının Görev, Yetki, Sorumluluk ve Eğitimleri Hakkında Yönetmelik, İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetleri Yönetmeliği, İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği yayınlanmıştır. Bu yönetmelikler, mesleki risklerin önlenmesi ve bu risklerden korunulmasına yönelik çalışmaları da kapsayacak iş sağlığı ve güvenliği hizmetlerinin sunulmasını amaçlar (Anonim 2012A, Anonim 2012B, Anonim 2012C). 18 Ocak 2013 Tarihli ve 28532 Sayılı Resmî Gazetede; İş Sağlığı ve Güvenliği Kurulları Hakkında Yönetmelik yayınlanmıştır. Bu yönetmelik, İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamına giren, elli ve daha fazla çalışanın bulunduğu ve altı aydan fazla süren sürekli işlerin yapıldığı işyerlerini kapsar (Anonim 2013C). 31 Ocak 2013 Tarihli ve 28545 Sayılı Resmî Gazetede; İş Güvenliği Uzmanlarının Görev, Yetki, Sorumluluk ve Eğitimleri Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik yayınlanmıştır. Bu yönetmelikteki Geçici Madde 2 şu şekildedir; Üç yıllık mesleki tecrübe ve (C) veya (B) sınıfı iş güvenliği uzmanlığı belgesine sahip iş güvenliği uzmanları; sektörel düzenleme kapsamında kendi meslek dallarına uygun işlerin yapıldığı işyeriyle sınırlı olmak üzere, bütün tehlike sınıflarındaki işyerlerinde görevlendirilebilirler (Anonim 2013B). 14 Haziran 2013 Tarihli ve 28677 Sayılı Resmî Gazetede; Çok Tehlikeli İşlerde Görevlendirilebilecek (C) Sınıfı İş Güvenliği Uzmanları Hakkında Tebliğ yayınlanmıştır. Bu tebliğin amacı; sektörel alanda özel düzenleme kapsamında iş güvenliği uzmanlarının görevlendirilmesine dair usul ve esasları düzenlemektir.

Ancak, 14 Haziran 2013 Tarihli ve 361 Sayılı Kanun Tasarı Teklifi'inde:

Madde 42- 20/6/2012 tarihli ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 38 inci maddesinin birinci fıkrasının a bendi aşağıdaki şekilde değiştirilmiştir:

“a) 6 ve 7 nci maddeleri;

- 1) 4857 sayılı İş Kanununun mülga 81 inci maddesi kapsamında çalışanlar hariç kamu kurumları ile 50’den az çalışanı olan ve az tehlikeli sınıfta yer alan işyerleri için yayımı tarihinden itibaren dört yıl sonra,
- 2) 50’den az çalışanı olan tehlikeli ve çok tehlikeli sınıfta yer alan işyerleri için yayımı tarihinden itibaren iki yıl sonra,
- 3) Diğer işyerleri için yayımı tarihinden itibaren altı ay sonra.”

Şeklinde üç maddeden oluşan değişiklik sunulmuştur (Anonim 2013A).

Her geçen gün yoğun olarak gündeme gelen meslek hastalıkları ve iş kazaları, günümüzde de iş sağlığı ve güvenliği açısından önemli bir konudur. İşyerlerinde yeterli sağlık ve güvenlik önlemlerinin yokluğu nedeniyle ortaya çıkan meslek hastalıkları ve iş kazaları, çalışanların hayatını ve sağlığını doğrudan etkilediği gibi, işletmeler ve ülke ekonomisi için de önemli maliyetler oluşturmaktadır. Patlama, yangın ve zehirlenme gibi olaylar işyerlerinde maddi hasarlar oluşmasına, üretimin durmasına ve ilgili firmanın itibar kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle, arıza ve kaza önleyici mühendislik tasarımları, yapılan analizler, öngörülen olasılıklar, sonuçlar, risk tanım ve yönetiminde çok büyük önem taşımakta olup yukarıda bahsedilen yönetmeliklerle de ülke çapında iş sağlığı ve güvenliği konusunda bilinç oluşturulmaya çalışılmaktadır. Ancak 14 Haziran 2013 Tarihli ve 361 Sayılı Kanun Tasarı Teklifi ile ilgili yönetmeliklerin uygulanmaya başlaması ertelenmekte ve maalesef iş sağlığı ve güvenliği konusunda gerekli hassasiyet gösterilmemektedir.

KAYNAKLAR

- Altan, M., Öztürk, F. and Ayday, C. 2004. Preliminary Earthquake Risk Management Strategy Plan of Eskisehir, Turkey by Using GIS. 7th AGILE Conference on Geographic Information Science, 29 Nisan–1 Mayıs 2004, İstanbul.
- Anonim. 2011A. Yeni Mevzuat Işığında İş Sağlığı ve Güvenliği Temel Bilgileri, RİSK MED Akademi, Yayın No:1, Ankara.
- Anonim. 2011B. Web Sitesi: <http://www.riskanaliz.net>, Erişim Tarihi: 22.04.2011.
- Anonim. 2012A. İş Güvenliği Uzmanlarının Görev, Yetki, Sorumluluk ve Eğitimleri Hakkında Yönetmelik, T.C. Resmi Gazete, 29.12.2012, 28512.
- Anonim. 2012B. İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetleri Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, 29.12.2012, 28512.
- Anonim. 2012C. İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği T.C. Resmi Gazete, 29.12.2012, 28512.
- Anonim. 2013A. Çok Tehlikeli İşlerde Görevlendirilebilecek (C) Sınıfı İş Güvenliği Uzmanları Hakkında Tebliğ, T.C. Resmi Gazete, 14.06.2013, 28677.
- Anonim. 2013B. İş Güvenliği Uzmanlarının Görev, Yetki, Sorumluluk ve Eğitimleri Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, T.C. Resmi Gazete, 31.01.2013, 28545.
- Anonim. 2013C. İş Sağlığı ve Güvenliği Kurulları Hakkında Yönetmelik, T.C. Resmi Gazete, 18.01.2013, 28532.
- Anonim. 2013D. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2008, 2009, 2010, 2011 Yılı İş Kazası Verileri
- Anonymous. 1992. Guidelines for Hazard Evalution Prrocedures, 2nd Ed., American Institute of Chemical Engineers, New York.
- Anonymous. 2012: Web Sitesi. <http://www.palisade.com>, Erişim Tarihi: 15.11.2012
- Anonymous. 2013: Web Sitesi. <http://www.ilo.org>, Erişim Tarihi: 11.11.2013

- Bülbül, S. E. 2001. Çözümsel İstatistik. Alfa Yayınları, 591 s., İstanbul.
- Clemens, P.L. 2002. Fault Tree Analysis 4th Edition. JE Jacobs Severdurup, London.
- Cocchiara, M., Bartolozzi, V., Picciotto, A. and Galluzzo, M. 2001. Integration of interlock systemanalysis with automated HAZOP analysis. Reliability Engineering&System Safety, 105 p., England.
- Coulson, J. M., Richardson, J. F. and Sinnott, R. K. 1997. Chemical Engineering Design, Vol 6, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford. 14.
- Crowl, D. A. and Louvar, J. F. 2002. Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications. 2nd Ed., Prentice Hall PTR, New Jersey. 07458.
- Evans, J. R. and Olson, D.L. 1998. Introduction to Simulation and Risk Analysis. Prentice Hall, Canada.
- Fussell, J. B. and Vesely, W. E. 1972. A New Methodology for Obtaining Cut Sets for Fault Trees, Transactions of the American Nuclear Society ,15.
- Gilbert, R. 2008. A Quick Guide to Health and Safety. Woodhead Publishing Limited, 192p., Cambridge.
- Greenberg, H. R. and Cramer, J. J. 1991. Risk Assessment and Risk Management for The Chemical Process Industry: Stone & Webster Engineering Corporation. Van Nostrand Reinhold, New York. 10158–0012.
- Iman, R. L. 1994. A data-based approach to statistics. Duxbury Resource Center, 864 p., England.
- Kartal, M. 1999. İstatistiksel Kalite Kontrolü. Şafak Yayınları, Sivas.
- Kesici, T. ve Kocabaş, Z. 1998. Biyoistatistik, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, Yayın No:79, Ankara.
- Khan, F.I. and Abbasi S.A. 1998. Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 11, 261–277.
- Khan, F.I. and Abbasi, S.A. 2001. Risk analysis of a typical chemical industry using ORA procedure. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 14, 43-59.

- Khan, F.I., Husain, T. and Abbasi, S.A. 2002. Design and evaluation of safety measures using a newly proposed methodology “SCAP”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 15, 129–146.
- Kletz T. A. 1992. HAZOP and HAZAN, 3rd Ed., Institution of Chemical Engineers, Warwickshire, England.
- Koch, G. S. and Link, R. F. 1980. Statistical analysis of Geological data, Dover Publications, 832p., London.
- Kuyucu, E. 2008. İnşaat Projelerinde Risk Analizi Yöntemleri: Bir Petrokimya Fabrikasında Uygulanması. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, 9 Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı , 110 s., İzmir.
- Less, F.P. 1996. Loss Prevention in the Process Industries, 2nd Ed., Butterworths, London.
- Lind D. A. and Mason R. D. 1997. Basic statistics for Business and Economics 1st Canadian Edition. McGraw Hill, Canada.
- Özkılıç, Ö. 2005. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Teftiş Kurulu İstanbul Grup Başkanlığı, Ankara.
- Perry , R.H. and Chilton, C. H. 1974. ‘Perry’s Chemical Engineers Handbook’, 5th Ed., Mc Graw Hill, 1920 p., Tokyo.
- Roffel, B. and Rijnsdorp, J. E. 1982. Process Dynamics, Control, and Protection, MI: Ann Arbor Science, 381.
- Sinnot, R.K. 1999. Chemical Engineering: Chemical Engineering Design. 3rd Ed., Butterworth- Heinemann, Oxford.
- Vose, D. 2000. Risk Analysis: A Quantitative Guide. 2nd Ed., John Willey & Sons, Chichester.
- Yolcubal, İ. 2011. İstatistik ve Olasılık Ders Notları. Kocaeli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

EKLER

EK 1 2008 Yılı İş Kazaları TÜİK Verileri

EK 2 2009 Yılı İş Kazaları TÜİK Verileri

EK 3 2010 Yılı İş Kazaları TÜİK Verileri

EK 4 2011 Yılı İş Kazaları TÜİK Verileri

EK 5 2011 Yılı İşletme Girişim Sayıları TÜİK Verileri

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nurşan DAĞLI TANRIVERDİ

Doğum Yeri : ANKARA

Doğum Tarihi : 24 Şubat 1986

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve yıl)

Lise : Yıldırım Beyazıt Anadolu Lisesi (2000 – 2004)

Lisans : Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya
Mühendisliği (2004 – 2009)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
(Şubat 2010 – Kasım 2013)

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl

Ertem Sıhhi Tesisat Teknolojisi A.Ş., Ankara, Kimya Mühendisi (Eylül 2011 –Halen)

İş Güvenliği Uzmanı (C Sınıf), (Temmuz 2011)

Ersa Ofis Mobilyaları San. ve Tic. Ltd. Şti., Ankara, (2011, İş Güvenliği Stajı)

TÜPRAŞ Kırıkkale Rafinerisi, Kırıkkale (2008, Yaz Stajı)

Baştaş Başkent Çimento San. ve Tic. A.Ş. , Elmadağ-Ankara (2007, Yaz Stajı)