

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**API 618 PROSES GAZ KOMPRESÖRÜ ARIZALARININ HATA AĞACI
YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalürji ve Malzeme Mühendisi Akbar FAKHERNIA

**KASIM 2016
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**API 618 PROSES GAZ KOMPRESÖRÜ ARIZALARININ
HATA AĞACI YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

Akbar FAKHERNIA

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
YÜKSEK LİSANS(GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ)
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 / 11 / 2016

Tezin Savunma Tarihi : 23 / 11 / 2016

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. İsmail ALTIN

Trabzon 2016

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Akbar FAKHERNIA Tarafından Hazırlanan**

**API 618 PROSES GAZ KOMPRESÖRÜ ARIZALARININ
HATA AĞACI YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 07/06/2016 gün ve 1656 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ercan KÖSE

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail ALTIN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Cemalettin AYGÜN



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Enerji konusundaki yetkinlik ülkelerin ekonomik gelişmişliğinin bir göstergesidir ve uluslararası ilişkileri belirleyen önemli bir faktördür. Doğal gazın diğer enerji kaynaklarına göre üstün özelliklere sahip olması nedeniyle ülkelerin birincil enerji kaynağı tercih edilmektedir. Petrol ve gaz sektörünün Üretim (Upstream), İletim (Mid Stream) ve İşleme (Downstream) süreçlerinde birçok ekipmanları kullanılmaktadır. Piston tipli kompresörler ve özellikle API 618 proses gaz kompresörleri, petrol ve gaz sektörlerinde (kıyı ve açık deniz tesislerinde) ve birçok diğer önemli sektörlerde yoğun bir şekilde kullanılmaktadırlar. Araştırmalara göre tüm rafineri cihazları içinde en büyük hasar oranı (Failure rate) piston tipli kompresörlerde ortaya çıkmaktadır. API 618 piston tipli proses kompresörünün arızalarının incelenmesi amacıyla nicel ve nitel özellikleri olan risk değerlendirme yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, bu tez çalışmasında API 618 piston tipli proses kompresöründe oluşan arızalar Hata Ağacı Analizi yardımıyla incelenmiştir.

Tez çalışması boyunca bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren her konuda desteğini esirgemeyen Danışman Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail ALTIN'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim süresince benden desteğini, bilgisini ve sabrını esirgemeyen Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü Başkanı; Sayın Prof. Dr. Ercan KÖSE'ye minnetlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca Yüksek lisans öğrenimim süresince her konuda desteğini esirgemeyen KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünün Saygıdeğer Sekreteri; Ayşe BAYRAKTAR' a Sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Son olarak bu günlere gelmemde büyük emekleri olan, yaşadığım müddetçe sevgi ve desteklerini her zaman hissedeceğim ve emeklerinin karşılığını hiç bir zaman ödeyemeyeceğim sevgili annem Shafiqa ZIAFATI'ye ve babam Mohammad Jafar FAKHERNIA'ya sonsuz teşekkürleri bir borç bilirim. Hayatımda yerleri çok başka bir yerde olan ablalarım Genel Cerrahi Uzm. Dr. Nazila FAKHERNIA'ya ve Dr. Parinaz FAKHERNIA'ya sonsuz minnetlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Akbar FAKHERNIA
Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “API 618 Proses Gaz Kompresörü Arızalarının Hata Ağacı Yöntemi İle İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. İsmail ALTIN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri ve analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 23/11/2016

Akbar FAKHERNIA

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIX
SEMBOLLER DİZİNİ	XXIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Doğal Gaz	3
1.3. Kompresörler	7
1.3.1. Doğrusal Hareketli Piston Tipli Kompresörler	9
1.3.2. En Çok Kullanılan Piston Tipli Kompresörler	11
1.3.2.1. API 618 Süreç Kompresörleri	11
1.3.2.2. Hyper Kompresörler	12
1.3.2.3. Laby Kompresörler	12
1.3.2.4. Laby-GI Kompresörler.....	13
1.3.2.5. Standart Yüksek Basınç Kompresörler	15
1.3.2.6. VIP Kompresörler.....	15
1.3.2.7. AJAX- İntegral Motor –Kompresörler	16
1.4. Risk Değerlendirmesi	17
1.5. Hasar Kavramı	20
1.6. RCM Yönteminin Esası.....	23
1.7. Literatür Araştırması.....	24
1.8. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı.....	28
1.8.1. Tez Çalışmasının Amacı.....	28

1.8.2.	Tez Çalışmasının Kapsamı	28
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	29
2.1.	API 618 Piston Tipli Kompresörün Yapısı.....	29
2.1.1.	Basıncı Dengeleyici Kaplar	30
2.1.2.	Kompresör Silindiri	31
2.1.3.	Silindir Gömleği	32
2.1.4.	Kompresör Pistonları	32
2.1.5.	Bant Tipi Segman	34
2.1.6.	Piston Segmanları	34
2.1.7.	Kompresör Valfleri	35
2.1.8.	Piston Tip Kompresörlerde Sızdırmazlık Sistemi	37
2.1.9.	Kroset Donanımı.....	38
2.1.10.	Piston Rotu	39
2.1.11.	Biyel.....	40
2.1.12.	Volan.....	41
2.1.13.	Krank Mili Mahfazası.....	41
2.1.14.	Krank Mili	41
2.1.15.	Yataklar.....	42
2.2.	Kompresörün Kritik Parçalarının Bozulma Nedenleri	43
2.2.1.	Piston Segmanlarının Bozulma Nedenleri.....	43
2.2.2.	Kompresör Valflerin Bozulma Nedenleri.....	44
2.2.3.	Salmastraların Bozulma Nedenleri	46
2.2.4.	Piston Rotunun, Salgı Miktarının Yüksek Olma Nedenleri	47
2.3.	Yöntem	49
2.3.1.	API 618 Kobelco Kompresörün Teknik Özellikleri	49
2.3.2.	Hata Ağacı Analizi	53
2.3.2.1.	Hata Ağacı Analizinin Tanımı.....	53
2.3.2.2.	Hata Ağacı Analizinde Kullanılan Referans Standartlar	53
2.3.2.3.	FTA'nın Güçlü Yönleri	54
2.3.2.4.	Hata Ağacının Sınırlamaları	54
2.3.2.5.	Ağaç Yapısı ve Semboller	55

2.3.2.6.	Hata Ağacı Analizinin Ana Hedefleri.....	56
2.3.2.7.	Hata Ağacı Analizinin Süreci	56
2.3.2.8.	Sürecin Kısaca ve Şematik Olarak Gösterimi	57
2.3.2.9.	FTA Diyagramının Yapılandırılması.....	57
2.3.2.10.	Zirve Olayın Tespiti.....	58
2.3.2.11.	Hata Ağacının Sonuçları.....	58
2.3.2.12.	Nitel Yaklaşım FTA'nın İnşası	58
2.3.2.13.	Sayısal Yaklaşım Minimum Kesme Kümeleri	59
2.3.2.14.	Sayısal Yaklaşım	60
2.3.2.15.	Sayısal Yaklaşım ile Değerlendirme	60
2.4.	Güvenilirlik Tanımı	62
2.4.1.	Sistem Modellemesi.....	62
2.4.2.	Sistem Tipleri.....	62
2.4.3.	Onarısız Sistemler.....	63
2.4.4.	Onarımli Sistemler.....	64
2.4.5.	Güvenilirlik Kavramları ve Fonksiyonları	64
2.4.6.	Sürekli İşletimde Olan Sistemlerde Arıza – Tamir Döngüsü	67
2.4.7.	Kullanılabilirlik.....	69
2.4.8.	Onarımli, Sürekli Devrede Olan Sistemler İçin Bağlantı Şekilleri.....	70
2.4.9.	Paralel Bağlı Fazlalıklı Sistemler.	73
2.5.	Open FTA Programın Tanıtımı	75
2.6.	API 618 Piston Tipli Kompresörlerin Meydana Gelen Hasarlar	76
2.7.	Kompresörün Hasarlanmasına Sebep Olan Proses Kaynaklı Hasarlar.....	77
2.8.	Kompresörün Hasarlanmasına Sebep Olan Mekanik Birleşenlerin Arızaları	122
2.9.	Kompresörün Hasarlanmasına Sebep Olan Enstrümantasyon ve Ölçme Cihazlarıyla İlgili Arızalar.....	162
2.10.	Kompresörün Hasarlanmasına Sebep Olan Yardımcı Ekipmanların Hasarlanması	166
2.11.	Kompresörün Hasarlanmasına Sebep Olan Elektrikle İlgili Hasarlar	168
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	170
3.1.	API 618 Kompresör Arızalarına Ait Hata Ağacı Analizi Bulguları.....	170
3.2.	Proses Kaynaklı Hasarlara Ait Hata Ağacı Analizi Bulguları.....	189

3.3.	Kompresörün Mekanik Bileşenleri Hasarları Ait Hata Ağacı Analizi Bulguları	199
3.3.1.	API 618 Kompresörün Valflerinin Hasarlanması.....	205
3.3.2.	API 618 Kompresörün Piston Segmanlarının ve Bant Tipi Segmanlarının Hasarlanması	205
3.3.3	API 618 Kompresörün Yüzer Salmastralarının Hasarlanması	206
3.3.4	API 618 Kompresör Piston Rotunun Hasarlanması	207
3.3.5	API 618 Kompresör Pistonun Hasarlanması	207
3.3.6	API 618 Kompresörün Silindir Gömleğinin Hasarlanması	207
3.3.7	API 618 Kompresörün Krosetin Hasarlanması	208
3.3.8	API 618 Kompresör Biyelinin Hasarlanması	208
3.3.9	API 618 Kompresörün ana yataklarının hasarlanması	209
3.4.	Enstrümantasyon ve Ölçüm Cihazlarının Hasarlarına Ait Hata Ağacı Analizi Bulguları	210
3.5.	Elektrikle İlgili Hasarlarına Ait Hata Ağacı Analizi Bulguları	212
3.6.	Yardımcı Ekipmanların Hasarlarına Ait Hata Ağacı Analizi Bulguları.....	214
4.	SONUÇLAR.....	216
5.	ÖNERİLER.....	228
6.	KAYNAKLAR	229
7.	EKLER	238
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

API 618 PROSES GAZ KOMPRESÖRÜ ARIZALARININ
HATA AĞACI YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Akbar FAKHERNIA

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsmail ALTIN
2016, 237 Sayfa, 13 Ek Sayfalar

Proseslerde ve üretimlerde özellikle doğal gaz rafinerilerinde, en kritik ve hayati rolü oynayan, piston tipli kompresörlerin, kısa bir süre sistemde olmadığı durumda, büyük maddi kayıplara neden olmaktadır. Kompresörün arızalanmasına neden olan, temel etmenler ve kök nedenlerin tanımlanması, ortaya konması ve bu arızaların tek tek analiz edilmesi ve hasarlara karşı önleyici stratejilerin kullanılması, cihaz iyi ve düzenli çalışması, güvenilirlik ve kullanılabilirlik faktörlerinin artışına yol açmaktadır.

Bu tez çalışması API 618 piston tipli proses kompresörün arızalarını, Hata Ağacı Analizi (HTA) yardımıyla incelenmesi, iki kısmı içermektedir. Çalışmanın Birinci kısmının, API 618 kompresörün hasarlarına neden olan 5 temel etmen ele alınmıştır. Bu temel etmenlerin her birinin kök nedenleri tespit edilmiştir ve olasılık değerleri hesaplanmıştır. Open FTA programının yardımıyla MCS'leri elde edilmiş ve başlangıç olayların sistemde oluşan arızalar üzerindeki ağırlıkları hesaplanmıştır.

Tezin ikinci kısmında, kompresörün hasarlarına neden olan temel etmenlerin (proses kaynaklı hasarlar ve kompresörün mekanik birleşenlerin hasarları, enstrümantasyon ve ölçme cihazlar hasarları, yardımcı ekipmanların hasarları ve elektrik ile ilgili hasarların) her birini bir baş olay tutarak, arızaları tek tek ve dikkatli bir şekilde hata ağacı yöntemiyle incelenmiştir. Open FTA programını yardımıyla MCS'leri elde edilmiştir ve tek tek başlangıç olaylarının sistemde oluşan arızalar üzerindeki ağırlıkları hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Doğal Gaz, Rafineri , Piston Tipli Kompresörler , HTA , Güvenirlik
Hata Ağacı Yöntemi , API 618 Proses Gaz kompresörü

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF API 618 PROCESS GAS COMPRESSOR FAILURES WITH FAULT TREE ANALYSIS

Akbar FAKHERNIA

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Naval Architecture and Marine Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Dr. İsmail ALTIN
2016, 237 Pages, 13 Pages Appendix

Reciprocating compressor is in processes and production, especially in natural gas refineries plays the most critical and vital roles. If it is not available in the system, for a short time, leads to huge financial losses. Causing failures of compressor and perspicuity of root causes, basic factors and analyzing these failures one by one and using preventive strategies against damage, it leads to good and regular operation of our device and increased reliability and availability factors as well.

In this study, investigation of API 618 process gas compressor failures with fault tree analysis include two parts. The first part deals with the five basic factors that be caused failure to the API 618 compressor. Major reason of each basic factors were determined and their probability values were calculated. With the help of the Open FTA program, MCS's are identified and the importance of the individual basic events is calculated to identifying the damage of the system.

In the second part of this study, each basic factors (process failure, mechanical component failure, instrumentation and measuring instrument failure, auxiliary equipment failure and electrical failure) with keeping a top event in FTA, causing of the compressor failures was investigated one by one by using fault tree analysis carefully. By using the Open FTA program, their MCS's have been identified and the prospect of the individual basic events which is important for the system has been evaluated.

Key Words : Natural Gas , Refinery, Reciprocating Compressor , FTA , Reliability
Fault Tree Analysis, API 618 Process Gas Compressor

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması	1
Şekil 2. 2015 yılı küresel birincil enerji tüketim oranları	2
Şekil 3. Türkiye birincil enerji arzı (b) ve Türkiye enerji tüketiminin sektörel dağılımı (a)	2
Şekil 4. Doğal gazın diğer yakıtlarla karşılaştırılması	4
Şekil 5. Rotary (Döner) ekipmanlar sınıflandırması	6
Şekil 6. Kompresörlerin sınıflandırması	8
Şekil 7. Kompresör çeşitlerinin kullanım aralıkları	9
Şekil 8. Çift etkili kompresör	10
Şekil 9. Kompresörlerin silindir kombinasyonları ve mevcut düzenlemeleri	11
Şekil 10. Piston tipli kompresör ve teknik özellikleri	11
Şekil 11. Hyper tipli kompresörü ve teknik özellikleri	12
Şekil 12. Laby tipli kompresörü ve teknik özellikleri	13
Şekil 13. Laby-GI tipli kompresörü ve teknik özellikleri	14
Şekil 14. Yüzer depolama ve yeniden gaza dönüştürme ünitesi (FSRU) gemisinde kullanılan Laby- GI kompresörü	14
Şekil 15. Standart yüksek basınç tipli kompresör ve teknik özellikleri	15
Şekil 16. VIP tipli kompresör ve önemli elemanları	16
Şekil 17. Ajax integral tipli kompresörü	16
Şekil 18. Nicel ve nitel risk değerlendirmeleri	17
Şekil 19. Bazı mühendislik dallarında karşılaşılan hasarların sebepleri	21
Şekil 20. Bazı mühendislik dallarında karşılaşılan hasarların mekanizmaları	21
Şekil 21. Hasarların gerçekleşme mekanizmaları	22
Şekil 22. Hasarların teşhis yolları	22
Şekil 23. Bozulma periyodu / p-f eğrisi	23
Şekil 24. Örnek bir DP sistemin için hata ağacının yapısı	24
Şekil 25. DP sistemin Bow-Tie diyagramı	25
Şekil 26. Santrifüj kompresörünün hasarlarının, hata ağacı ile incelenmesi	25

Şekil 27.	Laskowskinin çalışmasında gemi ana motorun FTA yöntemiyle ağaç oluşumu	26
Şekil 28.	Laskowski yaptığı çalışmada gemi ana motorun FTA'da minimum kesme kümeleri	26
Şekil 29.	API 618 piston tipli kompresörün önemli parçaları	29
Şekil 30.	API 618 Kobelco kompresöründe basınç dengeleyici kaplar	30
Şekil 31.	API 618 Kobelco kompresörün birinci ve ikinci aşamasında silindirleri	31
Şekil 32.	Piston tipli kompresör silindir gömleği	32
Şekil 33.	Laby kompresörünün, pistonunda, piston segmanları yerine labirent sistemi kullanılır	33
Şekil 34.	API 618 Kobelco kompresörün, birinci aşamasında olan piston ve piston segmanı ve bant tipi segman	33
Şekil 35.	Bant tipi segmanlar	34
Şekil 36.	Valf parçaları	35
Şekil 37.	API 618 kompresörün yaygın valve tipleri	36
Şekil 38.	Gaz salmastra kutusunda ve içinde olan yüzer salmastralar	37
Şekil 39.	Kroseti oluşturan parçaları ve Kobelco kompresörün kroset donanımında boşluk ölçümü	38
Şekil 40.	Salgı (run-out) miktarının ölçümü	39
Şekil 41.	Biyel	40
Şekil 42.	Krank mili koruması ve krank mili ve yataklar	42
Şekil 43.	Hasarlı piston segmanı ve bant tipli segman ile piston	43
Şekil 44.	API 618 kompresörün valfinde olan hasar	45
Şekil 45.	Salmastraların bozulması	46
Şekil 46.	Kroset donanımının hasarı	46
Şekil 47.	Rot pistonun salgı miktarının yüksek olması ve rot yüzeyindeki kaplamanın incilmesi ve tekrar rot yüzeyinin kaplanması	47
Şekil 48.	Deşarj basıncını dengeleyici kapların temel ayaklarının cıvatalarının kırılması	48
Şekil 49.	Kompresör silindirinin aşırı yağlanması ve fazla yağın silindirin içinde birikmesi	48
Şekil 50.	Kobelco Kompresörünün 103 nolu ünitesinde bulunduğu yer	49
Şekil 51.	API 618 -103 kompresörün birinci aşamalar P&ID	52

Şekil 52.	API 618 -103 kompresörün ikinci aşama P&ID.....	52
Şekil 53.	Hata veya arıza ağacı kapı sembolleri	55
Şekil 54.	Hata veya arıza ağacı olay sembolleri	55
Şekil 55.	Hata ağacı oluşturma aşamaları	57
Şekil 56.	Yangın hata ağacı oluşum örneği	59
Şekil 57.	Örnek hata ağacı oluşumu	61
Şekil 58.	Onarımatsız sistemin zamana göre davranışı	63
Şekil 59.	Onarımlı sistemin zamana göre davranışı.....	64
Şekil 60.	Küvet karakteristiği	66
Şekil 61.	Arıza tamir döngüsü	67
Şekil 62.	Sürekli işletimde olan bir elemana ait durum uzay diyagramı	68
Şekil 63.	Tek elemanlı sistem için durum geçiş diyagramı	68
Şekil 64.	Seri bağlı sistem blok diyagramı	71
Şekil 65.	Paralel bağlı sistem blok diyagramı.....	73
Şekil 66.	Örnek Open FTA programın sekmeleri ve komutları.....	75
Şekil 67.	Piston tipli kompresörlerde meydana gelen hasarların temel etmenler	76
Şekil 68.	Kompresörün hasarlanmasına sebep olan proses kaynaklı hasarlar	77
Şekil 69.	Proses kaynağı olan arızalara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	79
Şekil 70.	Anormal sesler, gürültü ve vuruntulara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	82
Şekil 71.	Anormal sesler, gürültü ve vuruntulara neden olan kompresör silindir vuruntusu, hata ağacı analizi programında oluşumu	83
Şekil 72.	Anormal sesler, gürültü ve vuruntulara neden olan kompresör şasi vuruntusu, hata ağacı analizi programında oluşumu	83
Şekil 73.	Anormal sesler, gürültü ve vuruntulara neden olan kompresör şasi vuruntusu, hata ağacı analizi programında oluşumu	83
Şekil 74.	Sızıntılara neden olan genel sızmalar ve valf sızmaları, hata ağacı analizi programında oluşum	85
Şekil 75.	Sıvı ve suyun girmesi neden olan kompresör silindirler içine sıvı ve suyun girmesi ve krank muhafazasında, suyun birikmesi, durumunun hata ağacı analizi programında oluşumu	87
Şekil 76.	Aşırı ısınma neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	91

Şekil 77.	Aşırı ısınma neden olan Silindirlerin aşırı ısınması, FTA programında oluşumu	92
Şekil 78.	Aşırı ısınma neden olan kompresör parçalarının aşırı ısınması, programında oluşumu	93
Şekil 79.	Aşırı ısınma neden olan kompresörlerden çıkan gazın sıcaklığının yüksek olması hata ağacı analizi programında oluşumu	94
Şekil 80.	Aşırı ısınma neden olan çıkış suyun, sıcaklığı normalin üzerinde olması hata ağacı analizi programında oluşumu	95
Şekil 81.	Yağ ve yağlama kaynaklı arızalara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	98
Şekil 82.	Yağ ve yağlama kaynaklı arızaları neden olan krank muhafazasının yağ basıncının yüksek olması, FTA programında oluşumu	99
Şekil 83.	Yağ ve yağlama kaynaklı arızaları neden olan krank muhafazasının yağ basıncının düşük olması, FTA programında oluşumu	99
Şekil 84.	Emniyet valflerinin atmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	102
Şekil 85.	Emniyet valfinin atmasına neden olan neden olan ara soğutucu , alıcı emniyet valflerin açılması (pop olma),FTA programında oluşumu	103
Şekil 86.	Basınç 'la ilişkin hasarlara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	106
Şekil 87.	Basınç 'la ilişkin hasarlara neden olan Deşarj basıncı normalin altında olması FTA(hata ağacı analizi programında) oluşumu	107
Şekil 88.	Ara soğutucu basıncı ilişkin hasarlara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	109
Şekil 89.	Kompresörün, titreşim ve sarsıntılı olmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	111
Şekil 90.	Aşırı yüke neden olan olayların hata ağacı programında oluşumu	113
Şekil 91.	Kompresörün çalışma sıklığının anormal uzun olmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşum	114
Şekil 92.	Kompresör kapasitesinin düşük olmasına, neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	115
Şekil 93.	Kompresörün unload etmemesine neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	116
Şekil 94.	Gaz taslımının , kapasite limitinden çok az olmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumları	119

Şekil 95.	Kompresörden yüksek basınçlı gazın çıkamaması ve teslim edilmemesine neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	120
Şekil 96.	İstenen basınca ulaşmak için ünite sürecinin çok uzun olmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumları.....	121
Şekil 97.	Unloderin düzensiz çalışmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumları.....	121
Şekil 98.	Kompresörün hasarlanmasına sebep olan mekanik bileşenlerin arızaları	122
Şekil 99.	Kompresörün mekanik bileşenlerin arızalara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu.....	123
Şekil 100.	Valflerin hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	128
Şekil 101.	Valflerin hasarlanmasına neden olan valflerin anormal aşınması (sızdırmazlık yüzeylerin anormal aşınması)hata ağacı analizi oluşumu	129
Şekil 102.	Valflerin hasarlanmasına neden olan karbon içerikli maddelerin depolanması hata ağacı analizi programında oluşumu	130
Şekil 103.	Valflerin hasarlanmasına neden olan valfler ve yayların aşırı kırılması hata ağacı analizi programında oluşumu	131
Şekil 104.	Piston segmanları ve bant tipi segmanların (rider ring) hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu.....	134
Şekil 105.	Piston segmanları ve bant tipi segmanların hasarlanmasına neden olan piston segmanları veya rider aşırı aşınmasının , hata ağacı analizi programında oluşumu	135
Şekil 106.	Yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	139
Şekil 107.	Yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan salmastraların aşırı aşınması hata ağacı analizi programında oluşumu	140
Şekil 108.	Yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan salmastraların aşırı sızıntısı hata ağacı analizi programında oluşumu.....	141
Şekil 109.	Yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan salmastra kutusunun aşırı sıcaklanması hata ağacı analizi programında oluşumu	142
Şekil 110.	Piston rotunun hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	144
Şekil 111.	Piston rotunun hasarlanmasına neden olan piston rot, salgı miktarının yüksek olması hata ağacı analizi programında oluşumu	145
Şekil 112.	Pistonun hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	147

Şekil 113. Pistonun hasarlanmasına neden olan piston çizikli yüzey olması veya aşınması hata ağacı analizi programında oluşumu	148
Şekil 114. Silindir gömleğinin hasarlanması olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	150
Şekil 115. Krosetin hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	152
Şekil 116. Biyelin hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	154
Şekil 117. Kompresörün ana yataklarının hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	157
Şekil 118. Kompresörün ana yataklarının hasarlanmasına neden olan yatakların aşınması olayının, hata ağacı analizi programında oluşumu	158
Şekil 119. Kompresörün ana yataklarının hasarlanmasına neden olan yatakların kırılması olayının, hata ağacı analizi programında oluşumu	159
Şekil 120. Kompresörün ana yataklarının hasarlanmasına neden olan yatakların deformasyonu olayının, hata ağacı analizi programında oluşumu	159
Şekil 121. Krank milinin hasarlanmasına neden olan olayların, hata ağacı analizi programında oluşumu	161
Şekil 122. Kompresörün hasarlanmasına sebep olan enstrümantasyon ve ölçme cihazlarıyla ilgili arızaları	162
Şekil 123. Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme cihazların arızalarının neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	164
Şekil 124. Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme cihazların arızaları neden olan enstrümantasyon göstergelerinin hasarlanması	165
Şekil 125. Kompresörün hasarlanmasına sebep olan yardımcı ekipmanların hasarlanması	166
Şekil 126. Kompresörün yardımcı ekipmanların hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	167
Şekil 127. Kompresörün hasarlanmasına sebep olan elektrikle ilgili hasarları	168
Şekil 128. Elektrikle ilgili hasarlara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	169
Şekil 129. API 618 kompresörün arızalarına neden olan olayların Open FTA programında oluşumu	170
Şekil 130. Kompresör hasarlarına neden olan temel etmenlerin kompresörün hasarlanmasındaki önemleri	188

Şekil 131. Proses kaynağı olan arızalara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	189
Şekil 132. Proses kaynaklı hasarların oluşumundaki başlangıç olayların etkilerinin payı (önemi).....	198
Şekil 133. Kompresörün mekanik bileşenlerinin arızalarına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	199
Şekil 134. API 618 kompresörünün mekanik bileşenlerinin hasar oluşumundaki, önemleri (payları)	209
Şekil 135. Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme cihazların hasara oluşumundaki, başlangıç olayların etki payları (önemleri)	211
Şekil 136. Elektrikle ilgili hasara oluşumundaki , başlangıç olaylarının etki payları (önemleri)	213
Şekil 137. Kompresörün yardımcı ekipmanlarının hasarlarına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu	214
Şekil 138. Kompresörün yardımcı ekipmanlarında hasarları oluşumundaki, başlangıç olaylarının etki payları (önemleri)	215
Şekil 139. API 618 kompresörün hasarlanmasına neden olan temel etmenlerin yüzdesi	216
Şekil 140. Proses kaynaklı hasarlara neden olan başlangıç olayların önemi	218
Şekil 141. API 618 kompresör mekanik birleşenlerinin hasarlanma yüzdesi	219
Şekil 142. Valflerin hasarlanmasına neden olan başlangıç olayların önemi	220
Şekil 143. Piston segmanları ve bant segmanların, hasarlanmasına neden olan olayların önemi	221
Şekil 144. Yüzer salmastraların (floating packing), hasarlanmasına neden olan başlangıç olayların önemi	222
Şekil 145. Piston rotun, hasarlarına neden olan başlangıç olayların önemi.....	223
Şekil 146. Enstrümantasyon cihazlarının hasarlarına neden olan başlangıç olayların önemi	225
Şekil 147. Elektrikle ilgili hasarların, analiz sonuçları	226
Şekil 148. Yardımcı ekipmanların hasarlarını, analiz sonuçları	227
Ek Şekil 1. Pistonlu kompresörlerde basınç-hacim ilişkisi	238
Ek Şekil 2. API 618 Kobelco kompresöründe olan HYDROCOM sisteminin önemli bileşenleri	239
Ek Şekil 3. Hydrocom elektrik-enstrüman sistemin blok şeması.....	240
Ek Şekil 4. Kobelco API 618 kompresörü	240

Ek Şekil 5. Kobelco API 618 kompresörü ve kompresörün iç parçalarının kesit şeması	241
Ek Şekil 6. Piston kolunda ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri	242
Ek Şekil 7. Krank şaft ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri	242
Ek Şekil 8. Valf ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri.....	243
Ek Şekil 9. Kroset ve kısımlarının şematik gösterimi ve isimleri	243
Ek Şekil10. Kompresörün birinci aşamasında olan piston ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri	244
Ek Şekil 11. Kompresörün ikinci aşamasında olan piston ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri	244
Ek Şekil 12. Gaz salmastra kutusu ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri.....	245
Ek Şekil 13. Yağ salmastra kutusu ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri	246
Ek Şekil 14. Orta salmastra kutusu ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri.....	246
Ek Şekil 15. Ana yağ pompası ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri	247
Ek Şekil 16. Salmastralar ve silindirin içini yağlayıcı pompalar(kem pompası) ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri	247
Ek Şekil 17. Kompresörün sistem fonksiyon seviyesi	248

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Doğal gazın bileşenleri ve yüzde oranları	3
Tablo 2.	Doğal gazın yakıt özellikleri.....	3
Tablo 3.	Apı 618 süreç kompresörler kullanım alanlar	12
Tablo 4.	Laby kompresörler kullanım alanları.....	13
Tablo 5.	Standart yüksek basınç kompresörleri kullanım alanları.....	15
Tablo 6.	Önemli ve en çok kullanılan risk değerlendirme yöntemleri.....	18
Tablo 7.	Önemli olan risk değerlendirme metodolojilerin karşılaştırması	19
Tablo 8.	API 618 piston tipli kompresörün önemli parçalar	29
Tablo 9.	API 618 kompresörün özellikleri.....	50
Tablo 10.	Kobelco kompresör parçalarında kullanılan malzemeler	51
Tablo 11.	Proses kaynaklı temel etmenden bir aşağı seviyede olan değer olaylar	78
Tablo 12.	Anormal sesler gürültü ve vuruntulara neden olan üçüncü seviyede olan olaylar başlangıç olaylar	80
Tablo 13.	Kompresör sızıntısına neden olan üçüncü seviyede olaylar ve başlangıç olaylar ve olayların kısaltması ve olasılık değerleri	84
Tablo 14.	Kompresör sızıntısına neden olan üçüncü seviyede olaylar ve başlangıç olaylar ve olayların kısaltması ve olasılık değerleri	86
Tablo 15.	Kompresörün aşırı ısınması olan üçüncü seviyedeki olayla, başlangıç olaylar, olayların kısaltması ve olasılık değerleri	88
Tablo 16.	Yağ ve yağlama kaynaklı arızaları neden olan üçüncü seviyede olaylar, başlangıç olaylar ve olayların kısaltması ve olasılık değerleri	96
Tablo 17.	Emniyet valfinin atmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar başlangıç olaylar , olayların kısaltması ve olasılık değerleri.....	100
Tablo 18.	Basına ilişkili hasarlara neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olaylar , olayların kısaltması ve olasılık değerleri.....	104
Tablo 19.	Ara soğutucu basıncı ile ilişkili hasarlara neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olaylar, olayların kısaltması ve olasılık değerleri.....	108
Tablo 20.	Kompresörün, titreşim, sarsıntılı olmasına neden olan başlangıç olaylar, olayların kısaltması ve olasılık değerleri	110

Tablo 21.	Çalışma sıklığının anormal uzun olması ve kompresör kapasitesinin düşük olması, aşırı yük ve kompresörün unload etmemesine neden olan başlangıç olayları, olayların kısaltmaları ve olasılık değerlerler.....	112
Tablo 22.	Gaz tesliminin, kapasite limitinden çok az olması ve kompresörden yüksek basınçlı gazın çıkmama, teslim edilmemesi, istenen basınca ulaşmak için ünite surecinin çok uzun olması, unloderin düzensiz çalışmasına neden olan başlangıç olayları ve olayların kısaltmaları ve olasılık değerleri	117
Tablo 23.	Valflerin hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olaylar , olayların kısaltması ve olasılık değerler	124
Tablo 24.	Piston segmanları ve bant tipi segmanların hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları , olayların kısaltması ve olasılık değerleri	132
Tablo 25.	Yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyede olaylar başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri,.....	136
Tablo 26.	Piston rotunun hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, olayların kısaltması ve olasılık değerleri	143
Tablo 27.	Pistonun hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olayla, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri.....	146
Tablo 28.	Silindir gömleğinin hasarlanması neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri.....	149
Tablo 29.	Krosetin hasarlanmasına neden olan başlangıç olayları , olayların kısaltması ve olasılık değerleri	151
Tablo 30.	Biyelin hasarlanmasına neden olan başlangıç olayları , olayların kısaltması ve olasılık değerleri	153
Tablo 31.	Kompresörün ana yataklarının hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar , başlangıç olayları , olayların kısaltması ve olasılık değerleri	155
Tablo 32.	Krank milinin hasarlanmasına neden olan beş etmen.....	160
Tablo 33.	Enstrümantasyon ve ölçme cihazları arızalarına neden olan temel etmenler, kısaltmaları ve başlangıç olayları	163
Tablo 34.	Yardımcı ekipmanların hasarlanmasına neden olan temel etmenler, kısaltmaları, olasılık değerleri ve başlangıç olayları	167
Tablo 35.	Elektrikle ilgili hasarlara neden olan temel etmenleri, kısaltmaları olasılık değeri ve başlangıç olayları	169
Tablo 36.	Kompresör hasarına neden olan minimum kesme kümelerini (MCS)	171
Tablo 37.	Elektrik hasarlarıyla ilgili başlangıç olayların ve toplam önemi	182
Tablo 38.	Yardımcı ekipmanların hasarlarıyla ilgili başlangıç olayların önemi.....	182

Tablo 39.	Enstrümantasyon ve ölçme cihazlar hasarlarıyla ilgili başlangıç olayların önemi ve toplam önemi	183
Tablo 40.	Mekanik birleşenlerin hasarlarıyla ilgili başlangıç olayların, toplam önemi .	183
Tablo 41.	Proses kaynaklı hasarlarla ilgili başlangıç olayların, ve toplam önemi.....	186
Tablo 42.	Proses kaynaklı hasarların neden olan MCS'lerini oluşturan başlangıç olayları ve MCS olma olasılıkları.....	190
Tablo 43.	Proses kaynaklı hasarların başlangıç olayı analiz sonuçları	196
Tablo 44.	API 618 kompresörün mekanik bileşenleri hasarlarının neden olan, MCS oluşturan başlangıç olayları ve MCS'leri olma olasılıkları	200
Tablo 45.	API 618 kompresörün valflerinin hasarlanmasına neden olan olayların olasılık değerleri ve önemleri ve toplam önemi	205
Tablo 46.	API 618 proses kompresörün piston segmanlarının, bant tipi segmanların hasarlanmasına neden olan olayların olasılık değerleri ve toplam önemi	206
Tablo 47.	Kompresörün Yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan başlangıç olayların önemi, olasılık değerleri ve her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olayların önemleri	206
Tablo 48.	Kompresörün pistonun hasarlanmasına neden olan başlangıç olaylarının önemi, olasılık değerleri , her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan başlangıç olayların önemleri	207
Tablo 49.	Kompresörün pistonun hasarlanmasına neden olan başlangıç olaylarının önemi, olasılık değerleri, her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olayların önemleri.....	207
Tablo 50.	Kompresörün silindir gömleğinin hasarlanması neden olan başlangıç olayların önemi, olasılık değerleri, her parçanın hasara oluşumuna olan başlangıç olayların önemleri.....	208
Tablo 51.	Kompresörün krosetin hasarlanması neden olan başlangıç olaylarının önemi, olasılık değerleri ve her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan başlangıç olayların önemleri.....	208
Tablo 52.	Biyelin hasarlanması neden olan başlangıç olayların önemi, olasılık değerleri ve her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olaylarının önemleri.....	208
Tablo 53.	Kompresör ana yataklarının hasarlanmasına neden olan başlangıç olaylarının önemi , olasılık değerleri, her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olaylarının önemleri	209
Tablo 54.	Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının hasarlarına neden olan minimum kesme kümelerini oluşturan başlangıç olayları, minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları.....	210

Tablo 55.	Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının hasarlarına neden olan başlangıç olayların önemi ve olasılık değerleri	211
Tablo 56.	Elektrikle ilgili hasarlara neden olan minimum kesme kümelerinin oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları	212
Tablo 57.	Elektrikle ilgili hasara neden olan başlangıç olayların OD ve önemleri	213
Tablo 58.	Kompresörün yardımcı ekipmanlarında hasarlara neden olan minimum Kesme kümelerinin oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları	214
Tablo 59.	Kompresörün yardımcı ekipmanların hasarlara neden olan minimum Kesme kümelerinin oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları.....	215
Tablo 60.	API 618 kompresörün hasarlanmasına neden olan ve en büyük öneme sahip olan (% 63.2) mekanik birleşenlerin hasarlarının sonuçları	217
Tablo 61.	API 618 kompresörün hasarlanmasına neden olan ve ikinci öneme sahip olan (% 17.5)proses kaynaklı hasarların sonuçları.....	217
Tablo 62.	API 618 kompresörün hasarlanmasına neden olan ve üçüncü öneme sahip olan (% 11.09) Enstrümantasyon ve ölçme cihazlalar hasarların sonuçları ...	217
Tablo 63.	API 618 kompresörün hasarlanmasına neden olan ve dördüncü öneme sahip olan(%5.22) yardımcı ekipmanların hasarları sonuçları	218
Tablo 64.	API 618 kompresörün hasarlanmasına neden olan ve beşinci öneme sahip olan(%2.9) Elektrikle ilgili hasarları sonuçları	218
Tablo 65.	Proses kaynaklı hasarlara neden olan başlangıç olayların önemi	219
Tablo 66.	Valf hasarlarının değerlendirilmesi	220
Tablo 67.	Piston segmanları hasarlarının değerlendirilmesi	221
Tablo 68.	Yüzer salmastraların hasarlarının değerlendirilmesi	222
Tablo 69.	Piston rot, hasarlarının değerlendirilmesi	223
Tablo 70.	Kompresör pistonlarının hasarlarının değerlendirilmesi	223
Tablo 71.	Kompresörün, silindir gömleğinin hasarlarının değerlendirilmesi	224
Tablo 72.	Krosetin hasarlarının değerlendirilmesi.....	224
Tablo 73.	Biyelin hasarlarının değerlendirilmesi.....	224
Tablo 74.	Ana yataklarının hasarlarının değerlendirilmesi.....	224
Tablo 75.	Enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının hasarlarına neden olan başlangıç olayların önemi	225
Tablo 76.	Elektrikle ilgili hasarların, analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	226
Tablo 77.	Yardımcı ekipmanların hasarlarını, analiz sonuçlarını.....	227

EK Tablo 1.API 618 kompresörün günlük ve haftalık ve aylık muayeneler	249
EK Tablo 2. Kompresörün iyi şekilde görev yapması için periyodik muayenelerin	250
EK Tablo 3. Büyük bakım esnasında muayeneler.....	250



SEMBOLLER DİZİNİ

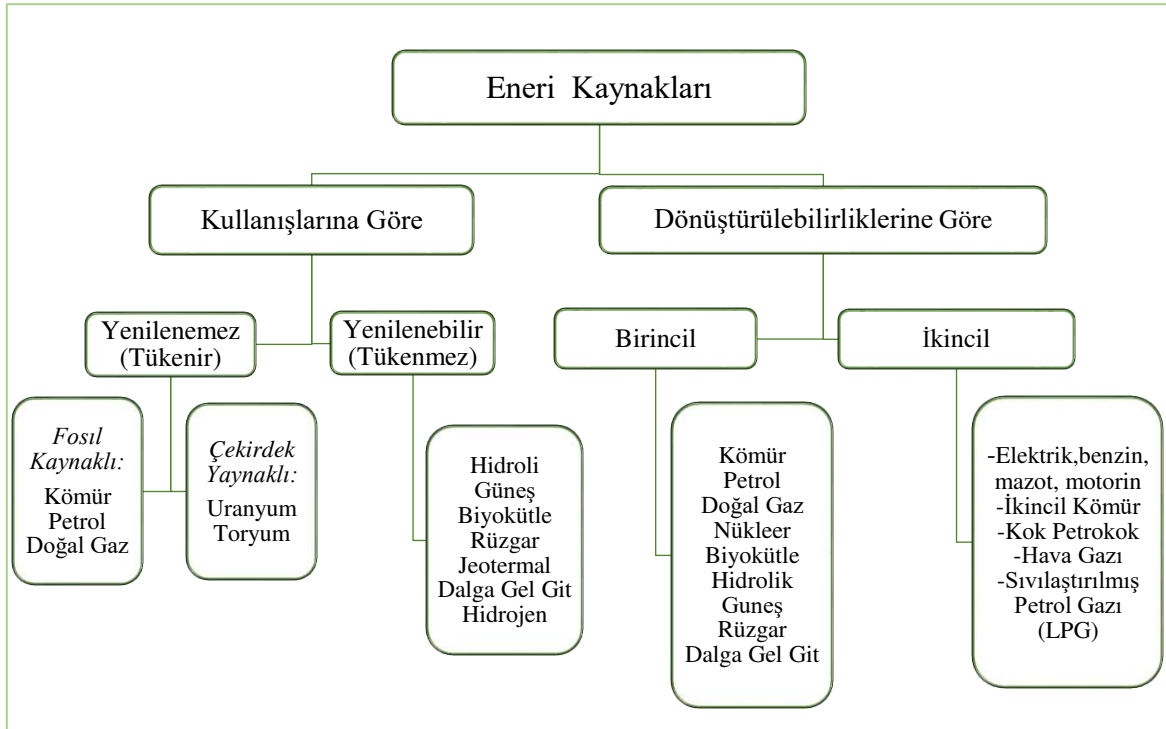
A	: Kullanılabilirlik (Availability)
API	: Amerikan Petrol Enstitüsü
BOG	: Kaynayan doğal gaz (Boil off gas)
Bow-Tie	: Papyon yöntemi
C ₂ H ₆	: Etan
C ₃ H ₈	: Propan
C ₅ H ₁₂	: Pentan
CCF	: Hasarların ortak nedenleri
CH ₄	: Metan
CNG	: Sıkıştırılmış Doğal Gaz
CO ₂	: Karbondioksit
DFDE	: Zamanlı dizel çift yakıt tahrik sistemi
EIT	: Enstrümanaysan ve Telekomünikasyon
ETA	: Olay Ağacı Analizi
FMEA	: Hata Modu ve Etki Analizi
f _p	: Paralel bir sistem için arıza sıklığı
FPSO	: Yüzer, Depolama ve boşaltma
FSRU	: Yüzer depolama ve yeniden gaza dönüştürme ünitesi
FTA	: Hata Ağacı Analizi
GTL	: Doğalgazı sıvıya dönüştürme (Gas-to-Liquids)
GTW	: Doğalgazı elektrik gücüne dönüştürme
HAZOP	: Tehlike ve işletilebilme çalışması
HP	: Yüksek basınç
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
JSA	: İş Güvenlik Analizi
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
LNG	: Sıvılaştırılmış doğal gaz
MCS	: Minimum kesme kümeleri
MOCUS	: Kesme kümeleri metodu

MTBF	: Arızalar arası ortalama süre (Mean time between failures)
MTTF	: Ortalama arıza zamanı (Mean time to failure)
MTTR	: Ortalama tamir süresi (Mean time to repair)
OD	: Olasılık değeri
OREDA	: Kıyı ve açık deniz petrol ve doğal gaz cihazlarında, güvenilirlik verileri
P&ID	: Borulama ve enstrümantasyon şeması
PHA	: Ön Tehlike Analizi
PTFE	: Poly Tetra Flor Etilen
Q	: Güvenilmezlik(un reliability)
R	: Güvenilirlik (reliability)
RCM	: Güvenilirlik Merkezli Bakım
rpm	: dakikadaki devir sayısı
r_s	: Sistemin tamir oranı
U	: Kullanılamazlık (un availability)
U_p	: Paralel bir sistem için sağlanmazlık
VIP:	: Piston üzerinde valf
WC	: Tungsten Karbür Kaplama
λ	: Arıza hızı
λ_p	: Paralel bir sistem için sistemin arıza oranı
λ_s	: Sistemin arıza oranı
μ	: Onarım hızı
μ_p	: paralel bir sistem için tamir oranı

1. GENEL BİLGİLER

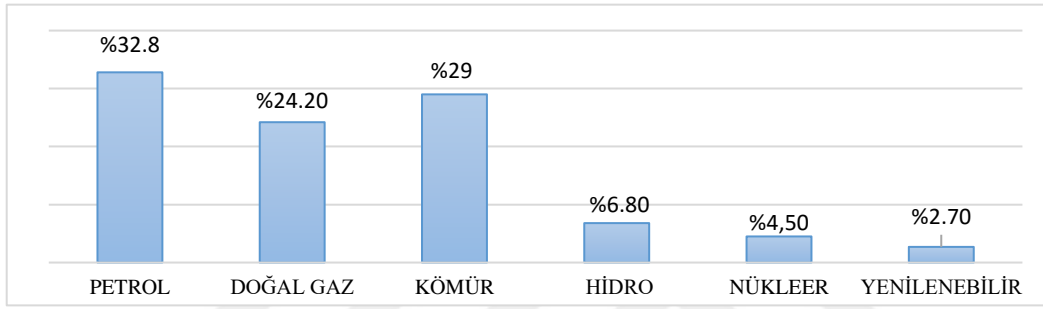
1.1. Giriş

Enerji konusundaki yetkinlik ülkelerin ekonomik gelişmişliğinin bir göstergesidir ve uluslararası ilişkileri belirleyen önemli bir faktördür. Bu bağlamda; enerjide dışa bağımlılığının azaltılması birçok ülkenin ana politik hedefleri arasında yer almasını sağlamıştır (TMMOB, 2006; Topçu, 2013). Ülkelerin hem sanayi hem de toplumsal faaliyetlerin devamı için gereksinim duydukları enerjinin ekonomik ve çevreci yöntemler ile elde edilmesi büyük önem taşımaktadır. Enerjinin herhangi bir yolla üretilmesini sağlayan kaynaklar enerji kaynakları olarak tanımlanabilir. Petrol, kömür ve doğal gaz birincil enerji kaynakları olarak ifade edilmektedir. Güneş, rüzgâr, jeotermal, dalga, gel-git ve hidrojen enerjileri yenilenebilir enerji sınıfına girmektedir. Nükleer enerji ise yenilenemez enerji kaynakları sınıfına dâhildir (Avcı, 2009; İskender, 2012; Yüksel, 2013). Enerji kaynaklarının şematik olarak bir sınıflandırılması Şekil 1’de verilmiştir.



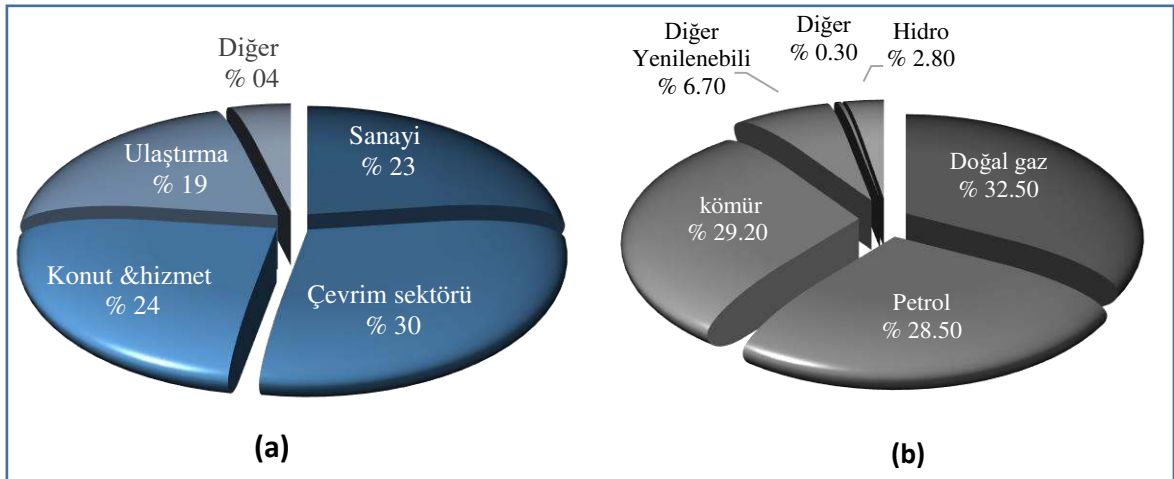
Şekil 1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Koç ve Şenel, 2011).

Dünya genelinde enerji talebindeki hızlı artış neticesinde; kömür, doğal gaz ve petrol üretimlerinin büyük rakamlara ulaşacağı, bu alanda önemli yatırımların gerekeceği ve enerji taşımacılığı ile birlikte alt yapısı alanında önemli bir büyümenin olacağı anlamı ortaya çıkmaktadır (Türkiye Petrolleri, 2015). Bugün dünyada tüketilen enerji, çok sayıda enerji kaynağından elde edilirken; petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklar, bu kaynaklar içinde % 87'ye yakın bir orana sahiptir (Türkiye Petrolleri Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, 2016; Türkiye Petrolleri, 2015). 2015 Yılı Küresel birincil enerji tüketim oranları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 2015 yılı küresel birincil enerji tüketim oranları (Türkiye Petrolleri, 2015).

Türkiye gelişen ekonomisi ile dünyanın önemli enerji tüketicileri arasında yer almaktadır. Şekil 3’de 2014 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzı (b) ve Türkiye Enerji Tüketiminin Sektörel Dağılımı (a) gösterilmiştir.



Şekil 3. Türkiye birincil enerji arzı (b) ve Türkiye enerji tüketiminin sektörel dağılımı (a) (Petrolleri, 2015).

1.2. Doğal Gaz

Doğal gaz; renksiz, rutubetsiz (kuru), kokusuz, zehirli olmayan (çok düşük konsantrasyonlarda) ve havadan hafif bir gazdır. Gaz halinde olması nedeniyle hava ile daha iyi bir karışım oluşturarak kolay yanmakta ve tam yandığında mavi bir alev oluşturmaktadır. Doğalgazın içerisinde yanmayan hiçbir madde yoktur. Gaz halinde olması nedeniyle daha hassas şekilde kontrol edilebilme olanağı bulunmaktadır (İskender, 2012).

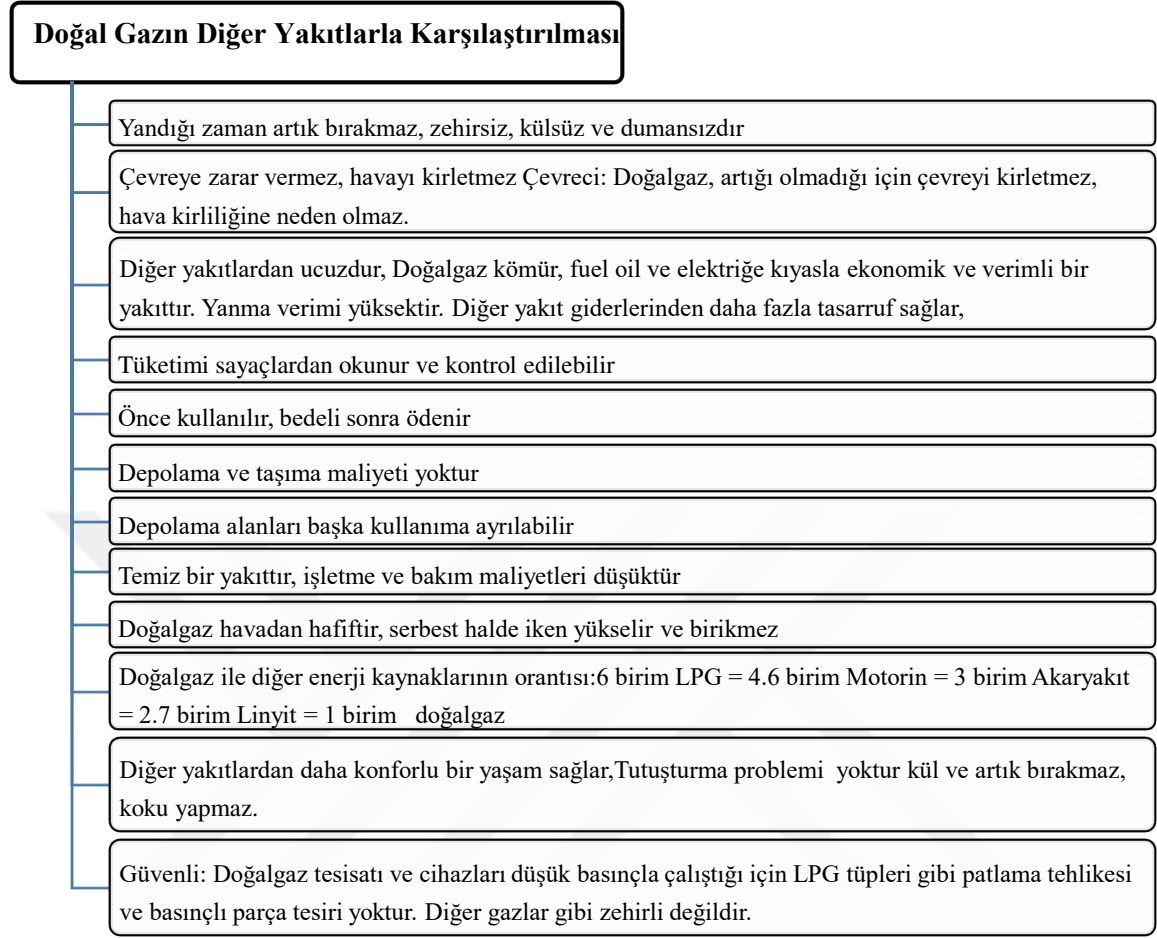
Doğal gaz, diğer fosil enerji kaynaklarına göre çevreye daha uyumlu, havayı kirletmeyen, doğaya zarar vermeyen bir enerji kaynağıdır. Doğal gaz, konutlarda başlıca ısıtma ve soğutma, sıcak su elde etme, pişirme amaçlı kullanılır. Küçük sanayi atölye ve fırınlarda üretim amaçlı olarak kullanılır. Demir-çelik, çimento, kimya sanayinde, cam ve kiremit imalatında da yararlanılan doğal gaz, tekstil sektörü için de önemli bir enerji kaynağıdır. Doğal gaz, yandığı zaman havayı kirletici kükürt oksitleri ve karbon tanecikleri gibi atık maddeler meydana getirmemektedir. Bileşiminin büyük bölümünü metan gazı oluşturmaktadır (Alan, 2008; Avcı, 2009; T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2009). Doğal gazın bileşimi ve yakıt özellikleri sırası ile Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Doğal gazın bileşenleri ve yüzde oranları (Wang vd., 2007).

Metan CH ₄	Etan C ₂ H ₆	Propan C ₃ H ₈	Pentan C ₅ H ₁₂	Karbondioksit CO ₂
% 96	% 1	% 0.136	% 0.006	% 2.54

Tablo 2. Doğal gazın yakıt özellikleri (Liao vd., 2005).

Normal koşullar altındaki yoğunluk [kg/m ³]	0.754
Stokiyometrik hava-yakıt oranı [% v/v]	9.396
Atmosfer koşullarında tutuşabilirlik sınırı [%]	5-15.6
Laminer alev hızı [m/s]	0.38
Sönme mesafesi [mm]	1.9
Hacimsel alt ısı değer [MJ/m ³]	32.97
Oktan sayısı [-]	120
C/H oranı [-]	0.2514



Şekil 4. Doğal gazın diğer yakıtlarla karşılaştırılması (T.C.Milli Eğitim Bakanlığı, 2009).

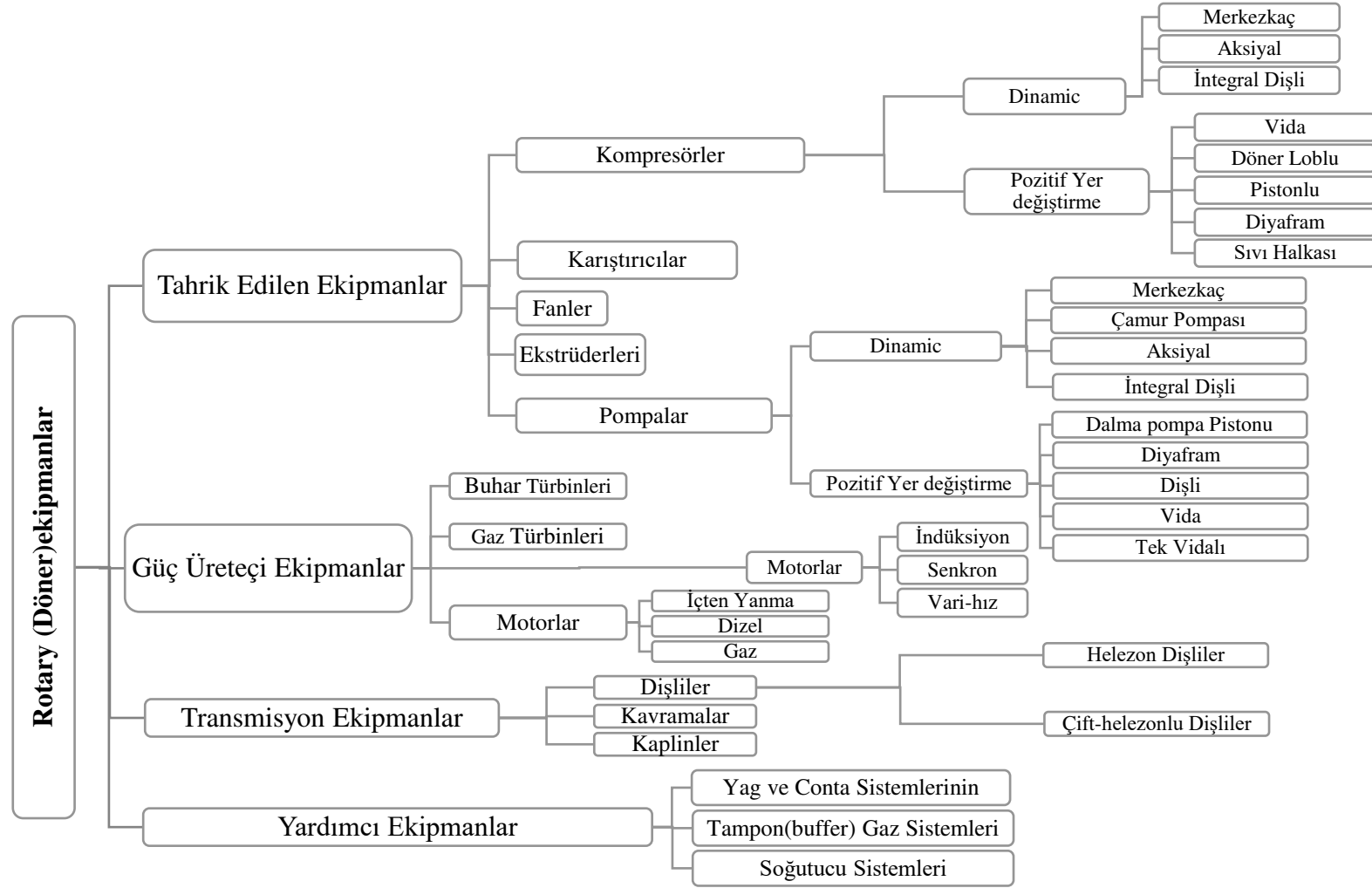
Doğal gaz atmosferik basınçta yaklaşık olarak $-164\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında soğutulduğu zaman sıvılaşmakta ve hacmi 1:600 oranında küçülmektedir. Sıvı hale gelen doğal gaz “Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG)” olarak adlandırılmaktadır. Doğal gazın kompresörler ile basınçlandırılarak sıkıştırılmış hali ise “Sıkıştırılmış Doğal Gaz (CNG)” olarak isimlendirilmekte ve yakma işlemi esnasında otomatik kontrole daha uygun olması nedeni ile enerji tasarrufu sağlamaktadır (Alan, 2008; Lyons, 1996). Dünyada tespit edilen doğal gaz rezervlerinin toplamı 2015 yılsonu rakamları ile 186.9 Tm^3 olarak rapor edilmektedir. Bu rezervin büyük bölümü Orta Doğuda bulunmaktadır. 2014 yılı referans alındığında, 2015 yılı sonunda dünyada doğal gaz üretiminde % 2.2’lik ve tüketimde ise % 1.7’lik bir artış meydana gelmiştir (BP, 2016). İşlevi bitmiş doğal gaz ve petrol yatakları, yeraltındaki kaya tuzu yataklarının tatlı suyla eritilmesi ile elde edilen boşluklar, kapasitesi sınırlı olarak inşa edilen çelik tanklar veya basınçlı çelik depolar, doğal gazın depolanması amacı ile

kullanılmaktadır. Ayrıca tespit edilebilmiş yeraltındaki doğal boşluklar ve izolasyon ve sızdırmazlık sağlanmış, terk edilmiş yeraltı maden yatakları doğal gazın depolanması amacı ile kullanılmaktadır (Alan, 2008; Lyons, 1996).

Diğer önemli bir konu doğal gazın kullanım noktalarına taşınmasıdır. En yaygın yöntem: doğal gazın boru hatlarıyla ve yüksek basınç altında taşınmasıdır. Boru hatları uzun zamandan beri doğal gaz transferi amacıyla kullanılmaktadır, fakat 2500 km'nin üstünde mesafeler için ekonomik değildir. Bu geleneksel taşıma yönteminin dışında kullanılan yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Faraji ve Seyedeh, 2012):

- Doğal gazın sıvılaştırılarak tankerlerle taşınması (LNG)
- Rafinerilerde sıvı yakıtlara (benzin, dizel vb.) dönüştürerek (GTL)
- Doğal gazın elektrik enerjisine çevrilerek taşınması (GTW)
- Doğal gazın basınç altında tanklarda sıkıştırılıp taşınması (CNG)
- Doğal gazın absorbe edilerek taşınması (GTS),

Doğal gaz yer altı kaynaklarından çıkarılmasından, tüketicilere varmasına kadar birçok süreçten geçmesi gerekmektedir. Bu sürecin amacı, doğal gazın içerisinde yer alan su vb. maddelerden arındırılmasıdır. Doğalgazın üretimi ve tüketimi süreçleri için çoklu donanımlar kullanılmaktadır. Bu donanımlar üç ana gruba ayrılmıştır. Birinci grup döner veya rotary cihazları (pompalar, kompresörler, türbinler, fanlar ve blowerler, dişliler, motorlar, jeneratörler) kapsamaktadır. İkinci grup ise, statik cihazlar (ısı değiştirgeçleri, boruları, tanklar, kaplar, separatörler, hidrosiklonlar, yıkayıcılar, vanalar) içermektedir. En son grup ise Enstrümanaysan ve Telekomünikasyon veya tipik EIT donanımları (güvenlik ve otomasyon sistemi, anons sistemleri, akıllı vericiler, ısıtıcılar, kesintisiz güç kaynakları, telekomünikasyon sistemi, elektrik panoları ve motorları) kapsamaktadır (Beşergil, 2014; Forsthoffer, 2005a, 2011; Matthews, 2002; McMillan, 2004; Mobley vd., 2008; Oberg, 2004; Smith ve Mobley, 2003). Rotary (döner) ekipmanların sınıflandırması Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Rotary (Döner) ekipmanlar sınıflandırması (Bloch, 2006; Forsthoffer, 2005a, 2005b).

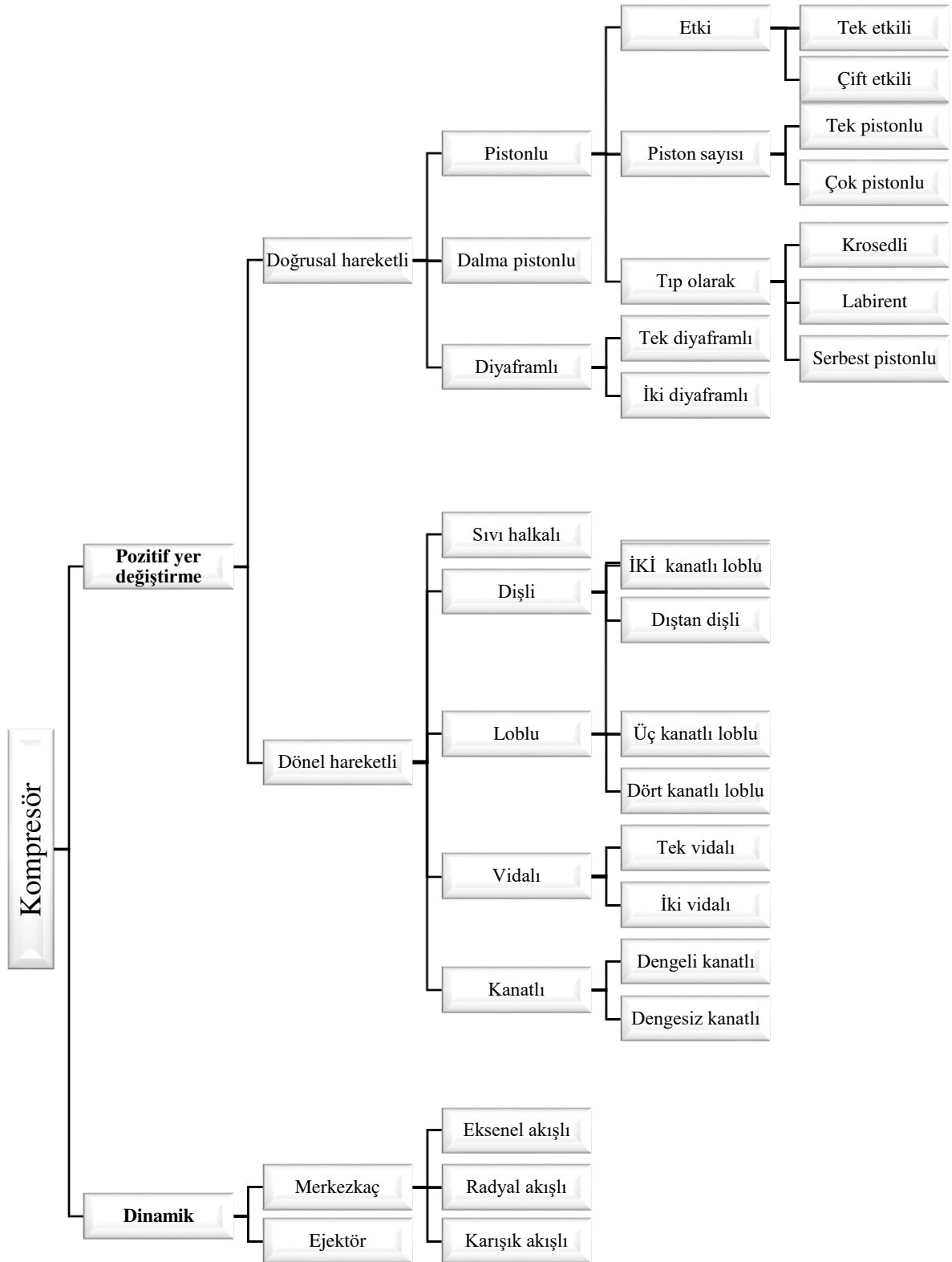
Doğal gazın üretim ve taşıma süreçlerinde en önemli donanım kompresördür. Bölüm 1.3’de kompresörler ile ilgili yeterli düzeyde bilgilere yer verilecektir.

1.3. Kompresörler

Kompresör genel anlamıyla sıkıştırılabilir gaz şeklinde olan akışkanların basıncını arttırmak için kullanılan bir makinedir. Kompresörler sanayide başta petrol, petrokimya ve gaz üretim tesisleri olmak üzere gıda, ilaç, tekstil, otomotiv ve daha birçok sektörde kullanılmaktadır. Atölyelerden büyük kapasiteli işletmelere, büyük petrol-gaz platformlarına kadar birçok tesiste basınçlı gaz ihtiyacını ve tesisler içindeki gaz sevkini sağlarlar. Kompresörler, endüstriyel faaliyetlerde diğer tip tüm donanımlardan daha fazla elektrik tüketmektedir. Bu da kompresör ünitelerinde yapılacak iyileştirmelerin işletmenin veya sistemin boyutlarına göre enerji tüketimini azaltıp önemli miktarda maddi kazanç elde edilebilir (Beşergil, 2014; Forsthoffer, 2005b). Kompresörler, gaz basıncını arttırmakta kullanılan yöntem bakımından pozitif yer değiştirmeli (deplasmanlı) ve dinamik olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Belirli bir tip kompresörü seçmeden önce, çoklu parametrelerin gözün önüne alınması gerekmektedir, dâhil olmak üzere;

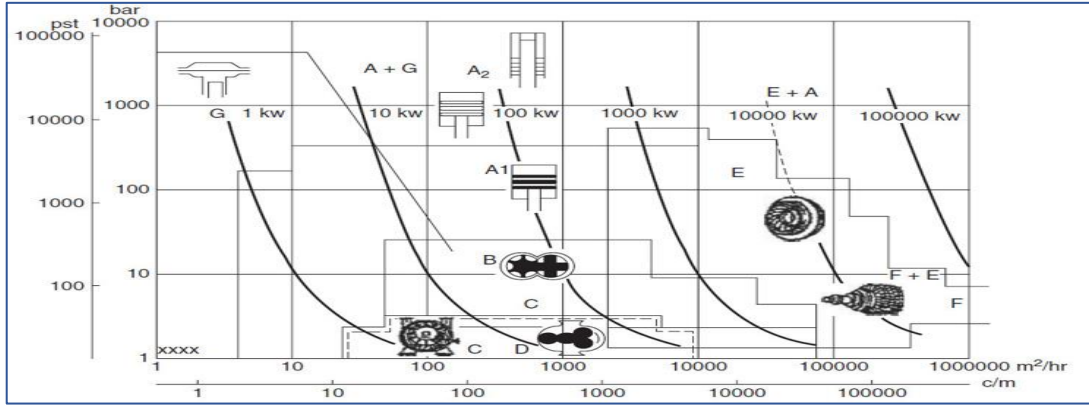
- Akış (flow) miktarı
- Sıkıştırma oranı ve ya çıkış basınç miktarı
- Başlangıç yatırımı
- Bakım maliyetleri
- Onarım maliyetleri
- Verimi
- Gaz türü
- Kompresör ağırlığı
- Güç kaynağı özellikleri
- Kompresör için gerekli alan

Kompresörlerin sınıflandırılması Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Kompresörlerin sınıflandırması (Bloch, 2006; Bloch ve Geitner, 2004, 2006; Bloch ve Godse, 2006; Bloch ve Hoefner, 1996; Bloch ve Soares, 1998 ; Brown, 1997; Forsthoffer, 2005a, 2005b, 2011; Giampaolo, 2010; Hanlon, 2001; Matthews, 2002; Mobley, 2011).

Kompresör çeşitlerinin kullanım aralıkları Şekil 7’de gösterilmiştir. Projelerde, ilk aşamada gaz basıncı (giriş ve çıkış) ve gaz debi miktarı hesaplanır ve ikinci aşamada bu tabloların yardımıyla en verimli ve en ekonomik kompresörlerin seçilir.

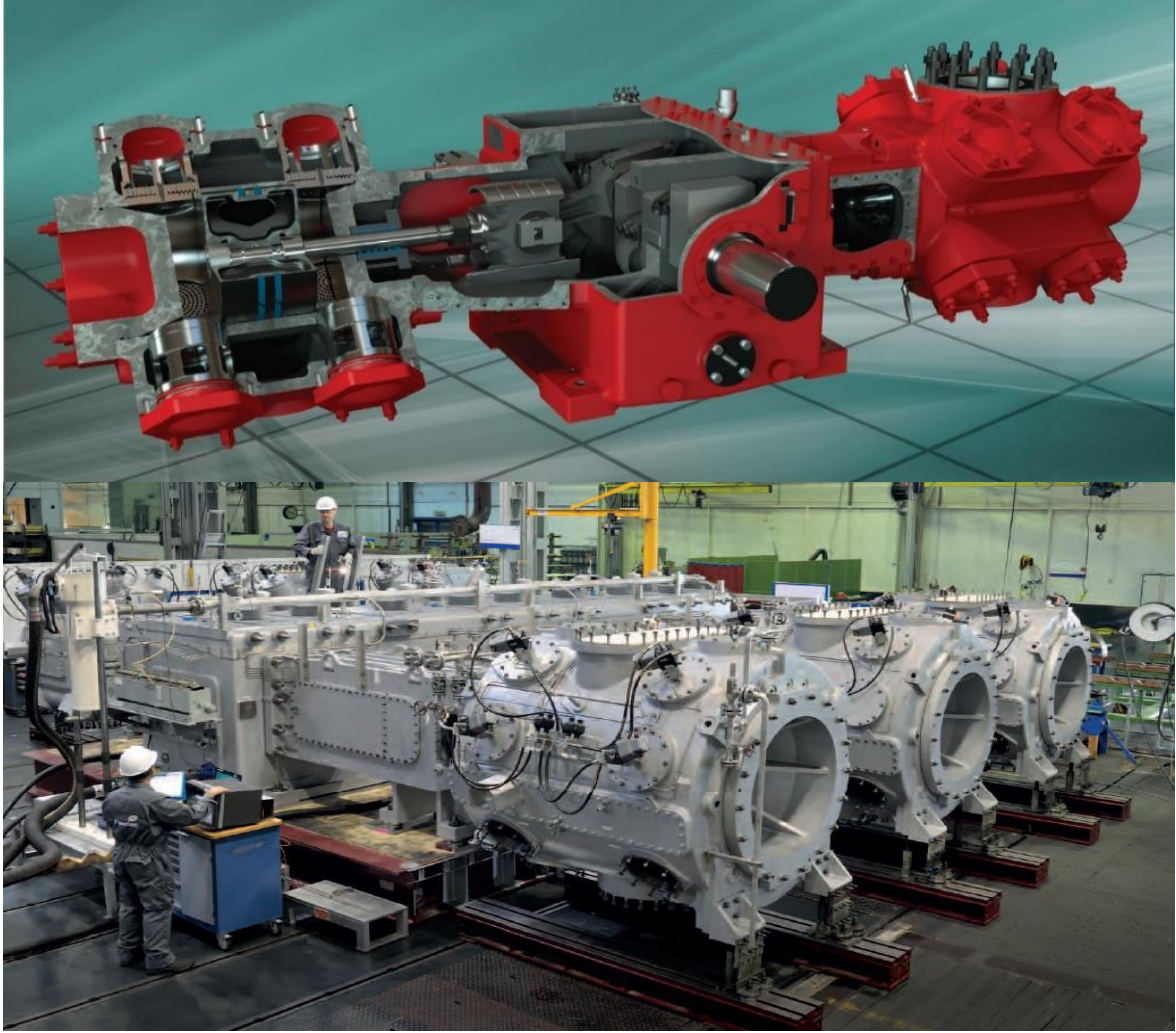


Şekil 7. Kompresör çeşitlerinin kullanım aralıkları (Heinz P. Bloch, 2006).

1.3.1. Doğrusal Hareketli Piston Tipli Kompresörler

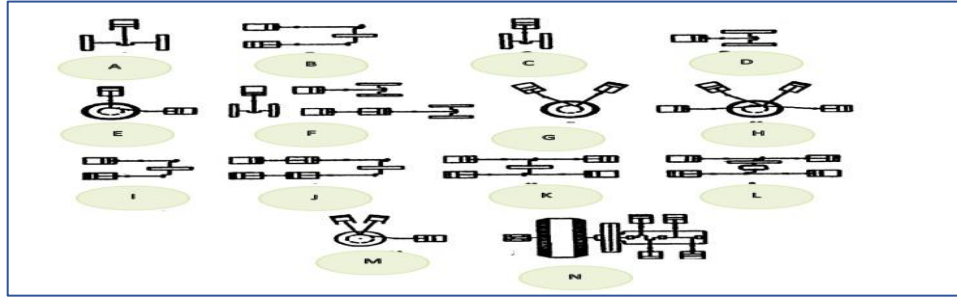
Bu tür kompresörlerde silindir içinde gidip gelme hareketi yapan piston, silindir hacmin değiştirmesine yol açmaktadır. Silindirin hacminin artması, basıncın düşmesine sebep olur ve silindirin içine gazın emilmesini sağlar. Sıkıştırma aşamasında; silindir içinde ileriye hareket eden piston silindir hacminin azalması ve gazın yoğunlaşmasına neden olur ve sonunda yüksek basınçlı gaz, çıkış valflerinden, silindiri terk eder. Silindir içine gazın giriş ve çıkışını, giriş ve çıkış valfleri otomatik olarak kontrol etmektedirler (Azadani, 2006; Hanlon, 2001; Hoseyni, 2003; Kavyani, 2006). Elektromotor ya da turbinin dönel hareketi, Krank mili tarafından gidip gelme hareketine dönüştürülmekte ve kroset adlı parçanın vasıtasıyla doğrusal harekete çevrilip ve piston üzerine uygulamaktadır. Bu türlü kompresörler tek etkili ve çift etkili, olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Tek etkili kompresörlerde, gazı sıkıştırma operasyonu sadece pistonun önünde (silindir kafasında) gerçekleşmektedir. Çift etkili kompresörlerde ise sıkıştırma operasyonu pistonun ön tarafında (silindir kafasında), hem de pistonun arka tarafında (silindir ucu) gerçekleşmektedir. Dolayısıyla iki paralel kompresör gibi, 180 derecelik bir zaman gecikmesiyle emme ve sıkıştırma işlemleri yapılmaktadır. Çift etkili kompresörlerde, artan kapasite ile birlikte gövde ve krank milinde daha az titreşim oluşmakta, parçaların ömürleri daha uzun olmaktadır. Bu sıralanan gerekçelerle çift etkili kompresörler yaygın şekilde

kullanılmaktadırlar. Kompresörün aşama sayısı bakımından tek aşamalı kompresörler ve çok aşamalı kompresörler şeklinde iki ana gruba ayrılmaktadır. Birçok sanayi kolunda yüksek basınç ve hacimde gaz kullanılması nedeniyle çok aşamalı kompresörlere gereksinim duyulmaktadır. Bu tip kompresörlerin kullanım nedenleri: farklı bölgelerinde çekme ve basma gerilmeleri düşük olması, kompresörün diğer aşamalarında gazın soğutulmasına, olarak vermesidir (ara soğutucu vasıtasıyla) en önemli kullanım nedeni enerji tasarrufunun mümkün olmasıdır. Şekil 8’de çift etkili kompresör gösterilmiştir.



Şekil 8. Çift etkili kompresör (Dresser Rand, 2014; Howden, 2016).

Yüksek basınçlarda kullanılan, çok aşamalı piston tipli kompresörlerin farklı uygulamalarda kullanmak üzere çeşitli tiplerde tasarlanıp üretilmiştir. Şekil 9’da kompresörlerin silindir kombinasyonları ve mevcut düzenlemeleri gösterilmiştir.



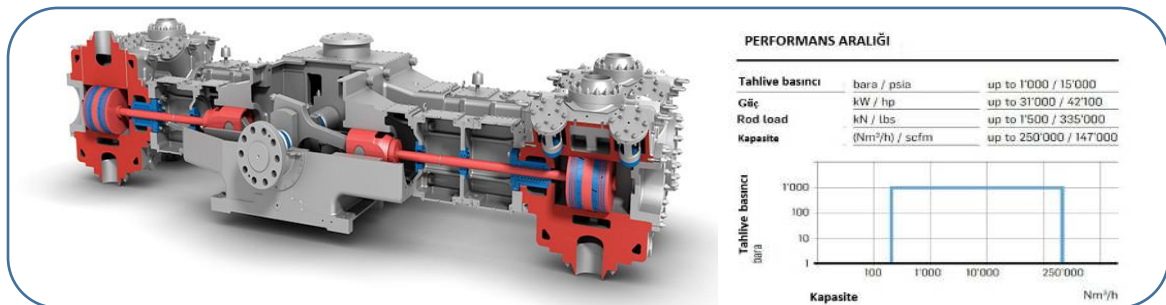
Şekil 9. Kompresörlerin silindir kombinasyonları ve mevcut düzenlemeleri (Bloch ve Hoefner, 1996).

1.3.2. En Çok Kullanılan Piston Tipli Kompresörler

Piston tipli kompresörlerin çeşitleri içinden en fazla API 618, Hyper, LABY®, LABY®-GI kompresörler, HP Standart, VIP ve AJAX kompresörler, farklı kullanım alanlarında (Petrokimya ve kimyasal endüstrilerde, endüstriyel gaz tesislerinde, rafinerilerde, petrol ve gaz deniz platformlarında, CNG ve LNG taşıyıcı gemilerde, gaz taşıma ve depolama alanlarında, vb.) kullanılmaktadırlar.

1.3.2.1. API 618 Süreç Kompresörleri

Çift etkili olan bu kompresör: API 618 yönergelerine uygun olup, yağlı veya yağsız sıkıştırma sistemine sahiptir. Dikey ve yatay tipli olan bu kompresörler güçlü bir tasarıma sahiptir. Kompresörün güvenilirliği ve kullanılabilirliği yüksek, parçalarının kalitesi yüksektir. Çeşitli tasarım seçenekleri vardır. Bakımı kolay olacak şekilde tasarlanmıştır ve böylece bakım maliyetleri en aza indirilmiştir. Şekil 10'da piston tipli kompresör ve teknik özellikleri, Tablo 3'de ise API 618 süreç kompresörlerinin kullanım alanları görülmektedir.



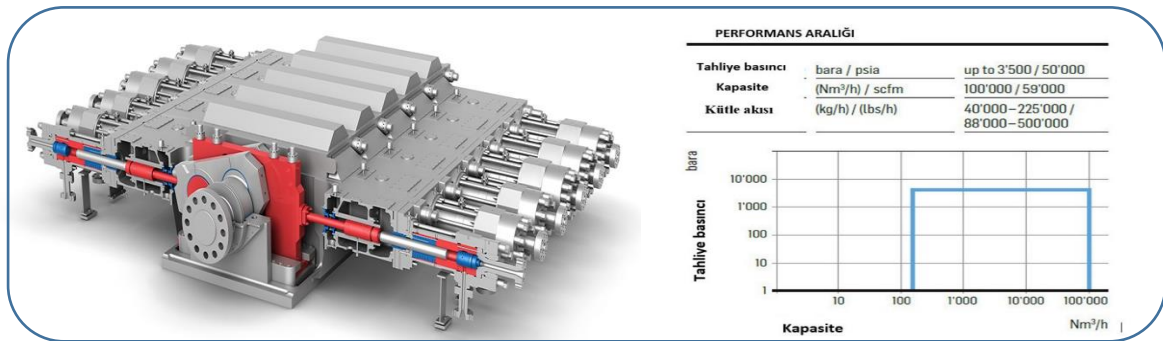
Şekil 10. Piston tipli kompresör ve teknik özellikleri (Burckhardt, 2016.a).

Tablo 3 . API 618 süreç kompresörler kullanım alanları(Burckhardt, 2016.a).

API 618 Süreç Kompresörler Kullanım Alanları
Üretime dönük endüstri / sanayilerinde (petrol çıkarma vb.), petrol geri kazanım - gaz enjeksiyonu geliştirilmesinde- gaz toplama için- gaz işlem için
Gaz taşıma ve depolama alanlarında; boru hattı, beslenme uygulamalarında, yeraltına gaz depolama için
Petrokimya/kimyasal endüstrilerde, polo olefinler için, aromatik / btx için, alkoller için, amonyak için, üre için, ıslak, oksidasyon için, polietilen için, etilen oksit / glikol için
Endüstriyel gaz tesislerinde, hidrojen üretimi, hava ayırma, klor için, yüksek basınç co ₂ için, gaz tüpü doldurma için, Poli silikon üretimi için, biyogaz için
Rafinerilerde, Hidrokraking için, hidrojen ve hidrojen karışımı gazlar için, reform için, izomeriz asyön için, kükürt giderme için, Dearomatizasyon için, Denitrojenasyon için

1.3.2.2. Hyper Kompresörler

Düşük sayıda silindire sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Yüksek güvenilirlik ve kullanılabilirlik için en son teknoloji kullanmıştır. Güvenli için tasarlanmış En kaliteli anahtar kompresör parçaları, işletim ve uzun ömürlü. Bu kompresörlerin kartuş sistemi ve hidrolik silindirlerine sahip olma nedeniyle; kompresörün bakımı kolaydır, bakım maliyetinin düşüktür ve bakım zamanında durma süresi kısadır. Bu tip kompresörler petrokimya ve kimyasal endüstrinde, düşük yoğunluklu polietilen (üretimi için kullanılmaktadırlar Şekil 11’de Hyper tipli kompresör ve teknik özellikleri görülmektedir.

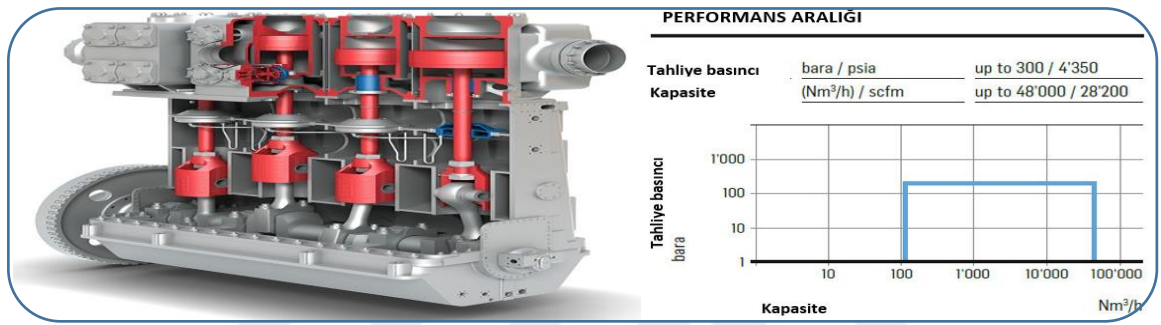


Şekil 11. Hyper tipli kompresörü ve teknik özellikleri (Burckhardt, 2016.b).

1.3.2.3. Laby Kompresörler

Yağsız sıkıştırma nedeniyle, Piston ve piston rot contalarının üzerinde benzersiz labirent sızdırmazlık sistemi kullanılmıştır. En az aşınma ve MTBO (onarım arası ortalama süre)

maksimum sağlamak için, sızdırmazlıklar son derecede temassızdır. Aşındırıcı saf gaz ya da yağın etrafa bulaşması söz konusu değildir. Parçacıklar, kirlilikler ve kirletici gazlara karşı, duyarsızdır. Gaz emisyonları ve güvenli, ekolojik ve ekonomik işletme kayıpları önlemek için kompresör gaz sızdırmayan tasarımlanmıştır. Kompresörün anahtar parçaları ve malzemeleri yüksek kaliteye sahiptir. Bu tip kompresörlerin güvenilirlik ve kullanılabilirliği yüksek olma gerekçesiyle, birçok kullanım alanlarında kullanılmaktadır. Şekil 12’de Laby tipli kompresör ve önemli elemanları ve Tablo 4 ise Laby® kompresörler Kullanım alanlarını görünmektedir.



Şekil 12. Laby tipli kompresörü ve teknik özellikleri (Burckhardt, 2016.c).

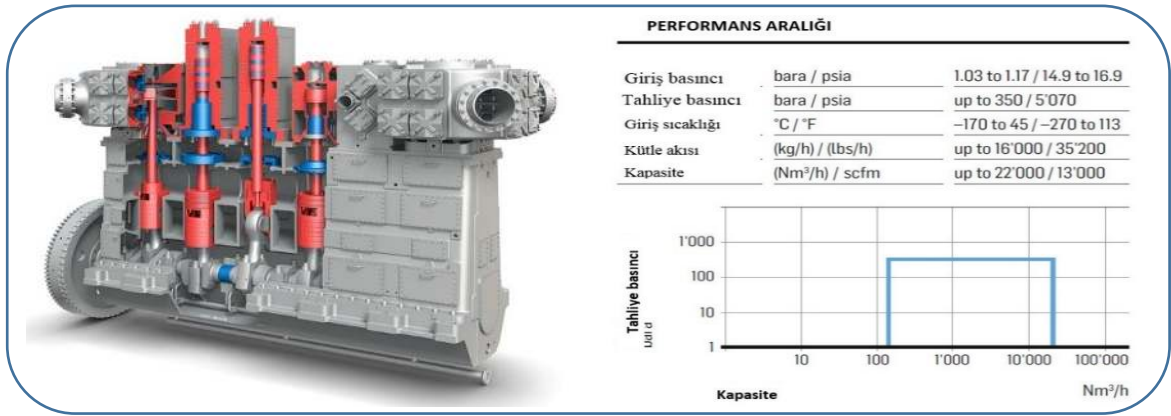
Tablo 4. Laby kompresörlerin kullanım alanları (Burckhardt, 2016.c).

Laby® Kompresörler Kullanım Alanları
Gaz taşıma ve depolama alanlarında; BOG (BOIL OFF GAS) kullanımında, Sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG), sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) için, propilen için, Etilen ve diğer hidrokarbon soğutucu gazlar için
Petrokimya kimyasal endüstrinde tesislerinde (Poli etilen için), Poli propilen için, Etilen oksit ve glikol ürünleri için
Endüstriyel gazlar; Oksijen için, Azot için, Karbon dioksit için, Karbon monoksit için, kuru gazlar için

1.3.2.4. Laby-G1 Kompresörler

Düşük basınç tarafının ömrünü artırmak için temassız ve yağsız sızdırmazlık sistemine ve yüksek basınç tarafında ise iyi bir sızdırmazlık teknolojisi bulunmaktadır. Kompleks olmayan kompresör sistemi nedeniyle bakım maliyetlerini düşüktür, kontrol ve kullanımının kolay olması bu kompresörün en önemli özelliklerindendir. Yakıt gazın temini veya gazın tekrar sıvılaşması için, bu kompresörlerden kullanmak esnek bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Hassas hizalanma ve uzun ömür için biyel ilerletme sistemi yağlanır. Dengesiz

kuvvetlerden ve dönen kütlelerden kaynaklanan durumların gidermiş olması nedeniyle bu tip kompresörlerde titreşimler yoktur. Kompresörün anahtar parçalarının kaliteleri yüksek neticesinde bu tip kompresörün, güvenilirliği ve kullanılabilirliği yüksektir. Bu tip kompresörler gaz taşıma ve depolama alanlarında kullanılmaktadır. Detaylı olarak ME-GI çift yakıt, tahrik sisteminin (DFDM), yakıt gaz enjeksiyonu için (MAN Diesel ve Turbo), 4 zamanlı dizel çift Yakıt tahrik sistemi (DFDE) için kullanılmaktadırlar. Öte yandan yakıt gaz enjeksiyonu için , yüzer depolama ve yeniden gaza dönüştürme ünitesi (FSRU) için(Şekil 13,14), LNG ürünlerin yüzer, depolama ve boşaltma (LNG FPSO) için kullanılmaktadırlar (Burckhardt, 2016.d).



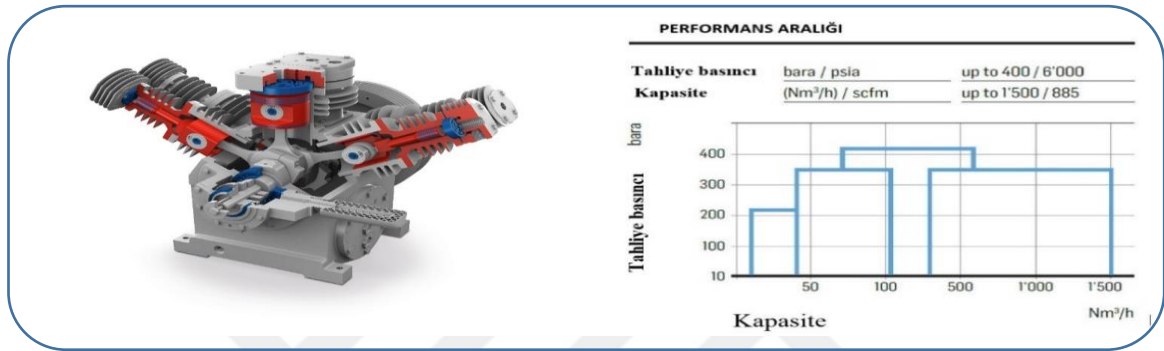
Şekil 13. LABY-GI tipli kompresörü ve teknik özellikleri (Burckhardt, 2016.d).



Şekil 14. Yüzer depolama ve yeniden gaza dönüştürme ünitesi (FSRU) gemisinde kullanılan Laby-GI kompresörü (Burckhardt, 2016.d).

1.3.2.5. Standart Yüksek Basınç Kompresörler

Tek etkili bu kompresör: Mounts forno özel temel sayesinde anti-vibrasyon özelliğine sahiptir. Gaz sızdırmaz tasarımı vardır. Hava ile soğutmalı veya su ile soğutmalıdır. Kurulumu ve devreye alma işlemleri kolaydır. Deniz standart belgesine sahiptir. Şekil 15'te standart yüksek basınç tipli kompresör ve önemli elemanları görülmektedir. Bu kompresörlerin kullanım alanları Tablo 5'de verilmiştir.



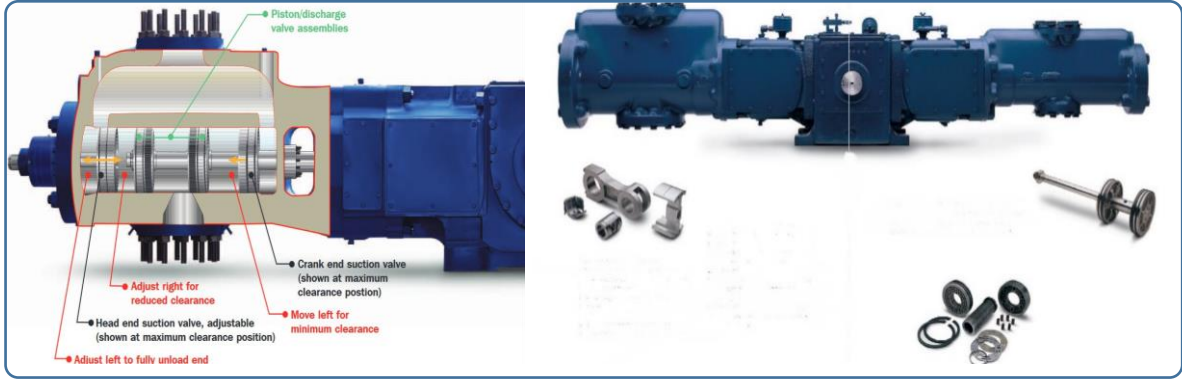
Şekil 15. Standart yüksek basınç tipli kompresör ve teknik özellikleri (Burckhardt, 2016.e).

Tablo 5. Standart yüksek basınç kompresörleri kullanım alanları (Burckhardt, 2016.e).

Standart yüksek basınç kompresörleri kullanım alanları
Gaz taşıma ve depolama alanlarda; BOG taşınması için, Yakıt gaz enjeksiyonu için (Çift yakıtlı motorlar)
Endüstriyel gaz tesislerinde; Şişeleme tesisleri için, endüstriyel gazlar için, elektroliz tesisleri için, helyum geri kazanım sistemler için, Araştırma merkez (Helyum) için, Hava ayırma tesisleri, Gübre tesisleri için
Değer uygulamalarda; Hidroelektrik santralleri için, Sismik araştırma için, Hava üfleme kesici sistemler

1.3.2.6. VIP Kompresörler

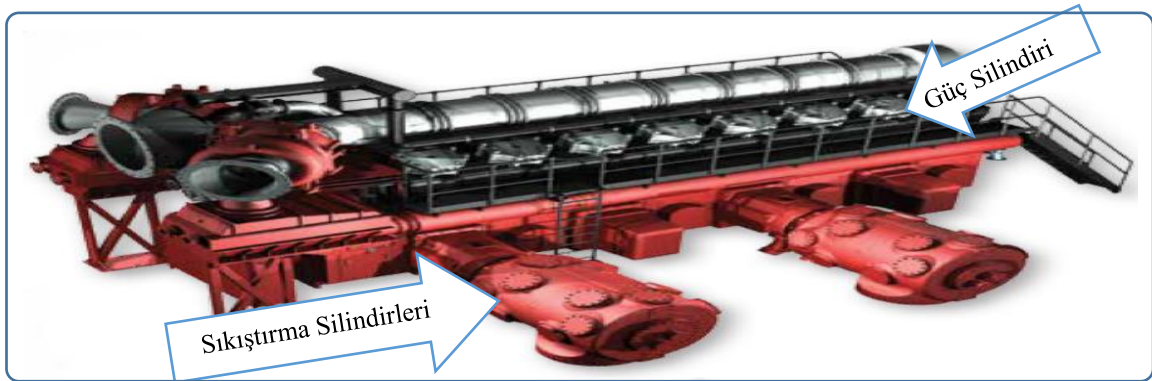
VIP (Valve In Piston Compressor) tipli kompresör, dresser-rand şirketi tarafından A,B ve C tiplerinde özel tasarlanmış ve üretilmiştir. Çıkış valfleri pistonu üzerinde olan ve emme valfleri ise pistonun arkasında ve önünde yerleştirilmiştir. Çift etkili bu tip kompresörde, çıkış valfleri (discharge valves) piston rotuyla birlikte gidiş-geliş hareketi yapmaktadır fakat emme valfleri (suction valves) silindir içinde sabit yerlerde (pistonun arka ve ön tarafında) oturmuşlar (Dresser-Rand, 2014). Şekil 14'de VIP tipli kompresör ve önemli elemanları, görülmektedir.



Şekil 16. VIP tipli kompresör ve önemli elemanları (Dresser-Rand, 2014).

1.3.2.7. AJAX- İntegral Motor –Kompresörler

Pistonlu kompresörler çok çeşitli cihazlar (örneğin; pistonlu motorlar, elektrik motorları ve buhar türbini ve nadiren gaz türbinleri) tarafından tahrik edilir, fakat AJAX kompresörlerde kompresör ve motor elemanları aynı yerdedirler ve çerçeve ve krank mili ortaktır (GE, 2015). Şekil 17’de AJAX integral tipli kompresör gösterilmektedir. Tasarlanan integral (tam bir yerde) motor-kompresör olarak iyi bir örnektir, kullanılmakta olan bir ana krank mili güç silindiri ve sıkıştırma silindirlerine bağlanmaktadır. Bu kompresörlerin formu ve işlevi diğer güç üreten cihazlar (elektro motor, türbin) bağlı yapılandırılmış olan kompresörlerden farklı değildir.

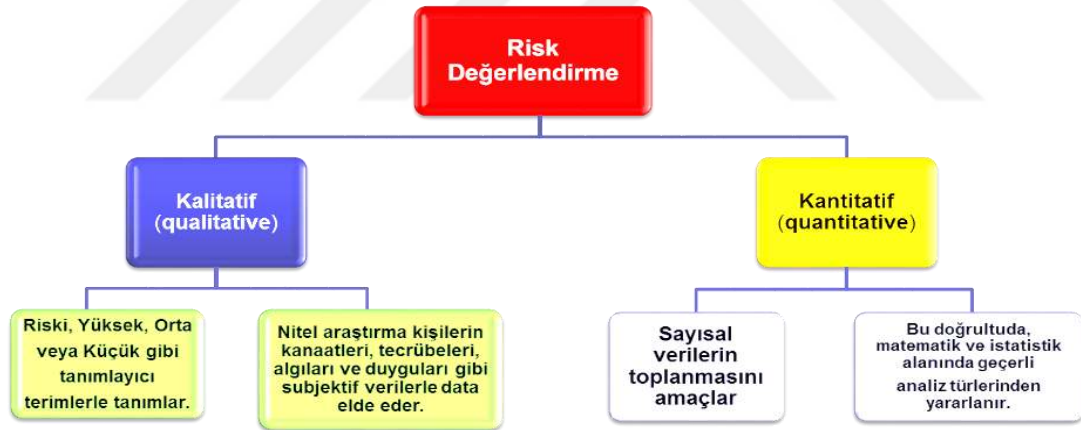


Şekil 17. AJAX integral tipli kompresörü (GE, 2015).

Sunulan tez çalışmasında; pozitif yer değiştirmeli, doğrusal hareketli, pistonlu ve çift etkili bir kompresör olan API 618 proses gaz kompresörü dikkate alınmıştır.

1.4. Risk Değerlendirmesi

Genel anlamda risk değerlendirme yöntemleri, kaza veya hasar meydana getirme potansiyeline sahip olan her teknolojik sistemlerin incelenmesi yoluyla kazaya veya hasarlara açık olan yönlerinin tespit edilmesi, kazalara veya hasarlara sebebiyet verebilecek faktörlerinin ve bileşenlerinin belirlenmesi ve ortadan kaldırılması ile kazaların ve hasarların önüne geçilmesini amaçlamaktadır. Sistemlerin karmaşıklığı arttıkça değişik amaca hizmet eden farklı risk değerlendirme yöntemlerinin kullanım gereksinimi artmıştır. Hata ve hasar, güvenilirlik bakışı yardımıyla ve kaza, güvenlik bakışı yardımıyla değerlendirmeleri mümkündür. Tüm dünyadaki risk değerlendirme yöntemlerine yani yöntem bilimlerine ve standartlarına bakıldığında 150'den fazla yöntemin bulunduğu anlaşılmaktadır (Özkılıç, 2014). Bu yöntemlerle kalitatif veya kantitatif veya hem kalitatif hem kantitatif yollarıyla, risk analizleridirler. Nicel ve nitel risk değerlendirmeleri Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 18. Nicel ve nitel risk değerlendirmeleri (URL-4,2015).

API 618 piston tipli proses kompresörünün arızalarının gerektiği gibi incelenebilmesi için, hem kalitatif hem kantitatif olan bir risk değerlendirme yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Tablo 5'de ve 6'daki veriler birlikte incelendiğinde bir metod diğer analiz metodlarına göre daha uygun ve kaliteli olduğu gözükmemektedir. Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis-FTA) yardımıyla hem kalitatif hem kantitatif inceleme yapmak mümkündür. Bu nedenle, bu tez çalışmasında API 618 piston tipli proses kompresöründe oluşan hasaları incelemek için FTA yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 6. Önemli ve en çok kullanılan risk değerlendirme yöntemleri (Dağdemir, 2015; Özkılıç, 2014).

➤ Ön Tehlike Analizi (Preliminary Hazard Analysis – PHA)	➤ İnsan Hata Tanımlaması (Human Error Identification - HEI)
➤ İş Güvenlik Analizi (Job Safety Analysis - JSA)	➤ Güvenlik Fonksiyon Analizi (Safety Function Analysis)
➤ Olursa Ne Olur? (What If..?)	➤ Sneak Analizi -Sneak Devre Analizi (Sneak Analysis - Sneak Circuit Analysis)
➤ Çeklist Kullanılarak Birincil Risk Analizi	➤ İş Etki Analizi (Business Impact Analysis)
➤ Birincil Risk Analizi -(Preliminary Risk Analysis (PRA)	➤ Yönetim Bakışı ve Risk Ağacı (Management Oversight and Risk Tree - MORT)
➤ Risk Değerlendirme Karar Matrisi (Risk Assessment Decision Matrix)	➤ İnsan Hata Oranı Tahmini Tekniği (Technique For Human Reliability Analysis -THERP)
➤ Tehlike ve İşletilebilme Çalışması (Hazard and Operability Studies - HAZOP)	➤ Güvenilirlik Merkezli Bakım(Reliability Centred Maintenance – RCM)
➤ Hızlı Derecelendirme Metodu (Rapid Ranking, Material Factor)	➤ Hiyerarşik Görev Analizi (Hierarchical Task Analysis)
➤ Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis -FTA)	➤ Sapma Analizi (Deviation Analysis)
➤ Hata Modu ve Etki Analizi (Failure Mode and Effects Analysis-FMEA)	➤ Enerji Analizi (Energy Analysis)
➤ Hata Modu ve Etkisinin Kritiklik Analizi	➤ İnsan Hata Oranı Tahmini Tekniği (Technique For Human Reliability Analysis-THERP)
➤ Güvenlik Denetimi (Safety Audit)	➤ Kavramsal Güvenilirlik ve Hata Analiz Yöntemi (Cognitive Reliability and Error Analysis Method - Cream)
➤ Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis - ETA)	➤ Hiyerarşik Görev Analizi (Hierarchical Task Analysis)
➤ Neden - Sonuç Analizi (Cause and Consequence Analysis)	➤ Sapma Analizi (Deviation Analysis)
➤ Neden - Etki Analizi (Cause and Effect Analysis)	➤ Güvenlik Bariyer Diyagramları (Barrier Diagram)
➤ Kinney Metodu (Mathematical Risk Evaluation Method)	➤ Koruma Katmanları Analizi (Layers of Protection Analysis - LOPA)
➤ Karar Şeması (Decision Tree)	➤ Bow-Tie Metodolojisi
➤ Çok Kriterli Karar Analizi (Multi Criteria Decision Analysis -MCDA),	➤ Kök Neden Analizi (Root Cause Analysis)
➤ Zürih Tehlike Analizi (Zurih Hazard Analysis)	➤ Senaryo Analizi (Scenario Analysis)
➤ Çevresel Risk Değerlendirmesi (Environmental Risk Assessment)	➤ Markov Analizi (Markov Analysis)
➤ Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları	➤ Monte Carlo Analizi (Monte-Carlo Analysis)
➤ Makine Risk Değerlendirme (Mashine Risk Assessment)	➤ Bayesian Analizi (Bayesian Analysis)
➤ Toksikolojik Risk Değerlendirme veya Kimyasal Maruziyet Değerlendirme	➤ F-N Eğrileri (F-N Curves)

Tablo 7. Önemli olan risk değerlendirme metodolojilerin karşılaştırması (Özkılıç, 2014; URL-4,2015).

Kriterler	What if...?	PHA	JSA	Check List	HAZOP	FMEA/ FMEC A
Gerekli Döküman İhtiyacı	Çok Az	Orta	Çok fazla	Orta	Çok fazla	Çok fazla
Takım Çalışması	Bir analist ile yapılabilir	Bir Analist ile Yapılabilir	Takım çalışması	Takım çalışması	Takım çalışması	Takım çalışması
Takım Liderinin Tecrübesi	Orta düzey deneyim	Orta düzey deneyim	Çok fazla deneyim	Orta Düzey Deneyim	Çok fazla deneyim	Çok fazla deneyim
Kalitatif/ Kantitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif
Özel Bir Branşa Yönelik	Basit prosedürlü işler	Her sektöre uyar	Her sektöre uyar	Her sektöre uyar	Kimya endüstrisi	Elektrik/ Makina Hizmet
Uygulama Başarı Oranı	Risklerin belirlenmesi aşamasında tek başına yeterli değildir	Birincil risk değerlendirme yöntemidir.Risklerin belirlenmesi aşamasında tek başına yeterli değildir	Özellikle kişilerin görev tanımları iyi yapılmışsa başarı sağlanabilir	Çeklistlerin uzman kişilere hazırlanması halinde başarı oranı değişir	Oldukça zor bir yöntemdir, yüksek tecrübe ve takım üyelerinin yüksek performansını gerektirir	Analiz öncesinde, FTA yapılması başarı oranını artırır
Kriterler	Güvenlik Denetimi	FTA	ETA	L Tipi Matris	X Tipi Matris	Neden – Sonuç Analizi
Gerekli Döküman İhtiyacı	Çok Az	Çok fazla	Çok fazla	Çok Az	Çok fazla	Çok fazla
Takım Çalışması	Bir Analist ile Yapılabilir	Takım çalışması	Takım çalışması	Bir Analist ile Yapılabilir	Takım çalışması	Takım çalışması
Takım Liderinin Tecrübesi	Orta düzey deneyim	Çok fazla deneyim	Çok fazla deneyim	Orta düzey deneyim	Çok fazla deneyim	Çok fazla deneyim
Kalitatif/ Kantitatif	Kalitatif	Kalitatif/ Kantitatif	Kalitatif/ Kantitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif/ Kantitatif
Özel Bir Branşa Yönelik	Her sektöre uyar	Her sektöre uyar	Her sektöre uyar	Basit prosedürlü işler	Her sektöre uyar	özellikle kimya sektöründe kullanılır
Uygulama Başarı Oranı	Risklerin belirlenmesi aşamasında tek başına yeterli değildir. Tüm sektörlerde rahatlıkla uygulanır	Yüksek tecrübe ve takım üyelerinin yüksek performansını gerektirir. Risklerin belirlenmesinde çok etkili bir yöntemdir	Yüksek tecrübe ve takım üyelerinin yüksek performansını gerektirir. Risklerin belirlenmesinde çok etkili bir yöntemdir	Basit prosedürlü işlerde uygulanabilir, Takım liderinin tecrübesine göre başarı oranı değişir	Tüm sektörlerde rahatlıkla uygulanır, tim liderinin tecrübesine göre başarı oranı değişir	Yüksek tecrübe ve takım üyelerinin yüksek performansını gerektirir

1.5. Hasar Kavramı

Hasar, bir yapının veya yapı elemanının kendisinden beklenen işlevleri yerine getiremez hale gelmesidir. Günlük yaşantımızda kullandığımız çeşitli malzemelerden yapılmış parçaların veya teknolojik uygulamalarda kullanılan sistemlerin titizlikle yapılan tasarım ve uygun malzeme seçiminde kullanılan malzemelerin özelliklerinin iyi bilinmesine rağmen yine de servise sunulması başında veya servis süresince fonksiyonlarını yitirip beklenen performansı sağlayamadıkları durumlarla karşılaşmaktadır. Bir sistem veya parça tamamen kullanılmaz hale gelmesi, kullanılacak durumda olmasına rağmen beklenen performansı yeterli ölçüde gösterememesi, ortamdan kaynaklanan ciddi hasar sonucu kullanılmasının tehlikeli olması durumlarında fonksiyonlarını kaybeder (Alsaran, 2014).

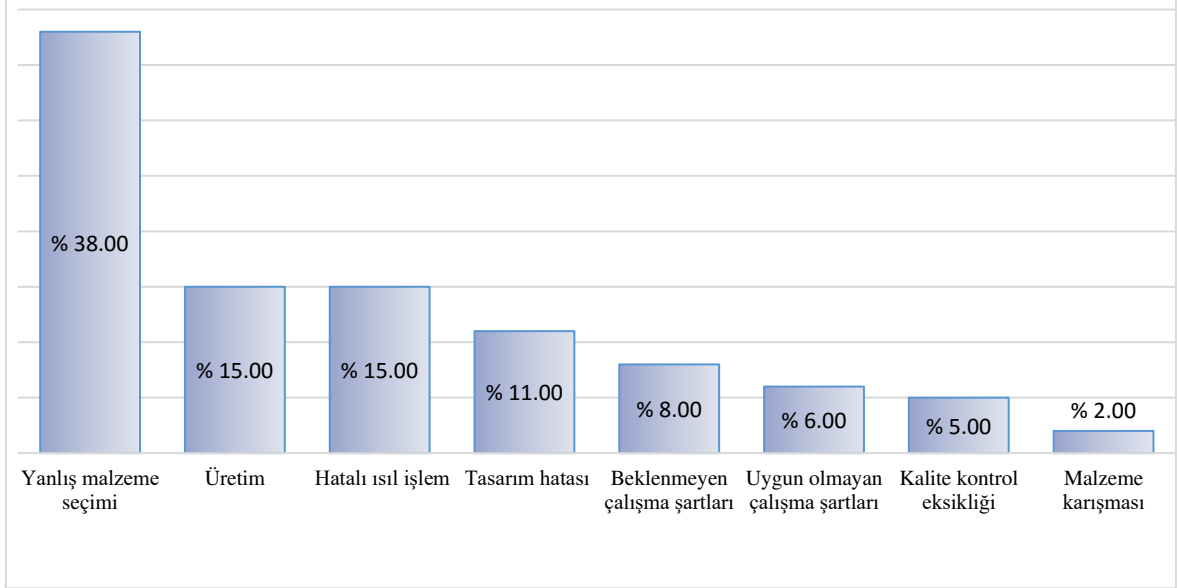
Bu durumlarda fonksiyonlarını kaybeden parça veya sistem tamir edilerek veya yenisi ile değiştirilerek uğranan zararın giderilmesi sağlanır. Hasar analiz uzmanının değişik disiplinlerden (örneğin, mukavemet, elastisite, plastisite, konstrüksiyon, makine elemanları, malzeme bilimi, imal usulleri, metalografi, kırılma mekaniği, hasar analizi) teorik ve pratik bilgilerle donanmış olması, hasar analizi konusunda çok ve çeşitli deneyimlerden geçmiş olması gerekir. Bu özellikler, analizin doğru bir biçimde, kısa zamanda, basit ve ucuz bir biçimde yapılmasını mümkün kılar (Alsaran, 2014).

Diğer taraftan çoğu zaman analiz için deney gerektiğinden, kişinin yeterli şekilde donanmış laboratuvar desteğine ihtiyacı vardır. Hasara sebep olan mekanizmayı belirlenmeli teknolojik hata bulunmalıdır. Hasar aşağıdaki teknolojik hatalar sebebi ile ortaya çıkar. Teknolojik hatalar, hasarın korozyon ve aşınma gibi hasarlarla, elastik veya plastik distorsiyon ve kırılma da dâhil olmak üzere muhtelif hasar tiplerinden biri veya birkaçının meydana gelmesi ile ortaya çıkar.

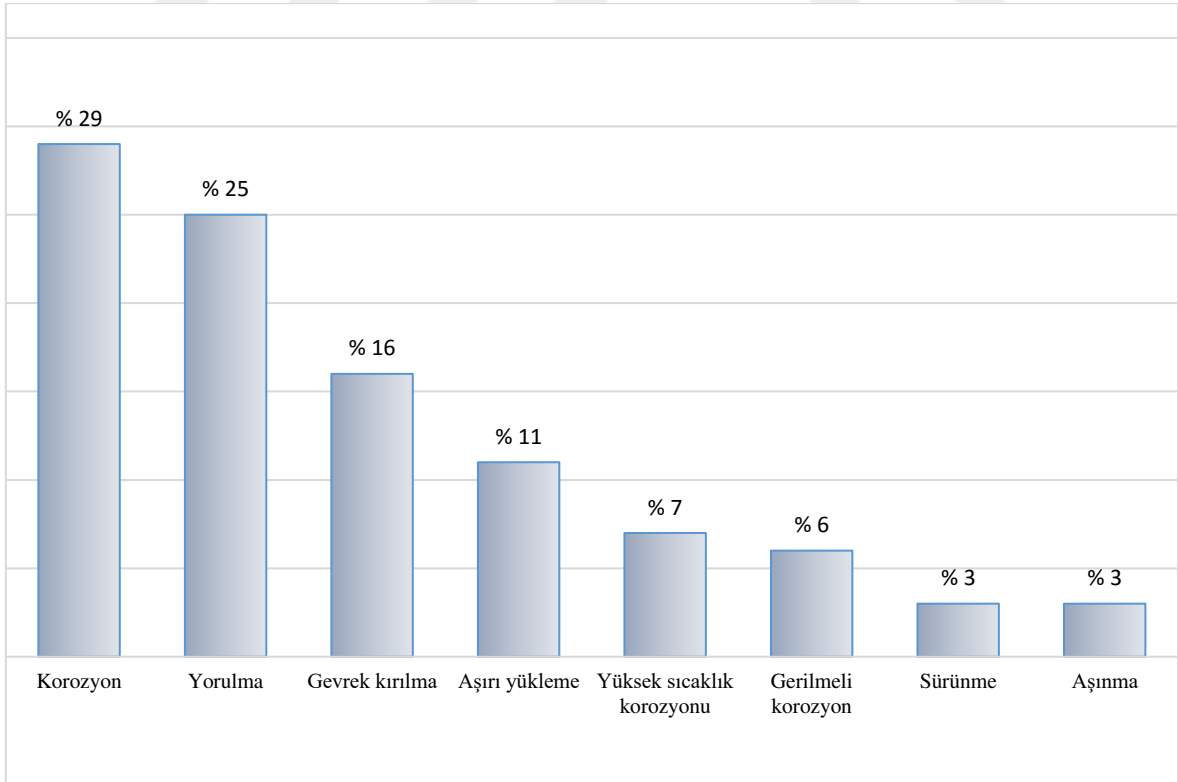
1. Tasarım sırasında yapılan hatalar
2. Malzeme içerisindeki hatalar
3. İmalat sırasında yapılan hatalar
4. Montaj hataları
5. Uygun olmayan çalışma şartları

Yapının tasarımında öngörülen çalışma şartlarından farklı şartlarda çalışması sonucu da hasar meydana gelebilir. Bunlara örnek olarak aşırı yükleme, çalışma ve ortam koşullarındaki ani ve beklenmedik değişimler, uygun olmayan işletme ve bakım koşulları örnek olarak verebilir. Bazı mühendislik dallarında karşılaşılan hasarların sebeplerine

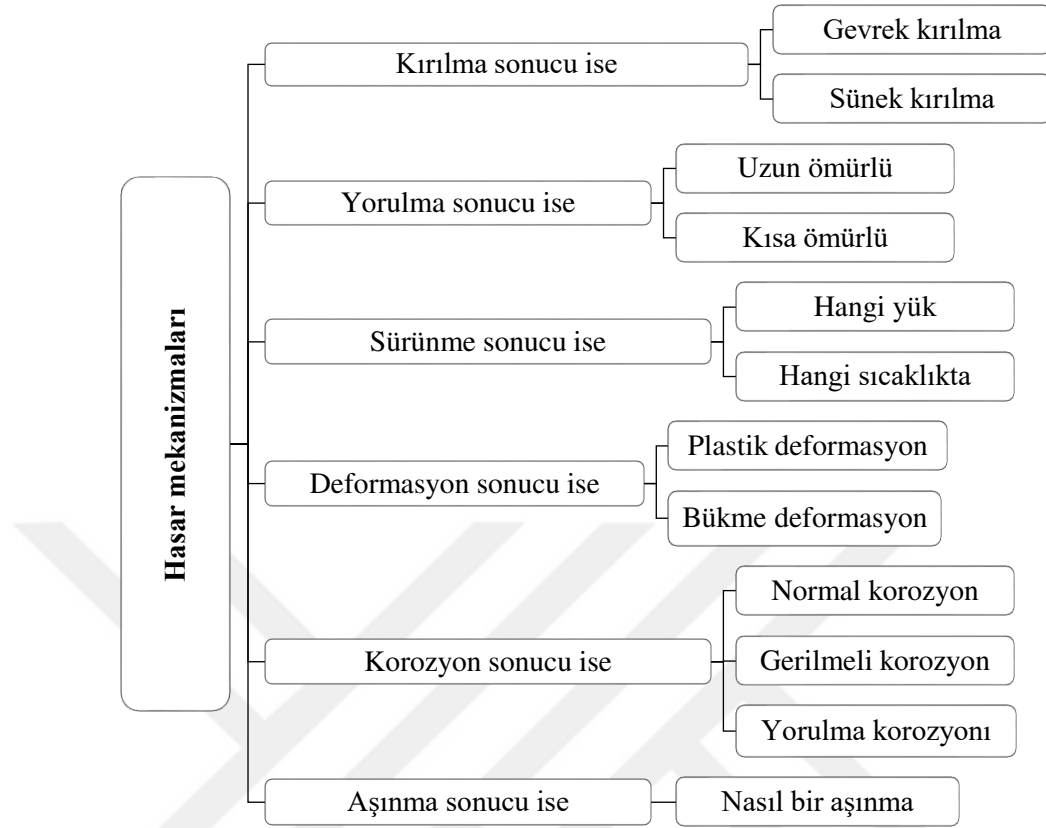
mekanizmaları Şekil 19 ve Şekil 20’de hasarların gerçekleşme mekanizmaları ve hasarların teşhis yolları şekil 21ve şekil 22’de gösterilmiştir (Alsaran, 2014; Ay, 2005).



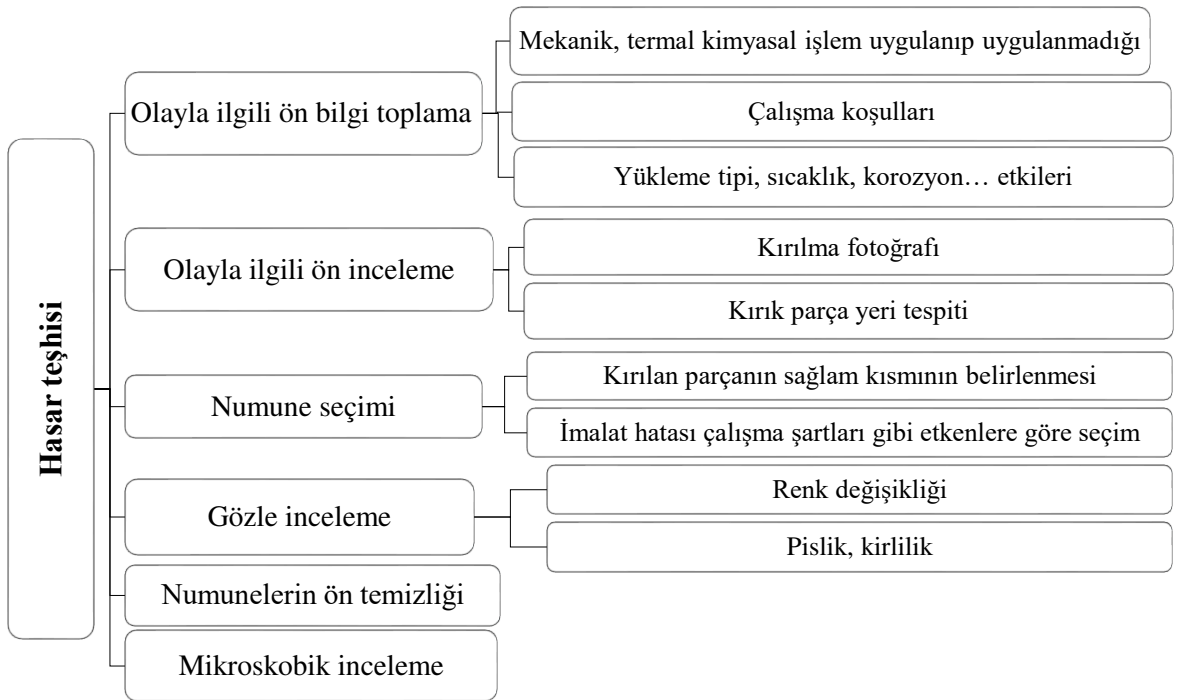
Şekil 19. Bazı mühendislik dallarında karşılaşılan hasarların sebepleri (Alsaran, 2014).



Şekil 20. Bazı mühendislik dallarında karşılaşılan hasar mekanizmaları (Alsaran, 2014).



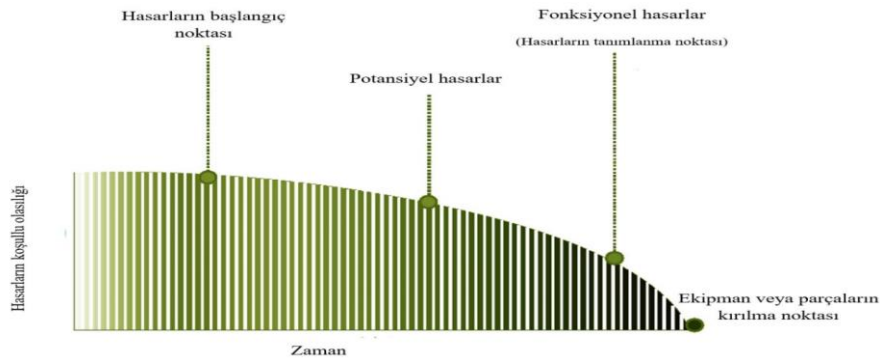
Şekil 21. Hasarların gerçekleşme mekanizmaları (Alsaran, 2014; Ay, 2005).



Şekil 22. Hasarların teşhis yolları (Alsaran, 2014; Ay, 2005).

1.6. RCM Yönteminin Esası

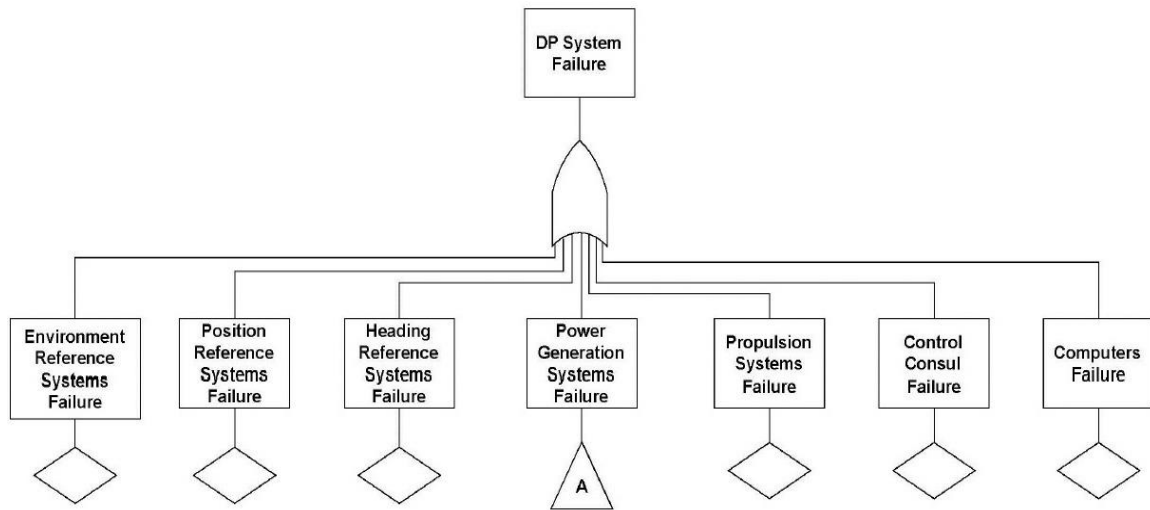
Güvenilirlik merkezli bakım (RCM) potansiyel ömrün kaybını hesaba katarak koruyucu bakımın maliyeti karşısında, daha yüksek tamir ücretini dengeleyerek, bakım ücretini en aza indirmek için tasarlanmıştır. Bir parçanın hata yapma olasılığı belirdiğinde, bu parça için tamir veya koruyucu bakım maliyetlerinin yanında, parçanın hata yapması beklenerek hata oluştuğu anda parçanın değiştirilmesi de bir yaklaşımdır. Burada olası proses maliyetleri de gözetilmektedir. RCM burada devreye girerek, yönetim kabul etmese bile olası bir bakım faaliyetinin maliyeti ile hatanın oluşması sonucu oluşacak maliyetleri karşılaştırmakta ve bakım maliyeti yüksek ise hatanın oluşmasına izin vermektedir (Arı ve Ünal, 2003; Deshpande ve Modak, 2003). Burada önemli olan hatanın oluşmadan önce fark edilebilmesi ve buna göre ekonomik ve teknik sonuçlarının incelenmesidir. Bir proseste hatanın oluşmaya başladığı noktada prosesin verimi düşmektedir. Bu düşüş belirli bir düzeye geldiğinde artık hata fark edilebilmektedir. Hatanın Fark edilebildiği nokta aşağıdaki grafikte "P" ile gösterilmektedir (Şekil 23). Hatanın oluştuğu an ise "F" ile gösterilmektedir. P-F aralığına Bozulma Periyodu da denilmektedir (Arı ve Ünal, 2003; Turner, 2001). Optimum Bakım Modelinin kurulmasına yönelik yöntemlerin temel amaçlarından bir tanesi de P-F aralığını uzatmaya çalışmaktır. Çünkü olası bir hata ne kadar önce fark edilirse o hataya ilişkin yapılacak çalışmanın analizleri daha doğru sonuçlar verecektir. Bunun sonucunda ise belirlenecek bakım faaliyeti işletme için optimum olacaktır. P-F aralığının tespit edilmesi bazı durumlarda düzenli bakım faaliyetlerinin sürelerinin uzatılmasına ve hatta kaldırılması sonuçlarını doğurabilecektir. RCM'nin de ilgilendiği P-F aralığıdır. RCM öncelikle P noktasını yakalamaya çalışmaktadır. P noktası ne kadar önce yakalanırsa olası hata öncesi hataya dönük çalışmak için daha çok süre elde edilmiş demektir. RCM P noktasının öncesi içinde politikalar geliştirmiştir. RCM fonksiyonların sürekliliğini amaçladığı için ele aldığı bir fonksiyonu incelerken hatanın oluşma noktasının geçmesini beklemez. Hata oluştuğu andan itibaren politikaları belirler. P noktası geçilmiş ise ekonomik ve teknik yönden inceleyerek gerekli çalışmayı yapar (Arı ve Ünal, 2003).



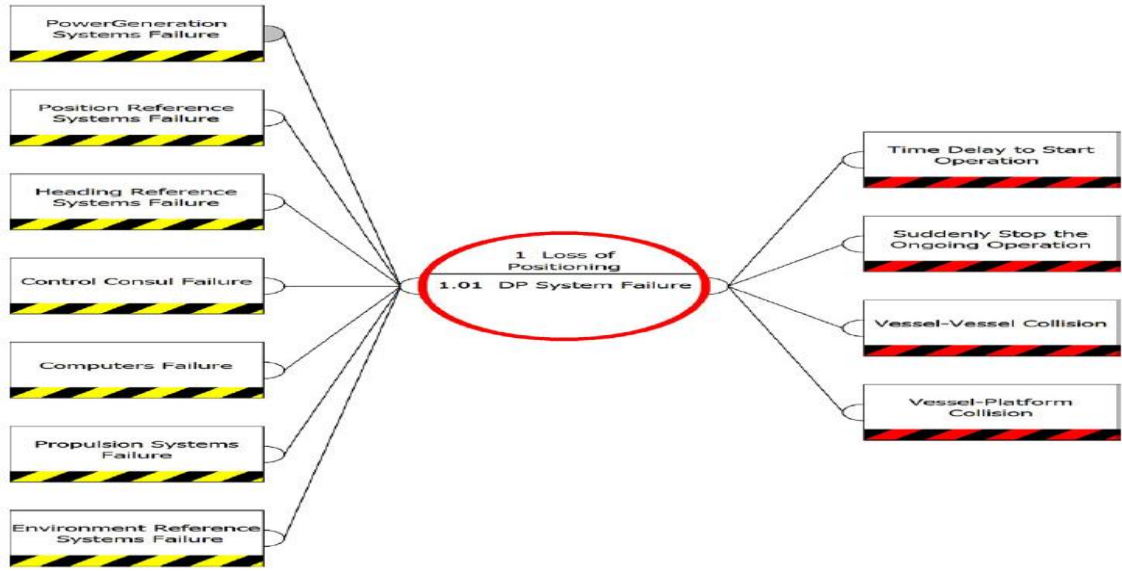
Şekil 23. Bozulma Periyodu / P-F Eğrisi (Arı ve Ünal, 2003).

1.7. Literatür Araştırması

Dinamik Pozisyonlama (DP) sistemleri olan dizel motorun, hata ağacı yöntemi ve papyon yöntemini kullanarak riskleri değerlendirmişler (Khorasani, 2015). R Khorasani (2015) yaptığı tez çalışmasında önce DP sistemini iyi bir şekilde açıklamış ve ağaç oluşmasında DP sisteminin hasarlanmasını zirve olay olarak konulmuştur. DP sisteminin hasarlanmasına neden olan temel etmenler ise sırasıyla ER ve PR ve HR sistemlerinin hasarlanması, sistemin hasarlanması, güç jeneratörün hasarlanması, yürütme sistemin hasarlanması, kontrol sistemin hasarlanması bilgisayar kısmının hasarlanması, hata ağacı oluşumunda yer almıştır. Temel etmen olaylarının gerçekleşmesine neden olan tüm alt nedenleri ve başlangıç olayları bulduktan sonra, Khorasani temel etmenlerin alt nedenleri ve başlangıç olaylarda ağaç da yer almıştır. Ayrıca DP sisteminde olan dizel motorun risk değerlendirmesinde, risk matrisinizde kullanmıştır. En son aşamada ise araştırmacı bu analizcileri papyon Bow-Tie yöntemine aktarmış ve Bow-Tie diyagramında, hasarların gerçekleşmelerinin önleme yolları göstermiştir. Şekil 24’de Khorasani (2015) yaptığı yüksek lisans tezin DP sistemin hasarlarının hata ağacı ve Şekil 25 ise Bow-Tie diyagramında oluşumu gösterilmiştir (Khorasani, 2015).

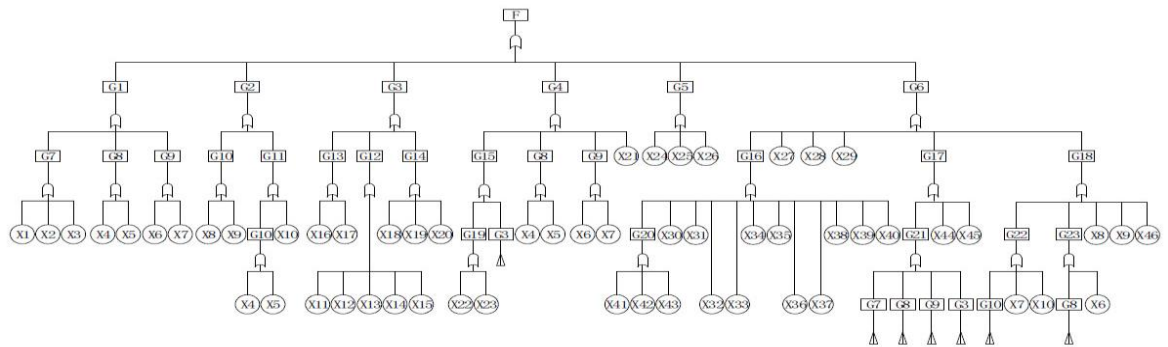


Şekil 24.Örnek bir DP sistemin için hata ağacının yapısı (Khorasani, 2015).



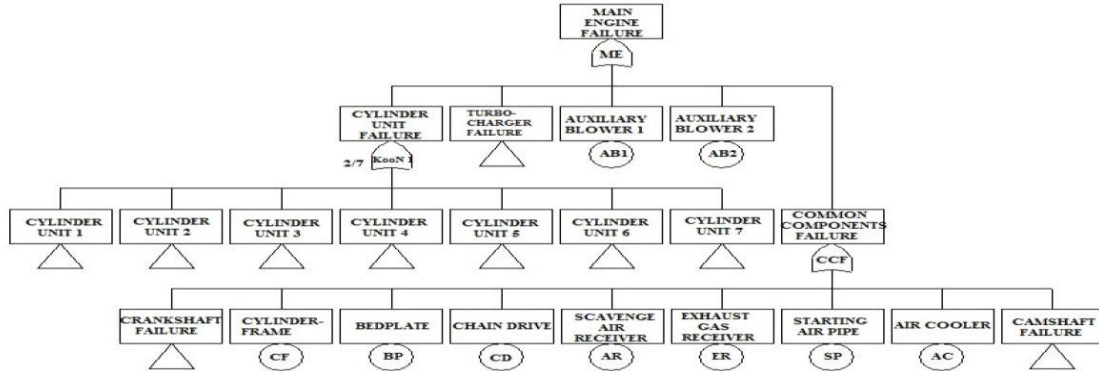
Şekil 25. DP sistemin Bow-Tie diyagramı (Khorasani, 2015).

Zhu yaptığı çalışmada tipik bir santrifüj kompresörün oluşan hasarları FTA yöntemiyle analiz etmiştir (Zhu, 2011). Santrifüj kompresörün hasarlanmasının, ağacı oluşturmak için 6 temel etmeni sırasıyla; ana mihverin çökmesi, pervanelerin hasarlanması, yağ kanallarının hasarlanması, yatakların hasarlanması, rotor haizinin düşük olması, aşırı derecede titreşimin olması şeklinde göz önüne almıştır. 46 tane başlangıç olayını esas alarak hata ağacını analiz yapmıştır Jinfang Zhu santrifüj kompresörün ağacında hem kalitatif ve hem kantitatif şeklinde analiz etmiştir, kalitatif analizinde 46 tandem minimum kesme kümesini (MCS) elde etmiştir. Kantitatif şeklinde ise başlangıç olayların olma olasılıklarını bulduktan sonra, orta olayların ve zirve olayın olma olasılığını analiz yapmıştır. Şekil 26’da Zhu (2011) çalışmasındaki oluşturduğu hata ağacı gösterilmiştir.



Şekil 26. Santrifüj kompresörünün hasarlarının, hata ağacı ile incelenmesi (Zhu, 2011).

Laskowski (2015) bir geminin ana makinesinde (MAN B&W 7S50 MC-C modeli) hata ağacı yöntemini kullanarak, bir çalışma yapmıştır (Laskowski, 2015). Laskowski (2015) çalışmasında önce Güvenilirlik Blok Diyagramını çizmiş sonra geminin motorunun hasarlanmasını hata ağacı yöntemiyle analiz etmiştir. Zirve olayı seçmiştir ve zirve olayı veya kapısı yardımıyla, ana makinenin hasarlanmasına neden olan temel etmenlerle bağlantısını sağlamıştır. Makinenin hasarlanmasına neden olan temel etmenlerini sırasıyla silindir ünitesinin hasarlanması, turbo şarjör hasarlanması, yardımcı birinci blower cihazın bozulması, ikinci blower cihazının bozulması ve ana motorun parçalarının hasarlanmasına neden olan müşterek hasarları CCF (Common Cause Failure) şeklinde ortaya koymuştur. Bu temel etmenleri tekrar veya kapısı ile orta oylara ve sonunda başlangıç olaylara bağlamasını sağlamıştır. Hata ağacını kurduktan sonra sonuç olarak minimum kesme kümelerini birinci dizi ve ikinci dizi olarak değerlendirmiştir. Laskowski (2015) yaptığı çalışmada gemi ana makinesi için FTA yöntemiyle oluşumu Şekil 27’de ve MCC Şekil 28’de gösterilmiştir.



Şekil 27. Laskowski yaptığı çalışmada gemi ana motorun FTA yöntemiyle ağaç oluşumu (Laskowski, 2015).

İsim	Birinci Derece	İkinci Derece
Olaylar	{TBE}, {RBE}, {EI}, {ES}, {TBA}, {RBA}, {TBA}, {RBA}, {AI}, {AS}, {SD}, {HD}, {SD}, {HD}, {MB1}, {MB2}, {MB3}, {MB4}, {MB5}, {MB6}, {CS}, {TB}, {FC 1}, {FC 2}, {FC 3}, {FC 4}, {FC 5}, {FC 6}, {FC 7}, {B 1}, {B 2}, {B 3}, {B 4}, {B 5}, {B 6}, {EC 1}, {EC 2}, {EC 3}, {EC 4}, {EC 5}, {EC 6}, {EC 7}, {CF}, {BP}, {CD}, {AR}, {ER}, {SP}, {AC}, {AB1}, {AB2}.	{CC1,CC2}, {CC1,PN2}, {CC1,PR2}, {CC1,LR2}, {CC1,CJ2}, {CC1,PRO2}, {CC1,SB2}, {CC1,CB2}, {CC1,CR2}, {CC1,CRB2}, {CC1,I12}, {CC1,I22}, {CC1,HP12}, {CC1,HP22}, {CC1,FP2}, {CC1,EV2}, {CC1,SV2}, {PN1,CC2}, {PN1,PN2}, {PN1,PR2}, {PN1,LR2}, {PN1,CJ2}, {PN1,PRO2}, {PN1,SB2}....

Şekil 28. Laskowski yaptığı çalışmada gemi ana makinesinin FTA da minimum kesme kümeleri (Laskowski, 2015).

Qin ve Fan (2010) yaptıkları ortak araştırmada piston tipli kompresörün hasarlarını hata ağacı yöntemiyle incelemişlerdir. Çalışmaların da kompresörün hasarlanmasını zirve olayı olarak belli etmişler ve bu Zirve olayın, olmasına neden olan iki temel olaylı yani, mekanik hasarları ve termodinamik özelliklerin hatalarını, hata ağacına yerleştirmişler. Temel etmenlere neden olan alt nedenler ve başlangıç olayları da ağaca yerleştirdikten sonra hata ağacının kurulumunu tamamlamışlardır. Qin ve Fan (2010) araştırmalarında 82 tane başlangıç olayı ve 81 tanede minimum kesme kumasını belli etmişler (Qin ve Fan, 2010).

Piston tipli kompresörlerin hata ağacı analizi ile ilgili bir diğer çalışma da Liu vd. (2011) tarafından Çin memleketinde yapılmıştır. Çalışmada bir gaz İstasyonu'nda bulunan DPC-2804 doğal gaz kompresörü (DPC-2804 ajax kompresörü) dikkate alınmıştır. Bu çalışmada DPC-2804 kompresörün hasarlanması zirve olay alınmış ve bu zirve olaya neden olan iki temel etmen termal performans hasarları ve mekanik performans arızaları olmak üzere, bu temel etmenlerin alt nedenleri ve başlangıç olayları ile birlikte hata ağacını oluşturmuşlardır. Bu çalışmada hata ağacın oluşumu için 105 başlangıç olayı kullanılmıştır. Bu çalışmanın analizinde nitel yaklaşım ve minimum kesme kümesinin birinci dereceye sahip 102 tane durum bulunmuştur. İkinci derecede olan minimum kesme kümesinin sayısı 2 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak DPC-2804 kompresörün hasarlanmasına neden olan olayların arasında, titreşimin yüksek olması ve sıcaklığın yüksek olması en yüksek değerine sahip olduğu belirlenmiştir (Liu vd., 2011).

Literatür araştırmasında görüldüğü gibi API 618 piston tipli proses kompresörün arızalarının, hata ağacı yöntemiyle incelenmesi ile ilgili bu zamana kadar kapsamlı bir çalışma tezler veya yayınlar arasında bulunmamaktadır. Bu bağlamda sunulan tez çalışması API 618 proses kompresörleri ile ilgili, önemli bir çalışma boşluğunu, dolduracağı düşünülmektedir.

1.8. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

1.8.1. Tez Çalışmasının Amacı

Piston tipli kompresörler ve özellikle API 618 kompresörler, petrol ve gaz sektörlerinde ve birçok diğer önemli sektörlerde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. OREDA (offshore reliability data) araştırmalarına göre tüm rafineri cihazları içinde en büyük hasar oranı (failure rate) piston tipli kompresörlerde ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, proseslerde ve üretimlerde özellikle doğal gaz rafinerilerinde, en kritik ve hayatı rol oynayan, piston tipli kompresörlerin, kısa bir süre devre dışı kalması büyük ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Kompresörün hasarlanmasına neden olan temel etmenler ve kök nedenlerini tanımlanması ve ortaya konulması ve bu hasarların tek tek incelenmesi ve hasarlara karşı önleyici stratejilerin geliştirilmesi; cihazın iyi ve düzenli çalışması ile ve güvenilirlik ve kullanılabilirlik faktörlerinin iyileşmesini sağlamaktadır. Yapılan literatür taramasından API618 piston tipli kompresörlerde oluşan hasarların hata ağacı yöntemi ile kapsamlı bir şekilde inceleyen bir çalışma bulunmadığı anlaşılmıştır. Sunulan tez çalışmasında; API 618 kompresörlerin, önemli ve kritik arızalarının hata ağacı yöntemiyle nicel ve nitel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

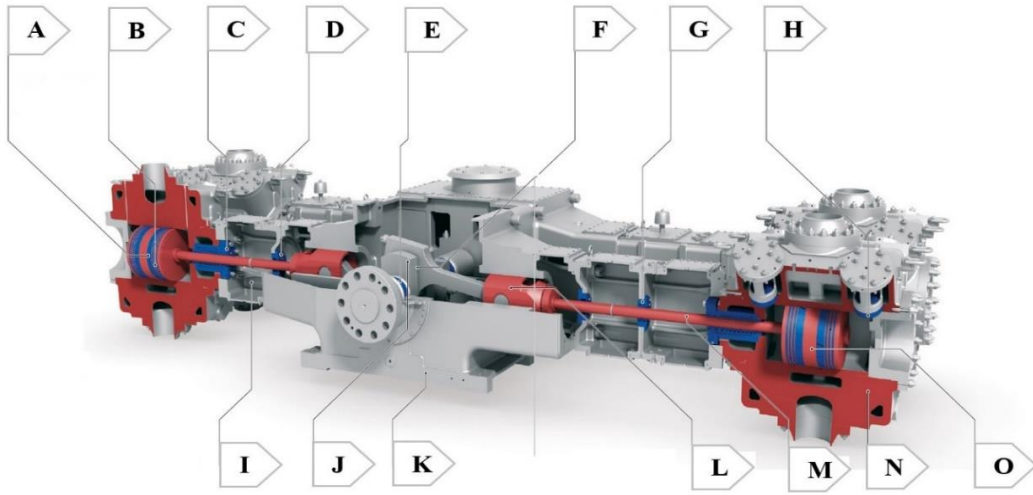
1.8.2. Tez Çalışmasının Kapsamı

Sunulan tez çalışması iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda, API 618 kompresörün hasarlarına neden olan 5 temel etmen ele alınmıştır. Bu temel etmenlerin her birinin kök nedenleri ve olasılık değerleri tespit edilmiş ve hesaplanmıştır. Open FTA programı yardımıyla MCS'ler belirlenmiş ve tek tek başlangıç olayları sistemin hasarlanması üzerinde olan önemi hesaplanmıştır. Tezin ikinci kısmında ise kompresör hasarlarına neden olan temel etmenlerin (proses kaynaklı hasarlar ve kompresörün mekanik bileşenlerin hasarları, enstrümantasyon ve ölçme cihazları hasarları, yardımcı ekipmanların hasarları ve elektrikle ilgili hasarların) her birinin zirve olay olarak ele alınıp, oluşan hasarlar tek tek ve dikkatli bir şekilde hata ağacı yöntemiyle incelenmiştir. Open FTA programını yardımıyla MCS'ler elde edilmiş ve tek tek başlangıç olaylarının sistemin hasara uğramasında olan önemi hesaplanmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. API 618 Piston Tipli Kompresörün Yapısı

API 618 piston tipli kompresörün önemli parçaları ve isimleri, Şekil 29'da ve Tablo 8'de gösterilmiştir.



Şekil 29. API 618 piston tipli kompresörün önemli parçaları (Burckhardt, 2016.a).

Tablo 8. API 618 piston tipli kompresörün önemli parçalar (Burckhardt, 2016.a).

API 618 piston tipli kompresörün önemli parçaları	
A. Piston segmanları	H. kompresörün valfleri
B. Bant tipi segman	I. Ara parçası
C. Piston rot salmastrası	J. Krank mili
D. Yağ sıyırıcı	K. Şasi
E. Ana yatak	L. Kroset
F. Biyel yatağı	M. Piston rotu
G. Ara salmastra	N. Silindir
O. Piston	

2.1.1. Basıncı Dengeleyici Kaplar

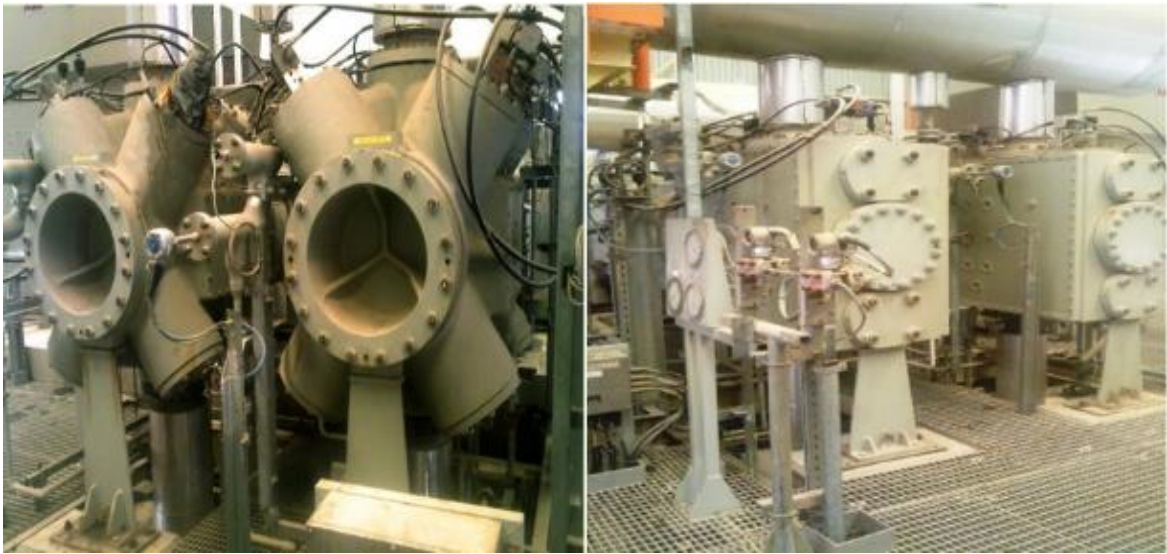
Pistonlu kompresörlere giren ve çıkan gazların bünyesel olarak, basınçları salınımlıdır. Bu nedenle pistonlu kompresörlerin titreşimini boru sistemleri üzerine aktarılmasını engellemek için kompresörlerin giriş ve çıkış kısımlarında basınç dengeleyici kapların (snubber) kullanması gerekmektedir. Tasarım ve basınç miktarına bağlı farklı şekillerde ve formlarda dizayn edilmekte ve üretilmektedirler. Basınç dengeleyici kapları, çoğunlukla silindirik ve nadiren küresel şeklinde (çok yüksek basınçlarda) yatay ve ya dikey pozisyonlarında kullanılmaktadır. Basıncı dengeleyici kaplar kompresörlerin giriş ve çıkış yerlerinde salınım basınçları hemen hemen doğrusal basınca dönüştürmek için aynı zamanda kompresörlerin içerisinden, gaz sıvılarını ayırmak amacıyla sönümleyici separatör olarak görev yapmaktadırlar. Soğuk sezonlarda sıvıların oluşma olasılığı yüksek olması nedeniyle buharla ısıtma (steam tracing) ve elektrikli ısıtma (electrical tracing), kullanarak bu sıvıların oluşmasına engel olunmaktadır. Sıvıların oluşması ve kompresörler için girmesi kompresör (Hammering'den kaynaklanan) valfleri üzerinde çok sayıda darbeye neden olur ve valfler erken zamanda bozulurlar. Valf plakasının oturma üzerine yapışmasına neden olur ve bu neden ile valflerin açılma ve kapanma zamanını geciktirir. Bunun sonucu olarak kompresörün kapasitesi düşer. Kompresörün silindiri içine enjeksiyon edilen yağın yıkanmasına sebep olur ve bunun sonucunda piston segmanları ve silindir duvar arasında olan sürtünme artar. Sürtünmenin artışı sıcaklığın artmasına neden olur ve piston segmanların erkenden bozulmasına neden olur. Silindir içinde, darbe etkisine neden olur ve kompresör parçalarının omurların azalmasına sebep oluyor (Azadani, 2006; Bloch ve Hoefner,1996; Hanlon,2001). Şekil 30'da API 618 Kobelco kompresöründe basınç dengeleyici kaplar gösterilmektedir.



Şekil 30. API 618 Kobelco kompresöründe basınç dengeleyici kaplar (Kobelco, 2006).

2.1.2. Kompresör Silindiri

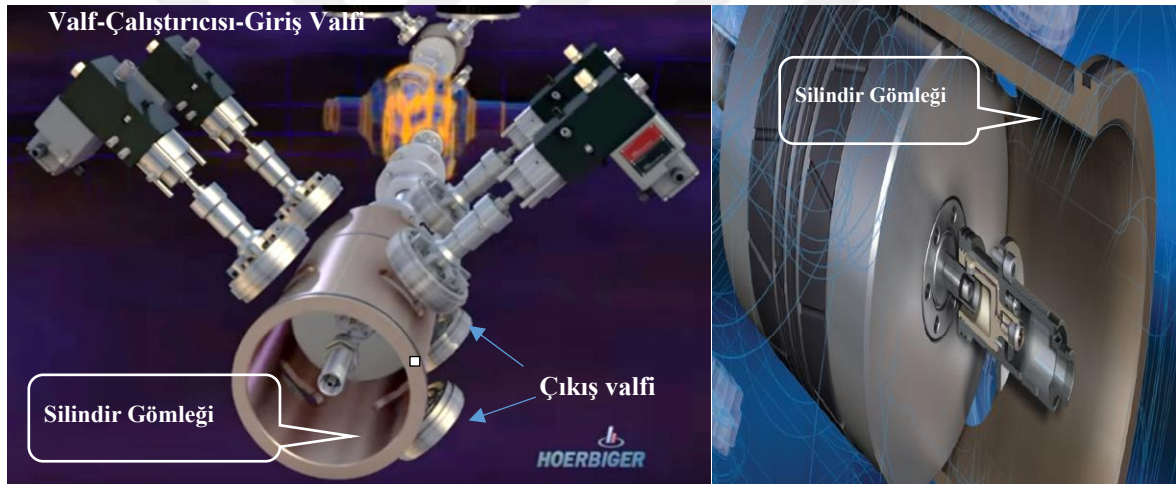
Kompresörlerin en önemli parçasıdır. Silindir içinde piston doğrusal olarak hareket eder ve hacim değişimi sayesinde gazın emilmesini ve sıkıştırmasını olarak sağlar ve kompresörün iç basıncı dikkate alınarak mukavemeti uygun olacak bir şekilde tasarlanması ve üretilmesi gerekir. Proses gaz endüstrilerinde kullanılan kompresörlerdeki silindirler çerçeveden ayrılabilir ve mesafe parçası (distance piece) olarak bilinen bir ara bölüm yoluyla, çerçeveye bağlanmaktadır. API 618 standarda göre bu kompresörlerin silindirleri, silindir gömleğine ile donatılmış olmaları gerekmektedir. Silindir gömleğinin kullanım amacı silindirin aşınmaya maruz kalan kısmın yenilenebilen yüzey sağlamaktadır. Aşınmış veya çizilmiş silindir değiştirilmek yerine, yalnız silindir gömleğini değiştirmek maliyet tasarrufunu sağlar. Tüm silindirlerin soğutulması için soğutma sistemi (silindi gömleğinin etrafı akılmış olan soğutma suyu kanalları ile ve silindir kafasının iç kısmında soğutucu soyun dolaşma sistemi) kullanılmaktadır. Silindir yapımında kullanılan en yaygın malzeme büyük ve düşük basınçlı silindirler için dökme demir ve küçük ve yüksek basınçlı silindirler için çelik kullanılmaktadır. Kompresör silindirlerini yağlama yağının miktarı silindirin çapı ve kompresörün çıkış basıncı, kompresörün devri sayısı ve strok miktarı faktörlerine bağlıdır (Azadani, 2006; Bloch ve Hoefner, 1996; Hanlon, 2001). Şekil 31’de API 618 Kobelco kompresörün birinci ve ikinci aşamasındaki silindiri gösterilmiştir.



Şekil 31. API 618 Kobelco kompresörün birinci ve ikinci aşamasında silindirleri (Kobelco, 2006).

2.1.3. Silindir Gömleği

Üstten ve alttan silindir blokundaki yuvasına oturan, dış yüzeyi devamlı olarak soğutma suyu ile temas hâlinde olan kompresör parçasına gömlek denir. Gömlekler kolay bir şekilde hata yapmadan ve fabrika ölçülerine uygun yenileştirme yapmak mümkün olmaktadır. Gömleğin yuvasında oynamasını önlemek için gömleklerin arka kısmında fatura bulunur. Silindir başlığı da gömleğin önünden basarak yuva içinde sabitleşmesini sağlar (Azadani, 2006; Bloch ve Hoefner, 1996; Hanlon, 2001). Genel olarak silindiri soğutmak için silindir gömleğinin etrafında soğutma suyu dolaşım sistemi olarak kullanılmaktadır. Gömlekler özel çektirmeleri ile kolayca sökülür ve çıkarılır . Şekil 32’de piston tip kompresörün silindir gömleğini gösterilmiştir.

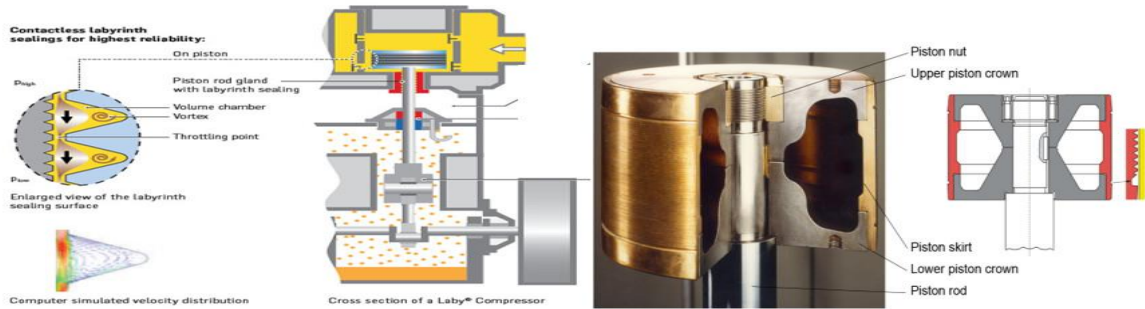


Şekil 32. Piston tipli kompresör silindir gömleği (Hoerbiger, 2012.b).

2.1.4. Kompresör Pistonları

Kompresörün pistonu için kullanılan tasarım ve malzeme kompresörün markası, tipi ve kullanım alanına göre değişmektedir. Pistonların tasarımlarında silindir delik çapı, deşarj basıncı, kompresör dönüş hızı, kompresör stroku ve gerekli piston ağırlığı faktörleri dikkate alınmaktadır. Pistonlar genellikle bir, iki ve üç parçalı olarak tasarlanmakta ve üretilmektedirler. Piston malzemesinin seçimi çok önemlidir. Pistonun ağırlığı, piston gücü için diferansiyel basınç, atalet kuvvetleri, pistonun korozyon direnci, pistonun sıkıştırma segmanı, bant tipi segmanın (rider ring), aşınma direnci ve pistonun dış çapında aşınma

direnci gibi faktörler dikkate alınmaktadır. Kompresör pistonları için, yaygın olarak malzemeler; alüminyum, dökme demir ve çelik malzeme kullanılmaktadır. Çok büyük boyutlu pistonların ağırlıklarını azaltmak için pistonları içi boş şeklinde yapılırlar. Ayrıca daha yüksek boyutlu pistonlarda, pistonun aşınma direncini artırmak için piston yüzeyi bronz veya özel bir kaplama (babit sprej) ile kaplanır. Piston segman kanallarında farklı yöntemler kullanılarak aşınma dirençleri artırılabilir. Pistonlar kilitleme somunları (lock nut's) vasıtasıyla piston rot üzerine monte edilirler. Dikey piston tipli yağsız kompresörlerde laby kompresör pistonu Şekil 33'te görüldüğü gibi farklı şekilde tasarlanmıştır (Azadani, 2006; Bloch ve Hoefner, 1996; Hanlon, 2001). Bu tür kompresörlerin pistonlarında piston segmanları yerine labirent sistemi kullanılmıştır, ayrıca silindir gömleğinin de tasarımı API 618 kompresörlere göre farklıdır. Yatay, piston tip kompresörlerin her pistonu yüzeyinde iki tip segmanı farklı özel görevlerle kullanılmaktadır. Şekil 34'de API 618 Kobelco kompresörün, birinci aşamasında olan piston ve piston segmanı ve bant tipi segman gösterilmektedir.



Şekil 33. Laby kompresörünün, pistonunda, piston segmanları yerine labirent sistemi kullanılır (Burckhardt, 2016.c).



Şekil 34. API 618 Kobelco kompresörün, birinci aşamasında olan piston ve piston segmanı ve bant tipi segman (rider ring) (Kobelco, 2006).

2.1.5. Bant Tipi Segman

Bant tipi segmanlar (rider ring) piston üzerine monte edilmekte ve kompresörlerde, pistonun ağırlığını karşılamaktadır. Piston ve piston rot takımını destekler ve yönlendiriyor. Ağır pistonları olan kompresörler ve yatay silindirli kompresörlerde, bant tipi segmanlar (rider ring) metal olmayan malzemelerden üretilmektedir (Azadani, 2006; Bloch ve Hoefner, 1996; Hanlon, 2001).



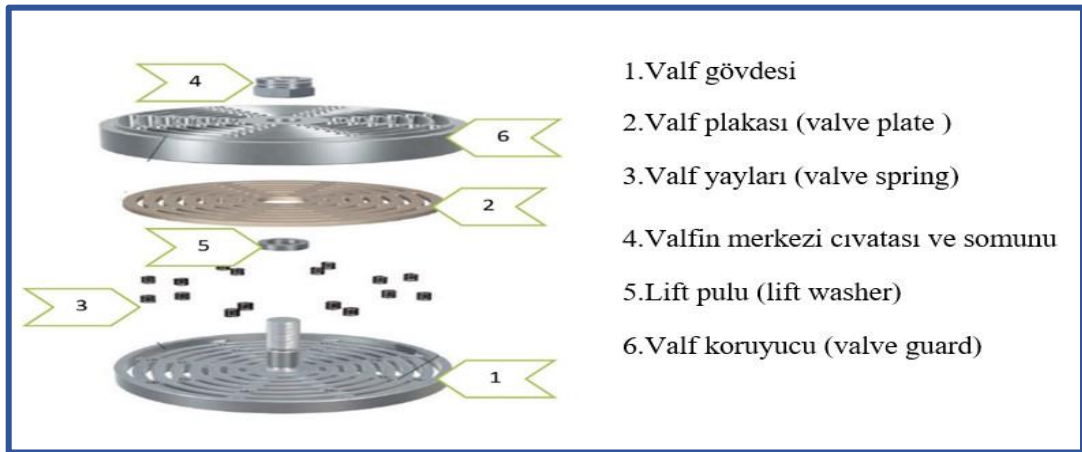
Şekil 35. Bant tipi segmanlar (Burckhardt, 2014).

2.1.6. Piston Segmanları

Piston tipli yatay kompresörlerde kullanılan piston segmanlarının önemli işlevleri vardır. Birincisi, piston segmanları, silindir (silindir gömleği) ve piston arasından gaz sızdırmazlığı sağlar. İkincisi pistonun üzerindeki ısıyı silindir duvarına transfer eder ve pistonun soğutulmasını sağlar. Üçüncüsü, silindir içerisindeki yağlama yağının silindir iç yüzeyinde düzgün şekilde dağılmasını sağlar. inekte olan yağlama yağın, silindirin tüm iç yüzeylere dağıtmasını sağlıyorlar. Dördüncüsü, piston segmanları malzemesinin dikkatli bir şekilde seçilmesi gerekir. Malzemenin gazın korozyona karşı dirençli olmalı ve silindir gömleğinin yumuşak bir malzeme olması gerekir (Azadani, 2006; Bloch ve Hoefner, 1996; Hanlon, 2001).

2.1.7. Kompresör Valfleri

Valfler kompresörlerin en önemli parçalarından sayılmaktadırlar. Valfler gaz akışının silindir içine girişini ve çıkışını otomatik şekilde ve esas olarak valf etrafında basınç farklılıkları ile kontrol ederler. Her türlü fonksiyon bozukluğunun, kompresörün çalışma koşullarına önemli etkisi vardır (örneğin sıcaklığın yüksek olması veya basıncın yüksek ya da düşük olması). Valflerin zamanında açılmaması ve kapanmaması, kompresörün gaz akışının azalmasına neden olur. Yatay silindirleri olan piston tipli kompresörlerin hepsinde giriş valfleri silindirin üst kısmında ve çıkış valfleri silindirin alt kısmında yerleştirilmiştir. Silindire giren sıvı kendi ağırlığının etkisi ile silindiri terk etmektedir. Valf yaylarının bozulması nedeniyle düzensiz bir şekilde dalgalanma hareketi (Fluttering) ortaya çıkar. Kompresörün her strokunda valfler bir kere açılıp kapanmak yerine birkaç kez açılıp kapanır. Bu nedenle, valf parçaları çok erken bozulur ve valflerin ve ya parçalarının değiştirilmesi zorunluluğu ortaya çıkar. valflerin oturma yerlerindeki olan contaların da bozulmasına neden olur. Contaların bozulması, sıcak ve basılmış gazın silindir içinden sızdırmasına yol açar. Piston tipli kompresörlerin en önemli ve kritik parçalarından sayılan valfler farklı parçalardan oluşmaktadır, şekil 36’da valf parçaları ve Şekil 37’de API 618 kompresörün yaygın valf tipleri gösterilmiştir (Azadani, 2006; Bloch ve Hoefner, 1996; Brown, 2005; Hanlon, 2001).



Şekil 36. Valf parçaları (Hoerbiger, 2013).

Bazı valflerde de süspansiyon diskleri (damper plate) ve yayları ek parçalar olarak valfin içine konulmuştur.

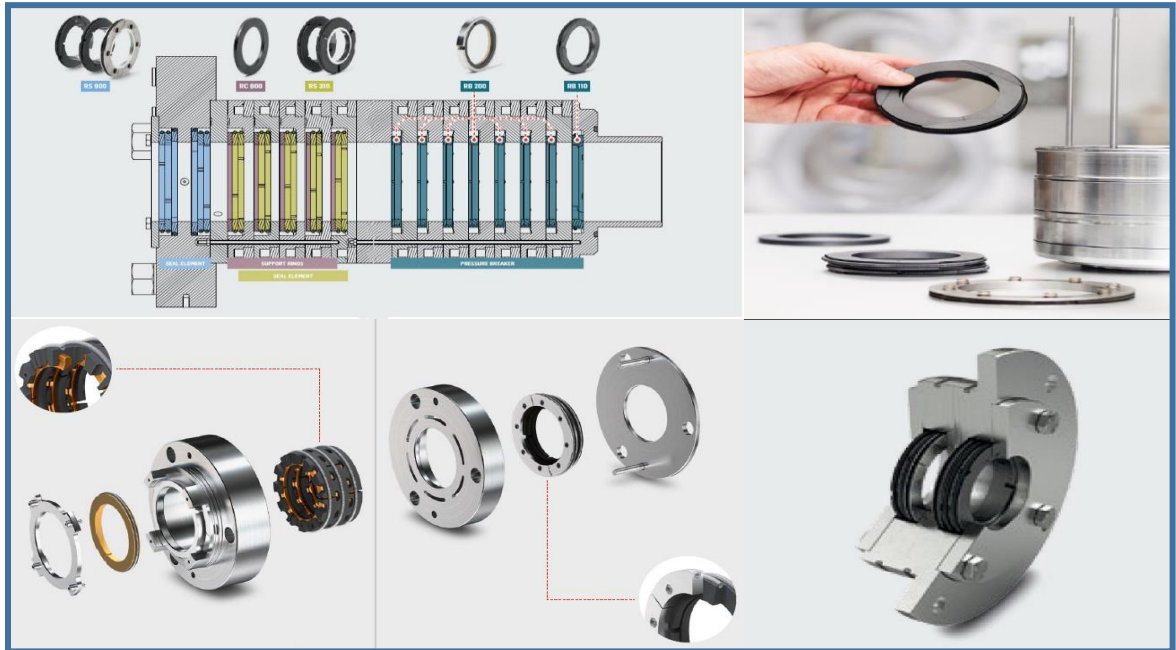


Şekil 37. API 618 kompresörün yaygın valve tipleri (Hoerbiger, 2012).

Piston tipli kompresörlerde, valfleri seçerken, gaz basıncının düşmesini azaltmak için, valfin yüzeyinden gaz akışına uygun olması valfin, uygun aerodinamik şekle sahip olması, en düşük basınç farkıyla çalışabilmesi ve hareketli parçalarının hafif olması (darbe enerjini azaltmak için) faktörlerinin göz önüne alınmasında fayda vardır. Valflerin seçilmesinde ayrıca sıvı ve katı maddeleri kendi içinden geçirme kabiliyeti, yağlı ve yağsız koşullarda çalışma, farklı ve değişik operasyon koşullarında çalışma, darbelere karşı dirençli olması dikkate alınmaktadır. Öte yandan valflerin, korozyona karşı dayanıklı ve dirençli malzemelerin kullanması ve valf parçalarının ömür süresinin uzun olması, oldukça valf parça sayısının oldukça az olması, ayrıca bakımı kolay olması ve çalışma gürültüsünün düşük olması, bir piston tipli kompresörün valflerinin seçiminde büyük önem taşımaktadırlar. Piston tipli kompresörün giriş ve çıkış valfleri ve hidrocam sistemi Şekil 32’de gösterilmiştir. Silindir çapı ve valflerin sayısı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Dolayısıyla silindirin çapı ne kadar büyük olursa valf sayısı da o kadar çok olur. Kompresörün giriş ve çıkış valflerinin sayısı eşittir. Silindir çapı 8 inç ’ten küçük olduğu zaman, silindirin her tarafında bir tane giriş ve bir tane çıkış valfi bulunur. Silindir çapı 8 ve 13 inç arasında olduğu zaman, silindirin her tarafında iki tane giriş ve iki tane çıkış valfi bulunur. Silindir çapı 14 ve 20 inç arasında olduğu zaman, silindirin her tarafında üç tane giriş ve üç tane çıkış valfi bulunur. Silindir çapı 23 ve 30 inç arasında olduğu zaman, silindirin her taretinde dört tane giriş ve dört tane çıkış valfi bulunur. Silindir çapı 30 ve 36 inç arasında olduğu zaman, silindirin her taretinde beş tane giriş ve beş tane çıkış valfi bulunur. Silindir çapı 36 inç üstünde olduğu durumda, silindirin her tarafında altı tane giriş ve altı tane çıkış valfi bulunur (Azadani, 2006; Giampaolo, 2010; Bloch ve Godse, 2006; Bloch ve Hoefner, 1996; Brown, 1997; Forsthoffer, 2005a; Hanlon, 2001).

2.1.8. Piston Tipi Kompresörlerde Sızdırmazlık Sistemi

Piston tipli ve çift etkili olan kompresörlerde silindirin dip kısmında piston rotun hareket ettiği bölgede gaz sızdırmasının önüne geçmek için sızdırmazlık salmastralar kullanılır. Bu türlü kompresörlerde sızdırmazlık tedbirler diğer cihazlardan çok farklı bir sisteme sahiptir. Bu tip kompresörlerde gazın sızmasını engellemek için yüzer salmastra halkalarından (floating packing ring) yararlanmaktadır (Azadani, 2006; Bloch ve Godse, 2006; Bloch ve Hoefner, 1996). Bu salmastraların her takımı bir pürüzsüz ve çileli kâse içinde yerleştirilir ve kâselerin hepsi bir araya getirilir ve salmastra kutusuna yerleştirilir. Daha sonra saplama yardımıyla sabitlenir. Kâselerin sayısı ve salmastranın tipi dizayna bağlıdır ve silindirin içindeki basınca bağlı değişmektedir. Salmastra segmanları radyal ve teğetsel sızdırmazlık elemanları olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Kompresörün tasarımı ve çalışma koşullarına bağlı olarak farklı malzemelerden (metal ve metal olmayan) üretilmektedirler. Piston tipli kompresörlerde, silindirlerin içinde olan gazın dışarıya çıkmasını önlemek, yağlama yağıyla gazın karışmasını engellemek için ve yağlama yağının silindirin orta kısmından çıkmasını önlemek için; gaz salmastra kutusu, orta salmastra kutusu ve yağ salmastra kutusunun, kullanılması gerekmektedir (Azadani, 2006). Gaz ve yağ salmastra kutusunda ve içinde bulunan yüzer salmastralar Şekil 38’de gösterilmiştir.



Şekil 38. Gaz salmastra kutusunda ve içinde olan yüzer salmastralar (Floating Packing's) (Burckhardt, 2016.f)

2.1.9. Kroset Donanımı

Piston tipli kompresörlerde piston rotu ve biyeli arasında kroset isimli bir donanım bulunmaktadır. Krosetin görevi, piston rotu ve biyeli birbirine bağlama ve piston rotunun yanal hareketlerini tam bir doğrusal harekete dönüştürmektir (Giampaolo, 2010). Şekil 39’da Kroseti, oluşturan parçalar ve API 618 Kobelco kroset donanımında boşluk ölçümü görülmektedir.



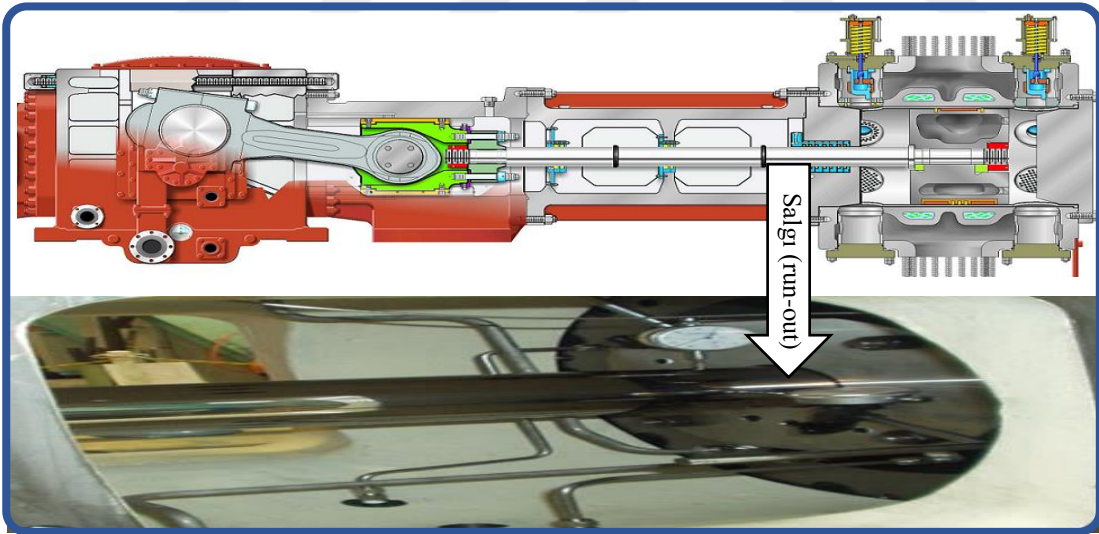
Şekil 39. Kroseti oluşturan parçaları (Bloch, 2006) ve Kobelco kompresörünün kroset donanımında boşluk ölçümü (Kobelco, 2006)

Kroset, bir taraftan kroset pimi aracılığıyla piston koluna, diğer taraftan hidrolik somunu vasıtasıyla piston rotuna, monte edilmiştir. Ayarlama şimleri; kroset kılavuzu ve kroset ayaklar ortasında olan boşluğu ayarlamak için, piston rotu salgı miktarını ayarlaması için kullanılmaktadır. Kroset piminin görevi; kroset ve biyeli birbirine bağlamaktadır. Bir mafsal olarak krank milinin dönme hareketini biyel yolu ile krosete aktarmaktadır. Kroset ayakları; krosetin alt ve üst tarafına, monte edilmektedir ve kroset kılavuzu içinde hareket etmektedir. kroset kılavuz malzemesine göre daha yumuşak malzemeden üretilmektedir. Kroset ayakları hasar gördüğü halde hızlı bir şekilde yenisiyle değiştirilmektedir. Krosetin alt ve üst ayağı ve krosetin hareket ettiği hat yağlama yağıyla yağlanmaktadır (Azadani, 2006; Bloch ve Godse, 2006; Bloch ve Hoefner, 1996; Giampaolo, 2010; Hanlon, 2001; Hoseyni, 2003; Kavyani, 2006).

2.1.10. Piston Rotu

Pürüzsüz ve cilalı ve sert ve mukavemetli bir çubuktur. Piston rotu bir taraftan pistona diğer taraftan krosete hidrolik somun ile bağlanmaktadır. krosetin doğrusal gidiş geliş harekâtını pistona iletmekle görevlidir. Piston rotunun yüzeyi aşınmaya dirençli olması için tungsten karbit veya diğer sert metallerle kaplanmaktadır. Pistonun merkezi hattı, piston rot ve krosetin merkezi hattının, aynı olması gerekmektedir. Aksi takdirde her doğrusal hareketinde piston rotunun üzerinde eğilme gerilmeleri oluşur (çekme ve basma gerilmeleri dâhil olmak üzere). Piston rotunun ömrünü kısaltmasının yanı sıra, piston rotunun kesme riski artar ve salmastraların üzerinde ek yan harekete neden olur ve sonuç olarak kompresörde gaz kaçağı artar (Bloch, 2006).

Salgı (run-out) yani piston rotunun hareketi tam doğrusal ve kusursuz yatay olması gerekmektedir. Bu nedenle kompresörün her bakım işlemi sırasında salgı (run-out) miktarının kontrol edilmesi gerekmektedir (Azadani, 2006; Hanlon, 2001). Şekil 40'da salgı (run-out) miktarının ölçümü gösterilmiştir.



Şekil 40. Salgı (run-out) miktarının ölçümü (Dresser Rand Co, 2013; Kobelco, 2006).

Salgı (run-out) miktarını kontrol etmek için iki mekanik komparatör saate ihtiyaç vardır. Bir tanesi yatay ve diğeri dikey şeklinde olarak piston rotunun üzerinde uygun yerlere konulur ve kompresör bir kurs (ön ölü noktasından-arka ölü noktasına) hareket ettikten sonra ölçülen değerler yazılıp ve kompresör üreticisinin verileri ile karşılaştırılır. Ölçülen değer şirket verilerinden yüksek olmamalıdır. Salgı miktarının ölçmesi ve kontrolü ile ilişkin yeni

Üretilen piston tipli kompresörlerde online gözleme sistemleri yardımıyla, salgı değerleri anlık olarak kontrol edilmekte ve değerleri kayıta altına alınmaktadır. Eğer salgı miktarı sınır değerden fazla olursa kontrol sistemi alarma geğmekte ve cihaz durdurulmaktadır.

2.1.11. Biyel

Biyel, kroset ve krank milini arasındaki bağlantıyı temin eder. Biyel genellikle elik alaşımlarından presle dövülerek yapılır ve bir dizi seri işlemten sonra esas şeklini alır. Biyelin, krank miline bağlanan kısmına biyel başı denir. Biyelin büyük başı krank milinden kolayca sklp takılabilmesi için şekil 41’de gösterildiği gibi iki parçalı olarak yapılmaktadır.



şekil 41. Biyel (URL-1, 2016).

Biyel başında krank mili ile biyel muylularının bozulmadan yataklandırılması için kolayca sklp takılabilen biyel yatak kusinetleri yerleştirilmiştir. Genellikle biyel kepleri, biyel başlarına, biyel civatası ve somunlarıyla bağlanır. Bu civatalar karşılıklı iki adet olduğu gibi bazı büyük kompresörlerde ikişerden dört adet biyel civatası vardır. Bazı biyel civataları biyel başında diş açılmış yuvalara sıkılır. Biyelin krosete bağlanan kısmına biyel ayağı denir. kroset, kroset pimi vasıtasıyla biyel ayağına bağlanır. kroset piminin biyele sabit bağlanan biyelerde kroset pimi, bir kilitleme civatasıyla biyel ayağına bağlanır. Tam serbest veya biyelde serbest, pim bağlama sistemlerinde ise kroset piminin biyel ayağına yataklandırılması için biyel ayağında, bronz kroset pim burçları bulunur (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011).

2.1.12. Volan

Volanlar piston tipli kompresörlerin ağır bir parçasıdır. Kompresörlerden ziyade içten yanma motorların ve doğrusal hareketli cihazların çoğunda enerji depolamak ve krank milinin hareketini dengelemek için kullanılmaktadır. Emme işlemi esnasında veya kompresörün basıncının düşük olduğu durumlarda, kompresörün çok fazla enerjiye ihtiyacı yoktur. Böyle bir durumlarda volan enerjiyi depolar, öte yandan basma ve gaz sıkıştırma zamanında kompresör çok fazla güce ihtiyaç duymaktadır. Volanda depolanan enerji, krank miline ve oradan kompresöre iletir. Kompresörün çok yumuşak çalışmasını sağlar. Kompresör gücüne, kompresörün silindir sayısına ve çıkan gazın basıncına bağlı olarak muhtelif çaplarda ve ağırlıklarda volanlar dizayn edilir ve üretilir (Azadani, 2006).

2.1.13. Krank Mili Koruması

Krank mili karteri, pistonlu kompresörlerin çoğunda hem krank mili ve hem de sabit yatakların bulunduğu yerdir ve yağlama sisteminin yağ deposudur. Ayrıca ana yağ pompanın ve manzel pompasının (lubrication pump) monte edilen yeridir (Azadani, 2006).

2.1.14. Krank Mili

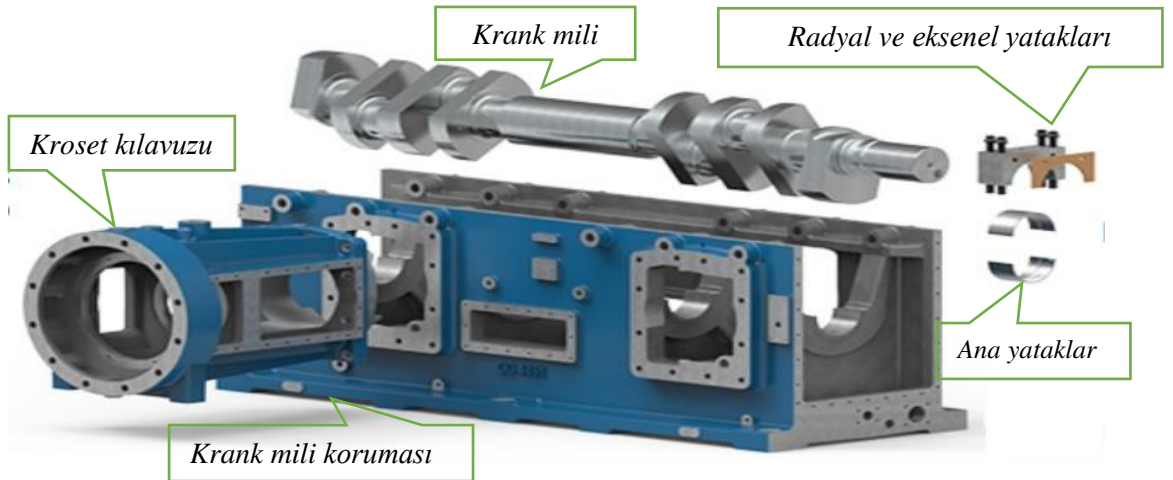
Tahrik ünitesinin dönel hareketini pistonun doğrusal hareketine çevirme işleminin ilk basamağını oluşturur. Dövme çelik veya çelik dökümden yapıp çok iyi ve hassas toleranslı olarak işlenmesi gereklidir. Ayrıca, eksenel ağırlık ve kuvvetlerin iyi dengelenmiş olması ve dinamik olarak balanslanmış olması gerekir. Krank mili imali için seçilen malzemenin özellikle sürekli mukavemet bakımından uygun olması ve malzeme yorulmalarına dayanıklı olması önemlidir. Basınçlı yağlamalı kompresörlerin krank millerinin imalatı sırasında yağın yataklara iletilmesini sağlayacak yağ kanalları ile teçhiz edilir. Ayrıca, volan veya motor göbeğine bağlantı için gerekli kama yarıkları vida vesaire yerleri bırakılır (Azadani, 2006; Bloch, 2006; Hanlon, 2001).

2.1.15. Yataklar

Yataklar, genellikle radyal kuvvetleri ve eksenel kuvvetleri absorbe ve transfer edip kontrol altında tutmaktadırlar. Eksenel yerde dönme hareketine karşı oluşan sürtünmeyi azaltırlar. Yataklar yapı bakımından kaymalı ve rulmanlı yataklar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Yumuşak metallerden üretilen kaymalı yataklar eksenel yatağının içinde, ince bir yağ filminin üzerinde hareket etmektedir. Kaymalı yataklar kullanım alanına bağlı olarak çeşitli çaplarda ve metallerden üretilmektedir. Piston tipli kompresörlerde en çok kullanılan kaymalı yataklar yarım silindirik şeklinde olur ve iç tabakası yatak malzemesinden üretilmektedir. Kaymalı yataklar radyal ve eksenel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Radyal yataklar, radyal kuvvet ve hareketleri ve eksenel yataklar, eksenel kuvvet ve hareketleri kontrol etmek ve önlemek için kullanılmaktadır. radyal yatakların seçiminde çok sayıda kriterin göz önüne alınması gerekir. Bu kriterler dâhil olmak üzere:

- 1.Şaftın çapı
- 2.Aks ve parçaları tarafından uygulanan yükü veya kuvveti
- 3.Aksenin dönme hızı
- 4.Çalışma sıcaklığı
- 5.Yağın yoğunluğu ve yağlama yöntemi

Trast yatakları (krank milinin eksenel yatakları) krank milinin eksenel hareketlerini ve biyelin yanal hareketlerini kontrol eder. Eksenel güçlerinin küçük olmasına göre yarım daire veya at nalı şeklinde fosfor bronzdan üretilir (Azadani, 2006).



Şekil 42. Krank mili koruması ve krank mili ve yataklar (URL-1, 2016).

2.2. Kompresörün Kritik Parçalarının Bozulma Nedenleri

2.2.1. Piston Segmanlarının Bozulma Nedenleri

1. Gazla birlikte katı parçacıkların silindir içine girmesi
2. Silindir içi sıcaklığının aşırı derecede yüksek olması(soğutma sistemi iyi çalışmadığından kaynaklanan bir durumdur)
3. Segmanların malzemesinin kalitesiz olması
4. Bant tipi segmanların bozulması
5. Yağlama yağının yetersiz ve eksik olması veya uygun bir yağ kullanılmaması
6. Piston segmanlarıyla silindir gömleği arasında olan boşluk veya piston segmanlarıyla piston yivi arasındaki boşluğunun uygu olmaması.
7. Silindir basıncının, aşırı derecede yükselmesi

(Azadani, 2006; Bloch, 2006; Bloch ve Geitner, 1997a, 1997b, 1998, 2004, 2006; Bloch ve Hoefner, 1996; Forsthoffer, 2005a; Giampaolo, 2010; Hanlon, 2001)

Hasarlanan piston segmanı ve bant tipli segman ve piston, Şekil 43’de gösterilmiştir.



Şekil 43. Hasarlı piston segmanı ve bant tipli segman ile piston (Hoerbiger, 2014b).

2.2.2. Kompresör Valflerin Bozulma Nedenleri

Aşınmanın fazla olması, valflerin gaz sızdırmasına ve lift 'e valf plakasının fazla hareket etmesine neden olur. Sonuç olarak kompresör görevini iyi bir şekilde yapamaz (Azadani, 2006). Kompresör valflerinde aşınmaya neden faktörlerden en önemlileri aşağıda sıralanmıştır;

- Gazla birlikte yabancı maddelerinin (kütlelerin) veya parçacıkların, valflerin içine girmesi, valf parçalarının birbirine temas ettiği yüzeylerin aşınma oranını çoğaltır. Ayrıca bu maddeler valf yaylarının altında birikirler ve yayların iyi çalışmasını ve valflerin normal görev yapmasını engellerler (Azadani, 2006; Bloch ve Hoefner, 1996).

- Uygunsuz yağ kullanımı veya kompresör silindirinin uygun şekilde yağlanmaması nedeniyle emme ve çıkış valflerinin açılmasında ve kapanmasında zamanlama gecikmesi. Diğer taraftan silindir içi yetersiz yağlandığı durumda piston segmanlarında aşınma oranı yükselir ve silindir içinde olan gazın sıcaklığı artar. Silindir aşırı yağlanma, kompresör içinde yağın birikmesine neden olur, dolayısıyla sıvıların silindir içine girmesi, parçaların kırılmasına neden olur. Basıncı dengeleyici kaplar ve separatör iyi görev yapmadığı durumda sıvılar proses gazdan ayrılamaz ve gazla birlikte silindir içine girer. Kompresörün borulama sisteminin uygun olmaması nedeniyle bu biriken sıvılar silindir dışına çıkamaz ve silindir içinde birikir. Kompresörün aniden gaz akışının değişmesi de sıvı oluşumuna yol açar diğer taraftan soğutma suyunun sıcaklığının düşük olması (su sıcaklığı her zaman gaz sıcaklığından 10 °C fazla olması gerekir) sıvı oluşmasına yol açar (Azadani, 2006).

- Valfler üzerindeki darbeler valflerin bozulmasına neden olur. Piston tipli bir kompresörde 500 rpm krank devir sayısında 720000 kere valf parçalarının farklı bölgelerine bu darbeler uygulanmaktadır. Valf parçalarının yapısal ve uygun tasarımları darbelere karşı yeterince dayanaklı olmalarını sağlar fakat diğer taraftan valfler anormal darbelere de maruz kalmaktadırlar. Bu anormal darbeler nedeniyle rezonans artar ve valf parçaları bozulmaya maruz kalır. Anormal darbeler üzerinde yağlama yağları ve valflerin lift tınlışım ve salıncak silindir içinde sıvı damlaların etkileri vardır (Azadani, 2006; Bloch ve Hoefner, 1996).

- Sıvı damlaların kompresörün silindiri içinde birikmesi

- Anormal darbe

- Korozyon ve kimyasal maddelerin etkileri, valflerin bozulmasına yol açar, korozyona neden olan birçok faktör vardır. Bu faktörlerden ilki proses gazının korozif maddelerle buluşmasıdır. İkincisi: kompresörün yanlış sıcaklıkta çalışması, korozyon miktarını

yükseltmektedir. Üçüncüsü: valf parçalarında yanlış malzeme seçimi ve kullanımı (kompresör parçalarının, operasyon koşullarına uygun olmaması) (Azadani, 2006).

➤ Yorulma, valflerin diğer önemli olan unsülerinden sayılmaktadır. Her parçanın belirli bir ömür süresi vardır ve bu süre geçtiği zaman parçalar kullanılamaz hale gelir ya da kırılırlar bu yüzden zamanında bu parçaların değiştirilmesi gerekmektedir (Azadani, 2006).

➤ Kok oluşumu, valflerde yağlama yağı ve ya sıvıların birikmesi, yüksek sıcaklıkla birlikte kokun oluşmasına ve valf yayların ve diğer parçaların etrafında kalmasına neden olur ve valfle görevlerini yapamıyorlar veya valfin parçaları bir zamandan sonra kırılmağa maruz kalır (Azadani, 2006; Bloch ve Hoefner, 1996).

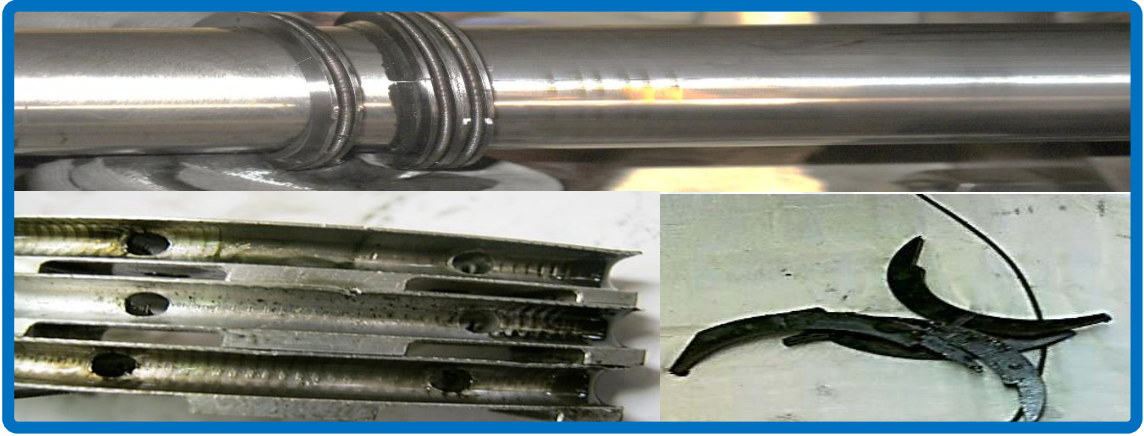
➤ Darbelerin çoğalması, sıvıların yüksek hızla kompresör silindirine girmesi ve çıkması kompresörün valf parçalarında (özellikle giriş valflerinde) darbeye neden olur. Giriş valflerinin şiddetli şekilde açılıp kapanmasına sebep olur. Sonuç olarak valf parçaları çalıştıktan bir süre sonra kırılmaya maruz kalır (Azadani, 2006).



Şekil 44. API 618 kompresörün valfinde olan hasar (Hoerbiger, 2014b; Kobelco, 2006).

2.2.3. Salmastraların Bozulma Nedenleri

1. Salmastra kutusunun sıcaklığının artması
2. Uygunsuz yağlama
3. Ani sıcaklık değişimi
4. Çevrenin nemi
5. Gazın yabancı maddelerle temas etmesi
6. Salmastraların piston rotuna uygun ölçüde olmaması
7. Salmastra malzemelerinin operasyon koşullarına uygun olmaması
8. Piston rotunun salgi (run-out) miktarının yüksek olması (Bloch ve Hoefner, 1996)



Şekil 45. Salmastraların bozulması (Kobelco, 2006).

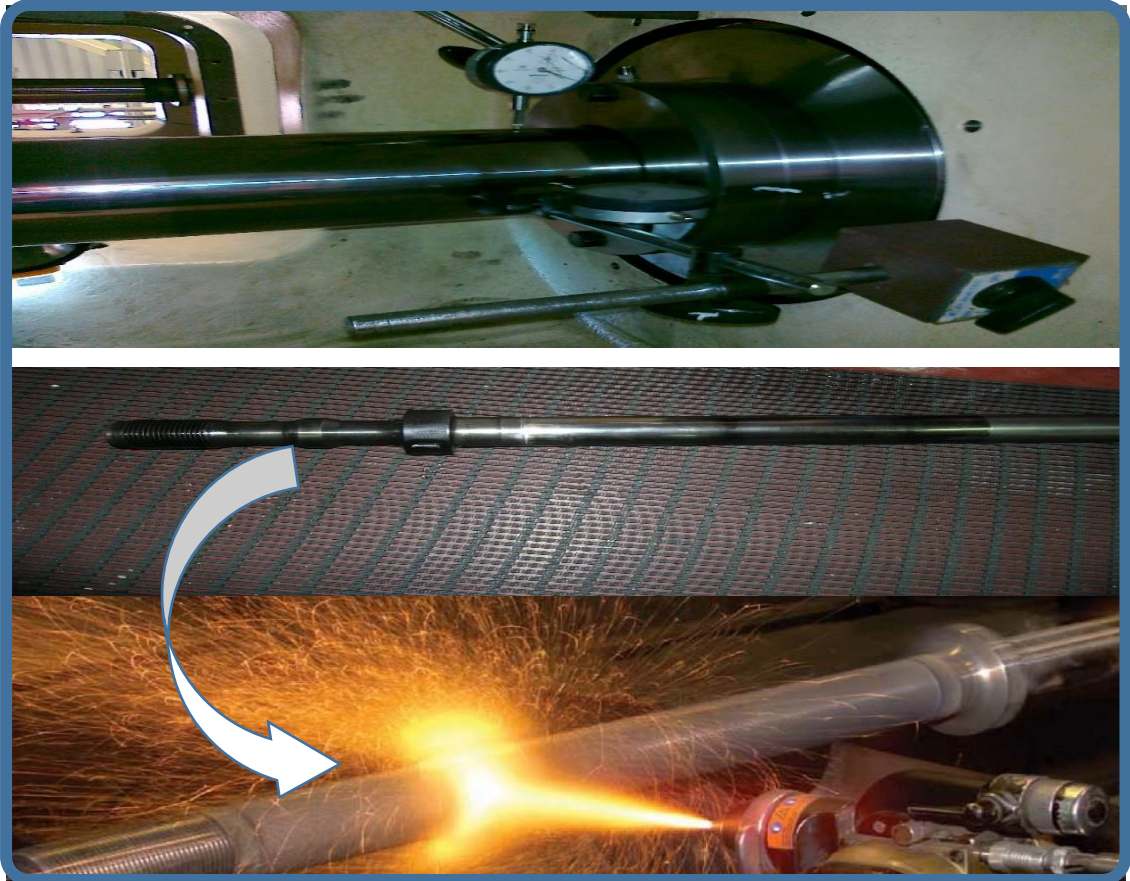


Şekil 46. Kroset donanımının hasarı (Beta machinery, 2015; URL-2,2016).

2.2.4. Piston Rotunun, Salgı Miktarının Yüksek Olma Nedenleri

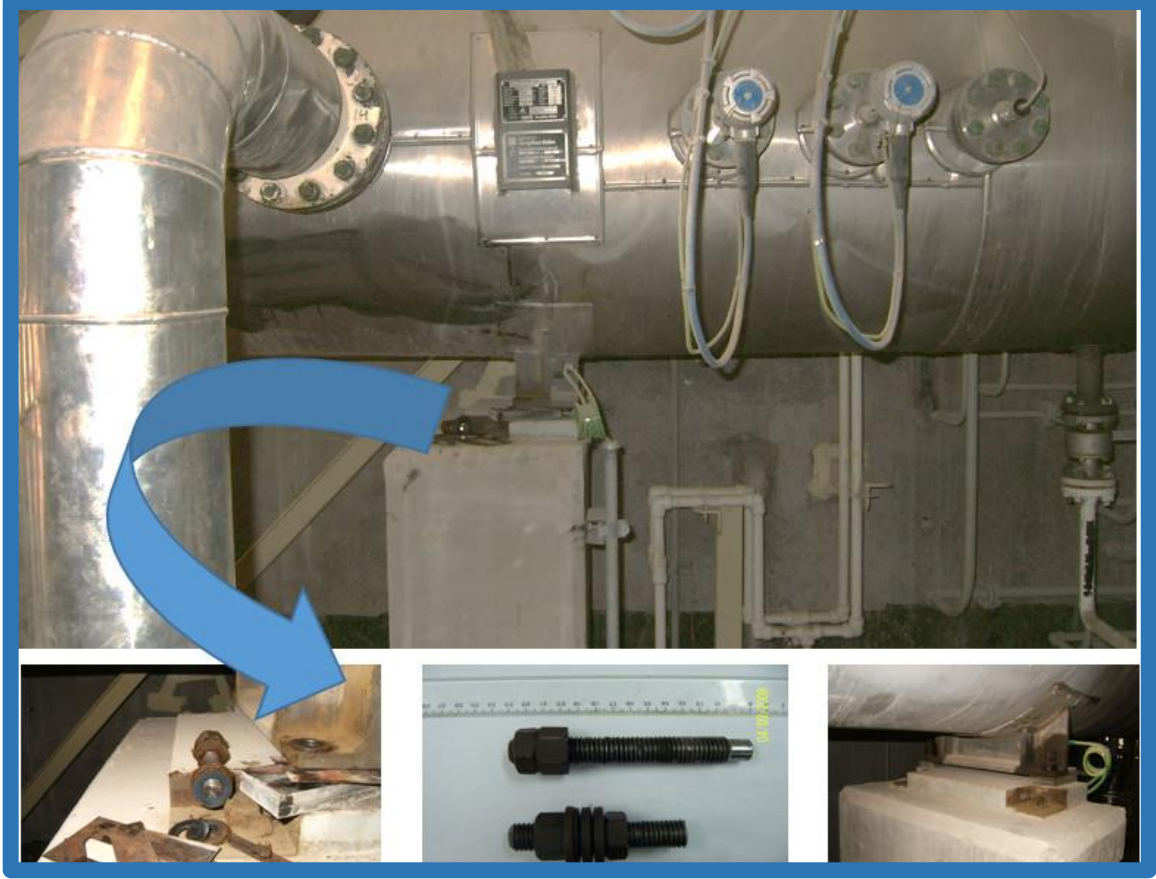
1. Piston rotunun eğilmesi
2. Piston segmanların bozuk olması
3. Silindir destekleyenlerin (supporting) uygun olmaması
4. Giriş ve çıkış borulama sistemlerinin ve basıncı dengeleyici kapların üzerinde bulunan gerilmeler
5. Silindirin oturma yüzeyinin kaba ve distorsiyon olması veya kirli olması
6. Hidrolik somunun sorunlu olması (Bloch ve Hoefner, 1996).

API 618 kompresörün rot pistonunun salgı miktarının yüksek olması, rot yüzeyindeki olan kaplamanın incilmesi ve tekrar rot yüzeyinin kaplanması Şekil 47 'de gösterilmiştir.



Şekil 47. Rot pistonun salgı miktarının yüksek olması ve rot yüzeyindeki kaplamanın incilmesi ve tekrar rot yüzeyinin kaplanması (Kobelco, 2006).

API 618 kompresörün aşırı titreşimli çalışması, deşarj basıncını dengeleyici kapların temel ayak civatalarının kırılması neden olmuştur (Şekil48).



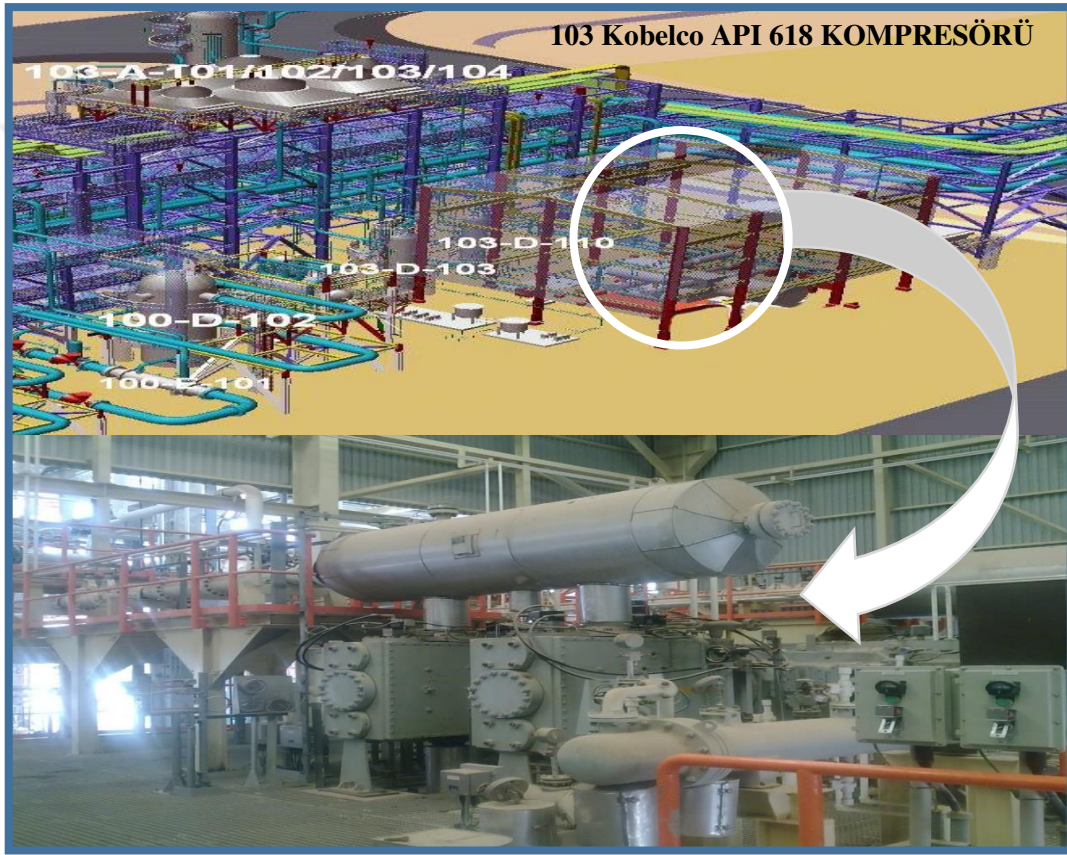
Şekil 48. Deşarj basıncını dengeleyici kapların temel ayaklarının civatalarının kırılması (Kobelco, 2006).



Şekil 49. Kompresör silindirinin aşırı yağlanması ve fazla yağın silindirin içinde birikmesi (Kobelco, 2006).

2.3. Yöntem

Çalışmalar, İran'ın güneyinde Asalouye Bölgesi'nde dördüncü gaz rafinerisinin 103 nolu ünitesinde olan Kobelco API 618 kompresörün üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma API 618 kompresörde oluşan hasarları hata ağacı yöntemiyle incelemesini kapsamaktadır. Şekil 50'de kompresörünün 103 nolu ünitesinde bulunduğu yeri göstermektedir.



Şekil 50. Kobelco Kompresörünün 103nolu ünitesinde bulunduğu yer (Kobelco, 2006).

2.3.1. API 618 Kobelco Kompresörün Teknik Özellikleri

Gaz rafinerisinde (SP 6, 7 ve 8) bulunan uç, 103 ünitesi ve her üniteye iki tane (toplam 6 tane) bu tip kompresör çalışmaktadırlar. KOBE STEEL LTD tarafından, API 618 standardına uygun, tasarlanmış ve üretilmiştir. 103 ünitesinde bulunan ve KR60-4 modelinde olan kompresör, piston tipli çift etkili ve iki aşamalı ve dört silindirli, elektromotorla dönen, silindirleri çalışır esnasında yağlanan vb. özelliğe sahiptir.

Kompresörün yanında olan çok sayıda makine de kompresörün çalışmasına yardım etmektedirler. Bu yardımcı makineler Soğutma su pompaları ve hidrolik yağ pompası ve lubricator pompası ve ana yağ pompası, kompresörün Yardımcı makineleri grubunda yer almaktadırlar. Kompresör birinci ve ikinci aşamalarında (% 70 yük) olan giriş ve çıkış gaz basıncını ve sıcaklık ve kapasite ve beygir gücü Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9 . API 618 kompresörün özellikleri (Kobelco, 2006).

% 70 yük		Birinci aşama	İkinci aşama
Giriş basınç	bar	8.5	29.6
Çıkış basınç	bar	29.6	78.8
Giriş gaz sıcaklığı	°C	58	49
Çıkış gaz sıcaklığı	°C	107	108
Kapasite	kg/saat	43847	39985
Beygir gücü	KW	1058	1151

Birinci ve ikinci aşamalarda çıkan gazın sıcaklığını düşürmek için hava soğutucular kullanılmaktadır. Kompresörün kapasitesini kontrol etmek için hydrocom sistemi (CIU) ve hydrocom valf çalıştırıcı kullanılmaktadır. Silindir içindeki parçalar ve salmastra kutsundaki parçaları yağlanmasını sağlamak için yağlama pompası kullanılmaktadır. Kompresör çalışmaya başlamadan önce ve durma zamanında parçaların yağlamasını sağlamak için vidalı yardımcı pompalar (auxillary oil pump) kullanılmaktadır. Salmastra kutusu ve silindir ceketinin soğutma suyu basıncını temini için santrifüj pompa kullanılmaktadır. Ayrıca soğutma suyu ve yağlama yağının sıcaklığını düşürmek için hava soğutucusu ısı eşanjörü kullanılmaktadır.

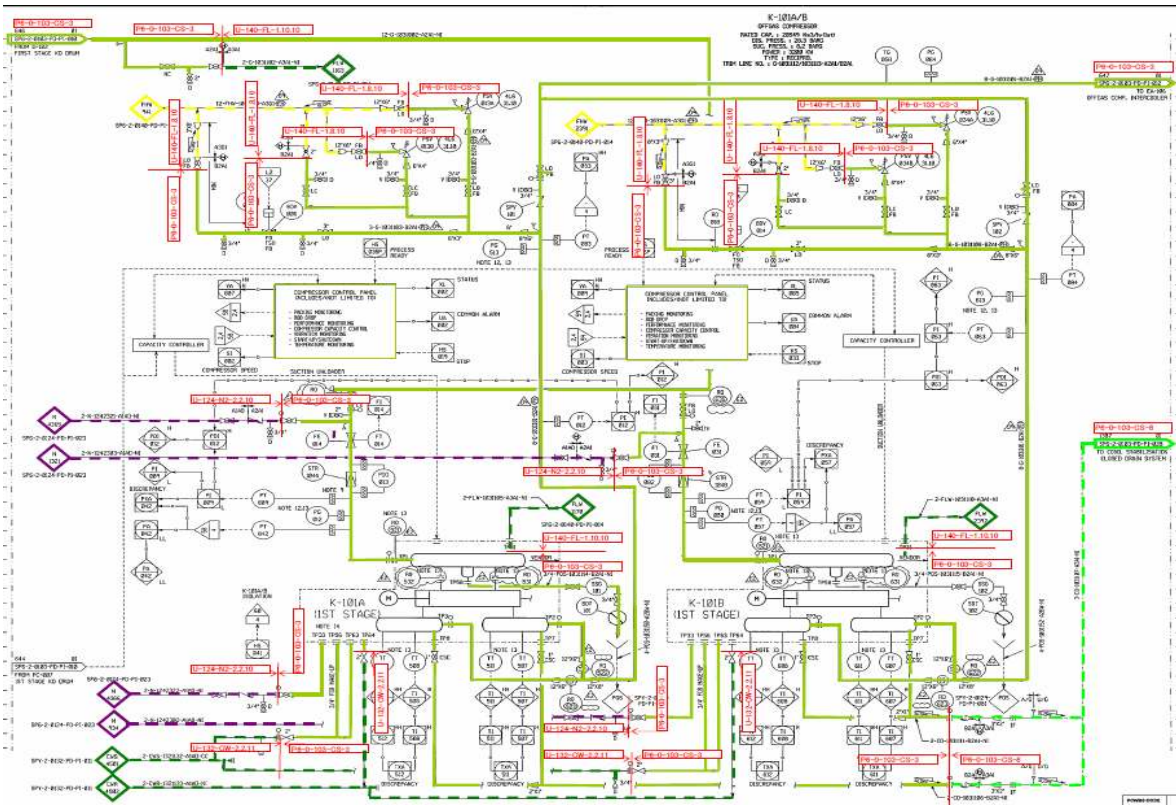
Birinci aşamadaki silindirin büyüklüğü ikinci aşamada fazladır ve bu nedenle giriş ve çıkış valf sayısı ve valflerin boyutları da ikinci aşamanın iki katıdır. Ayrıca piston çapı da ikinci aşamaya göre daha büyüktür. Fakat ikinci aşamada piston segmanların sayısı birinci aşamaya göre fazladır.

İkinci aşamada, gaz basıncının fazla olmasından dolayı salmastra kutusunu oluşturan fincanların sayısı ve fincanların içinde olan salmastra sayısı da birinci aşamaya göre fazladır. Bu nedenle ikinci aşamada olan salmastra kutusunun daha çok yağlamaya ihtiyacı vardır. Öyle ki salmastra kutusunun yağlama noktaları iki olduğu halde birinci aşamada bulunan salmastra kutusunun yağlaması yalnız bir noktadan yapılmaktadır. API 618 Kobelco kompresörünün parçalarında kullanılan malzemeler, birinci ve ikinci aşama için Tablo 10’da gösterilmektedir verilmiştir.

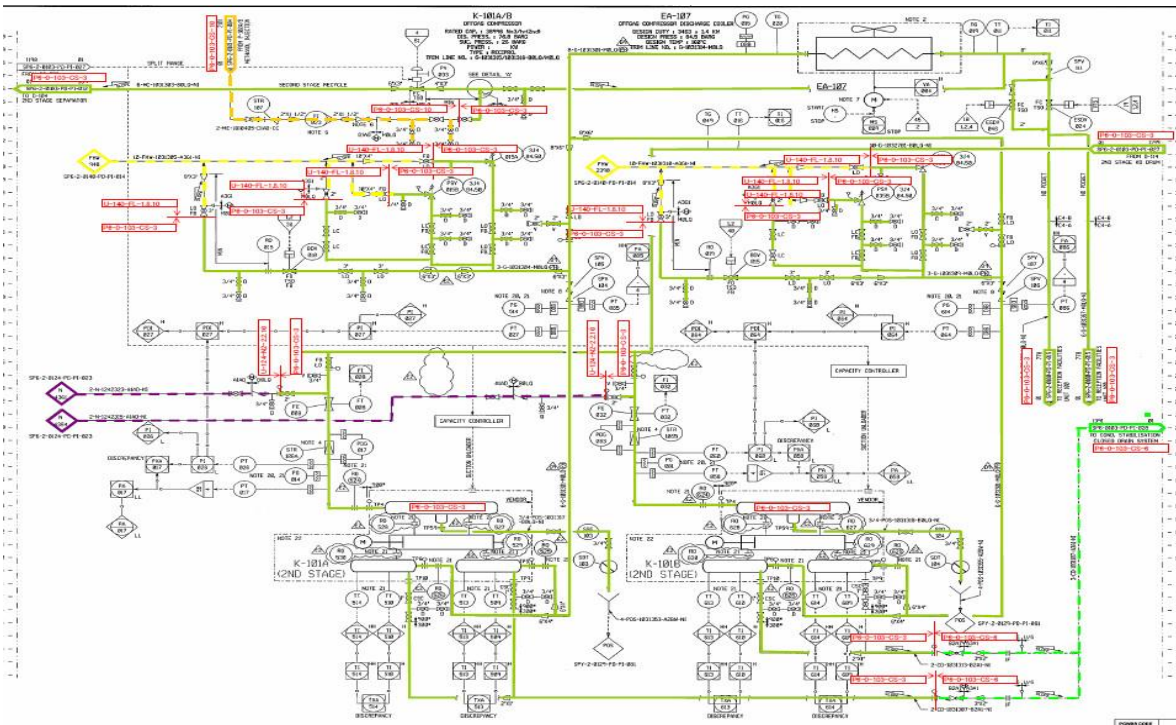
Tablo 10. Kobelco kompresör parçalarında kullanılan malzemeler (Kobelco, 2006).

Kompresör parçaları	Birinci aşama	İkinci aşama
Silindir	Küresel dökme demir	Dövme çelik
Silindir gömleği	Mukavim- Ni	Mukavim- Ni
Piston	Dökme demir	Karbon çeliği
Piston segmanları	PTFE	PTFE
Bant tipi segmanlar	PTFE	PTFE
Piston rotunun kaplaması	Tungsten Karbür-Nikel Kaplam	Tungsten Karbür-Nikel Kaplam
Valf siti /valf plakası	11-13 Cr /termoplast	11-13 Cr /termoplast
Valf yayları	Nimonik 90	Nimonik 90
Salmastra	PTFE	PTFE
Salmastra yayları	INCONEL	INCONEL
Salmastra Kutusunun gövdesi	Karbon çeliği	Karbon çeliği
Orta salmastralar	PTFE	PTFE
Krank milinin ana yatağı	Alüminyum Yatak malzemesi(Babbit)	Alüminyum Yatak malzemesi(Babbit)
Biyel yatağı	Alüminyum Çelik	Alüminyum Çelik
Biyel burcu	Bronz	Bronz
Krosetin pimi	Dövme çelik	Dövme çelik
Krosetin şüzü	Yatak malzemesi(Babbit) Dökme demir	Yatak malzemesi(Babbit) Dökme demir

Kompresörün P&ID (borulama ve enstrümantasyon şeması) birinci ve ikinci aşamaların Şekil 51 ve 52’de gösterilmektedir.



Şekil 51. API 618 -103 kompresörün birinci aşamalar P&ID (Kobelco, 2006).



Şekil 52. API 618 -103 kompresörün ikinci aşama P&ID (Kobelco, 2006).

2.3.2 Hata Ağacı Analizi

2.3.2.1. Hata Ağacı Analizinin tanımı

Hata ağacı istenmeyen bir olayın ya da durumun nedenlerinin mantıklı kombinasyonlarının grafiksel gösterimidir. Risk analizi kapsamında hata ağacı analizi yöntemi (FTA METOD) istenmeyen bir olay olduğu zaman onun nedenlerini analiz etmek için kullanılır. Özellikle hasar ve kazaların analizi çalışmalarında istenmeyen olayları analizi için sıklıkla kullanılır. Kazanın oluşumu hata ağacı analizi programında mantık çerçevesinde tarif edilir (Harms-Ringdahl, 2003; Kristiansen, 2005; Tanaka vd., 1983; Uğurlu, 2011).

İlk olarak 1960’larda kullanılmaya başlamıştır. FTA özellikle karmaşık teknik sistemler için büyük önem taşımaktadır, çünkü sistemdeki bir hata ciddi sonuçlara sebep olabilir ve eldeki mevcut kaynaklar tehlike analizi yapmak için uygun olabilir. Yöntem nispeten zordur ve alanında uzman kişiler tarafından kullanılabilir. Bu yöntem yüksek riskli sektörlerde güvenlik ve güvenilirlik için uygulanabilir (Roberts ve Vesely, 1987; Uğurlu, 2011; Harms-Ringdahl, 2003;).

FTA’da oluşturulan grafik genel bir bilgi için faydalıdır ama doğrudan bir yöntem olarak kullanılamaz. Burada verilen açıklamaların amacı kullanılan yöntemi yeterince tanıtmak ve yöntem hakkında bilgi vermektir. FTA’da asıl önemli bölüm olasılık tahminlerinin sunulduğu yerdir (Rausand, 2013; Roberts ve Vesely, 1987; Uğurlu, 2011).

2.3.2.2. Hata Ağacı Analizinde Kullanılan Referans Standartlar

1. IEC 61025, Hata ağacı analizi (Fault tree analysis - FTA)
2. IEC 60300-3-9, Güvenilebilirlik Yönetimi (Özkılıç, 2014).

2.3.2.3. FTA'nın Güçlü Yönleri

- Son derece sistematik bir metodolojidir, aynı zamanda, insan ilişkileri ve fiziksel olayları da içeren çeşitli faktörlerin analizini sağlamaya yönelik disiplinli bir yaklaşıma sahiptir.
- Tekniğe dâhil olan "tepeden aşağı" yaklaşımının uygulaması, zirve olay ile doğrudan ilgili olan hatanın etkileri üzerinde yoğunlaşır.
- FTA, özellikle birçok ara yüz ve etkileşimler ile karmaşık sistemleri analiz etme konusunda çok başarılıdır.
- Grafikselsel anlatım, insan davranış ve diğer alt faktörlerin dâhil olduğu sistemlerin kolayca kavranmasını sağlar, ancak ağaçlar büyüdükçe, hata ağaçlarının işleyişi, bilgisayar sistemlerine ihtiyaç duyabilir.
- Bu özellik, daha karışık mantıksal ilişkilerin de dâhil edilebilmesini sağlar(kombinasyon), ancak hata ağacının doğrulanmasını zor hale getirir.
- Hata ağacının ve kesim kümelerinin tanımlamalarına yönelik mantık analizi (Boole cebiri), zirve olaya neden olan durumların belirli kombinasyonlarının bulunduğu çok karmaşık sistemlerde yer alan hata yollarını tanımlama konusunda faydalıdır (Özkılıç, 2014).

2.3.2.4. Hata Ağacının Sınırlamaları

- Bazı durumlarda, doğal olaylar birbirlerine bağlı değildir ve zirve olaya giden bütün önemli yolları tespit etmek zor olabilir.
- Hata ağacı sabit bir modeldir; zamana bağımlı durumlara değinilmez.
- Hata ağaçları sadece ikili durumlar (hatalı-arızalı\hatasız-arızasız) ile ilgilenir.
- İnsan kaynaklı hata modlarına olasılık atamak için ciddi gözlem veya başka insan hataları ile ilgili risk değerlendirme yöntemleri ile birlikte kullanım gerekebilir.
- Bir hata ağacı, domino etkilerinin ya da koşullu hataların kolayca tespit edilmesini sağlayamayabilir. Belirli arızalara yönelik sonuçların kavranması.
- Bir sistem bileşeninin ya da sürecinin her bir aşamasının işlevinin kavranması.
- İşleyişi etkileyebilecek çevresel ve diğer parametrelerin ayrıntıları.
- Mümkün olan yerlerde verileri ve arıza oranını içeren, arızalar üzerinde- ki tarihsel bilgi (Özkılıç, 2014).

2.3.2.5. Ağaç Yapısı ve Semboller

Sistem performans amaçları ve hedefleri tanımlamada açık bir mantığın gerekli olduğu noktalarda kurulacak sistemi görsel olarak tanımlamada önemlidir. Ağaç yapısının asıl amacı temel insan, cihaz ve çevresel olaylar arasındaki ilişkileri göstermektir. Basit ağaç yapısı sistem hatası veya başarı serilerinin niteliksel karakterizasyonu (Özkılıç, 2014). Open FTA programında hasar ağacı oluşturulurken hasarlar arasındaki bu ilişki mantıksal sembollerle ve kapılar ile gösterilir. Şekil 53'te en çok kullanılan hata ağacı kapı sembolleri ve Şekil 54'de olay sembolleri gösterilmektedir.

	YA DA kapısı • Eğer herhangi bir girdi olayı olursa çıktı olayı olur
	VE kapısı • Eğer tüm girdi olayları eş zamanlı olursa çıktı olayı olur
	ÖNCELİKLİ VE kapısı • Eğer soldan sağa tüm girdi olayları olursa çıktı olayı olur
	AYRICILIKLI YA DA kapısı • Girdi olayının sadece bir tanesi çıktı olayı olur
	ENGELLEME kapısı • Koşullu olaylar olduğu zaman girdiler çıktı üretir

Şekil 53. Hata veya arıza ağacı kapı sembolleri (URL-3, 2005 ; Blischke ve Murthy, 2011; Modarres, 2016; Rama kumar, 1993; Rausand, 2013; Roberts ve Vesely, 1987; Stamatelatos ve William Vesely, 2002; Uğurlu, 2011).

Bir kapıyla olayın gösterilmesi		Başlangıç olay	
Gelişmemiş olay		Transfer sembolü	
Koşullu olay		Ev olayı ya olur yada olmaz	

Şekil 54. Hata veya arıza ağacı olay sembolleri (Ramakumar, 1993; Uğurlu, 2011).

2.3.2.6. Hata Ağacı Analizinin Ana Hedefleri

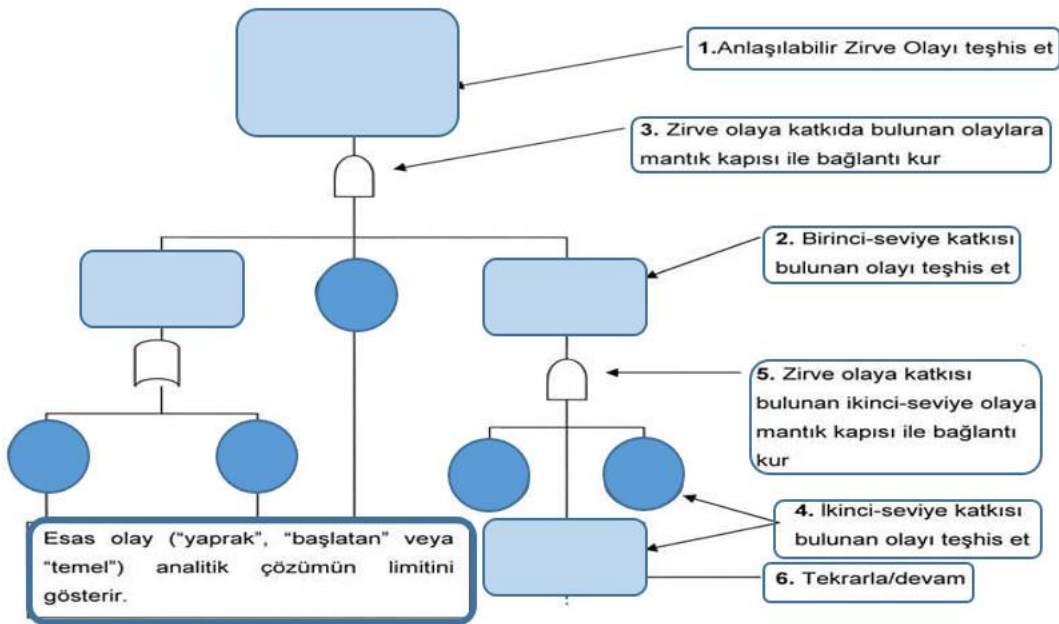
Herhangi bir sistemin güvenilirliğinin tanımlanması. Ayrıca Herhangi bir probleme etki eden karmaşık ve biri birleri ile karşılıklı ilişki içinde bulunan olumsuzlukların belirlenmesi ve bu olumsuzlukların oluşma olasılıklarının değerlendirilmesi. Öte yandan Herhangi bir sistemde kendini tehlike olarak hissettiren tüm problem veya olumsuzlukların sistematik olarak ortaya konulması (Rausand, 2013; Roberts ve Vesely, 1987).

2.3.2.7. Hata Ağacı Analizinin Süreci

Birinci aşamada, analiz için bir proses veya bölüm seçilir ve bileşenler içine listelenir. İkinci aşamada, analiz edilecek olan “zirve olay” tanımlanır. Üçüncü aşamada, bu zirve olay, bir hata ya da bu hatanın daha geniş kapsamlı bir sonucu olabilir. Sonucun analiz edildiği yerde, ağaç gerçek hatanın hafifletilmesi ile ilgili bir bölüm içerebilir. Dördüncü aşamada zirve olay ile başlayarak, muhtemel doğrudan nedenler ya da bir üst duruma neden olan hata modları tanımlanır. Beşinci aşamada hataya nasıl sebep olduğunu tanımlamak için bu hataların her biri analiz edilir. Altıncı aşamada daha fazla analiz verimsiz olana kadar, sırası ile daha düşük sistem seviyelerine göre istenmeyen sistem işlemlerinin adım adım tanımları yapılır. Bu bir donanım sisteminde bileşik hata seviyesi olabilir. Analiz edilen en düşük sistem seviyesindeki durumlar ve doğal faktörler temel durumlar olarak bilinir. Yedinci aşamada Olasılıkların temel durumlara bağlanabildiği yerde, üst durumun olasılığı hesaplanabilir. Sekizinci aşama kantitatif değerlendirmenin bir parçası olarak, hata ağacının benzer hata modlarına açıklama getirmek için “Boole cebri” kullanarak sadeleştirilmesine ihtiyaç duyulabilir. Dokuzuncu aşamada ise Zirve olayın ya da bir üst olayın olasılığının bir tahmininin yanı sıra, zirve olaya giden farklı yolları şekillendiren minimal kesim kümeleri tanımlanabilir ve üst duruma olan etkileri hesaplanır. En son aşama ise Yinelenen durumlar hata ağacının çeşitli yerlerinde bulunduğu, hesaplamaları uygun bir şekilde ele almak ve minimal kesim kümelerini hesaplamak için basit hata ağaçlarının dışında, bir yazılım paketine de ihtiyaç duyulur. Yazılım araçları, tutarlılığı, doğruluğu ve doğrulana bilirliliği sağlamaya yardımcı olur. Bu aşamalar, bir hata ağacı geliştirmeye yönelik adımlardır(Özkılıç, 2014; Rausand, 2013; Roberts ve Vesely, 1987).

2.3.2.8. Sürecin Kısaca ve Şematik Olarak Gösterimi

Birinci aşamada, analiz edilecek olan “zirve olay” tanımlanır, ikinci aşama ise proses ve bölüm ile ilgili kritik arızalar ve tehlikeler tanımlanır, üçüncü aşamada, riskin sebebi tanımlanır ve riskin altına muhtemel bütün sebepleri listelenir ve oval daireler içinde riske bağlanır, dördüncü aşama ise bir kök sebebe doğru ilerlenir. Her risk için sebeplere ulaşana kadar tanımlanır. Beşinci aşamada, her kök sebep için karşıt ölçümler tanımlanır. Altıncı aşamada, beyin fırtınası ile her kritik riskin kök nedeni belirlenir. Her karşıt ölçüt için bir kutu oluşur ve ilgili kök nedenin altına kutular içinde neden ile ve karşıt ölçütleri birbirine bağlanır. Tüm bu amaçlara yönelik olarak FTA diğer metodolojilerde olduğu gibi amaçların belirli olduğu sistematik bir yol izlemek durumundadır. Bu yol genel olarak tanımlama, planlama, değerlendirme ve sonuçların analizi ve önerilerin belirlendiği adımlardan ibarettir. Şekil 55’de hata ağacı oluşturma aşamaları gösterilmiştir (Özkılıç, 2014).



Şekil 55. Hata ağacı oluşturma aşamaları (Özkılıç, 2014).

2.3.2.9. FTA Diyagramının Yapılandırılması

Hata Ağacı Analizinde öncelikle grafik değerlendirmesi yapılır. Zirve olay analizinin baş konusudur ve en önemli etki, performans, sakatlık, tahribat veya kaybı ifade etmektedir.

FTA, prosesle ilgili faktörleri içermektedir. Yani bu faktörlerin direkt veya endirekt etkisinde gelişen diğer olay veya hatalar sonuç olarak zirve olayı oluşturmaktadır. Düşünülen faktörler diyagrama yerleştirilmek üzere listelenir. Hata ağacı analizi diyagramı, diyagramın tüm alt faktörlere kadar oluşturulmasıyla tamamlanır (Özkılıç, 2014).

2.3.2.10. Zirve Olayın Tespiti

“ What if ” senaryoları geliştirilmiş ise bu veriler, geçmiş yangın veya patlama kayıtları (sistemin kendine veya başkalarına ait), enerji kaynaklarına ait olay veya kaza kayıtları, potansiyel kayıp hatalar ile ilgili veriler ve “kontrol listelerinden” elde edilen hatalara ait veriler, zirve olayın tespiti için önemli kaynaklardır (Özkılıç, 2014).

2.3.2.11. Hata Ağacın Sonuçları

Hata ağacından gelen sonuçlardan birincisi iki ya da daha fazla eş zamanlı olayın meydana geldiği durumda, etkileşim yollarını gösterecek şekilde, ikincisi zirve olayın nasıl oluştuğunun grafik ile gösterimi; üçüncüsü her birinin meydana gelme olasılığı (verinin mevcut olduğu yerde) ile minimal kesim kümelerinin (arızaya giden özgün yollar) analizi; dördüncüsü zirve olayının olasılığıdır (kantitatif olarak uygulanırsa)).

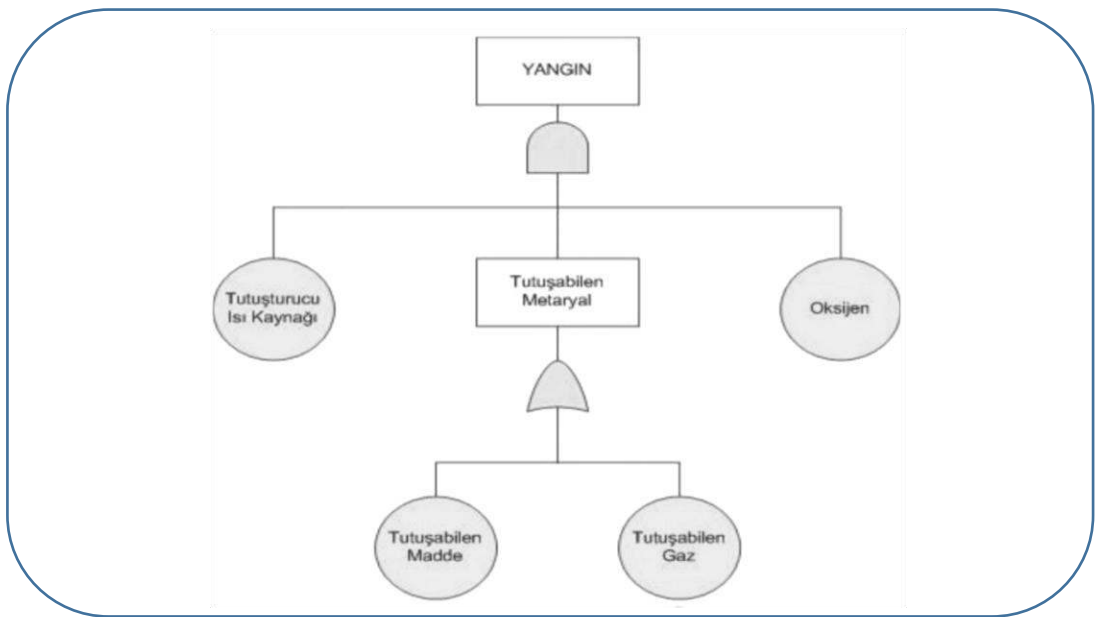
2.3.2.12. Nitel Yaklaşım FTA’nın İnşası

Hata ağacı analizinde ilk yapılması gerekli işlem; sistemi, bileşenlerini ve alt sistemlerini detaylı seviyede tarif etmek ve ortaya koymaktır. İkinci görev ise istenmeyen hatalar ve olaylar için FTA’nın inşasıdır. Bu nedenle hata ağacı analizinde hatalar için verilen tanımlamalar aşırı derecede önemlidir. İstenmeyen olay ya da kaza hata ağacının baş olayı (zirve olayı) olarak tanımlanır. Zirve olayının tanımı olayın ne, nerede ve ne zaman olduğuna cevap verebilir. Baş olaya neden olan etmenler, FTA’nın ikinci seviyesidir (Uğurlu, 2011). Olaylar tanımlandığı ve inşa edildiği zaman gelecek görev nedenler arasındaki mantıksal ilişkiyi kurmaktır. Genellikle baş olay 2. Seviyede eş zamanlı olarak gerçekleşen olaylara bağlıdır ya da tek bir neden baş olaya neden olabilir. FTA’da 3.seviyede nedenler arasında mantıksal ilişki kurulur. Detaylı hata verileri (hata

frekansları) mevcutsa FTA'nın inşası tamamlanır ve sayısal analize geçilir (IEC, 1990.; Uğurlu, 2011). Nitel metodun amacı uzmanların deneyim, bilgi ve araştırmalarını katarak oluşturduğu FTA oluşumunu anlamak ve ele almaktır (Ramakumar, 1993; Uğurlu, 2011). Hata Ağacı inşa edildikten sonra, hata Ağacından faydalanma sırasında, son olayın meydana gelmesi için gerekli ve yeterli koşullar olduğu bütün temel olayların kombinasyonlarını incelemek önemli bir adımdır. Bu kombinasyonlar minimal kesme kümeleri olarak bilinir (Antao ve Soares, 2006; Uğurlu, 2011).

2.3.2.13. Sayısal Yaklaşım Minimum Kesme Kümeleri

FTA'da nitel yaklaşımın amacı hata ağacının oluşumunu anlamak ve genel bir görünüm tesis etmektir. Bu özel karakteristiklere sahip olay kümeleri tarafından elde edilebilir. Hata ağacında temel olay kümeleri eş zamanlı olduğu zaman baş olayı tetikler, bu kümelere hata ağacında kesme kümeleri adı verilir. Aşağıdaki örnekte yangın olayı için basit bir hata ağacı oluşumu gösterilmiştir. Basit olarak bir yangın olayının gerçekleşebilmesi için 3 ana koşulun bir arada olması gerekir. Bunlar tutuşabilen madde, oksijen ve yanıcı madde kaynağıdır (alev, ısı, sürtünme, ark gibi). Hata ağacında yangın olayının gösterilebilmesi için şu nedensel kümelerin olması gerekir; tutuşabilen madde, tutuşabilen gaz, oksijen, ısı ya da ateşleme kaynağı Şekil 56'da verilmiştir (Stamatelatos ve William Vesely, 2002; Uğurlu, 2011).



Şekil 56. Yangın hata ağacı oluşum örneği (Kristiansen, 2005; Uğurlu, 2011).

Bu hata ağacı için bu bir kesme kümesidir, çünkü bu dört olay eş zamanlı olursa baş olay yani yangın olayı başlar. Minimum kesme kümesi sistem bileşenlerinin minimum kümesi olarak tanımlanır. Sistemde oluşturulan bir mantık kümesi diyagramıdır. Eğer tüm bileşenler hatalıysa sistem sonuçları hatalıdır, ancak bileşenlerden biri hatalıysa sistem sonuçları hatalı değildir (Amrozowicz, 1996; Haegeman vd., 2011; Uğurlu, 2011).

Yukarıdaki FTA oluşumu için oluşturulacak minimum kesme kümesi iki nedensel kümeyi içerir (Tutuşturucu ısı kaynağı-oksijen-tutuşabilen madde ve Tutuşturucu ısı kaynağı-oksijen-tutuşabilen gaz). Hata ağacı kesme kümeleri MOCUS (Method of Cut Sets) adlı sistemize bir algoritma ile oluşturulur. MOCUS algoritması 4 adımdan oluşur:

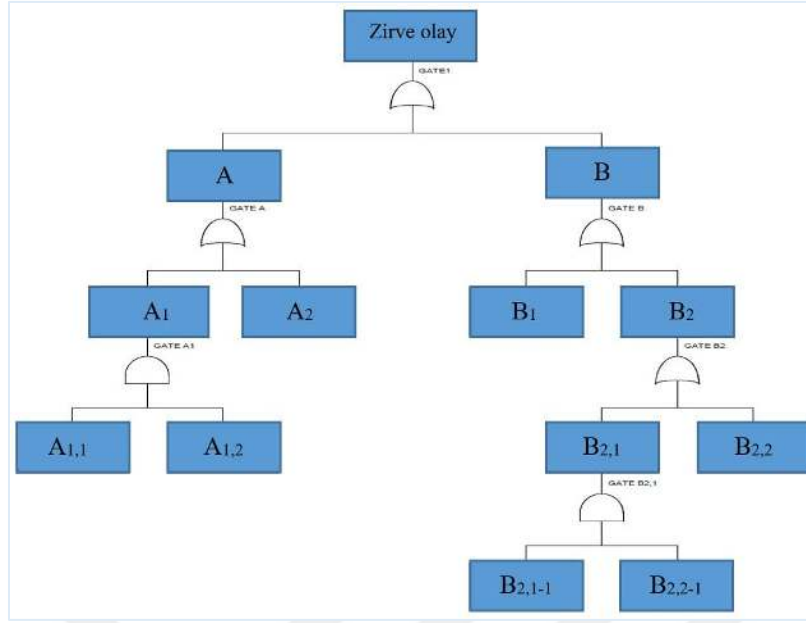
1. Baş olayı göz önünde bulundurmak
2. Aşağıdaki kriterlere göre 2. olaylarla olayı yerine koymak: Eğer en düşük seviyede olaylar bir "ya da" kapısı ile ilişkilendirilirse onlar ayrı bir satıra yazılır, eğer "ve" kapısı ile ilişkilendirilirse onlar ayrı bir sütuna yazılır.
3. Temel olaylar için değil tüm olaylar için 2.adımı art arda gerçekleştirmek
4. Tüm olaylar her bir satırdaki temel olaylar olduğu zaman bir kesme kümesi oluşur.

2.3.2.14. Sayısal Yaklaşım

Hata ağacında sayısal analizde başlangıç olayı hata olasılığı için q_i ve baş olayın hata olasılığını hesaplamak için Q_0 kullanılır. Bu hesaplama oldukça basittir. Sayısal analizde bir sistemin 2 temel karakteristiği düşünülür. Bunlar seri ve paralel yapılarıdır. Bir sistem ya da alt sistemdeki tüm bileşenler bir işleve sahip olduğu zaman sistemin işleyişini sağlamak için bileşenler seri yapıda düzenlenir. Bununla birlikte bileşenlerden sadece biri işleve sahipse tüm sistemi işlevsel kılabilmek için bileşenler paralel yapıda düzenlenir (Uğurlu, 2011).

2.3.2.15. Sayısal Yaklaşım İle Değerlendirme

Hata ağacında nitel değerlendirmede minimum kesme kümeleri tespit edilir. Her bir kesme kümesi eşsiz bir başlangıç olayı içerir ve bu başlangıç olayları eş zamanlı olursa baş olayı tetikler. Baş olayın olma olasılığını azaltmak için başlangıç olaylarını önlemek gereklidir. Hata ağacında her bir başlangıç olayı için önem derecesini hesaplamak mümkündür (Kumamoto ve Henley, 2000). Şekil 57’de örnek FTA oluşumu verilmiştir.

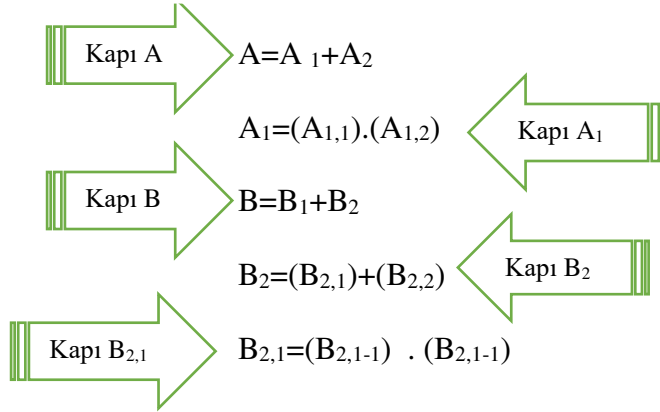


Şekil 57. Örnek hata ağacı oluşumu(Köse, 1990; Uğurlu, 2011).

Aşağıda hata ağacının değerlendirme prosedürleri yer verilmiştir.

1.Adım kapı ifadelerini yazmak.

Zirve olay=A+B



2.Adım kapı ifadelerine başlangıç olaylarını yerleştirmek.

Zirve olay=A+B $\Rightarrow$ Zirve olay=(A₁+A₂)+(B₁+B₂)

$\Rightarrow$ Zirve olay=[((A_{1,1}). (A_{1,2}))+A₂)+ [(B₁+ ((B_{2,1-1}) . (B_{2,1-1}))+ (B_{2,2}))]

Böylelikle baş olay (A_{1,1}), (A_{1,2}), A₂,B₁, (B_{2,1-1}), (B_{2,1-1}), (B_{2,2}) başlangıç olayları ile açıklanmış olur (Köse, 1990; Uğurlu, 2011).

2.4. Güvenilirlik Tanımı

Güvenilirlik, işletme süresi boyunca istenen işletme koşulları altında bir cihaz ya da bir sistemin işlevini yeterince karşılama olasılığı olarak ifade edilebilir. Güvenlik, sistemin ani değişikliklere karşı koyma yeteneği olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle, planlı veya planlanmamış bir devre dışı durumunda veya herhangi bir eleman arızasında sistemin bozulmadan kalma yeteneğidir. Güvenlik sistem dinamikleri ve kısa süreli işletmelerle ilgilidir. Güvenilirlik, yeterlilik ve güvenlik şartlarını, yani hem kısa dönemde hem de uzun dönemde işletimleri inceleyen bilimdir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012). Genel olarak güvenilirlik bir birimin, bir sistemin ya da bir ürünün sahip olması gereken en önemli özellik olarak karşımıza çıkar. Maliyet açısından ise güvenilirlik çoğu zaman maliyeti arttırıcı bir etmen olarak gözükmese de yapılan güvenilirlik değerlendirmeleri sonucunda maliyet ve güvenilirlik arasında optimum bir düzey yakalanarak maksimum performans elde edilebilir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

2.4.1. Sistem Modellemesi

Güvenilirlik analizi yapılabilmesi için öncelikli olarak sistemin işleyiş biçimleri karakteristikleri bilinmesi gereklidir. Analiz sırasında güvenilirliğin ölçütü olabilecek bazı değişkenler tanımlanmaktadır. Bu şekilde gerçeğe yakın değerler elde edilebilir. Tüm bu veriler ışığında bir model ortaya konması gerekmektedir. Burada bahsedilen model, bir matematiksel modeldir. Matematiksel model sistem davranışını ve işleyişini matematiksel bağıntı ve fonksiyonlar ile gösterim şeklinde olmaktadır. (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012) Matematiksel model belirli ve belirsiz model olarak iki ayrı şekilde davranış göstermektedir. Belirsiz modelde sistem rastlantısal bir işleyiş içerisindedir. Yani sistem işleyişinde sistem cevabı olarak farklı sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu nedenle güvenilirlik değerlendirmesi yapılan sistemler belirsiz matematiksel model olarak adlandırılırlar (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

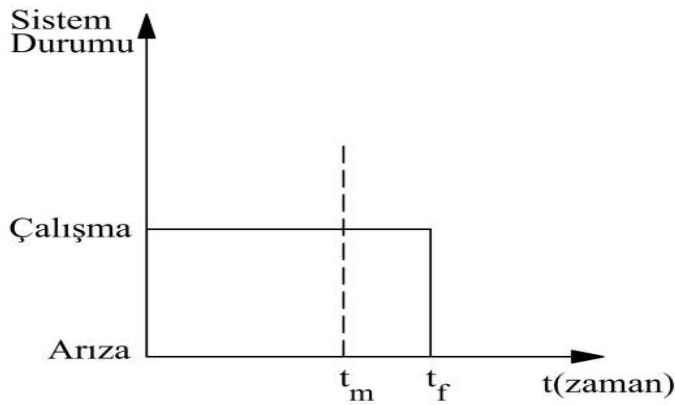
2.4.2. Sistem Tipleri

Belirli bir görevi yerine getirmek için yapılandırılan sistemlerde güvenilirlik analizi iki ayrı grupta değerlendirilmektedir (Ersalıcı, 2012).

1. Onarımsız, koşullandırılmış ve sürekli devrede olmayan sistemler,
2. Onarımlı ve sürekli devrede olan sistemler.

2.4.3. Onarımsız Sistemler

Bu tip sistemlerde işlev kesinti olmaksızın işletim sürecini devam ettirir. Sistem içerisinde yer alan herhangi bir elemanda arıza olduğu takdirde bu tüm sistemin işlevini etkilemez. Sistem işlevi sırasında ortaya çıkan arızalı eleman ya arızalı olarak bırakılır ya da tamiri gerçekleştirilir. Ancak her durumda da sistem işleyişi kesintiye uğramadan devam eder. Şekil 58’de onarımsız (belirli bir göreve koşullanmış) bir sistemin zamana bağlı davranış grafiği yer almaktadır. Bu grafikte (Şekil 58) t_m görev süresini, t_f ise arızaya kadar olan süreyi göstermektedir (Ersalıcı, 2012).

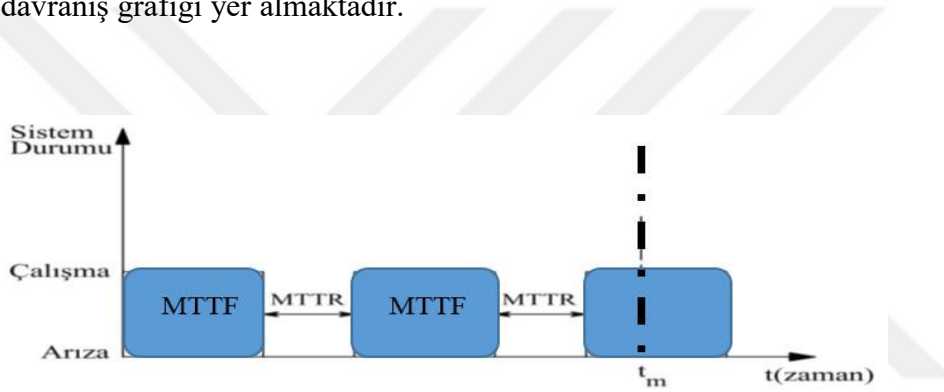


Şekil 58. Onarımsız sistemin zamana göre davranışı (Brown, 2002).

Şekil 58’de görüldüğü gibi onarımsız sistemlerde görev süresi arızaya kadar geçen süreden küçük ise sistem başarılıdır şeklinde yorumlanır.

2.4.4. Onarımli Sistemler

Bu tip sistemlerde çalışma, arıza ve onarım şeklinde bir döngüden söz edilebilir. Arıza durumunda arızalı sistem onarılabilir, yenisi ile değiştirilebilir ya da arıza giderilene kadar benzer bir eleman bu arıza durumundaki elemanın yerine ilgili görevi üstlenebilir. Bu tip sistemler arıza durumu sık ve uzun olmadığı takdirde kabul gören sistemlerdir. Elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemleri bu kategoride değerlendirilmektedirler. Çeşitli iklim ve çevre şartları, kısa devre, aşırı yük gibi sistemi oluşturan elemanlarda oluşacak bir arıza sonucunda ilgili sistem arıza giderilene kadar devre dışı kalacaktır (Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012). Şekil 59’da onarımli (sürekli devrede olan) sürekli işletimde olan bir sistemin zamana bağlı davranış grafiği yer almaktadır.



Şekil 59. Onarımli sistemin zamana göre davranışı (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012) .

Şekil 59’da görüleceği üzere ilk arıza MTTF (Mean Time To Failure – ortalama arıza zamanı) olarak ifade edilen süre sonucunda ortaya çıkmaktadır. İlgili arızanın giderilmesi gereken süre ise MTTR (Mean time to repair – ortalama tamir süresi) olarak gösterilmiştir. Arıza tamir döngüsü içerisinde yer alan bu sistemde arıza süresi ve arızayı giderme süreleri farklılıklar göstermesi beklenmektedir (Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

2.4.5. Güvenilirlik Kavramları ve Fonksiyonları

Modern istatistik ve mühendislik değerlendirmelerinin ışığında, sistemlere ait geçmiş değerlendirmeleri vasıtasıyla gelecek tahminleri yapma ve sistem güvenilirliği analizi ihtiyacı, gelişen teknoloji ve dünya şartlarıyla ayrı bir önem arz etmektedir (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012 ; Rausand, 2013).

Bu nedenle sürekli işletimlerde olan sistemlerde yaşanan çalışma – arıza – tamir döngüsü içerisinde yapılan değerlendirmelerde bazı kavramlar ele alınarak değerlendirmeler ortaya konabilmektedir. Matematiksel olarak sistemin ifadesi için öncelikli olarak güvenilirlik fonksiyonu $R(t)$ ve arıza dağılım fonksiyonu $Q(t)$ modele dâhil edilmelidir (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012; Rausand, 2013).

Denklem (2.1)'de $R(t)$ ve $Q(t)$ fonksiyonları arasındaki bağıntı gösterilmektedir (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012; Rausand, 2013).

$$R(t) + Q(t) = 1 \quad (2.1)$$

$R(t)$, güvenilirlik fonksiyonu olarak adlandırılır ve t zamanında elemanın veya sistemin işlevini sürdürebilme olasılığını göstermektedir. Arıza olasılığı olarak da ifade edilen $Q(t)$ dağılım fonksiyonu özellikleri taşır. Bu nedenle $Q(t)$ 'ye arıza dağılım fonksiyonu da denilmektedir. Denklem (2.2)'de güvenilirlik fonksiyonunun matematiksel ifadeleri yer almaktadır (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).

$$R(t) = 1 - Q(t) \quad (2.2)$$

Denklem (2.3)'te arıza olasılık fonksiyonunun matematiksel ifadesi yer almaktadır.

$$F(t) = Q(t) \quad (2.3)$$

Arıza dağılım fonksiyonunun türevi ise arıza yoğunluk fonksiyonu olarak karşımıza çıkar. Bu ifade denklem (2.4)'te belirtilmiştir (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.4)$$

Güvenilirlik hesaplamalarında sistemde yer alan elemanlar için arıza ve tamir süreleri sabit olarak kabul edilmektedir. Arıza ve tamir oranları sistemin çalışmakta olan durumundan bir diğerine geçişi ile ilgilenir. Sistemin genel olarak çalışma hızı ile ilgilenmez. Bu nedenle bu oranlar birer üstel fonksiyon cinsinden ifade edilebilirler. Bu durumda; denklem (2.5)'te arıza yoğunluk fonksiyonu arıza hızı (λ) ve zaman (t) cinsinden ifadesi yer almaktadır (Özdemir, 1996; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} ; t \geq 0, \lambda > 0 \quad (2.5)$$

Denklem (2.6)'da ise arıza olasılık fonksiyonunun üstel yoğunluk fonksiyonu olması durumunda ifadesi yer almaktadır (Özdemir, 1996; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

Denklem (2.7)'de ise güvenilirlik fonksiyonunun üstel yoğunluk fonksiyonu olması durumuna ait ifadesi yer almaktadır (Özdemir, 1996; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

$$R(t) = 1 - Q(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

Ortalama arıza zamanı (MTTF) için ise üstel yoğunluk fonksiyonu olması durumundaki ifadesi denklem (2.8)' de gösterilmiştir (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.8)$$

Ortalama onarım süresi (MTTR) ise denklem (2.9)'de olduğu gibi ifade edilmektedir.

$$MTTR = \int_0^{\infty} t \cdot f_0(t) dt \quad (2.9)$$

Arızaya kadar geçen ortalama süre, MTBF olarak ifade edilmektedir. Bu durumda MTBF ifadesi denklem (2.10)' deki gibi ifade edilmelidir (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad (2.10)$$

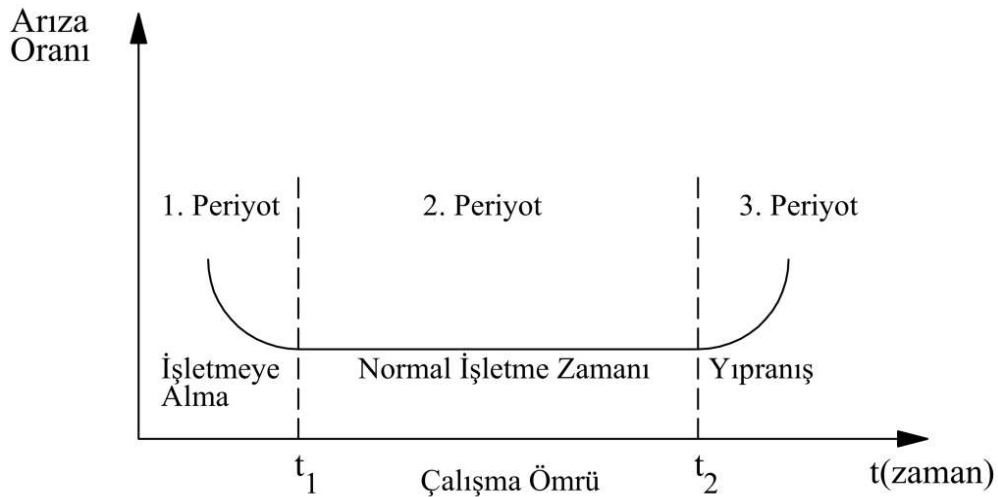
Ancak incelenen sistemler göz önüne alındığında $MTTF \gg MTTR$ şeklinde bir ifade ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle MTBF karşılığı Denklem (2.11)'deki şekliyle gibi kabul edilir (Özdemir, 1996; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

$$MTBF = MTTF \quad (2.11)$$

Yukarıda bahsedilen güvenilirlik indisleri içerisinde yer alan λ , arıza hızı (normal işletimden arızaya geçiş oranı). Birim zamandaki arıza sayısının arızalanabilecek birim sayısına oranıdır. Denklem (2.12)'deki gibi ifade edilir (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).

$$\lambda(t) = \frac{\text{Birim zamandaki Arıza Sayısı}}{\text{Arızalanabilecek Birim Sayısı}} \quad (2.12)$$

Sabit arıza oranı, üstel fonksiyonlu rastgele arıza zamanına sebep olur. Şekil 60'da arıza hızının çalışma ömrü ile değişimini gösteren kuvvet karakteristiği yer almaktadır.



Şekil 60. Kuvvet karakteristiği (Özdemir, 1996; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

Arıza hızının zamanla değişimini ele alan küvet karakteristiği 3 ayrı periyottan oluşmaktadır. Bunlardan ilki işletmeye alma şeklinde isimlendirdiğimiz üretim kaynaklı hatalar bütünüdür. Bu hatalar montaj ve fabrikasyon hatalarından meydana gelir. Zamanla birlikte arızaların düzeltilmesiyle arıza hızında da bir düşüş gözlemlenir. İkinci olarak ele aldığımız periyot ise normal işletme zamanı olarak adlandırılır. Bu süreç için faydalı ömür sürecinde denilmektedir. Sistemde üretim ve montaj kaynaklı hataların giderildiği süreçtir. Arızalar rastlantısal olarak gelişir ve arıza oranı bu periyot boyunca sabittir (Özdemir, 1996; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012). Son olarak ele aldığımız periyot ise yıpranma süreci olarak kabul edilir. Sistem elemanlarının yıpranmasından dolayı zamanla performansları düşer. Bu durum gerekli bakım çalışmalarının eksikliği ile birlikte arıza hızının artması olarak karşımıza çıkar. Güvenilirlik değerlendirmelerinde kullanılan bir diğer indis arızadan normal işleme geçiş oranı olan μ (onarım hızı)'dır. Denklem (2.13)'deki gibi ifade edilmektedir (Özdemir, 1996; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

$$\mu(t) = \frac{\text{Birim zamandaki Onarım Sayısı}}{\text{Onarılabilecek Birim Sayısı}} \quad (2.13)$$

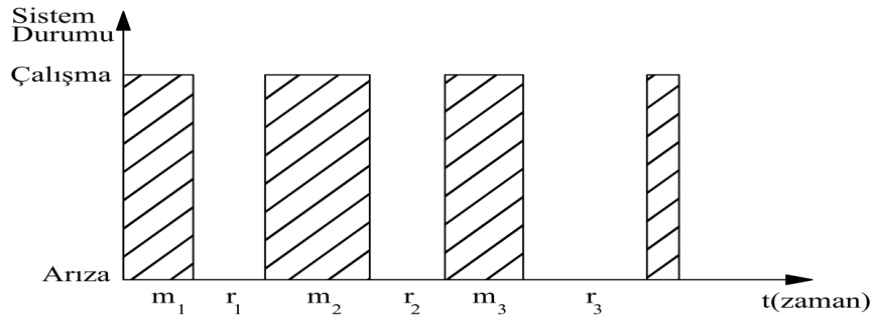
2.4.6. Sürekli İşletimde Olan Sistemlerde Arıza – Tamir Döngüsü

Tamir edilebilen elemanlardan kurulan ve sürekli işletimde olan sistemler, işletim süreleri boyunca çalışma – arıza – tamir – çalışma döngüsü içerisinde yer alırlar. Şekil 61'de çalışma – arıza – tamir döngüsü yer almaktadır (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).



Şekil 61. Arıza tamir döngüsü (Billinton ve Allan, 2012;Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012)

Sistemde yer alan tüm elemanlar için yukarıda bahsedilen döngüden söz edilebilir. Güvenilirlik analizindeki asıl amaç seçilen model üzerinde arıza ve tamir işlevlerini olasılıksal olarak tahmin etmektir. Arıza – tamir döngüsü içerisinde yer alan bir elemana ait çalışma devresini gösteren durum uzay diyagramı şekil 62'de yer almaktadır.



Şekil 62. Sürekli işletimde olan bir elemana ait durum uzay diyagramı (Billinton ve Allan, 2012; Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).

Şekil 62’de yer alan modele göre sistemde yer alan eleman ya devrededir ya da devre dışıdır. Burada m arızaya kadar geçen ortalama süre (MTTF), r ise onarıma kadar geçen ortalama süreyi (MTTR) ifade etmektedir. N arıza sayısı olmak üzere, m ’ye (arızaya kadar geçen ortalama süre) ilişkin ifade Denklem (2.14)’de yer almaktadır (Ersalıcı, 2012).

$$\bar{m} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i \quad (2.14)$$

N arıza sayısı olmak üzere, r ’ye (onarımına kadar geçen ortalama süre) ilişkin ifade denklem (2.15)’de yer almaktadır (Billinton ve Allan, 2012; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

$$\bar{r} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i \quad (2.15)$$

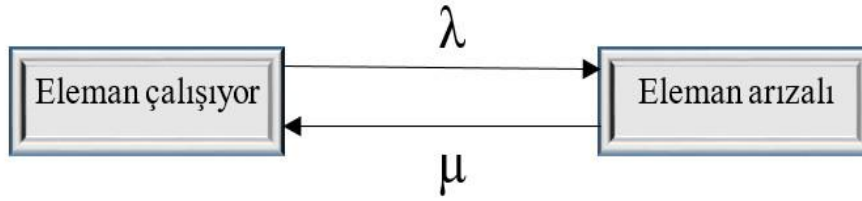
Arızaya kadar olan ortalama süre ile tamire kadar olan ortalama sürelerin toplamı elemana ait periyot (T) olarak karşımıza çıkar. Denklem (2.16)’da periyot yer almaktadır (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$T = \bar{m} + \bar{r} \quad (2.16)$$

Denklem (2.17)’de ise arıza frekansı gözükmemektedir (Ersalıcı, 2012).

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\bar{m} + \bar{r}} \quad (2.17)$$

Güvenilirlik analizi problemlerinde sistemde yer alan elemanların arıza – tamir oranlarının sabit olduğu varsayımı yapılmaktadır. Burada bahsedilen arıza – tamir oranları sistemin bir durumdan diğer duruma geçiş oranıdır, sistemin çalışma hızı ile karıştırılmamalıdır. Bu durum daha önce denklem (2.5) ve denklem (2.6), denklem (2.7)’de gösterildiği gibi üstel dağılımlarla ifade edilebilmektedir. Şekil 63’de tamir oranının sabit ve üstel şekilde ifade edilen bir elemanın durum geçiş diyagramı yer almaktadır (Ersalıcı, 2012; Özdemir, 1996).



Şekil 63. Tek elemanlı sistem için durum geçiş diyagramı (Ersalıcı, 2012).

Normal işletimden arızaya geçiş oranı olan λ ifadesi, denklem (2.18) 'deki gibi elde edilmektedir (Billinton ve Allan, 2012; Rausand, 2013;Ersalıcı, 2012).

$$\lambda = \frac{1}{\bar{m}} \quad (2.18)$$

Arızadan normal işleme geçiş oranı olan μ ifadesi ise, denklem (2.19) 'daki gibi elde edilmektedir (Billinton ve Allan, 2012; Rausand, 2013;Ersalıcı, 2012).

$$\mu = \frac{1}{\bar{r}} \quad (2.19)$$

Denklem (2.17), denklem (2.18), ve denklem (2.19) birlikte düşünüldüğü takdirde, frekans bağıntısı denklem (2.20)'deki gibi olacaktır (Ersalıcı, 2012).

$$f = \frac{\lambda\mu}{\lambda+\mu} \quad (2.20)$$

2.4.7. Kullanılabilirlik

Şekil 2.6'da verilen iki durum modeline göre bir eleman çalışır durumda ya da arızalı durumdadır. Çalışır durum için kullanılabilirlik (A), arıza durumu için ise kullanılamazlık karşımıza çıkmaktadır. Kullanılamazlık tamir edilen bir eleman veya sistemin bakım için ihtiyaç duyduğu bir performans ölçüsüdür. Sistemin düzgün çalışabilme olasılığı olarak da tanımlanabilir. Kullanılabilirlik ifadesi denklem (2.21)'de gösterilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$A = \frac{MTTF}{MTBF} = \frac{\bar{m}}{\bar{T}} \quad (2.21)$$

MTBF ifadesinin karşılığı denklem (2.22)' de gösterilmiştir (Ersalıcı, 2012).

$$MTBF=MTTF+MTTR \quad (2.22)$$

Bu durumda kullanılabilirlik ifadesi denklem (2.23)'deki gibi olur (Ersalıcı, 2012).

$$A = \frac{\bar{m}}{\bar{m}+\bar{r}} = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \quad (2.23)$$

Denklem (2.24)'de kullanılabilirlik (A) ve kullanılamazlık arasındaki eşitlik yer almaktadır (Billinton ve Allan, 2012; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

$$A+U=1 \quad (2.24)$$

Denklem (2.25) ve denklem (2.24) dikkate alındığında kullanılamazlık ifadesi denklem (2.25)'deki gibi olacaktır (Billinton ve Allan, 2012; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

$$U = \frac{r}{m+r} = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} \quad (2.25)$$

Onarımlı, sürekli devrede olan sistemler için bağlantı şekilleri güvenilirlik analizi yapılacak olan sistemler, seri ve paralel sistemler olduğu gibi daha karışık sistemlerden oluşabilmektedir. Bu nedenle analizi gerçekleştirilecek olan sistemlere ait güvenilirlik indislerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sabit güvenilirlik parametresi üzerinden sistemleri oluşturan elemanların bağlantı tiplerinin güvenilirliğe etkileri, güvenilirlik değerlendirmeleri aşağıda verilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

2.4.8. Onarımlı, Sürekli Devrede Olan Sistemler İçin Bağlantı Şekilleri

Güvenilirlik analizi yapılacak olan sistemler, seri ve paralel sistemler olduğu gibi daha karışık sistemlerden oluşabilmektedir. Bu nedenle analizi gerçekleştirilecek olan sistemlere ait güvenilirlik indislerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sabit güvenilirlik parametresi üzerinden sistemleri oluşturan elemanların bağlantı tiplerinin güvenilirliğe etkileri, güvenilirlik değerlendirmeleri aşağıda verilmiştir (Billinton ve Allan, 2012 ; Ersalıcı, 2012).

Seri bağlı fazlalıksız sistemler: Seri bağlı elemanlardan oluşan sistemlerde, sistemin başarılı olabilmesi için tüm elemanların işletimde olması gerekmektedir. Seri bir sistemde elemanlardan birinde oluşan bir arıza tüm sistemin arızalanmasına sebep olur. Burada konu olan seri bağıllık güvenilirlik açısından değerlendirilmelidir, birimlerin (elektrik devrelerindeki gibi) seri olduğu anlamına gelmez (Özdemir, 1996; Billinton ve Allan, 2012; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012). Şekil 64'de güvenilirlik açısından seri bağlı bir sisteme ait blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 64. Seri bağlı sistem blok diyagramı (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).

Burada N elemanlı bir sistem için elemanların güvenilirlikleri sırasıyla $R_A, R_B, \dots$

R_n n adet seri bağlı birim için tüm sistem güvenilirliği denklem (2.26)'da verilmiştir (Özdemir, 1996; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

$$R_{SERİ} = R_s = R_A \cdot R_B \cdots R_n = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2.26)$$

Bu durumda sistemin güvenilmezliği Denklem (2.27) ile ifade edilir (Özdemir, 1996; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

$$Q_{SERİ} = 1 - R_s = 1 - (R_A \cdot R_B \cdots R_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i) \quad (2.27)$$

Güvenilmezlik ifade edilirken yüksek mertebeden arıza olasılıkları çarpımları sıfır kabul edilmiştir. Güvenilirlik fonksiyonun zamana bağlı ifadesi ise denklem (2.28)'deki gösterilmiştir (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).

$$R_{SERİ}(t) = R_s(t) = R_A(t)R_B(t) \dots R_n(t) \quad (2.28)$$

Seri bağlı sistemlerin arıza hızı cinsinden ifadesi denklem (2.29)'daki gibidir (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).

$$R_{SERİ}(t) = \left(e^{-\int_0^t \lambda_A(t) dt} \right) \cdot \left(e^{-\int_0^t \lambda_B(t) dt} \right) \dots \left(e^{-\int_0^t \lambda_n(t) dt} \right) \quad (2.29)$$

Güvenilirlik açısından seri sistemlerin arızaya kadar geçen ortalama süresi (MTTF) denklem (2.30) yardımı ile hesaplanır (arıza hızı sabit kabul edilmiştir) (Rausand, 2013)

$$MTTF = \int_0^\infty R_s(t) dt \quad (2.30)$$

Tamir edilebilen iki elemanlı seri bir sistem için kullanılabilirlik (A) ifadesi denklem (2.31)'de gösterilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$R_{SERİ}(t) = A_1 \cdot A_2 \quad (2.31)$$

Denklem (2.31)'de birinci elemanın kullanılabilirliğine karşılık gelen A_1 , ortalama arıza zamanı ($\bar{m}_1$), ve ortalama tamir zamanı ($\bar{r}_1$) cinsinden ifadeleri denklem (2.32)'de belirtilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

$$A_1 = \frac{\bar{m}_1}{\bar{m}_1 + \bar{r}_1} \quad (2.32)$$

Denklem (2.31)'de ikinci elemanın kullanılabilirliğine karşılık gelen A_2 , ortalama arıza zamanı ($\bar{m}_2$), ve ortalama tamir zamanı ($\bar{r}_2$) cinsinden ifadeleri Denklem (2.33)'de belirtilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$A_2 = \frac{\bar{m}_2}{\bar{m}_2 + \bar{r}_2} \quad (2.33)$$

Denklem (2.32) ve Denklem (2.33), Denklem (2.31)'de yerine yazılırsa seri sisteme ait kullanılabilirlik ifadesi ($R_{SERİ}$) denklem (2.34)'deki gibi olur (Billinton ve Allan, 2012).

$$R_{SERİ}(t) = A_1 \cdot A_2 = \frac{\bar{m}_1}{\bar{m}_1 + \bar{r}_1} \cdot \frac{\bar{m}_2}{\bar{m}_2 + \bar{r}_2} \quad (2.34)$$

Tamir edilebilen iki elemanlı seri bir sistem için arıza sıklığı ifadesi denklem (2.35)'de gösterilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$f_{SERİ}(t) = f_1 A_2 \cdot f_2 A_1 \quad (2.35)$$

Denklem (2.35)'de yer alan f_1 birinci elemanın arıza sıklığı, f_2 ise ikinci elemanın arıza sıklığını ifade etmektedir. Tamir edilebilen iki elemanlı seri sistemden oluşan sistemin arıza oranı (λ_s) iki elemanın arıza oranı toplamı olarak Denklem (2.36)'daki gibi ifade edilir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$\lambda_{SERİ} = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (2.36)$$

Tamir edilebilen iki elemanlı seri sistemden oluşan sistemin tamir oranı (r_s) denklem (2.37)'deki gibi ifade edilir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$r_{SERİ} = \frac{1}{\mu_s} = \frac{\lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad (2.37)$$

Denklem (2.36) ve Denklem (2.37)'de belirtilen ifadeler N tane seri bağlı elamandan oluşan sistemler için düşünülebilir. Bu durumda Denklem (2.38)' de N adet seri elamanlı bir sisteme ilişkin arıza oranı verilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (2.38)$$

Denklem (2.39)'da N adet seri elamanlı bir sisteme ilişkin ortalama tamir süresi yer almaktadır (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

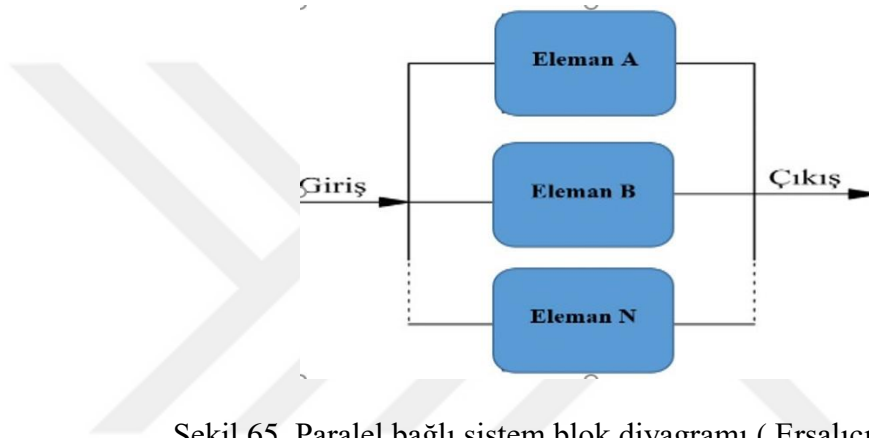
$$r_s = \frac{1}{\mu_s} = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_i r_i}{\sum_{i=1}^N \lambda_i} \quad (2.39)$$

N adet seri elemanlı bir sisteme ait kullanılamazlık ifadesi ise denklem (2.40)'da gösterilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$U_s = \lambda_s \cdot r_s = \sum_{i=1}^N \lambda_i r_i \quad (2.40)$$

2.4.9. Paralel Bağlı Fazlalıklı Sistemler (Redundant Systems)

Bu tip sistemlerin çalışması için bir bileşenin sağlam olmasının yeterli olduğu sistemlerdir. Kritik sistemlerde kullanılırlar. Seri sistemlere göre daha pahalı bir yapıdırlar. Buradaki paralellik aynı seri sistemlerde olduğu gibi güvenilirlik analizi bakımından değerlendirilmektedir, elektrik devrelerindeki elemanların birbirine paralel bağlanması anlamı çıkarılmamalıdır (Özdemir, 1996). Şekil 65’de güvenilirlik açısından paralel bağlı bir sisteme ait blok diyagramı verilmiştir (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).



Şekil 65. Paralel bağlı sistem blok diyagramı (Ersalıcı, 2012).

Güvenilirlik açısından paralel bir sistemi oluşturan elemanların güvenilmezliklerinin çarpımı sistem güvenilmezliğini verir. Denklem (2.41)’de sistem güvenilmezliğine ait ifade yer almaktadır (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).

$$Q_{PARALEL} = Q_P = Q_A \cdot Q_B \cdot \dots \cdot Q_n = \prod_{i=1}^n Q_i \quad (2.40)$$

Denklem (2.42)’de paralel bağlı sistemlerde sistem güvenilirliğine ait ifade yer almaktadır (Özdemir, 1996).

$$R_{PARALEL} = 1 - Q_P = 1 - (Q_A \cdot Q_B \cdot \dots \cdot Q_n) = 1 - \left(\prod_{i=1}^n Q_i \right) \quad (2.42)$$

Güvenilmezlik fonksiyonunun zamana bağlı ifadesi Denklem (2.43)’de gösterilmiştir (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).

$$Q_{PARALEL}(t) = Q_P(t) = Q_A(t) \cdot Q_B(t) \cdot \dots \cdot Q_n(t) \quad (2.43)$$

Paralel bağlı sistemlerin arıza hızı (λ) cinsinden güvenilmezlik ifadesi ise denklem (2.44)’de ifade edilmiştir (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).

$$Q_P(t) = \left(1 - e^{-\int_0^t \lambda_A(t) dt} \right) \cdot \left(1 - e^{-\int_0^t \lambda_B(t) dt} \right) \cdot \dots \cdot \left(1 - e^{-\int_0^t \lambda_n(t) dt} \right) \quad (2.44)$$

Güvenilirlik açısından paralel bağlı sistemlerin arızaya kadar geçen ortalama süresi (MTTF) Denklem (2.45)'de ifade edilmiştir (Özdemir, 1996; Ersalıcı, 2012).

$$MTTF = \int_0^{\infty} R_p(t) dt \quad (2.45)$$

Tamir edilebilen iki elemanlı paralel bir sistem için kullanılamazlık ifadesi Denklem (2.46)'de gösterilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$U_p = U_1 \cdot U_2 \quad (2.46)$$

Tamir edilebilen iki elemanlı paralel bir sistem için tamir oranı (μ_p) ifadesi Denklem (2.47)'de gösterilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$\mu_p = \mu_1 + \mu_2 \quad (2.47)$$

Tamir edilebilen iki elemanlı paralel bir sistem için kesintide olduğu ortalama süre ifade eden denklem (2.48)'de gösterilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$r_p = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{1}{\mu_p} = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \quad (2.48)$$

Tamir edilebilen iki elemanlı paralel bir sistem için sistemin arıza oranı (λ_p) Denklem (2.49)'da gösterilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$\lambda_p = \lambda_1 \cdot \lambda_2 (r_1 + r_2) \quad (2.49)$$

Tamir edilebilen üç elemanlı paralel bir sistem için tamir oranı (μ_p) ifadesi Denklem (2.50)'de gösterilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$\mu_p = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \quad (2.50)$$

Tamir edilebilen üç elemanlı paralel bir sistem için kesintide olduğu ortalama süresi ifade eden Denklem (2.51)'de gösterilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$r_p = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} = \frac{1}{\mu_p} = \frac{r_1 \cdot r_2 \cdot r_3}{(r_1 \cdot r_2) + (r_2 \cdot r_3) + (r_1 \cdot r_3)} \quad (2.51)$$

Tamir edilebilen üç elemanlı paralel bir sistem için sistemin arıza oranı (λ_p) Denklem (2.52)'de gösterilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Ersalıcı, 2012).

$$\lambda_p = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 [(r_1 \cdot r_2) + (r_2 \cdot r_3) + (r_1 \cdot r_3)] \quad (2.52)$$

Tamir edilebilen iki elemanlı paralel bir sistem için arıza sıklığı (f_p) Denklem (2.53)'te gösterilmiştir (Billinton ve Allan, 2012; Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

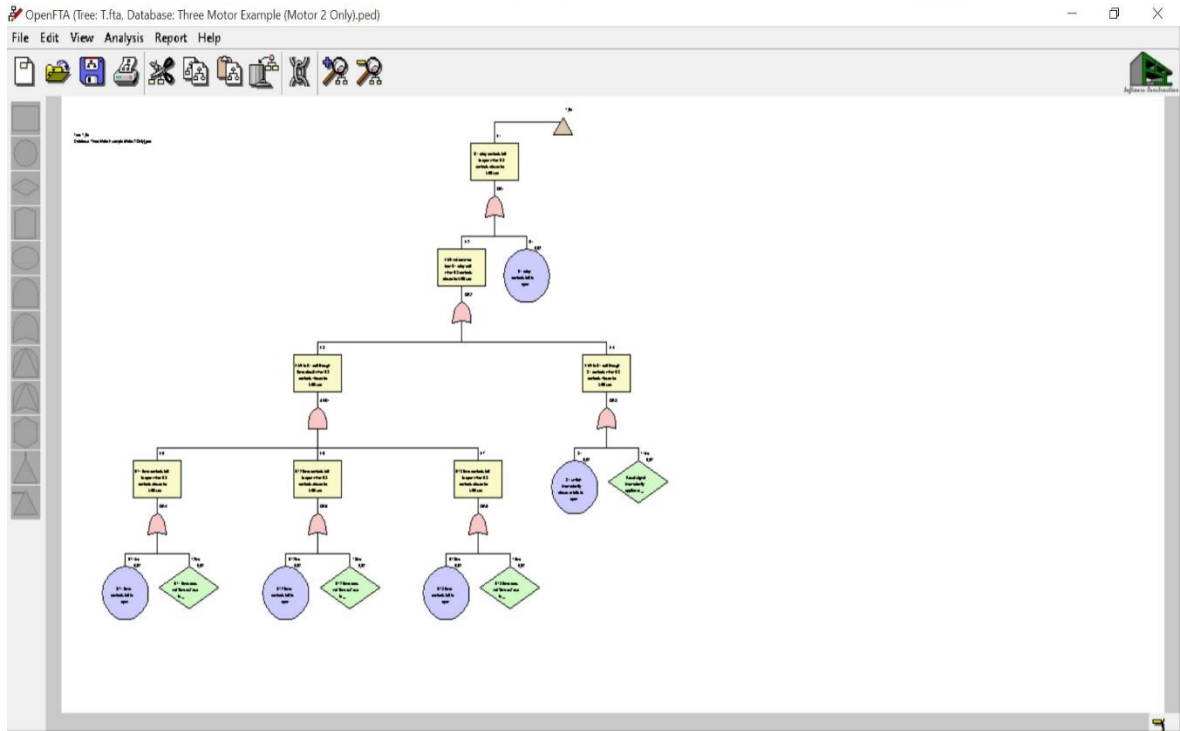
$$f_p = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 (r_1 + r_2)}{(1 + \lambda_1 r_1) \cdot (1 + \lambda_2 r_2)} \quad (2.53)$$

Tamir edilebilen iki elemanlı paralel bir sistem için sağlanmazlık, sıklık (f_p) ve ortalama arıza süresi ifadesi Denklem (2.54)'de gösterilmiştir (Rausand, 2013; Ersalıcı, 2012).

$$U_p = r_p \cdot f_p \quad (2.54)$$

2.5. Open FTA Programının Tanıtımı

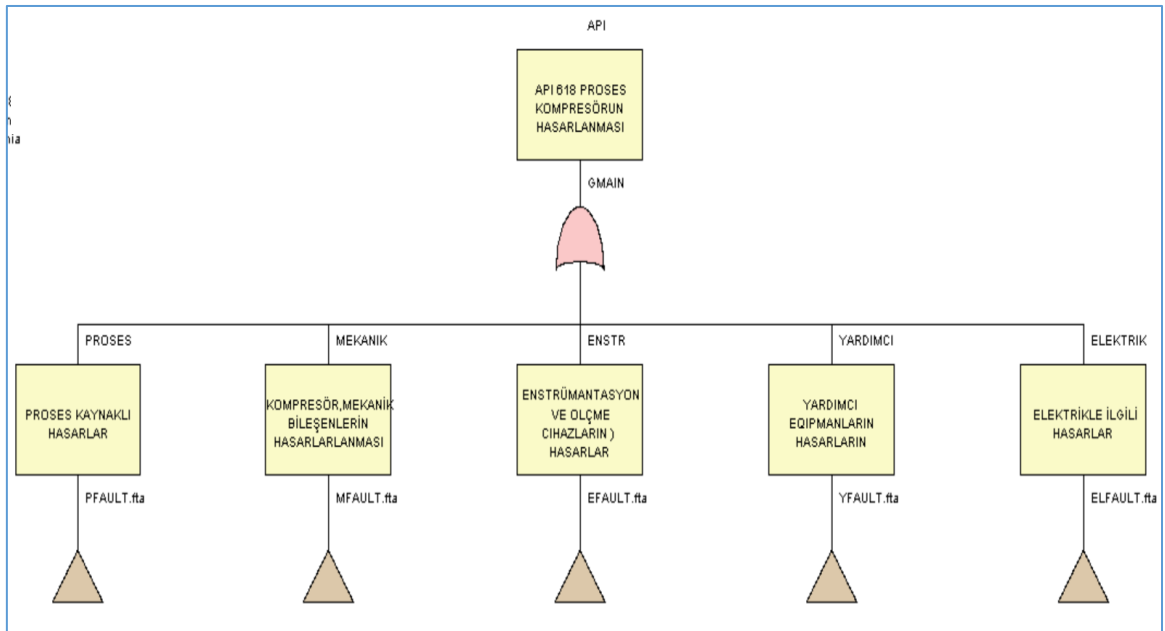
Hata ağacı analizi modellemesi yapmak için birçok program kullanılmaktadır. Sunulan tez çalışmasında kompresörün hata ve hasarlarını analiz etmek için, Open FTA programı kullanılmıştır. Open FTA; hata ağacı analizi için geliştirilmiş üst düzey bir programdır. Program hata ağacı oluşturmayı, modifiye etmeyi ve analiz etmeyi mümkün kılar. Open FTA programı petrol ve gaz endüstrilerde, havacılık, uzay, tıbbi malzeme, nükleer, savunma alanları gibi alanlarda uluslararası kabul görmek için tasarlanmıştır. Şekil 66’da örnek open FTA programının sekmeleri ve komutları gösterilmektedir (URL-3, 2005).



Şekil 66. Örnek Open FTA programının sekmeleri ve komutları (URL-3, 2005).

2.6. API 618 Piston Tipli Kompresörlerin Meydana Gelen Hasarlar

Sunulan tez çalışmasında, yaşam döngüsünde olan API 618 kompresörün, hasarları ve hatalarını, FTA yöntemi ile güvenilirlik, operasyon ve bakım açısından değerlendirilmiştir. Bu kapsamda sistemin fonksiyon seviyesi ve sistem ağacı ortaya konulmuştur. Birinci seviyede olan kompresörün 103 ünitesi (yani ana ünite) yer almaktadır ikinci ise kompresör cihazına bağlı olan tam cihazlardır. Üçüncü seviye alt küme yani üçüncü seviyede olan cihazların her biri yar almaktadır. Dördüncü seviye ise her cihaz ve ya sistemin, alt sistemleri (kompresörün electrical, mekanik ve enstrümantal kısımlı) beşinci seviyesi kompresörün elektriksel, mekanik ve enstrümantal kısımlarında olan parçalar ve en son seviyelerde kompresör ait olan tam parçalarının içinde olan parçacıklar yer almaktadırlar. API 618 Piston tipli kompresörlerde meydana gelen hasarların temel etmenler sırasıyla proses kaynaklı hasarlar, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarları, enstrümantasyon ve ölçme cihazları hasarları, yardımcı ekipmanların hasarları, elektrikle ilgili hasarlar olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle bu çalışmada hata ağacı analiz yapılırken bu 5 temel etmen ele alınmıştır (Şekil 67).

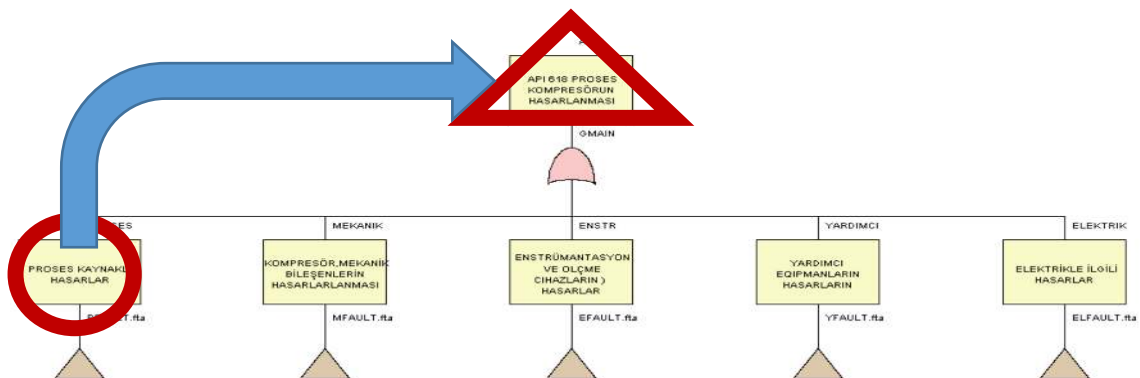


Şekil 67. Piston tipli kompresörlerde meydana gelen hasarların temel etmenler

Hasarlara neden olan başlangıç olaylarının olasılık değerleri hesaplanırken *OREDA* ve *NSWC* ve *NPRD* ve birçok, İran'ın dördüncü gaz rafinerisinin dokümanlarından ve kobelco kompresörün sorun giderme dokümanları ve bakım ve onarım kitaplarından yararlanılmıştır. Bu kitaplar ve veritabanları, tez çalışmasının kaynaklar bölümünde mevcuttur (Adams, 2010; Affonso, 2013; Azadani, 2006; Bauer vd., 2009; Becker vd., 2002; Ben-Daya vd., 2016; Benbow ve Broome, 2009; Berk, 2009; Birolini, 2007; Blischke ve Murthy, 2003, 2011; Bloch, 1998, 2009; Bloch ve Geitner, 1997a, 2004, 2012; Bloch ve Soares, 1998; Bloom, 2005; Calixto, 2012; Carvill, 2012; IEC, 1990; API, 2015; Consulting vd., 2014; API, 1989; Dhillon, 1999, 2008; Division, 1998; Forsthoffer, 2005c; Greenfield ve Eberle, 2008; Gresh, 2001; Gresham ve Totten, 2008; Gulati ve Press, 2012; Haimes, 2011; Higgins ve Mobley, 2001; Jardine ve Tsang, 2013; Jones, 2001; Jones, 2011; Kobelco, 2006; Lewis, 1996; Lieberman, 2011; Macdonald, 2003; Mannan, 2004; Matthews, 1998; McMillan, 2004; Mobley vd., 2008; Mobley, 1999, 2011; Modarres, 2016; Özkılıç, 2014; Qua vd., 2015; Rausand, 2009, 2014; rehim, 2013; Esfahany, 2010; Sachs, 2016; Fazel, 2013; SINTEF Technology Society, 2009; Smith ve Mobley, 2011; Stamatelatos ve William Vesely, 2002; Stapelberg, 2009; API 618, 2013; Wasserman, 2002; Fazel, 2009).

2.7. Kompresörün Hasarlanmasına Sebep Olan Proses Kaynaklı Hasarlar

Kompresörün hasarlanmasına sebep olan Proses kaynaklı olaylar, sunulan tez çalışmasında ilk temel etmen olarak incelenmiştir. Hata ağacında olan zirve olayı yani kompresörün hasarlanması “veya” kapısı yardımıyla ikinci sıradaki proses kaynaklı temel etmen olay (orta olaya) bağlanmaktadır.

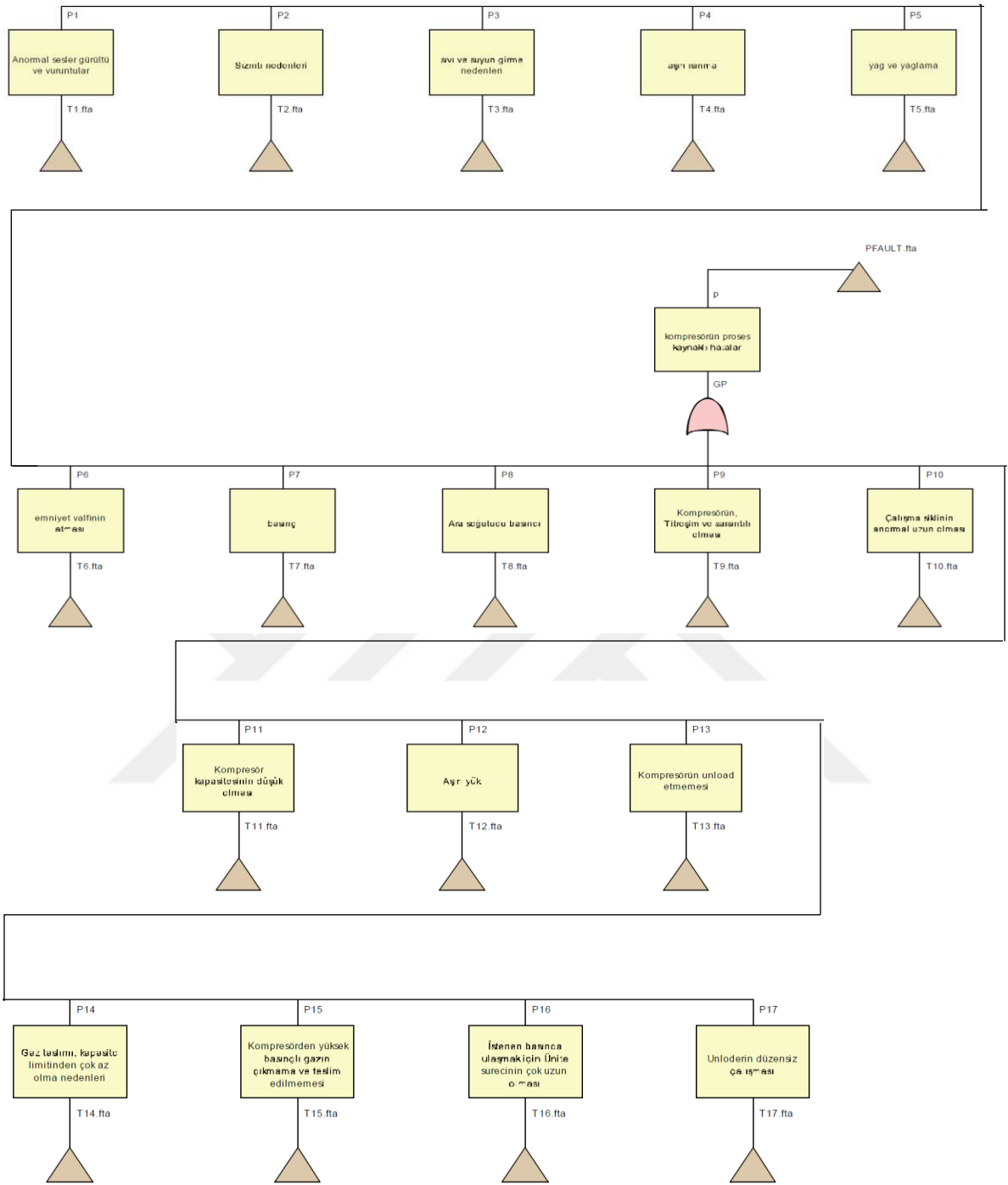


Şekil 68. Kompresörün hasarlanmasına sebep olan Proses kaynaklı hasarlar

Tablo 11. Proses kaynaklı temel etmenden bir aşağı seviyedeki değer olaylar

P1(Proses1).Anormal Sesler Gürültü Ve Vuruntular
P2(Proses2).Sızıntı
P3(Proses3).Sıvı ve suyun girmesi
P4(Proses4).Aşırı ısınma
P5(Proses5).Yağ ve yağlama
P6(Proses6).Emniyet valfinin atması
P7(Proses7).Basınç
P8(Proses8).Ara soğutucu basıncı
P9(Proses9).kompresörün, titreşimli ve sarsıntılı olması
P10(Proses10).Çalışma sıklığının anormal uzun olması
P11(Proses11).Kompresör kapasitesinin düşük olması
P12(Proses12).Aşırı yük
P13(Proses13).Kompresörün unload etmemesi
P14(Proses14).Gaz taslımı, kapasite limitinden çok az olması
P15(Proses15).Kompresörden yüksek basınçlı gazın çıkmaması ve teslim edilmemesi
P16(Proses16).İstenen basınca ulaşmak için ünite sürecinin çok uzun olması
P17(Proses17).Unloderin düzensiz çalışması

Proses kaynağı arızalara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu Şekil 69 ve Tablo11’de verilmiştir.



Şekil 69. Proses kaynağı olan arızalara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

Bu olaylar gerçekleştiği zamanlarda kompresörün çalışmasında sorun çıkmasında ve hatta kompresör parçalarının hasara uğramasında ve sonuçta kompresörün hasarlanmasında önemli rol oynamaktadırlar. p1'den p17'ye kadar olan olayların her biri, alt olaylardan yani üçüncü seviyedeki etmen olaylardan oluşmaktadır. Örneğin bu çalışmada üçüncü

seviyedeki olaylar p1xAp17x A (A, olay no) şeklinde gösterilmektedir . p1xAp17x A (A, olay no) kadar olan olaylarda bir alt olaylardan oluşmaktadırlar, Dolayısıyla hata ağacında en alt sırada başlangıç olayları yer almaktadır. Tablolarda başlangıç olayların kısaltması olaylarda olan baş harflerle gösterilmektedir. Olasılık değeri her bir başlangıç olay için hesaplanmış ve başlangıç olayların kısaltmalarının yanında tablolarda yer almıştır.

Tablo 12’de anormal sesler gürültü ve vuruntulara neden olan üçüncü seviyedeki olaylar ve başlangıç olayları ve olayların kısaltması ve olasılık değerleri gösterilmektedir. Tabloda görüldüğü gibi anormal sesler gürültü ve vuruntulara neden olan dört etmen yani kompresör silindirinin vuruntusu, kompresör şasi vuruntusu, kompresörlerin gürültü ve vuruntusu, gıcirtı sesler ve her birinin altında olan başlangıç olayları gösterilmektedir. Anormal sesler, gürültü ve vuruntulara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil 70’de ve anormal sesler, gürültü ve vuruntulara neden olan kompresör silindir vuruntusu ve kompresör şasi vuruntusu ve kompresörlerin gürültü ve vuruntusu gösterilmektedir.

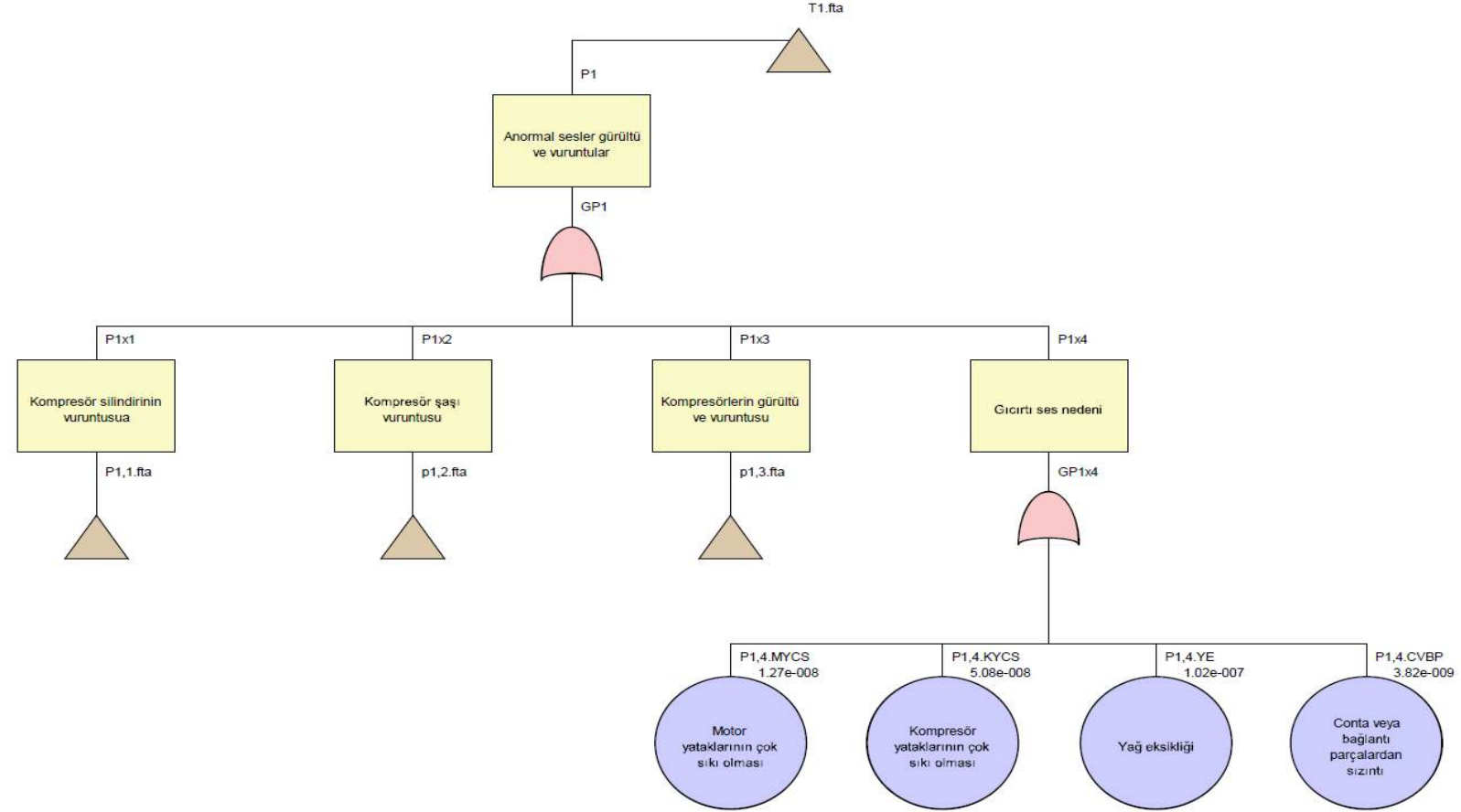
Tablo 12. Anormal sesler gürültü ve vuruntulara neden olan üçüncü seviyedeki olaylar ve başlangıç olayları

Proses kaynaklı başlangıç olayları	Kısaltması	OD
Anormal sesler gürültü ve vuruntular -p1		
Kompresör silindirinin vuruntusu	P1x1	
Silindir gömleğinin çatlak olması	P1,1.SGCO	3.34E-08
Piston segmanının kırılması	P1,1.PSK	6.78E-08
Piston ve silindir başlığın ortasında olan boşluğun yetersiz olması	P1,1.PVSB	2.72E-07
Piston ve silindir çapının ortasında olan boşluğun çok büyük olması	P1,1.PVSC	1.35E-07
Valf plakasının çatlak olması veya valflerin düzensiz çalışması	P1,1.VPCO	2.72E-07
Krosetin hidrolik somunun, gevşek olması	P1,1.KHSG	3.34E-08
Kompresör şasi vuruntusu	P1x2	
Yatakların aşınması	P1,2.YA	1.67E-08

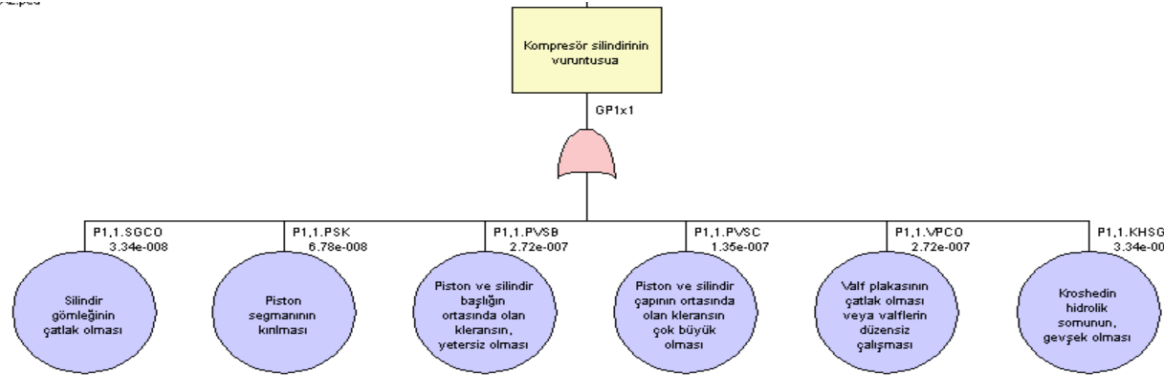
Tablo 12'nin devamı

Kroset piminin veya busunun boşluğunun çok büyük olması	P1,2.KPBK	2.04E-07
Kroset ve kılavuz ortasında olan boşluğun aşırı derecede çok olması	P1,2.KVGO	6.78E-08
Kroset aşınması veya gevşemesi.	P1,2.KAVG	5.1E-06
Biyel büyük tarafının olan cıvatalarının gevşemesi	P1,2.PKBT	5.1E-08
Balans ağırlığın somun veya cıvatalarının gevşemesi	P1,2.BASV	1.67E-08
Kompresörde gürültü ve vuruntu	P1x3	
Ara soğutucunun titreşimli olması	P1,3.ASTO	1.27E-08
Yağlamanın yetersiz olması	P1,3.YY	7.62E-08
Sıvıların kompresör içine girmesi	P1,3.SKIG	1.9E-08
Kompresör temel cıvatasının gevşemesi	P1,3.KTCG	1.9E-08
Piston veya piston somunun gevşek olması veya hidrolik somunun gevşek olması	P1,3.PVPS	6.36E-09
Valflerin yerlerine oturmaması	P1,3.VYO	5.08E-08
Deşarj basıncının yüksek olması	P1,3.DBYO	1.27E-08
Kasnağın veya volanın gevşek olması	P1,3.KVVG	7.62E-08
Gıcırtı sesleri	P1x4	
Motor yataklarının çok sıkı olması	P1,4.MYCS	1.27E-08
Kompresör yataklarının çok sıkı olması	P1,4.KYCS	5.08E-08
Yağ eksikliği	P1,4.YE	1.02E-07
Conta veya bağlantı parçalardan sızıntı	P1,4.CVBP	3.82E-09

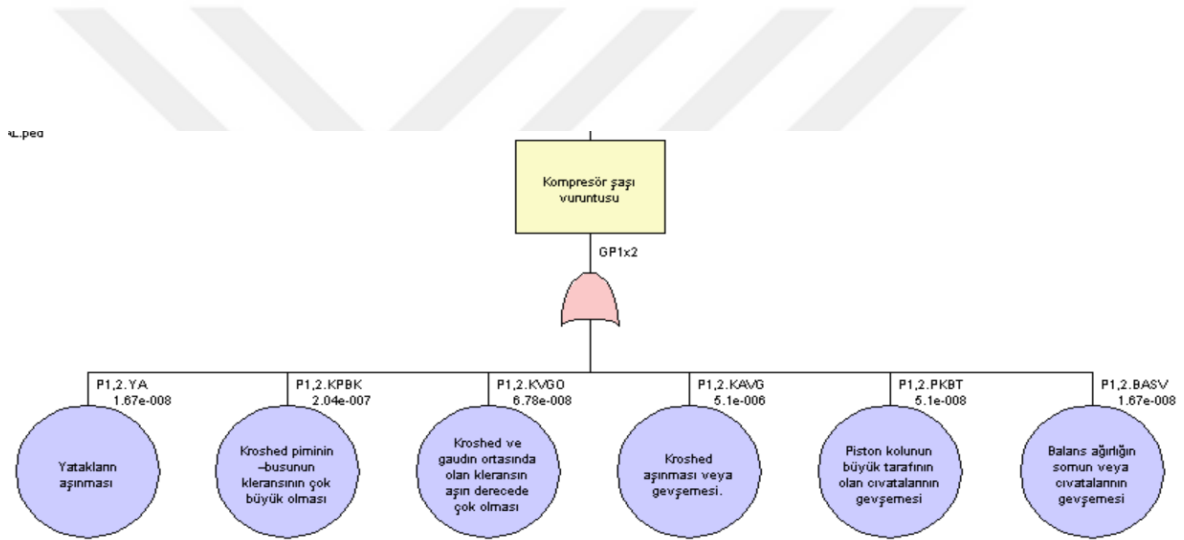
Hata ağacı analizi programında oluşumları şekil 70, 71, 72 ve 73'de gösterilmektedir.



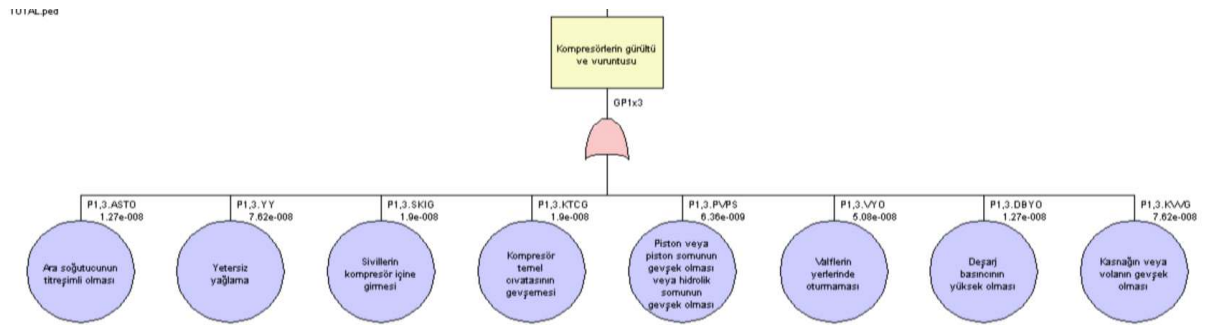
Şekil 70. Anormal sesler, gürültü ve vuruntulara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu



Şekil 71. Anormal sesler, gürültü ve vuruntulara neden olan kompresör silindir vuruntusu, hata ağacı analizi programında oluşumu



Şekil 72. Anormal sesler, gürültü ve vuruntulara neden olan kompresör şasi vuruntusu, hata ağacı analizi programında oluşumu



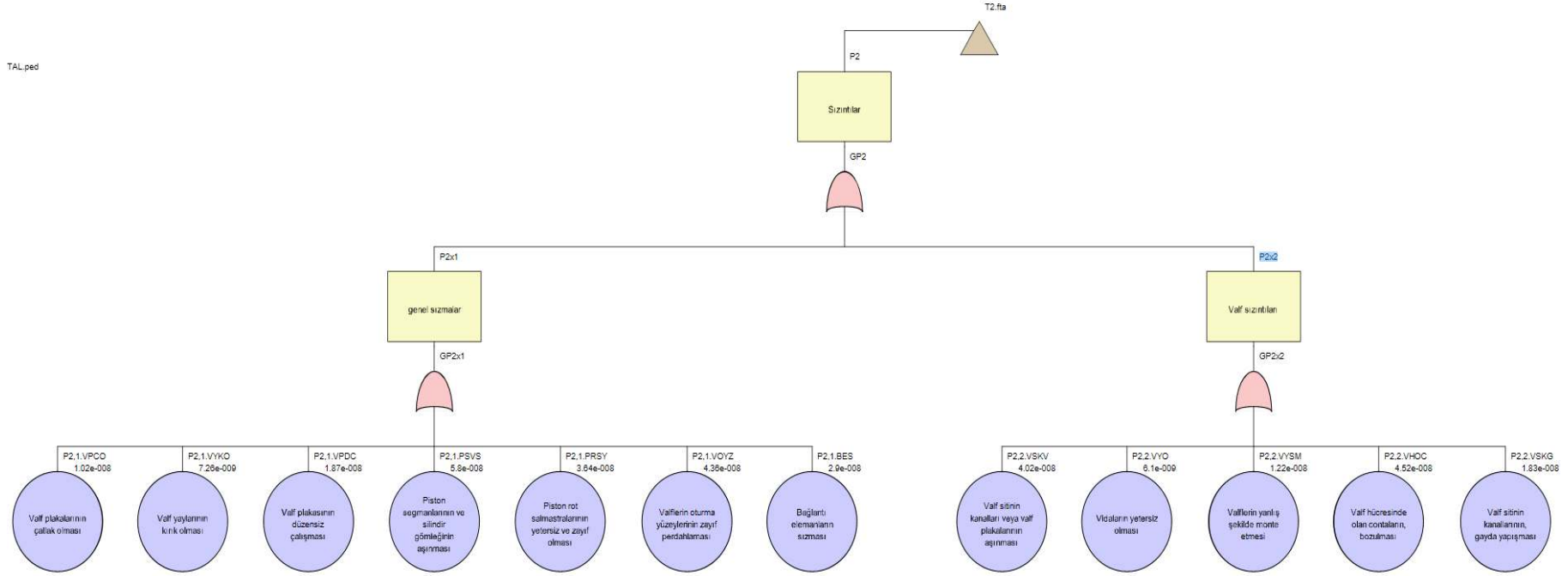
Şekil 73. Anormal sesler, gürültü ve vuruntulara neden olan kompresör şasi vuruntusu, hata ağacı analizi programında oluşumu

Tablo 13’de kompresör sızıntısına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri gösterilmektedir. Tablo13’te görüldüğü gibi kompresör sızıntısına neden olan iki etmen yani genel sızıntılar, valf sızıntıları ve her birinin altında olan başlangıç olayları gösterilmektedir.

Tablo 13. Kompresör sızıntısına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Proses kaynaklı başlangıç olayları	Kısaltması	OD
Sızıntı - P2		
Genel sızıntılar	P2x1	
Valf plakalarının çatlak olması	P2,1.VPCO	1.02E-08
Valf yaylarının kırık olması	P2,1.VYKO	7.26E-09
Valf plakasının düzensiz çalışması	P2,1.VPDC	1.87E-08
Piston segmanlarının ve silindir gömleğinin aşınması	P2,1.PSVS	5.8E-08
Piston rot salmastralarının yetersiz ve zayıf olması	P2,1.PRSY	3.64E-08
Valflerin oturma yüzeylerinin, perdahtının (cila) zayıf olması	P2,1.VOYZ	4.36E-08
Bağlantı elemanların sızdırması	P2,1.BES	2.9E-08
Valf sızıntıları	P2x2	
Valfin oturma yerinde olan kanalları veya valf plakalarının aşınması	P2,2.VSKV	4.02E-08
Vidaların yetersiz olması	P2,2.VYO	6.1E-09
Valflerin yanlış şekilde monte etmesi	P2,2.VYSM	1.22E-08
Valf hücresinde olan contaların, bozulması	P2,2.VHOC	4.52E-08
Valf oturma yüzeyin kanallarının, gayda yapışması	P2,2.VSKG	1.83E-08

Kompresör sızıntısına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil 74’de gösterilmektedir.



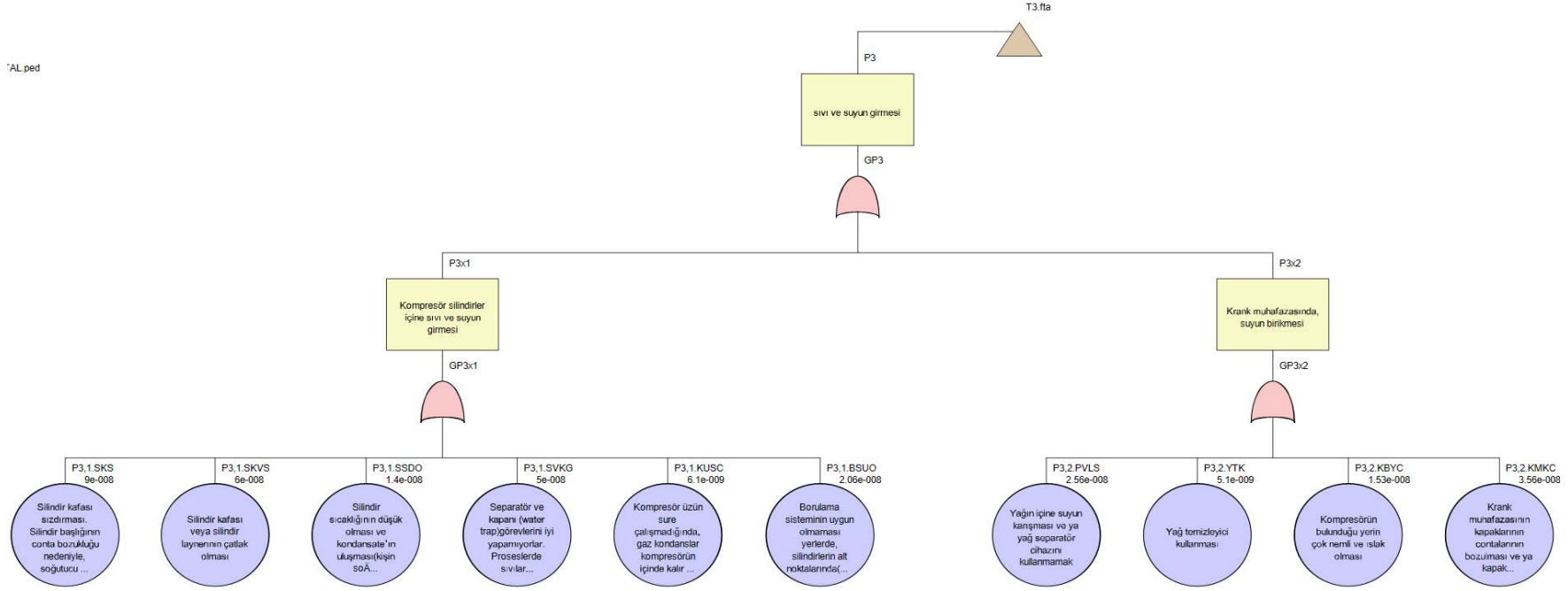
Şekil 74. Sızıntılara neden olan genel sızılar ve valf sızmaları, hata ağacı analizi programında oluşum

Sıvı ve suyun girmesine neden olan üçüncü seviyedeki olaylar ve başlangıç olayları ve olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 14’de gösterilmektedir. Tablo 14’de görüldüğü gibi kompresör sızıntısına neden olan iki etmen yani kompresör silindirleri içine sıvı ve suyun girmesi, krank muhafazasında suyun birikmesi ve her birbirinin altında olan başlangıç olayları verilmiştir.

Tablo 14. Kompresör sızıntısına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları ve olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Proses kaynaklı başlangıç olayları	Kısaltması	OD
Sıvı ve suyun girmesi- P3		
Kompresör silindirler içine sıvı ve suyun girmesi	P3x1	
Silindir kafası sızdırması. Silindir başlığının conta bozukluğu nedeniyle soğutucu su contasının çatlakları arasından silindir içine girer.	P3,1.SKS	9E-08
Silindir kafası veya silindir gömleğinin çatlak olması	P3,1.SKVS	6E-08
Silindir sıcaklığının düşük olması ve kondansatör’ün oluşması(kışın soğuk aylarında).kondansatör ulaşması, soğutma suyun çok soğuk olması	P3,1.SSDO	1.4E-08
Separatör ve kapalı (water trap) görevlerini iyi yapamıyorlar. Proseslerde sıvıların ayrılmaması (separator cihazları sıvıları, gazlardan ayıramıyorlar)	P3,1.SVKG	5E-08
Kompresör uzun süre çalışmadığında, gaz kondanslar kompresörün içinde kalır ve birikir	P3,1.KUSC	6.1E-09
Borulama sisteminin uygun olmaması yerlerde, silindirlerin alt noktalarında(low point) sıvıların birikimine sebep oluyor.	P3,1.BSUO	2.06E-08
Krank muhafazasında, suyun birikmesi	P3x2	
Yağın içine suyun karışması ve ya yağ separatör cihazını kullanmamak	P3,2.PVLS	2.56E-08
Yağ temizleyici kullanması	P3,2.YTK	5.1E-09
Kompresörün bulunduğu yerin çok nemli ve ıslak olması	P3,2.KBYÇ	1.53E-08
Krank muhafazasının kapaklarının contalarının bozulması ve ya kapaklar yerlerinde oturmadiği halde	P3,2.KMKC	3.56E-08

Sıvı ve suyun girmesi neden olan kompresör silindirler içine sıvı ve suyun girmesi ve krank muhafazasında, suyun birikmesi, hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil 75’ de gösterilmektedir.



Aşırı ısınmaya neden olan üçüncü seviyedeki olaylar ve başlangıç olayları ve olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 15’de verilmiştir. Tablo15’de görüldüğü gibi kompresörün aşırı ısınmasına neden olan beş etmen yani silindirlerin aşırı ısınması, kompresör parçalarının aşırı ısınması, kompresörlerde çıkan gazın sıcaklığının yüksek olması, çıkış suyun, sıcaklığı normalin üzerinde olması, kompresörün çok sıcak çalışması ve her birinin altındaki başlangıç olayları gösterilmektedir.

Tablo 15. Kompresörün aşırı ısınması olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Proses kaynaklı başlangıç olayları	Kısaltması	OD
Aşırı ısınma-P4		
Silindirlerin aşırı ısınması	P4x1	
Soğutma suyun yetersiz olması	P4,1.SSYO	6.04E-06
Giriş çıkış valflerin bozuk olması	P4,1.GCVB	4.88E-06
Piston veya silindir gömleğin çizikli yüzey olması	P4,1.PVSG	9.38E-06
Yağlamanın yetersiz olması	P4,1.YYO	3.26E-06
Salmastraların fazla sıkı olması	P4,1.SFSO	1.76E-06
Giriş gazın yüksek sıcaklığı olması	P4,1.GGYS	1.22E-06
Kompresör parçalarının aşırı ısınması	P4x2	
Çek valfleri veya çıkış valflerinin arızalı olması	P4,2.CVVC	9.52E-04
Deşarj basıncının limitin üzerinde olması	P4,2.DBLY	1.91E-05
Yağ seviyesinin çok yüksek olması	P4,2.YSCY	1.91E-06
Yağ seviyesinin çok düşük olması	P4,2.YSCD	1.81E-06
Yağ viskozitesinin yanlış ve uygunsuz olması	P4,2.YVYV	1.83E-06

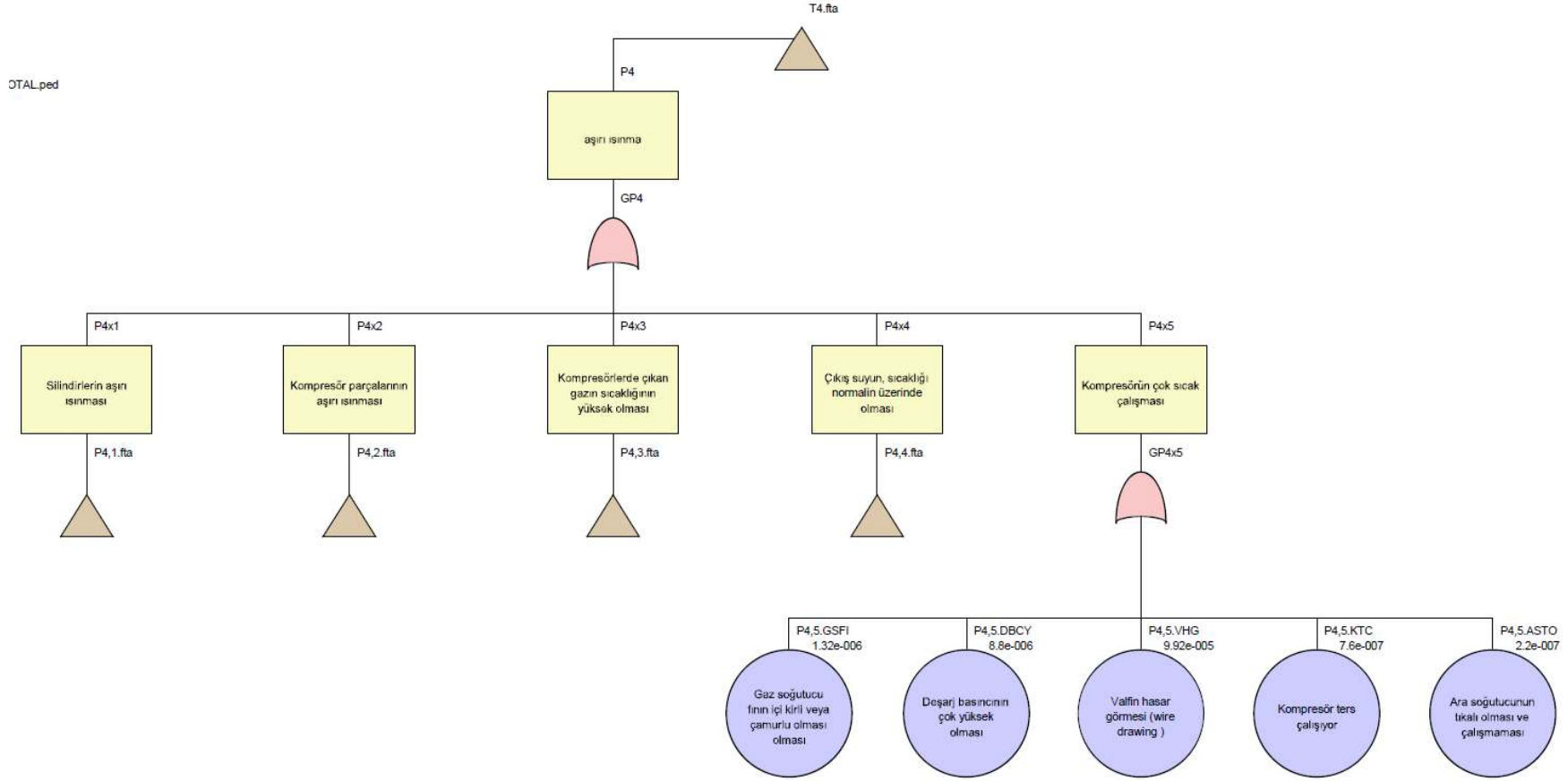
Tablo 15'in devamı

Piston segmanlarının yuvalarında sıkışması veya aşınması veya kırılması	P4,2.PSYS	8.91E-5
Piston rot salmastraların çok sıkı olması	P4,2.PRSC	1.91E-05
Valflerin kirli olması	P4,2.VKO	9.94E-06
Valflerin kırılması veya aşınması	P4,2.VKVA	8.97E-4
Soğutma giriş suyun sıcaklığının yüksek olması	P4,2.SGSS	2.02E-05
Soğutma suyun miktarının yetersiz olması	P4,2.SSMY	1.45E-05
Valflerin silindir içinde oturmaması	P4,2.VSIO	1.43E-06
Kompresörlerde çıkan gazın sıcaklığının yüksek olması	P4x3	
Unloderin yanlış ayarlanması	P4,3.UYA	2.44E-06
Giriş boruların limitli olması çok küçük veya çok uzun olması	P4,3.GBLO	1.09E-07
Giriş filtrelerin tıkalı olması	P4,3.GFTO	9.2E-07
Valflerin aşınması veya kırılması	P4,3.VAVK	6.52E-08
Valflerin yanlış yerlerde olması	P4,3.VYYO	2.72E-08
“Conta sızıntısı”	P4,3.CS	6.78E-08
Unloder veya kontrolün arızalı olması	P4,3.UVKA	1.11E-08
Hızın yüksek olması	P4,3.HYO	4.36E-08
Yağ seviyesinin yüksek olması	P4,3.YSYO	4.88E-08
Çevre sıcaklığının yüksek olması	P4,3.CSYO	4.06E-08
Havalandırmanın zayıf olması	P4,3.VZO	2.22E-07
Gaz akışının, fan soğutucuya doğru bloke olması	P4,3.GAFS	3.52E-07
Giriş veya çıkış valflerin arızalı olması	P4,3.GVCV	2.22E-06

Tablo 15'in devamı

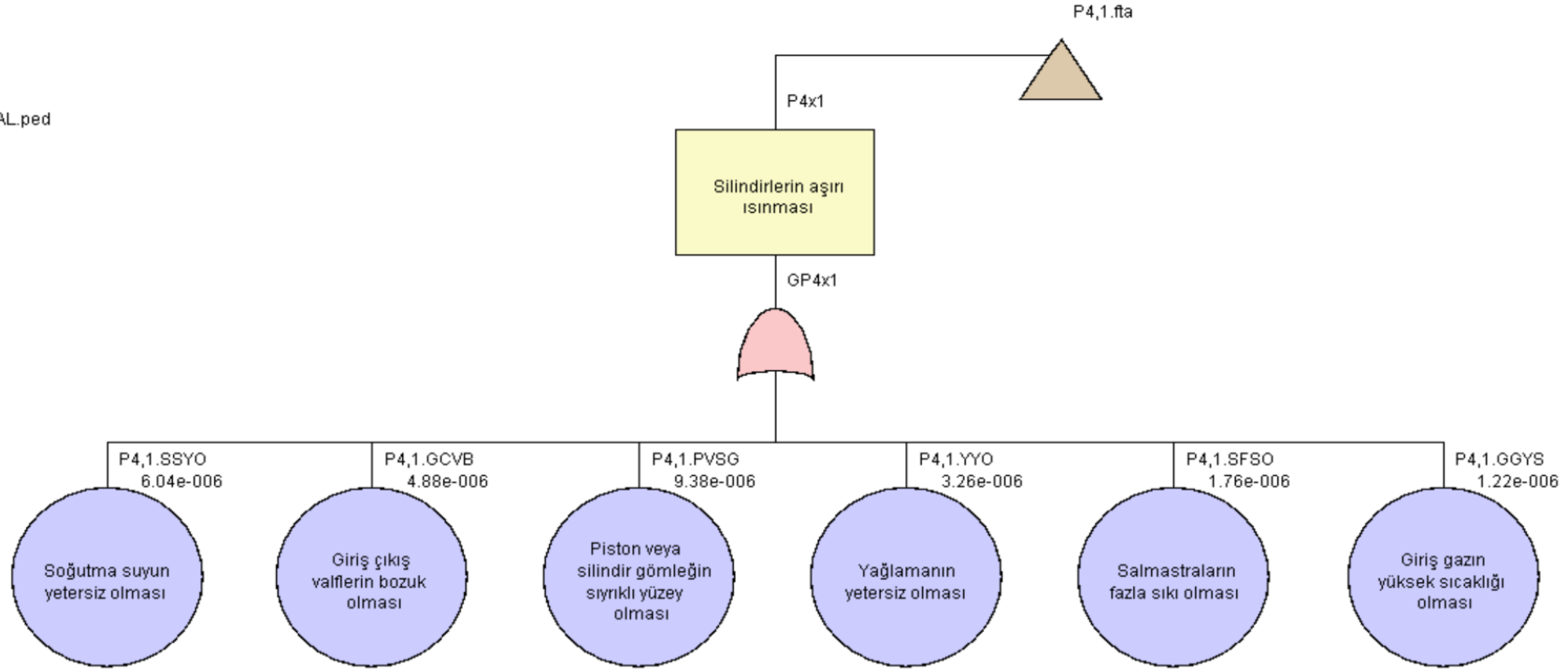
Aşırı ısınma-p4		
Çıkış suyun, sıcaklığı normalin üzerinde olması	P4x4	
Giriş suyun sıcaklığının çok yüksek olması	P4,4.GSCY	1.08E-07
Silindir başlığı iç soğutucusunun kirli olması	P4,4.SBIS	2.4E-08
Deşarj basıncının aşırı yüksek olması	P4,4.DBAY	4.82E-08
Ara soğutucu basıncının yüksek olması	P4,4.ASBY	7.2E-08
Çıkış gazın sıcaklığının çok yüksek olması	P4,4.CGSC	8.1E-06
Su ceketı veya ara soğutucunun kirli olması	P4,4.SCVA	1.44E-07
Soğutma su miktarının yetersiz olması	P4,4.SSMY	2E-07
Kompresörün çok sıcak çalışması	P4x5	
Gaz soğutucu fan içinin kirli veya çamurlu olması	P4,5.GSFI	1.32E-06
Deşarj basıncının çok yüksek olması	P4,5.DBCY	8.8E-06
Valfin hasar görmesi (wire drawing)	P4,5.VHG	9.92E-05
Kompresör ters çalışıyor	P4,5.KTC	7.6E-7
Ara soğutucunun tıkalı olması ve çalışmaması	P4,5.ASTO	2.2E-07

Aşırı ısınmaya neden olan silindirlerin aşırı ısınması, kompresör parçalarının aşırı ısınması, kompresörlerden çıkan gazın sıcaklığının yüksek olması ve çıkış suyu, sıcaklığının normalin üzerinde olması, hata ağacı analizi programında oluşumları sırasıyla Şekil 76, 77, 78, 79 ve 80'de şekillerinde verilmiştir.

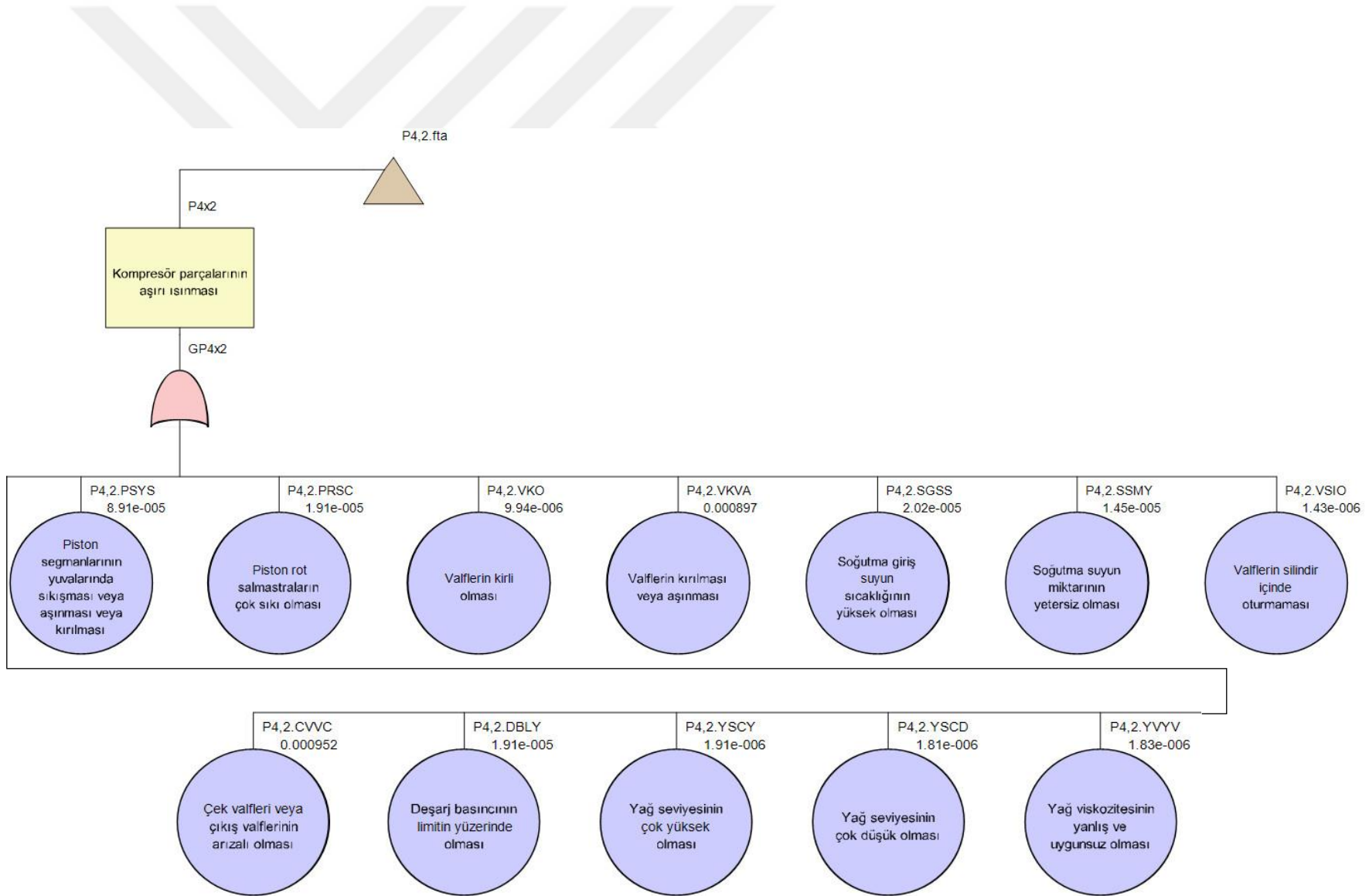


Şekil 76. Aşırı ısınma neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

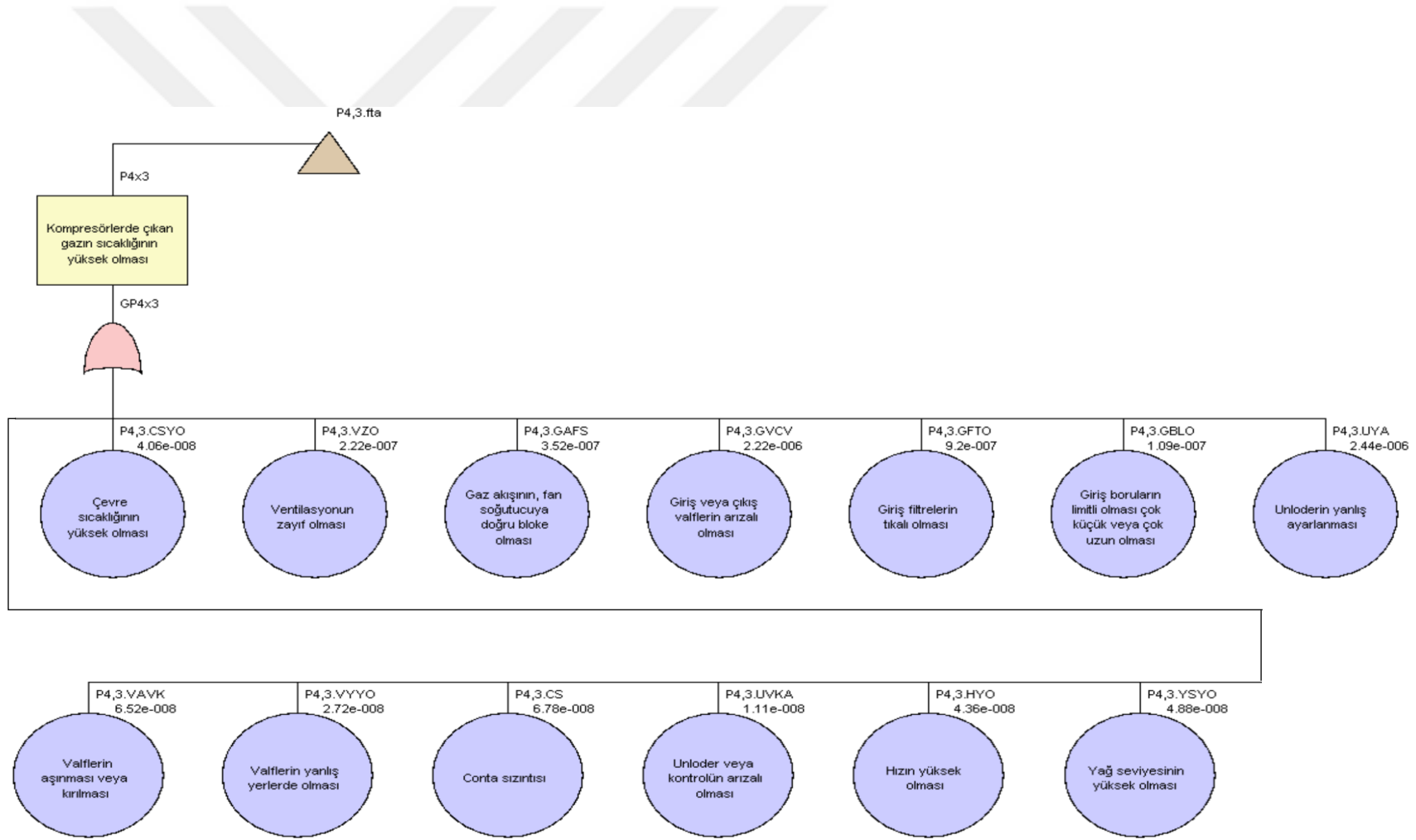
TAL.ped



Şekil 77. Aşırı ısınma neden olan Silindirlerin aşırı ısınması, FTA programında oluşumu



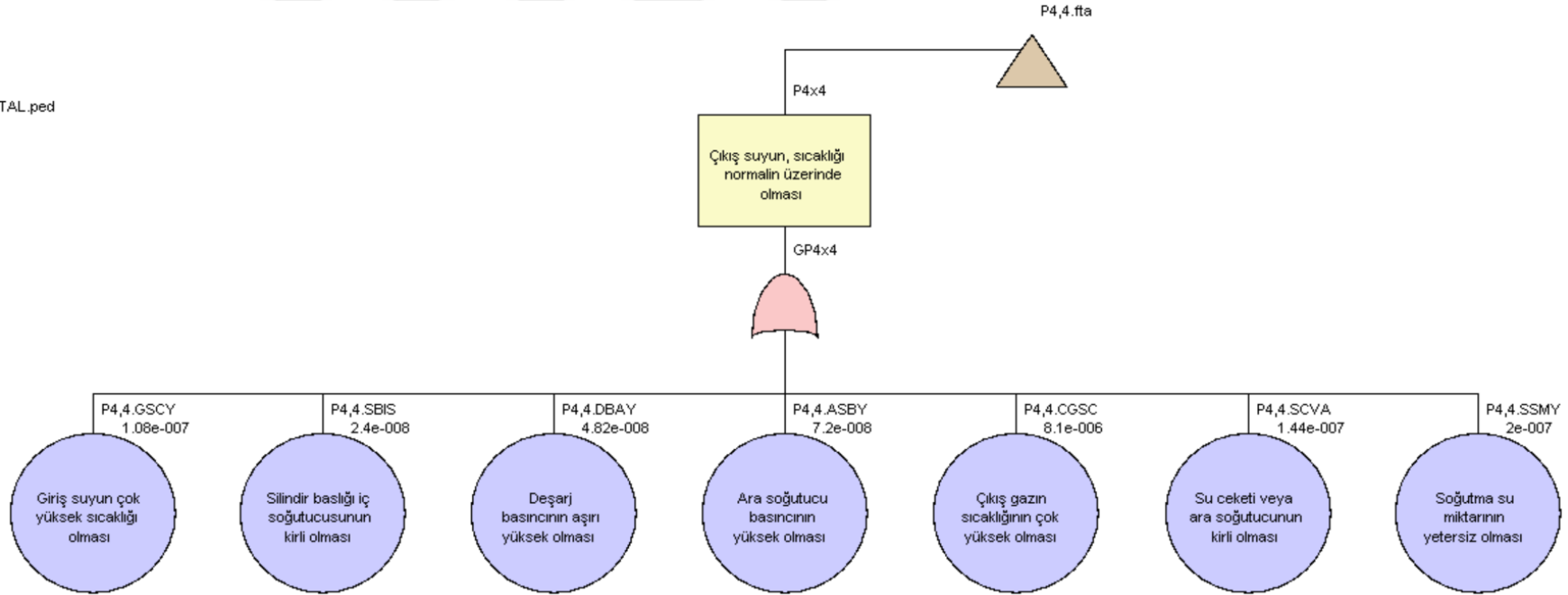
Şekil 78. Aşırı ısınma neden olan kompresör parçalarının aşırı ısınması, FTA programında oluşumu



Şekil 79. Aşırı ısınma neden olan kompresörlerden çıkan gazın sıcaklığının yüksek olması hata ağacı analizi programında oluşumu



TAL.ped



Şekil 80. Aşırı ısınma neden olan çıkış suyun, sıcaklığı normalin üzerinde olması, hata ağacı analizi programında oluşumu

Yağ ve yağlama kaynaklı arızaları neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 16’da verilmiştir. Tablo16’da görüldüğü gibi yağ ve yağlama kaynaklı arızalara neden olan dört etmen yani krank muhafazasının yağ basıncının yüksek olması, krank muhafazasının yağ basıncının düşük olması, yağ tüketiminin yüksek olması, Yağlama Sisteminin, yağlama yağın yanlış ulaştırması ve her birinin altında olan başlangıç olayları gösterilmektedir.

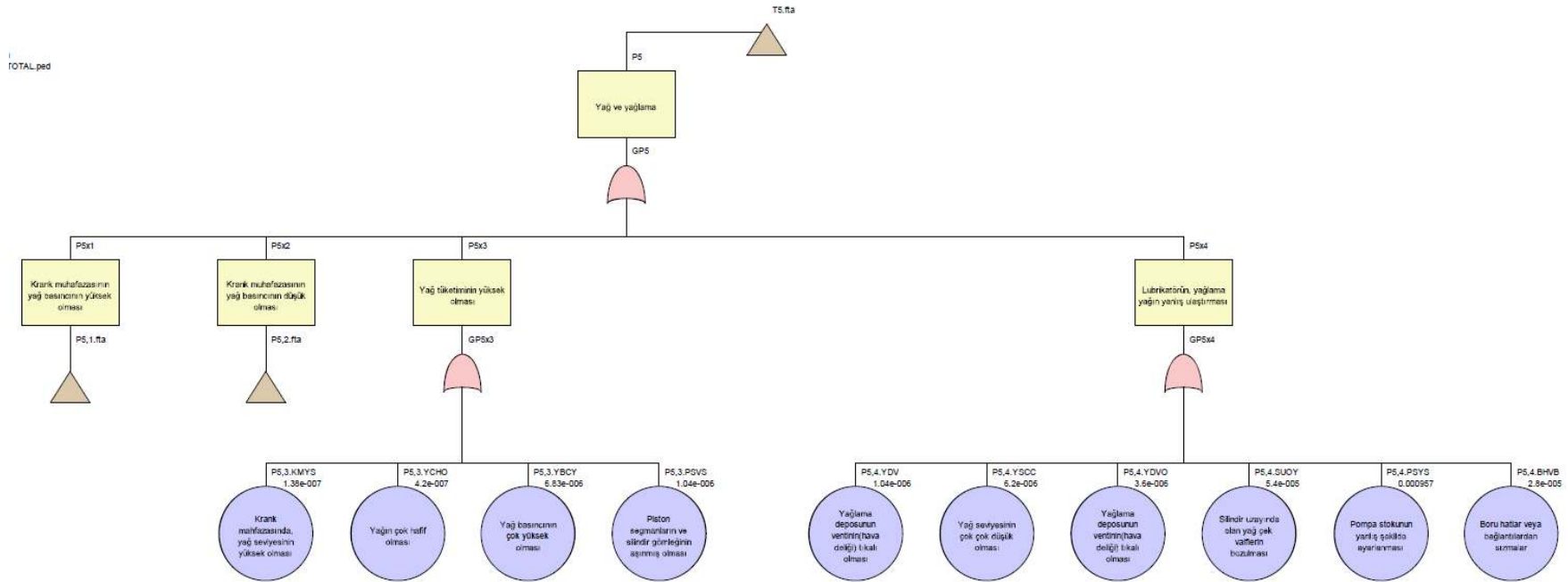
Tablo 16. Yağ ve yağlama kaynaklı arızaları neden olan üçüncü seviyedeki olaylar ve başlangıç olayları ve olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Proses kaynaklı başlangıç olayları	Kısaltması	OD
Yağ ve yağlama-P5		
Krank muhafazasının yağ basıncının yüksek olması	P5x1	
Kompresör muhafazasında olan emniyet valfinin(baş emniyet valfleri) arızalı olması	P5,1.KMOE	1.18E-06
Yağ hattının kısıtlı olması	P5,1.YHKO	5.2E-07
Yağ omur suresinin kısıtlı olması	P5,1.YOSK	6.2E-06
Yağ kalitesinin uygunsuz olması	P5,1.YKUO	1.24E-06
Yağın soğuk olması	P5,1.YSO	1.3E-06
Basınç regülasyon valf, yüksekte ayarlanması	P5,1.BRVY	1.88E-06
Krank muhafazasının yağ basıncının düşük olması	P5x2	
Yağ dişli pompanın aşınması veya bozulması	P5,2.YDPA	9.8E-06
Yağ filtrelerin veya süzgeçlerin tıkalı olması	P5,2.YFVS	1.06E-06
Yağ seviyesinin düşük olması	P5,2.YSDO	1.12E-07
Yağ viskozitesinin yanlış olması	P5,2.YVYO	1.4E-06
Yağ borulamalarından sızmalar	P5,2.YBS	1.02E-07
Yağ pompasının veya yağ emniyet valfinin arızalı olması	P5,2.YPVY	7.4E-06
Yatakların aşınmış olması veya yatak boşluklarının çok olması	P5,2.YAOV	2.4E-06

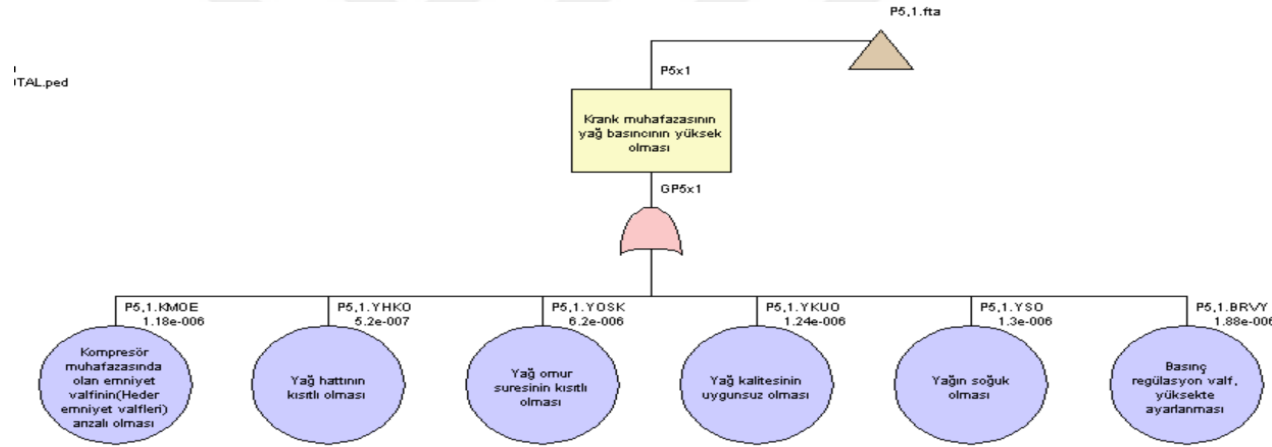
Tablo 16'nın devamı

Yağ basıncının düşük olması	P5,2.YBDO	9.8E-06
Yağ pompa sisteminde olan filtrelerler ve süzgeçlerin kirli ve	P5,2.YPSO	1.98E-07
Yağ sıcaklığının yüksek olması	P5,2.YSYO	7E-06
Soğuk yağın kullanılması	P5,2.SYK	8.2E-06
Yağ viskozitesinin düşük olması	P5,2.YVDO	4.6E-06
Yağ tüketiminin yüksek olması	P5x3	
Krank mahfazasında, yağ seviyesinin yüksek olması	P5,3.KMYS	1.38E-07
Yağın çok hafif olması	P5,3.YCHO	4.2E-07
Yağ basıncının çok yüksek olması	P5,3.YBCY	6.83E-6
Piston segmanların ve silindir gömleğinin aşınmış olması	P5,3.PSVS	1.04E-06
Yağlama sisteminin, yağlama yağın yanlış ulaştırması	P5x4	
Yağ deposunun hava venti (hava deliğinin) olmaması	P5,4.YDV	1.04E-06
Yağ seviyesinin çok çok düşük olması	P5,4.YSÇÇ	6.2E-06
Yağlama deposunun ventinin (hava deliğinin) tıkalı olması	P5,4.YDVO	3.6E-06
Silindir içinde olan yağ çek valflerin bozulması	P5,4.SUOY	5.4E-05
Pompa strokunun yanlış şekilde ayarlanması	P5,4.PSYS	9.57E-4
Boru hatlar veya bağlantılardan sızmalar	P5,4.BHVB	2.8E-05

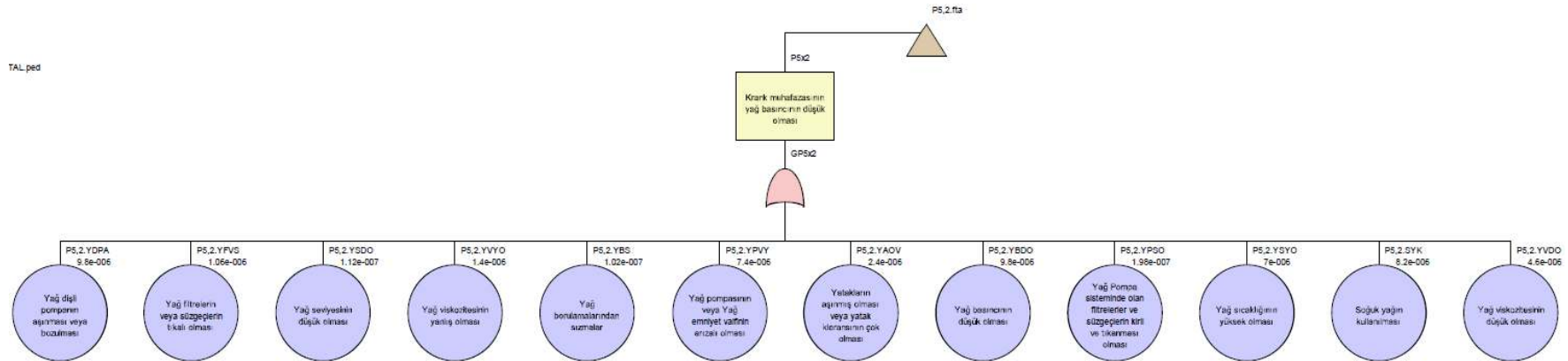
Yağ ve yağlama kaynaklı arızaları neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil 81'de gösterilmektedir. Yağ ve yağlama arızaları neden olan Krank muhafazasının yağ basıncının yüksek olması ve Krank muhafazasının yağ basıncının düşük olması FTA(hata ağacı analizi programında) oluşumları sırasıyla Şekil 82 ve Şekil 83'de şekillerinde gösterilmiştir .



Şekil 81. Yağ ve yağlama kaynaklı arızaları neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu



Şekil 82. Yağ ve yağlama kaynaklı arızaları neden olan krank muhafazasının yağ basıncının yüksek olması, FTA programında oluşumu



Şekil 83. Yağ ve yağlama kaynaklı arızaları neden olan krank muhafazasının yağ basıncının düşük olması, FTA programında oluşumu

Emniyet valfinin atmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 17’de verilmiştir. Tablo17’de görüldüğü gibi, emniyet valfinin atmasına neden olan dört etmen yani yüklenmeyen ve yüklenen kompresörün ikinci aşamasında çalışmadığı zaman, ara soğutucunun emniyet valfinin atması, alıcı emniyet valfin atması (blow), ara soğutucu ve alıcı emniyet valflerin açılması (pop olma) ve her birbirinin altında olan başlangıç olayları gösterilmektedir.

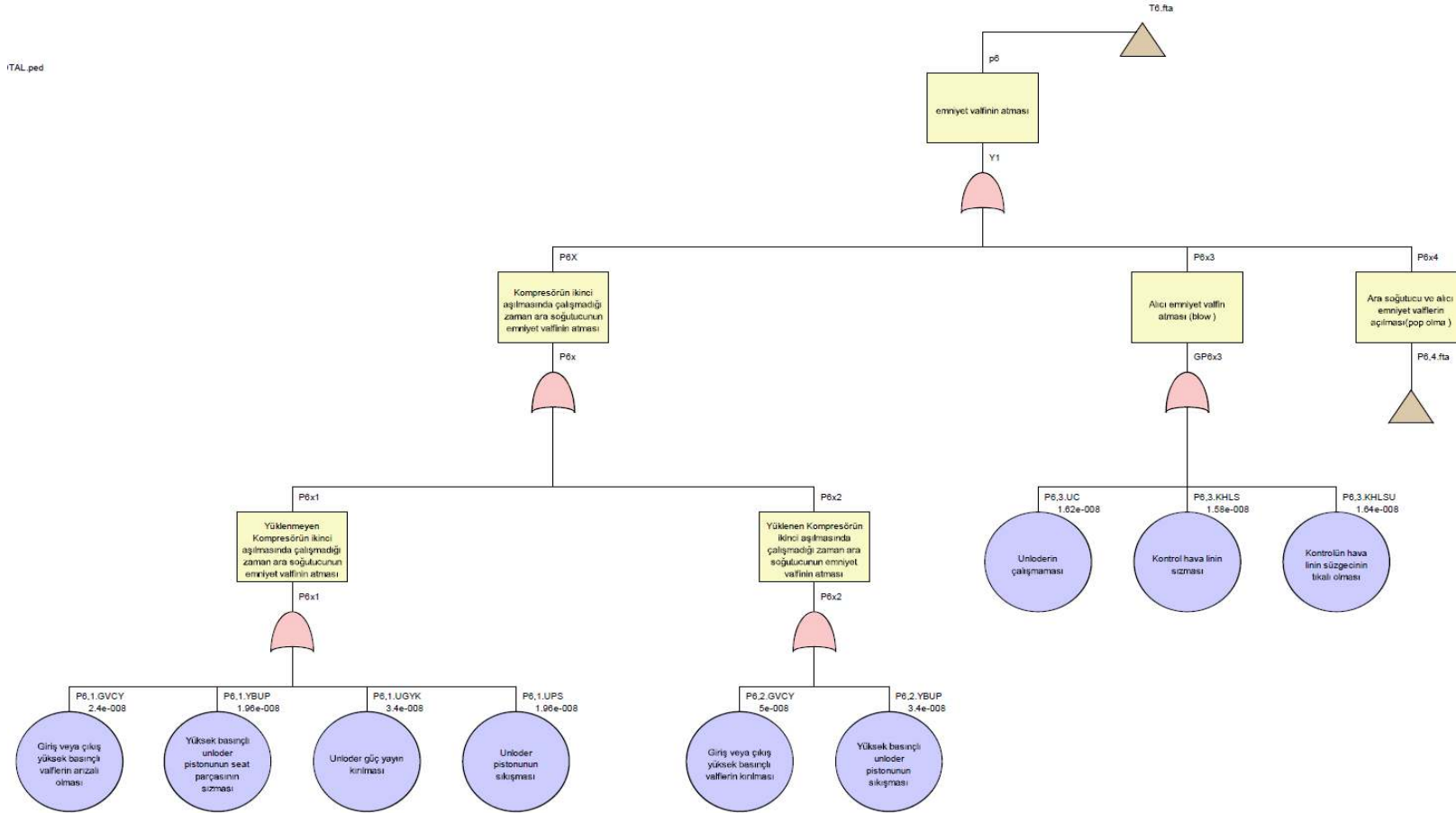
Tablo 17. Emniyet valfinin atmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olaylar, olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Proses kaynaklı başlangıç olayları	Kısaltması	OD
Emniyet valfinin atması-P6		
Kompresörün ikinci aşılmasında çalışmadığı zaman ara soğutucunun emniyet valfinin atması P6X		
Yüklenmeyen kompresörün ikinci aşılmasında çalışmadığı zaman ara soğutucunun emniyet valfinin atması	P6x1	
Giriş veya çıkış yüksek basınçlı valflerin arızalı olması	P6,1.GVCY	2.4E-08
Yüksek basınçlı unloder pistonunun seat parçasının sızdırması	P6,1.YBUP	1.96E-08
Unloder güç yayın kırılması	P6,1.UGYK	3.4E-08
Unloder pistonunun sıkışması	P6,1.UPS	1.96E-08
Yüklenen kompresörün ikinci aşılmasında çalışmadığı zaman ara soğutucunun emniyet valfinin atması	P6x2	
Giriş veya çıkış yüksek basınçlı valflerin kırılması	P6,2.GVCY	5E-08
Yüksek basınçlı unloder pistonunun sıkışması	P6,2.YBUP	3.4E-08
Alıcı emniyet valfin atması (blow)	P6x3	
Unloderin çalışmaması	P6,3.UC	1.62E-08
Kontrol hava hattının sızdırması	P6,3.KHLS	1.58E-08
Kontrol hava hattı süzgecinin tıkalı olması	P6,3.KHLS	1.64E-08

Tablo 17'nin devamı

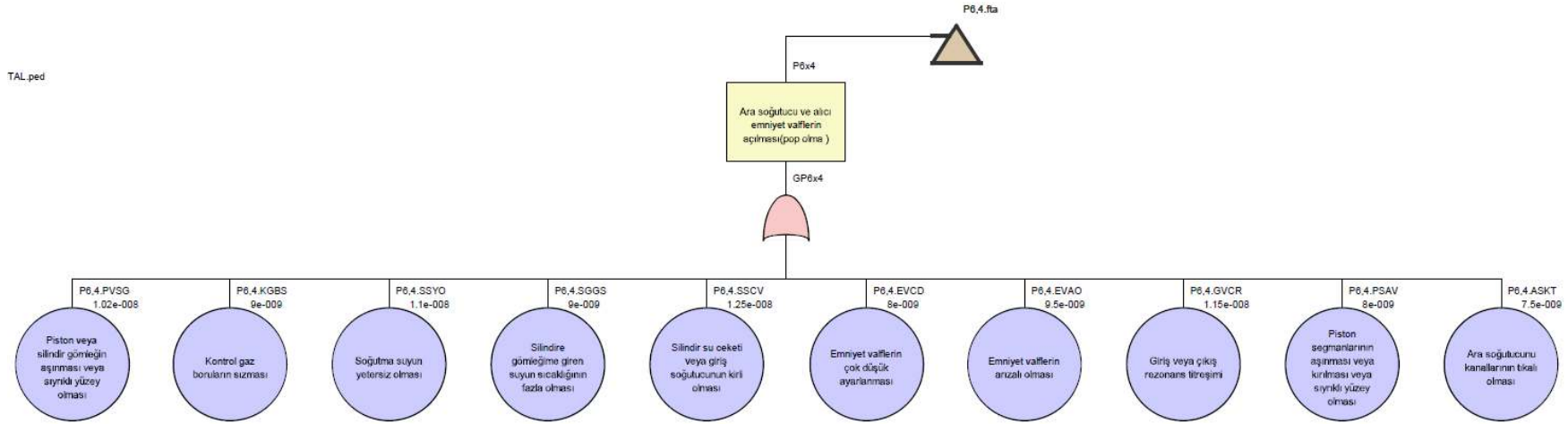
Ara soğutucu ve alıcı emniyet valflerin açılması(pop olma)	P6x4	
Piston veya silindir gömleğin aşınması veya çizikli yüzey olması	P6,4.PVSG	1.02E-08
Kontrol gaz boruların sızdırması	P6,4.KGBS	9E-09
Soğutma suyun yetersiz olması	P6,4.SSYO	1.1E-08
Silindire gömleğine giren suyun sıcaklığının fazla olması	P6,4.SGGS	9E-09
Silindir su ceketı veya giriş soğutucunun kirli olması	P6,4.SSCV	1.25E-08
Emniyet valflerin çok düşük ayarlanması	P6,4.EVCD	8E-09
Emniyet valflerin arızalı olması	P6,4.EVAO	9.5E-09
Giriş veya çıkış rezonans titreşimi	P6,4.GVCR	1.15E-08
Piston segmanlarının aşınması veya kırılması veya çizikli yüzey olması	P6,4.PSAV	8E-09
Ara soğutucunu kanallarının tıkalı olması	P6,4.ASKT	7.5E-09

Emniyet valflerine atmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil 84'de gösterilmiştir.



Şekil 84. Emniyet valflerinin atmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

Emniyet valfinin atmasına neden olan neden olan Ara soğutucu ve alıcı emniyet valflerin açılması(pop olma),FTA programında oluşumu Şekil 85’de gösterilmiştir.



Şekil 85. Emniyet valfinin atmasına neden olan neden olan ara soğutucu ve alıcı emniyet valflerin açılması (pop olma),FTA programında oluşumu

Basınçla ilişkili hasarlara neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 18’de verilmiştir. Tablo18’de görüldüğü gibi Basınçla ilişkili hasarlara neden olan üç etmen yani; gaz basıncının yetersiz olması, alıcı basıncının normalin üzerinde olması, deşarj basıncı normalin altında olması ve her birinin altında olan başlangıç olayları gösterilmektedir.

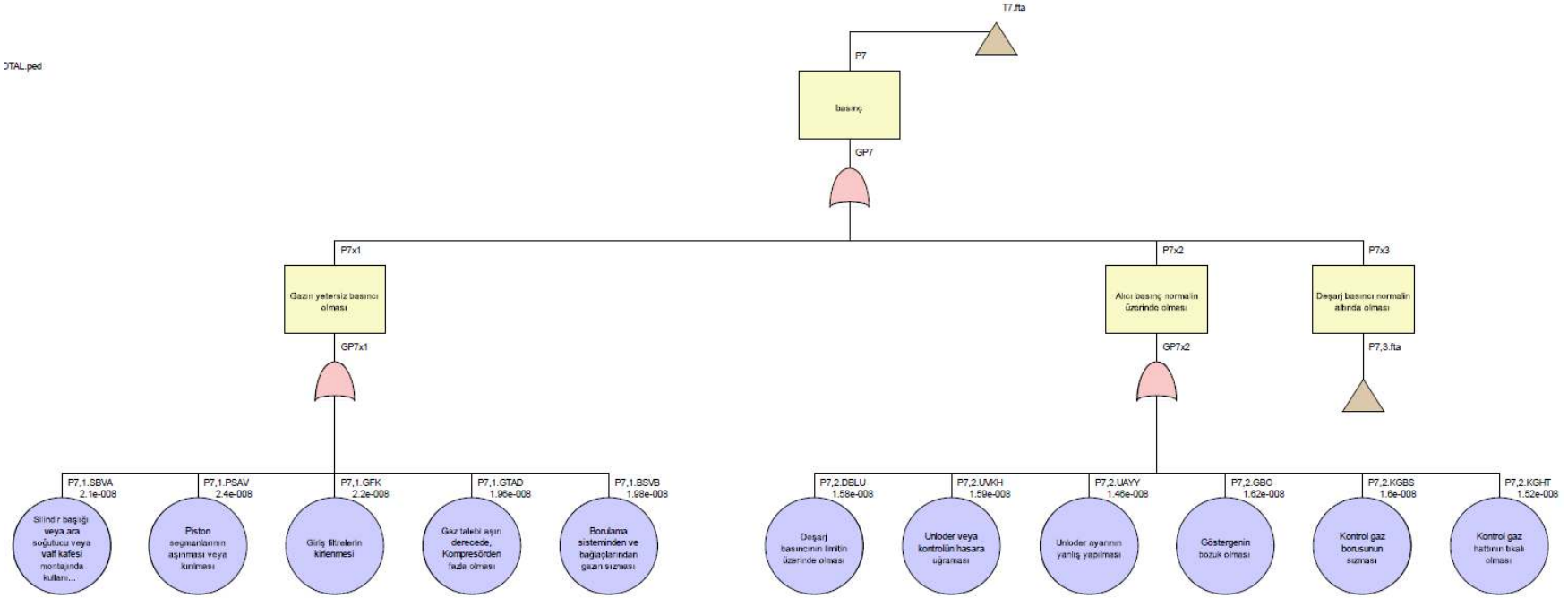
Tablo 18. Basıncı ilişkin hasarlara neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olaylar, olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Proses kaynaklı başlangıç olayları	Kısaltması	OD
Basınç-P7		
Gazın yetersiz basıncı olması	P7x1	
Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan contaların sızdırması	P7,1.SBVA	2.1E-08
Piston segmanlarının aşınması veya kırılması	P7,1.PSAV	2.4E-08
Giriş filtrelerin kirlenmesi	P7,1.GFK	2.2E-08
Gaz talebinin aşırı derecede, fazla olması	P7,1.GTAD	1.96E-08
Borulama sisteminden ve bağlantı noktalarından gazın sızdırması	P7,1.BSVB	1.98E-08
Alıcı basınç normalin üzerinde olması	P7x2	
Deşarj basıncının limitin üzerinde olması	P7,2.DBLU	1.58E-08
Unloder ya da kontrolün hasara uğraması	P7,2.UVKH	1.59E-08
Unloder ayarının yanlış yapılması	P7,2.UAYY	1.46E-08
Göstergenin bozuk olması	P7,2.GBO	1.62E-08
Kontrol gaz borusunun sızdırması	P7,2.KGBS	1.6E-08
Kontrol gaz hattının tıkalı olması	P7,2.KGHT	1.52E-08

Tablo 18'in devamı

Deşarj basıncı normalin altında olması	P7x3	
Sistem ihtiyacı limitin üzerinde olması	P7,3.SILU	5.6E-09
Sistemin aşırı derecede iç kaçaklar	P7,3.SADİ	1.4E-08
Valflerin kırılması ya da aşınması	P7,3.VKYA	1.3E-08
Valflerin oturmaması	P7,3.VO	1.96E-08
Contaların sızdırması	P7,3.CS	7.7E-09
Pistonun çizikli yüzey olması	P7,3.PSYO	1.26E-08
Piston rot salmastraların sızdırması	P7,3.PRSS	2E-08
Emniyet valflin sızdırması	P7,3.EVS	1.8E-08
Hızın düşük olması (limit hızın altında olma durumu)	P7,3.HDO	1.06E-08
Basınç göstergesinin düşük değer gösterilmesi	P7,3.BGDO	1.1E-08

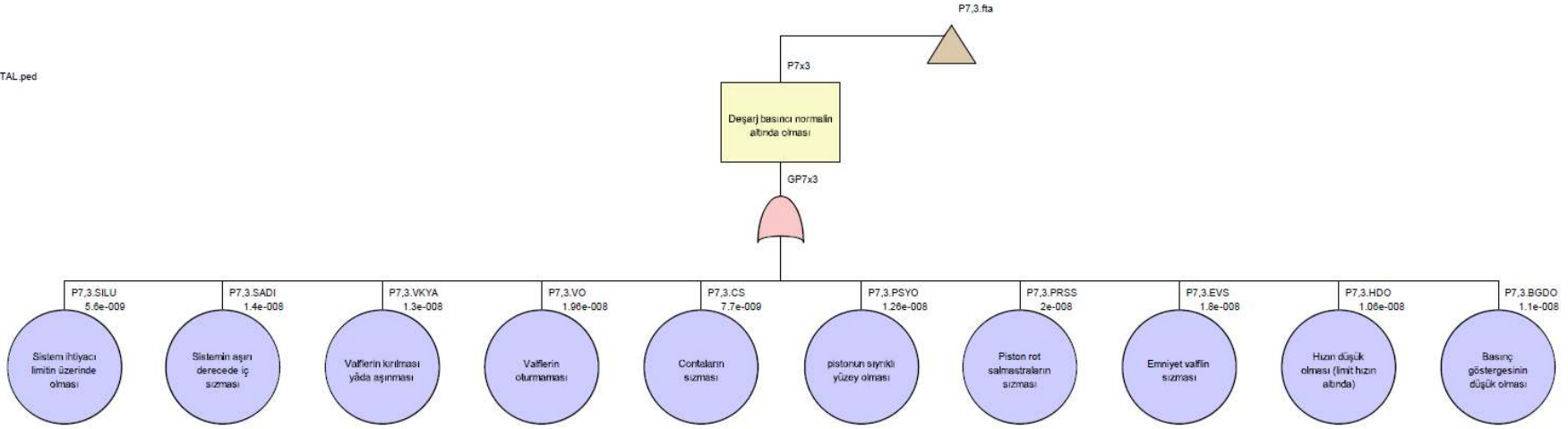
Basınçla ilişkin hasarlara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil 86'de gösterilmektedir.



Şekil 86. Basınç 'la ilişkin hasarlara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

Basınç ile ilişkili hasarlara neden olan Deşarj basıncı normalin altında olması FTA(hata ağacı analizi programında) oluşumu şekil 87'de gösterilmiştir.

TAL.ped



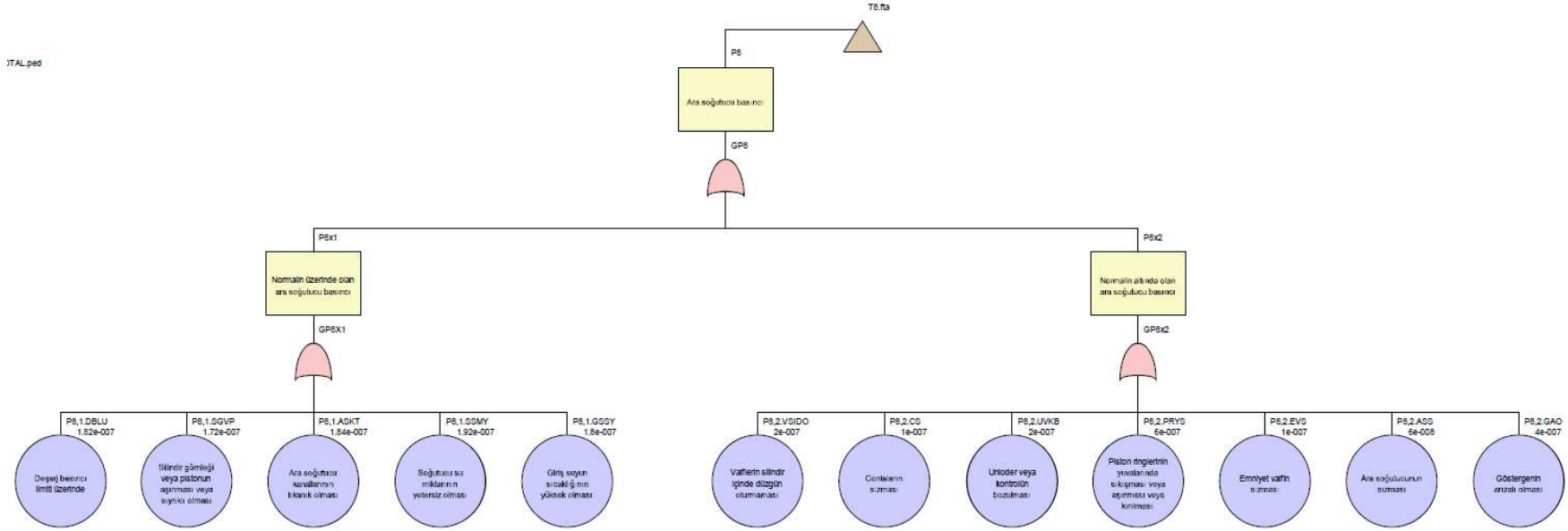
Şekil 87. Basınç'la ilişkin hasarlara neden olan Deşarj basıncı normalin altında olması FTA(hata ağacı analizi programında) oluşumu

Ara soğutucu basıncı ile ilişkili hasarlara neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları ve olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. Ara soğutucu basıncı ile ilişkili hasarlara neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Proses kaynaklı başlangıç olayları	Kısaltması	OD
Ara soğutucu basıncı-P8		
Normalin üzerinde olan ara soğutucu basıncı	P8x,1	
Deşarj basınç sınırın üzerinde	P8,1.DBLU	1.82E-07
Silindir gömleği veya pistonun aşınması veya çizikli yüzey olması	P8,1.SGVP	1.72E-07
Ara soğutucu kanallarının tıkanık olması	P8,1.ASKT	1.84E-07
Soğutucu su miktarının yetersiz olması	P8,1.SSMY	1.92E-07
Giriş suyun sıcaklığının yüksek olması	P8,1.GSSY	1.8E-07
Normalin altında olan ara soğutucu basıncı	P8x2	
Valflerin silindir içinde düzgün oturmaması	P8,2.VSIDO	2.0E-07
Contaların sızdırması	P8,2.CS	1.0E-07
Unloder veya kontrolün bozulması	P8,2.UVKB	2.0E-07
Piston segmanlarının yuvalarında sıkışması veya aşınması veya kırılması	P8,2.PRYS	6.0E-07
Emniyet valflerin sızdırması	P8,2.EVS	1.0E-7
Ara soğutucunun sızdırması	P8,2.ASS	6.0E-8
Göstergenin arızalı olması	P8,2.GAO	4.0E-7

Şekil 88’de ara soğutucu basıncı ilişkin hasarlara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu, gösterilmektedir.



Şekil 88. Ara soğutucu basıncı ilişkin hasarlara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

Kompresörün, titreşim ve sarsıntılı çalışmasına neden olan başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 20’de verilmiştir.

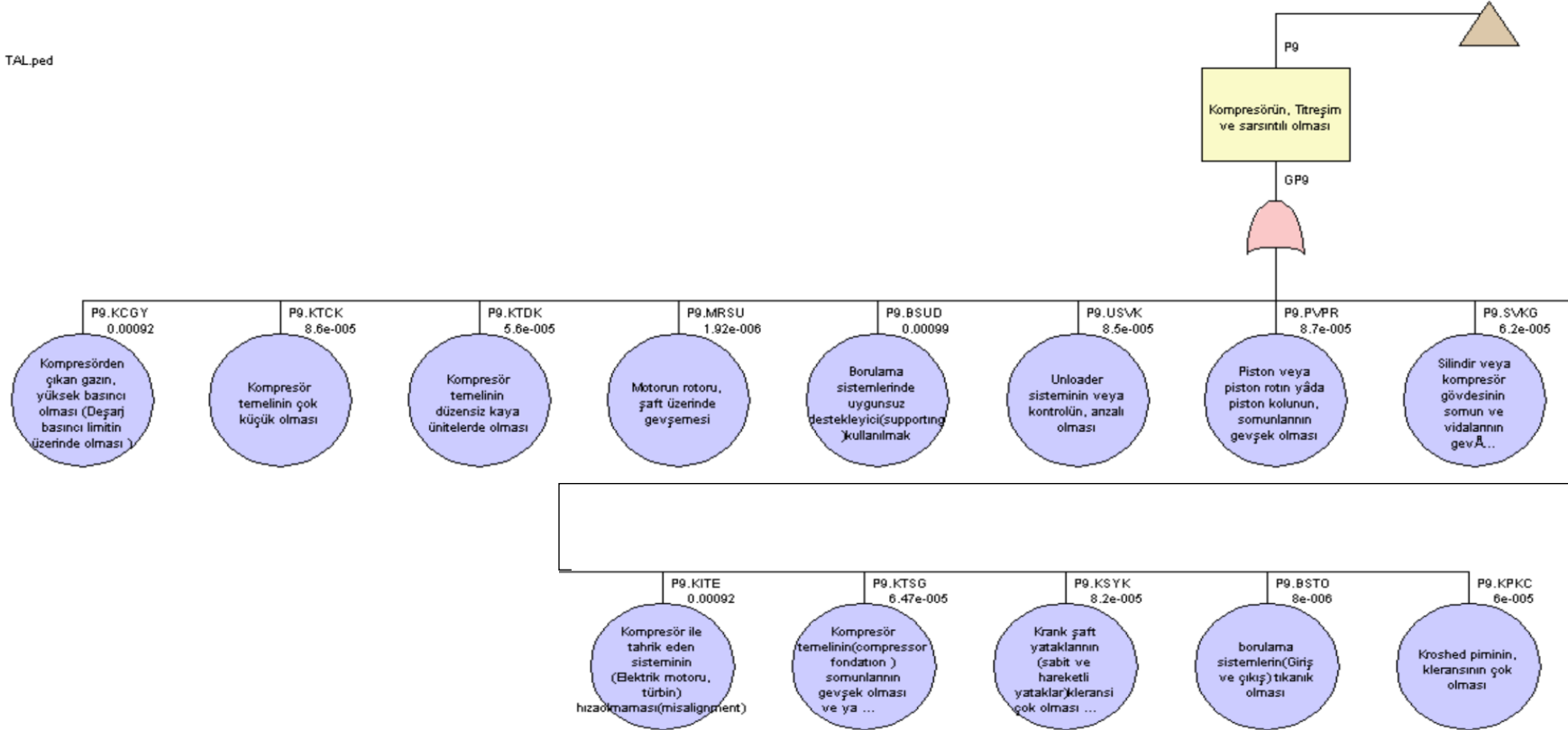
Tablo 20. Kompresörün, titreşim ve sarsıntılı olmasına neden olan başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Proses kaynaklı başlangıç olayları	Kısaltması	OD
Kompresörün, titreşim ve sarsıntılı olması	P9	
Kompresörden çıkan gazın, yüksek basıncı olması (deşarj basıncı limitin üzerinde olması)	P9.KCGY	9.2E-4
Kompresör temelinin çok küçük olması	P9.KTCK	8.6E-5
Kompresör temelinin düzensiz kaya ünitelerde olması	P9.KTDK	5.6E-05
Motorun rotoru, şaft üzerinde gevşemesi	P9.MRSU	1.92E-6
Borulama sistemlerinde uygunsuz destekleyici(supporting) kullanılmak	P9.BSUD	9.9E-4
Boşaltıcı (unloader) sisteminin veya kontrolün, arızalı olması	P9.USVK	8.5E-05
Piston veya piston rotunun yâda biyel, somunlarının gevşek olması	P9.PVPR	8.7E-5
Silindir veya kompresör gövdesinin somun ve vidalarının gevşek olması (çerçevenin gövde bağlantısının vidalarının gevşemesi)	P9.SVKG	6.2E-5
Kompresör ile tahrik eden sisteminin (elektrik motoru ,türbin) hıza olmaması(misalignment)	P9.KITE	9.2E-4
Kompresör temelinin(compressor fondation) somunlarının gevşek olması ve ya temelin uygun olmaması	P9.KTSG	6.47E-5
Krank şaft yataklarının (sabit ve hareketli yataklar) boşluğun çok olması veya bozuk olması	P9.KSYK	8.2E-5
Borulama sistemlerin(giriş ve çıkış) tıkanık olması	P9.BSTO	8.0E-6
Kroset piminin, boşluğunun çok olması	P9.KPKC	6.0E-5

Kompresörün, Titreşim ve sarsıntılı olmasına neden olan olayların FTA programında oluşumu Şekil 89’da gösterilmektedir.

TAL.ped

T9.fta



Şekil 89. Kompresörün, titreşim ve sarsıntılı olmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

Çalışma sıklığının anormal uzun olması ve kompresör kapasitesinin düşük olması ve aşırı yük ve kompresörün unload etmemesine neden olan başlangıç olayları, olayların kısaltmaları ve olasılık değerlerler Tablo 21’de verilmiştir.

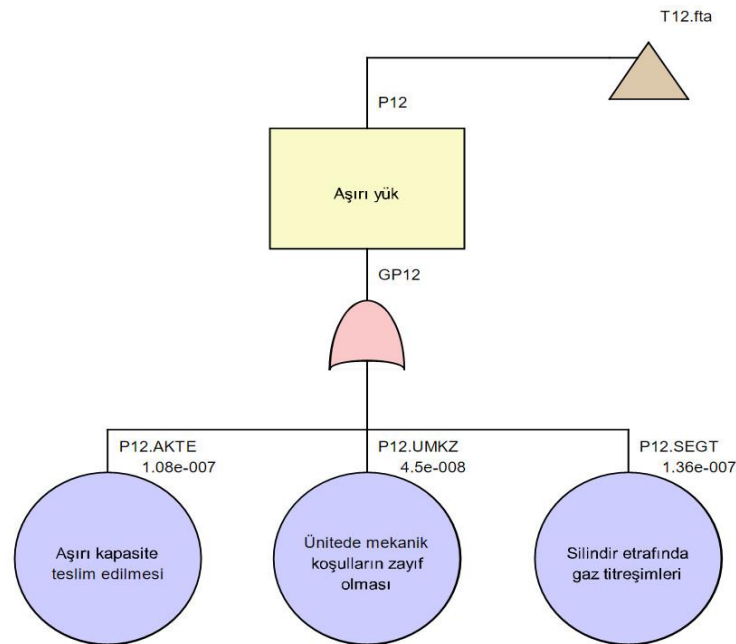
Tablo 21. Çalışma sıklığının anormal uzun olması, kompresör kapasitesinin düşük olması , aşırı yük ve Kompresörün unload etmemesine neden olan başlangıç olaylara , olayların kısaltmaları ve olasılık değerlerler

Proses kaynaklı başlangıç olayları	Kısaltması	OD
Çalışma sıklığının anormal uzun olması	P10	
Deşarj basıncının limitin üzerinde olması	P10.DBLU	4.8E-08
Silindir gömleği veya pistonun aşınması veya çizikli yüzey olması	P10.SGVP	1.34E-08
Piston segmanlarının, yuvalarında sıkışması veya kırılması	P10.PSYS	4.8E-08
Unloderin arızalı olması	P10.UAO	4.6E-08
Sistemin aşırı sızdırmalar	P10.SAS	4.8E-08
Valflerin hasarlanması	P10.VH	1.2E-07
Kompresör kapasitesinin düşük olması	P11	
Gaz ölçme tekniklerin yanlış olması	P11.GOTY	3.4E-08
Silindir yakınında, gaz titreşiminin olması	P11.SYGT	1.14E-07
Piston segmanlarının bozulması	P11.PSB	1.78E-07
Boşaltıcı (unloader) sisteminin bozuk olması	P11.USBO	1.3E-07
Valflerin iyi çalışmaması	P11.VIC	2.4E-07
Giriş gaz filtrelerinin kirli veya tıkanık olması	P11.GGFK	2.2E-07
Borulama sistemlerinde, basınç düşüşünün çok olması	P11.BSBD	1.48E-07
Elektro motor devrinin düşük olması	P11.EMDD	1.14E-07
Giriş gazın basıncının az olması	P11.GGBA	1.48E-07
Gaz giriş yollarının tıkanık olması	P11.GGYT	1.46E-07
Salmastra kutusundan (packing seal) çoklu gazın sızıntısı	P11.SKCG	1.5E-07
Aşırı yük	P12	
Aşırı kapasite teslim edilmesi	P12.AKTE	1.08E-07
Ünitede mekanik koşulların zayıf olması	P12.UMKZ	4.5E-08
Silindir etrafındaki gaz titreşimleri	P12.SEGT	1.36E-07

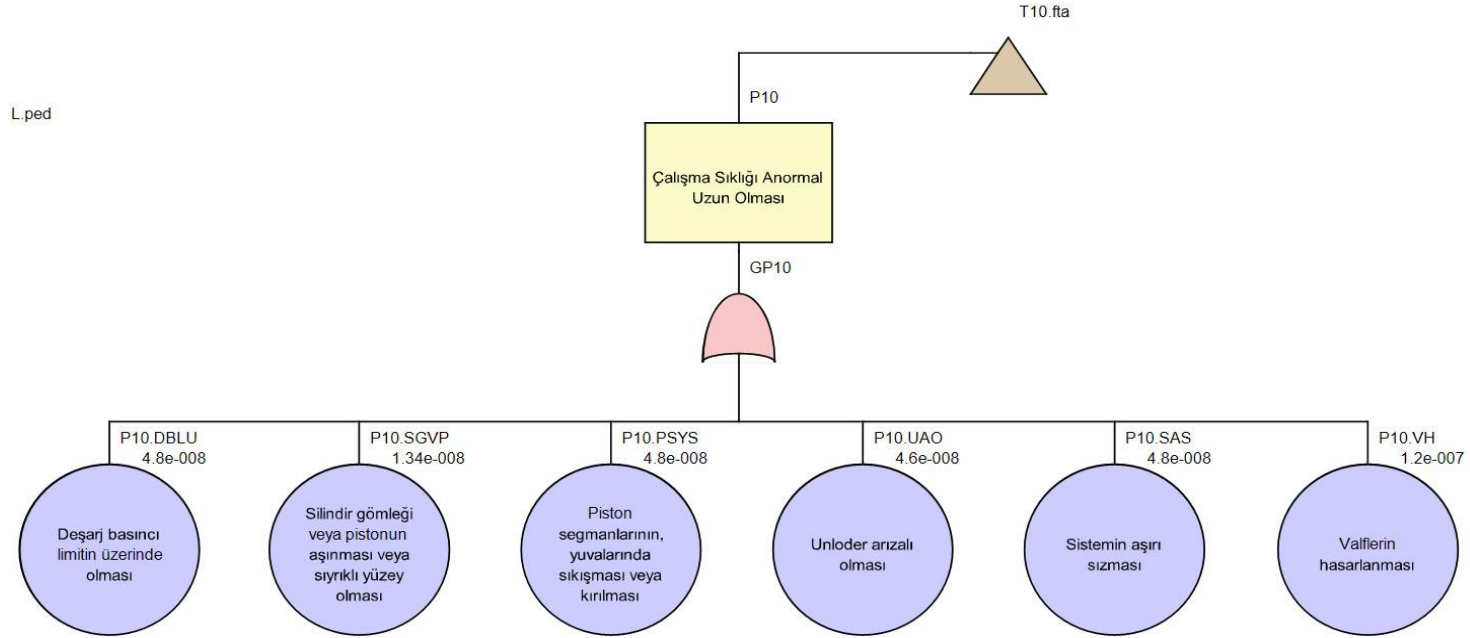
Tablo 21'in devamı

Kompresörün unload etmemesi	P13	
Borulama elemanların tıkalı olması	P13.BETO	4.1E-08
Unloder parçalarının aşınması veya kirli olması	P13.UPAV	1.66E-08
Yanlış rotasyon	P13.YR	6.6E-09
Elektrik koşullarının yanlış olması	P13.EKYO	7.6E-09
Tahrikin yetersiz olması	P13.TYO	2.4E-08
Voltajın anormal şekilde düşük olması	P13.VASD	4.2E-08
Motorun aşırı yüklenmesi ve röle atması	P13.MAYV	2.6E-08
Sigortanın yanması	P13.SY	3.6E-08
Kabloların uygunsuz olması	P13.KUO	1.16E-07
Yağ basıncının düşük olması ve rölenin açık olması	P13.YBDO	1.46E-08

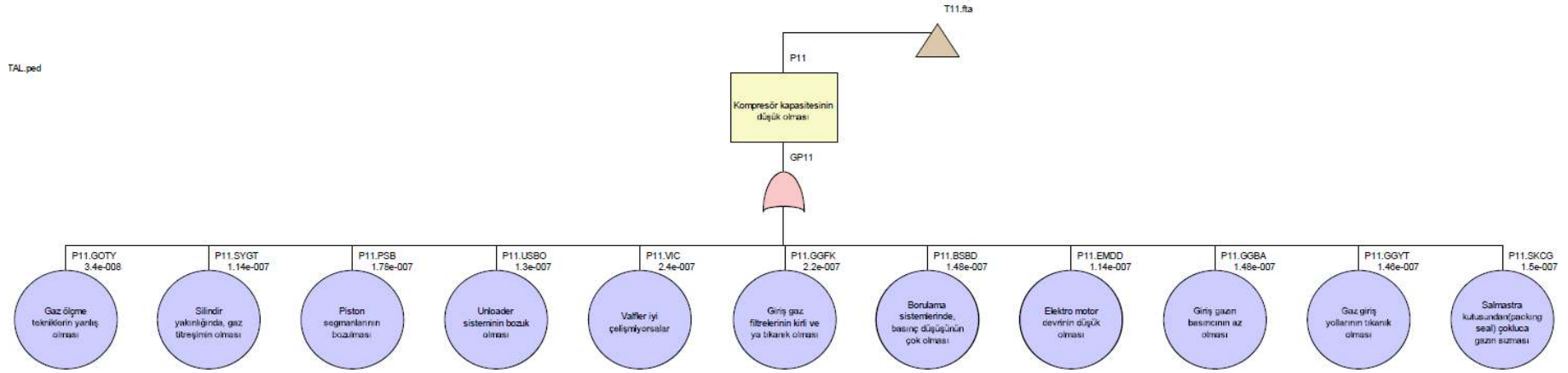
Aşırı yük ve kompresörün unload etmemesine, neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu şekil 90'de gösterilmektedir. Şekil 91 'de Kompresörün çalışma sıklığının anormal uzun olmasına, neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu gösterilmiştir



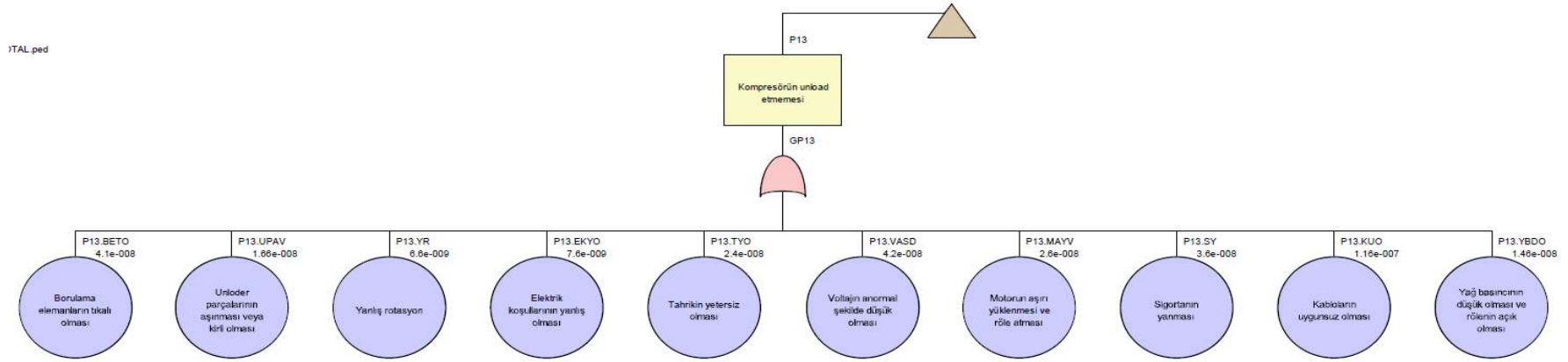
Şekil 90. Aşırı yüke, neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu



Şekil 91. Kompresörün çalışma sıklığının anormal uzun olmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşum



Şekil 92. Kompresör kapasitesinin düşük olmasına, neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu



Şekil 93. Kompresörün unload etmemesine neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

Gaz taslımı, kapasite limitinden çok az olması, kompresörden yüksek basınçlı gazın çıkamaması ve teslim edilmemesi, istenen basınca ulaşmak için ünite sürecinin çok uzun olması, Unloderin düzensiz çalışması neden olan başlangıç olayları, olayların kısaltmaları ve olasılık değerleri Tablo 22’de verilmiştir.

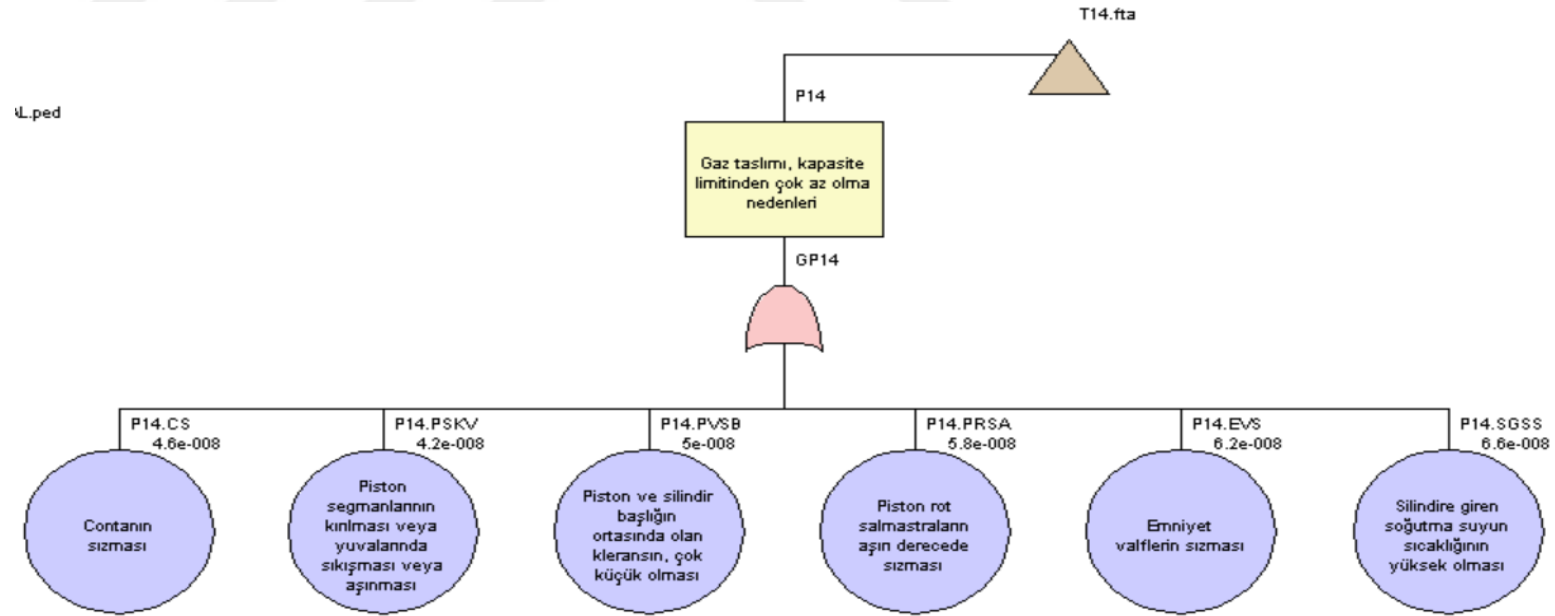
Tablo 22. Gaz tesliminin, kapasite limitinden çok çok az olması , kompresörden yüksek basınçlı gazın çıkamama ve teslim edilmemesi, istenen basınca ulaşmak için ünite sürecinin çok uzun olması, Unloderin düzensiz çalışması neden olan başlangıç olaylar ve olayların kısaltmaları ve olasılık değerleri

Proses kaynaklı başlangıç olaylar	Kısaltması	OD
Gaz taslımı, kapasite limitinden çok az olması	P14	
Contanın sızdırması	P14.CS	4.6E-08
Piston segmanlarının kırılması veya yuvalarında sıkışması veya aşınması	P14.PSKV	4.2E-08
Piston ve silindir başlığın ortasında olan boşluğun, çok küçük olması	P14.PVSB	5E-08
Piston rot salmastraların aşırı derecede sızdırması	P14.PRSA	5.8E-08
Emniyet valflerin sızdırması	P14.EVS	6.2E-08
Silindire giren soğutma suyun sıcaklığının yüksek olması	P14.SGSS	6.6E-08
Kompresörden yüksek basınçlı gazın çıkamaması ve teslim edilmemesi	P15	
Valflerin hasar görmesi	P15.VHG	7.2E-07
Sistemin basınç ayarının çok yüksek olması	P15.SBAÇ	1.52E-07
Borulardaki sızmalar	P15.BS	1.22E-07
Hızın çok düşük olması	P15.HÇDO	6.25E-08
Kompresörün gaz talebinin aşırı derecede fazla olması	P15.KGTA	8.2E-08
Giriş filtrelerinin arızalı olması	P15.GFAO	3.3E-07

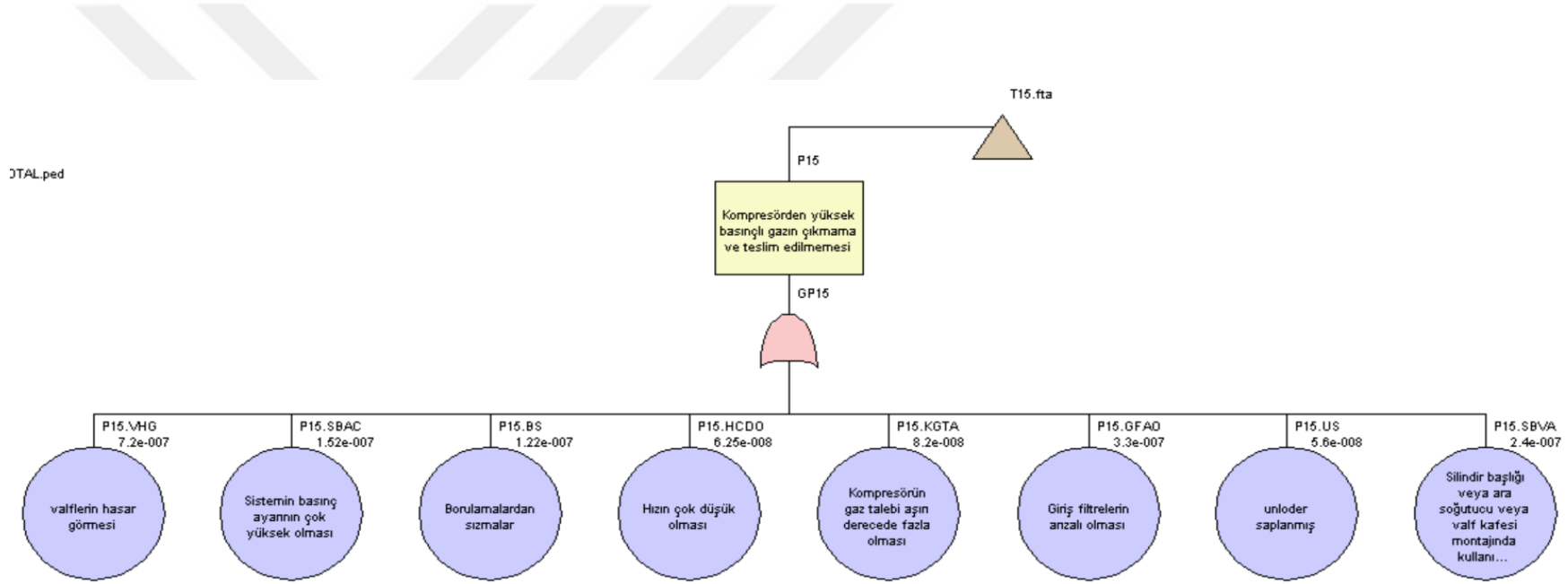
Tablo 22'nin devamı

Unloder saplanmış	P15.US	5.6E-08
Silindir başlığı veya ara soğutucu veya valf kafesi montajında kullanılan	P15.SBVA	2.4E-07
İstenen basınca ulaşmak için ünite sürecinin çok uzun olması	P16	
Girişin kısmen bloke olması ve tıkanması	P16.GKBO	6.6E-08
Giriş filtresinin kirlenmesi	P16.GFK	1.3E-07
Unloderin kısmen baypas etmesi	P16.UKB	2.4E-08
Valflerin arızalı olması	P16.VAO	9.6E-08
Borular ve bağlantıların sızdırması	P16.BVBS	1.3E-08
Unloderin düzensiz çalışması	P17	
Kontrol hava hattının sızdırması	P17.KHHS	8.4E-08
Kontrol hava hattının çok küçük olması	P17.KHLC	6.8E-08
Kontrol hava hattının kısmen tıkalı olması	P17.KHLK	8.8E-08
Unloder yayının uygunsuz seriden olması	P17.UYUS	8.4E-08
Girişin kısmen bloke olması ve tıkanması	P16.GKBO	6.6E-08
Giriş filtresinin kirlenmesi	P16.GFK	1.3E-07
Unloderin kısmen baypass etmesi	P16.UKB	2.4E-08
Valflerin arızalı olması	P16.VAO	9.6E-08

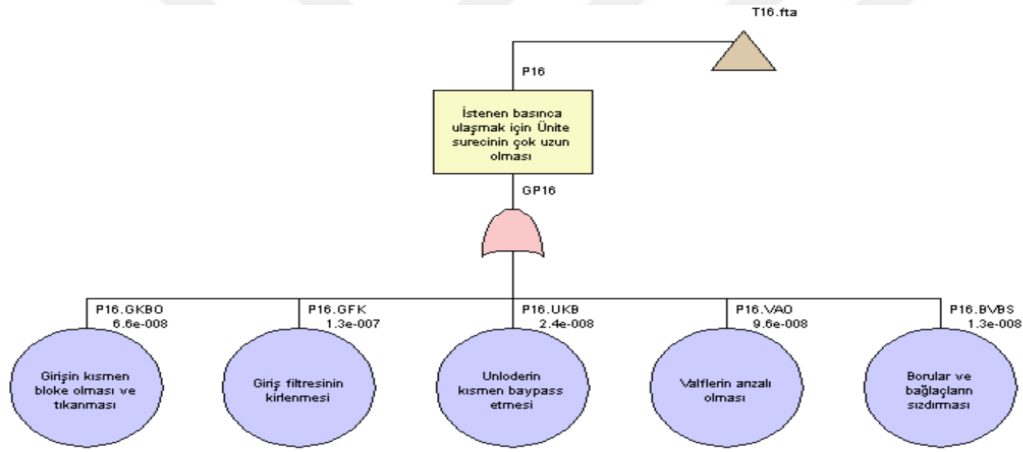
Tablo 22'de verilen olayların hata ağacı analizi programındaki oluşumu Şekil 94, 95, 96 ve 97'de verilmiştir.



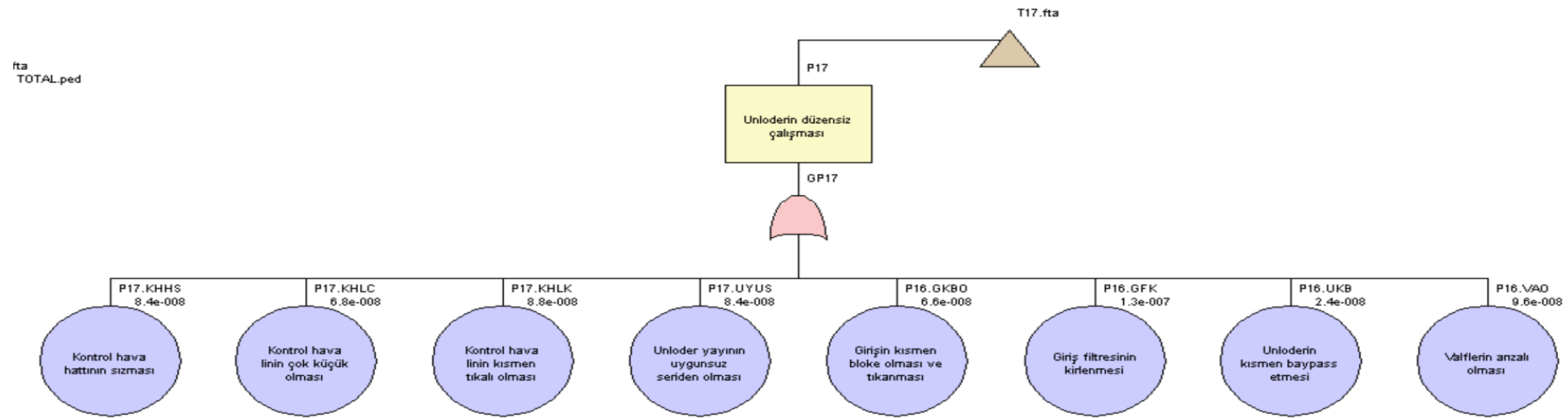
Şekil 94. Gaz teslimiminim, kapasite limitinden çok az olmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumları



Şekil 95. Kompresörden yüksek basınçlı gazın çıkamaması ve teslim edilmemesine neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu



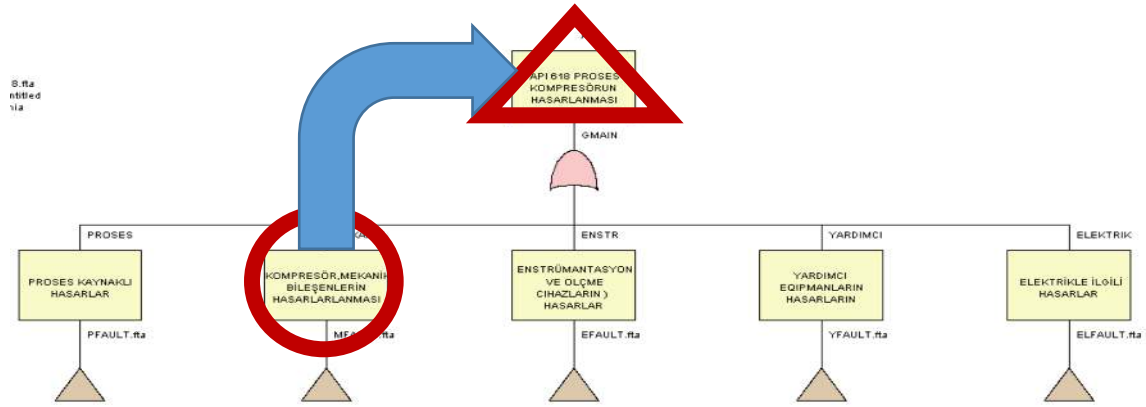
Şekil 96. İstenen basınca ulaşmak için ünite sürecinin çok uzun olmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumları



Şekil 97. Unloderin düzensiz çalışmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumları

2.8. Kompresörün Hasarlanmasına Sebep Olan Mekanik Bileşenlerin Arızaları

Kompresörün hasarlanmasına sebep olan mekanik bileşenlerin arızaları, sunulan tez çalışmasında ikinci temel etmen olarak incelenmiştir. Hata ağacında olan zirve olayı yani kompresörün hasarlanması “veya” kapısı yardımıyla ikinci sıradaki kompresörün mekanik bileşenlerin arızaları (temel etmen olay (orta olaya)) bağlanmaktadır.



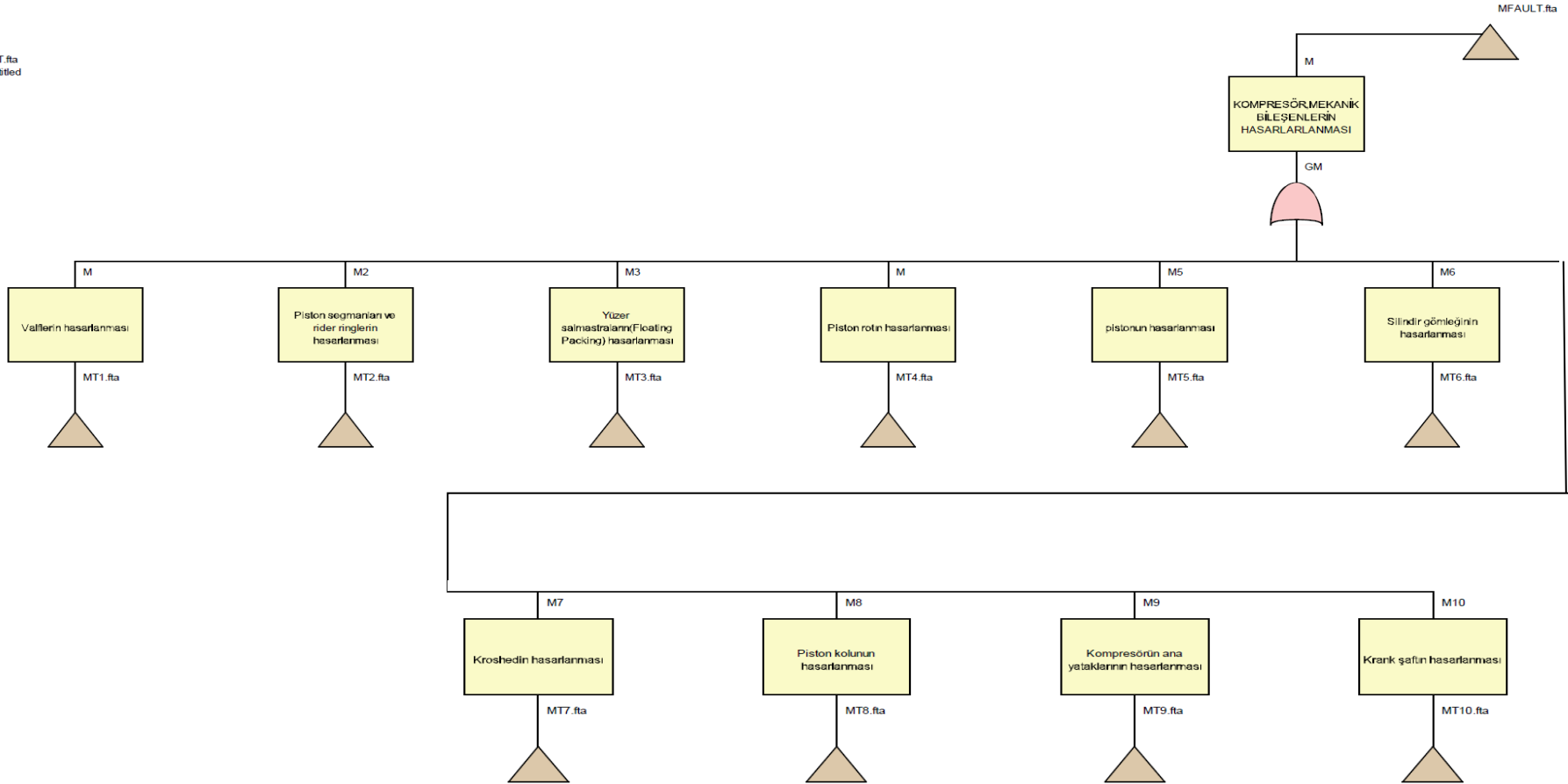
Şekil 98. Kompresörün hasarlanmasına sebep olan mekanik bileşenlerin arızaları

Kompresörün mekanik bileşenlerin arızaları yani orta olaylardan aşağı seviyedeki, diğer olaylar bulunmaktadır, bu olaylar dâhil olmak üzere;

- M1 (mekanik 1). Valflerin hasarlanması
- M2 (mekanik 2). Piston segmanları ve bant tipi segmanların (rider ring) hasarlanması
- M3 (mekanik 3). Yüzer salmastraların (floating packing) hasarlanması
- M4 (mekanik 4). Piston rotunun hasarlanması
- M5 (mekanik 5). Pistonun hasarlanması
- M6 (mekanik 6). Silindir gömleğinin hasarlanması
- M7 (mekanik 7). Krosetin hasarlanması
- M8 (mekanik 8). Biyelin hasarlanması
- M9 (mekanik 9). Kompresörün ana yataklarının hasarlanması
- M10 (mekanik 10). Krank milinin hasarlanması

Kompresörün mekanik bileşenlerin arızalara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu Şekil 99’da gösterilmiştir.

L.T.fta
Initiated



Şekil 99. Kompresörün mekanik bileşenlerin arızalara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

Tablo 23’de valflerin hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri verilmiştir. Tablo 23’de görüldüğü gibi valflerin hasarlanmasına neden olan altı etmen yani valflerin anormal aşınması (sızdırmazlık yüzeylerin anormal aşınması), karbon içerikli maddelerin anormal depolanması, valf parçalarının yorulması, anormal darbelerin etkisi, valfler ve yayların aşırı kırılması, valflerin korozyona uğraması ve her birinin altında olan başlangıç olayları gösterilmektedir.

Tablo 23. Valflerin hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar , başlangıç olaylar , olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Kompresör, mekanik bileşenler başlangıç olayları	Kısaltması	OD
Valflerin hasarlanması-M1		
Valflerin anormal aşınması (sızdırmazlık yüzeylerin anormal	M1x1	
Gaz filtrelerin tıkalı olması	M1,1.GFTO	3.646E-07
Valflerin yanlış şekilde monte edilmesi	M1,1.VYŞM	4.739E-07
Kirli maddelerin silindirin içine girmesi	M1,1.KMSİ	8.7E-04
Yetersiz yağlama	M1,1.YY	1.823E-07
Yeni valfin, aşınmış oturma yüzeyinde olması	M1,1.YVAS	2.734E-07
Yağ beslemesinin aşırı olması (aşırı yağlama yağı)	M1,1.YBAO	8.27E-04
Yanlış yağ viskozitesi	M1,1.YYV	2.279E-07
Giriş veya çıkış rezonans titreşimi	M1,1.GVÇR	9.13E-04
Valf yaylarının kırılması	M1,1.VYK	5.47E-04
Unloder veya kontrol arızalı olması	M1,1.UVKA	2.62E-04
Valflerin kirli olması	M1,1.VKO	9.11E-05
Aşınmış olan valfin iyi oturma yüzeyi olması	M1,1.AOVİ	1.823E-07

Tablo 23'ün devamı

Sıvılarının silindir içine taşınması	M1,1.SSİT	8.1E-04
Karbon içerikli maddelerin anormal depolanması (valflerin üzerinde aşırı karbon olması)	M1x2	
Deşarj basıncının limitin yüzeyinde olması	M1,2DBLY	5.45E-08
Valflerin kırılması veya aşınması (yüksek sıcaklıktan dolayı valflerin kırılması ve sızdırması)	M1,2VKVA	8.14E-04
Valflerin silindir içinde oturmaması	M1,2VSIO	4.91E-08
Valflerin yanlış yerlerde olması	M1,2VYYO	1.38E-07
Conta sızdırması	M1,2CS	2.46E-09
Unloder veya kontrolün arızalı olması	M1,2UVKAO	5.57E-08
Piston segmanlarının yuvalarında sıkışması veya aşınması veya kırılması	M1,2PSYSVA	7.19E-08
Silindir gömleklerin veya pistonların, aşınması veya çizikli yüzey olması	M1,2GVPA	1.03E-07
Kompresör hızının çok olması	M1,2KHCO	5.26E-08
Yağ beslemenin aşırı olması (aşırı yağlama yağı)	M1,2YBAD	9.47E-04
Yağ seviyesinin yüksek olması	M1,2YSYO	2.1E-06
Yanlış yağ viskozitesi	M1,2YYV	1.05E-04
Çevre sıcaklığının çok olması	M1,2CSCO	4.49E-07
Vantilatörün yetersiz olması	M1,2VYO	1.2E-07
Gaz akışının, fan soğutucuya doğru bloke olması	M1,2GAFSDB	3.05E-08
Rotasyonun yanlış olması	M1,2RYO	2.4E-08
Devri dışı bırakmak zamanının yetersiz olması	M1,2DDBZY	5.15E-07

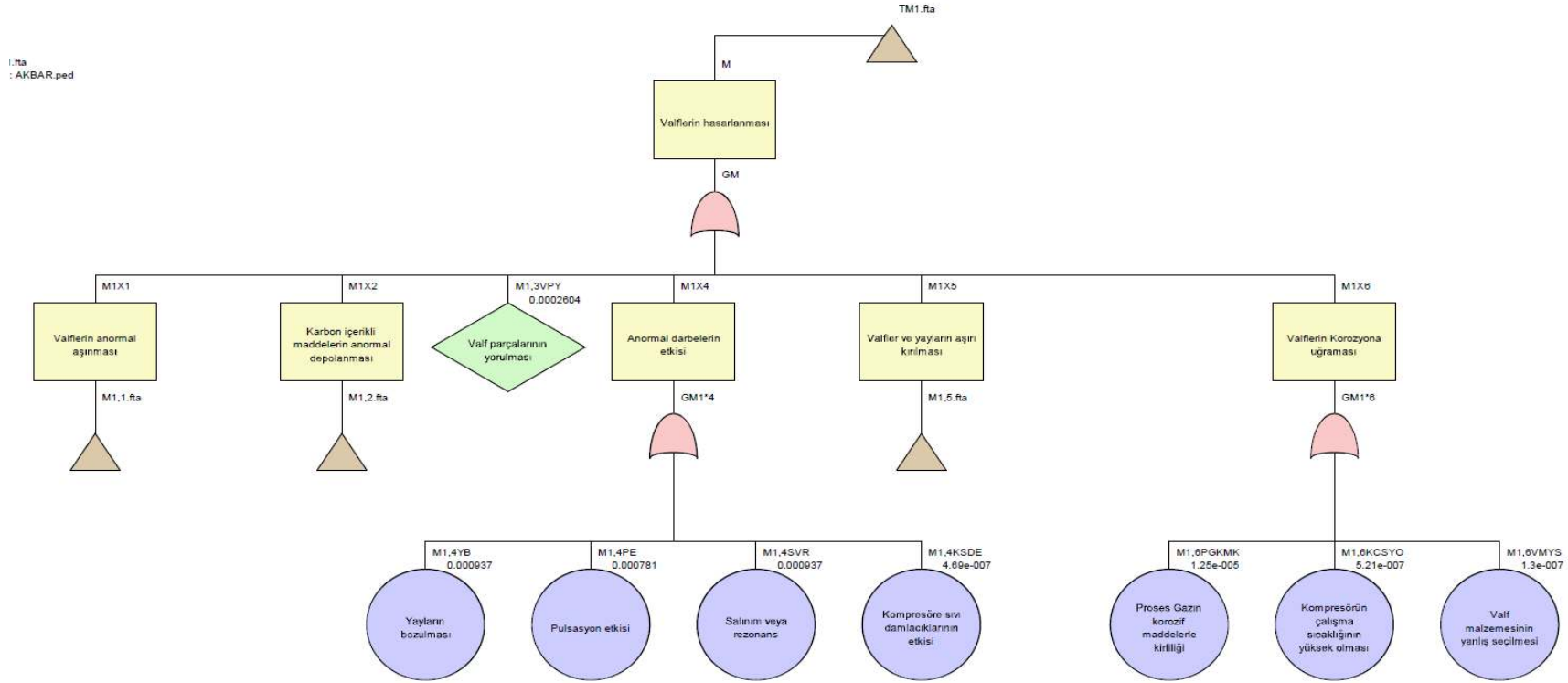
Tablo 23'ün devamı

Silindir başlığındaki soğutma suyunun kirli olması	M1,2SBSSKO	1.8E-07
Soğutma suyun sıcaklığının çok yüksek olması	M1,2SSSCYO	1.91E-07
Su ceketinin veya soğutucunun kirli olması	M1,2SCVSKO	1.26E-07
Valflerin kirli olması	M1,2VKO	3.7E-04
Çıkış gazın sıcaklığının yüksek olması	M1,2CGSYO	8.59E-04
Yanlış yağ tipi	M1,2YYT	1.5E-07
Gaz filtrelerinin arızalı olması	M1,2GFAO	6.17E-07
Pas kirliliklerin silindirin içine girmesi	M1,2PKSIG	2.11E-07
Valfin yüzeyinde aşırı karbon olması	M1,2VYAKO	3.26E-05
Yanlış yağ kullanılması (çok hafif ve çok karbon artığı bırakması)	M1,2YYK	8.86E-08
Giriş sistemi veya önceki aşamadan taşınan yağın	M1,2GSVOA	7.25E-08
Silindir arasında yüksek basınç oranı nedeniyle aşırı sıcaklığın olması	M1,2SAYB	6.59E-08
Unloder ayarının yanlış olması	M1,2UAYO	7.19E-08
Valflerin hasarlanması-m1		
Valf parçalarının yorulması	M1,3VPY	2.604E-04
Anormal darbelerin etkisi	M1x4	
Yayların bozulması	M1,4YB	9.37E-04
Pulsasyon etkisi	M1,4PE	7.81E-04
Salınım veya rezonans	M1,4SVR	9.37E-04
Kompresöre sıvı damlacıklarının etkisi	M1,4KSDE	4.687E-07

Tablo 23'ün devamı

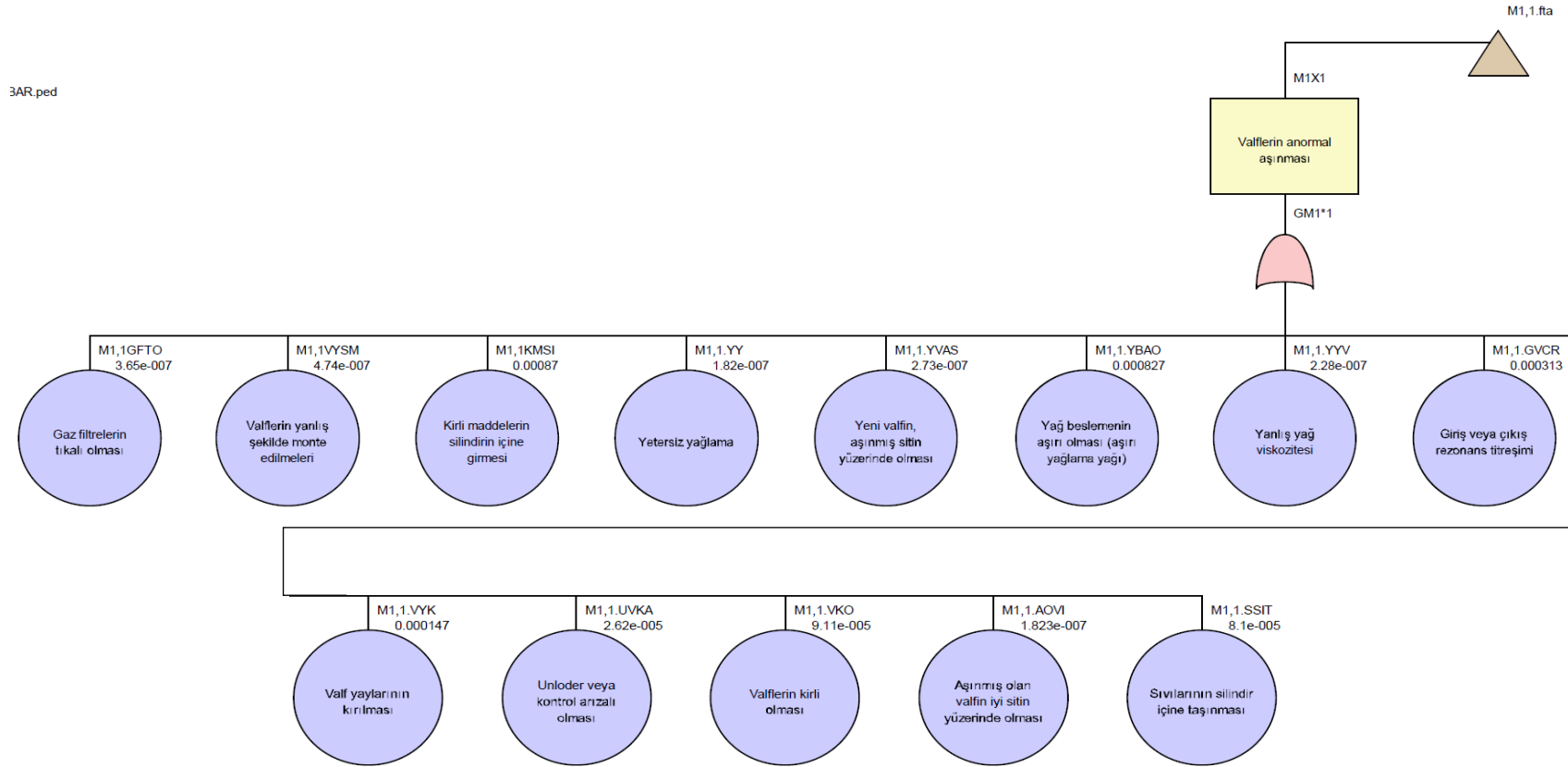
Valfler ve yayların aşırı kırılması	M1x5	
Kirli gaz veya yabancı maddelerin gaz akışının içinde olması ve kompresör içine girmesi	M1,5CGSYO	6.25E-07
Silindirin aşırı yağlanması	M1,5SAY	3.906E-07
Valfler içinde karbon depolamaları (ağır hidrokarbon depolamaları)	M1,5VIKD	9.721E-04
Valflerin yanlış şekilde monte etmesi	M1,5VYSME	1.562E-07
Sıvıların silindir içine girmesi	M1,5SSIG	9.54E-05
Valf plakaların aşırı derecede hareket etmesi (valve lift)	M1,5VPADHE	9.54E-05
Basıncın ani değişimi (resonance pulsation)	M1,5BMAD	1.172E-07
Kompresörün basıncının aşırı derecede düşük olması	M1,5KBADD	7.812E-08
Aşırı yağlama yağının olması, uygun yağın kullanılmaması ve silindirin aşırı sıcaklık olması	M1,5AYYOV	8.14E-05
Boşaltıcı (unloader) sistemin bozuk olması, kompresörde ani yükleme değişimi	M1,5BSBO	1.953E-07
Valflerin korozyona uğraması	M1x6	
Proses gazın koroziv maddelerle kirliliği	M1,6PGKMK	1.25E-05
Kompresör çalışma sıcaklığının yüksek olması	M1,6KCSYO	5.21E-07
Valf malzemesinin yanlış seçimi	M1,6VMYS	1.3E-07

Valflerin hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil 102'de gösterilmektedir. Valflerin hasarlanması neden olan valflerin anormal aşınması (sızdırmazlık yüzeylerin anormal aşınma) ve karbon içerikli maddelerin anormal depolanması ve valfler ve yayların aşırı kırılması, hata ağacı analizi programında oluşumları Şekil 103, 104 ve 105'de gösterilmektedir. Valflerin hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu Şekil 100'de gösterilmiştir.

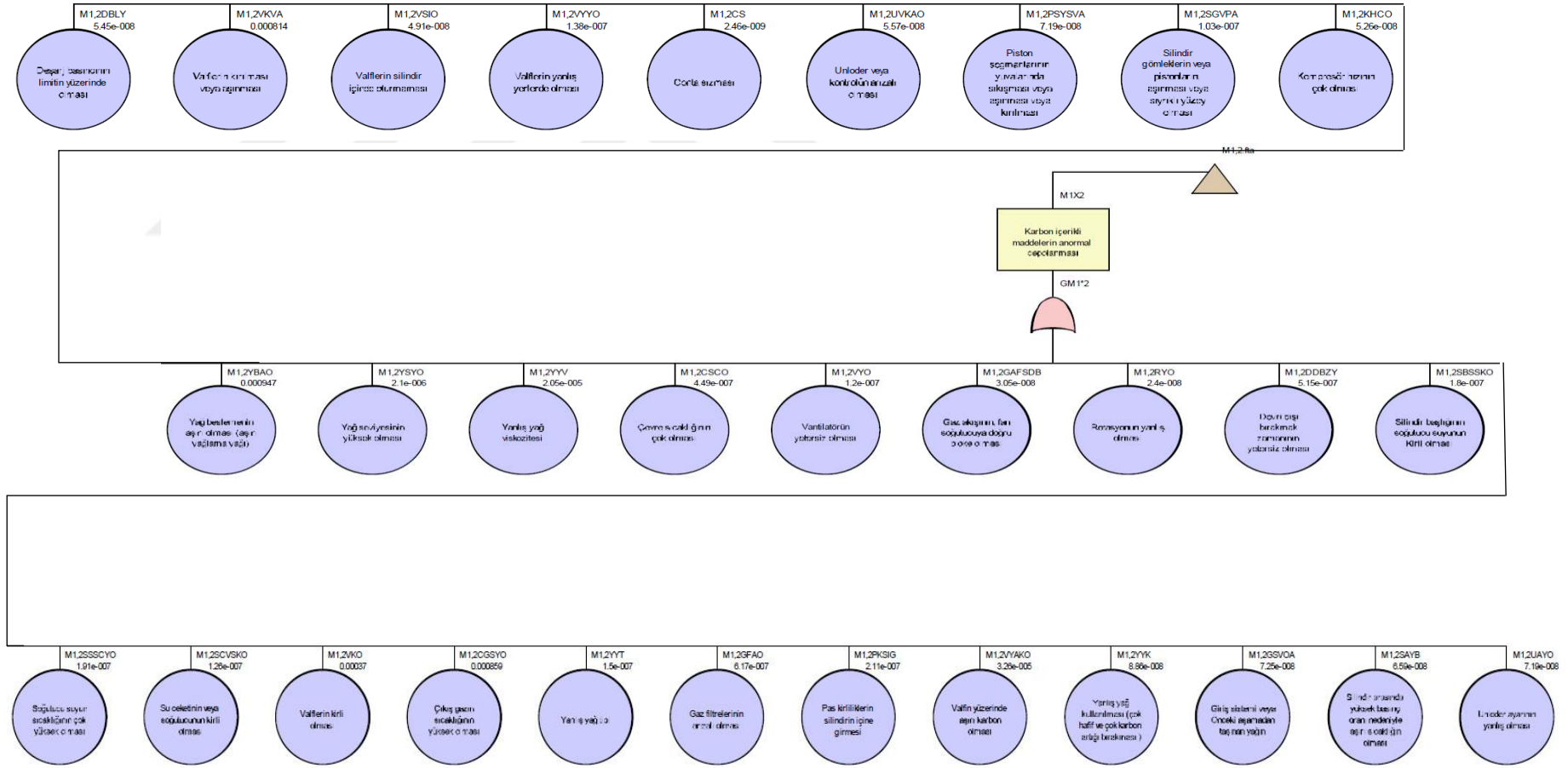


Şekil 100. Valflerin hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

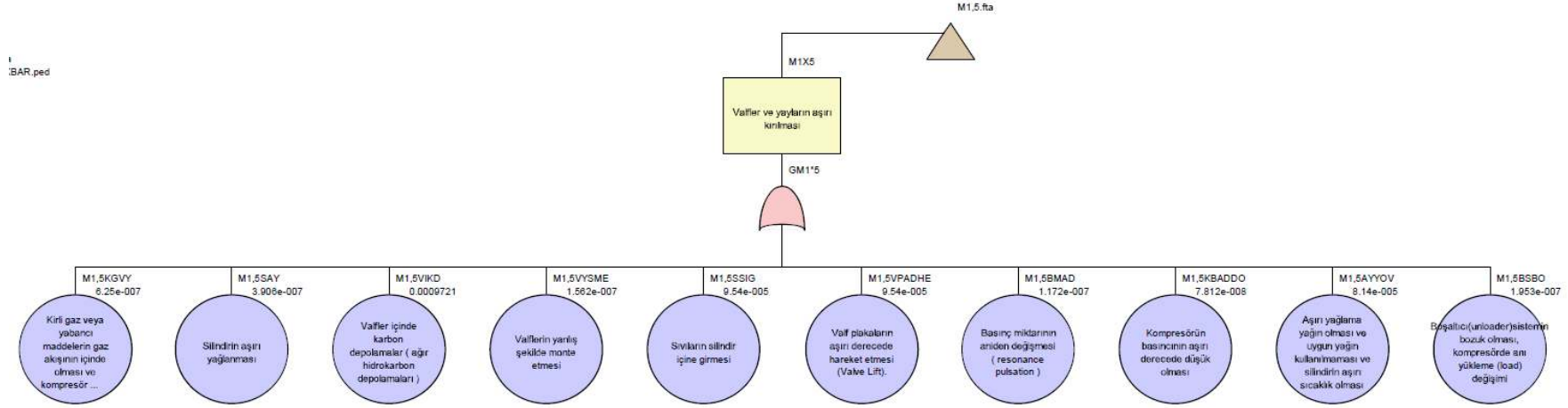
Valflerin hasarlanmasına neden olan valflerin anormal aşınması (sızdırmazlık yüzeylerin anormal aşınma) hata ağacı analizi programında oluşumu Şekil 101’de gösterilmiştir.



Şekil 101. Valflerin hasarlanmasına neden olan valflerin anormal aşınması (sızdırmazlık yüzeylerin anormal aşınması) hata ağacı analizi oluşumu



Şekil 102. Valflerin hasarlanmasına neden olan karbon içerikli maddelerin anormal depolanması hata ağacı analizi programında oluşumu



Şekil 103. Valflerin hasarlanmasına neden olan valfler ve yayların aşırı kırılması hata ağacı analizi programında oluşumu

Piston segmanları ve bant tipi segmanların hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 24’de verilmiştir. Tablo 24’de görüldüğü gibi piston segmanları ve bant tipi segmanların hasarlanmasına neden olan başlangıç olayları gösterilmektedir.

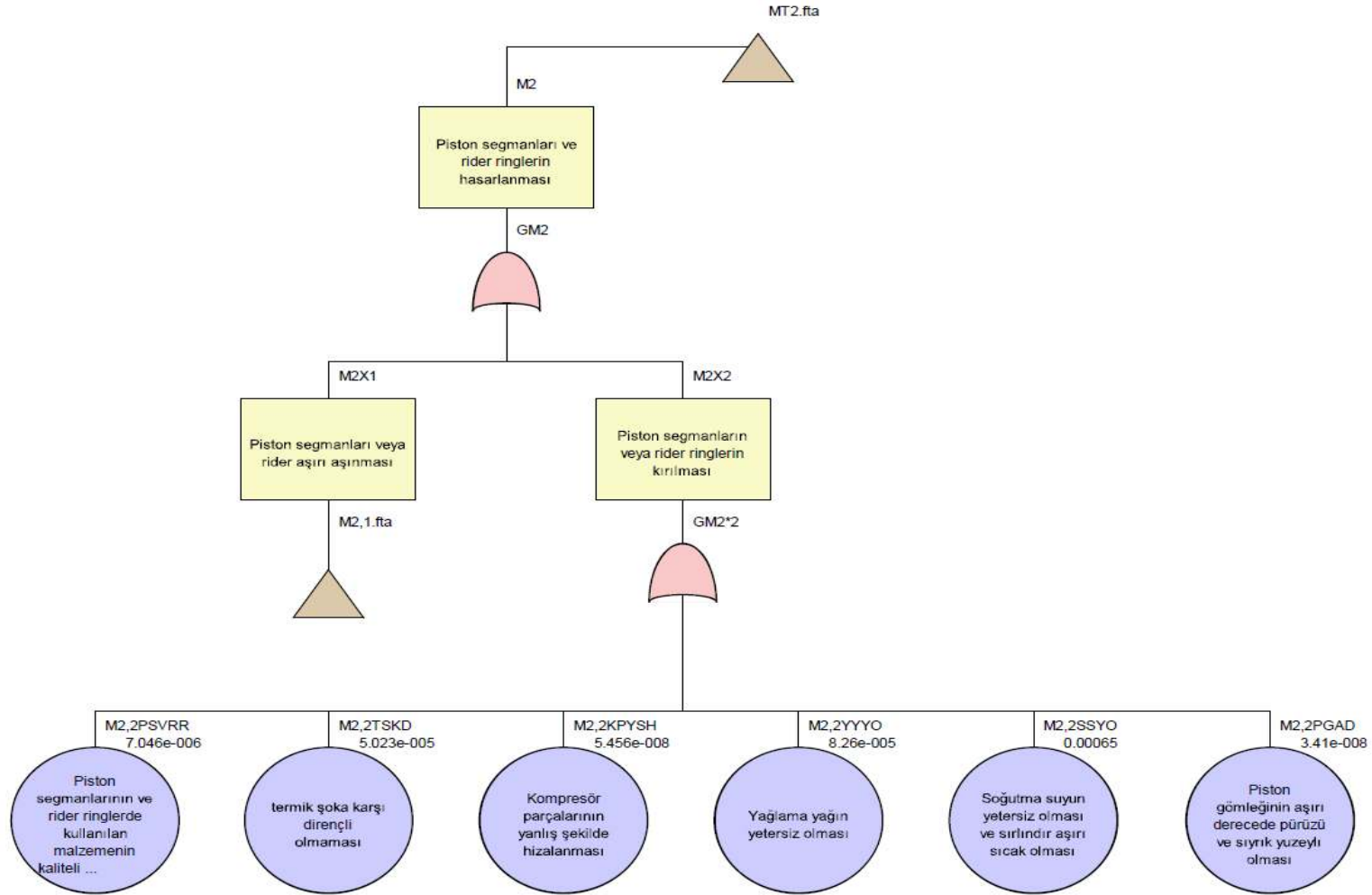
Tablo 24. Piston segmanları ve bant tipi segmanların hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Kompresör, mekanik bileşenler başlangıç olayları	ID kodu	OD
Piston segmanları ve bant tipi segmanların hasarlanması-M2		
Piston segmanları veya bant tipi segmanların aşırı aşınması	M2X1	
Piston segmanlarının yuvalarında sıkışması veya aşınması veya sıyrık yüzey olması	M2,1PSYS	1.67E-04
Silindir gömleklerinin veya pistonların aşınması veya yüzeylerinin sıyrık olması	M2,1SGVP	9.33E-08
Sıvıların silindirlerin içine girmesi	M2,1SSIG	3.56E-04
Yetersiz yağlama /yanlış yağ viskozitesi	M2,1YYY	9.89E-04
Yanlış yağ tipi	M2,1YYT	1.2E-05
Gaz filtrelerin arızalı olması	M2,1GFA	3.58E-04
Kirli maddelerin silindirin içine girmesi	M2,1KMSIG	7.56E-04
Deşarj basıncının limitin üzerinde olması	M2,1DBYO	2.31E-07
“Conta sızıntısı”	M2,1CS	2.59E-07
Unloder veya kontrolün arızalı olması	M2,1UVKA	5.18E-07
Unloder ayarının yanlış olması	M2,1UAYO	3.86E-07
Valflerin yanlış yerlerde olması	M2,1VYYO	1.04E-06

Tablo 24'un devamı

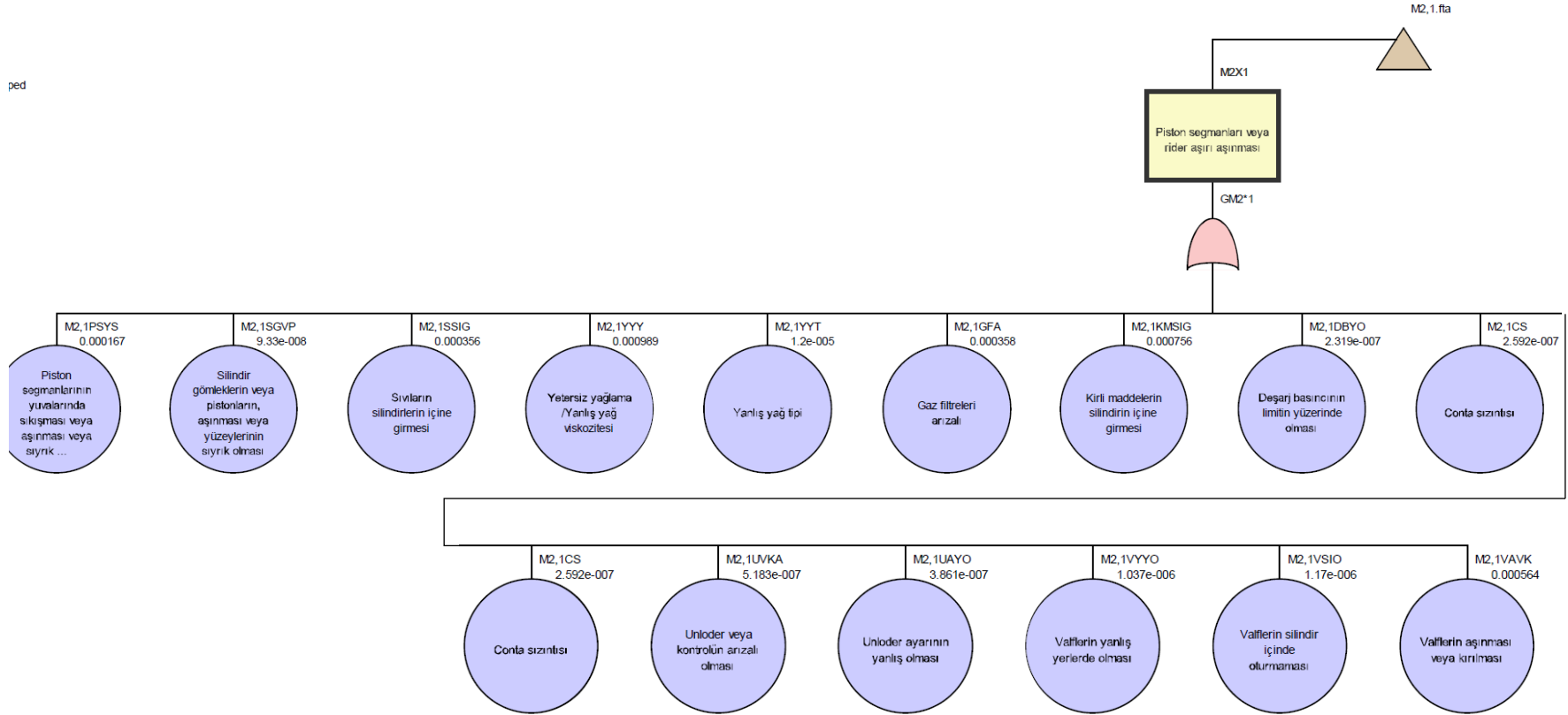
Valflerin silindir içinde oturmaması	M2,1VSIO	1.17E-06
Valflerin aşınması veya kırılması	M2,1VAVK	5.64E-04
Piston segmanların veya bant tipi segmanların (rider ring) kırılması	M2X2	
Piston segmanlarının ve bant tipi segmanlarda kullanılan malzemenin kaliteli olmaması ve yanlış malzeme kullanılması	M2,2PSVRR	7.046E-06
Termik şoka karşı dirençli olmaması	M2,2TSKD	5.023E-05
Kompresör parçalarının yanlış şekilde hizalanması	M2,2KPYSH	5.456E-08
Yağlama yağın yetersiz olması	M2,2YYYO	8.26E-05
Soğutma suyun yetersiz olması ve silindirin aşırı sıcak olması	M2,2SSYO	6.5E-04
Piston gömleğinin aşırı derecede pürüzü ve çizikli yüzeyle olması	M2,2PGAD	3.41E-08

Piston segmanları ve bant tipi segmanların hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil 104'de ve Piston segmanları ve bant tipi segmanların hasarlanmasına neden olan Piston segmanları veya rider aşırı aşınması, hata ağacı analizi programında oluşumları Şekil 105'de gösterilmektedir.



Şekil 104. Piston segmanları ve bant tipi segmanların (rider ring) hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

ped



Şekil 105. Piston segmanları ve bant tipi segmanların hasarlanmasına neden olan piston segmanları veya rider aşırı aşınmasının, hata ağacı analizi programında oluşumu

Yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 25’de verilmiştir. Tablo 25’de görüldüğü gibi yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan üç etmen yani salmastraların aşırı aşınması, salmastraların (packing seals) aşırı sızıntısı, salmastra kutusunun aşırı ısınması ve her birinin altında olan başlangıç olayları gösterilmektedir.

Tablo 25. Yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Kompresör, mekanik bileşenler başlangıç olayları	ID kodu	OD
Yüzer salmastraların hasarlanması-M3		
Salmastraların aşırı aşınması	M3X1	
Yağ beslemesinin aşırı olması (aşırı yağlama yağı)	M3,1YBAO	8.73E-07
Yağlamanın yetersiz olması	M3,1YYO	9.51E-04
Yağ seviyesinin çok düşük olması	M3,1YSCD	7.866E-04
Yağ tipinin yanlış olması	M3,1YTY	3.956E-07
Salmastra halkaların aşınması veya çizikli yüzey olması veya kırılması	M3,1SHAV	4.774E-07
Silindir gömleklerin veya pistonların, aşınması veya yüzeylerinin sıyrık olması	M3,1SGVP	5.388E-08
Deşarj basıncının limitin üzerinde olması	M3,1DBLY	3.178E-07
Yağ viskozitesinin yanlış olması	M3,1YVYO	6.002E-08
Piston segmanlarının aşınması veya yüzeylerinin çizikli olması	M3,1PSAV	5.722E-07
Piston rotunun aşınması	M3,1PRCA	6.98E-04
Unloder veya kontrolün arızalı olması	M3,1UVKA	1.541E-07

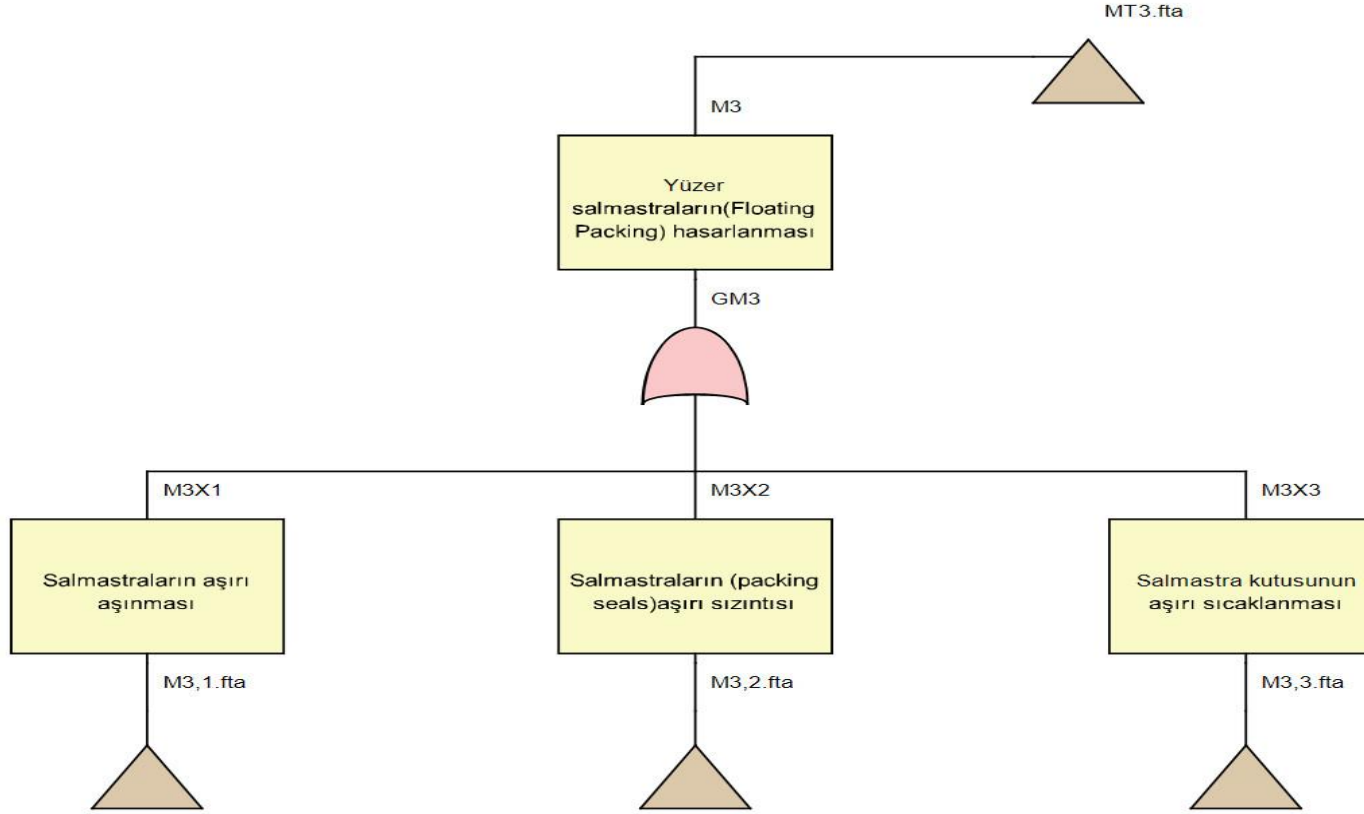
Tablo 25'in devamı

Unloder ayarının yanlış olması	M3,1UAYO	1.37E-07
Valflerin yanlış yerlerde olması	M3,1VYYO	2.046E-07
Valflerin silindir içinde oturmaması	M3,1VSIO	2.73E-07
Salmastraların (packing seals)aşırı sızıntısı	M3X2	
Salmastraların çok aşınması	M3,2SCA	9.75E-04
Salmastra kutusuna enjekte edilen yağın uygun olmaması veya yağ miktarının yetersiz olması	M3,2SKEE	8.73E-04
Salmastra parçalarının kirli olması veya yüzeylerinde karbon kalıntılarının oluşması (yüksek sıcaklık nedeniyle)	M3,2SPKO	7.63E-04
Basınç oran artışının yüksek olması	M3,2BOAYO	3.56E-07
Salmastra ringlerin yanlış şekilde monte edilmesi	M3,2SRYS	8.81E-04
Kenar ringlerin veya uç açıklığının boşluğunun uygunsuz olması	M3,2KRVU	1.473E-07
Salmastra kutusunun çıkış yollarının sisteminin tıkalı olması	M3,2SKCY	3.89E-07
Piston rotunun çizikli yüzey veya piston rot yüzeylerinde olan kaplamanın bozulması ve yüzeyin kaba olması	M3,2PRSYO	4.882E-07
Piston rotunun salgı miktarının çok olması	M3,2PRROM	3.92E-04
Salmastra parçacıkların mesafelerinin uygun olmaması	M3,2SPMU	1.23E-07
Soğutma suyu kanallarının tıkalı olması	M3,2SSYTO	4.01E-08
Piston rotunun, incilmesi	M3,2PRI	3.56E-08
Salmastraların kaba olması veya çalışma esnasında, metal olan salmastraların çarpması	M3,2SKOV	1.228E-07
Salmastraların, oturduğu kâseler içinde çok fazla hareket etmesi	M3,2SOKIC	2.046E-07
Piston rotu ve salmastra kutusunun hizalı olmaması	M3,2PRVSK	3.765E-08

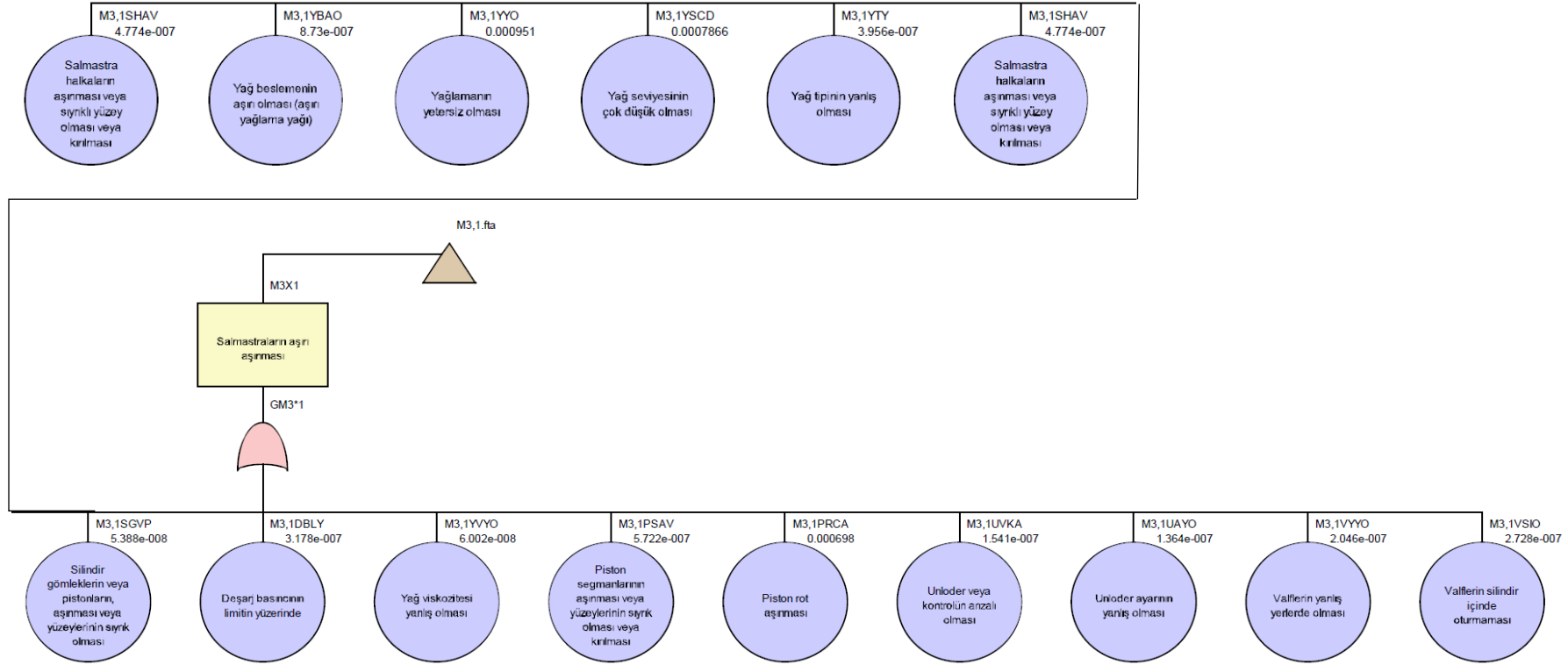
Tablo 25'in devamı

Salmastra kutusunun aşırı sıcaklanması	M3X3	
Soğutucu sistemin bozuk olması veya soğutma suyun yetersiz olması	M3,3SSBO	4.91E-07
Silindirin aşırı sıcak olması	M3,3SASO	4.91E-07
Yağlama yağı yetersiz veya yağ kalitesinin düşük olması	M3,3YYYYV	9.14E-05
Salmastra kutusundaki yağlama ve soğutma suyu kanallarının tıkalı olması	M3,3KOYV	3.27E-07
Salmastra ringlerin birbirine yapışması	M3,3SRBY	2.46E-07
Salmastra ringlerin etrafında olan yayların çok sıkı olması	M3,3SREO	8.16E-05
Salmastra kutsunda olan parçaların yanlış şekilde monte edilmesi	M3,3SKOP	1.09E-07
Salmastra kutusunda yağlama yağı fazla olması	M3,3SKYYFO	5.691E-05
Salmastra kutusunda sıvı veya nemin olması	M3,3SKSVY	9.55E-08
Gazın kirli olması veya gaz akışında katı parçacıkların bulunması	M3,3GKOV	1.23E-07
Salmastra kutusunda olan malzemelerin yanlış seçilmesi	M3,3SKOM	5.46E-08

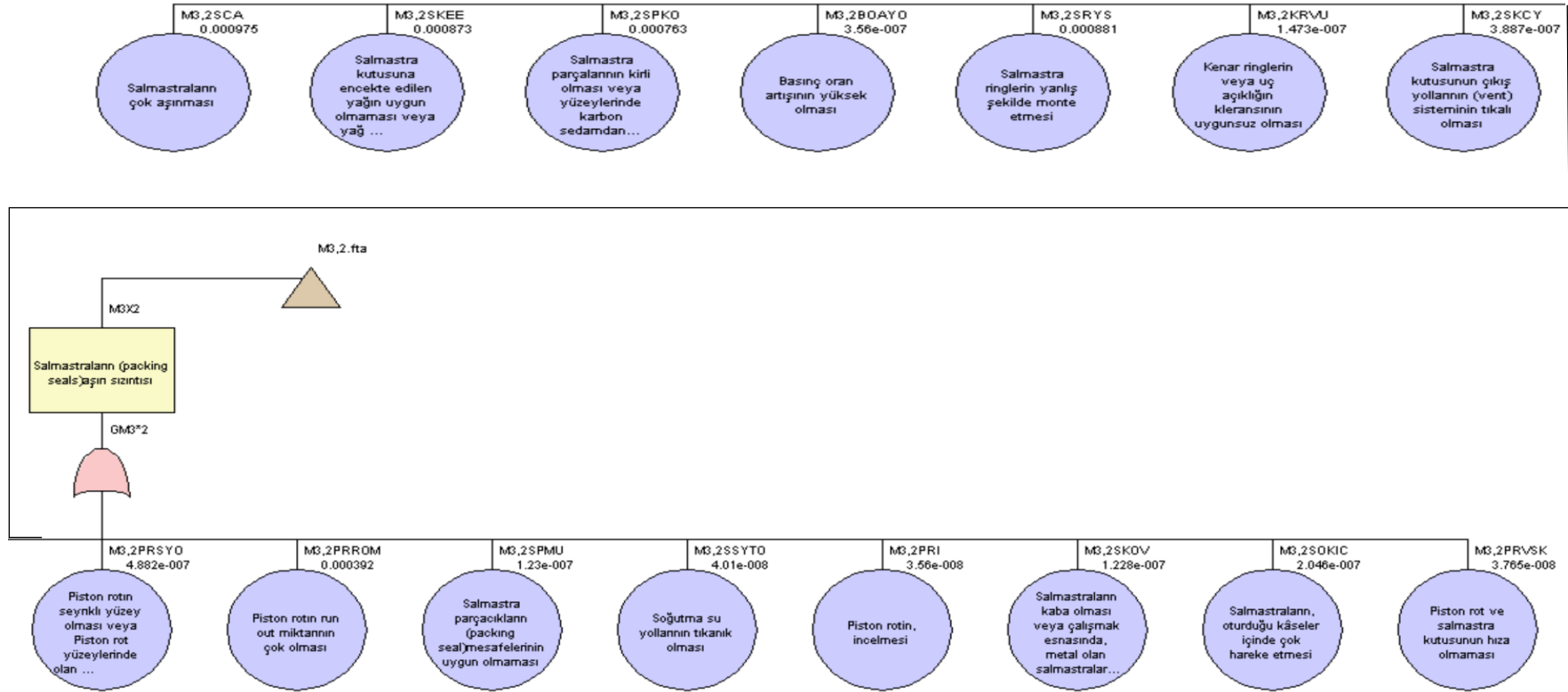
Şekil 106'da yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu ve yüzer salmastraların hasarlanması neden olan salmastraların aşırı aşınması ve salmastraların (packing seals) aşırı sızıntısı hata ağacı analizi programında oluşumları ise Şekil 107, 108 ve 109'da gösterilmektedir.



Şekil 106. Yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu



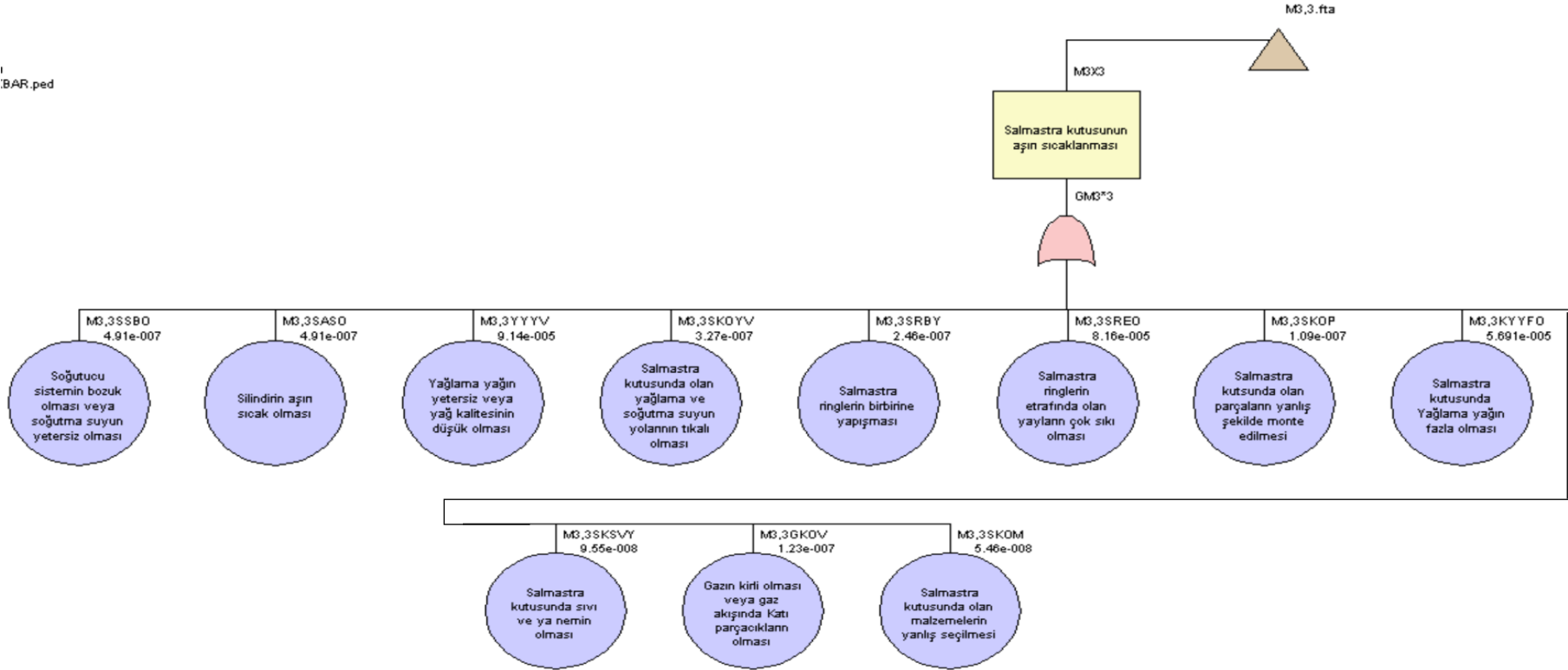
Şekil 107. Yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan salmastraların aşırı aşınması hata ağacı analizi programında oluşumu



Şekil 108. Yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan salmastraların aşırı sızıntısı hata ağacı analizi programında oluşumu



I
BAR.ped



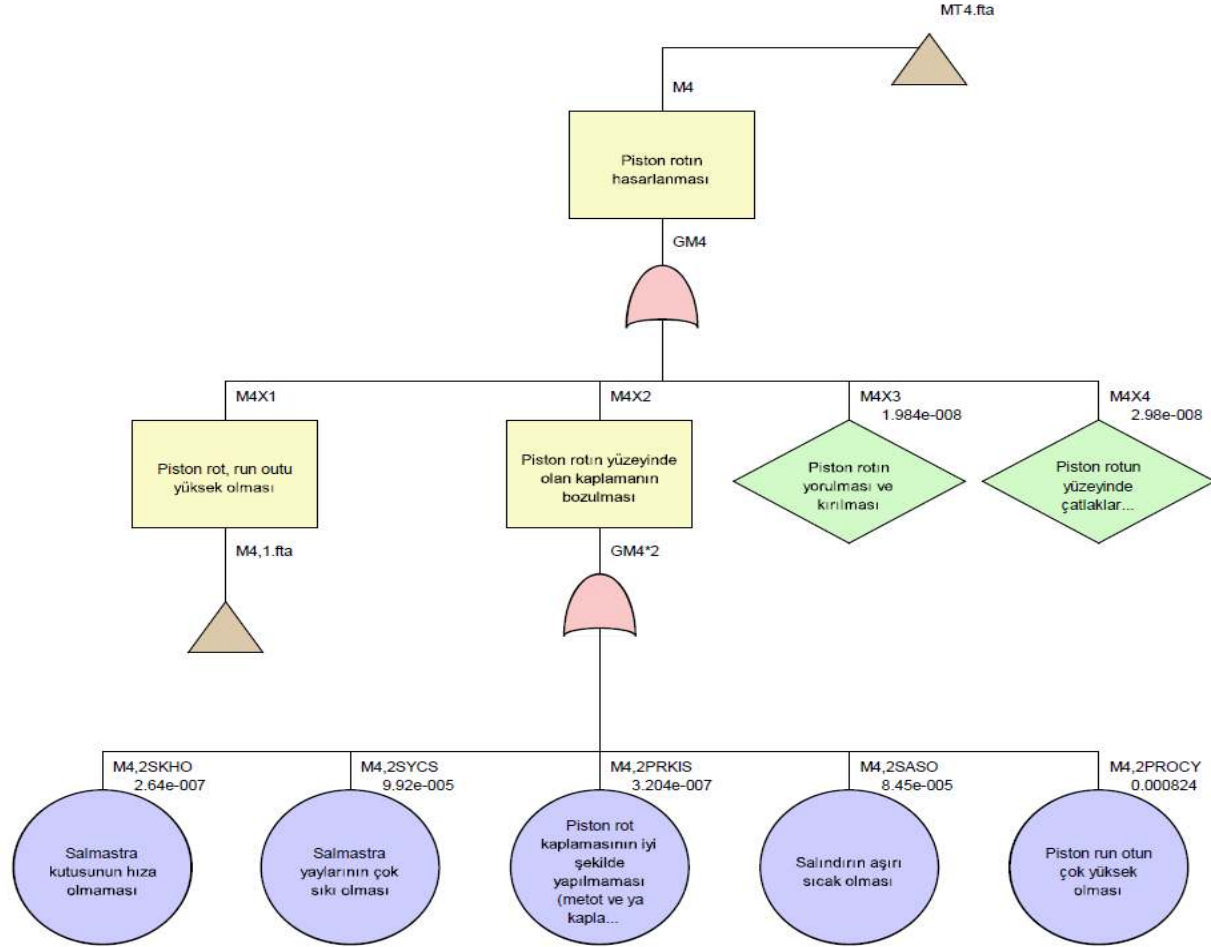
Şekil 109. Yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan salmastra kutusunun aşırı ısınması hata ağacı analizi programında oluşumu

Piston rotunun hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 26’da verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi Piston rotunun hasarlanması neden olan dört etmen yani Piston rot, salgı (run-out) miktarının yüksek olması, Piston rotunun yüzeyinde olan kaplamanın bozulması, Piston rotunun yorulması ve kırılması, Piston rotun yüzeyinde çatlakların oluşması ve her birinin altında olan başlangıç olayları gösterilmektedir. Şekil 110’da Piston rotunun hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu ve Şekil 111’de de Piston rotunun hasarlanmasına neden olan Piston rotunun salgı miktarının yüksek olma olayların, hata ağacı analizi programında oluşumları gösterilmektedir.

Tablo 26. Piston rotunun hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, olayların kısaltması ve olasılık değerleri

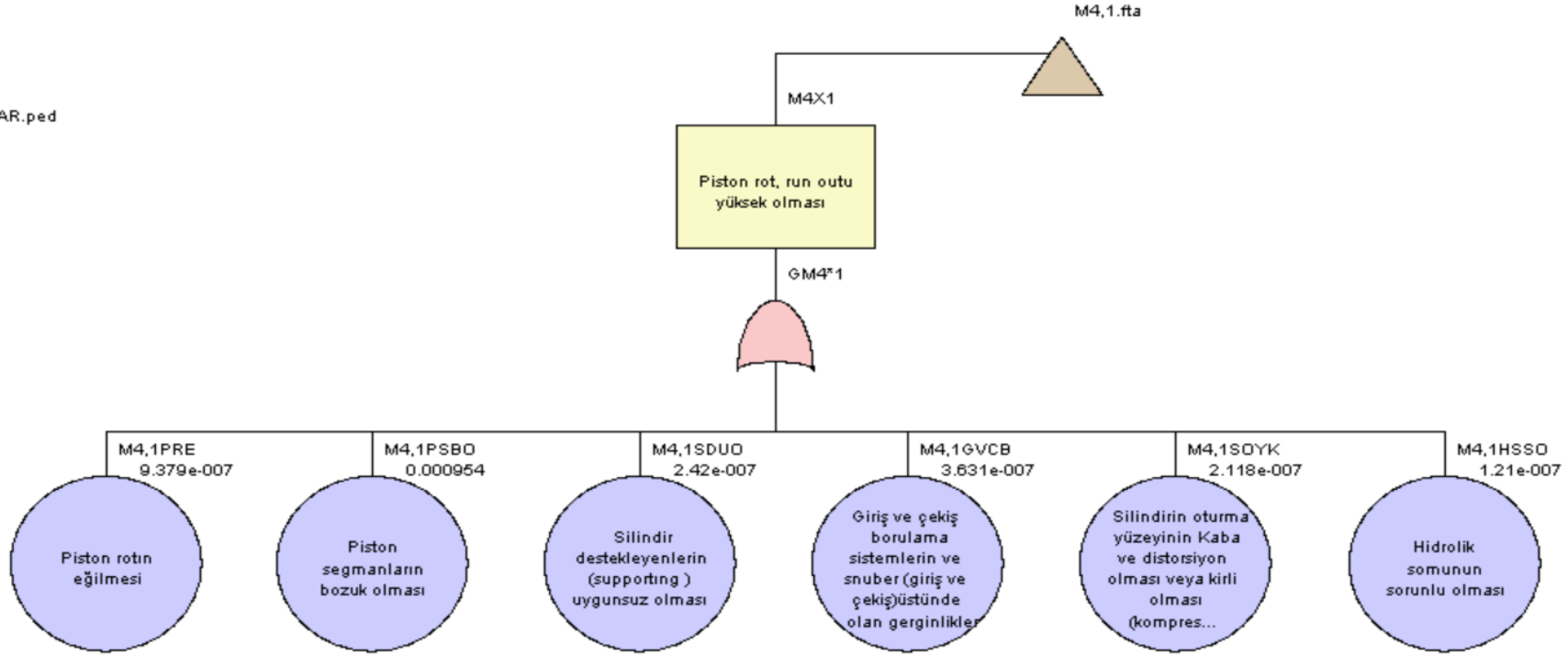
Kompresör, mekanik bileşenler başlangıç olayları	ID kodu	OD
Piston rotunun hasarlanması-M4		
Piston rotunun, salgı (run-out) miktarının yüksek olması	M4X1	
Piston rotunun eğilmesi	M4,1PRE	9.38E-07
Piston segmanların bozuk olması	M4,1PSBO	9.54E-04
Silindir destekleyenlerin (supporting) uygunsuz olması	M4,1SDUO	2.42E-07
Giriş ve çekiş borulama sistemlerin ve snuber (giriş ve çekiş)üstünde olan gerginlikler	M4,1GVCB	3.63E-07
Silindirin oturma yüzeyinin kaba ve distorsiyon olması veya kirli olması (kompresör yoke)	M4,1SOYK	2.12E-07
Hidrolik somunun sorunlu olması	M4,1HSSO	1.21E-07
Piston rotunun yüzeyinde olan kaplamanın bozulması	M4X2	
Salmastra kutusunun hıza olmaması	M4,2SKHO	2.64E-07
Salmastra yaylarının çok sıkı olması	M4,2SYCS	9.92E-05
Piston rot kaplamasının iyi şekilde yapılmaması (metot ve ya kaplanan malzemenin uygun olmaması)	M4,2PRKIS	3.2E-07
Salındırın aşırı sıcak olması	M4,2SASO	8.45E-05
Piston salgı (run-out) miktarının çok yüksek olması	M4,2PROCY	8.24E-04
Piston rotunun yorulması ve kırılması	M4X3	1.984E-08
Piston rotun yüzeyinde çatlakların oluşması	M4X4	2.98E-08

Tree: MT4.fta
Database: AKBAR.ped



Şekil 110. Piston rotunun hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

BAR.ped



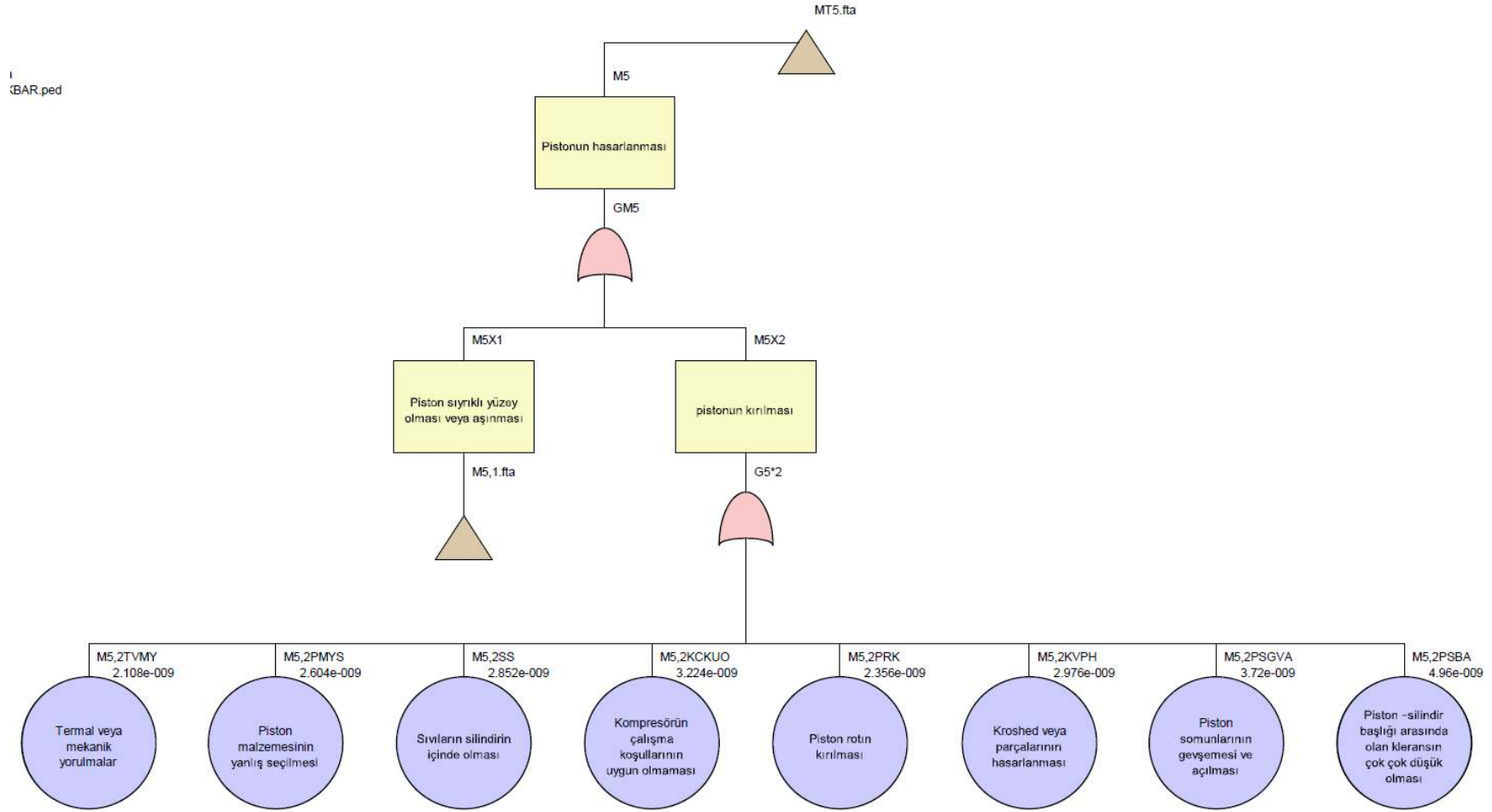
Şekil 111. Piston rotunun hasarlanmasına neden olan piston rot, salgı miktarının yüksek olması hata ağacı analizi programında oluşumu

Pistonun hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 27’de gösterilmektedir. Tablo27’de görüldüğü gibi pistonun hasarlanmasına neden olan iki etmen yani piston çizikli yüzey olması veya aşınması, pistonun kırılması ve her birinin altında olan başlangıç olayları gösterilmektedir.

Pistonun hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil 112’de ve pistonun hasarlanmasına neden olan pistonun çizikli yüzey olması veya aşınması hata ağacı analizi programında oluşumları Şekil 113’de gösterilmektedir.

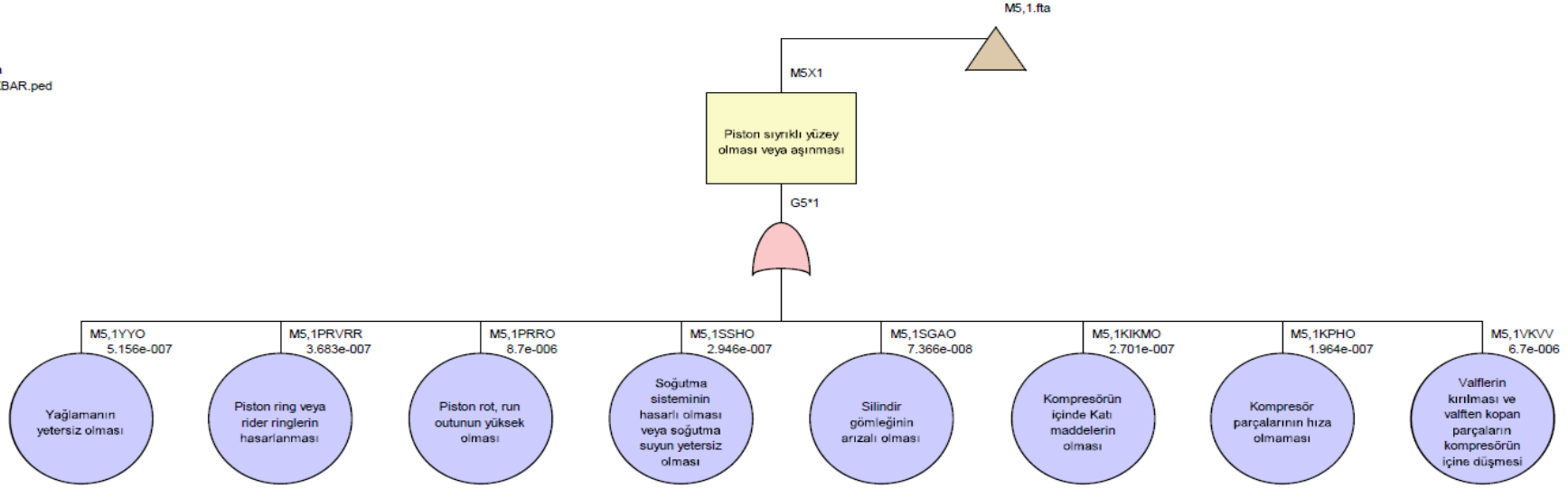
Tablo 27. Pistonun hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Kompresör, mekanik bileşenler başlangıç olayları	ID kodu	Olasılık Değeri
Pistonun hasarlanması-M5		
Piston çizikli yüzey olması veya aşınması	M5X1	
Yağlamanın yetersiz olması	M5,1YYO	5.16E-07
Piston ring veya rider ringlerin hasarlanması	M5,1PRVRR	3.68E-07
Piston rotunun, salgı (run-out) miktarının yüksek olması	M5,1PRRO	8.7E-06
Soğutma sisteminin hasarlı olması veya soğutma suyun yetersiz olması	M5,1SSHO	2.95E-07
Silindir gömleğinin arızalı olması	M5,1SGAO	7.37E-08
Kompresörün içinde katı maddelerin bulunması	M5,1KIKMO	2.7E-07
Kompresör parçalarının hıza olmaması	M5,1KPHO	1.96E-07
Valflerin kırılması ve valften kopan parçaların kompresörün	M5,1VKVV	6.7E-06
Pistonun kırılması	M5X2	
Termal veya mekanik yorulmalar	M5,2TVMY	2.11E-09
Piston malzemesinin yanlış seçilmesi	M5,2PMYS	2.6E-09
Sıvıların silindirin içinde olması	M5,2SS	2.85E-09
Kompresörün çalışma koşullarının uygun olmaması	M5,2KCKUO	3.22E-09
Piston rotunun kırılması	M5,2PRK	2.36E-09
Kroset veya parçalarının hasarlanması	M5,2KVPH	2.98E-09
Piston somunlarının gevşemesi ve açılması	M5,2PSGVA	3.72E-09
Piston –silindir başlığı arasında olan boşluğun çok çok düşük	M5,2PSBA	4.96E-09



Şekil 112. Pistonun hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

a
GBAR.ped



Şekil 113. Pistonun hasarlanmasına neden olan piston çizikli yüzey olması veya aşınması hata ağacı analizi programında oluşumu

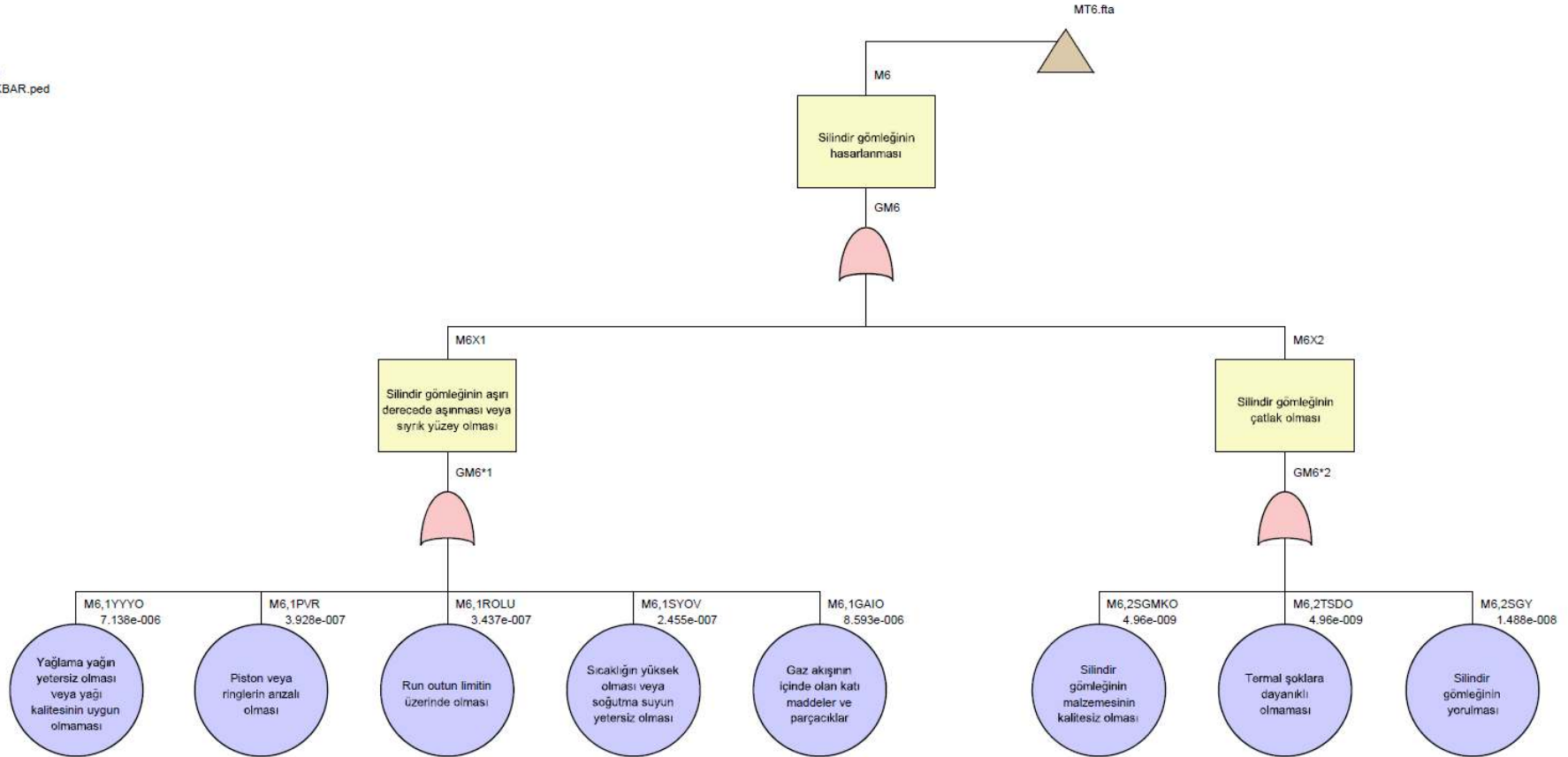
Silindir gömleğinin hasarlanması neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 28’de verilmiştir. Tablo28’de görüldüğü gibi silindir gömleğinin hasarlanması neden olan iki etmen yani silindir gömleğinin aşırı derecede aşınması veya sıyrık yüzey olması, silindir gömleğinin çatlak olması ve her birinin altında olan başlangıç olayları gösterilmektedir.

Tablo 28. Silindir gömleğinin hasarlanması neden olan üçüncü seviyedeki olaylar , başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Kompresör, mekanik bileşenler başlangıç olayları	ID kodu	OD
Silindir gömleğinin hasarlanması-m6		
Silindir gömleğinin aşırı derecede aşınması veya sıyrık yüzey olması	M6X1	
Yağlama yağının yetersiz olması veya yağı kalitesinin uygun olmaması	M6,1YYYO	7.138E-06
Piston veya ringlerin arızalı olması	M6,1PVR	3.93E-07
Salgı miktarının limitin üzerinde olması	M6,1ROLU	3.44E-07
Sıcaklığın yüksek olması veya soğutma suyun yetersiz olması	M6,1SYOV	2.46E-07
Gaz akışının içinde olan katı maddeler ve parçacıklar	M6,1GAIO	8.593E-06
Silindir gömleğinin çatlak olması	M6X2	
Silindir gömleğinin malzemesinin kalitesiz olması	M6,2SGMKO	4.96E-09
Termal şoklara dayanıklı olmaması	M6,2TSDO	4.96E-09
Silindir gömleğinin yorulması	M6,2SGY	1.49E-08

Silindir gömleğinin hasarlanması olayların hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil 114’de gösterilmektedir.

BAR.ped



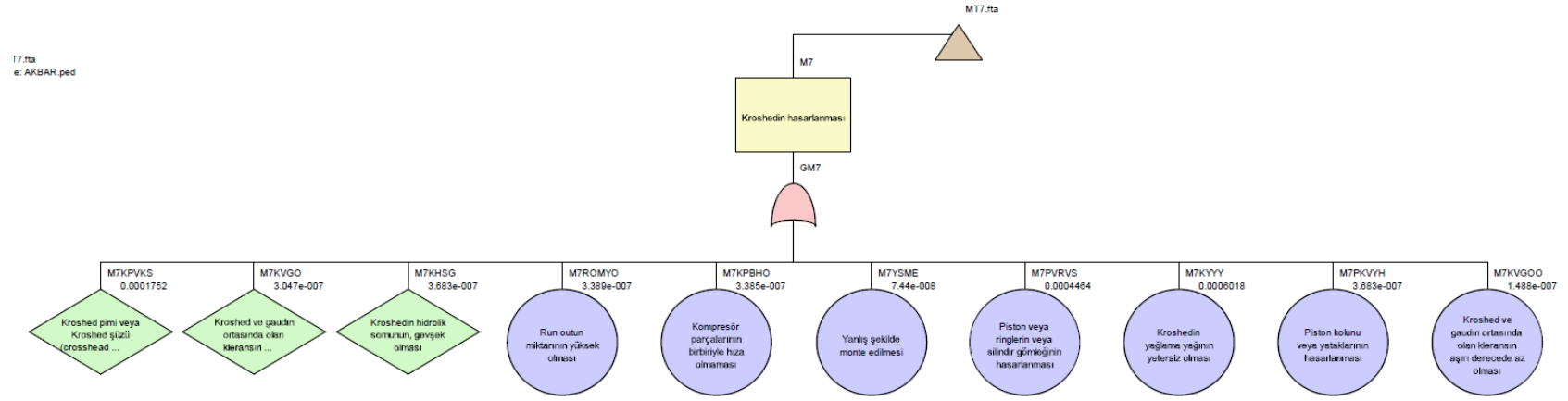
Şekil 114. Silindir gömleğinin hasarlanması olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

Krosetin hasarlanmasına neden olan başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 29’da gösterilmektedir.

Tablo 29. Krosetin hasarlanmasına neden olan başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Kompresör, mekanik bileşenler başlangıç olayları	ID kodu	OD
Krosetin hasarlanması-m7		
Kroset pimi veya kroset ayaklarının (crosshead shoes) aşınması	M7KPVKS	1.752E-04
Kroset ve kılavuz ortasında olan boşluğun aşırı derecede çok olması	M7KVGO	3.05E-07
Krosetin hidrolik somunun gevşek olması	M7KHSG	3.68E-07
Salgı miktarının yüksek olması	M7ROMYO	3.39E-07
Kompresör parçalarının birbiriyle hizalı olmaması	M7KPBHO	3.39E-07
Yanlış şekilde monte edilmesi	M7YSME	7.44E-08
Piston veya ringlerin veya silindir gömleğinin hasarlanması	M7PVRVS	4.464E-04
Krosetin yağlama yağının yetersiz olması	M7KYYY	6.018E-04
Biyel veya yataklarının hasarlanması	M7PKVYH	3.68E-07
Kroset ve kılavuz ortasında olan boşluğun aşırı derecede az olması	M7KVGGO	1.49E-07

Krosetin hasarlanmasına neden olan olaylarının hata ağacı analizi programında oluşumu Şekil 115’de gösterilmektedir.



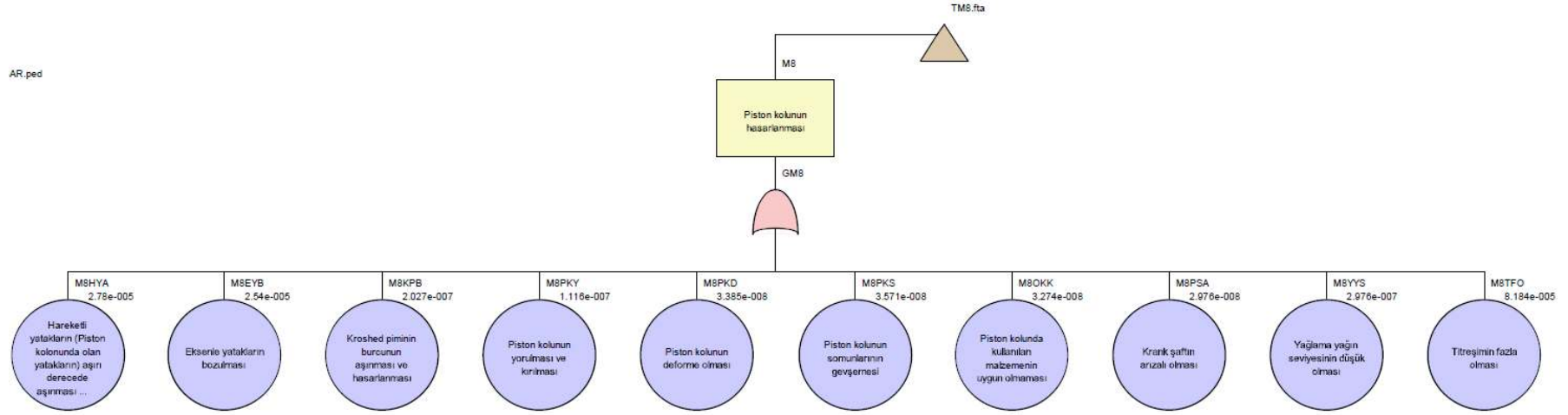
Şekil 115. Krosetin hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

Biyelin hasarlanmasına neden olan başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 30’da gösterilmektedir.

Tablo 30. Biyelin hasarlanmasına neden olan başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Kompresör, mekanik bileşenler başlangıç olayları	ID kodu	OD
Biyelin hasarlanması –M8		
Hareketli yatakların (piston kolonunda olan yatakların) aşırı derecede aşınması veya bozulması	M8HYA	2.78E-05
Eksenle yatakların bozulması	M8EYB	2.54E-05
Kroset pimi burcunun aşınması ve hasarlanması	M8KPB	2.03E-07
Biyelin yorulması ve kırılması	M8PKY	1.12E-07
Biyelin deforme olması	M8PKD	3.39E-08
Biyelin somunlarının gevşemesi	M8PKS	3.57E-08
Biyelde kullanılan malzemenin uygun olmaması	M8OKK	3.27E-08
Krank milinin arızalı olması	M8PSA	2.98E-08
Yağlama yağın seviyesinin düşük olması	M8YYS	2.98E-07
Titreşimin fazla olması	M8TFO	8.184E-05

Biyelin hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil 118’de gösterilmektedir.



Şekil 116. Biyelin hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

Kompresörün ana yataklarının hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri Tablo 31’de verilmiştir. Tablo 31’de görüldüğü gibi ana yataklarının hasarlanmasına hasarlanması neden olan sekiz etmen yani yatakların aşınması, esnek bağlantı yağlama hortumunu hasarlanması, yatakların termik yorulma hasarlanması, yatakların yanlış şekilde monte edilmesi, yatakların kırılması, yatakların deformasyonu, yatakların erozyonu, yatakların korozyon ve her birinin altında olan başlangıç olayları gösterilmektedir.

Tablo 31. Kompresörün ana yataklarının hasarlanmasına neden olan üçüncü seviyedeki olaylar, başlangıç olayları, olayların kısaltması ve olasılık değerleri

Kompresör, mekanik bileşenler başlangıç olayları	ID kodu	OD
Kompresörün ana yataklarının hasarlanması-M9		
Yatakların aşınması	M9X1	
Yatakların kleransı limitin altında olması	M9,1YKL	4.37E-07
Jurnal yatakların kaba yüzeyli olması	M9,1JYK	4.37E-08
Kompresör titreşimin fazla olması	M9,1KTFO	5.274E-05
Jurnal yataklarında kullanılan materyalin uygunsuz olması	M9,1YKM	2.18E-07
Yağın çok kırlı olması veya yağlama yağın yetersiz olması	M9,1YCKO	3.619E-05
Yağ viskozitesinin düşük veya fazla olması	M9,1YVDV	1.091E-05
Yağın bozulması ve kullanılmaz hale gelmesi	M9,1YBVKH	4.37E-08
Fileksıbl bağlantı yağlama hortumunu hasarlanması	M9X2	6.752E-04
Yatakların yanlış şekilde monte edilmesi	M9X3	9.92E-08
Yatakların termik yorulma hasarlanması	M9X4	1.49E-07

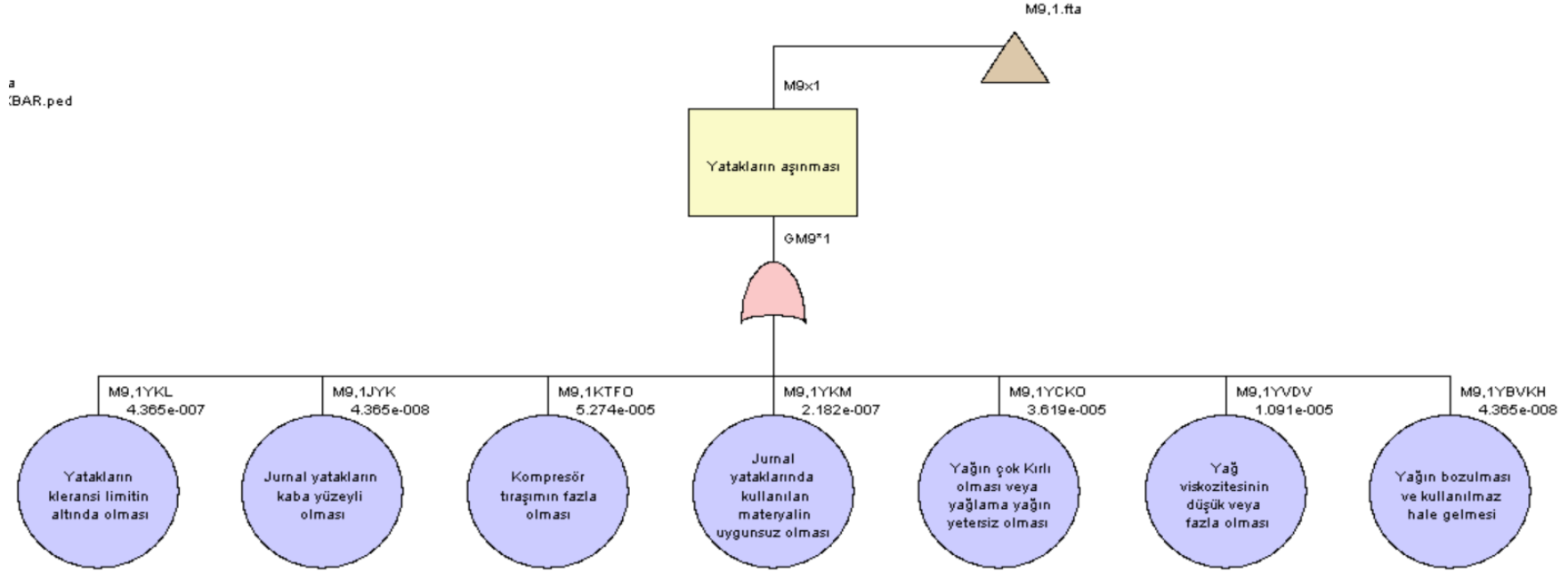
Tablo 31'in devamı

Yatakların kırılması	M9X5	
Yatakların boşluğunun limitin altında ve üstünde olması	M9,5YKL	3.72E-08
Aşırı yükleme(over load)	M9,5AY	4.22E-08
Titreşimin çok fazla olması	M9,5TCFO	6.20E-08
Yağlama yağın içinde olan katı maddelerin bulunması	M9,5YYIOK	3.22E-08
Ana yataklarda kullanılan malzemelerin kalitesiz ve uygunsuz olması	M9,5AYKM	2.48E-08
Yağlama yağın yetersiz olması	M9,5YYYYO	9.16E-06
Yatakların deformasyonu	M9X6	
Jurnal yatakların hizalı olmaması	M9,6JYH	5.95E-08
Yağ miktarının eksik olması	M9,6YME	1.64E-07
Yağlama yağının kirli olması	M9,6YYK	7.44E-08
Yatakların erozyonu	M9X7	
Genel çalışma şartları	M9,7GCS	3.97E-08
Aşırı yükleme/yorulma	M9,7AYY	9.92E-08
Aşırı yükleme /titreşim	M9,7AYT	5.95E-08
Yatakların korozyon	M9X8	
Yağlama yağının kirli veya yağın içinde olan su miktarının fazla olması	M9,8YYKV	8.93E-08
Eski ve süresi geçmiş yağlama yağının kullanılması	M9,8EVSGY	5.95E-08

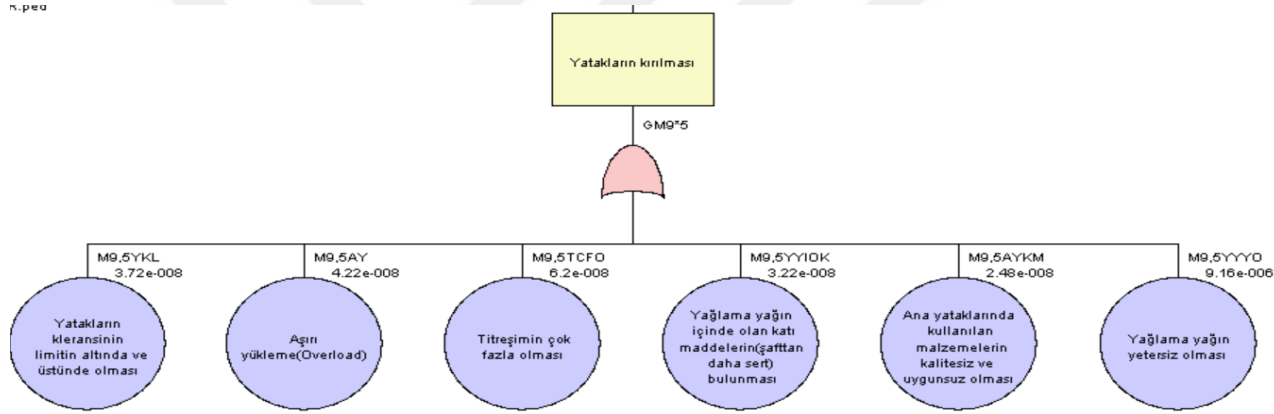
Kompresörün ana yataklarının hasarlanmasına neden olan olayların, hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil 117'de gösterilmektedir. Kompresörün ana yataklarının hasarlanmasına neden olan yatakların aşınması, yatakların kırılması, yatakların deformasyonu, hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil 118, 119 ve 120'de gösterilmektedir.



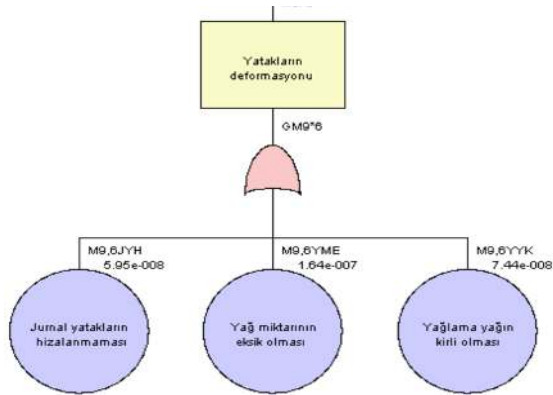
Şekil 117. Kompresörün ana yataklarının hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu



Şekil 118. Kompresörün ana yataklarının hasarlanmasına neden olan yatakların aşınması olayının, hata ağacı analizi programında oluşumu



Şekil 119. Kompresörün ana yataklarının hasarlanmasına neden olan Yatakların kırılması olayının, hata ağacı analizi programında oluşumu



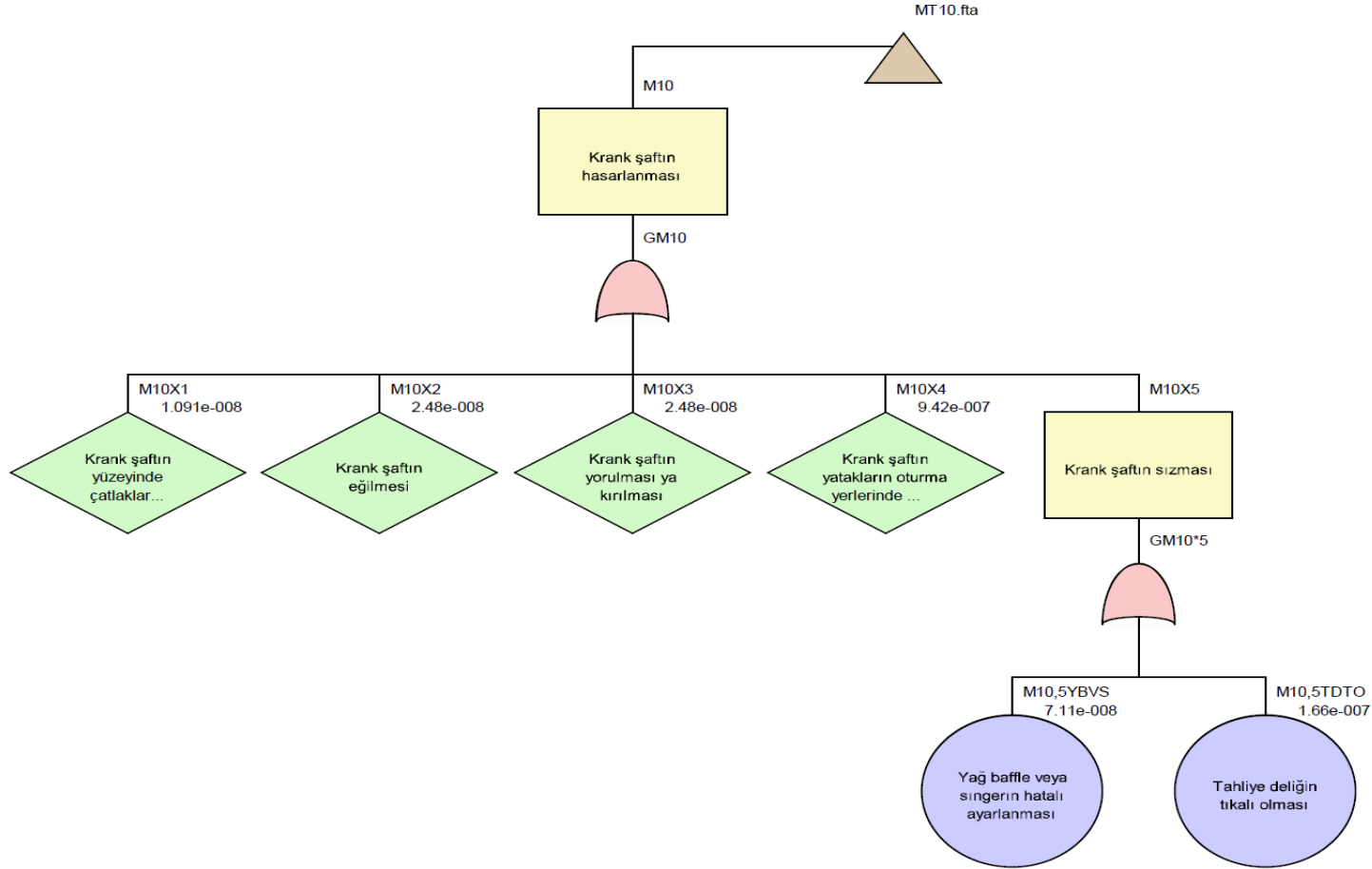
Şekil 120. Kompresörün ana yataklarının hasarlanmasına neden olan yatakların deformasyonu olayının, hata ağacı analizi programında oluşumu

Krank milinin hasarlanmasına neden olan beş etmen yani krank milinin yüzeyinde çatlakların oluşması, krank milinin eğilmesi, krank milinin yorularak kırılması, krank şaftı krank milinin yatakların oturma yerlerinde aşırı derecede aşınması, krank milinin sızdırması ve başlangıç olayları ve kısaltmalar Tablo 32’de verilmiştir.

Tablo 32. Krank milinin hasarlanmasına neden olan beş etmen

Kompresör, mekanik bileşenler başlangıç olayları	ID kodu	OD
Krank milinin hasarlanması-M10		
Krank milinin yüzeyinde çatlakların ulaşması	M10x1	1.09E-08
Krank milinin eğilmesi	M10x2	2.48E-08
Krank milinin yorularak kırılması	M10x3	2.48E-08
Krank milinin yatakların oturma yerlerinde aşırı derecede aşınması	M10x4	9.42E-07
Krank milinin sızdırması	M10x5	
Yağ baffle veya singerin hatalı ayarlanması	M10,5YBVS	7.11E-08
Tahliye deliğın tıkalı olması	M10,5TDTO	1.66E-07

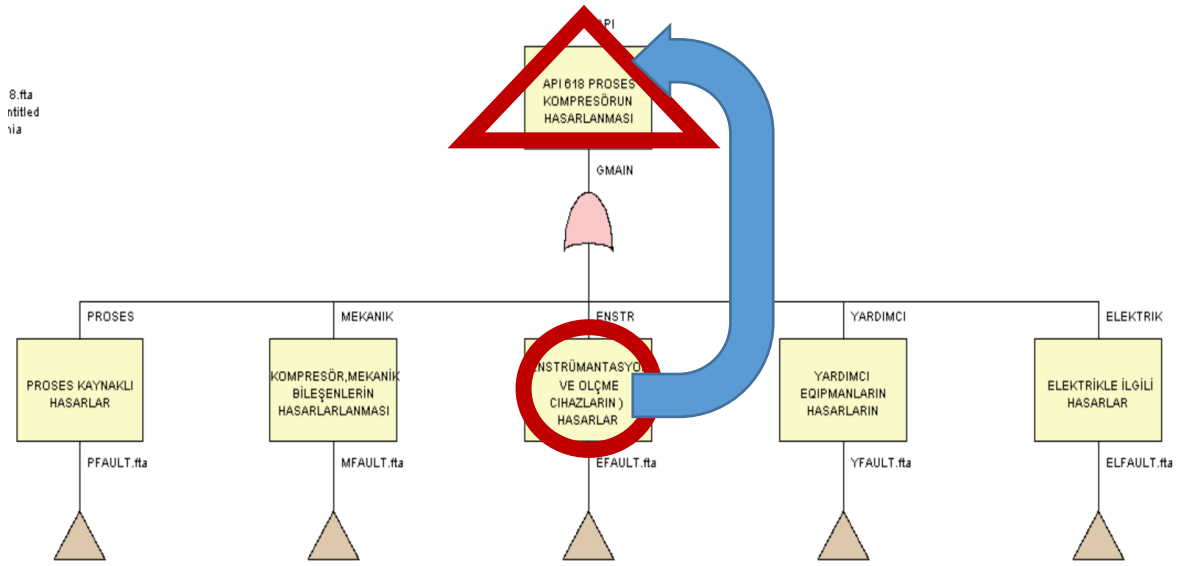
Krank milinin hasarlanmasına neden olan olayların, hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil 121’de gösterilmektedir.



Şekil 121. Krank milinin hasarlanmasına neden olan olayların, hata ağacı analizi programında oluşumu

2.9. Kompresörün Hasarlanmasına Sebep Olan Enstrümantasyon ve Ölçme Cihazlarıyla İlgili Arızalar

Sunulan tez çalışmasında üçüncü temel etmen olarak incelenmiştir. Hata ağacında olan zirve olayı yani kompresörün hasarlanması “veya” kapısı yardımıyla ikinci sıradaki enstrümantasyon ve ölçme cihazların hasarları (temel etmen olay (orta olaya)) bağlanmaktadır.



Şekil 122. Kompresörün hasarlanmasına sebep olan enstrümantasyon ve ölçme cihazlarıyla ilgili arızaları

Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının arızaları yani orta olaylardan aşağı seviyedeki diğer, olaylar bulunmaktadır, Bu olaylar dâhil olmak üzere;

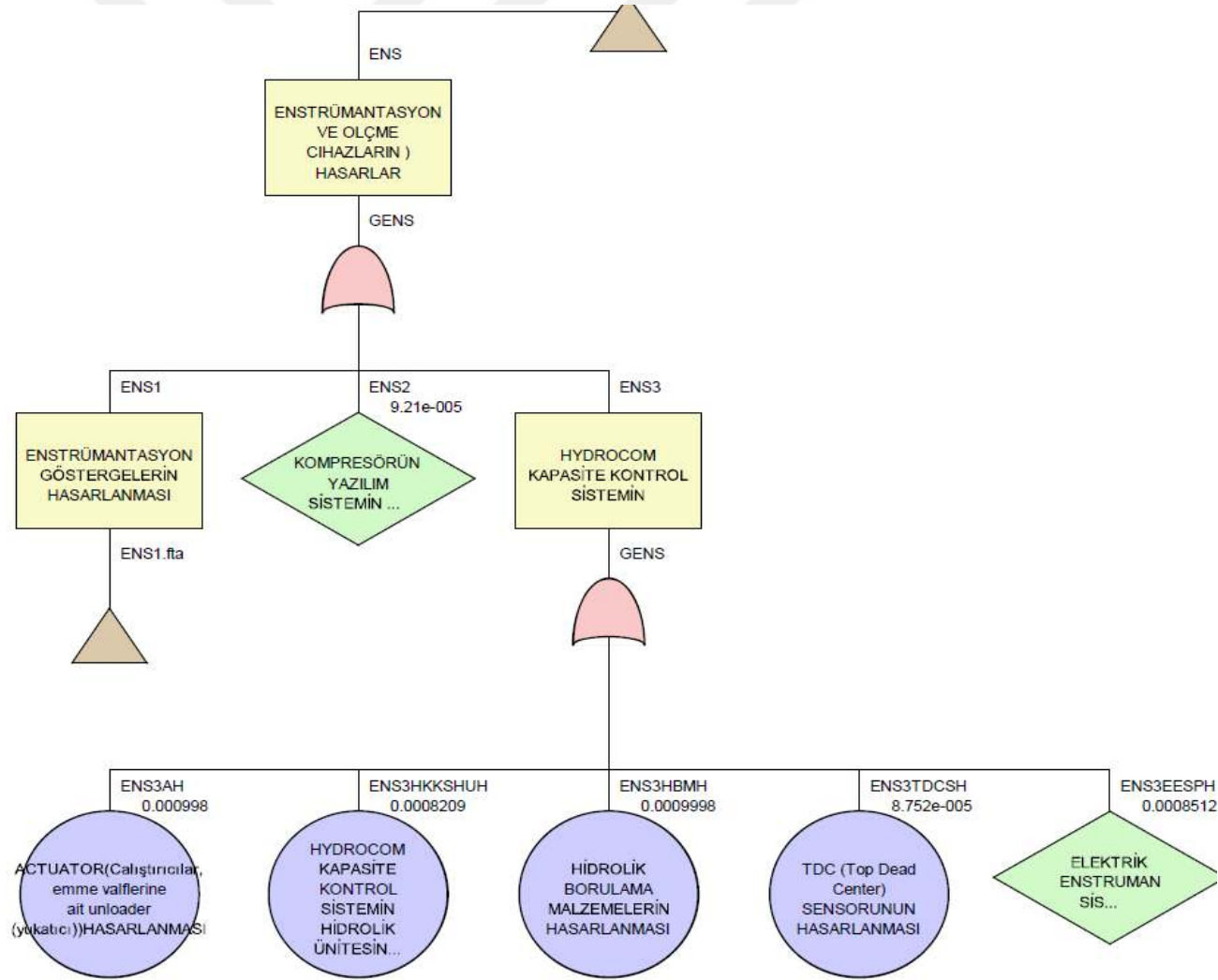
- Enstrümantasyon göstergelerin hasarlanması
- Kompresörün yazılım sisteminin ve kontrol sistemin hasarlanması
- Hydrocom kapasite kontrol sistemi arızaları

Tablo 33’te Enstrümantasyon ve ölçme cihazlarında arızalara neden olan temel etmenler ve kısaltmaları , olasılık değerleri ve başlangıç olayları gösterilmiştir.

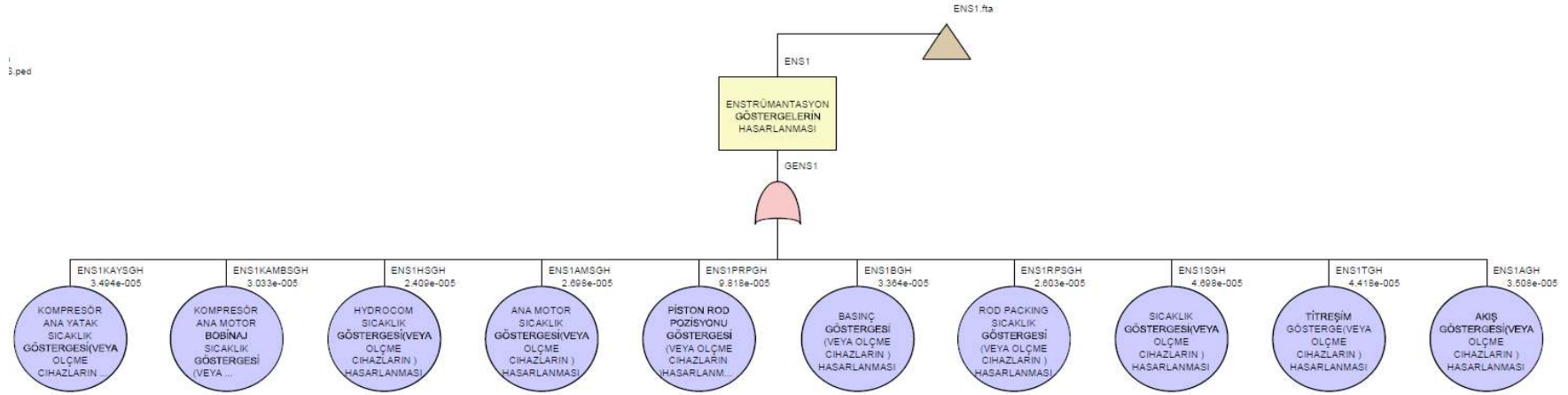
Tablo 33. Enstrümantasyon ve ölçme cihazları arızalarına neden olan temel etmenler ,kısaltmaları ve başlangıç olayları

Enstrümantasyon ve ölçme cihazların hasarların başlangıç olayları	Kısaltma	OD
Enstrümantasyon ve ölçme cihazlarıyla ilgili arızaları		
Enstrümantasyon göstergelerinin hasarlanması	ENS1	
Kompresör ana yatak sıcaklık göstergelerinin hasarlanması	ENS1KAYSGH	3.494E-5
Kompresör ana motor bobinaj sıcaklık göstergelerinin hasarlanması	ENS1KAMBSGH	3.033E-5
Hydrocom sıcaklık göstergelerinin hasarlanması	ENS1HSGH	2.409E-5
Ana motor sıcaklık göstergelerinin hasarlanması	ENS1AMSGH	2.698E-5
Piston rot pozisyonu göstergelerinin hasarlanması	ENS1PRPGH	9.818E-5
Basınç göstergelerinin hasarlanması	ENS1BGH	3.364E-5
Rot salmastra kutusunun sıcaklık göstergelerinin hasarlanması	ENS1RPSGH	2.603E-5
Sıcaklık göstergelerinin hasarlanması	ENS1SGH	4.698E-5
Titreşim göstergelerinin hasarlanması	ENS1TGH	4.418E-5
Akış göstergelerinin hasarlanması	ENS1AGH	3.508E-5
Kompresörün yazılım sistemin ve kontrol sisteminin hasarlanması	ENS2	9.21E-5
Hydrocom kapasite kontrol sistemin arızaları	ENS3	
Actuator (çalıştırıcılar)hasarlanması	ENS3AH	9.98E-4
Hydrocom kapasite kontrol sistemin hidrolik ünitesinin hasarlanması	ENS3HKKSHUH	8.209E-4
Hidrolik borulama malzemelerin hasarlanması	ENS3HBMH	9.998E-4
TDC (top Dead center) sensörlünün hasarlanması	ENS3TDCSH	8.752E-5
Elektrik enstrüman sistem parçaların hasarlanması	ENS3EESPH	8.512E-4

Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme cihazların arızaları neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu Şekil 123’de gösterilmiştir. Şekil 124’de Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme cihazların arızaları neden olan Enstrümantasyon göstergelerin hasarlanması gösterilmiştir.



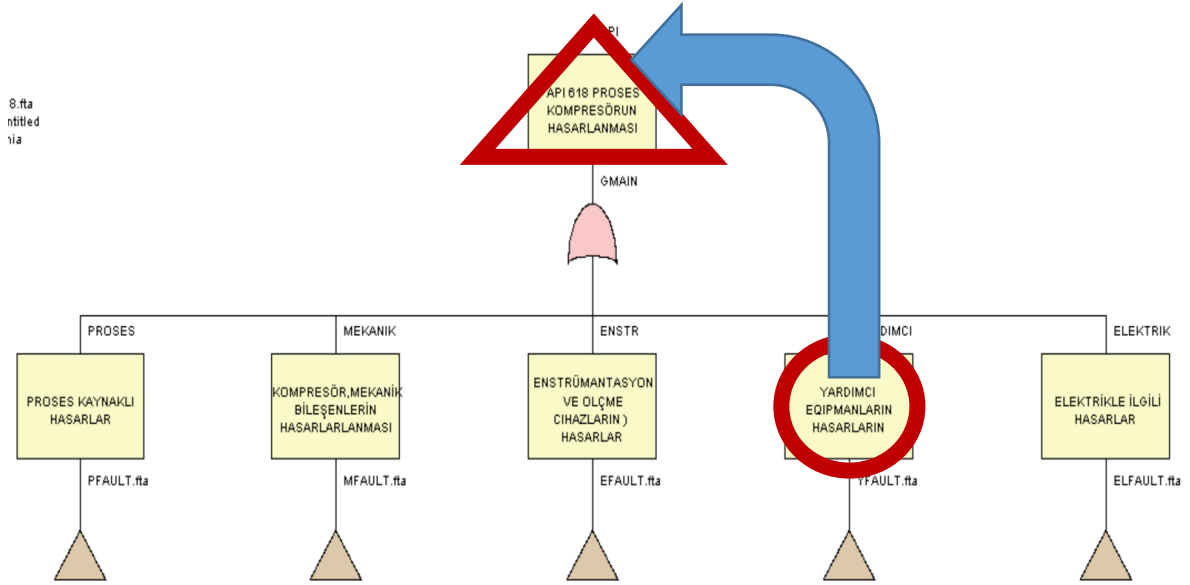
Şekil 123. Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme cihazların arızalarının neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu



Şekil 124. Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme cihazların arızaları neden olan enstrümantasyon göstergelerinin hasarlanması

2.10. Kompresörün Hasarlanmasına Sebep Olan Yardımcı Ekipmanların Hasarlanması

Sunulan tez çalışmasında dördüncü temel etmen olarak incelenmiştir. Hata ağacında olan zirve olayı yani kompresörün hasarlanması “veya” kapısı yardımıyla ikinci sıradaki Yardımcı ekipmanların hasarlanmasına (temel etmen olay (orta olaya)) bağlanmaktadır.

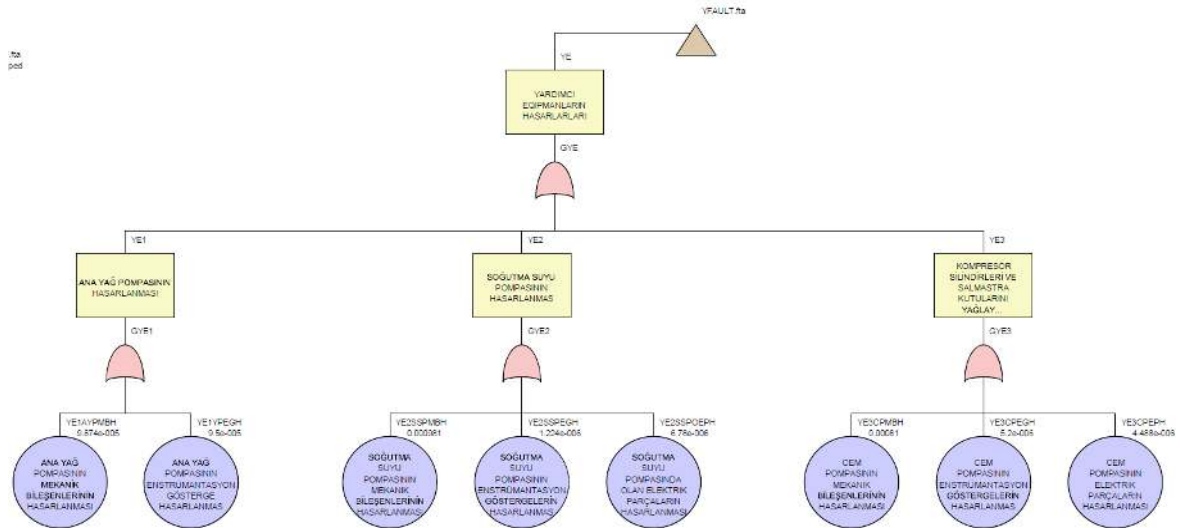


Şekil 125. Kompresörün hasarlanmasına sebep olan yardımcı ekipmanların hasarlanması

Kompresörün yardımcı ekipmanların hasarlanması yani orta olaylardan aşağı seviyedeki, diğer olaylar bulunmaktadır, Bu olaylar ana yağ pompasının hasarlanması, soğutma suyu pompalarının hasarlanması, kompresör silindirini ve salmastra kutularının yağlayıcı pompalarının hasarlanmasını kapsamaktadır. Tablo 34’de yardımcı ekipmanların hasarlanmasına neden olan temel etmenleri, kısaltmaları, olasılık değerleri ve başlangıç olayları gösterilmiştir. Kompresörün yardımcı ekipmanların hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu Şekil 126’da gösterilmiştir.

Tablo 34. Yardımcı ekipmanların hasarlanmasına neden olan temel etmenler, kısaltmaları, olasılık değerleri ve başlangıç olayları

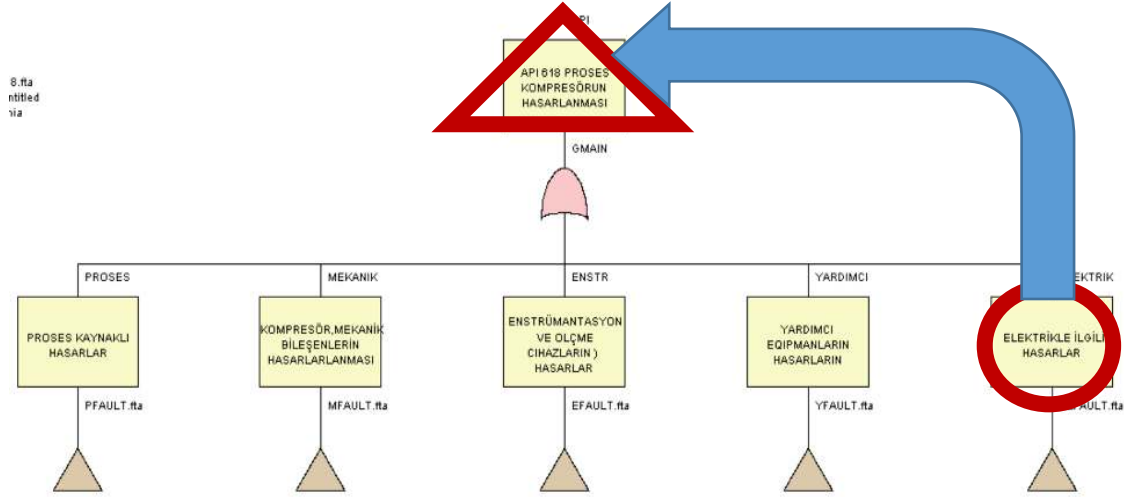
Yardımcı ekipmanların hasarların başlangıç olaylar	Kısaltma	OD
Yardımcı ekipmanların hasarlanması		
Ana yağ pompasının hasarlanması	YE1	
Ana yağ pompasının mekanik bileşenlerinin hasarlanması	YE1AYPMBH	9.87E-05
Ana yağ pompasının enstrümantasyon göstergelerinin hasarlanması	YE1YPEGH	6.5E-05
Soğutma suyu pompalarının hasarlanması	YE2	
Soğutma suyu pompasının mekanik bileşenlerinin hasarlanması	YE2SSPMBH	9.81E-04
Soğutma suyu pompasının enstrümantasyon göstergelerinin hasarlanması	YE2SSPEGH	1.22E-06
Soğutma suyu pompasında olan elektriksel parçaların hasarlanması	YE2SSPOEPH	6.78E-06
Kompresör silindirini ve salmastra kutularının yağlayıcı pompalarının hasarlanması	YE3	
Cem pompasının mekanik bileşenlerinin hasarlanması	YE3CPMBH	8.1E-04
Cem pompasının enstrümantasyon göstergelerinin hasarlanması	YE3CPEGH	5.2E-06
Cem pompasının elektrik parçalarının hasarlanması	YE3CPEPH	4.49E-06



Şekil 126. Kompresörün yardımcı ekipmanların hasarlanmasına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

2.11. Kompresörün Hasarlanmasına Sebep Olan Elektrikle İlgili Hasarları

Sunulan tez çalışmasında beşinci ve sonuncu temel etmen olarak incelenmiştir. Hata ağacında olan zirve olayı yani kompresörün hasarlanması “veya” kapısı yardımıyla ikinci sıradaki elektrikle ilgili hasarlar (temel etmen olaylar (orta olaya)) bağlanmaktadır.



Şekil 127. Kompresörün hasarlanmasına sebep olan elektrikle ilgili hasarları

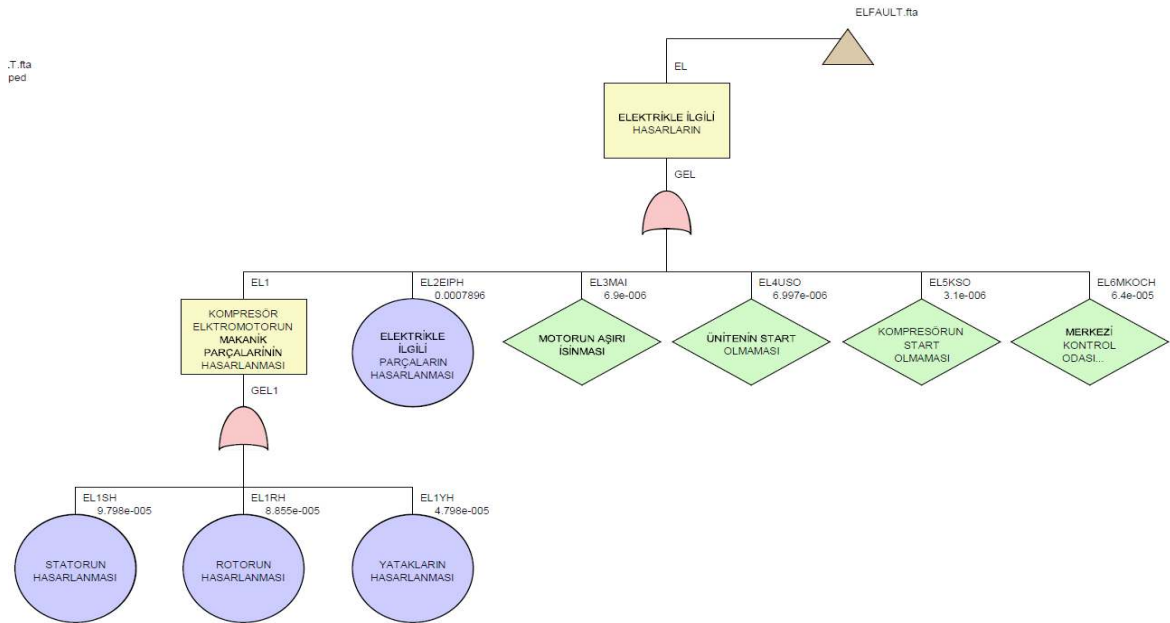
Kompresörün elektrikle ilgili hasarları yani orta olaylardan aşağı seviyede, diğer olaylar bulunmaktadır, Bu olaylar dâhil olmak üzere;

- Kompresörün elektromotorunun mekanik parçalarının hasarlanması
- Elektrikle ilgili parçaların hasarlanması
- Motorun aşırı ısınması
- Ünitenin start olmaması
- Kompresörün start olmaması
- Merkezi kontrol odasında çıkan hasarları

Tablo 35’de elektrikle ilgili hasarlara neden olan temel etmenleri, kısaltmaları, olasılık değerleri ve başlangıç olayları gösterilmiştir. Ayrıca elektrikle ilgili hasarlara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu Şekil 128’de gösterilmiştir.

Tablo 35. Elektrikle ilgili hasarlara neden olan temel etmenleri, kısaltmaları, olasılık değeri ve başlangıç olayları

Elektrikle ilgili hasarların başlangıç olayları	Kısaltma	OD
Kompresörün elektromotorunun mekanik parçalarının	EL1	
Statorun hasarlanması	EL1SH	9.798E-5
Rotorun hasarlanması	EL1RH	8.855E-5
Yatakların hasarlanması	EL1YH	4.798E-5
Elektrikle ilgili parçaların hasarlanması	EL2EIPH	7.896E-4
Motorun aşırı ısınması	EL3MAI	6.9E-6
Ünitenin start olmaması	EL4USO	6.997E-6
Kompresörün start olmaması	EL5KSO	3.1E-6
Merkezi kontrol odasında çıkan hasarlar	EL6MKOCH	6.4E-5

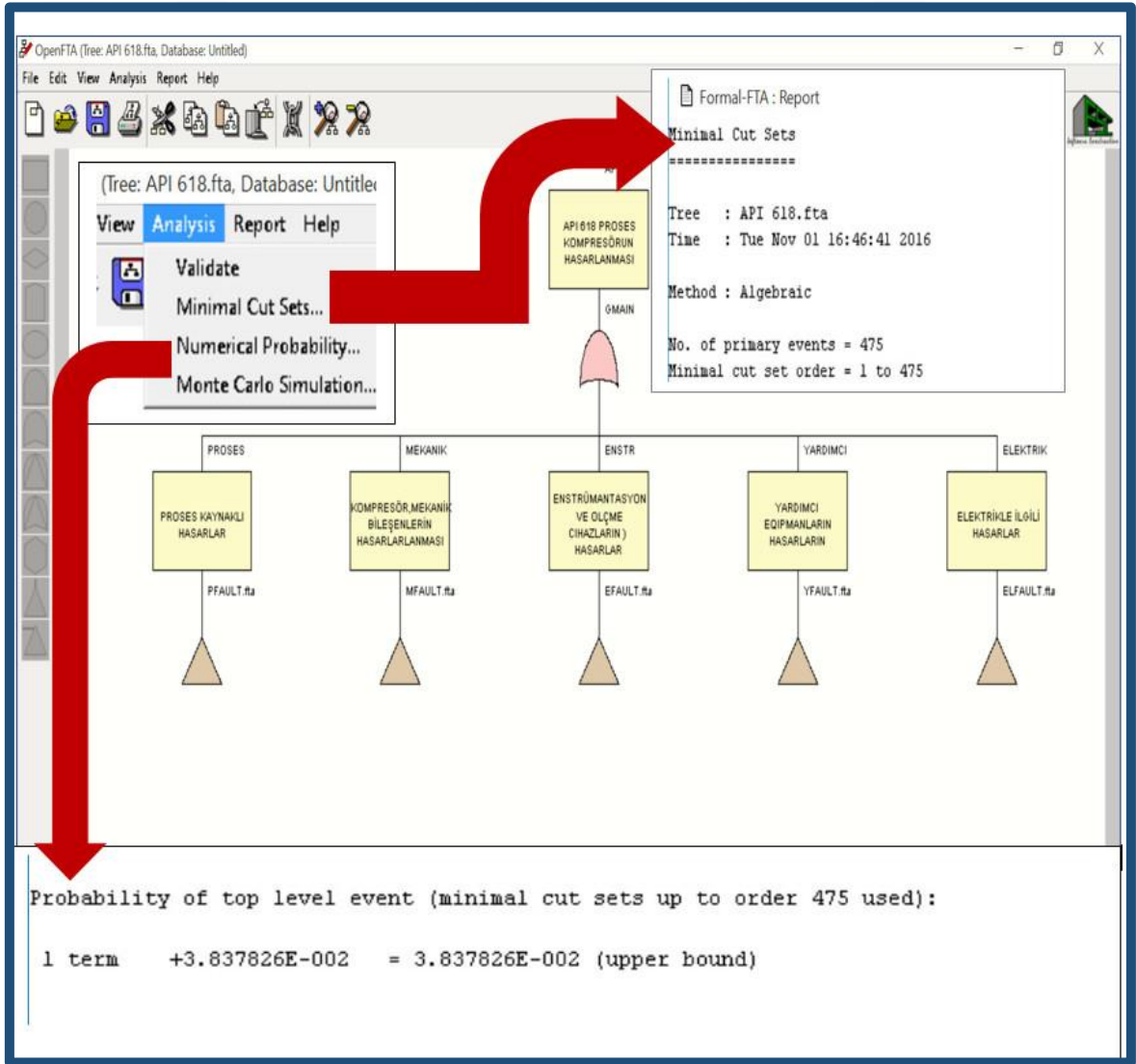


Şekil 128. Elektrikle ilgili hasarlara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Apı 618 Kompresör Arızalarına Ait Hata Ağacı Analizi Bulguları

API 618 kompresörün arızalarının hata ağacı analizinde, minimum kesme kümelerini (MCS) belirlemek amacıyla bir analiz yapıldı. Analiz sonucunda kompresör hasara oluşumuna neden olan 475 adet minimum kesme kümesi bulundu. API 618 Kompresörün Arızalarına neden olan olayların Open FTA programında oluşumu Şekil 129'da gösterilmiştir.



Şekil 129. API 618 kompresörün arızalarına neden olan olayların Open FTA programında oluşumu

Tablo 36’da kompresör hasarına neden olan minimum kesme kümelerini oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları yer almaktadır.

Tablo 36. Kompresör hasarına neden olan minimum kesme kümelerini (MCS)

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
1	EL1RH	8.855000E-005	21	ENS3EESPH	8.512000E-004
2	EL1SH	9.798000E-005	22	ENS3HBMH	9.998000E-004
3	EL1YH	4.798000E-005	23	ENS3HKKSHUH	8.209000E-004
4	EL2EIPH	7.896000E-004	24	ENS3TDCSH	8.752000E-005
5	EL3MAI	6.900000E-006	25	M1,1.AOVI	1.823000E-007
6	EL4USO	6.997000E-006	26	M1,1.GVCR	3.130000E-004
7	EL5KSO	3.100000E-006	27	M1,1.SSIT	8.100000E-005
8	EL6MKOCH	6.400000E-005	28	M1,1.UVKA	2.620000E-005
9	ENS1AGH	3.508000E-005	29	M1,1.VKO	9.110000E-005
10	ENS1AMSGH	2.698000E-005	30	M1,1.VYK	1.470000E-004
11	ENS1BGH	3.364000E-005	31	M1,1.YBAO	8.270000E-004
12	ENS1HSGH	2.409000E-005	32	M1,1.YVAS	2.730000E-007
13	ENS1KAMBSGH	3.033000E-005	33	M1,1.YY	1.820000E-007
14	ENS1KAYSGH	3.494000E-005	34	M1,1.YYV	2.280000E-007
15	ENS1PRPGH	9.818000E-005	35	M1,1GFTO	3.650000E-007
16	ENS1RPSGH	2.603000E-005	36	M1,1KMSI	8.700000E-004
17	ENS1SGH	4.698000E-005	37	M1,1VYSM	4.740000E-007
18	ENS1TGH	4.418000E-005	38	M1,2CGSYO	8.590000E-004
19	ENS2	9.210000E-005	39	M1,2CS	2.460000E-009
20	ENS3AH	9.980000E-004	40	M1,2CSCO	4.490000E-007

Tablo 36'nın devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
41	M1,2DBLY	5.450000E-008	63	M1,2YBAD	9.470000E-004
42	M1,2DDBZY	5.150000E-007	64	M1,2YSYO	2.100000E-006
43	M1,2GAFSDB	3.050000E-008	65	M1,2YYK	8.860000E-008
44	M1,2GFAO	6.170000E-007	66	M1,2YYT	1.500000E-007
45	M1,2GSVOA	7.250000E-008	67	M1,2YYV	2.050000E-005
46	M1,2KHCO	5.260000E-008	68	M1,3VPY	2.604000E-004
47	M1,2PKSIG	2.110000E-007	69	M1,4KSDE	4.690000E-007
48	M1,2PSYSVA	7.190000E-008	70	M1,4PE	7.810000E-004
49	M1,2RYO	2.400000E-008	71	M1,4SVR	9.370000E-004
50	M1,2SAYB	6.590000E-008	72	M1,4YB	9.370000E-004
51	M1,2SBSSKO	1.800000E-007	73	M1,5AYYOV	8.140000E-005
52	M1,2SCVSKO	1.260000E-007	74	M1,5BMAD	1.172000E-007
53	M1,2SGVPA	1.030000E-007	75	M1,5BSBO	1.953000E-007
54	M1,2SSSCYO	1.910000E-007	76	M1,5KBADDO	7.812000E-008
55	M1,2UAYO	7.190000E-008	77	M1,5KGVY	6.250000E-007
56	M1,2UVKAO	5.570000E-008	78	M1,5SAY	3.906000E-007
57	M1,2VKO	3.700000E-004	79	M1,5SSIG	9.540000E-005
58	M1,2VKVA	8.140000E-004	80	M1,5VIKD	9.721000E-004
59	M1,2VSIO	4.910000E-008	81	M1,5VPADHE	9.540000E-005
60	M1,2VYAKO	3.260000E-005	82	M1,5VYSME	1.562000E-007
61	M1,2VYO	1.200000E-007	83	M1,6KCSYO	5.210000E-007
62	M1,2VYYO	1.380000E-007	84	M1,6PGKMK	1.250000E-005

Tablo 36'nın devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
85	M1,6VMYS	1.300000E-007	107	M2,2PGAD	3.410000E-008
86	M10,5TDTO	1.660000E-007	108	M2,2PSVRR	7.046000E-006
87	M10,5YBVS	7.110000E-008	109	M2,2SSYO	6.500000E-004
88	M10X1	1.091000E-008	110	M2,2TSKD	5.023000E-005
89	M10X2	2.480000E-008	111	M2,2YYYO	8.260000E-005
90	M10X3	2.480000E-008	112	M3,1DBLY	3.178000E-007
91	M10X4	9.420000E-007	113	M3,1PRCA	6.980000E-004
92	M2,1CS	2.592000E-007	114	M3,1PSAV	5.722000E-007
93	M2,1DBYO	2.319000E-007	115	M3,1SGVP	5.388000E-008
94	M2,1GFA	3.580000E-004	116	M3,1SHAV	4.774000E-007
95	M2,1KMSIG	7.560000E-004	117	M3,1UAYO	1.364000E-007
96	M2,1PSYS	1.670000E-004	118	M3,1UVKA	1.541000E-007
97	M2,1SGVP	9.330000E-008	119	M3,1VSIO	2.728000E-007
98	M2,1SSIG	3.560000E-004	120	M3,1VYYO	2.046000E-007
99	M2,1UAYO	3.861000E-007	121	M3,1YBAO	8.730000E-007
100	M2,1UVKA	5.183000E-007	122	M3,1YSCD	7.866000E-004
101	M2,1VAVK	5.640000E-004	123	M3,1YTY	3.956000E-007
102	M2,1VSIO	1.170000E-006	124	M3,1YVYO	6.002000E-008
103	M2,1VYYO	1.037000E-006	125	M3,1YYO	9.510000E-004
104	M2,1YYT	1.200000E-005	126	M3,2BOAYO	3.560000E-007
105	M2,1YYY	9.890000E-004	127	M3,2KRVU	1.473000E-007
106	M2,2KPYSH	5.456000E-008	128	M3,2PRI	3.560000E-008

Tablo 36'nın devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
129	M3,2PRROM	3.920000E-004	151	M3,3YYYV	9.140000E-005
130	M3,2PRSYO	4.882000E-007	152	M4,1GVCB	3.631000E-007
131	M3,2PRVSK	3.765000E-008	153	M4,1HSSO	1.210000E-007
132	M3,2SCA	9.750000E-004	154	M4,1PRE	9.379000E-007
133	M3,2SKCY	3.887000E-007	155	M4,1PSBO	9.540000E-004
134	M3,2SKEE	8.730000E-004	156	M4,1SDUO	2.420000E-007
135	M3,2SKOV	1.228000E-007	157	M4,1SOYK	2.118000E-007
136	M3,2SOKIC	2.046000E-007	158	M4,2PRKIS	3.204000E-007
137	M3,2SPKO	7.630000E-004	159	M4,2PROCY	8.240000E-004
138	M3,2SPMU	1.230000E-007	160	M4,2SASO	8.450000E-005
139	M3,2SRYS	8.810000E-004	161	M4,2SKHO	2.640000E-007
140	M3,2SSYTO	4.010000E-008	162	M4,2SYCS	9.920000E-005
141	M3,3GKOV	1.230000E-007	163	M4X3	1.984000E-008
142	M3,3KYYFO	5.691000E-005	164	M4X4	2.980000E-008
143	M3,3SASO	4.910000E-007	165	M5,1KIKMO	2.701000E-007
144	M3,3SKOM	5.460000E-008	166	M5,1KPHO	1.964000E-007
145	M3,3SKOP	1.090000E-007	167	M5,1PRRO	8.700000E-006
146	M3,3SKOYV	3.270000E-007	168	M5,1PRVRR	3.683000E-007
147	M3,3SKSVY	9.550000E-008	169	M5,1SGAO	7.366000E-008
148	M3,3SRBY	2.460000E-007	170	M5,1SSHO	2.946000E-007
149	M3,3SREO	8.160000E-005	171	M5,1VKVV	6.700000E-006

Tablo 36'nın devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
173	M5,2KCKUO	3.224000E-009	195	M7PKVYH	3.683000E-007
174	M5,2KVPH	2.976000E-009	196	M7PVRVS	4.464000E-004
175	M5,2PMYS	2.604000E-009	197	M7ROMYO	3.389000E-007
176	M5,2PRK	2.356000E-009	198	M7YSME	7.440000E-008
177	M5,2PSBA	4.960000E-009	199	M8EYB	2.540000E-005
178	M5,2PSGVA	3.720000E-009	200	M8HYA	2.780000E-005
179	M5,2SS	2.852000E-009	201	M8KPB	2.027000E-007
180	M5,2TVMY	2.108000E-009	202	M8OKK	3.274000E-008
181	M6,1GAIO	8.593000E-006	203	M8PKD	3.385000E-008
182	M6,1PVR	3.928000E-007	204	M8PKS	3.571000E-008
183	M6,1ROLU	3.437000E-007	205	M8PKY	1.116000E-007
184	M6,1SYOV	2.455000E-007	206	M8PSA	2.976000E-008
185	M6,1YYYYO	7.138000E-006	207	M8TFO	8.184000E-005
186	M6,2SGMKO	4.960000E-009	208	M8YYS	2.976000E-007
187	M6,2SGY	1.488000E-008	209	M9,1JYK	4.365000E-008
188	M6,2TSDO	4.960000E-009	210	M9,1KTFO	5.274000E-005
189	M7KHSG	3.683000E-007	211	M9,1YBVKH	4.365000E-008
190	M7KPBHO	3.385000E-007	212	M9,1YCKO	3.619000E-005
191	M7KPVKS	1.752000E-004	213	M9,1YKL	4.365000E-007
192	M7KVGO	3.047000E-007	214	M9,1YKM	2.182000E-007
193	M7KVGOO	1.488000E-007	215	M9,1YVDV	1.091000E-005
194	M7KYYY	6.018000E-004	216	M9,5AY	4.220000E-008

Tablo 36'nın devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
217	M9,5AYKM	2.480000E-008	239	P1,2.BASV	1.670000E-008
218	M9,5TCFO	6.200000E-008	240	P1,2.KAVG	5.100000E-006
219	M9,5YKL	3.720000E-008	241	P1,2.KPBK	2.040000E-007
220	M9,5YYIOK	3.220000E-008	242	P1,2.KVGO	6.780000E-008
221	M9,5YYYYO	9.160000E-006	243	P1,2.PKBT	5.100000E-008
222	M9,6JYH	5.950000E-008	244	P1,2.YA	1.670000E-008
223	M9,6YME	1.640000E-007	245	P1,3.ASTO	1.270000E-008
224	M9,6YYK	7.440000E-008	246	P1,3.DBYO	1.270000E-008
225	M9,7AYT	5.950000E-008	247	P1,3.KTCG	1.900000E-008
226	M9,7AYY	9.920000E-008	248	P1,3.KVVG	7.620000E-008
227	M9,7GCS	3.970000E-008	249	P1,3.PVPS	6.360000E-009
228	M9,8EVSGY	5.950000E-008	250	P1,3.SKIG	1.900000E-008
229	M9,8YYKV	8.930000E-008	251	P1,3.VYO	5.080000E-008
230	M9X2	6.752000E-004	252	P1,3.YY	7.620000E-008
231	M9X3	9.920000E-008	253	P1,4.CVBP	3.820000E-009
232	M9X4	1.490000E-007	254	P1,4.KYCS	5.080000E-008
233	P1,1.KHSG	3.340000E-008	255	P1,4.MYCS	1.270000E-008
234	P1,1.PSK	6.780000E-008	256	P1,4.YE	1.020000E-007
235	P1,1.PVSB	2.720000E-007	257	P10.DBLU	4.800000E-008
236	P1,1.PVSC	1.350000E-007	258	P10.PSYS	4.800000E-008
237	P1,1.SGCO	3.340000E-008	259	P10.SAS	4.800000E-008
238	P1,1.VPCO	2.720000E-007	260	P10.SGVP	1.340000E-008

Tablo 36'nın devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
261	P10.UAO	4.600000E-008	283	P13.UPAV	1.660000E-008
262	P10.VH	1.200000E-007	284	P13.VASD	4.200000E-008
263	P11.BSBD	1.480000E-007	285	P13.YBDO	1.460000E-008
264	P11.EMDD	1.140000E-007	286	P13.YR	6.600000E-009
265	P11.GGBA	1.480000E-007	287	P14.CS	4.600000E-008
266	P11.GGFK	2.200000E-007	288	P14.EVS	6.200000E-008
267	P11.GGYT	1.460000E-007	289	P14.PRSA	5.800000E-008
268	P11.GOTY	3.400000E-008	290	P14.PSKV	4.200000E-008
269	P11.PSB	1.780000E-007	291	P14.PVSB	5.000000E-008
270	P11.SKCG	1.500000E-007	292	P14.SGSS	6.600000E-008
271	P11.SYGT	1.140000E-007	293	P15.BS	1.220000E-007
272	P11.USBO	1.300000E-007	294	P15.GFAO	3.300000E-007
273	P11.VIC	2.400000E-007	295	P15.HCDO	6.250000E-008
274	P12.AKTE	1.080000E-007	296	P15.KGTA	8.200000E-008
275	P12.SEGT	1.360000E-007	297	P15.SBAC	1.520000E-007
276	P12.UMKZ	4.500000E-008	298	P15.SBVA	2.400000E-007
277	P13.BETO	4.100000E-008	299	P15.US	5.600000E-008
278	P13.EKYO	7.600000E-009	300	P15.VHG	7.200000E-007
279	P13.KUO	1.160000E-007	301	P16.BVBS	1.300000E-008
280	P13.MAYV	2.600000E-008	302	P16.GFK	1.300000E-007
281	P13.SY	3.600000E-008	303	P16.GKBO	6.600000E-008
282	P13.TYO	2.400000E-008	304	P16.UKB	2.400000E-008

Tablo 36'nın devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
305	P16.VAO	9.600000E-008	327	P3,1.SVKG	5.000000E-008
306	P17.KHHS	8.400000E-008	328	P3,2.KBYC	1.530000E-008
307	P17.KHLC	6.800000E-008	329	P3,2.KMKC	3.560000E-008
308	P17.KHLK	8.800000E-008	330	P3,2.PVLS	2.560000E-008
309	P17.UYUS	8.400000E-008	331	P3,2.YTK	5.100000E-009
310	P2,1.BES	2.900000E-008	332	P4,1.GCVB	4.880000E-006
311	P2,1.PRSY	3.640000E-008	333	P4,1.GGYS	1.220000E-006
312	P2,1.PSVS	5.800000E-008	334	P4,1.PVSG	9.380000E-006
313	P2,1.VOYZ	4.360000E-008	335	P4,1.SFSO	1.760000E-006
314	P2,1.VPCO	1.020000E-008	336	P4,1.SSYO	6.040000E-006
315	P2,1.VPDC	1.870000E-008	337	P4,1.YYO	3.260000E-006
316	P2,1.VYKO	7.260000E-009	338	P4,2.CVVC	9.520000E-004
317	P2,2.VHOC	4.520000E-008	339	P4,2.DBLY	1.910000E-005
318	P2,2.VSKG	1.830000E-008	340	P4,2.PRSC	1.910000E-005
319	P2,2.VSKV	4.020000E-008	341	P4,2.PSYS	8.910000E-005
320	P2,2.VYO	6.100000E-009	342	P4,2.SGSS	2.020000E-005
321	P2,2.VYSM	1.220000E-008	343	P4,2.SSMY	1.450000E-005
322	P3,1.BSUO	2.060000E-008	344	P4,2.VKO	9.940000E-006
323	P3,1.KUSC	6.100000E-009	345	P4,2.VKVA	8.970000E-004
324	P3,1.SKS	9.000000E-008	346	P4,2.VSIO	1.430000E-006
325	P3,1.SKVS	6.000000E-008	347	P4,2.YSCD	1.810000E-006
326	P3,1.SSDO	1.400000E-008	348	P4,2.YSCY	1.910000E-006

Tablo 36'nın devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
349	P4,2.YVYV	1.830000E-006	371	P4,5.DBCY	8.800000E-006
350	P4,3.CS	6.780000E-008	372	P4,5.GSFI	1.320000E-006
351	P4,3.CSYO	4.060000E-008	373	P4,5.KTC	7.600000E-007
352	P4,3.GAFS	3.520000E-007	374	P4,5.VHG	9.920000E-005
353	P4,3.GBLO	1.090000E-007	375	P5,1.BRVY	1.880000E-006
354	P4,3.GFTO	9.200000E-007	376	P5,1.KMOE	1.180000E-006
355	P4,3.GVCV	2.220000E-006	377	P5,1.YHKO	5.200000E-007
356	P4,3.HYO	4.360000E-008	378	P5,1.YKUO	1.240000E-006
357	P4,3.UVKA	1.110000E-008	379	P5,1.YOSK	6.200000E-006
358	P4,3.UYA	2.440000E-006	380	P5,1.YSO	1.300000E-006
359	P4,3.VAVK	6.520000E-008	381	P5,2.SYK	8.200000E-006
360	P4,3.VYYO	2.720000E-008	382	P5,2.YAOV	2.400000E-006
361	P4,3.VZO	2.220000E-007	383	P5,2.YBDO	9.800000E-006
362	P4,3.YSYO	4.880000E-008	384	P5,2.YBS	1.020000E-007
363	P4,4.ASBY	7.200000E-008	385	P5,2.YDPA	9.800000E-006
364	P4,4.CGSC	8.100000E-006	386	P5,2.YFVS	1.060000E-006
365	P4,4.DBAY	4.820000E-008	387	P5,2.YPSO	1.980000E-007
366	P4,4.GSCY	1.080000E-007	388	P5,2.YPVY	7.400000E-006
367	P4,4.SBIS	2.400000E-008	389	P5,2.YSDO	1.120000E-007
368	P4,4.SCVA	1.440000E-007	390	P5,2.YSYO	7.000000E-006
369	P4,4.SSMY	2.000000E-007	391	P5,2.YVDO	4.600000E-006
370	P4,5.ASTO	2.200000E-007	392	P5,2.YVYO	1.400000E-006

Tablo 36'nın devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
393	P5,3.KMYS	1.380000E-007	415	P6,4.GVCR	1.150000E-008
394	P5,3.PSVS	1.040000E-006	416	P6,4.KGBS	9.000000E-009
395	P5,3.YBCY	6.830000E-006	417	P6,4.PSAV	8.000000E-009
396	P5,3.YCHO	4.200000E-007	418	P6,4.PVSG	1.020000E-008
397	P5,4.BHVB	2.800000E-005	419	P6,4.SGGS	9.000000E-009
398	P5,4.PSYS	9.570000E-004	420	P6,4.SSCV	1.250000E-008
399	P5,4.SUOY	5.400000E-005	421	P6,4.SSYO	1.100000E-008
400	P5,4.YDV	1.040000E-006	422	P7,1.BSVB	1.980000E-008
401	P5,4.YDVO	3.600000E-006	423	P7,1.GFK	2.200000E-008
402	P5,4.YSCC	6.200000E-006	424	P7,1.GTAD	1.960000E-008
403	P6,1.GVCY	2.400000E-008	425	P7,1.PSAV	2.400000E-008
404	P6,1.UGYK	3.400000E-008	426	P7,1.SBVA	2.100000E-008
405	P6,1.UPS	1.960000E-008	427	P7,2.DBLU	1.580000E-008
406	P6,1.YBUP	1.960000E-008	428	P7,2.GBO	1.620000E-008
407	P6,2.GVCY	5.000000E-008	429	P7,2.KGBS	1.600000E-008
408	P6,2.YBUP	3.400000E-008	430	P7,2.KGHT	1.520000E-008
409	P6,3.KHLS	1.580000E-008	431	P7,2.UAYY	1.460000E-008
410	P6,3.KHLSU	1.640000E-008	432	P7,2.UVKH	1.590000E-008
411	P6,3.UC	1.620000E-008	433	P7,3.BGDO	1.100000E-008
412	P6,4.ASKT	7.500000E-009	434	P7,3.CS	7.700000E-009
413	P6,4.EVAO	9.500000E-009	435	P7,3.EVS	1.800000E-008
414	P6,4.EVCD	8.000000E-009	436	P7,3.HDO	1.060000E-008

Tablo 36'nın devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
437	P7,3.PRSS	2.000000E-008	456	P9.BSUD	9.900000E-004
438	P7,3.PSYO	1.260000E-008	458	P9.KITE	9.200000E-004
439	P7,3.SADI	1.400000E-008	459	P9.KPKC	6.000000E-005
440	P7,3.SILU	5.600000E-009	460	P9.KSYK	8.200000E-005
441	P7,3.VKYA	1.300000E-008	461	P9.KTCK	8.600000E-005
442	P7,3.VO	1.960000E-008	462	P9.KTDK	5.600000E-005
443	P8,1.ASKT	1.840000E-007	463	P9.KTSG	6.470000E-005
444	P8,1.DBLU	1.820000E-007	464	P9.MRSU	1.920000E-006
445	P8,1.GSSY	1.800000E-007	465	P9.PVPR	8.700000E-005
446	P8,1.SGVP	1.720000E-007	466	P9.SVKG	6.200000E-005
447	P8,1.SSMY	1.920000E-007	467	P9.USVK	8.500000E-005
448	P8,2.ASS	6.000000E-008	468	YE1AYPMBH	9.874000E-005
449	P8,2.CS	1.000000E-007	469	YE1YPEGH	9.500000E-005
450	P8,2.EVS	1.000000E-007	470	YE2SSPEGH	1.224000E-006
451	P8,2.GAO	4.000000E-007	471	YE2SSPMBH	9.810000E-004
452	P8,2.PRYS	6.000000E-007	472	YE2SSPOEPH	6.780000E-006
453	P8,2.UVKB	2.000000E-007	473	YE3CPEGH	5.200000E-006
454	P8,2.VSIDO	2.000000E-007	474	YE3CPEPH	4.488000E-006
457	P9.KCGY	9.200000E-004	475	YE3CPMBH	8.100000E-004
455	P9.BSTO	8.000000E-006	Minimum kesme kümelerinin sayısı=475		

Kompresör hasarlarına neden olan başlangıç olaylarının kazaların oluşumundaki etkisini değerlendirmek amacıyla Open FTA programında başlangıç olayı analizi yapıldı. Analiz sonuçlarına göre; kompresörün hasarlarına neden olan temel etmenlerin yani proses kaynaklı hasarlar, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarları, enstrümantasyon ve ölçme cihazları hasarları, yardımcı ekipmanların hasarları, elektrikle ilgili hasarların her birinin önemi ve başlangıç olaylarının kaza oluşumundaki payı (önemi) verilmiştir. Başlangıç olayı analiz sonuçları Tablo 37, 38, 39, 40 ve 41’de yer almaktadır.

Tablo 37. Elektrik hasarlarıyla ilgili başlangıç olayların önemi ve toplam önemi

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
EL2EIPH	7.896000E-004	% 2.06
EL1SH	9.798000E-005	% 0.26
EL1RH	8.855000E-005	% 0.23
EL6MKOCH	6.400000E-005	% 0.17
EL1YH	4.798000E-005	% 0.13
EL3MAI	6.900000E-006	% 0.02
EL4USO	6.997000E-006	% 0.02
EL5KSO	3.100000E-006	% 0.01
TOPLAM: % 2.90		

Tablo 38. Yardımcı ekipmanların hasarlarıyla ilgili başlangıç olayların önemi ve toplam önemi

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
YE2SSPMBH	9.810000E-004	% 2.56
YE3CPMBH	8.100000E-004	% 2.11
YE1AYPMBH	9.874000E-005	% 0.26
YE1YPEGH	9.500000E-005	% 0.25
YE2SSPOEPH	6.780000E-006	% 0.02
YE3CPEGH	5.200000E-006	% 0.01
YE3CEPH	4.488000E-006	% 0.01
TOPLAM: % 5.22		

Tablo 39. Enstrümantasyon ve ölçme cihazlalar hasarlarıyla ilgili başlangıç olayların önemi ve toplam önemi

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
ENS3HBMH	9.998000E-004	% 2.61
ENS3AH	9.980000E-004	% 2.60
ENS3EESPH	8.512000E-004	% 2.22
ENS3HKKSHUH	8.209000E-004	% 2.14
ENS1PRPGH	9.818000E-005	% 0.26
ENS2	9.210000E-005	% 0.24
ENS3TDCSH	8.752000E-005	% 0.23
ENS1SGH	4.698000E-005	% 0.12
ENS1TGH	4.418000E-005	% 0.12
ENS1AGH	3.508000E-005	% 0.09
ENS1BGH	3.364000E-005	%0.09
ENS1KAYSGH	3.494000E-005	% 0.09
ENS1KAMBSGH	3.033000E-005	% 0.08
ENS1AMSGH	2.698000E-005	% 0.07
ENS1RPSGH	2.603000E-005	% 0.07
ENS1HSGH	2.409000E-005	% 0.06
TOPLAM: % 11.09		

Tablo 40. Mekanik bileşenlerin hasarlarıyla ilgili başlangıç olayların önemi ve toplam önemi

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
M2,1YYY	9.890000E-004	% 2.58
M3,2SCA	9.750000E-004	% 2.54
M1,5VIKD	9.721000E-004	% 2.53
M4,1PSBO	9.540000E-004	% 2.49
M3,1YYO	9.510000E-004	% 2.48
M1,2YBAD	9.470000E-004	% 2.47
M1,4SVR	9.370000E-004	% 2.44
M1,4YB	9.370000E-004	% 2.44
M3,2SRYS	8.810000E-004	% 2.30

Tablo 40'ın devamı

M1,1KMSI	8.700000E-004	% 2.27
M3,2SKEE	8.730000E-004	% 2.27
M1,2CGSYO	8.590000E-004	% 2.24
M1,1.YBAO	8.270000E-004	% 2.15
M4,2PROCY	8.240000E-004	% 2.15
M1,2VKVA	8.140000E-004	% 2.12
M3,1YSCD	7.866000E-004	% 2.05
M1,4PE	7.810000E-004	% 2.04
M3,2SPKO	7.630000E-004	% 1.99
M2,1KMSIG	7.560000E-004	% 1.97
M3,1PRCA	6.980000E-004	% 1.82
M9X2	6.752000E-004	% 1.76
M2,2SSYO	6.500000E-004	% 1.69
M7KYYY	6.018000E-004	% 1.57
M2,1VAVK	5.640000E-004	% 1.47
M7PVRVS	4.464000E-004	% 1.16
M3,2PRROM	3.920000E-004	% 1.02
M1,2VKO	3.700000E-004	% 0.96
M2,1GFA	3.580000E-004	% 0.93
M2,1SSIG	3.560000E-004	% 0.93
M1,1.GVCR	3.130000E-004	% 0.82
M1,3VPY	2.604000E-004	% 0.68
M7KPVKS	1.752000E-004	% 0.46
M2,1PSYS	1.670000E-004	% 0.44
M1,1.VYK	1.470000E-004	% 0.38
M4,2SYCS	9.920000E-005	% 0.26
M1,5SSIG	9.540000E-005	% 0.25
M1,5VPADHE	9.540000E-005	% 0.25
M1,1.VKO	9.110000E-005	% 0.24
M3,3YYYYV	9.140000E-005	% 0.24

Tablo 40'ın devamı

M2,2YYYYO	8.260000E-005	% 0.22
M4,2SASO	8.450000E-005	% 0.22
M1,1.SSIT	8.100000E-005	% 0.21
M1,5AYYOV	8.140000E-005	% 0.21
M3,3SREO	8.160000E-005	% 0.21
M8TFO	8.184000E-005	% 0.21
M3,3KYYFO	5.691000E-005	% 0.15
M9,1KTFO	5.274000E-005	% 0.14
M2,2TSKD	5.023000E-005	% 0.13
M9,1YCKO	3.619000E-005	% 0.09
M1,2VYAKO	3.260000E-005	% 0.08
M1,1.UVKA	2.620000E-005	% 0.07
M8EYB	2.540000E-005	% 0.07
M8HYA	2.780000E-005	% 0.07
M1,2YYV	2.050000E-005	% 0.05
M1,6PGKMK	1.250000E-005	% 0.03
M2,1YYT	1.200000E-005	% 0.03
M9,1YVDV	1.091000E-005	% 0.03
M2,2PSVRR	7.046000E-006	% 0.02
M5,1PRRO	8.700000E-006	% 0.02
M5,1VKVV	6.700000E-006	% 0.02
M6,1GAIO	8.593000E-006	% 0.02
M6,1YYYYO	7.138000E-006	% 0.02
M9,5YYYYO	9.160000E-006	% 0.02
M1,2YSYO	2.100000E-006	% 0.01
TOPLAM: % 63.20		

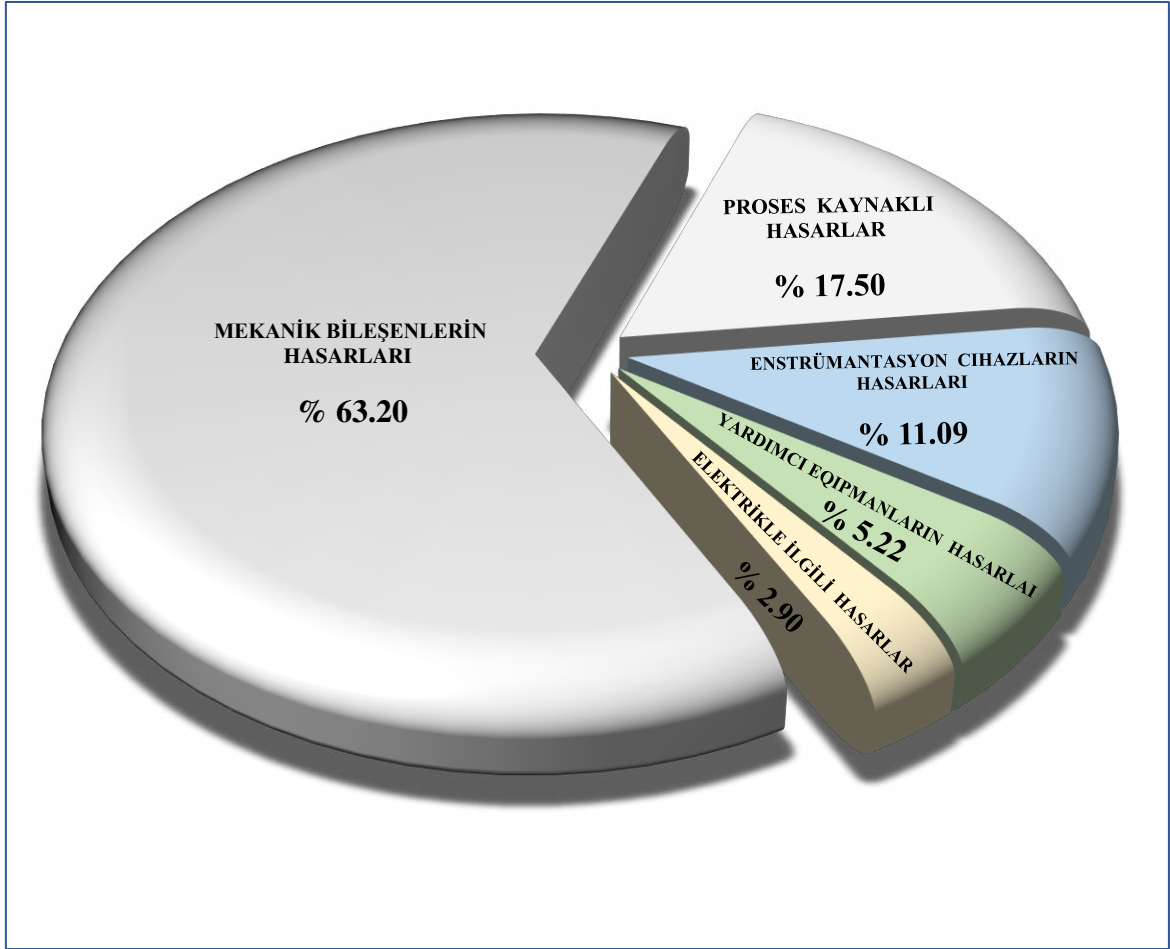
Tablo 41. Proses kaynaklı hasarlarla ilgili başlangıç olayların önemi ve toplam önemi

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
P9.BSUD	yuh7 9.900000E-004	% 2.58
P5,4.PSYS	9.570000E-004	% 2.49
P4,2.CVVC	9.520000E-004	% 2.48
P9.KCGY	9.200000E-004	% 2.40
P9.KITE	9.200000E-004	% 2.40
P4,2.VKVA	8.970000E-004	% 2.34
P4,5.VHG	9.920000E-005	% 0.26
P4,2.PSYS	8.910000E-005	% 0.23
P9.PVPR	8.700000E-005	% 0.23
P9.KTCK	8.600000E-005	% 0.22
P9.USVK	8.500000E-005	% 0.22
P9.KSYK	8.200000E-005	% 0.21
P9.KTSG	6.470000E-005	% 0.17
P9.KPKC	6.000000E-005	% 0.16
P9.SVKG	6.200000E-005	% 0.16
P9.KTDK	5.600000E-005	% 0.15
P5,4.SUOY	5.400000E-005	% 0.14
P5,4.BHVB	2.800000E-005	% 0.07
P4,2.DBLY	1.910000E-005	% 0.05
P4,2.PRSC	1.910000E-005	% 0.05
P4,2.SGSS	2.020000E-005	% 0.05
P4,2.VKO	9.940000E-006	% 0.03
P5,2.YBDO	9.800000E-006	% 0.03
P5,2.YDPA	9.800000E-006	% 0.03
P4,1.PVSG	9.380000E-006	% 0.02
P4,2.SSMY	1.450000E-005	% 0.04
P4,1.SSYO	6.040000E-006	% 0.02
P4,4.CGSC	8.100000E-006	% 0.02
P4,5.DBCY	8.800000E-006	% 0.02

Tablo 41'in devamı

P5,1.YOSK	6.200000E-006	% 0.02
P5,2.SYK	8.200000E-006	% 0.02
P5,2.YPVY	7.400000E-006	% 0.02
P5,2.YSYO	7.000000E-006	% 0.02
P5,3.YBCY	6.830000E-006	% 0.02
P5,4.YSCC	6.200000E-006	% 0.02
P9.BSTO	8.000000E-006	% 0.02
P1,2.KAVG	5.100000E-006	% 0.01
P4,1.GCVB	4.880000E-006	% 0.01
P4,1.YYO	3.260000E-006	% 0.01
P4,3.GVCV	2.220000E-006	% 0.01
P4,3.UYA	2.440000E-006	% 0.01
P5,2.YAOV	2.400000E-006	% 0.01
P5,2.YVDO	4.600000E-006	% 0.01
P5,4.YDVO	3.600000E-006	% 0.01
P9.MRSU	1.920000E-006	% 0.01
TOPLAM: % 17.50		

Şekil 130’de kompresörün hasarlarına neden olan temel etmenlerin yani proses kaynaklı hasarlar, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarları, enstrümantasyon ve ölçme cihazlalar hasarları, yardımcı ekipmanların hasarları, elektrikle ilgili hasarların her birinin payı (önemi)gösterilmiştir.

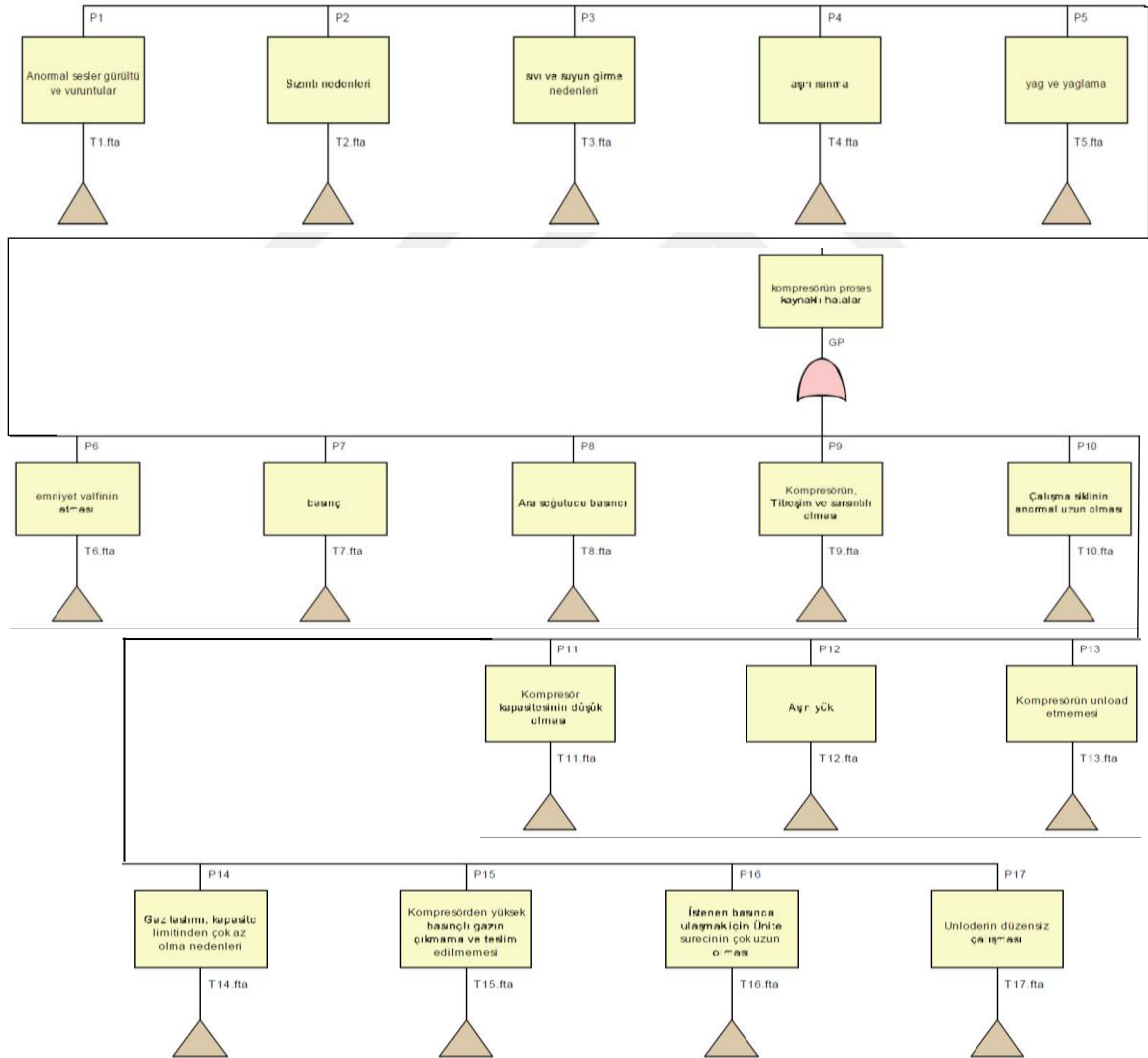


Şekil 130. Kompresör hasarlarına neden olan temel etmenlerin kompresörün hasarlanmasındaki önemleri

Sunulan çalışmanın ilk kısmında API618 kompresörün hasarlarına neden olan başlangıç olaylarının kazaların oluşumundaki etkisini, Open FTA programında başlangıç olayı analiz değerlendirilmesi gösterilmiştir. Bu çalışmanın ikinci aşamasında kompresörün hasarlarına neden olan temel etmenlerin yani proses kaynaklı hasarlar ve kompresörün mekanik bileşenlerin hasarları, enstrümantasyon ve ölçme cihazlalar hasarları, yardımcı ekipmanların hasarları ve elektrikle ilgili hasarların her birinin bir zirve olay olarak diğer bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

3.2. Proses Kaynaklı Hasarlara Ait Hata Ağacı Analizi Bulguları

Proses kaynaklı hasarların hata ağacı analizinde minimum kesme kümelerini belirlemek amacıyla bir analiz yapıldı. Analiz sonucunda Proses kaynaklı hasarların oluşumuna neden olan 235 adet minimum kesme kümesi (MCS) bulundu (Tablo 42). Proses kaynağı olan arızalara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu şekil 131’de gösterilmiştir. Tablo 43 ’da ise proses kaynaklı hasarların başlangıç olayı analiz sonuçları ve Şekil 132’de proses kaynaklı hasarların oluşumundaki, başlangıç olayların etkilerinin payı (önemi) yer almaktadır.



Şekil 131. Proses kaynağı olan arızalara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

Tablo 42’de Proses kaynaklı hasarların neden olan MCS oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları yer almaktadır.

Tablo 42. Proses kaynaklı hasarların neden olan minimum kesme kümelerini oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
1	P1,1.KHSG	3.340000E-008	21	P1,4.CVBP	3.820000E-009
2	P1,1.PSK	6.780000E-008	22	P1,4.KYCS	5.080000E-008
3	P1,1.PVSB	2.720000E-007	23	P1,4.MYCS	1.270000E-008
4	P1,1.PVSC	1.350000E-007	24	P1,4.YE	1.020000E-007
5	P1,1.SGCO	3.340000E-008	25	P10.DBLU	4.800000E-008
6	P1,1.VPCO	2.720000E-007	26	P10.PSYS	4.800000E-008
7	P1,2.BASV	1.670000E-008	27	P10.SAS	4.800000E-008
8	P1,2.KAVG	5.100000E-006	28	P10.SGVP	1.340000E-008
9	P1,2.KPBK	2.040000E-007	29	P10.UAO	4.600000E-008
10	P1,2.KVGO	6.780000E-008	30	P10.VH	1.200000E-007
11	P1,2.PKBT	5.100000E-008	31	P11.BSBD	1.480000E-007
12	P1,2.YA	1.670000E-008	32	P11.EMDD	1.140000E-007
13	P1,3.ASTO	1.270000E-008	33	P11.GGBA	1.480000E-007
14	P1,3.DBYO	1.270000E-008	34	P11.GGFK	2.200000E-007
15	P1,3.KTCG	1.900000E-008	35	P11.GGYT	1.460000E-007
16	P1,3.KVVG	7.620000E-008	36	P11.GOTY	3.400000E-008
17	P1,3.PVPS	6.360000E-009	37	P11.PSB	1.780000E-007
18	P1,3.SKIG	1.900000E-008	38	P11.SKCG	1.500000E-007
19	P1,3.VYO	5.080000E-008	39	P11.SYGT	1.140000E-007
20	P1,3.YY	7.620000E-008	40	P11.USBO	1.300000E-007

Tablo 42'nin devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
41	P11.VIC	2.400000E-007	62	P15.GFAO	3.300000E-007
42	P12.AKTE	1.080000E-007	63	P15.HCDO	6.250000E-008
43	P12.SEGT	1.360000E-007	64	P15.KGTA	8.200000E-008
44	P12.UMKZ	4.500000E-008	65	P15.SBAC	1.520000E-007
45	P13.BETO	4.100000E-008	66	P15.SBVA	2.400000E-007
46	P13.EKYO	7.600000E-009	67	P15.US	5.600000E-008
47	P13.KUO	1.160000E-007	68	P15.VHG	7.200000E-007
48	P13.MAYV	2.600000E-008	69	P16.BVBS	1.300000E-008
49	P13.SY	3.600000E-008	70	P16.GFK	1.300000E-007
50	P13.TYO	2.400000E-008	71	P16.GKBO	6.600000E-008
51	P13.UPAV	1.660000E-008	72	P16.UKB	2.400000E-008
52	P13.VASD	4.200000E-008	73	P16.VAO	9.600000E-008
53	P13.YBDO	1.460000E-008	74	P17.KHHS	8.400000E-008
54	P13.YR	6.600000E-009	75	P17.KHLC	6.800000E-008
55	P14.CS	4.600000E-008	76	P17.KHLK	8.800000E-008
56	P14.EVS	6.200000E-008	77	P17.UYUS	8.400000E-008
57	P14.PRSA	5.800000E-008	78	P2,1.BES	2.900000E-008
58	P14.PSKV	4.200000E-008	79	P2,1.PRSY	3.640000E-008
59	P14.PVSB	5.000000E-008	80	P2,1.PSVS	5.800000E-008
60	P14.SGSS	6.600000E-008	81	P2,1.VOYZ	4.360000E-008
61	P15.BS	1.220000E-007	82	P2,1.VPCO	1.020000E-008

Tablo 42'nin devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
83	P2,1.VPDC	1.870000E-008	104	P4,1.SSYO	6.040000E-006
84	P2,1.VYKO	7.260000E-009	105	P4,1.YYO	3.260000E-006
85	P2,2.VHOC	4.520000E-008	106	P4,2.CVVC	9.520000E-004
86	P2,2.VSKG	1.830000E-008	107	P4,2.DBLY	1.910000E-005
87	P2,2.VSKV	4.020000E-008	108	P4,2.PRSC	1.910000E-005
88	P2,2.VYO	6.100000E-009	109	P4,2.PSYS	8.910000E-005
89	P2,2.VYSM	1.220000E-008	110	P4,2.SGSS	2.020000E-005
90	P3,1.BSUO	2.060000E-008	111	P4,2.SSMY	1.450000E-005
91	P3,1.KUSC	6.100000E-009	112	P4,2.VKO	9.940000E-006
92	P3,1.SKS	9.000000E-008	113	P4,2.VKVA	8.970000E-004
93	P3,1.SKVS	6.000000E-008	114	P4,2.VSIO	1.430000E-006
94	P3,1.SSDO	1.400000E-008	115	P4,2.YSCD	1.810000E-006
95	P3,1.SVKG	5.000000E-008	116	P4,2.YSCY	1.910000E-006
96	P3,2.KBYC	1.530000E-008	117	P4,2.YVYV	1.830000E-006
97	P3,2.KMKC	3.560000E-008	118	P4,3.CS	6.780000E-008
98	P3,2.PVLS	2.560000E-008	119	P4,3.CSYO	4.060000E-008
99	P3,2.YTK	5.100000E-009	120	P4,3.GAFS	3.520000E-007
100	P4,1.GCVB	4.880000E-006	121	P4,3.GBLO	1.090000E-007
101	P4,1.GGYS	1.220000E-006	122	P4,3.GFTO	9.200000E-007
102	P4,1.PVSG	9.380000E-006	123	P4,3.GVCV	2.220000E-006
103	P4,1.SFSO	1.760000E-006	124	P4,3.HYO	4.360000E-008

Tablo 42'nin devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
125	P4,3.UVKA	1.110000E-008	146	P5,1.YKUO	1.240000E-006
126	P4,3.UYA	2.440000E-006	147	P5,1.YOSK	6.200000E-006
127	P4,3.VAVK	6.520000E-008	148	P5,1.YSO	1.300000E-006
128	P4,3.VYYO	2.720000E-008	149	P5,2.SYK	8.200000E-006
129	P4,3.VZO	2.220000E-007	150	P5,2.YAOV	2.400000E-006
130	P4,3.YSYO	4.880000E-008	151	P5,2.YBDO	9.800000E-006
131	P4,4.ASBY	7.200000E-008	152	P5,2.YBS	1.020000E-007
132	P4,4.CGSC	8.100000E-006	153	P5,2.YDPA	9.800000E-006
133	P4,4.DBAY	4.820000E-008	154	P5,2.YFVS	1.060000E-006
134	P4,4.GSCY	1.080000E-007	155	P5,2.YPSO	1.980000E-007
135	P4,4.SBIS	2.400000E-008	156	P5,2.YPVY	7.400000E-006
136	P4,4.SCVA	1.440000E-007	157	P5,2.YSDO	1.120000E-007
137	P4,4.SSMY	2.000000E-007	158	P5,2.YSYO	7.000000E-006
138	P4,5.ASTO	2.200000E-007	159	P5,2.YVDO	4.600000E-006
139	P4,5.DBCY	8.800000E-006	160	P5,2.YVYO	1.400000E-006
140	P4,5.GSFI	1.320000E-006	161	P5,3.KMYS	1.380000E-007
141	P4,5.KTC	7.600000E-007	162	P5,3.PSVS	1.040000E-006
142	P4,5.VHG	9.920000E-005	163	P5,3.YBCY	6.830000E-006
143	P5,1.BRVY	1.880000E-006	164	P5,3.YCHO	4.200000E-007
144	P5,1.KMOE	1.180000E-006	165	P5,4.BHVB	2.800000E-005
145	P5,1.YHKO	5.200000E-007	166	P5,4.PSYS	9.570000E-004

Tablo 42'nin devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
167	P5,4.SUOY	5.400000E-005	188	P6,4.SSCV	1.250000E-008
168	P5,4.YDV	1.040000E-006	189	P6,4.SSYO	1.100000E-008
169	P5,4.YDVO	3.600000E-006	190	P7,1.BSVB	1.980000E-008
170	P5,4.YSCC	6.200000E-006	191	P7,1.GFK	2.200000E-008
171	P6,1.GVCY	2.400000E-008	192	P7,1.GTAD	1.960000E-008
172	P6,1.UGYK	3.400000E-008	193	P7,1.PSAV	2.400000E-008
173	P6,1.UPS	1.960000E-008	194	P7,1.SBVA	2.100000E-008
174	P6,1.YBUP	1.960000E-008	195	P7,2.DBLU	1.580000E-008
175	P6,2.GVCY	5.000000E-008	196	P7,2.GBO	1.620000E-008
176	P6,2.YBUP	3.400000E-008	197	P7,2.KGBS	1.600000E-008
177	P6,3.KHLS	1.580000E-008	198	P7,2.KGHT	1.520000E-008
178	P6,3.KHLSU	1.640000E-008	199	P7,2.UAYY	1.460000E-008
179	P6,3.UC	1.620000E-008	200	P7,2.UVKH	1.590000E-008
180	P6,4.ASKT	7.500000E-009	201	P7,3.BGDO	1.100000E-008
181	P6,4.EVAO	9.500000E-009	202	P7,3.CS	7.700000E-009
182	P6,4.EVCD	8.000000E-009	203	P7,3.EVS	1.800000E-008
183	P6,4.GVCR	1.150000E-008	204	P7,3.HDO	1.060000E-008
184	P6,4.KGBS	9.000000E-009	205	P7,3.PRSS	2.000000E-008
185	P6,4.PSAV	8.000000E-009	206	P7,3.PSYO	1.260000E-008
186	P6,4.PVSG	1.020000E-008	207	P7,3.SADI	1.400000E-008
187	P6,4.SGGS	9.000000E-009	208	P7,3.SILU	5.600000E-009

Tablo 42'nin devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
209	P7,3.VKYA	1.300000E-008	223	P9.BSTO	8.000000E-006
210	P7,3.VO	1.960000E-008	224	P9.BSUD	9.900000E-004
211	P8,1.ASKT	1.840000E-007	225	P9.KCGY	9.200000E-004
212	P8,1.DBLU	1.820000E-007	226	P9.KITE	9.200000E-004
213	P8,1.GSSY	1.800000E-007	227	P9.KPKC	6.000000E-005
214	P8,1.SGVP	1.720000E-007	228	P9.KSYK	8.200000E-005
215	P8,1.SSMY	1.920000E-007	229	P9.KTCK	8.600000E-005
216	P8,2.ASS	6.000000E-008	230	P9.KTDK	5.600000E-005
217	P8,2.CS	1.000000E-007	231	P9.KTSG	6.470000E-005
218	P8,2.EVS	1.000000E-007	232	P9.MRSU	1.920000E-006
219	P8,2.GAO	4.000000E-007	233	P9.PVPR	8.700000E-005
220	P8,2.PRYS	6.000000E-007	234	P9.SVKG	6.200000E-005
221	P8,2.UVKB	2.000000E-007	235	P9.USVK	8.500000E-005
222	P8,2.VSIDO	2.000000E-007	MCS: 235		

Tablo 43. Proses kaynaklı hasarların başlangıç olayı analiz sonuçları (olayların olasılık değeri ve proses hasarlarının önemi)

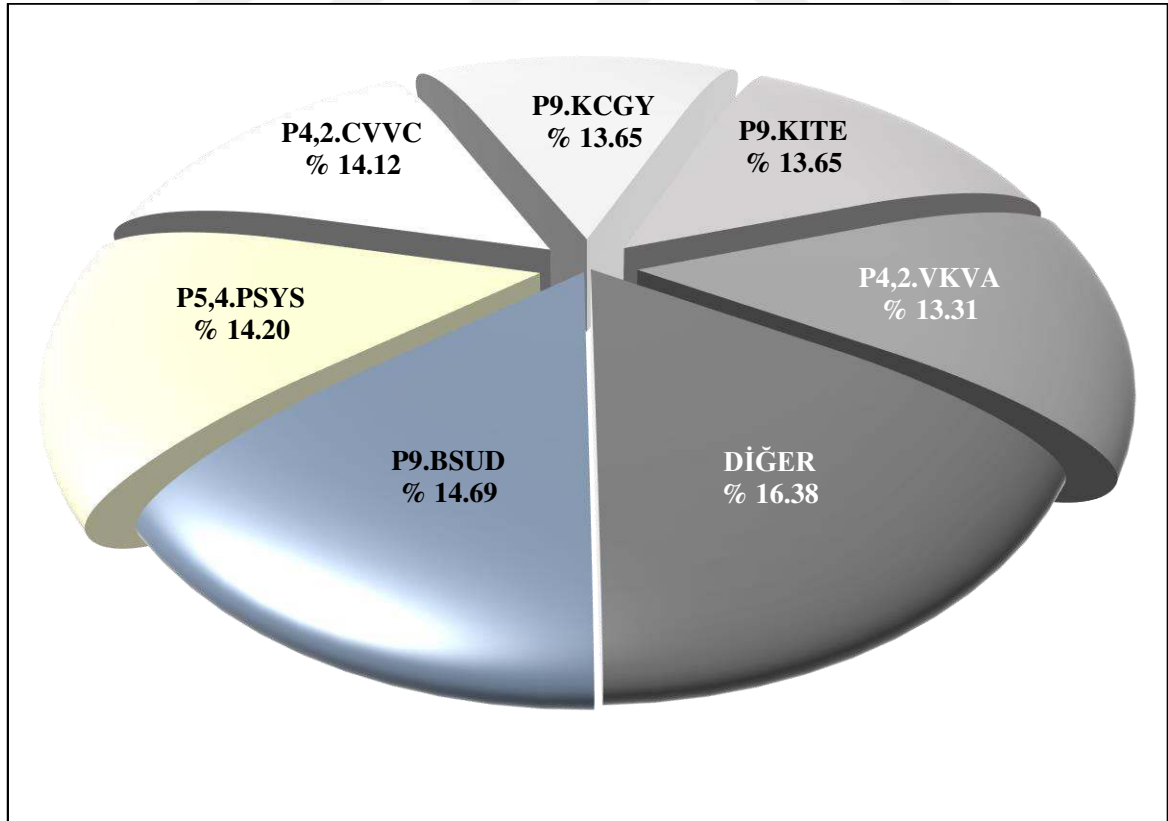
OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
P9.BSUD	9.900000E-004	% 14.69
P5,4.PSYS	9.570000E-004	% 14.20
P4,2.CVVC	9.520000E-004	% 14.12
P9.KCGY	9.200000E-004	% 13.65
P9.KITE	9.200000E-004	% 13.65
P4,2.VKVA	8.970000E-004	% 13.31
P4,5.VHG	9.920000E-005	% 1.47
P4,2.PSYS	8.910000E-005	% 1.32
P9.PVPR	8.700000E-005	% 1.29
P9.KTCK	8.600000E-005	% 1.28
P9.USVK	8.500000E-005	% 1.26
P9.KSYK	8.200000E-005	% 1.22
P9.KTSG	6.470000E-005	% 0.96
P9.SVKG	6.200000E-005	% 0.92
P9.KPKC	6.000000E-005	% 0.89
P9.KTDK	5.600000E-005	% 0.83
P5,4.SUOY	5.400000E-005	% 0.80
P5,4.BHVB	2.800000E-005	% 0.42
P4,2.SGSS	2.020000E-005	% 0.30
P4,2.DBLY	1.910000E-005	% 0.28
P4,2.PRSC	1.910000E-005	% 0.28
P4,2.SSMY	1.450000E-005	% 0.22
P4,2.VKO	9.940000E-006	% 0.15
P5,2.YBDO	9.800000E-006	% 0.15
P5,2.YDPA	9.800000E-006	% 0.15
P4,1.PVSG	9.380000E-006	% 0.14
P4,5.DBCY	8.800000E-006	% 0.13
P4,4.CGSC	8.100000E-006	% 0.12

Tablo 43'ün devamı

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
P5,2.SYK	8.200000E-006	% 0.12
P9.BSTO	8.000000E-006	% 0.12
P5,2.YPVY	7.400000E-006	% 0.11
P5,2.YSYO	7.000000E-006	% 0.10
P5,3.YBCY	6.830000E-006	% 0.10
P4,1.SSYO	6.040000E-006	% 0.09
P5,1.YOSK	6.200000E-006	% 0.09
P5,4.YSCC	6.200000E-006	% 0.09
P1,2.KAVG	5.100000E-006	% 0.08
P4,1.GCVB	4.880000E-006	% 0.07
P5,2.YVDO	4.600000E-006	% 0.07
P4,1.YYO	3.260000E-006	% 0.05
P5,4.YDVO	3.600000E-006	% 0.05
P4,3.UYA	2.440000E-006	% 0.04
P5,2.YAOV	2.400000E-006	% 0.04
P4,1.SFSO	1.760000E-006	% 0.03
P4,2.YSCD	1.810000E-006	% 0.03
P4,2.YSCY	1.910000E-006	% 0.03
P4,2.YVYV	1.830000E-006	% 0.03
P4,3.GVCV	2.220000E-006	% 0.03
P5,1.BRVY	1.880000E-006	% 0.03
P9.MRSU	1.920000E-006	% 0.03
P4,1.GGYS	1.220000E-006	% 0.02
P4,2.VSIO	1.430000E-006	% 0.02
P4,5.GSFI	1.320000E-006	% 0.02
P5,1.KMOE	1.180000E-006	% 0.02
P5,1.YKUO	1.240000E-006	% 0.02
P5,1.YSO	1.300000E-006	% 0.02
P5,2.YFVS	1.060000E-006	% 0.02

Tablo 43'ün devamı

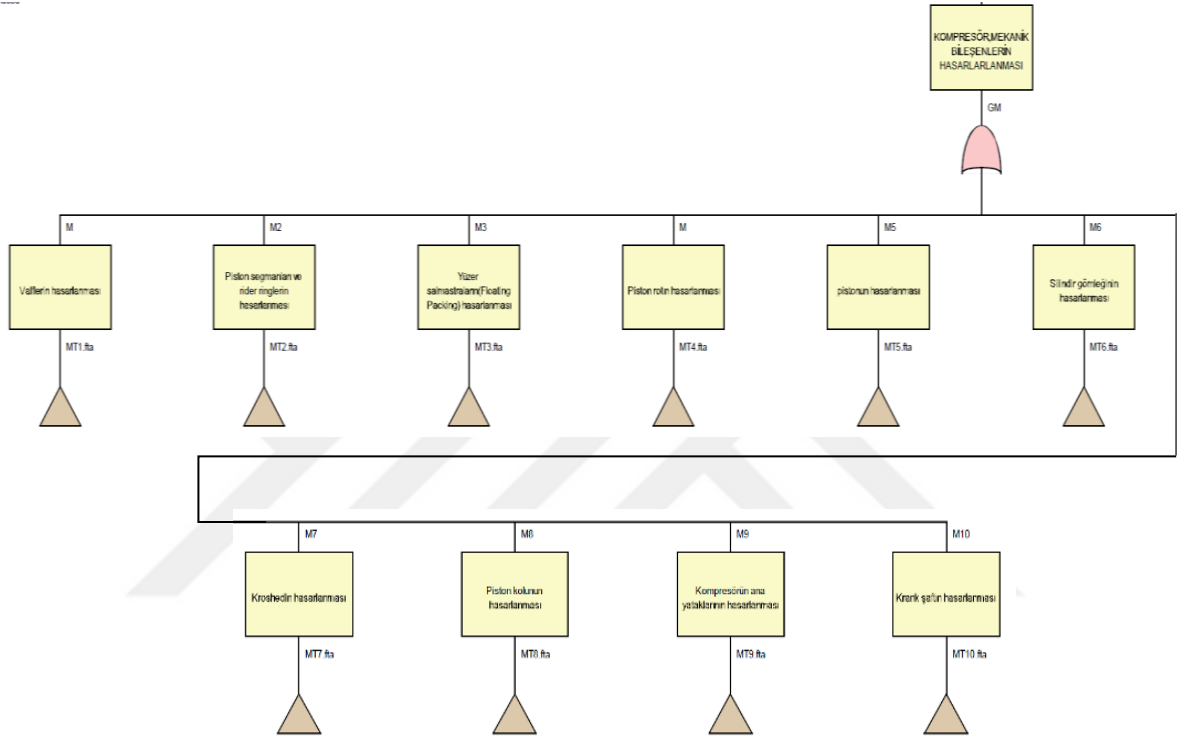
OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
P5,2.YVYO	1.400000E-006	% 0.02
P5,3.PSVS	1.040000E-006	% 0.02
P5,4.YDV	1.040000E-006	% 0.02
P15.VHG	7.200000E-007	% 0.01
P4,3.GAFS	3.520000E-007	% 0.01
P4,3.GFTO	9.200000E-007	% 0.01
P4,5.KTC	7.600000E-007	% 0.01
P5,1.YHKO	5.200000E-007	% 0.01
P5,3.YCHO	4.200000E-007	% 0.01
P8,2.GAO	4.000000E-007	% 0.01
P8,2.PRYS	6.000000E-007	% 0.01



Şekil 132. Proses kaynaklı hasarların oluşumundaki, başlangıç olayların etkilerinin payı (önemi)

3.3. Kompresörün Mekanik Bileşenleri Hasarları Ait Hata Ağacı Analizi Bulguları

Kompresörün mekanik bileşenlerin arızalara neden olan olayların Open FTA programında oluşumu Şekil 133’de gösterilmiştir.



Şekil 133. Kompresörün mekanik bileşenlerinin arızalarına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

API 618 kompresörün mekanik bileşenleri hasarlarının, hata ağacı analizinde, minimum kesme kümelerini (MCS) belirlemek amacıyla başka bir analiz yapıldı. Analiz sonucunda kompresörün mekanik bileşenlerin hasara oluşumuna neden olan 206 adet minimum kesme kümesi bulundu. Tablo 44’de kompresörün mekanik bileşenlerin hasarına neden olan minimum kesme kümelerini oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları yer almaktadır.

Tablo 44. Kompresörün mekanik bileşenleri hasarlarının neden olan, minimum kesme kümelerini oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
1	M1,1.AOVI	1.823000E-007	21	M1,2GSVOA	7.250000E-008
2	M1,1.GVCR	3.130000E-004	22	M1,2KHCO	5.260000E-008
3	M1,1.SSIT	8.100000E-005	23	M1,2PKSIG	2.110000E-007
4	M1,1.UVKA	2.620000E-005	24	M1,2PSYSVA	7.190000E-008
5	M1,1.VKO	9.110000E-005	25	M1,2RYO	2.400000E-008
6	M1,1.VYK	1.470000E-004	26	M1,2SAYB	6.590000E-008
7	M1,1.YBAO	8.270000E-004	27	M1,2SBSSKO	1.800000E-007
8	M1,1.YVAS	2.730000E-007	28	M1,2SCVSKO	1.260000E-007
9	M1,1.YY	1.820000E-007	29	M1,2SGVPA	1.030000E-007
10	M1,1.YYV	2.280000E-007	30	M1,2SSSCYO	1.910000E-007
11	M1,1.GFTO	3.650000E-007	31	M1,2UAYO	7.190000E-008
12	M1,1.KMSI	8.700000E-004	32	M1,2UVKAO	5.570000E-008
13	M1,1.VYSM	4.740000E-007	33	M1,2VKO	3.700000E-004
14	M1,2.CGSYO	8.590000E-004	34	M1,2VKVA	8.140000E-004
15	M1,2.CS	2.460000E-009	35	M1,2VSIO	4.910000E-008
16	M1,2.CSCO	4.490000E-007	36	M1,2VYAKO	3.260000E-005
17	M1,2.DBLY	5.450000E-008	37	M1,2VYO	1.200000E-007
18	M1,2.DDBZY	5.150000E-007	38	M1,2VYYO	1.380000E-007
19	M1,2.GAFSDB	3.050000E-008	39	M1,2.YBAD	9.470000E-004
20	M1,2.GFAO	6.170000E-007	40	M1,2.YSYO	2.100000E-006

Tablo 44' ün devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
41	M1,2YYK	8.860000E-008	62	M10,5TDTO	1.660000E-007
42	M1,2YYT	1.500000E-007	63	M10,5YBVS	7.110000E-008
43	M1,2YYV	2.050000E-005	64	M10X1	1.091000E-008
44	M1,3VPY	2.604000E-004	65	M10X2	2.480000E-008
45	M1,4KSDE	4.690000E-007	66	M10X3	2.480000E-008
46	M1,4PE	7.810000E-004	67	M10X4	9.420000E-007
47	M1,4SVR	9.370000E-004	68	M2,1CS	2.592000E-007
48	M1,4YB	9.370000E-004	69	M2,1DBYO	2.319000E-007
49	M1,5AYYOV	8.140000E-005	70	M2,1GFA	3.580000E-004
50	M1,5BMAD	1.172000E-007	71	M2,1KMSIG	7.560000E-004
51	M1,5BSBO	1.953000E-007	72	M2,1PSYS	1.670000E-004
52	M1,5KBADD0	7.812000E-008	73	M2,1SGVP	9.330000E-008
53	M1,5KGVY	6.250000E-007	74	M2,1SSIG	3.560000E-004
54	M1,5SAY	3.906000E-007	75	M2,1UAYO	3.861000E-007
55	M1,5SSIG	9.540000E-005	76	M2,1UVKA	5.183000E-007
56	M1,5VIKD	9.721000E-004	77	M2,1VAVK	5.640000E-004
57	M1,5VPADHE	9.540000E-005	78	M2,1VSIO	1.170000E-006
58	M1,5VYSME	1.562000E-007	79	M2,1VYYO	1.037000E-006
59	M1,6KCSYO	5.210000E-007	80	M2,1YYT	1.200000E-005
60	M1,6PGKMK	1.250000E-005	81	M2,1YYY	9.890000E-004
61	M1,6VMYS	1.300000E-007	82	M2,2KPYSH	5.456000E-008

Tablo 44' ün devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
83	M2,2PGAD	3.410000E-008	104	M3,2PRI	3.560000E-008
84	M2,2PSVRR	7.046000E-006	105	M3,2PRROM	3.920000E-004
85	M2,2SSYO	6.500000E-004	106	M3,2PRSYO	4.882000E-007
86	M2,2TSKD	5.023000E-005	107	M3,2PRVSK	3.765000E-008
87	M2,2YYYO	8.260000E-005	108	M3,2SCA	9.750000E-004
88	M3,1DBLY	3.178000E-007	109	M3,2SKCY	3.887000E-007
89	M3,1PRCA	6.980000E-004	110	M3,2SKEE	8.730000E-004
90	M3,1PSAV	5.722000E-007	111	M3,2SKOV	1.228000E-007
91	M3,1SGVP	5.388000E-008	112	M3,2SOKIC	2.046000E-007
92	M3,1SHAV	4.774000E-007	113	M3,2SPKO	7.630000E-004
93	M3,1UAYO	1.364000E-007	114	M3,2SPMU	1.230000E-007
94	M3,1UVKA	1.541000E-007	115	M3,2SRYS	8.810000E-004
95	M3,1VSIO	2.728000E-007	116	M3,2SSYTO	4.010000E-008
96	M3,1VYYO	2.046000E-007	117	M3,3GKOV	1.230000E-007
97	M3,1YBAO	8.730000E-007	118	M3,3KYYFO	5.691000E-005
98	M3,1YSCD	7.866000E-004	119	M3,3SASO	4.910000E-007
99	M3,1YTY	3.956000E-007	120	M3,3SKOM	5.460000E-008
100	M3,1YVYO	6.002000E-008	121	M3,3SKOP	1.090000E-007
101	M3,1YYO	9.510000E-004	122	M3,3SKOYV	3.270000E-007
102	M3,2BOAYO	3.560000E-007	123	M3,3SKSVY	9.550000E-008
103	M3,2KRVU	1.473000E-007	124	M3,3SRBY	2.460000E-007

Tablo 44' ün devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
125	M3,3SREO	8.160000E-005	147	M5,1VKVV	6.700000E-006
126	M3,3SSBO	4.910000E-007	148	M5,1YYO	5.156000E-007
127	M3,3YYYYV	9.140000E-005	149	M5,2KCKUO	3.224000E-009
128	M4,1GVCB	3.631000E-007	150	M5,2KVPH	2.976000E-009
129	M4,1HSSO	1.210000E-007	151	M5,2PMYS	2.604000E-009
130	M4,1PRE	9.379000E-007	152	M5,2PRK	2.356000E-009
131	M4,1PSBO	9.540000E-004	153	M5,2PSBA	4.960000E-009
132	M4,1SDUO	2.420000E-007	154	M5,2PSGVA	3.720000E-009
133	M4,1SOYK	2.118000E-007	155	M5,2SS	2.852000E-009
134	M4,2PRKIS	3.204000E-007	156	M5,2TVMY	2.108000E-009
135	M4,2PROCY	8.240000E-004	157	M6,1GAIO	8.593000E-006
136	M4,2SASO	8.450000E-005	158	M6,1PVR	3.928000E-007
137	M4,2SKHO	2.640000E-007	159	M6,1ROLU	3.437000E-007
138	M4,2SYCS	9.920000E-005	160	M6,1SYOV	2.455000E-007
139	M4X3	1.984000E-008	161	M6,1YYYYO	7.138000E-006
140	M4X4	2.980000E-008	162	M6,2SGMKO	4.960000E-009
141	M5,1KIKMO	2.701000E-007	163	M6,2SGY	1.488000E-008
142	M5,1KPHO	1.964000E-007	164	M6,2TSDO	4.960000E-009
143	M5,1PRRO	8.700000E-006	165	M7KHSG	3.683000E-007
144	M5,1PRVRR	3.683000E-007	166	M7KPBHO	3.385000E-007
145	M5,1SGAO	7.366000E-008	167	M7KPVKS	1.752000E-004
146	M5,1SSHO	2.946000E-007	168	M7KVGO	3.047000E-007

Tablo 44'ün devamı

NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
169	M7KVG00	1.488000E-007	190	M9,1YKM	2.182000E-007
170	M7KYYY	6.018000E-004	191	M9,1YVDV	1.091000E-005
171	M7PKVYH	3.683000E-007	192	M9,5AY	4.220000E-008
172	M7PVRVS	4.464000E-004	193	M9,5AYKM	2.480000E-008
173	M7ROMYO	3.389000E-007	194	M9,5TCFO	6.200000E-008
174	M7YSME	7.440000E-008	195	M9,5YKL	3.720000E-008
175	M8EYB	2.540000E-005	196	M9,5YYIOK	3.220000E-008
176	M8HYA	2.780000E-005	197	M9,5YYYO	9.160000E-006
177	M8KPB	2.027000E-007	198	M9,6JYH	5.950000E-008
178	M8OKK	3.274000E-008	199	M9,6YME	1.640000E-007
179	M8PKD	3.385000E-008	200	M9,6YYK	7.440000E-008
180	M8PKS	3.571000E-008	201	M9,7AYT	5.950000E-008
181	M8PKY	1.116000E-007	202	M9,7AYY	9.920000E-008
182	M8PSA	2.976000E-008	203	M9,7GCS	3.970000E-008
183	M8TFO	8.184000E-005	204	M9,8EVSGY	5.950000E-008
184	M8YYS	2.976000E-007	205	M9,8YYKV	8.930000E-008
185	M9,1JYK	4.365000E-008	206	M9X2	6.752000E-004
186	M9,1KTFO	5.274000E-005	MCS SAYISI = 206		
187	M9,1YBVKH	4.365000E-008			
188	M9,1YCKO	3.619000E-005			
189	M9,1YKL	4.365000E-007			

3.3.1. API 618 Kompresörün Valflerinin Hasarlanması

Kompresörün valflerin hasarlanmasına neden olan başlangıç olaylarının önemi, olasılık değerleri ve her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olaylarının önemleri, Tablo 45’de gösterilmiştir.

Tablo 45. API 618 kompresörün valflerinin hasarlanmasına neden olan olayların olasılık değerleri, önemleri ve toplam önemi

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
M1,5VIKD	9.721000E-004	% 4.00
M1,2YBAD	9.470000E-004	% 3.90
M1,4SVR	9.370000E-004	% 3.86
M1,4YB	9.370000E-004	% 3.86
M1,1KMSI	8.700000E-004	% 3.58
M1,2CGSYO	8.590000E-004	% 3.54
M1,1.YBAO	8.270000E-004	% 3.41
M1,2VKVA	8.140000E-004	% 3.35
M1,4PE	7.810000E-004	% 3.22
M1,2VKO	3.700000E-004	% 1.52
M1,1.GVCR	3.130000E-004	% 1.29
M1,3VPY	2.604000E-004	% 1.07
M1,1.VYK	1.470000E-004	% 0.61
M1,5SSIG	9.540000E-005	% 0.39
M1,5VPADHE	9.540000E-005	% 0.39
M1,1.VKO	9.110000E-005	% 0.38
M1,5AYYOV	8.140000E-005	% 0.34
M1,1.SSIT	8.100000E-005	% 0.33
M1,2VYAKO	3.260000E-005	% 0.13
M1,1.UVKA	2.620000E-005	% 0.11
M1,2YYV	2.050000E-005	% 0.08
M1,6PGKMK	1.250000E-005	% 0.05
M1,2YSYO	2.100000E-006	% 0.01
TOPLAM: % 39.42		

3.3.2. API 618 Kompresörün Piston Segmanlarının ve Bant Tipi Segmanlarının Hasarlanması

Kompresörün Piston segmanları ve bant tipi segmanların hasarlanmasına neden olan başlangıç olaylarının önemi, olasılık değerleri ve her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olaylarının önemleri Tablo 46’da gösterilmiştir.

Tablo 46. API 618 Kompresörün piston segmanlarının ve bant tipi segmanların hasarlanmasına neden olan olayların olasılık değerleri ve önemleri ve toplam önemi

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
M2,1YYY	9.890000E-004	% 4.07
M2,1KMSIG	7.560000E-004	% 3.11
M2,2SSYO	6.500000E-004	% 2.68
M2,1VAVK	5.640000E-004	% 2.32
M2,1GFA	3.580000E-004	% 1.47
M2,1SSIG	3.560000E-004	% 1.47
M2,1PSYS	1.670000E-004	% 0.69
M2,2YYYO	8.260000E-005	% 0.34
M2,2TSKD	5.023000E-005	% 0.21
M2,1YYT	1.200000E-005	% 0.05
M2,2PSVRR	7.046000E-006	% 0.03
TOPLAM: % 16.44		

3.3.3. API 618 Kompresörün Yüzer Salmastralarının Hasarlanması

Kompresörün Yüzer salmastraların (Floating Packing) hasarlanmasına neden olan başlangıç olayların önemi, olasılık değerleri ve her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olayların önemleri Tablo 47’de gösterilmiştir.

Tablo 47. Kompresörün Yüzer salmastraların hasarlanmasına neden olan başlangıç olayların önemi, olasılık değerleri ve her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olayların önemleri

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
M3,2SCA	9.750000E-004	% 4.02
M3,1YYO	9.510000E-004	% 3.92
M3,2SRYS	8.810000E-004	% 3.63
M3,2SKEE	8.730000E-004	% 3.60
M3,1YSCD	7.866000E-004	% 3.24
M3,2SPKO	7.630000E-004	% 3.14
M3,1PRCA	6.980000E-004	% 2.87
M3,2PRROM	3.920000E-004	% 1.61
M3,3YYYV	9.140000E-005	% 0.38
M3,3SREO	8.160000E-005	% 0.34
M3,3KYYFO	5.691000E-005	% 0.23
TOPLAM: % 26.98		

3.3.4. API 618 Kompresör Piston Rotunun Hasarlanması

Kompresörün piston rotunun hasarlanması neden olan başlangıç olayların önemi, olasılık değerleri ve her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olaylarının önemleri Tablo 48’de gösterilmiştir.

Tablo 48. Kompresörün pistonun hasarlanmasına neden olan başlangıç olayların önemi, olasılık değerleri ve her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olayların önemleri

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
M4,1PSBO	9.540000E-004	% 3.93
M4,2PROCY	8.240000E-004	% 3.39
M4,2SYCS	9.920000E-005	% 0.41
M4,2SASO	8.450000E-005	% 0.35
TOPLAM: % 8.08		

3.3.5. API 618 Kompresörün Pistonun Hasarlanması

Kompresör pistonun hasarlanmasına neden olan başlangıç olayların önemi, olasılık değerleri ve her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olaylarının önemleri Tablo 49’da gösterilmiştir.

Tablo 49. Kompresörün pistonun hasarlanmasına neden olan başlangıç olaylarının önemi, olasılık değerleri ve her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olayların önemleri

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
M5,1PRRO	8.700000E-006	% 0.04
M5,1VKVV	6.700000E-006	% 0.03
TOPLAM: % 0.07		

3.3.6. API 618 Kompresör Silindir Gömleğinin Hasarlanması

Kompresörün silindir gömleğinin hasarlanması neden olan başlangıç olaylarının önemi, olasılık değerleri, her bir parçanın hasara oluşumuna olan, başlangıç olaylarının önemleri Tablo 50’de gösterilmiştir.

Tablo 50. Kompresörün silindir gömleğinin hasarlanması neden olan başlangıç olaylarının önemi, olasılık değerleri , her bir parçanın hasara oluşumuna olan, başlangıç olayların önemleri

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
M6,1GAIO	8.593000E-006	% 0.04
M6,1YYYYO	7.138000E-006	% 0.03
TOPLAM: % 0.07		

3.3.7. API 618 Kompresör Krosetinin Hasarlanması

Kompresörü krosetinin hasarlanmasına neden olan başlangıç olayların önemi, olasılık değerleri, her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olaylarının önemleri Tablo 51’de gösterilmiştir.

Tablo 51. Kompresörün krosetin hasarlanması neden olan başlangıç olayların önemi, olasılık değerleri ve her bir parçanın hasara oluşumuna olan, başlangıç olayların önemleri

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
M7KYYY	6.018000E-004	% 2.48
M7PVRVS	4.464000E-004	% 1.84
M7KPVKS	1.752000E-004	% 0.72
TOPLAM: % 5.04		

3.3.8. API 618 Kompresör Biyelinin Hasarlanması

Kompresör biyelinin hasarlanmasına neden olan başlangıç olaylarının önemi, olasılık değerleri ve her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olaylarının önemleri Tablo52’de gösterilmiştir.

Tablo 52. Biyelin hasarlanması neden olan başlangıç olayların önemi, olasılık değerleri ve her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olaylarının önemleri

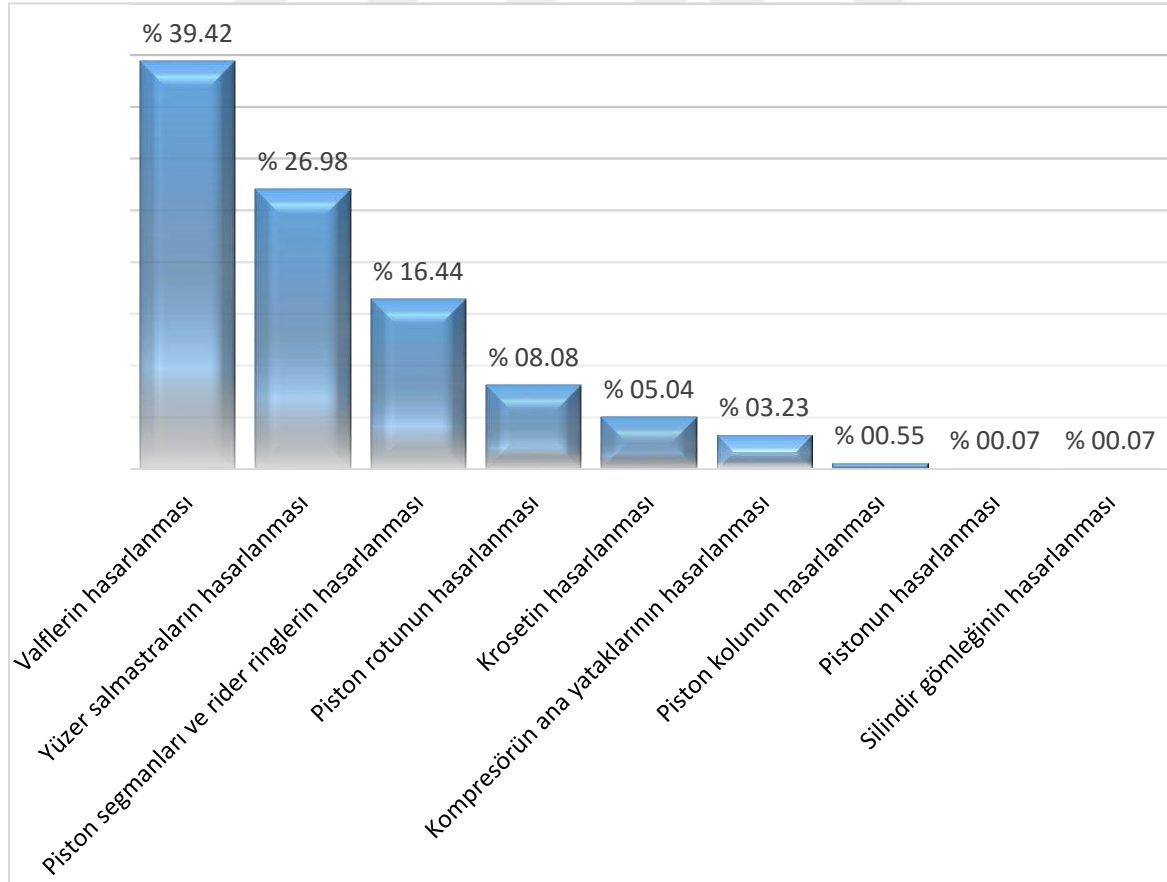
OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
M8TFO	8.184000E-005	% 0.34
M8HYA	2.780000E-005	% 0.11
M8EYB	2.540000E-005	% 0.10
TOPLAM: % 0.55		

3.3.9. API 618 Kompresörün Ana Yataklarının Hasarlanması

Kompresörü ana yataklarının hasarlanmasına neden olan başlangıç olaylarının önemi, olasılık değerleri, her bir parçanın hasar oluşumuna neden olan, başlangıç olayların önemleri tablo 53’de gösterilmiştir.

Tablo 53. Kompresör ana yataklarının hasarlanmasına neden olan başlangıç olaylarının önemi, olasılık değerleri, her bir parçanın hasara oluşumuna neden olan, başlangıç olaylarının önemleri

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
M9X2	6.752000E-004	% 2.78
M9,1KTFO	5.274000E-005	% 0.22
M9,1YCKO	3.619000E-005	% 0.15
M9,1YVDV	1.091000E-005	% 0.04
M9,5YYYO	9.160000E-006	% 0.04
TOPLAM: % 3.23		



Şekil 134. API 618 kompresörünün mekanik bileşenlerinin hasar oluşumundaki, önemleri (payları)

3.4. Enstrümantasyon ve Ölçüm Cihazlarının Hasarlarına Ait Hata Ağacı Analizi Bulguları

API 618 kompresörün enstrümantasyon ve ölçüm cihazlarının hasarları, hata ağacı analizinde, MCS'leri belirlemek amacıyla diğer bir analiz yapıldı. Analiz sonucunda kompresörün enstrümantasyon ve ölçüm cihazlarının hasarlarının oluşumuna neden olan 16 adet minimum kesme kümesi bulundu.

Tablo 54. Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının hasarlarına neden olan minimum kesme kümelerini oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları

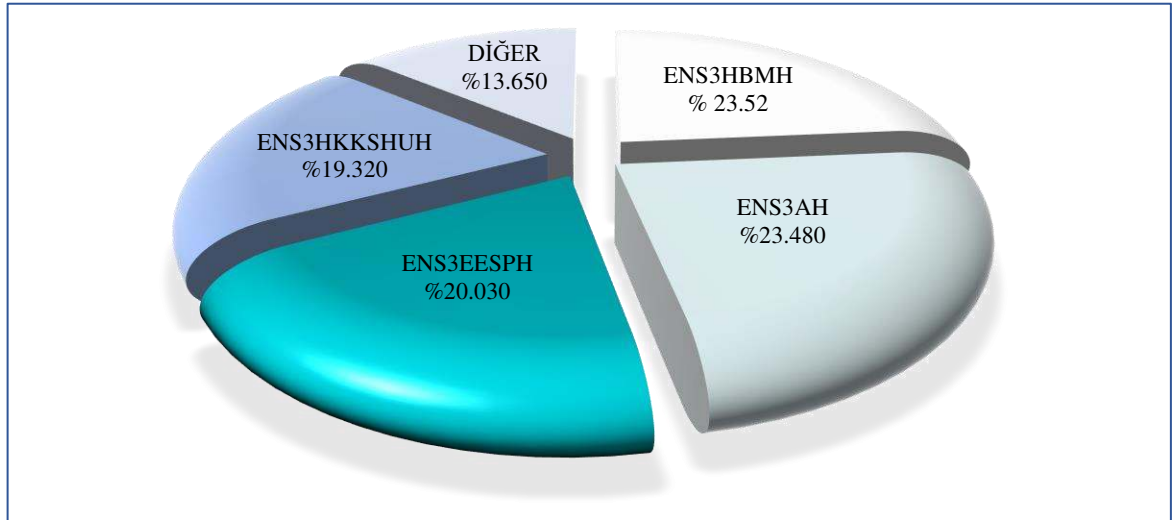
NO	MCS	Olma olasılığı	NO	MCS	Olma olasılığı
1	ENS1AGH	3.508000E-005	9	ENS1SGH	4.698000E-005
2	ENS1AMSGH	2.698000E-005	10	ENS1TGH	4.418000E-005
3	ENS1BGH	3.364000E-005	11	ENS2	9.210000E-005
4	ENS1HSGH	2.409000E-005	12	ENS3AH	9.980000E-004
5	ENS1KAMBSGH	3.033000E-005	13	ENS3EESPH	8.512000E-004
6	ENS1KAYSGH	3.494000E-005	14	ENS3HBMH	9.998000E-004
7	ENS1PRPGH	9.818000E-005	15	ENS3HKKSHUH	8.209000E-004
8	ENS1RPSGH	2.603000E-005	16	ENS3TDCSH	8.752000E-005

Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının hasarlarına neden olan başlangıç olayların önemi ve olasılık değerleri Tablo 55'de gösterilmiştir.

Tablo 55. Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının hasarlarına neden olan başlangıç olayların önemi ve olasılık değerleri

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
ENS3HBMH	9.998000E-004	% 23.52
ENS3AH	9.980000E-004	% 23.48
ENS3EESPH	8.512000E-004	% 20.03
ENS3HKKSHUH	8.209000E-004	% 19.32
ENS1PRPGH	9.818000E-005	% 2.31
ENS2	9.210000E-005	% 2.17
ENS3TDCSH	8.752000E-005	% 2.06
ENS1SGH	4.698000E-005	% 1.11
ENS1TGH	4.418000E-005	% 1.04
ENS1AGH	3.508000E-005	% 0.83
ENS1KAYSGH	3.494000E-005	% 0.82
ENS1BGH	3.364000E-005	% 0.79
ENS1KAMBSGH	3.033000E-005	% 0.71
ENS1AMSGH	2.698000E-005	% 0.63
ENS1RPSGH	2.603000E-005	%0.61
ENS1HSGH	2.409000E-005	%0.57

Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme hasara oluşumundaki, başlangıç olayların etki payları (önemleri) Şekil 135’de gösterilmiştir.



Şekil 135. Kompresörün enstrümantasyon ve ölçme cihazların hasara oluşumundaki, başlangıç olayların etki payları (önemleri)

3.5. Elektrikle İlgili Hasarlarına Ait Hata Ağacı Analizi Bulguları

Elektrikle ilgili hasarların, hata ağacı analizinde, minimum kesme kümelerini (MCS) belirlemek amacıyla diğer bir analiz yapıldı. Analiz sonucunda elektrikle ilgili hasarların oluşumuna neden olan 8 adet minimum kesme kümesi bulundu. Tablo 56’da elektrikle ilgili hasarlara neden olan minimum kesme kümelerinin oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları yer almaktadır.

Tablo 56. Elektrikle ilgili hasarlara neden olan minimum kesme kümelerinin oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları

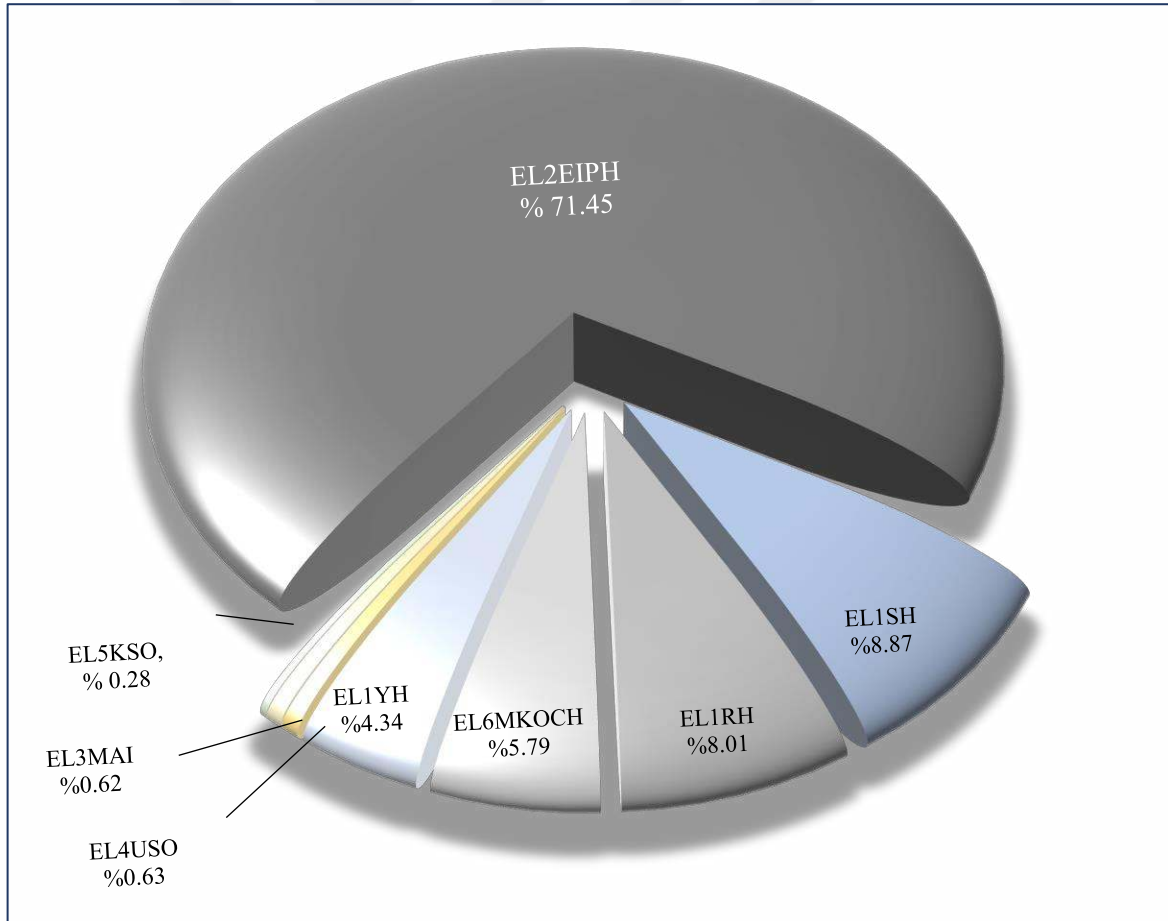
NO	MCS	Olma olasılığı
1	EL1RH	8.855000E-005
2	EL1SH	9.798000E-005
3	EL1YH	4.798000E-005
4	EL2EIPH	7.896000E-004
5	EL3MAI	6.900000E-006
6	EL4USO	6.997000E-006
7	EL5KSO	3.100000E-006
8	EL6MKOCH	6.400000E-005

Elektrikle ilgili hasarlara neden olan başlangıç olaylarının önemi ve olasılık değerleri Tablo 57’de gösterilmiştir.

Tablo 57. Elektrikle ilgili hasara neden olan başlangıç olayların OD ve önemleri

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ (%)
EL2EIPH	7.896000E-004	% 71.45
EL1SH	9.798000E-005	% 8.87
EL1RH	8.855000E-005	% 8.01
EL6MKOCH	6.400000E-005	% 5.79
EL1YH	4.798000E-005	% 4.34
EL4USO	6.997000E-006	% 0.63
EL3MAI	6.900000E-006	% 0.62
EL5KSO	3.100000E-006	% 0.28

Elektrikle ilgili hasara oluşumundaki, başlangıç olayların etki payları (önemleri) Şekil 136'de gösterilmiştir.



Şekil 134. Elektrikle ilgili hasara oluşumundaki, başlangıç olaylarının etki payları (önemleri)

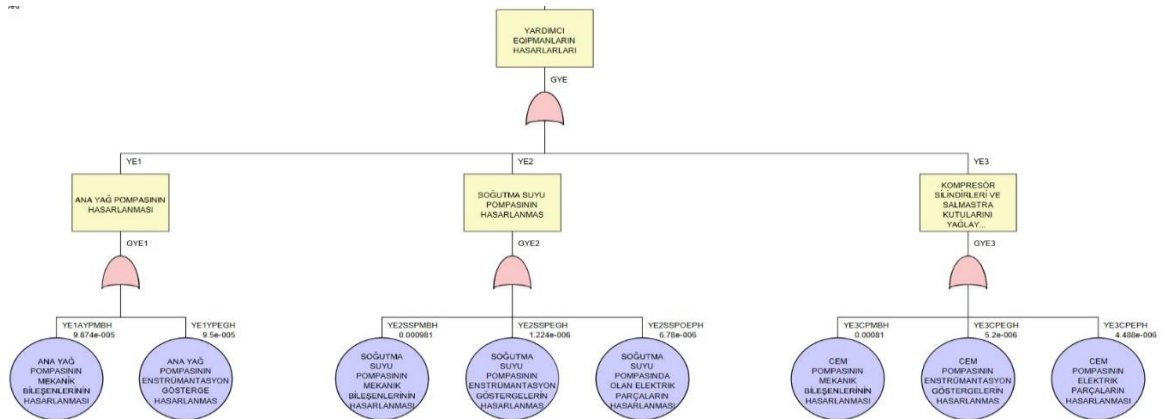
3.6. Yardımcı Ekipmanların Hasarlarına Ait Hata Ağacı Analizi Bulguları

Kompresörün yardımcı ekipmanlarının hasarları, hata ağacı analizinde, minimum kesme kümelerini (MCS) belirlemek amacıyla diğer bir analiz yapıldı. Analiz sonucunda kompresörün yardımcı ekipmanlarında hasar oluşumuna neden olan 8 adet minimum kesme kümesi bulundu. Kompresörün yardımcı ekipmanların hasarlarına neden olan minimum kesme kümelerin oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları , Tablo 59’da göstermektedir.

Tablo 58. kompresörün yardımcı ekipmanlarında hasarlara neden olan minimum kesme kümelerinin oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları

NO	MCS	Olma olasılığı
1	YE1AYPMBH	9.874000E-005
2	YE1YPEGH	9.500000E-005
3	YE2SSPEGH	1.224000E-006
4	YE2SSPMBH	9.810000E-004
5	YE2SSPOEPH	6.780000E-006
6	YE3CPEGH	5.200000E-006
7	YE3CPEPH	4.488000E-006
8	YE3CPMBH	8.100000E-004

Kompresörün yardımcı ekipmanlarında hasarlara neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu, Şekil137’de gösterilmiştir.



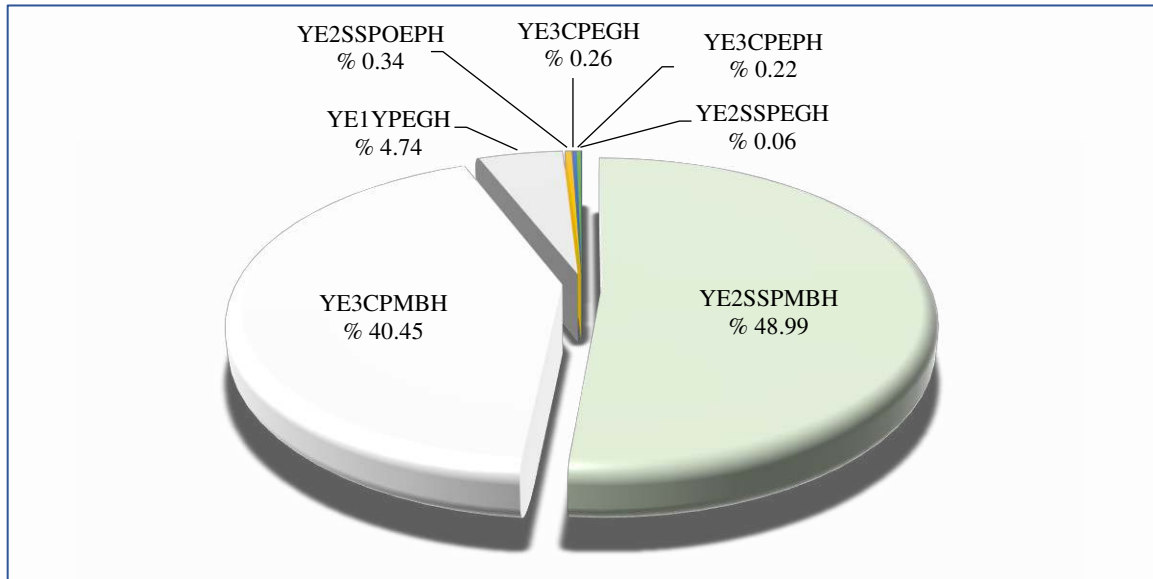
Şekil 135. Kompresörün yardımcı ekipmanlarının hasarlarına neden olan olayların hata ağacı analizi programında oluşumu

Kompresörün yardımcı ekipmanlarının hasarlarının neden olan minimum kesme kümelerinin oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları Tablo 59’da gösterilmiştir.

Tablo 59. Kompresörün yardımcı ekipmanların hasarlara neden olan minimum kesme kümelerinin oluşturan başlangıç olayları ve minimum kesme kümelerinin olma olasılıkları

OLAY	OLASILIK DEĞERİ	ÖNEMİ
YE2SSPMBH	9.810000E-004	% 48.99
YE3CPMBH	8.100000E-004	% 40.45
YE1YPEGH	9.500000E-005	% 4.74
YE2SSPOEPH	6.780000E-006	% 0.34
YE3CPEGH	5.200000E-006	% 0.26
YE3CPEPH	4.488000E-006	% 0.22
YE2SSPEGH	1.224000E-006	% 0.06

Kompresörün yardımcı ekipmanlarında hasarların oluşumundaki başlangıç olaylarının etki payları (önemleri) Şekil 138’de gösterilmiştir.



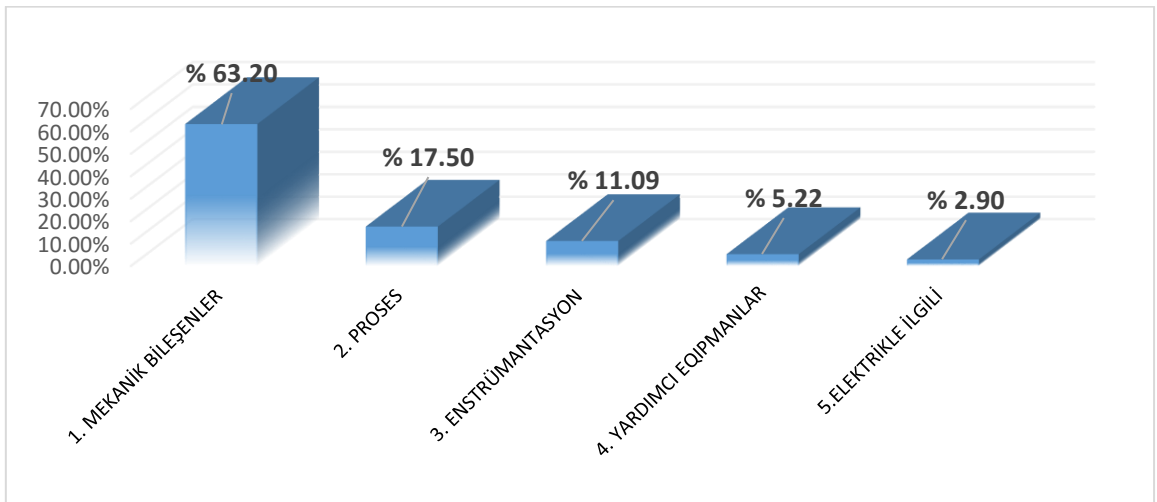
Şekil 136. Kompresörün yardımcı ekipmanlarında hasarları oluşumundaki, başlangıç olaylarının etki payları (önemleri)

4.SONUÇLAR

sunulan tez çalışmasında ele alınan diğer bir konu ise hata ağacı analizi sonuçlarıdır. Bu bölümde hata ağacı analizi(FTA) ile ilişkin sonuçlar , API 618 piston tipli kompresörlerin hasarları,proses kaynaklı hasarlar, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarları, enstrümantasyon ve ölçme cihazlalar hasarları, yardımcı ekipmanların hasarları, elektrik ile ilgili hasarlardır.üzere 6 aşamada değerlendirilmiştir.

- Birinci aşamada, API 618 piston tipli kompresörlerin hasarlarının analiz sonuçlarını değerlendirilmesi (Kompresörlerin hasarlanması, Hata ağacın zirve olayı tuttuğu halde aşağıda verilen sonuçları elde edilmektedir.):

Yapılan tez çalışmasında API 618 piston tipli kompresörlerin hasarlanmasına neden olan 5 temel etmen sırasıyla proses kaynaklı hasarlar, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarları, enstrümantasyon ve ölçme cihazlalar hasarları, yardımcı ekipmanların hasarları, elektrik ile ilgili hasarlardır. API 618 Kompresörün meydana gelen hasarların % 63.2'si kompresörün mekanik bileşenlerin hasarları, % 17.5'i proses kaynaklı hasarlar, % 11.09'ü enstrümantasyon ve ölçme cihazlalar hasarları, % 5.22'si yardımcı ekipmanların hasarları ve % 2.9'ü elektrik ile ilgili hasarları kapsamaktadır.



Şekil 137. API 618 kompresörün hasarlanmasına neden olan temel etmenlerin yüzdesi

Tablo 60. API 618 Kobelco kompresörün hasarlanmasına neden olan ve en büyük öneme sahip olan(% 63.2) mekanik bileşenlerin hasarlarının sonuçları

Api 618 Kobelco kompresörün hasarlanmasına neden olan ve en büyük öneme sahip olan(% 63.2) mekanik bileşenlerin hasarlarının sonuçları
Piston segmanları veya bant tipi segmanların (rider ring) aşırı aşınmalarına neden olan yetersiz yağlama veya yanlış yağ viskozitesi(M2,1YYY) ,mekanik bileşenlerin hasarların neden olan başlangıç olayların arasında birinci öneme (% 2.58)sahiptir.
Salmastraların (packing seals)aşırı sızıntısına neden olan salmastraların çok aşınması(M3,2SCA) mekanik bileşenlerin hasarların neden olan başlangıç olayların arasında ikinci öneme (% 2.54) sahiptir.
Valfler ve yayların aşırı kırılmasına neden olan valfler içinde karbon depolamalar (M1,5VIKD) üçüncü öneme (% 2.53)sahip

Tablo 61. API 618 kompresörün hasarlanmasına neden olan ve ikinci öneme sahip olan (% 17.5)proses kaynaklı hasarların sonuçları

Api 618 Kobelco kompresörün hasarlanmasına neden olan ve ikinci öneme sahip olan (% 17.5)proses kaynaklı hasarların sonuçları
Kompresörün, titreşim ve sarsıntılı olmasına neden olan borulama sistemlerinde uygunsuz destekleyici(supporting)kullanılması, proses kaynaklı hasarla neden olan başlangıç olayların arasında birinci öneme (% 2.58)sahiptir.
Lubrikatörün, yağlama yağı yanlış ulaştırmasına neden olan pompa stokunun yanlış şekilde ayarlanması, proses kaynaklı hasarla neden olan başlangıç olayların arasında ikinci öneme (% 2.49)sahiptir.
Kompresör parçalarının aşırı ısınmasına neden olan çek valfleri veya çıkış valflerinin arızalı olması, proses kaynaklı hasarla neden olan başlangıç olayların arasında ikinci öneme (% 2.48)sahiptir.

Tablo 62. API 618 kompresörün hasarlanmasına neden olan ve üçüncü öneme sahip olan (% 11.09) Enstrümantasyon ve ölçme cihazlalar hasarların sonuçları

Api 618 Kobelco kompresörün hasarlanmasına neden olan ve üçüncü öneme sahip olan (% 11.09) enstrümantasyon ve ölçme cihazlalar hasarların sonuçları
Hydrocom kapasite kontrol sistemin hasarlarına neden olan hidrolik borulama malzemelerin hasarlanması (ENS3HBMH)enstrümantasyon ve ölçme cihazlalar hasarlara neden olan başlangıç olayların arasında birinci öneme (% 2.61)sahiptir.
Hydrocom kapasite kontrol sistemin hasarlarına neden olan actuator (çalıştırıcılar, emme valflerine ait unloader) (yükatıcı) hasarları (ENS3AH)enstrümantasyon ve ölçme cihazlalar hasarlara neden olan başlangıç olayların arasında ikinci öneme (% 2.60)sahiptir.
Hydrocom kapasite kontrol sistemin hasarlarına neden olan elektrik enstrüman parçalarının hasarlanması (ENS3EESPH)enstrümantasyon ve ölçme cihazlalar hasarlara neden olan başlangıç olayların arasında üçüncü öneme (% 2.22)sahiptir.

Tablo 63. API 618 kompresörün hasarlanmasına neden olan ve dördüncü öneme sahip olan(% 5.22) yardımcı ekipmanların hasarları sonuçları

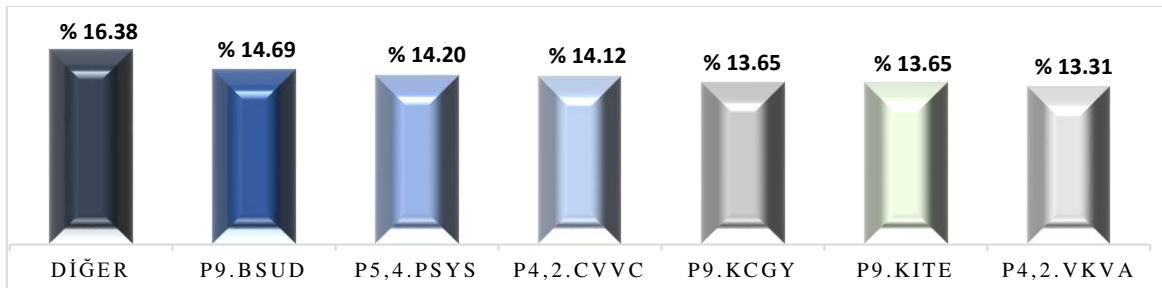
API 618 Kobelco kompresörün hasarlanmasına neden olan ve dördüncü öneme sahip olan(% 5.22) yardımcı ekipmanların hasarları sonuçları
Soğutma suyu pompasının hasarlanmasına neden olan soğutma suyu pompasının mekanik bileşenlerinin hasarlanması (YE2SSPMBH) ,yardımcı ekipmanların hasarlara neden olan başlangıç olayların arasında birinci öneme (% 2.56) sahiptir.
Silindirleri ve salmastra kutularını yağlayıcı pompaların hasarlanması neden olan cem pompasının mekanik bileşenlerinin hasarlanması (YE3CPMBH), yardımcı ekipmanların hasarlara neden olan başlangıç olayların arasında birinci öneme (% 2.11) sahiptir.
Ana yağ pompasının hasarlanmasına neden olan ana yağ pompasının mekanik bileşenlerinin hasarlanması (YE1AYPMBH), yardımcı ekipmanların hasarlara neden olan başlangıç olayların arasında ikinci öneme (% 2.11) sahiptir.

Tablo 64. API 618 kompresörün hasarlanmasına neden olan ve beşinci öneme sahip olan(% 2.9) Elektrikle ilgili hasarları sonuçları

API 618 Kobelco kompresörün hasarlanmasına neden olan ve beşinci öneme sahip olan(% 2.9) elektrikle ilgili hasarları sonuçları
Kompresörün elektrikle ilgili parçaların hasarlanması(EL2EIPH), elektrikle ilgili hasarlara neden olan başlangıç olayların arasında birinci öneme (% 2.06) sahiptir.
Kompresör elektromotorun, mekanik parçalarının hasarlanmasına neden olan statorun hasarlanması (EL1SH), elektrikle ilgili hasarlara neden olan başlangıç olayların arasında ikinci öneme (% 0.26) sahiptir.
Kompresör elektromotorun, mekanik parçalarının hasarlanmasına neden olan rotorun hasarlanması (EL1RH), elektrikle ilgili hasarlara neden olan başlangıç olayların arasında ikinci öneme (% 0.23) sahiptir.

➤ İkinci aşama- Proses kaynaklı hasarlarını analiz sonuçlarını değerlendirilmesi:

Sunulan tez çalışmasında proses kaynaklı hasarlar, Hata ağacının analizinde bir zirve olayı tuttuğu halde aşağıda verilen sonuçları elde edilmektedir. Şekil 140'de Proses kaynaklı hasarlara neden olan başlangıç olayların önemi gösterilmiştir.



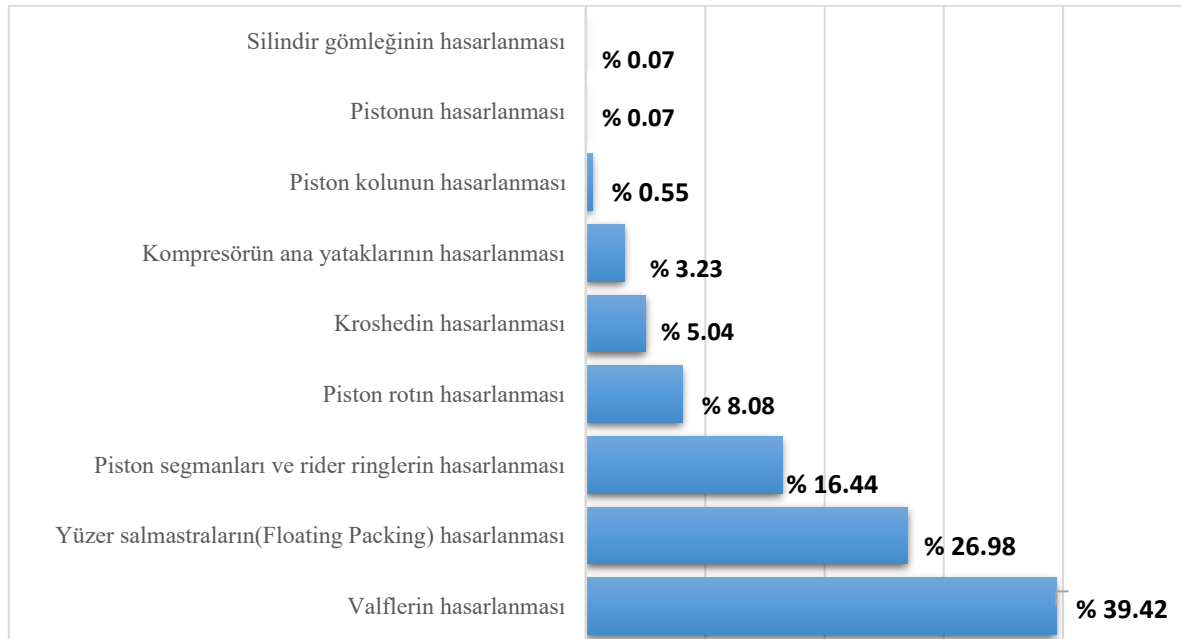
Şekil 138. Proses kaynaklı hasarlara neden olan başlangıç olayların önemi

Tablo 65. Proses kaynaklı hasarlara neden olan başlangıç olayların önemi

Kompresörün, titreşim ve sarsıntılı olmasına neden olan borulama sistemlerinde uygunsuz destekleyici (supporting) kullanılması (P9.BSUD), proses kaynaklı hasarla neden olan başlangıç olayların arasında birinci öneme (% 14.69)sahiptir.
Lubrikatörün, yağlama yağı yanlış ulaştırmasına neden olan pompa stokunun yanlış şekilde ayarlanması (P5,4.PSYS), proses kaynaklı hasarla neden olan başlangıç olayların arasında ikinci öneme (% 14.20)sahiptir.
Kompresör parçalarının aşırı ısınmasına neden olan çek valfleri veya çıkış valflerinin arızalı olması(p4,2.cvvc), proses kaynaklı hasarla neden olan başlangıç olayların arasında üçüncü öneme (% 14.2)sahiptir.
Kompresörün, titreşim ve sarsıntılı olması neden olan kompresörden çıkan gazın, yüksek basıncı olması (deşarj basıncı limitin üzerinde olması) (P9.KCGY) proses kaynaklı hasarla neden olan başlangıç olayların arasında dördüncü öneme (% 13.65)sahiptir.
Kompresörün, titreşim ve sarsıntılı olmasına neden olan kompresör ile tahrik eden sisteminin (elektrik motoru ,türbin) hıza olmaması (misalignment), (P9.KITE) proses kaynaklı hasarla neden olan başlangıç olayların arasında beşinci öneme (% 13.65)sahiptir.
Kompresör parçalarının aşırı ısınmasına neden olan valflerin kırılması veya aşınması (P4,2.VKVA), proses kaynaklı hasarla neden olan başlangıç olayların arasında dördüncü öneme (proses kaynaklı hasarla neden olan başlangıç olayların arasında altıncı öneme (% 13.65)sahiptir.

➤ Üçüncü aşama Mekanik bileşenlerin hasarlarının analiz sonuçlarını değerlendirilmesi;

Sunulan tez çalışmasında Mekanik bileşenlerin hasarlarının, Hata ağacının analizinde bir zirve olayı tuttuğu halde aşağıda verilen sonuçları elde edilmektedir. Şekil 141’da kompresör mekanik bileşenlerinin hasarlanma yüzdesini gösterilmiştir.

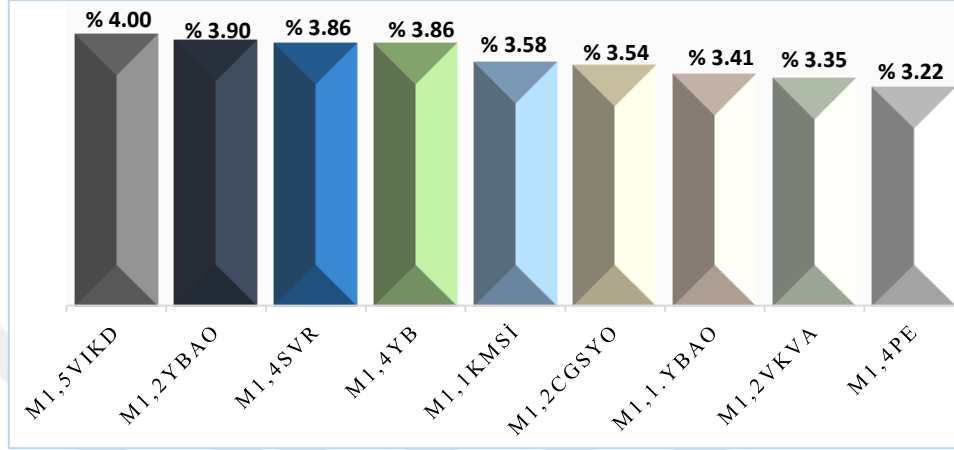


Şekil 139. API 618 kompresör mekanik bileşenlerinin hasarlanma yüzdesi

- Valflerin hasarlarının değerlendirilmesi;

Şekil 142’de valflerin hasarlanmasına neden olan başlangıç olayların önemi ve Tablo 66.

Valf hasarlarının değerlendirilmesi gösterilmiştir



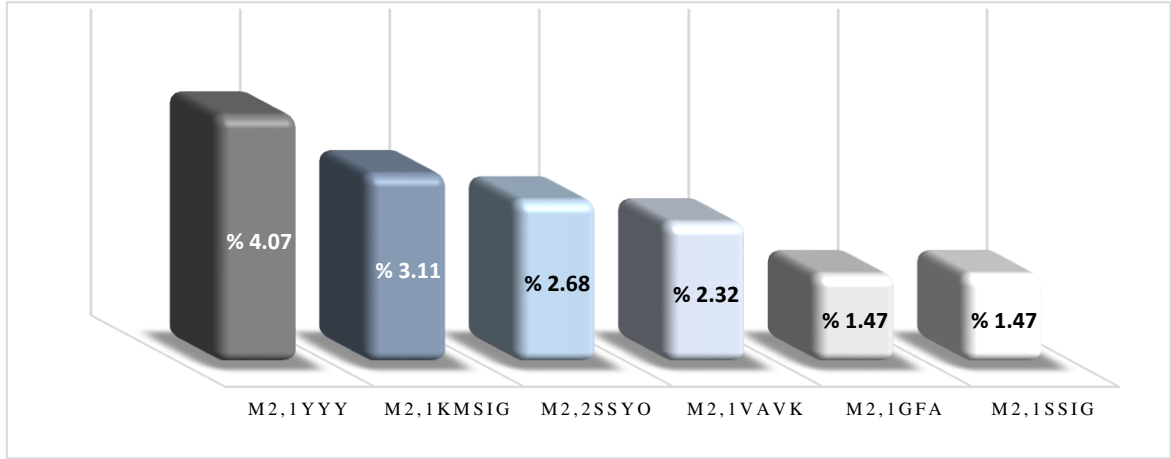
Şekil 140. Valflerin hasarlanmasına neden olan başlangıç olayların önemi

Tablo 66. Valf hasarlarının değerlendirilmesi

Valfler ve yayların aşırı kırılmasına neden olan (M1,5VIKD) valfler içinde karbon oluşması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 4.00 önemi vardır.
Valflerde karbon içerikli maddelerin anormal depolanma neden olan (M1,2YBAD) yağ beslemenin aşırı olması (aşırı yağlama yağı) , kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında% 3.90önemi vardır.
Valflerin anormal darbelerine neden olan (M1,4SVR) salınım veya rezonans, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 3.86 önemi vardır.
Valflerin anormal darbelerine neden olan (M1,4YB) yayların bozulması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 3.86 önemi vardır.
Valflerin anormal aşınması -sızdırmazlık yüzeylerin anormal aşınmasına neden olan (M1,1.KMSİ) kirli maddelerin silindirin içine girmesi, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 3.58 önemi vardır.
Karbon içerikli maddelerin anormal depolanması (M1,2CGSYO) çıkış gazın sıcaklığının yüksek olması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 3.45 önemi vardır.
Valflerin anormal aşınması (sızdırmazlık yüzeylerin anormal) neden olan (M1,1.YBAO) yağ beslemenin aşırı olması (aşırı yağlama yağı), kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 3.41 önemi vardır.
Karbon içerikli maddelerin anormal depolanmasına neden olan (M1,2VKVA) valflerin kırılması veya aşınması (yüksek sıcaklıktan dolayı valflerin kırılması ve sızdırması) , kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 3.35 önemi vardır.
Valflerin anormal darbelerine neden olan (M1,4PE) pulsasyon etkisi, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 3.22önemi vardır.

- Piston segmanları ve bant tipi segmanların, hasarlarının değerlendirilmesi;

Şekil 143’de piston segmanları ve bant tipi segmanların (rider ring), hasarlanmasına neden olan başlangıç olayların önemi ve Tablo 67 ise Piston segmanları ve rider ring, hasarlarının değerlendirilmesi gösterilmiştir.



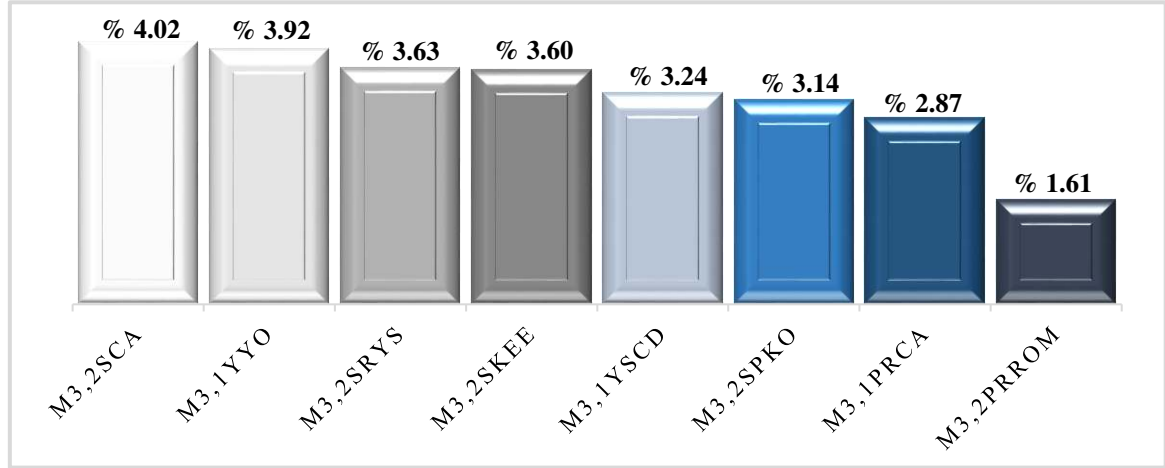
Şekil 141. Piston segmanları ve bant tipi segmanların, hasarlanmasına neden olan olayların önemi

Tablo 67. Piston segmanları ve bant tipi segmanların, hasarlarının değerlendirilmesi

Piston segmanları veya rider aşırı aşınmasına neden olan (M2,1YYY) yetersiz yağlama veya yanlış yağ viskozitesi, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 4.07 önemi vardır.
Piston segmanları veya rider aşırı aşınmasına neden olan (M2,1KMSIG) kirli maddelerin silindirin içine girmesi, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 3.11 önemi vardır.
Piston segmanların veya bant tipi segmanların kırılması neden olan (M2,2SSYO) soğutma suyun yetersiz olması ve sırlındır aşırı sıcak olması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 2.68 önemi vardır.
Piston segmanları veya rider aşırı aşınmasına neden olan (M2,1VAVK) valflerin aşınması veya kırılması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 2.32 önemi vardır.
Piston segmanları veya rider aşırı aşınmasına neden olan (M2,1GFA) gaz filtreleri arızalı olması, piston segmanları ve bant tipi segmanların, hasarlanmasında % 1.47 önemi vardır.
Piston segmanları veya bant tipi segmanların aşırı aşınmasına neden olan (M2,1SSIG) sıvıların silindirlerin içine girmesi kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 1.47 önemi vardır.

- Yüzer salmastraların(Floating Packing) hasarlarının değerlendirilmesi;

Şekil 144’de Yüzer salmastraların(Floating Packing), hasarlanmasına neden olan başlangıç olayların önemi ve Tablo 68’de Yüzer salmastraların(Floating Packing) hasarlarının değerlendirilmesi gösterilmiştir.



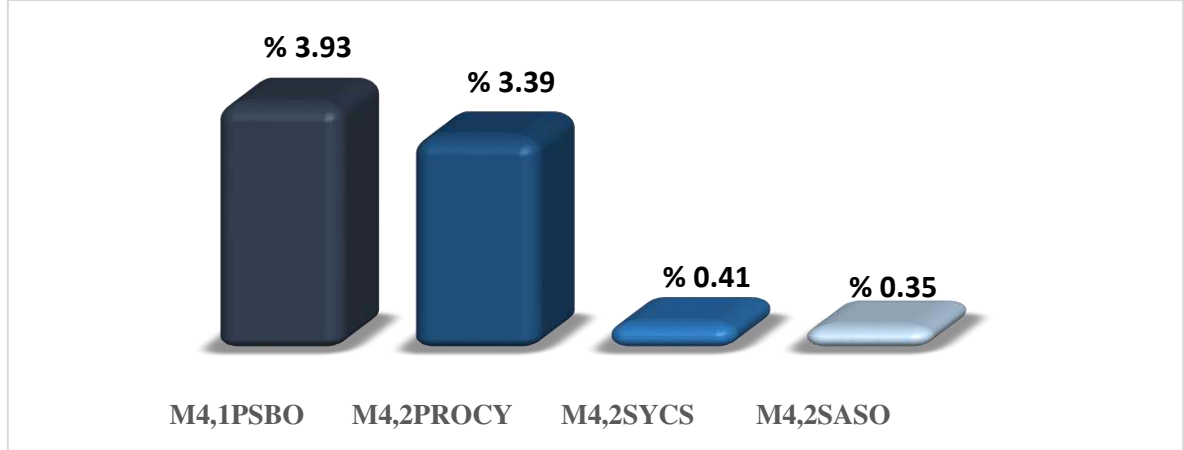
Şekil 142. Yüzer salmastraların(Floating Packing), hasarlanmasına neden olan başlangıç olayların önemi

Tablo 68. Yüzer salmastraların(Floating Packing) hasarlarının değerlendirilmesi

Salmastraların (packing seals)aşırı sızıntısına neden olan (M3,2SCA) salmastraların çok aşınması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 4.02 önemi vardır.
Salmastraların aşırı aşınmasına neden olan (M3,1YYO) yağlamanın yetersiz olması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 3.92 önemi vardır.
Salmastraların (packing seals)aşırı sızıntısına neden olan (M3,2SRYS) salmastra ringlerin yanlış şekilde monte etmesi, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 3.63 önemi vardır.
Salmastraların (packing seals)aşırı sızıntısına neden olan (M3,2SKEE) salmastra kutusuna enekte edilen yağın uygun olmaması veya yağ miktarının yetersiz olması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 3.60 önemi vardır.
Salmastraların aşırı aşınmasına neden olan (M3,1YSCD) yağ seviyesinin çok düşük olması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 3.24 önemi vardır.
Salmastraların (packing seals)aşırı sızıntısına neden olan (M3,2SPKO) salmastra parçalarının kirli olması veya yüzeylerinde karbon sedamdanlar oluşması (yüksek sıcaklık sebebiyle), kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında% 3.14 önemi vardır.
Salmastraların aşırı aşınmasına neden olan (M3,1PRCA) Piston rotunun aşınması kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 2.87 önemi vardır.
Salmastraların (packing seals)aşırı sızıntısına neden olan (M3,2PRROM) Piston rotunun salgı (run-out) miktarının çok olması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 1.61 önemi vardır.

- Piston rot, hasarlarının değerlendirilmesi;

Şekil 145’de Piston rotunun, hasarlarına neden olan başlangıç olayların önemi ve Tablo 69’de Piston rot, hasarlarının değerlendirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 143. Piston rotunun, hasarlarına neden olan başlangıç olayların önemi

Tablo 69. Piston rot, hasarlarının değerlendirilmesi

Piston rot, salgı (run-out) miktarının yüksek olmasına neden olan (M4,1PSBO) piston segmanların bozuk olması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 3.93 önemi vardır.
Piston rotunun yüzeyinde olan kaplamanın bozulmasına neden olan (M4,2PROCY) piston salgı (run-out) miktarının çok yüksek olması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 3.39 önemi vardır.
Piston rotunun yüzeyinde olan kaplamanın bozulmasına neden olan (M4,2SYCS) salmastra yaylarının çok sıkı olması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 0.41 önemi vardır.
Piston rotunun yüzeyinde olan kaplamanın bozulmasına neden olan (M4,2SASO) salındırın aşırı sıcak olması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 0.35 önemi vardır.

Tablo 70. Kompresör pistonlarının hasarlarının değerlendirilmesi

○ Kompresör pistonlarının hasarlarının değerlendirilmesi
Piston çizikli yüzey olması veya aşınmasına neden olan (M5,1PRRO) piston rot, salgı (run-out) miktarının yüksek olması kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında 0.04% önemi vardır.
Piston çizikli yüzey olması veya aşınmasına neden olan (M5,1VKVV) valflerin kırılması ve valften kopan parçaların kompresörün içine düşmesi, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında 0.03% önemi vardır.

Tablo 71. Kompresörün, Silindir gömleğinin hasarlarının değerlendirilmesi

○ Kompresörün, silindir gömleğinin hasarlarının değerlendirilmesi
Silindir gömleğinin aşırı derecede aşınması veya sıyrık yüzey olmasına neden olan (M6,1GAIO) katı maddeler ve parçacıklar gaz akışının içinde olması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 0.04 önemi vardır.
Silindir gömleğinin aşırı derecede aşınması veya sıyrık yüzey olmasına neden olan (M6,1YYYYO) yağlama yağın yetersiz olması veya yağı kalitesinin uygun olmaması, mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 0.03 önemi vardır.

Tablo 72. Krosetin hasarlarının değerlendirilmesi

○ Krosetin hasarlarının değerlendirilmesi
Krosetin hasarlanmasına neden olan (M7KYYY) krosetin yağlama yağının yetersiz olması, , kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında %2.48 önemi vardır.
Krosetin hasarlanmasına neden olan (M7PVRVS) piston veya ringlerin veya silindir gömleğinin hasarlanması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 1.84 önemi vardır.
Krosetin hasarlanmasına neden olan (M7KPVKS) kroset pimi veya kroset şüzü (crosshead shoes) aşınması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 0.72 önemi vardır.

Tablo 73. Biyelin hasarlarının değerlendirilmesi

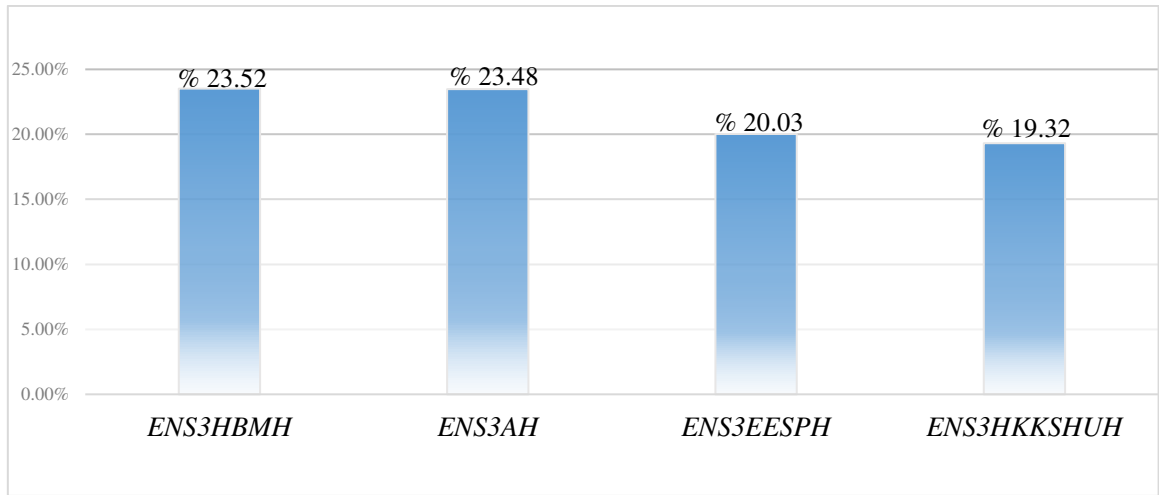
○ Biyelin hasarlarının değerlendirilmesi
Biyelin hasarlanmasına neden olan (M8TFO) titreşimin fazla olması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 0.34 önemi vardır.
Biyelin hasarlanmasına neden olan (M8HYA) hareketli yatakların (piston kolonunda olan yatakların) aşırı derecede aşınması, kompresörün mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 0.11 önemi vardır.
Biyelin hasarlanmasına neden olan (M8EYB) eksenle yatakların bozulması, mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 0.10 önemi vardır.

Tablo 74. Ana yataklarının hasarlarının değerlendirilmesi

○ Kompresörün ana yataklarının hasarlarının değerlendirilmesi
Kompresörün ana yataklarının hasarlanmasına neden olan (M9X2) fileksıbl bağlantı yağlama hortumunu hasarlanması, mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 2.78 önemi vardır.
Kompresörün ana yatakların aşınmasına neden olan (M9,1KTFO) kompresör titreşimin fazla olması, mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 0.22 önemi vardır.
Kompresörün ana yatakların aşınmasına neden olan (M9,1YCKO) yağın çok kırılı olması veya yağlama yağın yetersiz olması, mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 0.15 önemi vardır.
Kompresörün ana yatakların aşınmasına neden olan (M9,1YVDV) yağ viskozitesinin düşük veya fazla olması, mekanik bileşenlerin hasarlanmasında % 0.04 önemi vardır.

- Dördüncü aşama enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının hasarların, analiz sonuçlarının değerlendirilmesi;

Sunulan tez çalışmasında enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının hasarları, hata ağacının zirve olayı olduğunda aşağıda verilen sonuçları elde edilmektedir. Şekil 146'de enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının hasarlarına neden olan başlangıç olayların önemi gösterilmiştir.



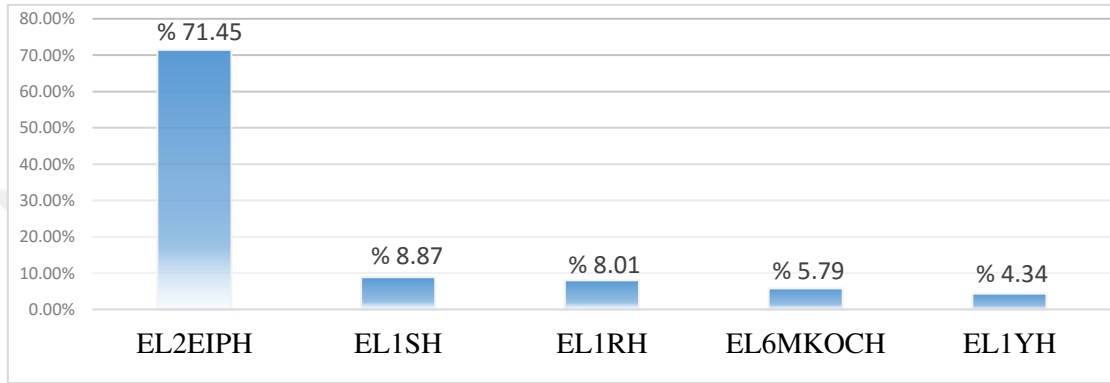
Şekil 144. Enstrümantasyon cihazlarının hasarlarına neden olan başlangıç olayların önemi

Tablo 75. Enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının hasarlarına neden olan başlangıç olayların önemi

Hydrocom kapasite kontrol sistemin arızalanmasının neden olan (ENS3HBMH) hidrolik borulama malzemelerin hasarlanması, enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının hasarlanmasında % 23.52 önemi vardır.
Hydrocom kapasite kontrol sistemin arızalanmasının neden olan (ENS3AH) aktuator hasarlanması, enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının hasarlanmasında % 23.48 önemi vardır.
Hydrocom kapasite kontrol sistemin arızalanmasının neden olan (ENS3EESPH) elektrik enstrüman sistem parçaların hasarlanması, enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının hasarlanmasında % 20.03 önemi vardır.
Hydrocom kapasite kontrol sistemin arızalanmasının neden olan (ENS3HKKSHUH) hydrocom kapasite kontrol sistemin hidrolik ünitesinin hasarlanması, enstrümantasyon ve ölçme cihazlarının hasarlanmasında % 19.32 önemi vardır.

➤ Beşinci aşama- elektrikle ilgili hasarların, analiz sonuçlarının değerlendirilmesi;

Sunulan tez çalışmasında Elektrikle ilgili hasarları, hata ağacının zirve olayı olduğunda aşağıda verilen sonuçları elde edilmektedir. Şekil 147’de Elektrikle ilgili hasarların, analiz sonuçları ve Tablo 76’de Elektrikle ilgili hasarların, analiz sonuçlarının değerlendirilmesini gösterilmiştir.



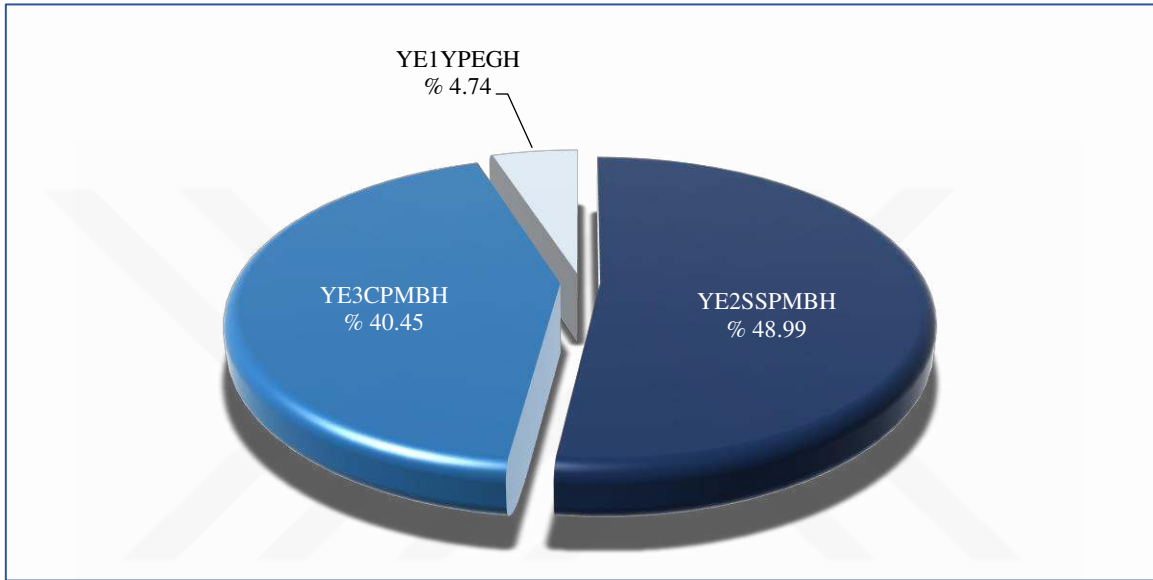
Şekil 145. Elektrikle ilgili hasarların, analiz sonuçları

Tablo 76. Elektrikle ilgili hasarların, analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Elektrikle ilgili hasarlara neden olan (EL2EIPH) elektrikle ilgili parçaların hasarlanması, elektrikle ilgili hasarların hasarlanmasında % 71.45 önemi vardır.
Kompresör elektromotorun, mekanik parçalarının hasarlanmasına neden olan (EL1SH), statorun hasarlanması, elektrikle ilgili hasarların hasarlanmasında % 8,87 önemi vardır.
Kompresör elektromotorun, mekanik parçalarının hasarlanmasına neden olan (EL1RH), rotorun hasarlanması, elektrikle ilgili hasarların hasarlanmasında % 8.01 önemi vardır.
Elektrikle ilgili hasarlara neden olan (EL6MKOCH) , merkezi kontrol odasında çıkan hasarlar elektrikle ilgili hasarların hasarlanmasında % 5.79 önemi vardır.
Kompresör elektromotorun, mekanik parçalarının hasarlanmasına neden olan (EL1YH), yatakların hasarlanması, elektrikle ilgili hasarların hasarlanmasında % 4.34 önemi vardır.

- Altıncı aşama- yardımcı ekipmanların hasarlarını, analiz sonuçlarını değerlendirilmesi:

Sunulan tez çalışmasında Yardımcı ekipmanların Hasarlarını, hata ağacının zirve olayı olduğunda aşağıda verilen sonuçları elde edilmektedir. Şekil 148 Yardımcı ekipmanların Hasarlarını, analiz sonuçları ve Tablo 72. Yardımcı ekipmanların Hasarlarını, analiz sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 146. Yardımcı ekipmanların Hasarlarını, analiz sonuçları

Tablo 77. Yardımcı ekipmanların hasarlarını, analiz sonuçlarını

Soğutma suyu pompaların hasarlanması (YE2SSPMBH) soğutma suyu pompasının mekanik bileşenlerinin, yardımcı ekipmanların hasarlanmasında % 48.99 önemi vardır.
Kompresör silindirini ve salmastra kutularının yağlayıcı pompalarının hasarlanmasına neden olan (YE3CPMBH) cem pompasının mekanik bileşenlerinin hasarlanması, yardımcı ekipmanların hasarlanmasında % 40.45 önemi vardır.
Ana yağ pompasının hasarlanmasına neden olan elektrik enstrüman parçalarının hasarlanması (YE1YPEGH) ana yağ pompasının enstrümantasyon göstergesinin hasarlanması yardımcı ekipmanların hasarlanmasında % 4.74 önemi vardır

5. ÖNERİLER

1. API 618 piston tipli kompresörün hasarlarını azaltılması için günlük, haftalık ve aylık muayene ve kontrollerin düzenle bir şekilde yapılması gerekir. Kompresörün muayene faaliyetleri ile ilgili bilgiler EK Tablo 1’de gösterilmiştir.
2. Büyük bakım faaliyetlerinin çok dikkatli bir şekilde yapılması büyük önem taşımaktadır. Kompresörün bakım faaliyetleri ile ilgili bilgiler EK Tablo3’de gösterilmiştir.
3. Sunulan tez çalışmasında open FTA yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımın CCF’leri hesaplama olanağı yoktur. Isograph (Fault Tree +) gibi yeni yazılımlar kullanılabilir.
4. API 618 kompresör arızalarının değerlendirilmesi amacıyla başka yaklaşımlar kullanılıp sonuçların karşılaştırılması yapılabilir.
5. Yapılan tez çalışmasında API 618 kompresörün hasarlarını hata ağacı yöntemiyle incelenmiş ve analiz edilmiştir. Petrol ve gaz endüstrilerde ve gemilerde kullanılan ve çalışan tüm sabit(fix) ve döner (rotary) makinelerde hasarlarını incelemek için bu yöntemi kullanmamız, sistemlerin güvenlik ve güvenilirlik açılarından çok önemli bilgilere varmamız mümkündür.

6. KAYNAKLAR

- Adams, M. L., 2010. Rotating Machinery Vibration: From Analysis to Troubleshooting, Second Edition, Taylor ve Francis, New York.
- Affonso, L. O. A., 2013. Machinery Failure Analysis Handbook: Sustain Your Operations and Maximize Uptime, Elsevier Science, Houston-Texas.
- ALAN, B. R., 2008. LNG Taşımacılığı Risk Analizi ve Emniyet Yönetim Modeli, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Deniz Ulaştırma Mühendisliği, İstanbul.
- Alsaran, P. D. A., 2014. Hasar Analizi., Atatürk Üniversitesi ,Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği, Erzurum.
- Amrozowicz, M., 1996. The Quantitative Risk of Oil Tanker Groundings, Master's Degree Thesis, Ocean Engineering Department, Massachusetts Institute of Technology, University of Florida, USA.
- Antao, P. ve Soares, C. G., 2006. Fault-Tree Models of Accident Scenarios of Ropax Vessels, International Journal of Automation and Computing, 3,2, 107-116.
- API ., 1989. API SPEC11P, Specification for Packaged Reciprocating Compressors for Oil and Gas Production Services, American Petroleum Institute, USA.
- API 618., 2013. Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services, American Petroleum Institute , United States of America .
- API., 2015. API Standard 691, Risk-Based Machinery Management (Pp. 200), API, USA.
- Arı ve Ünal, R., 2003. Güvenilirlik Merkezli Bakım (RCM) Yöntemi İle Asansör Bakımı, Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi ,Bildiriler Kitabı, Türkiye.
- Avci, Ö., 2009., Türkiye-Avrupa Birliği Enerji Üretim ve Tüketiminin Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Ay, D. D. İ. 2005., Hasar Analizi. Balıkesir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Türkiye.
- Azadani, M. N., 2006. Pozitif Deplasmanlı Kompresörler , Esfahan Oil Refining Company, Iran.
- Bauer, E. Zhang, X. ve Kimber, D. A., 2009. Practical System Reliability, John Wiley ve Sons Publication, Hoboken, New Jersey.
- Becker, W. T., Shipley, R. J. ve Committee, A. I. H., 2002. Failure Analysis and Prevention, Vol 11 ASM International, ASM Handbook Committee, USA.

- Benbow, D. W. ve Broome, H. W., 2009. The Certified Reliability Engineer Handbook, Quality Press, Milwaukee, USA.
- Ben-Daya, M., Kumar, U. ve Murthy, D. N. P., 2016. Introduction to Maintenance Engineering: Modelling, Optimization and Management, American Institute of Chemical Engineers John Wiley ve Sons Publication, Hoboken, New Jersey.
- Berk, J., 2009. Systems Failure Analysis, ASM International Materials Park, Ohio 44073-0002, United States of America.
- Beşergil, B., 2014. Rafineri Prosesleri, Gazi Kitabevi Tic LTD Şti, Ankara.
- Billinton, R. ve Allan, R. N., 2012. Reliability Assessment of Large Electric Power Systems, Kluwer Academic Publisher, USA.
- Birolini, A., 2007. Reliability Engineering: Theory and Practice, Fifth Edition, Springer Berlin Heidelberg New York, Germany.
- Blischke, W. R. ve Murthy, D. N. P., 2011. Reliability: Modeling, Prediction, and Optimization, John Wiley ve Sons Publication, Canada.
- Blischke, W. R. ve Murthy, D. N. P., 2003. Case Studies in Reliability and Maintenance, John Wiley ve Sons Publication, Hoboken, New Jersey.
- Bloch, H. ve Hoefner, J. J., 1996. Reciprocating Compressors: Operation and Maintenance, Elsevier Science, Gulf Publishing Press Is An Imprint of Elsevier, Houston, Texas.
- Bloch, H. P. ve Geitner, F. K., 1997a. Volume 4: Major Process Equipment Maintenance and Repair, 2nd Edition, Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
- Bloch, H. P. ve Geitner, F. K., 1997b. Practical Machinery Management For Process Plants: Volume 2: Machinery Failure Analysis and Troubleshooting, Elsevier Science, Gulf Professional Publishing Is An Imprint of Elsevier, Houston, TX.
- Bloch, H. P. ve Geitner, F. K., 2004., Practical Machinery Management For Process Plants: Volume 5: Machinery Component Maintenance and Repair, Nd Edition, Gulf Professional Publishing Is An Imprint of Elsevier, Houston, TX.
- Bloch, H. P. ve Geitner, F. K., 2006. Practical Machinery Management For Process Plants: Volume 3: Aximizing Machinery Uptime, Gulf Publishing Press Is An Imprint of Elsevier, United States of America.
- Bloch, H. P. ve Geitner, F. K., 2012. Machinery Failure Analysis and Troubleshooting: Volume 2: Practical Machinery Management For Process Plants, Fourth Edition, Butter Worth Heinemann Is An Imprint of Elsevier, Houston, Texas.
- Bloch, H. P. ve Godse , A., 2006. Compressors and Modern Process Applications, John Wiley ve Sons Publication, Hoboken, New Jersey.
- Bloch, H. P. ve Soares, C., 1998. Process Plant Machinery, Butterworth-Heinemann Is An Imprint of Elsevier, United States of America.

- Bloch, H. P., 1998. Practical Machinery Management For Process Plants: Volume 1: Improving Machinery Reliability, 3rd Edition, Elsevier Science, Houston, TX.
- Bloch, H. P., 2006. A Practical Guide to Compressor Technology, Second Edition, John ve Sons Publication, Hoboken, New Jersey.
- Bloch, H. P., 2009. Practical Lubrication For Industrial Facilities, 2nd Edition, Taylor ve Francis Fairmont Press, United States of America.
- Bloom, N., 2005. Reliability Centered Maintenance (RCM): Implementation Made Simple, Mcgraw-Hill Companies, United States of America.
- Brown, R. E., 2002. Electric Power Distribution Reliability, Taylor ve Francis Fairmont CRC, United States of America.
- Brown, R. N., 1997. Compressors: Selection and Sizing, Gulf Publishing, Houston, Texas.
- Brown, R. N., 2005. Compressors: Selection and Sizing, Elsevier Science ve Technology, United States of America.
- Burckhardt., 2014. Redura Piston Sealing Systems Decades of Experience in High-Performance Sealing Systems.
- Burckhardt.,2016.a. Process Gas Compressors API 618,Burckhardt Compression, Switzerland.
- Burckhardt.,2016.b. Hyper Compressor,Burckhardt Compression, Switzerland.
- Burckhardt.,2016.c. Laby Compressor, Burckhardt Compression, Switzerland.
- Burckhardt.,2016.d. Laby-GI Compressor, Burckhardt Compression, Switzerland.
- Burckhardt.,2016.e. Standard High Pressure Compressor , Burckhardt Compression.
- Burckhardt.,2016.f. Excellence and Dedication,Burckhardt Compression,A Portrait. Burckhardt Compression, Switzerland.
- Calixto, E., 2012. Gas and Oil Reliability Engineering: Modeling and Analysis, Gulf Professional Publishing Is An Imprint of Elsevier, United States of America.
- Carvill, J., 2012. Mechanical Engineer's Data Handbook, , Elsevier Science Ltd, Manchester.
- Consulting, A., Vanden Heuvel, L. N., Lorenzo, D. K., Jackson, L. O., Hanson, W. E., Rooney, J. J. ve Walker, D. A., 2014. Root Cause Analysis Handbook: A Guide to Efficient and Effective Incident Investigation, Rothstein Associates Publisher, Houston, TX.
- Deshpande,V. ve Modak,J., 2003. Maintenance Strategy For Tilting Table of Rolling Mill Based On Reliability Considerations, Reliability Engineering ve System Safety, Published By Elsevier, 80,1, 1-18.

- Dhillon, B. S., 1999. Engineering Maintainability: How to Design For Reliability and Easy Maintenance, University of Ottawa, Elsevier Science ve Technology Books Publisher, USA.
- Dhillon, B. S., 2008. Mining Equipment Reliability, Maintainability, and Safety, Department of Industrial and Systems Engineering, Springer London, UK.
- Division, N. S. W. C. C., 1998. Handbook of Reliability Prediction Procedures For Mechanical Equipment, Carderock Division, Naval Surface Warfare Center.
- Dresser Rand Co., 2013. Process Reciprocating Compressors Proven Solutions For The Most Demanding Upstream, Midstream and Downstream Applications. USA.
- Dresser-Rand., 2014. C-VIP Compressor, Dresser-Rand Company, USA.
- Dresserrand., 2014. MOS Compressors, Dresser-Rand Company, USA.
- Ersalıcı, H., 2012. Elektrik Dağıtım Sistemlerinin Güvenilirlik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü-Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul .
- Esfahany, 2010. Risk Assessment Fault Tree Analysis, NIOC, IRAN.
- Faraji, G. ve Seyede, Z. A., 2012. Doğal Gaz İletim Yöntemleri, Nedaye Gas, IRAN.
- Fazel, S., 2013. RAMS-Reliability Engineering Theory and Practice Preventive Care, Danesh Negar Publication, Iran.
- Fazel, S., 2009. Analysis Control Fault and Risk of Reliability View, Serve Negar Publication, Iran.
- Forsthoffer, W. E., 2005a. 3. Forsthoffer's Rotating Equipment Handbooks: Compressors, Published By Elsevier Ltd, UK.
- Forsthoffer, W. E., 2005b. Principles of Rotating Equipment, Published By Elsevier Ltd, UK.
- Forsthoffer, W. E., 2005c. Reliability Optimization Through Component Condition Monitoring And Root Cause Analysis, Published By Elsevier Ltd, UK.
- Forsthoffer, W. E., 2011. Forsthoffer's Best Practice Handbook For Rotating Machinery, Elsevier Science, UK.
- GE., 2015. Reciprocating Engines and Gas Compressors Ajax Superior Cooper-Bessemer, GE, USA.
- Giampaolo, T., 2010. Compressor Handbook: Principles and Practice, Fairmont Press.
- Greenfield, S. ve Eberle, K., 2008. New API Standard 618 and Its Impact on Reciprocating Compressor Package Design, Part I, II and III, Compressor Tech Two, June-July-August.

- Gresh, T., 2001. Compressor Performance: Aerodynamics For The User, Elsevier Science ve Technology, USA.
- Gresham, R. M. ve Totten, G. E., 2008. Lubrication and Maintenance of Industrial Machinery: Best Practices and Reliability, Taylor ve Francis, CRC Press, USA.
- Gulati, R. ve Press, I., 2012. Maintenance and Reliability Best Practices, Second Edition, Industrial Press, New York.
- Haimes, Y. Y., 2011. Risk Modeling, Assessment, and Management, John Wiley ve Sons Publication, Hoboken, New Jersey.
- Hanlon, P. C., 2001. Compressor Handbook, Mcgraw-Hill Companies, United States of America.
- Harms-Ringdahl, L., 2003. Safety Analysis: Principles and Practice in Occupational Safety, Taylor ve Francis, CRC Press, USA.
- Heinz P. Bloch, 2006. A Practical Guide to Compressor Technology, John Wiley ve Sons Publication, Hoboken, New Jersey.
- Higgins, L. ve Mobley, K., 2001. Maintenance Engineering Hb, 6/E, Mcgraw-Hill Companies, United States of America.
- Hoerbiger., 2012. Compressor Valves For Better Reliability, Higher Efficiency and Safety. Switzerland: Hoerbiger Compression Technolo.
- Hoerbiger., 2015. Experience Real Capacity Control and Energy Savings With Hydrocom. Switzerland: Hoerbiger Compression Technolo.
- Hoerbiger., 2013. CS-Valve Proven Performance For Low and Medium Pressures. Switzerland: Hoerbiger Compression.
- Hoseyni, A. A., 2003. Kompresör Tipleri ve Kullanımları, NIPC, IRAN.
- Howden., 2016. Howden Compressor Technologies. United Kingdom: Howden Group Limited.
- IEC., 1990. International Standard IEC 61025 ,Fault Tree Analysis, International Electrotechnical Commissi, Witzerland.
- IEC., 1990. IEC 1025, Analysis Techniques For System Reliability Procedure For Fault Tree Analysis, IEC, Geneva.
- İskender, S., 2012. Doğal Gazlı Sürekli Isıl İşlem Fırınlarında Brülör Tasarımı, İmalatı ve Baca Gazı Analizleriyle Doğal Gaz Tüketiminin Optimizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Makina Eğitimi.
- Jardine, A. K. S. ve Tsang, A. H. C., 2013. Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications, Second Edition, Taylor ve Francis, CRC Press, USA.

- Jones, D. R. H., 2001. Failure Analysis Case Studies II: A Sourcebook of Case Studies Selected From The Pages of Engineering Failure Analysis 1997-1999, Elsevier Science, USA.
- Jones, T. L., 2011. Handbook of Reliability Prediction Procedures For Mechanical Equipment, Naval Surface Warfare Center, USA.
- Kavyani, A., 2006. Kompresörlerin İlkeleri, Reh Avaran, IRAN.
- Kobelco., 2006. Reciprocating Compressor Maintenance. IRAN NIOC.
- Koç, E., ve Şenel, M. C., 2013. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makina, 54(639), 32-44.
- Köse, E., 1990. Risk Assessment of Fishing Vessels, Newcastle University, Science Institute, New Castle.
- Kristiansen , S., 2005. Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis, Elsevier Butterworth-Heinemann ,USA.
- Kumamoto , H. ve Henley, E. J., 2000. Probabilistic Risk Assessment and Management For Engineers and Scientists, Wiley-IEEE, USA.
- Laskowski, R., 2015. Fault Tree Analysis As A Tool For Modelling The Marine Main Engine Reliability Structure, Scientific Journals of The Maritime University of Szczecin, Zeszyty Naukowe Akademia Morska W Szczecinie, 41 (113), 71-77.
- Lewis, R. I., 1996. Turbomachinery Performance Analysis, Elsevier Science.
- Liao , S. Y., Cheng , Q., Jiang, D. M., ve Gao, J., 2005. Experimental Study of Flammability Limits of Natural Gas–Air Mixture. Journal of Hazardous Materials, 119, 81-84.
- Liao, S., Cheng, Q., Jiang, D. ve Gao, J., 2005. Experimental Study of Flammability Limits of Natural Gas–Air Mixture, Journal of Hazardous Materials, 119, 1, 81-84.
- Lieberman, N. P., 2011. Troubleshooting Process Plant Control, 4th Edition, A John Wiley ve Sons, Publication , Hoboken, New Jersey.
- Liu, Y., Hu, L.-M., Huang, X.-H. ve Shang, S.-Y., 2011. The Fault Tree Analysis of DPC-2804 Natural Gas Compressor in Cainan Station, Journal of Guangzhou Chemical Industry, 3, 062, CHINA.
- Lyons, W. C., 1996. Standard Handbook of Petroleum ve Natural Gas Engineering, Second Edition, Gulf Professional Publishing Is An Imprint of Elsevier, USA.
- Macdonald, D., 2003. Practical Industrial Safety, Risk Assessment and Shutdown Systems, Elsevier Science, USA.
- Mannan, S., 2004. Lees' Loss Prevention in The Process Industries Volume 1 Hazard Identification, Assessment and Control, Butterworth-Heinemann, Texas, USA.

- Matthews, C., 1998. A Practical Guide to Engineering Failure Investigation, Professional Engineering Publishing Limited, London and Bury St Edmunds, UK .
- Matthews, C., 2002. Engineers' Guide to Rotating Equipment: The Pocket Reference, Professional Engineering Publishing Limited, London and Bury St Edmunds, UK .
- McMillan, R. B., 2004. Rotating Machinery: Practical Solutions to Unbalance and Misalignment, Distributed By Marcel Dekker, Inc, United States of America.
- Mobley, K., Higgins, L. ve Wikoff, D., 2008. Maintenance Engineering Handbook, Seventh Edition, McGraw-Hill Education, United States of America.
- Mobley, R. K., 1999. Root Cause Failure Analysis, Newnes Is An Imprint of Butterworth-Heinemann A Member of The Reed Elsevier Group, United States of America.
- Mobley, R. K., 2011. Maintenance Fundamentals, 2nd Edition, Elsevier Butterworth-Heinemann 200 Wheeler Road, Burlington, MA 01803, USA.
- Modarres, M., 2016. Reliability Engineering and Risk Analysis A practical Guide, Marcel Dekker Publication ,New York Base.
- Oberg, E., 2004. Machinery's Handbook, 27th Edition, Industrial Press, New York.
- Özdemir, A. 1996. Güvenilirlik Analizi ve Elektrik Enerji Sistemlerine Uygulanması, Ders Notları , Türkiye.
- Özkılıç, Ö., 2014. Risk Değerlendirmesi, TISK, Türk Gazetecilik Matbaacılık İnşaat Sanayi A.Ş. Ankara.
- Qin, C. F. ve Fan, Q. Z., 2010. Failure Fault Tree Analysis of Reciprocating Compressor, Petroleum Engineering Construction ,3,041.
- Qua, H. C., Tan, C. S., Wong, K. C., Ho, J. H., Wang, X., Yap, E. H. ve Wong, Y. S., 2015. Applied Engineering Failure Analysis: Theory and Practice, Crc Press Is An Imprint of Taylor ve Francis Group, Usa.
- Ramakumar, R., 1993. Engineering reliability: fundamentals and applications, Prentice Hall, University of Michigan, USA.
- Khorasani, V.R, 2015. Risk Assessment of Diesel Engine Failure in A Dynamic Positioning System, Master's Thesis in offshore Technology, University of Stavanger, Norway.
- Rausand, M., 2009. System Reliability Theory: Models and Statistical Methods, John Wiley ve Sons Publication, Hoboken, New Jersey.
- Rausand, M., 2013. Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications, John Wiley ve Sons Publication, Hoboken, New Jersey.
- Rausand, M., 2014. Reliability of Safety-Critical Systems: Theory and Applications, John Wiley ve Sons Publication, Hoboken, New Jersey.
- Rehimi, M., 2013. Hata Ağacı Analizinin Esasları ve Kavramları, HSE Publication, IRAN.

- Roberts, N. H. ve Vesely, W. E., 1987. Fault Tree Handbook, U.S. Government Printing Office Publication, USA.
- Sachs, N. W., 2016. Practical Plant Failure Analysis: A Guide to Understanding Machinery Deterioration and Improving Equipment Reliability, Taylor ve Francis ,USA.
- SINTEF Technology Society. , 2009. OREDA : Offshore Reliability Data , OREDA Participants,Norway.
- Smith, R. ve Mobley, R. K., 2003. Industrial Machinery Repair: Best Maintenance Practices Pocket Guide, Butterworth-Heinemann.
- Smith, R.Mobley, R. K., 2011. Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers, Butterworth-Heinemann Is An imprint of Elsevier ,UK .
- Stamatelatos, M. ve William Vesely., 2002. Fault Tree Handbook with Aero Space Applications,NASA Publication, USA.
- Stapelberg, R. F., 2009. Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design, Springer Publication, Australia.
- T .C. Milli Eğitim Bakanlığı., 2009. Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme Doğal Gaz KazanıYakma, Ankara.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı., 2011. Motorlu Araçlar Teknolojisi Piston Biyel Krank Mekanizması, Ankara.
- Tanaka,H., Fan, L., Lai, F. ve Toguchi, K., 1983. Fault-Tree Analysis By Fuzzy Probability, IEEE Transactions on Reliability, 32,5, 453-457.
- TMMOB. 2006. Türkiye'nin Doğal Gaz Temin ve Tüketim Politikalarının Değerlendirilmesi Raporu, TMMOB, Türkiye.
- Topçu, G. Y., 2013. Türkiye Doğal Gaz Tüketim Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Türkiye Petrolleri Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı.,2016. Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu Mayıs 2016 ,ETKB, Türkiye.
- Türkiye Petrolleri, 2015. Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu, Türkiye Petrolleri, Türkiye.
- Turner, S., 2001. Choosing Maintenance Analysis Techniques Understanding the Differences Between Cost Minimisation Algorithms and the RCM Concepts Developed, International Conference of Maintenance Societies , Melbourne Australia.
- Uğurlu, Ö., 2011. Petrol Tankerlerinde Meydana Gelen Deniz Kazalarının Risk Analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- URL-1, <https://www.arielcorp.com>, reciprocating compressor ,2016.
- URL-2, www.betamachinery.com/services/troubleshooting-root-cause-analysis-rca, 2016.

URL-3 , <http://www.openfta.com>, fault tree analysis,Auvation ,2005.

URL-4,www.yaliniisg.com/risk-analizi/44-risk-de%C4%9Ferlendirme-metodolojileri.html. 2015.

Wang, J., Huang, Z., Fang, Y., Liu, B., Zeng, K., Miao, H. ve Jiang, D., 2007. Combustion Behaviors of a Direct-Injection Engine Operating On Various Fractions of Natural Gas Hydrogen Blends, International Journal of Hydrogen Energy, 32(15), 3555-3564.

Wasserman, G., 2002. Reliability Verification Testing and Analysis in Engineering Design, Dekker, New York.

Yüksel, F. , 2013. Türkiye Doğal Gaz Piyasasında Regülasyon ve Rekabet, Yüksek Lisans Tezi,Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

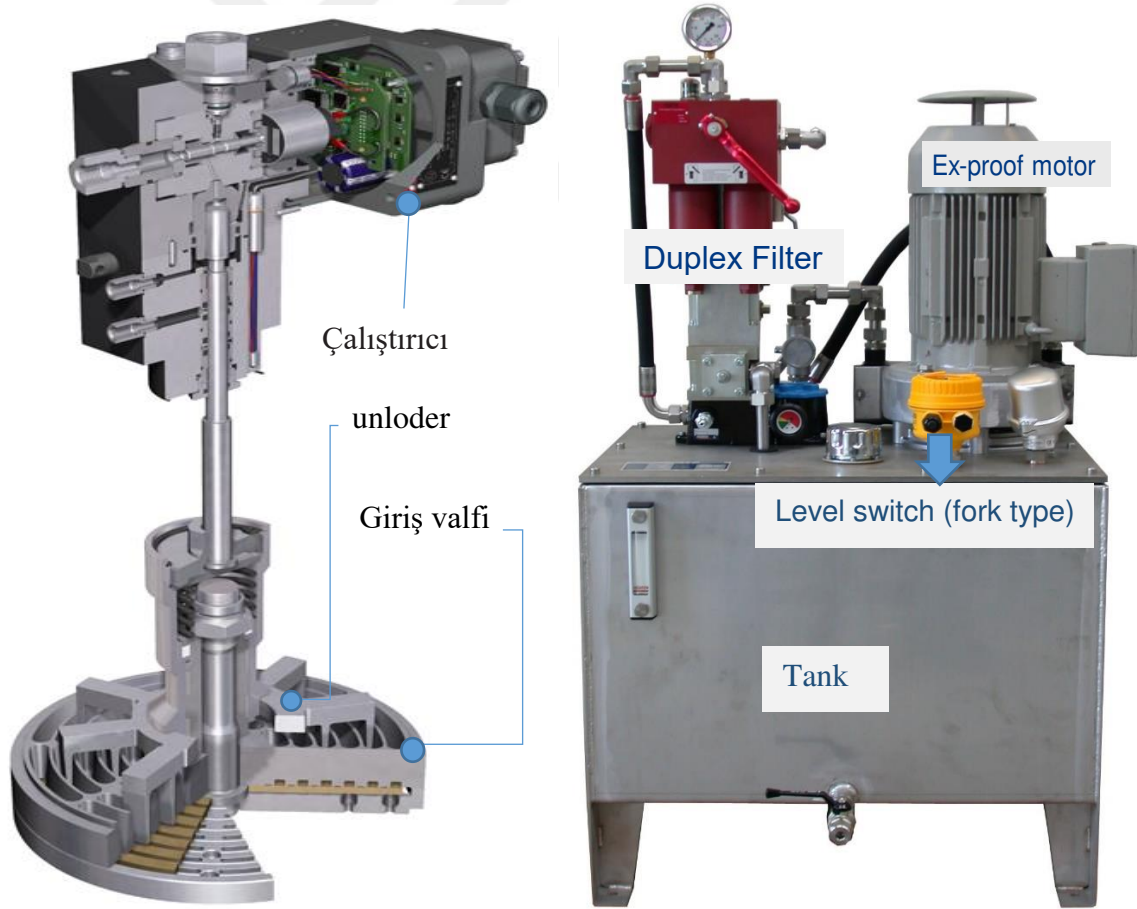
Zhu, J. F. , 2011. Fault Tree Analysis of Centrifugal Compressor, Key Engineering Materials,474-476, 1587-1590.

Ek Şekil 1’de; P-V diyagramının kısmi yük altındaki örnekleme verilmiştir. Grafiğin altında kalan alan (A,B,C,D) yapılan iş miktarını göstermektedir. (C, D, D_r, C_r) bölgesi ise enerji tasarrufu yapılan alanı ifade etmektedir (Hoerbiger, 2014a).

Hydrocom sisteminin mekanik aksamı aşağıda listelenen parçalardan oluşmaktadır:

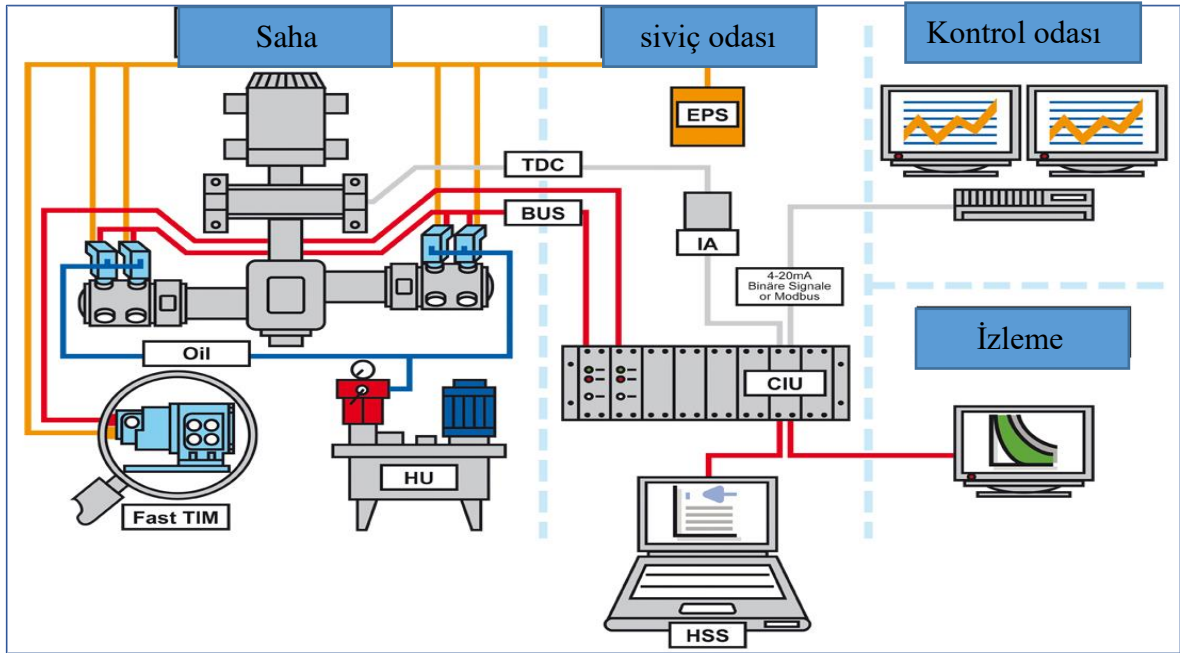
- Hidrolik Ünite: Hidrolik ünite, çalıştırıcılara hidrolik yağ sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.
- Hidrolik Borulama Malzemeleri
- TDC (Top Dead Center) Sensor: TDC sensörü; kompresör hızını ve krank şaftının pozisyonunu belirleyerek, Hydrocom sistemini senkronize eder.
- Actuator: Çalıştırıcılar, emme valflerine ait unloader (yük atıcı) operasyonundan sorumludur.
- Emme valfleri

Ek Şekil 2’de API 618 Kobelco kompresöründe olan HydroCOM sistemin önemli bileşenleri gösterilmektedir.

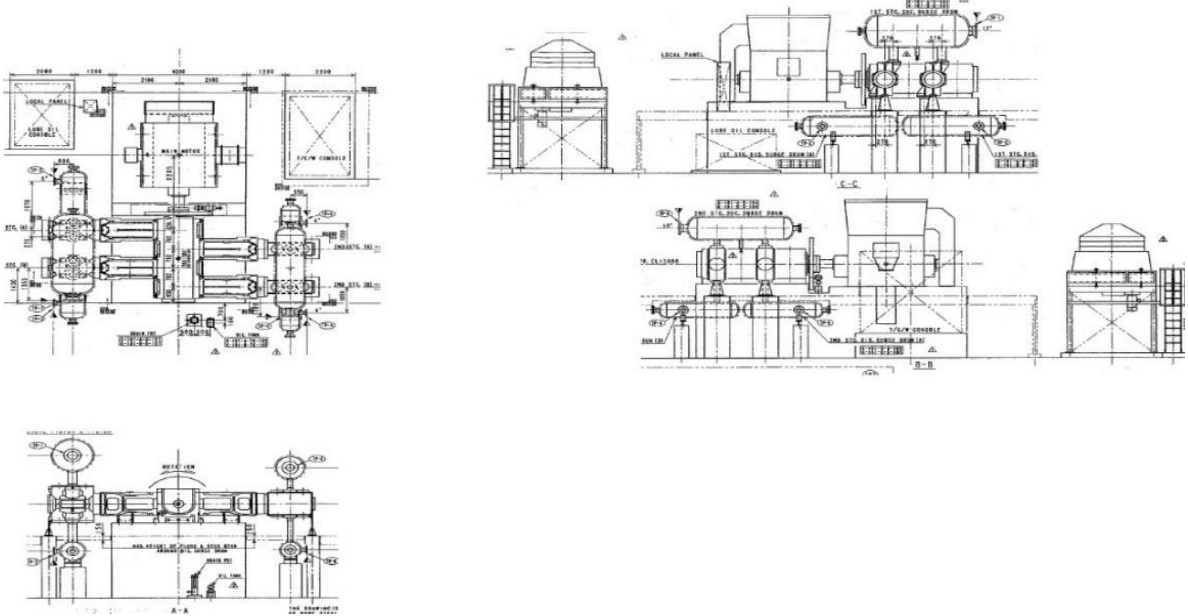


Ek Şekil 2. API 618 Kobelco kompresöründe olan HYDROCOM sisteminin önemli bileşenleri (Hoerbiger, 2015).

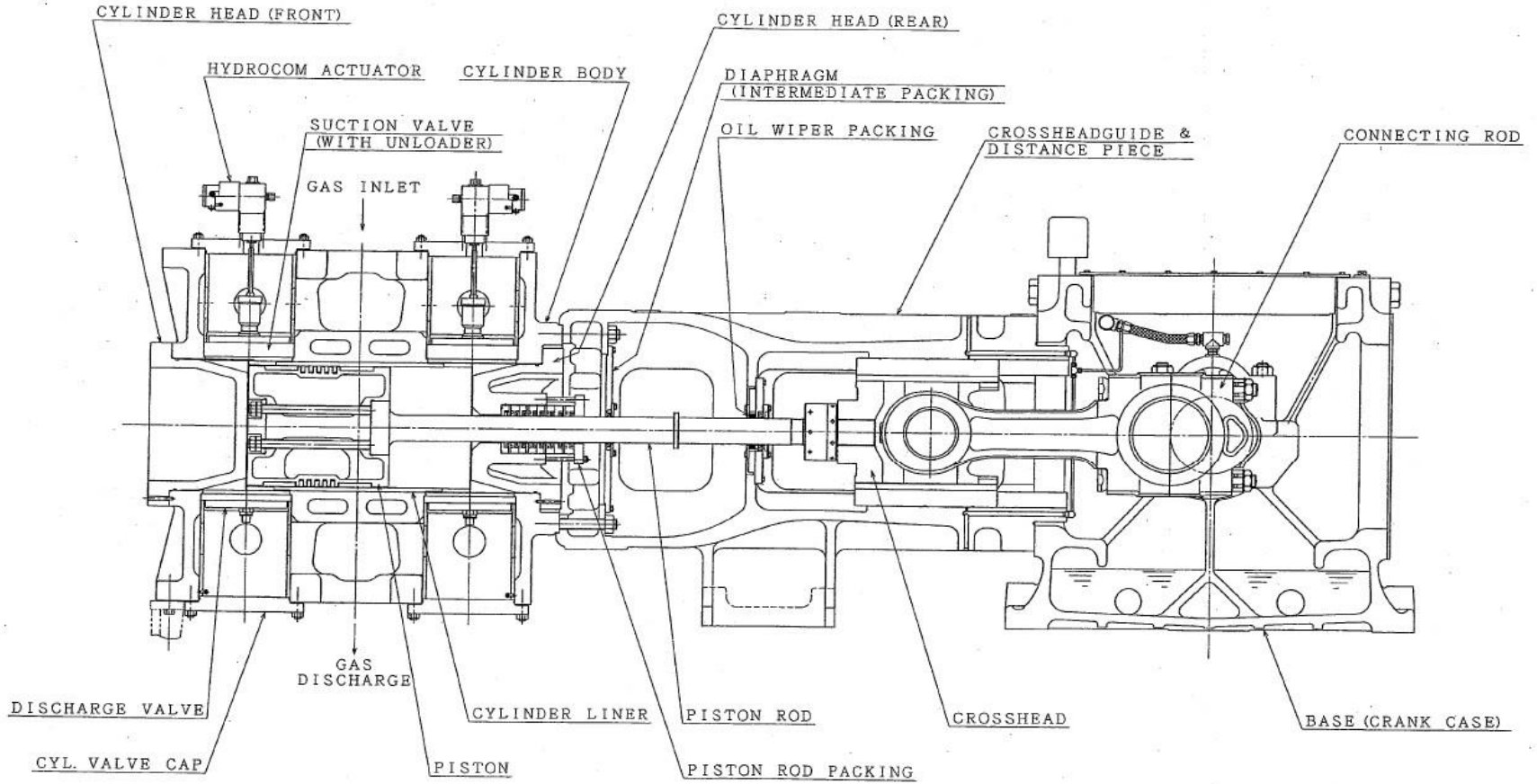
Hydrocom elektrik-enstrüman sistemi blok şeması şekil 152’de gösterilmektedir



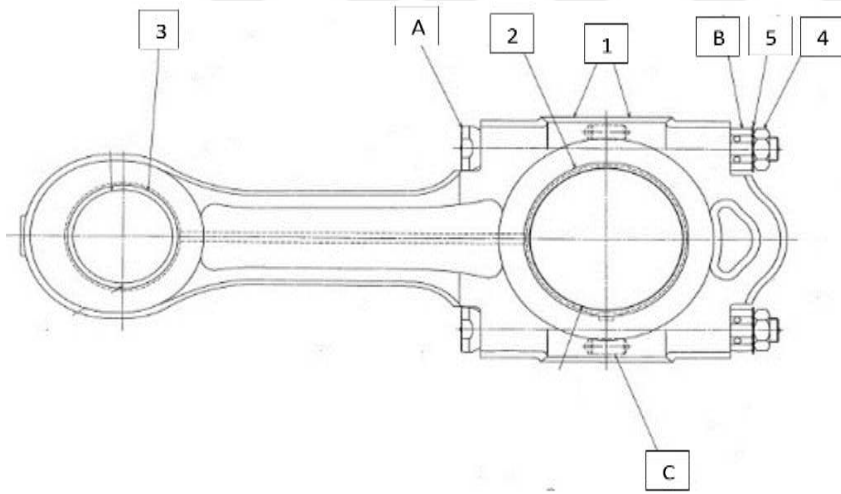
Ek Şekil 3. Hydrocom elektrik-enstrüman sistemin blok şeması (Hoerbiger, 2015).



Ek Şekil 4. Kobelco API 618 kompresörü (Kobelco, 2006).

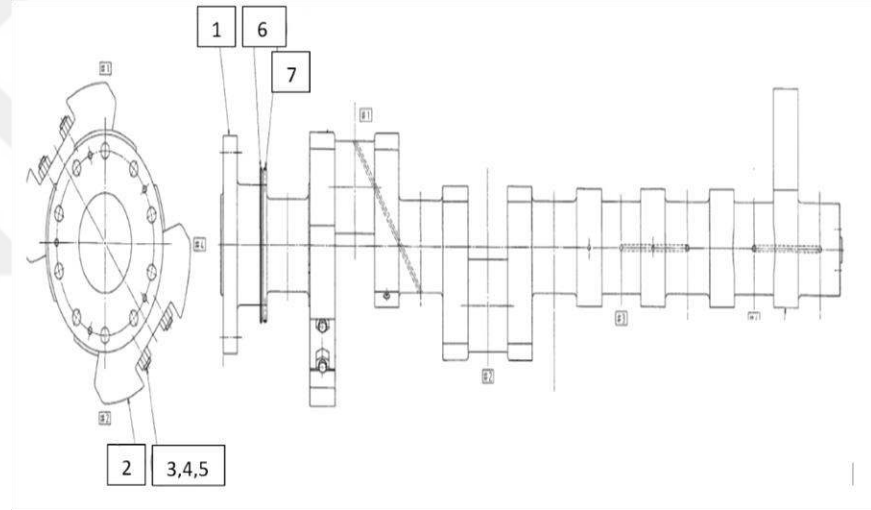


Ek Şekil 5. Kobelco API 618 kompresörü ve kompresörün iç parçalarının kesit şeması (Kobelco, 2006).



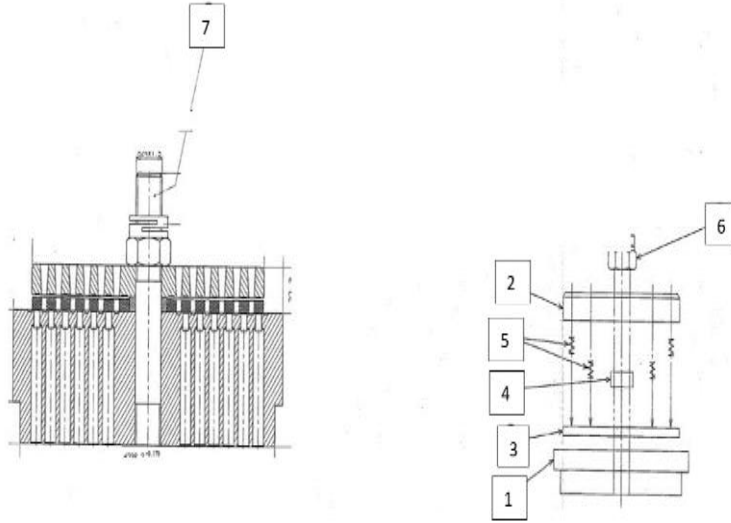
ITEM	NAME	ITEM	NAME
1	CONNECTING ROD	A	CONN ROD BOLT
2	CRANK PIN	B	NUT
3	CROSHEAD PIN	C	DOWEL
4	NUT		
5	WASHER		

Ek Şekil 6. Piston kolunda ve kısımlarının şematik gösterimi ve isimleri (Kobelco, 2006).



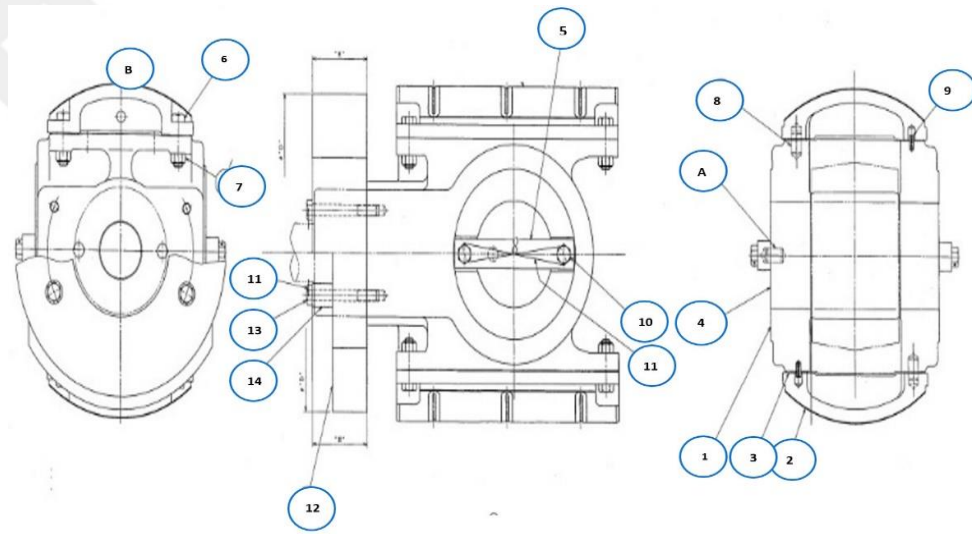
ITEM	NAME	ITEM	NAME
1	CRANKSHAFT	5	WASHER
2	COUNTER	6	OIL THROW RING
3	STUD BOLT	7	HEX BOLT
4	NUT		

Ek Şekil 7. Krank şaft ve kısımlarının şematik gösterimi ve isimleri (Kobelco, 2006).



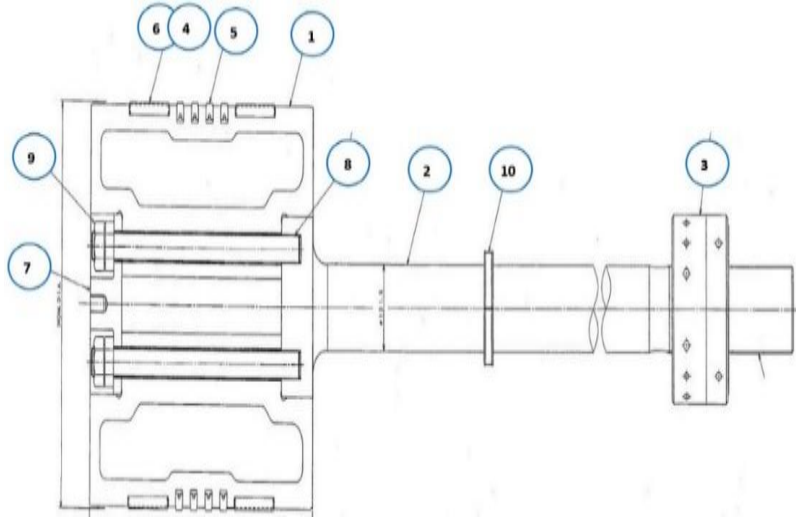
ITEM	NAME	ITEM	NAME
1	VALVE SEAT	6	JL NUT
2	VALVE GUARD	7	VALVE BOLT
3	VALVE PLATE	8	LOCKING
4	GUIDE RING	9	LOCATING PIN
5	VALVE SPRING		

Ek Şekil 8. Valf ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri(Kobelco, 2006).



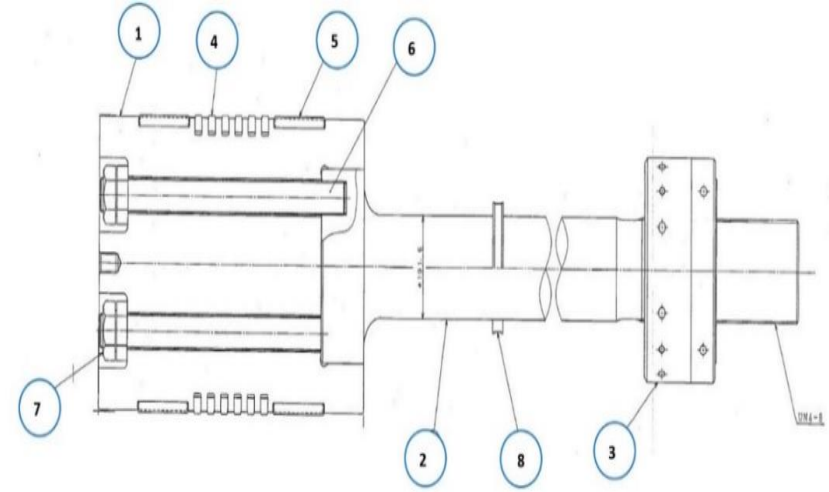
ITEM	NAME	ITEM	NAME
1	CROSSHEAD	8	PARALLEL PIN
2	CROSSHEAD	9	SPRING PIN
3	SHIM	10	HEX. BOLT
4	CROSSHEAD PIN	11	LOCK WIRE
5	PLATE Plate	12	BALANCE
6	HEX BOLT	13	HEX. BOLT
7	U-NUT	14	SPACER

Ek Şekil 9. Kroset ve kısımlarının şematik gösterimi ve isimleri (Kobelco, 2006).



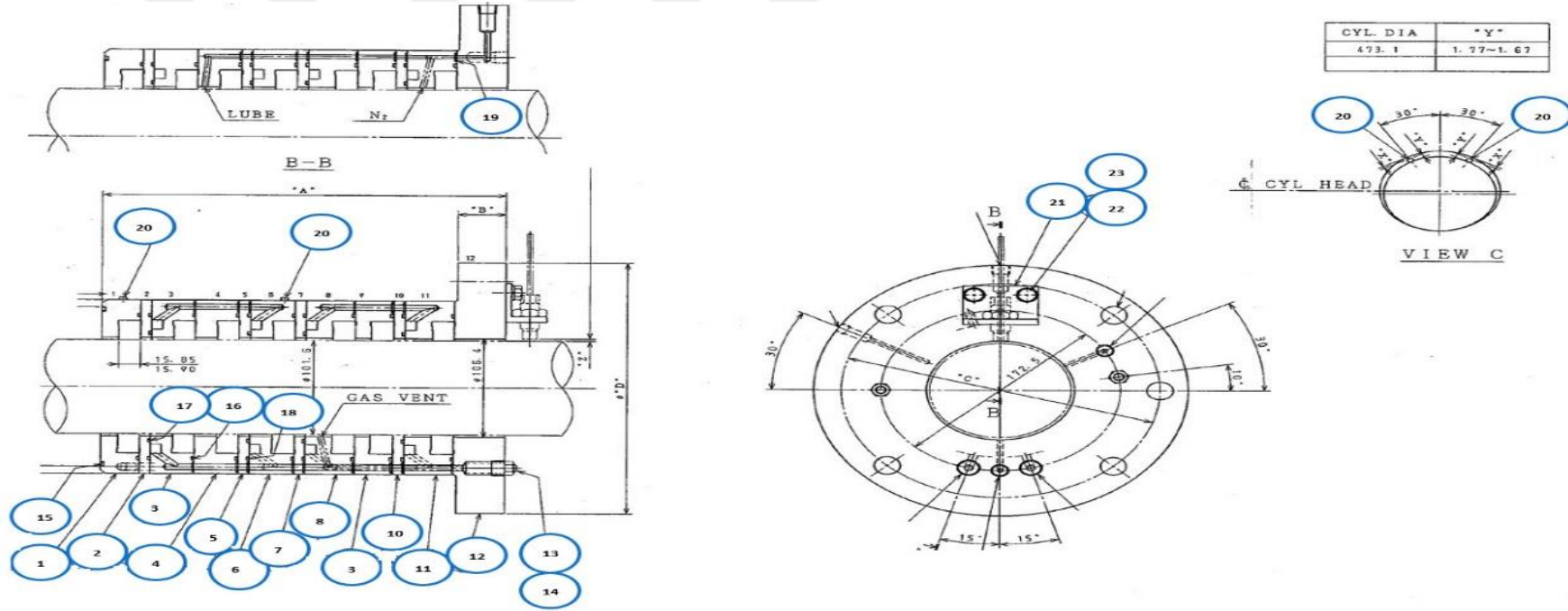
ITEM	NAME	ITEM	NAME
1	Piston	6	Rider Ring
2	Piston Rod	7	Retiner
3	Hydrolik Nut	8	Stud
4	Piston Ring	9	Lock Nut
5	Expander Ring	10	Oil Slinger

Ek Şekil 10. Kompresörün birinci aşamasında olan piston ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri (Kobelco, 2006).



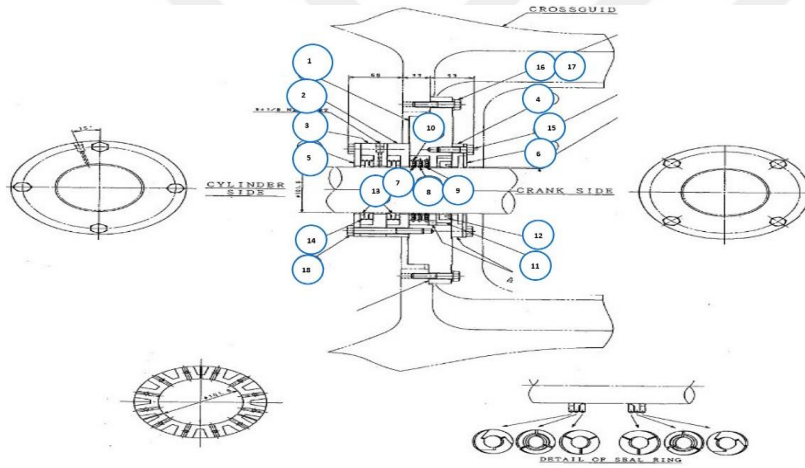
ITEM	NAME	ITEM	NAME
1	Piston	5	Rider Ring
2	Piston Rod	6	Stud
3	Hidrolik Nut	7	Lock Nut
4	Piston Ring	8	Oil Slinger

Ek Şekil 11. Kompresörün ikinci aşamasında olan piston ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri (Kobelco, 2006)



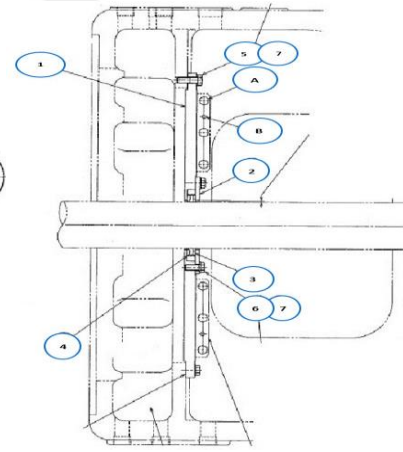
ITEM	NAME	ITEM	NAME	ITEM	NAME	ITEM	NAME	ITEM	NAME
1	Packing Cup	6	Packing Cup	11	Packing Cup	16	O-Ring	21	Bracket
2	Packing Piece	7	Distance Piece	12	Flange	17	O-Ring	22	Hex Bolt
3	Packing Cup	8	Packing Cup	13	Tie Stud	18	O-Ring	23	Spring
4	Packing Cup	9	Packing Cup	14	Nut	19	O-Ring		
5	Distance Piece	10	Distance Piece	15	O-Ring	20	Dowel		

Ek Şekil 12. Gaz salmastra kutusu ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri (Kobelco, 2006).



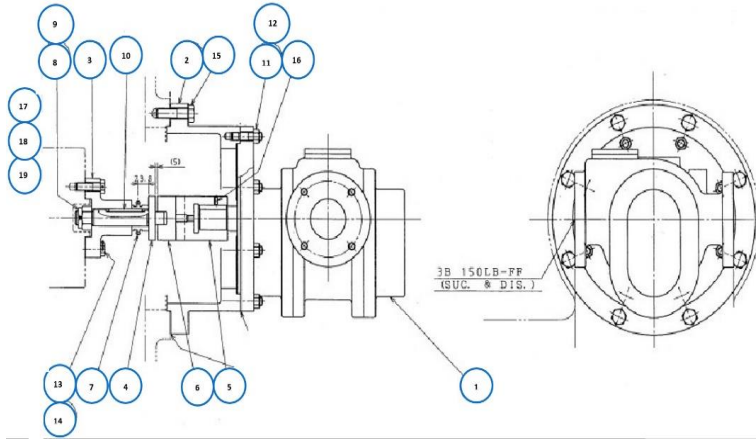
ITEM	NAME	ITEM	NAME
1	Diaphragm	10	Garter Spring
2	Ring Case	11	Oil Seal Housing
3	Ring Case	12	Oil Seal
4	Ring Case	13	Seal Ring
5	Distance Ring	14	Garter Sprint
6	Cover	15	Bolt
7	Oil Wiper Ring	16	Bolt
8	Oil Wiper Ring	17	Washer
9	Oil Wiper Ring	18	Bolt

Ek Şekil 13. Yağ salmastra kutusu ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri (Kobelco, 2006).



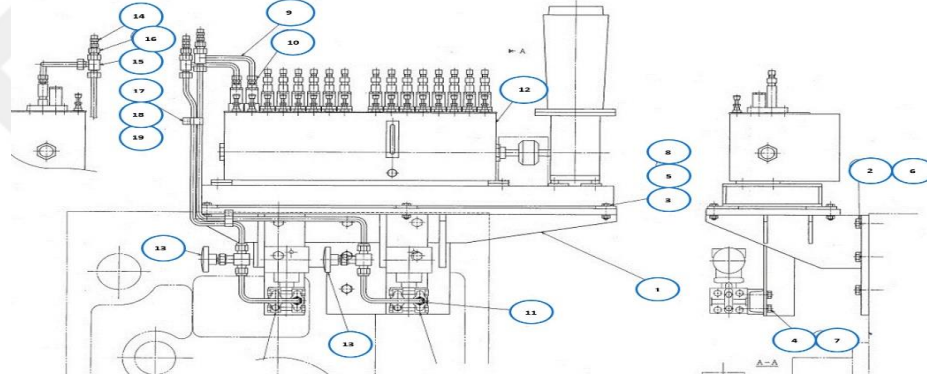
ITEM	NAME	ITEM	NAME
1	Diaphragm	6	Bolt M12*30
2	Distance Ring	7	Washer
3	Seal Ring		
4	Garter Sprint	A	Bolt
5	Bolt M12*40	B	Paralel Pin

Ek Şekil 14. Orta salmastra kutusu ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri (Kobelco, 2006).



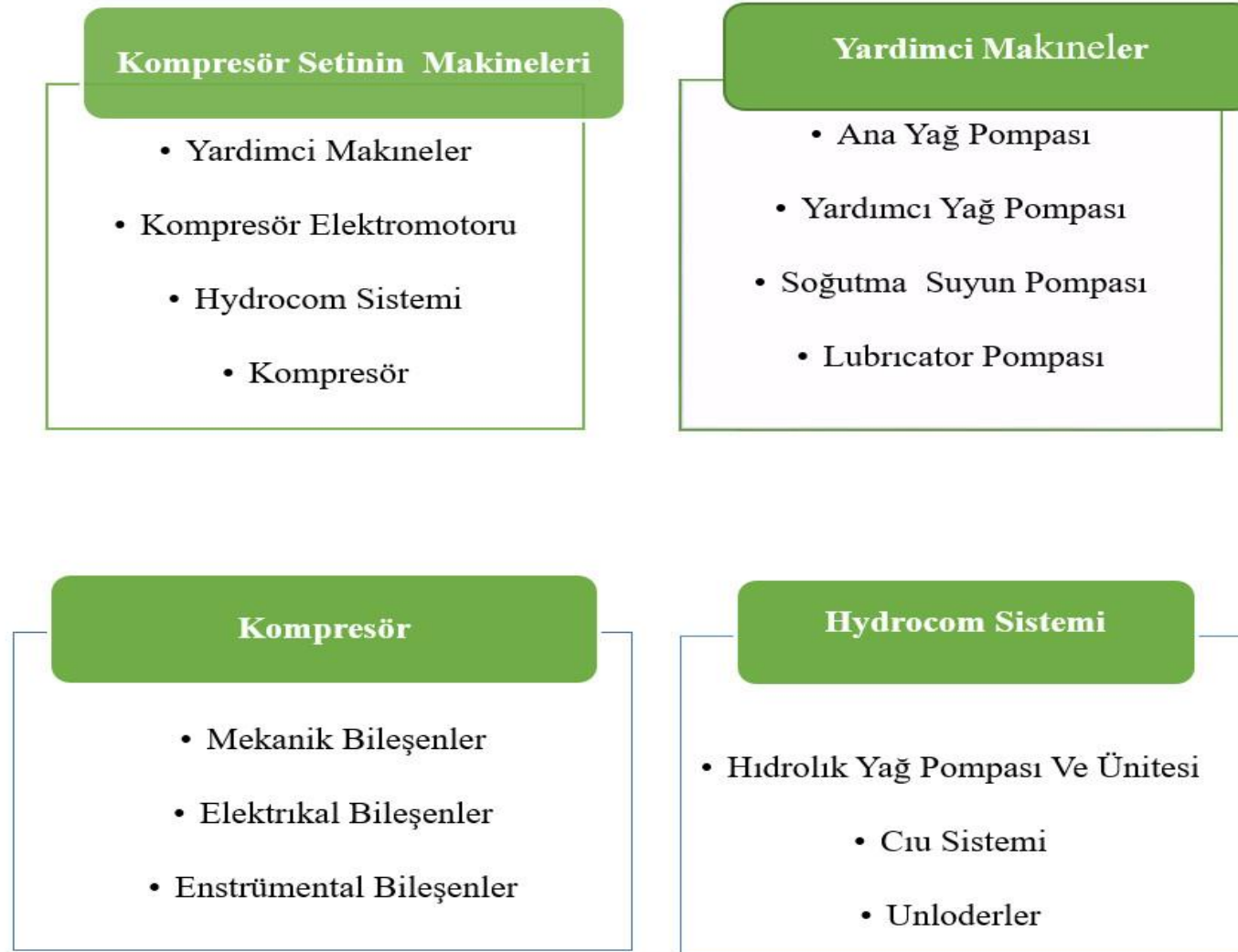
ITEM	NAME	ITEM	NAME
1	Oil Pump	9	Sprit Oın
2	Adapter	10	Key
3	Drive Flange	11	Stud Bolt
4	Drive Shaft	12	Hex Nut
5	Coupling	13	Hex Bolt
6	Coupling	14	Lock Wire
7	Sprocket	15	Hex Bolt
8	Hex Nut –Castle	16	Set Screw

Ek Şekil 15. Ana yağ pompası ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri (Kobelco, 2006).



ITEM	NAME	ITEM	NAME
1	Bracket	11	Male Connector
2	Hex Bolt	12	Lubricator
3	Hex Bolt	13	Valve
4	Hex Bolt	14	Vent Plug
5	Hex Nut	15	Female Run Tee
6	Spring Washer	16	Reducing Bushing
7	Spring Washer	17	Tube Clamp
8	Spring Washer	18	Hex Bolt
9	Tubing	19	Hex Nut
10	Male Connector		

Ek Şekil 16. Salmastralar ve silindirin içini yağlayıcı pompalar (kem pompası) ve kısımlarının Şematik gösterimi ve isimleri (Kobelco, 2006).



Ek Şekil 17. Kompresörün sistem fonksiyon seviyesi

API 618 piston tipli kompresörün hasarlarını azaltmak ve hasarların meydana gelmesini engellemek için günlük, haftalık ve aylık muayene ve kontrollerin yapılması gerekmektedir. Bu muayeneler ve kontroller ne kadar sürekli ve düzenli bir şekilde yapılırsa sistem o kadar uzun süre hasar görmeden görevine devam edecektir ve sistemin güvenirliliği artacaktır. EK Tablo 1’de API 618 piston tipli kompresörün günlük ve haftalık ve aylık muayeneler verilmiştir.

EK Tablo 1. API 618 piston tipli kompresörün günlük ve haftalık ve aylık muayeneler

Krank muhafazası ve yağ tankının yağ seviyesini kontrol edilmesi
Kompresörün giriş ve çıkış valflerinin iyi çalışmasını ve anormal sesi vermemesini kontrol edilmesi
Kompresörün silindirlerinin ve salmastra kutularının yağlamasını sağlayan yağ pompalarının (cam pompaların) yağ damla sayılarını ölçülmesi, yağ deposunundu olan yağın seviyesini kontrol edilmesi ve yağ basıncını ölçülmesi
Kompresörün titreşim ve gürültülerini kontrol edilmesi
Kompresörün yatakları, valfleri, gövdesi, silindirlerin ve krosetin sıcaklığının kontrol edilmesi
Kompresörün salmastra kutularının, gaz sızıntısını kontrol edilmesi
Elektromotorun amper, voltaj ve gücünü kontrol edilmesi
Yağ ve soğutma suyun seviyesini kontrol edilmesi
Yağ ve soğutma suyun sıcaklık ve basıncını kontrol edilmesi
Kompresör merkezi kontrol odalarında (CCR) kompresörün sıcaklık, seviye, basınç, titreşim kapasite, salgı (run-out) miktarının ölçülmesi
Kompresörün her kademesinde, gaz, yağ ve su basınç ve sıcaklığı okuması ve not edilmesi

Kompresörün iyi şekilde görev yapması için Periyodik muayenelerin (en az yılda bir kere yapılır) yapılması gerekmektedir(EK Tablo 2).

EK Tablo 2. Kompresörün iyi şekilde görev yapması için Periyodik muayenelerin

Yağ filtre muhafazaları içinde toplanana kirlilikleri tahliye edilmesi
Filtrelerin temizlenmesi ve ya gerekirse değişmesi
Yağlayıcı pompanın filtresin temizlenmesi
Salmastra kutusunun açılması ve salmastraların temizlenmesi ve gerekişe değişilmesi
Kompresöre giren gazın, filtrelerinin temizlenmesi
Soğutma soyun süzgeçlerinin temizlenmesi

Büyük bakım esnasında muayeneler ve ölçmelerin kompresörün iyi görev yapmasında ve düzenle çalışmasına neden olmaktadırlar (EK Tablo 3).

EK Tablo 3. Büyük bakım esnasında muayeneler

Salmastraların kutusunda olan parçaların boşluğun, pistonun ön ve arka tarafında olan ölü noktaların ölçülmesi silindir gömleğinin iç çapının ölçülmesi, piston ile silindir gömleğinin ortasında olan kleransların ölçülmesi ve kompresörün dokümanlarıyla kıyaslanması.
Ayrıca piston segmanları ve bant tipi segmanların olan kleransların ölçülmesi ve kompresör yataklarında olan kleransların ölçülmesi, piston rot salgı (run-out) miktarının çek edilmesi, krosetin kleransların kontrol edilmesi ve kompresörün dokümanlarıyla kıyaslanması büyük bakım esnasında gereken en önemli ölçmelerdir.
Kompresörün en önemli parçalarından olan giriş ve çıkış valflerinin yüzerinde de sızma testleri yapmamız gerekir genellikle büyük bakımlarda valfler yenilenir veya tamir olan valfler kullanılır.
Piston rotunun yüzeyinde olan kaplama zamanı varınca (piston rot çapı standardın altında olduğu zaman)tekrar kaplanmak için belli firmalara göndermemiz gerekir.

ÖZGEÇMİŞ

Akbar FAKHERNIA, 18/08/1981 tarihinde İran'ın Khoy şehrinde dünyaya geldi. İlkokul ortaokul ve lise eğitimini Khoy şehrinde tamamladı. 2006 yılında İsfahan-Mejlesi AZAD Üniversitesinde Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nü tamamladı. 2006 yılında Azar cast Demir Dokum şirketinde QC mühendisi olarak göreve başladı ve 2007 de şirketten ayrıldı. 2007den 2012 yılına kadar döner cihazların bakım ve onarım Mühendisi olarak İran'ın 2, 3, 6, 7 ve 8 Doğal Gaz Rafinerilerinde görev yaptı. En son görevi İran'ın enerji merkezi olarak adlandırılan Asalouye şehrinde SP 6,7 ve 8 Doğal Gaz Rafinerisinde, TIJD ortak şirketlerin, Toyo Engineering Corporation şirketinde (döner ve sapıt cihazların) olarak göreve etti. 2012 tarihinde Trabzon'un Karadeniz Teknik Üniversitesinde, Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansı kazandıktan sonra çalışma hayatına vedalaştı ve akademik hayatına başladı.