



**T.C.
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**PETROKİMYA SEKTÖRÜ LİKİT PETROL GAZI
DEPOLAMA ÜNİTESİNDE PATLAMA OLAYININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

İlkay YAVUZ

(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)

ANKARA-2016

**T.C.
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**PETROKİMYA SEKTÖRÜ LİKİT PETROL GAZI
DEPOLAMA ÜNİTESİNDE PATLAMA OLAYININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

İlkay YAVUZ

(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)

Tez Danışmanı

Muhammed Furkan KAHRAMAN

ANKARA-2016

T.C.
Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü

O N A Y

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü
İş Sağlığı ve Güvenliği Uzman Yardımcısı İlkay YAVUZ,
Muhammed Furkan KAHRAMAN danışmanlığında başlığı “**Petrokimya Sektörü Likit
Petrol Gazı Depolama Ünitesinde Patlama Olayının Değerlendirilmesi**” olarak teslim
edilen bu tezin savunma sınavı
22/09/2016 tarihinde yapılarak aşağıdaki jüri üyeleri tarafından “**İş Sağlığı ve Güvenliği
Uzmanlık Tezi**” olarak kabul edilmiştir.

Dr. Serhat AYRIM
Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
Müsteşar Yardımcısı
JÜRİ BAŞKANI

Tarkan ALPAY

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür V.

ÜYE

Yrd. Doç. Dr. Ercüment N. DİZDAR

Öğretim Üyesi

ÜYE

İsmail GERİM

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yrd.

ÜYE

Doç. Dr. Pınar BIÇAKCIOĞLU

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yrd.V.

ÜYE

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi olması için
gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Tarkan ALPAY
İSGGM Genel Müdür V.

TEŞEKKÜR

Çalışma hayatım ve uzmanlık tezi çalışmamı hazırlama aşamasındaki değerli katkılarından dolayı Müsteşar Yardımcımız Sayın Dr. Serhat AYRIM'a, Genel Müdürümüz Sayın Tarkan ALPAY'a, eski Genel Müdürümüz Kasım ÖZER'e, Genel Müdür Yardımcılarımız Sayın İsmail GERİM'e, Sayın Doç. Dr. Pınar BIÇAKÇIOĞLU'na, Sayın Sedat YENİDÜNYA'ya, eski Genel Müdür Yardımcımız Sayın Dr. H. Rana GÜVEN'e ve tez süreci boyunca desteği ve bana olan inancıyla beni cesaretlendiren, yol gösteren danışmanım İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı Sayın Muhammed Furkan KAHRAMAN'a, saha ziyaretlerimdeki yardımları ve tez yazım sürecinde ayırdıkları kıymetli vakit için Proses Emniyet Şefi Emine Kübra ÖZER'e ve Proses Mühendisi Volkan ÖCAL'a bana olan inançları için kıymetli aileme, her daim desteği ve anlayışı için eşim Anıl YAVUZ'a ve tüm süreçte yanımda olan kızım Beren YAVUZ'a teşekkür ederim.

ÖZET

İlkay YAVUZ

Petrokimya Sektörü Likit Petrol Gazı Depolama Ünitesinde

Patlama Olayının Değerlendirilmesi

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü

İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi

Ankara, 2016

Petrokimya endüstrisi; yangın ve patlama olayı gibi insan ölümüne sebep olabilen, çevreye ve işletmeye büyük ölçüde zarar verebilen ve ekonomik kayba yol açabilen büyük endüstriyel kazaların meydana gelebileceği bir sektördür.

Bu çalışmada, büyük endüstriyel kaza yaşanma riski bulunan ve petrokimya endüstrisinde faaliyet gösteren bir rafinerinin depolama ünitesinin Likit Petrol Gazı (LPG) depolama tankında meydana gelebilecek patlama olayının Hata Ağacı Analizi (HAA) ile kök nedenlerinin belirlenerek risk değerlendirmesinin yapılması amaçlanmaktadır.

Uluslararası çalışmalarda, petrokimya endüstrisindeki büyük endüstriyel kazaların kök nedenlerini belirlemede etkili bir yöntem olan HAA'nın yaygın olarak kullanılması ve ülkemizde bu alanda çok az çalışma bulunması sebebiyle bu çalışmada, HAA kullanılarak risk değerlendirmesi yapılmıştır. HAA ile 29 ara neden ve 35 kök neden belirlenmiştir. Kök nedenler belirlendikten sonra, Boolean Matematiği ve kök nedenlerin frekans verileri kullanılarak patlama tepe olayının frekansı (en yüksek önlem seviyesi) hesaplanmıştır. Tepe olayının kabul edilebilir risk seviyesinde olabilmesi için belirlenen nedenler doğrultusunda büyük endüstriyel kazaları önlemek ve etkilerini en aza indirmek sebebiyle bu sektördeki işletmelere teknik ve idari önlemler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Petrokimya Endüstrisinde İş Sağlığı ve Güvenliği, Büyük Endüstriyel Kaza, Risk Değerlendirmesi, Hata Ağacı Analizi, LPG Depolama Ünitesi

ABSTRACT

İlkay YAVUZ

The Assessment of Explosion Event in Liquid Petroleum Gas Storage Unit in Petrochemistry Sector

Ministry of Labor and Social Security, Directorate General of Occupational Health and Safety

Thesis for Occupational Health and Safety Expertise

Ankara, 2016

Petrochemical industry is a sector in which major industrial accidents such as fire and explosion event that can lead to human death, a great damage to environment and business, and economic loss can occur.

In this thesis, it is aimed to perform risk assessment with the determination of the root causes of explosion event through Fault Tree Analysis (FTA) method that can happen in the Liquid Petroleum Gas (LPG) storage tank belonging to a refinery's storage unit with a risk of major industrial accident operating in petrochemical industry.

In this study, risk assessment has been performed by applying FTA method because of the fact that FTA has been widely used as an effective method in the identification of root causes of major industrial accidents in petrochemical industry within the framework of international studies and that there has been little research done in the field in Turkey. Through FTA method, 29 sub-reasons and 35 root causes have been identified. After the identification of root causes, the frequency of explosion top event (the highest prevention level) has been calculated by using Boolean Mathematics and frequency data of root causes. For the top event at an acceptable risk level, in line with the causes determined, technical and administrative precautions have been proposed to the businesses in the sector to prevent major industrial accidents and minimize their effects.

Keywords: Occupational Health and Safety in Petrochemistry Industry, Major Industrial Accident, Risk Assessment, Fault Tree Analysis, LPG Storage Unit

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLoların LİSTESİ	v
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
GRAFİKLERİN LİSTESİ	ix
RESİMLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1.GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. PETROL, PETROL PROSESİ VE PETROKİMYA SEKTÖRÜ	3
2.1.1. Dünyada Petrokimya Sektörü	9
2.1.2. Türkiye’de Petrokimya Sektörü	10
2.2. BÜYÜK ENDÜSTRİYEL KAZALAR.....	12
2.2.1. Petrokimya Sektöründe Yaşanan Büyük Endüstriyel Kazalar	17
2.2.2. Yangın ve Patlama	18
2.3. RİSK DEĞERLENDİRMESİ.....	22
3. GEREÇ VE YÖNTEMLER	23
3.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE ÇALIŞMA HAKKINDA BİLGİ	23
3.1.1. Seçilen LPG Depolama Ünitesi.....	26
3.1.2. LPG Özellikleri	31
3.1.3. LPG Kaynaklı Yangın/Patlama Tipleri	32
3.2. HATA AĞACI ANALİZİ.....	34
4. BULGULAR	39
4.1. HATA AĞACI ANALİZİNİN UYGULANMASI.....	39
5. TARTIŞMA.....	78
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	92
EKLER	93
EK-1: HATA AĞACI MODELLEMESİ.....	94
EK-2: HATA AĞACI MODELLEMESİ HARFLİ GÖSTERİMİ.....	95

EK-3: HAA RAPORU	96
EK-4: BAŞLANGIÇ OLAY FREKANSLARI.....	112
EK-5: HAA REHBERİ.....	113

TABLolarIN LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. Petrol rafinerisinde bulunan temel prosesler	6
Tablo 2.2. Dünyada yaşanan büyük endüstriyel kazalar	12
Tablo 2.3. Ülkemizde yaşanan büyük endüstriyel kazalar	15
Tablo 3.1. Kazalara sebep olan en yaygın olan kimyasal maddelerin sektörlere göre dağılımı...	27
Tablo 3.2. P&ID sembolleri	29
Tablo 3.3. LPG fiziksel ve kimyasal özellikleri	31
Tablo 3.4. HAA diyagramlarında kullanılan semboller	38
Tablo 4.1. LPG tankı nodu HAZOP çalışması	40
Tablo 4.2. Hata ağacı olaylar açıklaması.....	45

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Petrolün rafinasyonunda distilasyon kolonundan alınan ürünler	4
Şekil 2.2. Yangın üçgeni	19
Şekil 2.3. Patlama beşgeni	20
Şekil 3.1. Tez çalışması aşamalarını gösteren iş akış şeması	25
Şekil 3.2. LPG tankı P&ID	28
Şekil 3.3. Yangın/patlama kazaları	32
Şekil 3.4. HAA aşamaları	37
Şekil 4.1. Hata ağacının modellenmesi	43
Şekil 4.2. Hata ağacı modellemesi harfli gösterimi	44
Şekil 4.3. Patlamaya sebep olan iki temel neden	47
Şekil 4.4. Basınçlı gaz kaçağı nedenleri	48
Şekil 4.5. Yüksek basınç nedenleri	50
Şekil 4.6. Yüksek seviye nedenleri	51
Şekil 4.7. Seviye arızası nedenleri	52
Şekil 4.8. LT1 arızası nedenleri	53
Şekil 4.9. Seviye arızası bariyer nedenleri	54
Şekil 4.10. LSHH arızası nedenleri	55
Şekil 4.11. Yanlış Operatör müdahaleleri nedenleri	56
Şekil 4.12. Operatör hatası nedenleri	57
Şekil 4.13. Operatör hatası bariyer1 nedenleri	58
Şekil 4.14. Operatör hatası bariyer2 nedenleri	59
Şekil 4.15. LT1 arızası nedenleri	60
Şekil 4.16. LSHH1 arızası nedenleri	61
Şekil 4.17. Yüksek sıcaklık nedenleri	62
Şekil 4.18. Yüksek sıcaklık bariyer1 nedenleri	63
Şekil 4.19. Yüksek sıcaklık bariyer2 nedenleri	64
Şekil 4.20. TE1 arızası nedenleri	65
Şekil 4.21. PI arızası nedenleri	66
Şekil 4.22. Bariyerlerin hata nedenleri	67
Şekil 4.23. Ateşleme kaynağı nedenleri	68

Şekil 4.24. Açık ateş nedenleri	69
Şekil 4.25. Statik elektrik nedenleri.....	70
Şekil 4.26. Tanktaki statik elektrik nedenleri.....	71
Şekil 4.27. Tanktaki topraklama hatası nedenleri.....	72
Şekil 4.28. Tanktaki statik elektrik birikimi nedenleri	73
Şekil 4.29. İnsan vücudundaki statik elektrik nedenleri.....	74
Şekil 4.30. Elektrik kaçağı nedenleri.....	75
Şekil 4.31. Yıldırım düşmesi sonucu kıvılcım nedenleri	76
Şekil 4.32. Yıldırım koruyucu hatası nedenleri.....	77

GRAFİKLERİN LİSTESİ

Grafik	Sayfa
Grafik 2.1. Dünya birincil enerji tüketim oranları, 2015	9
Grafik 2.2. Dünya birincil enerji tüketim oranları, 2035	10
Grafik 2.3. Türkiye birincil enerji tüketim oranları	11
Grafik 2.4. Türkiye enerji tüketiminin sektörel olarak dağılımı.....	11
Grafik 2.5. 2000-2012 yılları arasında AB ülkelerinde meydana gelen kaza sayılarının sektörel olarak dağılımı	17
Grafik 2.6. 2000-2012 yılları arasında AB ülkelerinde meydana gelen kaza sayılarının sektörler olarak yüzdelerle dağılımı	18
Grafik 2.7. AB ülkelerinde meydana gelen kaza türlerinin yıllara göre dağılımı	20
Grafik 2.8. 2000-2012 yılları arasında AB ülkelerinde meydana gelen kaza türlerinin yıllara göre yüzdelerle dağılımı	21
Grafik 3.1. Kazaya neden olan kimyasal madde türleri	26

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Hata Ağacı Analizi Ekip Çalışması.....	24
Resim 3.2. Çalışma Ekibi Saha Gezisi	24

SİMGELER VE KISALTMALAR

AT	Avrupa Topluluğu
BP	British Petroleum (İngiliz Petrolleri)
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions (Kaynayan Sıvı-Genleşen Buhar Patlaması)
CCPS	The Center for Chemical Process Safety (Kimyasal Proses Güvenliği Merkezi)
DCS	Distributed Control System (Dağıtılmış Kontrol Sistemleri)
HAZOP	Hazard and Operability Analysis (Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi)
LPG	Likit Petrol Gazı (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
eMARS	Major Accidents Report System (Büyük Kaza Raporlama Sistemi)
P&ID	Piping and Instrumentation Diagrams (Borulama ve Enstrüman Diyagramı)
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TPE	Ton Petrol Eşdeğeri
VCE	Vapor Cloud Explosion (Buhar Bulutu Patlaması)

1.GİRİŞ

Petrol, dünyada ve ülkemizde ekonomik kalkınma açısından önemli bir yere sahiptir. Ulaşım başta olmak üzere, elektrik üretimi, endüstri ve evsel ısınma gibi farklı alanlarda da kullanılan petrol ve petrol ürünleri, dünya toplam enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılamaktadır. Petrolün artan enerji tüketimini büyük ölçüde karşılaması ve yaygın kullanım alanları olması nedeniyle petrokimya sektörü, büyüyen ve gelişen bir sektör haline gelmiştir [1].

Petrokimya sektöründeki işyerleri; faaliyet alanı bakımından parlayıcı, patlayıcı vb. tehlikeli kimyasal maddeler ile çalışma gerektirdiğinden İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliğinde “Çok Tehlikeli” sınıfta yer almaktadır. Bu sınıfta yer alan işyerleri, hammaddeden başlayıp nihai ürüne kadar uzanan üretim ve üretilen ürünlerin depolanması gibi karmaşık ve zincirleme birçok prosesi kapsamaktadır. Bu sebeple, bu işyerleri insan sağlığı ve/veya çevre için ciddi tehlikeye yol açabilecek ve büyük maddi ve manevi kayıplara neden olabilecek yangın patlama gibi büyük endüstriyel kaza yaşanma riski taşımaktadır [2].

İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile büyük endüstriyel kaza oluşabilecek işyerleri için, risk değerlendirmesi yapılması ve işletmeye başlamadan önce işyerlerinin büyüklüğüne göre büyük kaza önleme politika belgesi veya güvenlik raporunun işveren tarafından hazırlanması yükümlülüğü getirilmiştir.

Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelikte; tehlikeli maddeler bulunduran kuruluşlarda büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve muhtemel kazaların insanlara ve çevreye olan zararlarının en aza indirilmesi amaçlanmış olup büyük kazaları önlemek ve büyük bir kazanın meydana gelmesi durumunda, bunların etkilerini çevre ve insanlara en az zarar verecek şekilde sınırlamak için gerekli tüm tedbirlerin alınması yükümlülüğü getirilmiştir. Bu Yönetmeliğe göre, Yönetmelik kapsamındaki alt ve üst seviyeli kuruluşlarda büyük endüstriyel kaza tehlikelerinin belirlenmesi ve bu tehlikelerden kaynaklanacak risklerin değerlendirilmesi amacıyla nicel yöntemlerle risk değerlendirmesi yapılması gerekmektedir. Nicel risk değerlendirmesinde, büyük endüstriyel kazalara neden olabilecek tehlikeleri belirlerken çeşitli risk değerlendirmesi yöntemleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, petrokimya tesisleri için kullanılabilir nicel risk değerlendirme yöntemlerinden biri olan HAA ile petrokimya endüstrisindeki bir işletmenin depolama ünitelerinin seçilen bir prosesinde büyük endüstriyel kazalara neden olabilecek tehlike ve riskler belirlenmiş ve kök nedenlerine inilerek hata ağacı modellenmesi yapılmıştır. Yapılan modelleme ile büyük endüstriyel kazaları önleyebilmek için bu kazalara neden olan tehlikeler detaylı olarak saptanmış ve risk değerlendirmesi sonucunda bu tehlikelerden kaynaklanabilecek risklerin ortadan kaldırılması, kaldırılamıyorsa kabul edilebilir seviyeye indirilmesi hedeflenmiştir.

Genel Bilgiler başlığı altında, dünyada ve ölkemizde petrokimya sektörü hakkında genel bilgiler, başlığı altında sunulmuştur. Bu bölümde ayrıca; büyük endüstriyel kazalar, dünyada ve ölkemizde yaşanmış örnekleri, bunların önlenmesi ve etkilerinin azaltılması amacıyla hazırlanmış ve ölkemizde yürürlükte olan mevzuat ile seçilen depolama ünitesi hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Çalışma kapsamında, işletmeye yapılan ziyaretler ile işletmede seçilen depolama ünitesine uygulanan HAA, Gereç ve Yöntemler başlığında detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen risk değerlendirme sonuçları ise Bulgular başlığı altında verilmiştir. Tartışma kısmında bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve literatürde rastlanan benzer çalışmalar karşılaştırılmış, ortak ve farklı noktalar ele alınmıştır. Son bölümde ise çalışma ile elde edilen sonuç ve tavsiyeler belirtilerek sektörde yapılacak yeni çalışmalara rehberlik etmek amaçlanmıştır. Böylece çalışılan işletmeye, bu petrokimya sektöründeki benzer tüm işletmelere ve bundan sonra benzer konuda araştırma yapacaklara öneriler getirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. PETROL, PETROL PROSESİ VE PETROKİMYA SEKTÖRÜ

Petrokimya sektörü, temel hammaddeleri olan LPG, nafta, gaz yağı, benzen ve dizel gibi petrol ürünleri veya petrol türevlerine bağlı temel girdileri kullanarak plastik, lastik, elyaf hammaddeleri ve diğer organik ara malları üreten, geniş bir üretim yelpazesine sahip, büyük ölçekli, sermaye ve teknolojinin yoğun olarak kullanıldığı bir sektördür.

Petrol sözcüğü Latince bir kelime olup “Petro” (Taş) ve “Oleum” (Yağ) kelimelerinin birleşmesiyle oluşmuştur. Petrol, başlıca hidrojen ve karbon olmak üzere; azot, oksijen ve kükürt bulunduran bir hidrokarbon bileşimidir ve normal şartlarda gaz, sıvı ve katı halde bulunabilmektedir [1].

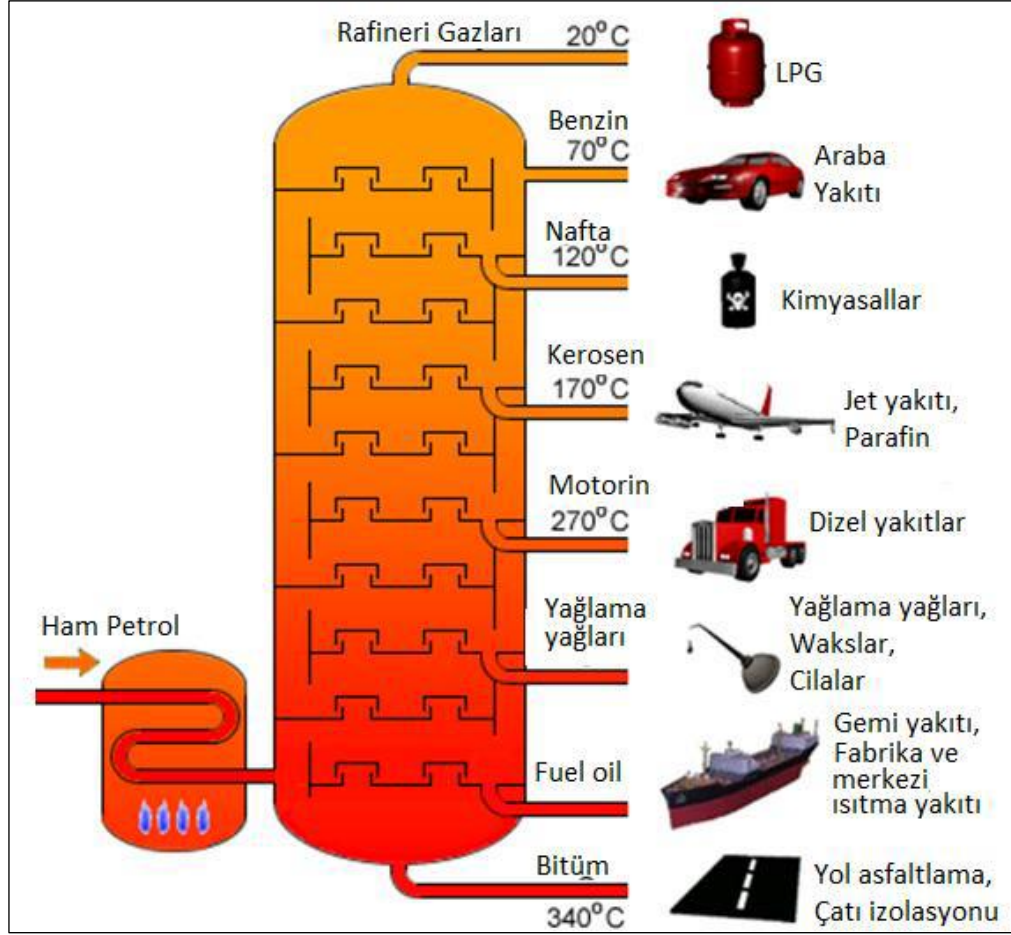
Petrol ürünlerinin ve petrokimyasalların üretimi ve rafinasyonu fiziksel değişim (ayırma operasyonları) ve kimyasal değişim (dönüşüm süreçleri) olaylarını içermektedir [2].

Ham petrol; saf bir kimyasal olmayıp, hidrokarbon gruplarının kimyasal bileşimleri, kükürtlü maddeler, su, bazik tuzlar ve mineraller bulundurmaktadır. Petrol rafinasyonunun amacı ham petrolü ayrıştırarak belli özellikleri olan, günümüzde pek çok kullandığımız tüketici ürünleri meydana getirmektir [3] .

Petrolü meydana getiren hidrokarbonların kaynama veya buharlaşma sıcaklıkları, hidrokarbonun molekül ağırlığıyla orantılı olarak artmaktadır. Bu özellik, ham petrolün ısıtıldığı sıcaklığın kontrol edilmesi suretiyle, içinden değişik molekül ağırlığında ürünlerin buharlaştırılmasını mümkün kılmaktadır. Rafinasyonun ana prensibi olan distilasyon da bu esasa dayanmaktadır. Temiz ve ucuz yakıt elde etmek amacıyla yeni teknolojiler ve rafineride kullanılan yeni donanımların dizaynı da geliştirilmektedir. Modern rafinasyonda, rafine yöntemleri fiziksel ayırma ve kimyasal geri dönüşüm olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [4].

Rafinasyon esnasında destilasyon kolonundan elde edilen ürünler elde edilme sıcaklıklarına göre belirtilmiştir (Şekil 2.1.) [5]. Rafineriye giren ham petrole uygulanan ilk işlem, ham petrolün distilasyon kolonundan geçirilmesiyle değişik yoğunluktaki kısımlarına ayrılmasıdır. Distilasyon kolonunun tabanından tepesine doğru sıcaklık azaldığından en alt kısımda en ağır hidrokarbonlar, en üst kısımda da en hafif hidrokarbonlar buharlaşır. Molekül ağırlıkları

belirli aralıklarda değişen hidrokarbonlardan meydana ürünler, kolonun değişik noktalarından alınması ve yoğunlaştırılmasıyla elde edilir.



şekil 2.1. Petrolün rafinasyonunda distilasyon kolonundan alınan ürünler [5]

Rafinasyon sırasında ham petrolden 20-70°C ayrılan propan ve bütan gazları, kolayca sıvılaştırılabilirler için geniş çapta kullanım alanına sahiptirler. Bu sıvılaştırılmış petrol gazları genellikle propan ve bütan gazı karışımı olarak, çelik tüplere doldurularak satılmaktadır. Bugün en çok kullanılan motor yakıtı olan benzin, ham petrolden kaynama noktaları 30-200°C olan hidrokarbonların ayrılmasıyla elde edilmektedir. Hafif benzinle gazyağı arasında kalan bir ağır nafta olan solvent; boya sanayinde, kuru temizlemede, ormancılıkta ve haşeratla mücadelede eritici veya çözücü madde olarak kullanılmaktadır. Metan, etan ve etilen gibi propandan daha hafif gazların sıvılaştırılmaları zor ve pahalı olduğundan, rafinerilerde veya rafineri yakınındaki tesislerde yakıt gazı olarak kullanılır [6].

Gazyağı ise kaynama noktaları 160-250°C arasında değişen hidrokarbonlardan meydana gelmektedir. İçinde bulunan kükürt bileşikleri hidrojenasyonla ayrılmaktadır. Distilasyon sırasında gazyağından sonra gelen motorin, genellikle 200-360°C arasında kaynama noktası olan hidrokarbonların ham petrolden ayrılmasıyla elde edilmektedir. Dizel motorlarında yakıt olarak; ev, sanayi ve işyerlerinde ise ısıtma yakıtı olarak da kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra buhar kazanlarında kömür yerine de kullanılmaktadır. Ham petrolün atmosfer basıncı altında distilasyonu sonucu meydana gelen dip ürün (rezidyum), fuel-oil ve makina yağlarının imalinde kullanılabilir. Bunun için rezidyum bir vakum distilasyon ünitesinde, ikinci bir distilasyona tabi tutularak, içindeki asfalt ayrıldıktan sonra elde edilen ağır motorinden daha yüksek viskoziteli ürünler kullanılmaktadır. Bu ürünler içindeki petrol mumu ayrıldıktan ve değişik çözücülerle muamele edildikten sonra, makina yağlarında kullanılan bazı ürünler elde edilmektedir [7].

Tablo 2.1.'de petrol rafinerisinde bulunan temel prosesler ve ilgili üniteleri özetlenmiştir [8, 9].

Tablo 2.1. Petrol rafinerisinde bulunan temel prosesler [8, 9]

BÖLÜMLER	İŞLEM ADI	İŞLEM	ÜNİTE	AÇIKLAMA
Fraksiyonlama (Distilasyon)	Distilasyon	Ham petrolün ısıtılarak içindeki bileşenlerin kaynama noktaları farkına göre ayrılması işlemidir.	Atmosferik Distilasyon	Atmosferik basınç altında yapılır. Ham petrol 330-360°C'ye ısıtıldıktan sonra istenen kısımlara ayrılmak üzere atmosferik distilasyon kolonuna sevk edilir. Yakıt gazı, ham LPG, nafta (ham benzin), kerosen (ham gazyağı), hafif dizel, ağır dizel ve atmosferik dip/residü gibi (ara/ham) ürünler elde edilir ve soğutularak tanklarda depolanır.
			Vakum Distilasyon	Atmosferik basınç altında ayrıştırma yapılamayan ürünleri, atmosferik dip vakum şartlarında distilasyona tabi tutarak kaynama aralığı 360-395 °C olan hafif (LVGO) ve 395-550 °C olan ağır vakum gaz oil (HVGO) ile asfaltı üretmektir.
Dönüşüm Prosesleri	Parçalanma (Krating) Prosesleri	Dönüşüm prosesleriyle hidrokarbon moleküllerinin büyüklükleri ve/veya yapıları değiştirilir. Parçalanma prosesi, ağır ve yüksek kaynama noktalı petrol fraksiyonlarının, daha değerli ürünlere dönüştürmek için uygulanan parçalama veya kırma prosesidir.	Katalitik Krating	Katalitik krating, kompleks hidrokarbonları basit moleküllere parçalayarak daha hafif ve daha çok istenen ürünlerin kalite ve miktarını artırmak ve istenmeyen kalıntıları azaltmak amacıyla uygulanmaktadır. Bu prosesle hidrokarbon bileşiklerinin moleküler yapıları yeniden düzenlenerek ağır hidrokarbonlu maddeler; gazyağı, benzin, LPG, ısıtma yağı ve petrokimyasal hammaddeler gibi daha hafif fraksiyonlu maddelere dönüştürülmektedir.
			Termal Krating	Yüksek sıcaklık ve basınçta büyük hidrokarbon moleküllerinin daha küçük moleküllere parçalanma prosesidir. Elde edilen bu ürünlerde çift bağlı ürünlerin (alken) oranı yüksektir.

Tablo 2.1. Petrol rafinerisinde bulunan temel prosesler (devam)

Dönüşüm Prosesleri	Birleşme Prosesleri	Krating prosesleriyle gaz yağlarının çoğu parçalanarak benzin ve jet yakıtına dönüşürken, benzinden daha hafif ve gaz halinde bazı hidrokarbonlar da meydana gelir. Birleşme prosesleri ile bu maddeler katalizör yardımıyla birleştirilerek yüksek molekül ağırlıklı ve yüksek oktan sayılı hidrokarbonlara dönüştürülür.	Alkilasyon	Düşük molekül ağırlıklı olefinleri (propilen ve bütilen), bir katalizör varlığında (sülfirik asit veya hidroflorik asit) izobüten ile birleştirerek alkilat üretme prosesidir. Bu işlem sonucu elde edilen ürüne ise alkilat denilmektedir. Alkilat tüm motor yakıtları için en iyi harmanlama fraksiyonudur.
			Polimerizasyon	Etilen, propilen ve bütilenin de bulunduğu hafif olefin gazları, yüksek molekül ağırlıklı ve yüksek oktan sayılı hidrokarbonlara dönüştüren prostestir. Polimerizasyon, iki veya daha fazla aynı olefin molekülünü, aynı elementleri aynı oranlarda içeren tek bir molekül halinde birleştirilmesidir.
	Değişme, Yeniden Düzenlenme Prosesleri	Moleküllerin yapılarının yeniden düzenlenmesiyle özelliklerinin geliştirilmesi (yüksek oktan) işlemidir.	İzomerizasyon	Küçük moleküllerin birleştirilmesiyle daha büyük hidrokarbon moleküllerinin oluştuğu birleştirme prosesidir. Distilasyon ve krating ünitelerinden gelen benzin yeterli oktan sayısına sahip olmadığından, katalitik reforming ve izomerizasyon prosesiyile yüksek oktanlı benzin fraksiyonlarına dönüştürülür.
			Katalitik Reforming	Katalizörlü ortamlarda çeşitli tip naftaların, yüksek oktan sayılı reformat, LPG ve hidrojen zengin gaza ve yüksek oktan sayılı benzin harmanlama stokları olacak şekilde ıslah edilmesi prosesidir. Platin katalizörün kullanıldığı bu prosteşte naftadaki düşük molekül ağırlıklı bileşenler, kimyasal madde elde etmede ve benzin harmanlama maddeleri olarak kullanılan aromatik bileşiklere dönüştürülür. Bu reaksiyonun yan ürünü hidrojen dir.

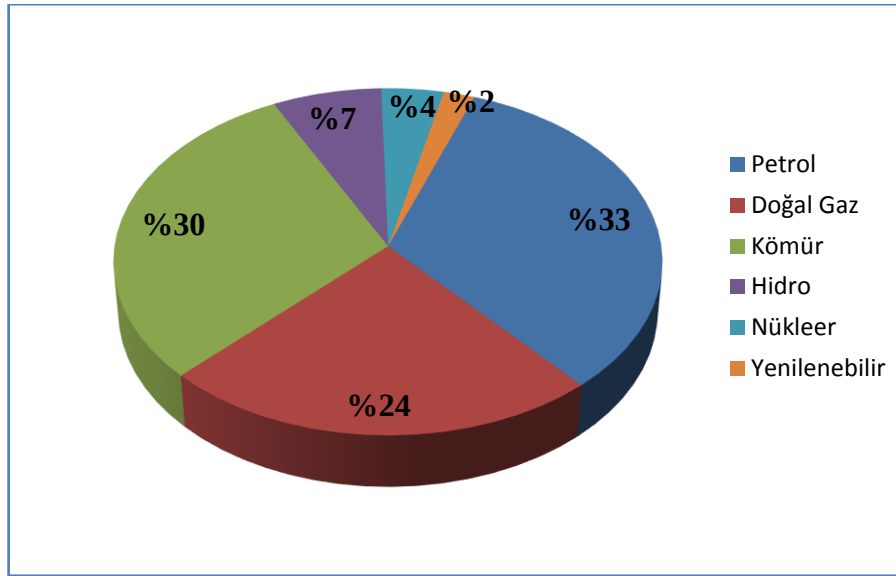
Tablo 2.1. Petrol rafinerisinde bulunan temel prosesler (devam)

İşleme Prosesi		Hidrokarbon akımlarını sonraki proseslere hazırlamak ve son ürünleri şekillendirme işlemidir. Safsızlıklar ve kirliliklerin Uzaklaştırılması kadar aromatikler ve naftenlerin ayrılması veya uzaklaştırılması da işleme işlemlerin içinde yer almaktadır. İşleme prosesleri; çözünme, absorpsiyon, çöktürme, kurutma, hidrodesülfürizasyon, solvent deasfaltering, tatlandırma, solvent ekstraksiyonu ve solvent devaksing ve benzeri kimyasal veya fiziksel ayırma şeklinde olabilmektedir.	Hidrotreating	Hidrotreating, hidrokraking prosesinin daha hafif bir versiyonudur. Hidrotreating, ayrıca, olefinleri ve aromatikleri doymuş bileşiklere dönüştürür, son ürünlerdeki asidik bileşikler azaltır, koku, renk, kararlılık ve korozyon gibi özellikleri de ıslah eder.
			Amin ile İşleme	Amin fabrikalarında acı gazdan ve hidrokarbon akımlarından asidik kirliliklerin uzaklaştırılması prosesidir.
			Tuz Giderme	Ham petrolde su, inorganik tuzlar, süspansiyon halinde katılar ve suda çözünabilen metaller bulunur. Rafinasyon prosesinde yapılması gereken ilk iş; ekipmanın korozyonunu, tıkanmasını ve bozunmasını azaltacak ve proses ünitelerindeki katalizörlerin zehirlenmesini engelleyecek önlemlerin alınmasıdır. Bu tür kirlilikler ise tuz giderme işlemiyle uzaklaştırılır.
Harmanlama	Karıştırma	Harmanlama, hidrokarbon fraksiyonlarını, katkı maddelerini ve diğer gerekli bileşikler, özel performans kriterlerinde ürünler elde etmek amacıyla birleştirme ve karıştırma işlemidir. Harmanlama rafineri Operasyonlarının en son ve kritik aşamasıdır; örneğin benzin ürünü, çeşitli proses ünitelerinden alınan komponentlerin harmanlanmasıyla elde edilir.	Hat içi Karıştırma	Hat içi (In line), karıştırma iki ya da daha fazla ürünün belirlenmiş miktarlarda enjekte edilerek sürekli karıştırma işlemi ile nihai ürün elde edilmesi işlemidir.
			Tank İçi Karıştırma	Geleneksel olan karıştırma yöntemidir. Nihai ürün depolama tankları içerisinde bulunan farklı ara ürünler karıştırılarak elde edilir.

2.1.1. Dünyada Petrokimya Sektörü

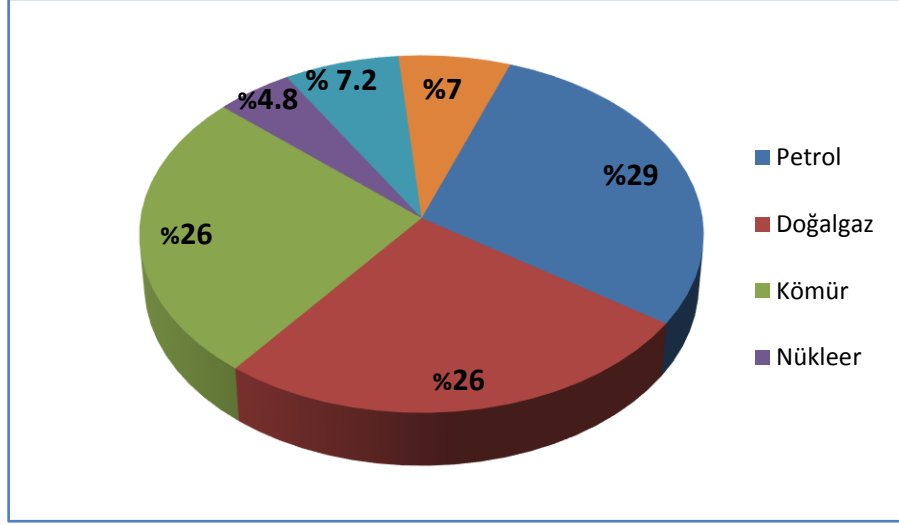
Bugün dünyada kullanılmakta olan enerji, çok sayıda enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklar, bu kaynaklar içinde %87'ye yakın bir ağırlık taşımaktadır. Petrol, özellikle ulaştırma sektörünün temel enerji kaynağı olması nedeniyle dünya birincil enerji tüketimi içinde en büyük paya sahiptir [8].

British Petroleum (BP)'un 2015 yılı Dünya Enerjisi İstatistiksel Raporu verilerine göre dünyadaki birincil enerji tüketim oranlarına bakılacak olursa, en yüksek birincil enerji tüketimi %32,7 oranı ile petrol, bunu takiben %30 oranı ile kömür ve %24 oranı ile doğal gaz olmuştur (Grafik 2.1.) [9].



Grafik 2.1. Dünya birincil enerji tüketim oranları, 2015 [9]

Bugüne kadar, çeşitli uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından yapılan çeşitli tahminlere göre, petrolün birincil enerji tüketimi içindeki payını uzun dönemde de koruyacağı öngörülmektedir (Grafik 2.2.) [10].

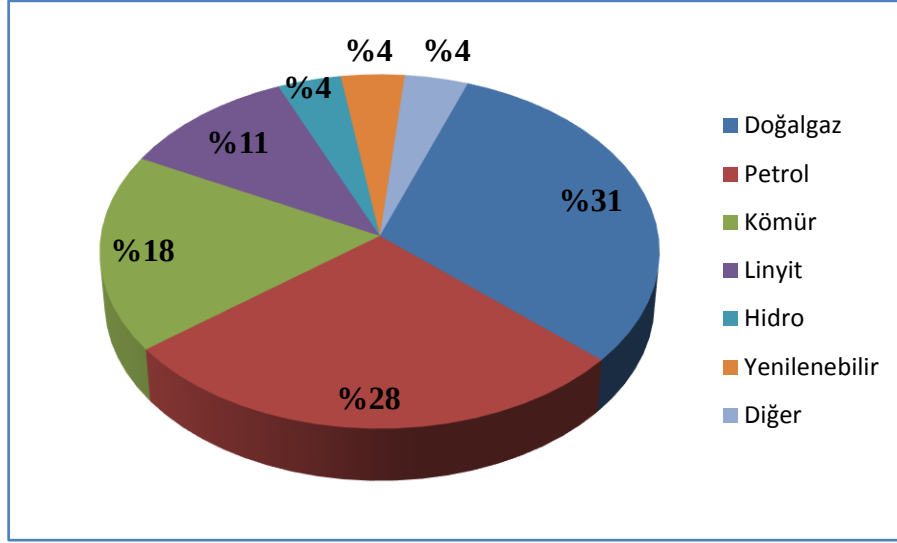


Grafik 2.2. Dünya birincil enerji tüketim oranları, 2035 [10]

2.1.2. Türkiye’de Petrokimya Sektörü

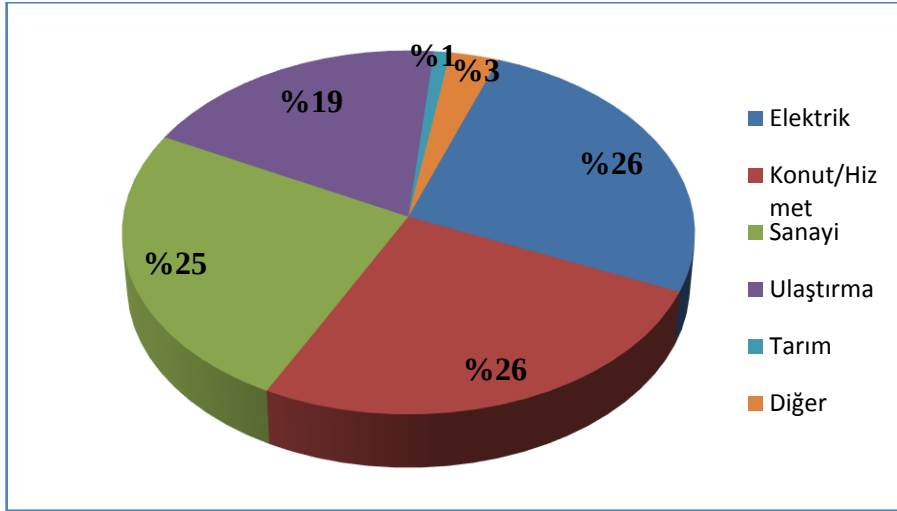
Artan nüfus, gelişen teknoloji ve ekonomik büyümeyle birlikte enerji ihtiyacı sürekli bir artış göstermektedir. Birincil enerji kaynağı olarak petrole olan ihtiyaç da sürekli artış göstermektedir. Türkiye, petrol piyasası gittikçe büyüyen bir ülke olarak son yıllarda önemli gelişmeler kaydetmiştir. Büyüyen ekonomimiz ile birlikte artan ulaştırma ihtiyacı, hızla ilerleyen altyapı yatırımları, şehirleşme ve bunlara bağlı olarak sürekli artan iç talep ile birlikte ülkemiz petrol endüstrisi bakımından büyük bir piyasa haline gelmiştir [11].

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO)’nın Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu’nda, 2013 yılında Türkiye’nin 120 milyon tpe olan birincil enerji talebinde, doğal gaz %31 ile birinci sırada yer alırken, bunu takiben petrol %28 ile ikinci sırada yer almaktadır (Grafik 2.3.) [12].



Grafik 2.3. Türkiye birincil enerji tüketim oranları [12]

Türkiye'nin birincil enerji talep tahminlerine göre 2023 yılında petrolün payında ciddi bir değişim yaşanmaması ve %26 düzeyinde kalması beklenmektedir. Buna karşılık doğal gaz tüketiminin artacak olmasına rağmen birincil enerji talebindeki payının %23'e gerileyeceği tahmin edilmektedir. Türkiye birincil enerji tüketiminin %26'sı konutlarda, %25'i sanayide, %26'sı elektrik üretiminde ve %19'u ulaştırma sektöründe kullanılmaktadır (Grafik 2.4.) [12].



Grafik 2.4. Türkiye enerji tüketiminin sektörel olarak dağılımı [12]

2.2. BÜYÜK ENDÜSTRİYEL KAZALAR

Hızla artan sanayileşme süreci ile üretimin giderek yoğunlaşması, bilimsel, sistematik ve teknolojik gelişmeler sonucu sanayide uygulanan yeni yöntemler ve kullanılan modern sistemler, önemli sağlık, güvenlik ve çevre risklerini oluşturmaya başlamıştır [13, 14].

Özellikle 20. yüzyıl başlarından itibaren tehlikeli maddelerin artan üretimi, kullanımı ve depolanması, büyük endüstriyel kaza yaşanma olasılığını büyük oranlarda arttırmıştır. Dünyada ve ülkemizde meydana gelen iş kazaları ve büyük endüstriyel kazalar, binlerce ölüm ve yaralanmaya, çevre kirliliği ile büyük maddi ve manevi kayıplara neden olmaktadır [15].

Tehlikeli kimyasal maddelerin üretimi, depolanması ve kullanımı nedeniyle dünyada ve ülkemizde yaşanan büyük endüstriyel kazaların bazıları sırasıyla, Tablo 2.2’de ve Tablo 2.3.’te belirtilmiştir [15].

Tablo 2.2. Dünyada yaşanan büyük endüstriyel kazalar [15]

YIL	YER	OLAY	HASAR
1959	Minamata, Japonya	Su yollarına cıva deşarj edilmesi	400 ölü, 2,000 yaralı
1973	Fort Wayne, Amerika Birleşik Devletleri (ABD)	Demiryolu kazası ile vinil klorür dökülmesi	4 500 tahliye
1974	Flixborough, İngiltere.	Patlamada siklohekzan açığa çıkması	23 ölü, 104 yaralı, 3 000 tahliye
1976	Seveso, İtalya	Dioksin sızıntısı	193 yaralı, 730 tahliye
1978	Los Alfaquez, İspanya	Ulaşım kazasında propilen dökülmesi	216 ölü, 200 yaralı
1978	Xilatopec, Meksika	Karayolu kazasında gaz tankeri patlaması	100 ölü, 150 yaralı
1978	Manfredonia, İtalya	Fabrikadan amonyak sızıntısı	10 000 tahliye
1979	Threemile Adası, ABD	Nükleer reaktör kazası	200 000 tahliye

Tablo 2.2. Dünyada yaşanan büyük endüstriyel kazalar (devam)

YIL	YER	OLAY	HASAR
1979	Novosbirk, Rusya	Rusya Kimya fabrikasında patlama	300 ölü
1979	Mississagua, Kanada	Demiryolu kazası ile klor ve bütanın çevreye yayılması.	200 000 tahliye
1980	Summerville, ABD	Demiryolu kazası ile fosfortriklorür dökülmesi	300 yaralı, pek çok tahliye
1980	Tocoa, Venezüella	Petrol yangını ve patlaması	145 ölü, 1 000 tahliye
1982	Taft, ABD	Patlamada kimyasallardan akrolein açığa çıkması	17 000 tahliye
1984	Sao Poulo, Brezilya	Petrol boru hattında patlama	3 ölü ve büyük çapta
1984	St. J.Ixhuatepec, Meksika	Gaz tankı patlaması	508 ölü
1984	Bhopal, Hindistan	Pestisit fabrikasından sızıntı siyan gazı	452 ölü, 4 248 yaralı, 300 000 tahliye
1986	Çernobil, Rusya	Nükleer reaktör kazası	72 500 ölü, binlerce yaralı, 200 000 tahliye
1986	Basel, İsviçre	Pestisit fabrikasında yangın Ren nehrinde kirlilik	725 ölü, 300 yaralı, 90 000 tahliye, Avrupa ülkelerine yayılma
1987	Kotka, Finlandiya	Limanda monoklorobenzen dökülmesi	Ren nehrinde kirlilik
1988	Kuzey Denizi	Petrol platformu üzerinde gaz sızıntısı, patlama ve yangını	165 ölü

Tablo 2.2. Dünyada yaşanan büyük endüstriyel kazalar (devam)

YIL	YER	OLAY	HASAR
1989	Pasadena, ABD	Petrol rafinerisi, Buhar Bulutu Patlaması ve yangını	23 ölü, 300'e yakın yaralı
1991	Körfez Savaşı, Basra Körfezi	Petrol dökülmesi	Deniz kirliliği
1992	Alaska	Petrol dökülmesi	Deniz kirliliği
2000	Enschede, Hollanda	Hollanda Havai fişek fabrikasında patlama	21 kişi hayatını kaybetti. 800 kişi yaralandı ve 1 km ² çaplı alanda 5300 kişi patlamadan ve sonuçlarından etkilendi.
2000	Baia Mare, Romanya	Yüksek konsantrasyonda siyanür içeren atık havuzunun aşırı yağışlarla yıkılması sonucu arıtılmamış siyanür atık Tuna Nehri'ne karıştı.	Nehir kirliliği
2001	Toulouse, Fransa	Gübre tesisi patlaması sonucu standart dışı amonyum nitrat yayılımı	Geniş alanda etkilenme
2004	Ghislenghien	Doğalgaz boru hattında yangın ve patlama	22 ölü, 150 yaralı
2005	Teksas, ABD	BP Rafinerisi, Buhar Bulutu Patlaması	15 ölü, 180 yaralı
2009	Jaipur, Hindistan	Petrol deposu, Buhar Bulutu Patlaması	12 ölü, 135'ten fazla yaralı
2012	Venezuela	Amuay Rafinerisi, Buhar Bulutu Patlaması	40 ölü, 80 yaralı

Tablo 2.3. Ülkemizde yaşanan büyük endüstriyel kazalar [15]

YIL	YER	OLAY	HASAR
1997	Kırıkkale-MKE	Mühimmat fabrikasında patlama	Şehrin tahliyesi ve büyük maddi hasar
1999	İzmit-TÜPRAŞ	Akaryakıt depolama tankları yangını	200 milyon dolar zarar
2002	Kocaeli-AKÇAGAZ	LPG dolum tesisinde yangın ve patlama	3 yaralı ve 3 milyon lira zarar
2004	Mersin-ATAŞ	Tank tam yüzey yangını	50 m çapında tank kullanılamaz halde
2007	İzmir-Aliaga	Boya vernik fabrikası yangını	Büyük maddi hasar
2011	Batman	LPG dolum tesisinde patlama	3 ölü ve büyük çapta maddi hasar

1974 yılında İngiltere'nin Flixborough kasabasında gerçekleşen 23 kişinin öldüğü, 104 kişinin yaralandığı patlama olayında, kazaların önlenmesine yönelik tedbirlerin alınması gerekliliği anlaşılmış ve önce İngiltere'de başlayan ve daha sonra dünya genelinde bu konuda bilinç ve önem artmıştır. Flixborough'dan iki yıl sonra, 1976 yılında İtalya'nın Seveso kentindeki bir kimya fabrikasından çevreye çok yüksek dozda dioksin kimyasal maddesinin salınımı ile meydana gelen felaket, kimya ve petrokimya sektöründe meydana gelebilecek kazaların içerdiği tehlike ve boyutları hakkında ciddi bir farkındalık oluşturmuş ve bu tür kazaların önlenmesi için ciddi tedbirlerin gerekli olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır. Avrupa Birliği (AB)'nin bu konuda, başlatmış olduğu çalışmalar sonrasında kazaların önlenmesine yönelik olarak çıkarılan düzenlemeler Seveso Direktifleri olarak adlandırılmıştır. Bu doğrultuda da, Avrupa Topluluğu (AT) 1982 yılında, bu ciddi kazayı takiben endüstriyel kazaları önlemek ve olası endüstriyel kazaların zararlı etkilerini azaltmak amacıyla 82/501/AT Seveso I Direktifini yayımlamıştır. Bu başlangıç Direktif ile özellikle petrokimya tesisleri gibi büyük kimyasal işletmelerde, büyük kazaların meydana gelmeden önce önlenmesi ve eğer bu tip kazaları

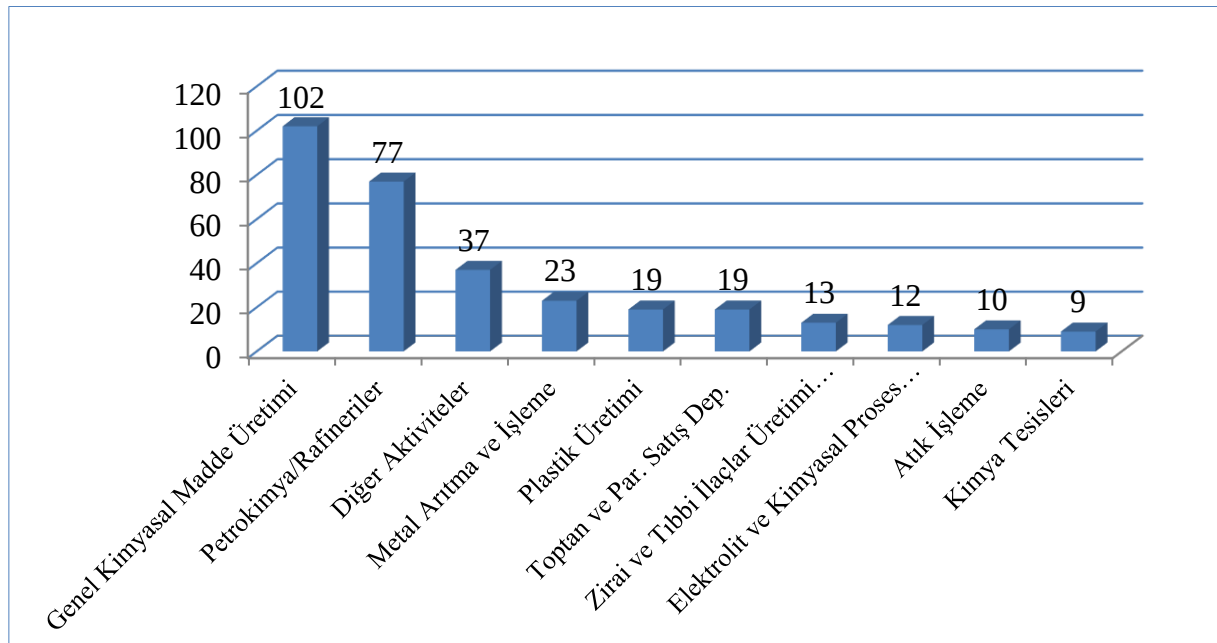
önlemek mümkün değil ise, kazaların olumsuz etkilerinin sınırlandırılması amaçlanmıştır [14, 16].

1984 yılında yaşanan Mexico City ve Bhopal kazalarının ardından, Flixborough ve Seveso kazaların yaşanması sonucunda, kimya ve petrokimya sektöründe kazaların önlenmesi konusunda yayımlanmış olan Seveso I Direktifinin ve yapılan çalışmaların yeterli olmadığı anlaşılmıştır. 1984'te ABD'nin Mexico City şehrinde, sıvılaştırılmış petrol işleme fabrikasında meydana gelen patlama ve sonrasındaki yangın sonucunda 452 ölü, 4 248 yaralı, yine aynı yıl içerisinde Hindistan'ın Bhopal kentinde bir kimya fabrikasından gaz sızıntısı sonrasında 72 500 kişi ölmüş, binlerce kişi yaralanmıştır. Bunun sonucunda, 1996 yılında Tehlikeli Maddeleri İçeren Büyük Kaza Risklerinin Kontrolüne İlişkin Direktif olan 96/82/AT Seveso II Direktifi yayımlanmıştır. Bu yeni Direktifin temel amacı; AB'ye üye veya üye adayı ülkelerde büyük endüstriyel kazaların önlenmesine yönelik yeni bir sistematik yapı oluşturmak ve bu sayede kazaların insanları ve çevreyi etkileyen sınırlar içindeki ve sınırları aşan etkilerini en aza indirmek olarak belirlenmiştir [14, 15].

AB'ye uyum sürecinde 96/82/AT sayılı SEVESO II Direktifine göre ulusal mevzuatımıza uyumlaştırılmış Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi Ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik, 30/12/2013 tarih ve 28867 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Yönetmelikle, tehlikeli maddeler bulunduran kuruluşlarda büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve muhtemel kazaların insanlara ve çevreye olan zararlarını en aza indirmek için, yüksek seviyede, etkili ve sürekli korumayı sağlamak üzere alınması gereken önlemler ile ilgili usul ve esasları belirlemek amaçlanmıştır. Yönetmelikte büyük endüstriyel kaza, *“Herhangi bir kuruluşun işletilmesi esnasında, kontrolsüz gelişmelerden kaynaklanan ve kuruluş içinde veya dışında çevre ve/veya insan sağlığı için anında veya daha sonra ciddi tehlikeye yol açabilen bir veya birden fazla tehlikeli maddenin sebep olduğu büyük bir yayılım, yangın veya patlama olayı”* olarak tanımlanmıştır [17].

2.2.1. Petrokimya Sektöründe Yaşanan Büyük Endüstriyel Kazalar

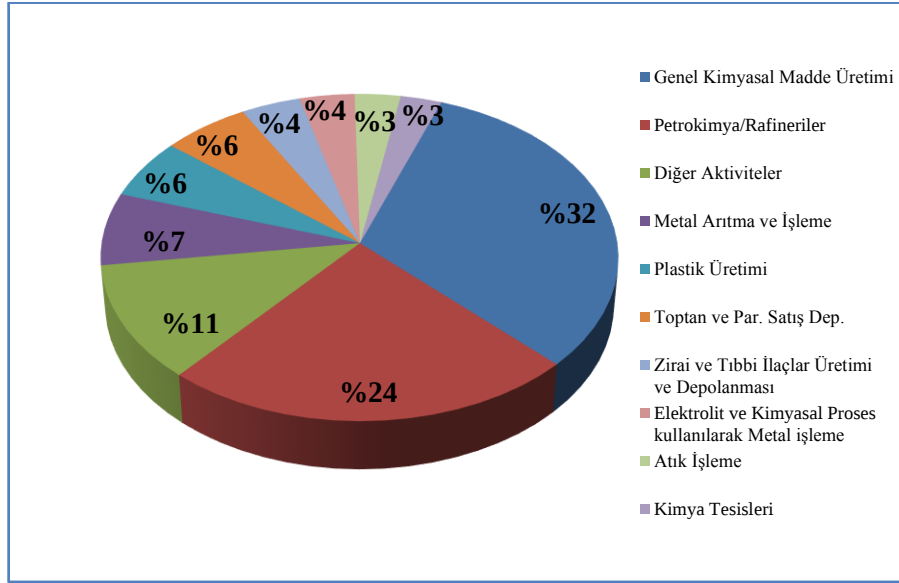
Dünya üzerinde, üretim sektörleri arasında en büyük paya sahip olan petrol ve petrokimya endüstrileri, diğer birçok endüstriden çok daha tehlikeli olup yüksek riskli endüstriler arasında yer almaktadır. Çünkü bu sektörlerin hammaddeleri, ara ve nihai ürünleri, yanıcı, parlayıcı ve patlayıcı maddelerdir. Yanıcı, patlayıcı veya toksik kimyasalların depolanması ve kullanılması büyük endüstriyel kazaların olma ihtimalini artırmaktadır. Kullanılan hammaddelerin patlama ve yanmaya potansiyel kimyasal yapıları ve yüksek hacimli miktarlarda depolanmaları nedeniyle petrokimya sektöründe meydana gelen kazalar diğer sektörler ile karşılaştırıldığında daha ağır sonuçlar doğurabilmektedir. Petrokimya sektöründe, tüm bu sebepler nedeniyle sık sık kazalar yaşanabilmekte ve bu kazalar çevre ve insan sağlığı açısından çok büyük ve ciddi zararlar verebilmektedir [16].



Grafik 2.5. 2000-2012 yılları arasında AB ülkelerinde meydana gelen kaza sayılarının sektörel olarak dağılımı [18]

2000-2012 yıllarını kapsayan 13 yıllık dönem içerisinde AB Seveso Direktifi kuralları çerçevesinde oluşturulan eMARS Raporlama Sisteminde bildirilen kaza sayılarının, sektörler göre dağılımı Grafik 2.5.'te görülmektedir. Meydana gelen toplam 321 kazadan 77'si petrokimya sektöründe meydana gelmiştir [18].

13 yıllık dönem içerisinde AB ülkelerinde meydana gelen kaza sayılarının sektörler olarak yüzdelik dağılımına bakılacak olursa, meydana gelen toplam 321 kazadan %24'ü petrokimya sektöründe yaşanmıştır. Petrokimya sektörü, incelenen tüm sektörler içerisinde meydana gelen kaza sayıları arasında 2'nci sırada yer almaktadır (Grafik 2.5. ve Grafik 2.6.) [18].



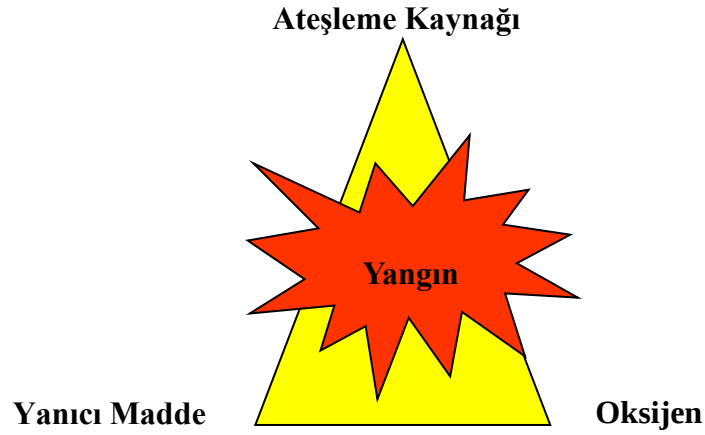
Grafik 2.6. 2000-2012 yılları arasında AB ülkelerinde meydana gelen kaza sayılarının sektörler olarak yüzdelik dağılımı [18]

2.2.2. Yangın ve Patlama

Yüksek sıcaklık ve basınç altında devam eden üretim süreci ve depolama prosesleri sırasında meydana gelen yangın ve patlamalar, petrokimya sektöründe en sık yaşanan kaza türlerindendir. Yangın ve patlamalara ek olarak nadir de olsa sektörde görülen sızıntı olayı, ağır sonuçlar doğuran bir kaza türüdür. Kimyasal sızıntılar, insan ölüm ve yaralanmalarına ek olarak, diğer canlıların kaybına ve yaşam alanının kirlenmesine de neden olacak ciddi sonuçlar doğurabilmektedir.

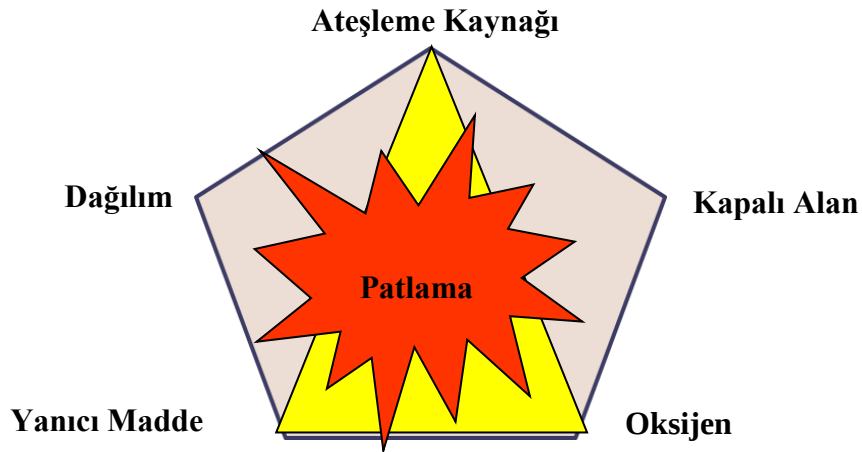
Yanma, yanıcı maddelerin belirli bir ısı seviyesinde oksijenle birleşmesi sonucu oluşan kimyasal bir olaydır. Yangın olayının üç temel bileşeni vardır. Bunlar yanıcı madde, oksijen ve ateşleme kaynağıdır (Şekil 2.2.). Bunlardan herhangi birisi olmazsa yangın olayı gerçekleşmez. Bir kimyasal maddenin yangına yol açma potansiyeli, o maddenin

alevlenebilirlik özelliği dikkate alınarak değerdendirilir. Maddenin alevlenebilirlik özelliğini, parlama noktası, tutuşma limiti ve tutuşma sıcaklığı belirler [13, 16].



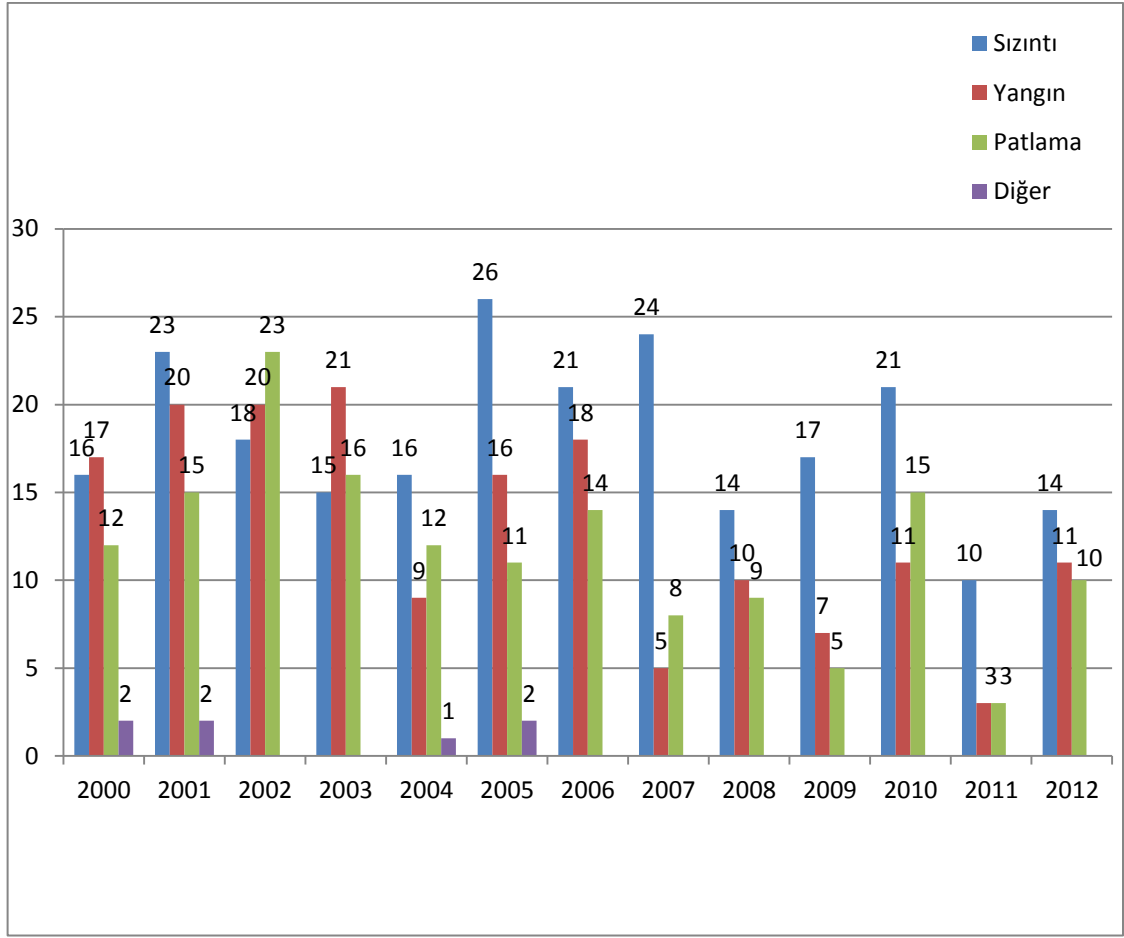
Şekil 2.2. Yangın üçgeni [13]

Patlama ise ideal karışımda tutuşan parlayıcı maddenin çok hızlı ve kontrolsüz bir şekilde enerji ačíđa çıkarmasıdır. Aynı ortamda, yeterli miktarda ve uygun dağılımda yanıcı malzeme (gaz, buhar, toz vb.), yeterli oksijen ve ateşleme kaynağı olması durumunda patlama ve parlama olayı meydana gelir (Şekil 2.3.) [13].



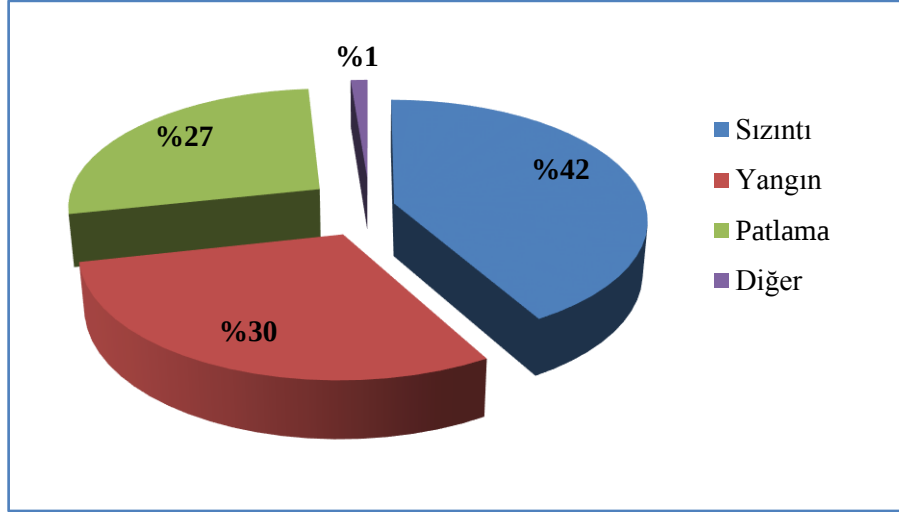
Şekil 2.3. Patlama beşgeni [13]

2000-2012 yıllarını kapsayan 13 yıllık dönem içerisinde AB Seveso Direktifi kuralları çerçevesinde oluşturulan eMARS Raporlama Sisteminde bildirilen kaza türlerinin yıllara göre dağılımını Grafik 2.7.'te görölmektedir [18].



Grafik 2.7. AB ülkelerinde meydana gelen kaza türlerinin yıllara göre dağılımı [18]

2000-2012 yılları arasında meydana gelen toplam 563 adet kaza arasından 235’inde sızıntı, 168’inde yangın ve 153’ünde patlama olayı yaşanmıştır. Yaşanan tüm kazalar arasında yangın olayı %30, patlama olayı %28 ve sızıntı olayı da %42 oranında meydana gelmiştir (Grafik 2.8.) [18].



Grafik 2.8. 2000-2012 yılları arasında AB ülkelerinde meydana gelen kaza türlerin yıllara göre yüzdelik olarak dağılımı [18]

İstatistikler petrokimya sektörünün kazaya potansiyel yapısını ve en çok kazanın meydana geldiği sektörler arasında olduğunu göstermekte ve yangın ve patlama olayı, petrokimya sektöründe en sık meydana gelen kaza türleri arasında olduğunu ortaya koymaktadır.

2.3. RİSK DEĞERLENDİRMESİ

İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununda ve 29/12/2012 tarihli ve 28512 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğinde risk değerlendirmesi, *“İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalar”* olarak tanımlanmaktadır [19, 20].

İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğine göre risk değerlendirmesi; tüm işyerleri için tasarım veya kuruluş aşamasından başlamak üzere tehlikeleri tanımlama, riskleri belirleme ve analiz etme, risk kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması, dokümantasyon, yapılan çalışmaların güncellenmesi ve gerektiğinde yenileme aşamaları izlenerek gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Risk değerlendirmesi gerçekleştirilirken ihtiyaç duyulan her aşamada çalışanların sürece katılarak görüşlerinin alınmasının sağlanması zorunludur [15, 20].

Risk değerlendirmesinde temel amaç, işyerlerindeki çalışma koşullarından kaynaklanan her türlü tehlike ve sağlık riski dikkate alınarak iş sağlığı ve güvenliği yönünden çalışma ortamının ve çalışanların sağlık ve güvenliğinin sağlanması, sürdürülmesi ve geliştirilmesi için tehlikelerin tanımlanması, risklerin belirlenmesi, analiz edilmesi ve risk kontrol tedbirlerinin alınmasıdır [20].

3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

3.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE ÇALIŞMA HAKKINDA BİLGİ

Bu çalışmanın amacı, kök neden analizi yöntemlerinden biri olan HAA ile büyük kaza senaryosu oluşturmaktır. Çalışma için, Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik kapsamında üst seviyeli kuruluş olarak değerlendirilen bir petrokimya rafinerisi seçilmiştir. Seçilen rafineride, patlama olayının yaşanma tehlikesinin bulunduğu “LPG Depolama Ünitesi” belirlenmiştir.

HAA kullanılarak tesiste kritik öneme sahip LPG depolama ünitesinde patlama olayına neden olabilecek tüm nedenler tespit edilmiş ve kök nedenlere inilmiştir.

19 Haziran 2015 tarihinde, işletme ziyaret edilerek çalışmanın amacını belirtmek ve neler yapılacağı hakkında bilgi vermek için ön görüşme gerçekleştirilmiştir. Bu görüşmede işletme ile birlikte çalışma planı ve süreç belirlenmiştir. Daha sonra 21 Eylül 2015 tarihinde işletmeye bir ön inceleme ziyareti yapılmıştır. Ön inceleme sonucunda, çalışmanın gerçekleştirileceği ünite olarak, Proses Emniyet Şefi ve Proses Mühendisi ile birlikte patlama olayının meydana gelme olasılığının en fazla olduğu LPG depolama ünitesi seçilmiştir. Daha sonra Proses Mühendisi tarafından, ünitenin amacı ve depolama prosesi anlatılmıştır. Ardından Proses Mühendisi ile birlikte depolama ünitesini görmek ve tankları tanımak amacıyla saha ziyareti yapılmıştır. Seçilen ünite gözlemlendikten sonra çalışmanın gerçekleştirileceği tarih belirlenmiştir.

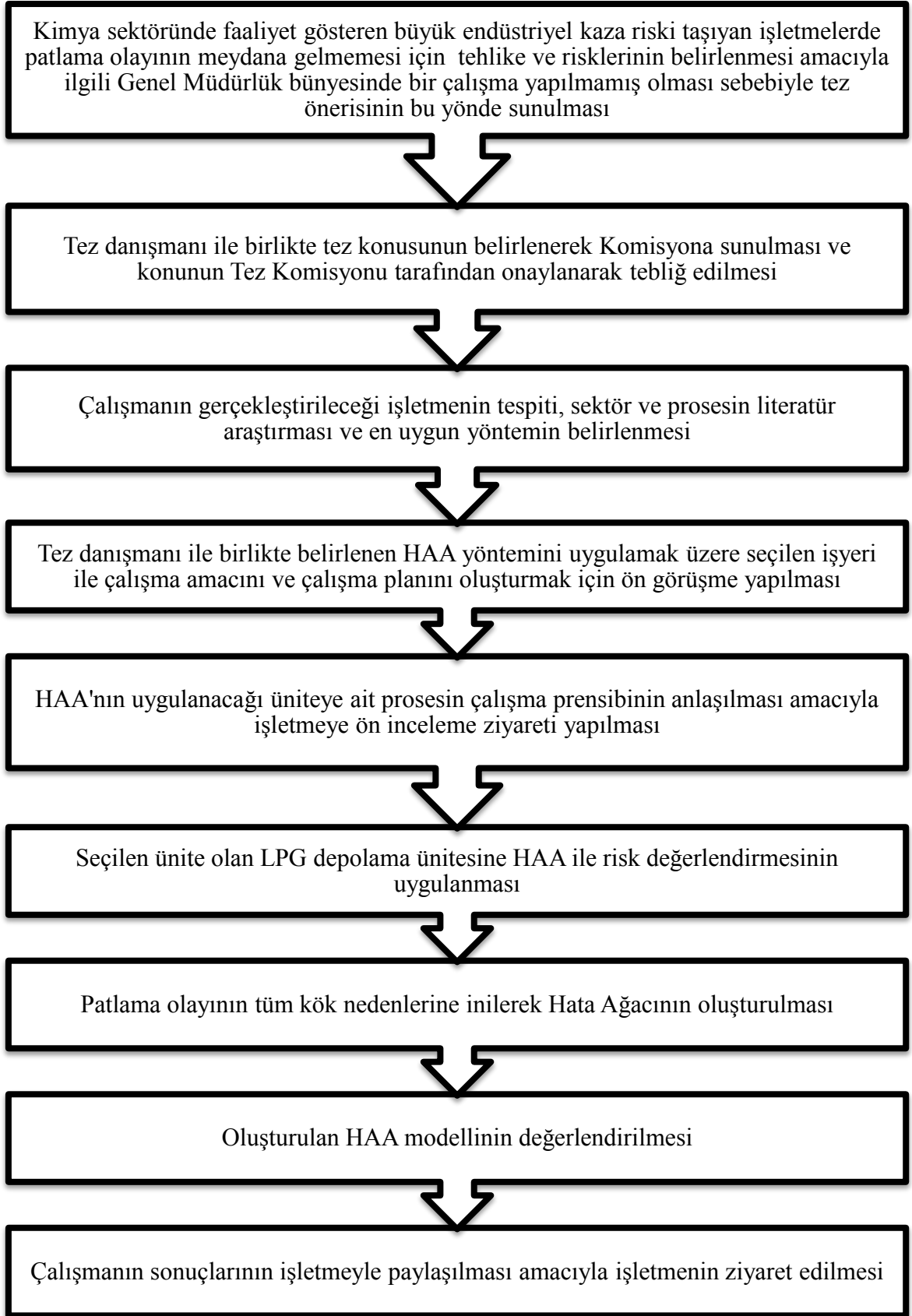
Seçilen ünite olan LPG depolama ünitesine ait HAA çalışması, Proses Emniyet Şefi ve Proses Mühendisinin yer aldığı çalışma ekibi ile 22-26 Kasım 2015 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Birinci gün çalışmanın yapılacağı LPG depolama ünitesinin LPG tank P&ID’si incelenmiştir (Resim 3.1.). İnceleme sonrasında saha gezilmiş ve depolama ünitesindeki LPG tankında bulunan ekipmanlar sahadaki yerleşimleri ile birlikte bir kez daha görülmüştür (Resim 3.2.). İkinci gün, HAA ilgili üniteye uygulanmaya başlanmış ve P&ID üzerinde bulunan tüm ekipmanların patlamaya neden olabilecek tüm hata modları belirlenmiştir. Hata modlarıyla patlamaya sebep olabilecek kök nedenler tespit edilmiştir. Yapılan tez çalışmasının bütün aşamalarına ait iş akış şeması Şekil 3.1.’de sunulmaktadır.



Resim 3.1. Hata ağacı analizi ekip çalışması



Resim 3.2. Çalışma ekibi ile saha gezisi

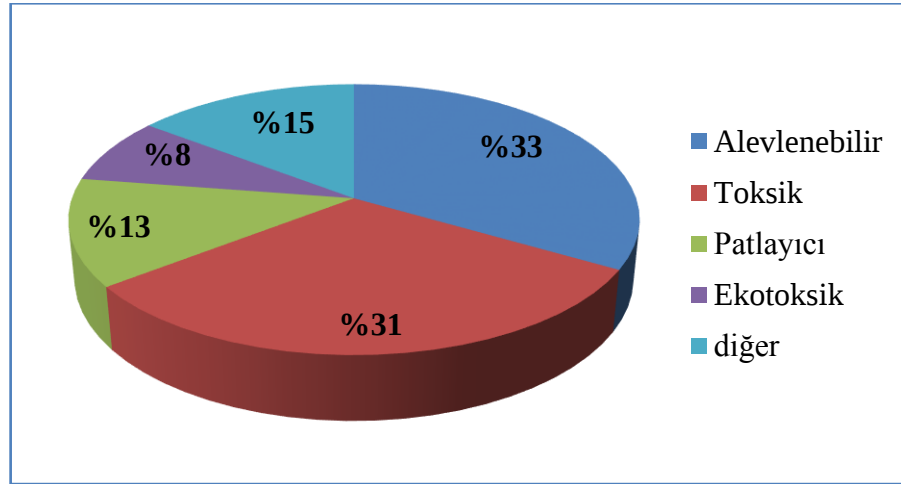


Şekil 3.1. Tez çalışması aşamalarını gösteren iş akış şeması

3.1.1. Seçilen LPG Depolama Ünitesi

Petrokimya sektöründe, alevlenebilir, patlayıcı ve toksik vb. yangın ve patlamaya neden olabilecek kimyasal maddeler depolama tanklarında depolanmaktadır. Depolama tanklarında, büyük miktarlarda üretilen tehlikeli maddelerin büyük hacimlerde depolanması sebebiyle yangın ve patlama gibi büyük endüstriyel kazalar sık görülmektedir [21].

Depolama tankları, alevlenebilir sıvılar ve patlayıcı hava-buhar karışımları vb. maddeler içerir. Petrokimya sektöründe, AB Seveso Direktifi kuralları çerçevesinde oluşturulan eMARS Raporlama Sisteminde yangın ve patlama olayına neden olan kimyasal maddelerin türleri ve oranları Grafik 3.1.'de verilmiştir [22].



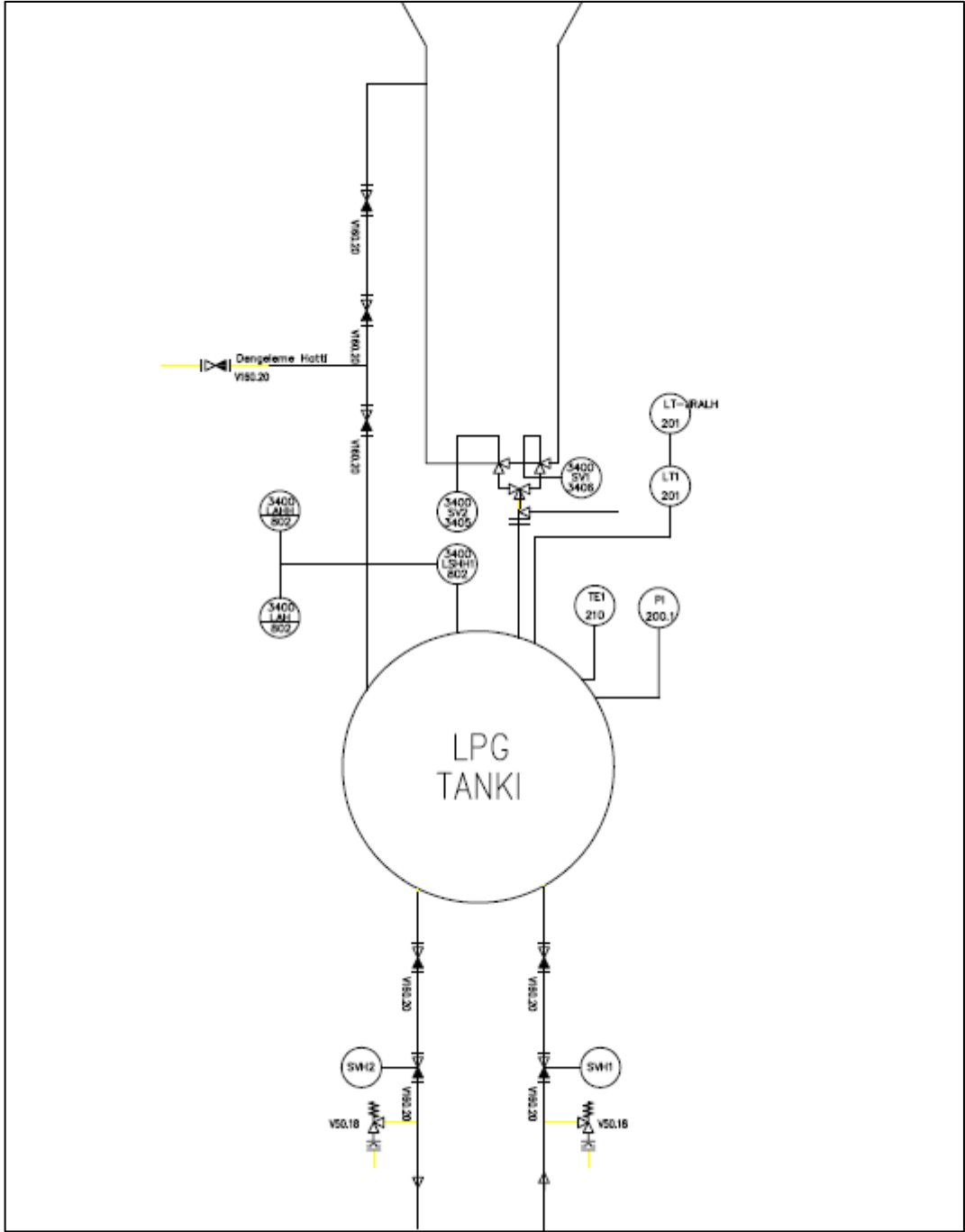
Grafik 3.1. Kazaya neden olan kimyasal madde türleri [22]

İstatistiklere bakıldığında, petrokimya endüstrisinde yangın ve patlama olayı, en sık ikinci sırada yer alan LPG tanklarında görülmektedir (Tablo 3.1.) [22].

Tablo 3.1. Kazalara neden olan kimyasal maddelerin sektörlere göre dağılımı [22]

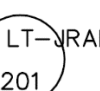
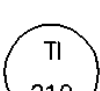
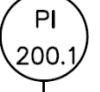
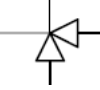
Sektör	LPG	Ham Petrol & Nafta	HCL	Doğalgaz	CL ₂	NH ₃	Solventler
Genel Kimyasal Madde Üretimi	8	2	9	1	7	1	5
Petrokimya	14	20	0	3	0	1	0
Toptan ve Per. Satış Dep.	7	4	0	0	1	0	3
Metal Arıtma ve İşleme	4	0	1	2	1	0	0
Plastik Üretimi	3	0	1	0	0	0	0
Zirai ve Tıbbi İlaçlar Üretimi ve Depolanması	0	0	2	0	0	0	0
Enerji Üretim ve Dağıtım	1	0	1	7	0	0	0
Yiyecek-İçecek	0	0	1	0	0	5	2
Tarım	0	0	0	0	0	3	0
Atık İşleme	1	0	0	0	1	0	0
Fuar-Eğlence	1	0	0	0	3	2	0
Elektronik	0	0	1	0	0	0	0
İnşaat	1	0	1	0	0	0	0
TOPLAM	39	26	17	13	12	12	9

Bu çalışma kapsamında, depolama ünitesinin, LPG depolama tank ünitesi incelenmiştir. İncelenen LPG depolama ünitesine ait Borulandırma ve Enstrüman Diyagramları (P&ID) Şekil 3.2.'de P&ID sembolleri de Tablo 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. LPG tankı P&ID

Tablo 3.2. P&ID sembolleri

SEMBOL	TANIM
	Güvenlik Valfi
	Çok Yüksek Seviye Alarmı
	Yüksek Seviye Alarmı
	Çok Yüksek Seviye Alarmı
	Hidrolik Güvenlik Valfi
	Sıcaklık Ölçer
	Seviye Ölçer
	Sıcaklık Göstergesi
	Valf
	Basınç Göstergesi
	Güvenlik Vanası

Üretim hattında depolanmaya hazır hale gelen LPG, P&ID’de de görülebileceği gibi boru hatları ile basınçlı küresel tanklara aktarılır. P&ID’si verilen ve üzerinde çalışma yürütülen tank 3 000 m³ kapasiteli küresel bir basınçlı tanktır. Küresel tankın maksimum dolum seviyesi 15 m olarak belirlenmiş ve maksimum depolama kapasitesi de 1395 ton LPG alacak şekildedir.

Üretim hattından veya LPG tanklarından yapılan LPG transferi, tankın alt bölgesinde bulunan ve elle kontrol edilen hidrolik valfler ile kontrolü sağlanarak yapılmaktadır. LPG tankında bulunan seviye ölçer sensörler ile Dağıtılmış Kontrol Sistemi(DCS) odasından seviye kontrolleri sürekli olarak yapılmaktadır.

Operatör, transfer işlemleri sırasında, LPG pompa istasyonunda kontrol noktasında bulunur ve telsiz ile kontrol odası ile iletişim halindedir. Devir daim hatları, tankın seviye kontrolleri için kullanılır. Devir daim hatları, diğer LPG tankları ile bağlantı kurar ve transfer işlemleri boyunca açıktır.

LPG tanklarında bulunan siviçler ve sensörler yardımı ile transfer işlemi boyunca tüm süreç izlenebilir durumdadır. LPG tankında transfer işleminin güvenli olarak devam etmesi için yüksek seviye siviçi ve tehlikeli bir durum oluştuğunda alarm veren yüksek seviye alarmı mevcuttur. LPG tank basıncı işlem boyunca 4,5-5 bar aralığında çalışması gerekmektedir. Transfer işlemi boyunca LPG tankının dibinde bulunan basınç ölçer sensörler ile basınç değerleri sürekli ölçülerek görüntülenebilir. Bu alınan basınç değerleri aynı zamanda DCS ile kontrol odasına iletilir. Basınç artışı durumunda, sistemin güvenliğini sağlamak için basınç tahliye sisteminde 3 yollu vana ile anahtarlanmış iki tahliye vanası bulunmaktadır.

Ayrıca tanktaki sızıntıları tespit edebilmek için, hidrokarbon dedektörler tankta yer almaktadır. Eğer bir hidrokarbon kaçağı olduğu dedektörler tarafından tespit edilirse, spring sistemi otomatik olarak devreye girer.

3.1.2. LPG Özellikleri

1900'lerin başında keşfedilen LPG; ham petrolün damıtılması veya doğalgazın ayrışması sırasında elde edilen ve sonradan basınç altında sıvılaştırılan, genel formülü C_2H_{2n+2} olarak bilinen başlıca propan, bütan ve izomerleri gibi hidrokarbonların karışımıdır. Genellikle, başta propan ile bütan olmak üzere, izo-bütan, propilen ve daha az oranlarda etilen, etan, pentan içerebilen hidrokarbonlar karışımının sıvılaştırılmasıyla kullanılır [4]. Ticari kullanımda genel olarak sıvılaştırılmış petrol gazları yaklaşık %70 propan (C_3H_8) ve %30 bütan (C_4H_{10})'dan oluşur.

LPG; renksiz, kokusuz ve havadan 1,5 kat daha yoğun bir gazdır. Oda sıcaklığı ve normal şartlar ($15^{\circ}C$ ve 1 atm basınçta) altında gaz halinde olup basınç uygulandığında sıvılaşır. Sıvılaştırıldığında hacmi önemli ölçüde azaldığından, taşıma, depolama vb. işlemler sıvı haldeyken yapılır. Basınç kaldırıldığında çevreden aldığı ısı ile gaz haline dönüşerek kullanılır. Sıvı halden gaz haline geçiş sırasında hacmi yaklaşık olarak $250^{\circ}C$ 'de 240-270 kat artar. Sıvı fazda taşınabilen, ölçülebilen ve depolanabilen LPG, gaz fazda tüketime sunulmaktadır [5, 23].

Seçilen işletmeden alınan LPG'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.3.'te verilmektedir.

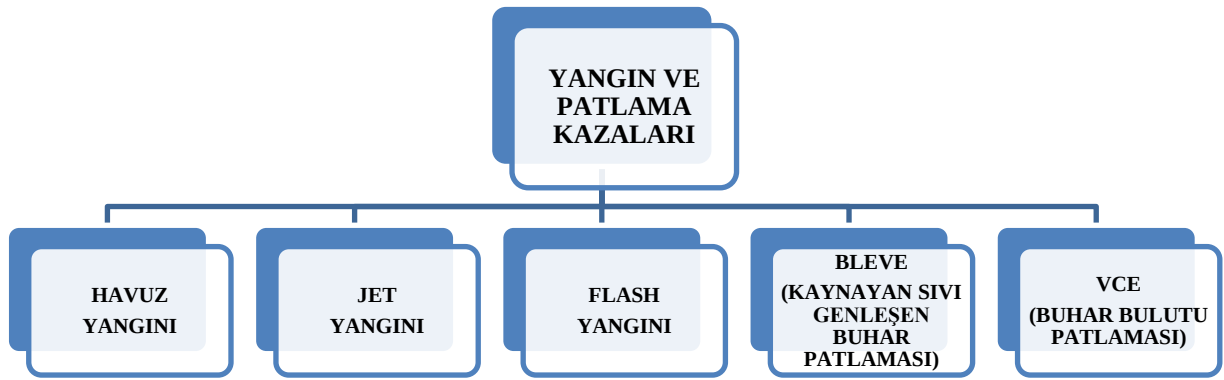
Tablo 3.3. LPG fiziksel ve kimyasal özellikleri

CAS Numarası	68476-85-7	
	BİRİM	DEĞER
Fiziksel Durum (basınç altında)	-	Sıvı
Yoğunluk ($15^{\circ}C$ 'de)	kg/m ³	550
Buhar Basıncı	kPa	< 1,430
Alt Patlama Limiti	% hacim	2
Üst Patlama Limiti	% hacim	9
Alevlenme Noktası	$^{\circ}C$	-100
Özellikleri:	Kolay alevlenir. Çevre sıcaklığında hava ile patlayıcı karışım oluşturur. Gaz halde havadan ağırdır.	

3.1.3. LPG Kaynaklı Yangın/Patlama Tipleri

LPG basınç altında sıvılaştırılarak taşındığı ve depolandığı için sonuçları son derece yıkıcı olabilecek yangın ve patlama riski taşımaktadır.

Petrokimya sektöründe yaygın olarak görülen kaza çeşitleri, Havuz Yangını, Jet Yangını, Flaş Yangını, Kaynayan Sıvı Genleşen Buhar Patlaması (BLEVE) ve Buhar Bulutu Patlaması (VCE) ele alınmaktadır (Şekil 3.3.)



Şekil 3.3. Yangın/patlama kazaları

3.1.3.1. Havuz Yangını

Havuz tipi yangın ham petrolün veya petrol esaslı yanıcıların tanktan sızması ve tutuşması sonucunda meydana gelir. Çok büyük hacimli yüzer tavanlı tankların tutuşması bu yangın tipine örnek verilebilir. Burada yanıcı madde çok fazladır ve yangın devam ettikçe artan ısı yangını kuvvetlendirdiği için şiddetini artırır [24].

3.1.3.2. Jet Yangını

Kapalı tank veya hat içerisinde bulunan çok miktardaki yanıcı ve patlayıcı kimyasal maddenin herhangi bir kaçak, boru çatlağı, vana/conta sızıntısı vb. nedenlerden sızması sonrası tutuşma olarak görülen bir yangın türüdür. Daha çok yanıcı parlayıcı sıvıların ve gazların boru içinde

belli bir basınçla nakledilmesi esnasında borunun veya eklentilerinin herhangi bir yerinde basınçla çıkan sıvı ya da gazın tutuşması şeklinde oluşur [24, 25].

3.1.3.3. Flaş Yangını

Hava ile yanıcı bir maddenin(yanıcı gazlar, aerosol, spreyler vb.) karışması sonucunda ortaya çıkan yangın türüdür. Kısa süreli yüksek sıcaklıkta hızlı alevler ortaya çıkmaktadır [26].

3.1.3.4. BLEVE

BLEVE, kaynama noktasının üzerinde bir sıcaklıkta ve basınç altında sıvı içeren bir tankın feci bir şekilde patlamasıyla meydana gelir. Tank patlayınca; basınç, hızla atmosfer basıncı seviyesine düşer ve sıcak sıvı hızla buharlaşarak büyük miktarda buhar oluşturur. Hasar, açığa çıkan buharın hızla genişlemesinin meydana getirdiği basınç dalgası ve çevreye yayılan tank ve boru parçaları nedeniyle gerçekleşir. Malzeme parlayıcı ise, tutuşabilir ve büyük bir ateş topu oluşturabilir [27].

BLEVE; tanktaki aşırı basınç, basınçlı bir kabın mekanik bir etki ya da korozyon nedeniyle hasar görmesi veya basınçlı bir kabın dışarıda oluşan bir yangına maruz kalması gibi birçok nedenden meydana gelebilir. Buhar bölgesi dışarıda oluşmuş bir yangının alevlerine maruz kalmış bir tank tasarım basıncının altında patlayarak BLEVE'ye neden olabilir. Alevler metali ısıtarak zayıflatır ve patlamasına neden olur [27].

3.1.3.5. VCE

Yeterli miktarda parlayıcı ya da yanıcı madde havaya salınır, havayla karışır ve bu buhar bulutunun bir ateşleme kaynağı ile teması sonucu buhar bulutu patlaması meydana gelir. Yanıcı buharların ya da gazların salınım sebeplerinden bazıları şunlardır:

- İçlerinde parlayıcı ya da yanıcı sıvı, ya da parlayıcı gaz bulunan boru hattı, reaktör, depolama tankı ya da benzeri proses ekipmanlarının hasara uğraması sonucu, bu malzemelerin dışarı çıkması.

- Parlayıcı buharların, bir basınç tahliye sisteminden hızlı bir şekilde atmosfere boşalması.
- Basınç altında depolanan parlayıcı bir sıvının salınması [28].

3.2. HATA AĞACI ANALİZİ

İş sağlığı ve güvenliğinin günümüz dünyasındaki yaklaşımı, istenmeyen olaylar (iş kazası, ölüm, yaralanma, çevreye zarar, maddi kayıp vb.) meydana gelmeden önce bu tür istenmeyen olayların kök nedenlerini belirleyip önleyici (proaktif) bir yaklaşım ortaya koymaktır [14].

Özellikle sanayi devrimi ile birlikte teknolojiye hızlı gelişim ve makineleşme sonucunda üretimin yapısı oldukça karmaşıklaşmış, hızlı ve kontrolsüz sanayileşme süreci ve üretimin giderek yoğunlaşması iş kazaları ve meslek hastalıkları ile çevre kirliliği gibi sorunların önemli boyutlara ulaşmasına neden olmuş ve birçok endüstriyel işkolunda büyük endüstriyel kazalar yaşanmıştır [16].

Büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve muhtemel kazaların insanlara ve çevreye olan zararlarının en aza indirilmesi için büyük endüstriyel kazaların kök nedenlerinin kazalar olmadan önce belirlenmesi gerekmektedir.

Bir işletmedeki güvenilirliği tam olarak sağlamak için, işletmede gerçekleşen tüm proseslerde ortaya çıkma ihtimali olan hataların türlerini ve bu hataların prosese, çalışana ya da ekipmana etkilerini belirleyebilecek kapsamlı uygun bir risk değerlendirmesi yapılması gerekmektedir. İlk aşamada yapılması gereken, hata ile karşı karşıya kalındığında hataya neden olan kaynak olayı ve hatanın etkilerini belirleyebilmektir. Özellikle, karmaşık proseslerde hatayı tanımak ve saptamak kolaylaşmakta ve hataya karşı ne gibi önlemlerin alınması gerektiği ortaya konulmaktadır. Hataları meydana gelme aşamalarına göre (tasarım, üretim ve kullanımla ilgili hatalar), sonuçlarına göre (felaket getirici, kritik, marjinal, küçük ve önemsiz hata), oluş zamanlarına göre (ani ve kademeli hatalar) ve nedenlerine göre (insan faktöründen, malzemeden, makineden, yöntemden ve yönetimden kaynaklanan hatalar) şeklinde sıralayabilmek mümkündür [29].

Bir proseste yukarıda bahsedilen hatalar belirlenirken, hatanın kontrol edilebilir olup olmadığını ve hatanın bağımlılık derecesini tespit etmek gerekmektedir. Bunu belirlemede bu hatayı doğuran kök nedenlerin belirlenmesinde HAA kullanılmaktadır.

Kök neden analizi yöntemlerinden biri olan HAA, günümüz dünyasında kaza araştırmalarında, kazaların kök nedenlerini belirlemede en çok kullanılan ve tercih edilen risk değerlendirme yöntemlerinden biridir. Yapılan literatür taramasında da petrokimya sektöründe büyük endüstriyel kazaların kök nedenlerini belirlemede etkili bir yöntem olan HAA'nın yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür [30].

HAA, bir prosesin, işletmenin, çalışanların ve ürünün güvenliğini sağlayan, nicel teknikler kullanarak katastrofik sonuçları olayın en başından itibaren tespit etmeye yarayan ve kimya sektöründe bugün sıklıkla kullanılan bir risk değerlendirmesi yöntemi haline gelmiştir. Bir kaza meydana gelmeden önce onu engelleyebilmek özellikle sonucu felaketle sonuçlanan büyük endüstriyel kazalarda, çok büyük önem taşımaktadır [14].

HAA, 1960lı yıllarda Bell Laboratuvarlarında, A. Mearns ile H. Watson tarafından, hava kuvvetleri için yeraltında saklanan Minuteman kıtalararası roketlerin hedefleme kontrol sistemlerinin güvenlik değerlendirilmesini yapmak için keşfedilmiş ve bu nicel teknik, Minuteman Silah Sistemine uygulanmıştır. Bu tekniğin analitik gücü ve başarısı, uzay ve havacılık endüstrisinde ve nükleer alanında kabul görmüş ve bundan sonra bu yöntem, güvenlik değerlendirmelerinde kullanılmaya başlanmıştır [31].

Hata ağacı modellemesi; insan, malzeme ya da ekipman kaynaklı hataların muhtemel kombinasyonların ortaya çıkabilme ihtimallerini önceden tahmin edilebilen ve istenmeyen en üst olayı mantık diyagramları ile grafiksel olarak gösterimidir. HAA, belirli bir tepe olayı üzerine odaklanan analizci bir tekniktir. Daha sonra muhtemel alt olayları mantıksal bir diyagramla gösterir. HAA, çok geniş kapsamlı olarak güvenlik ve risk analizinde kullanılır [15].

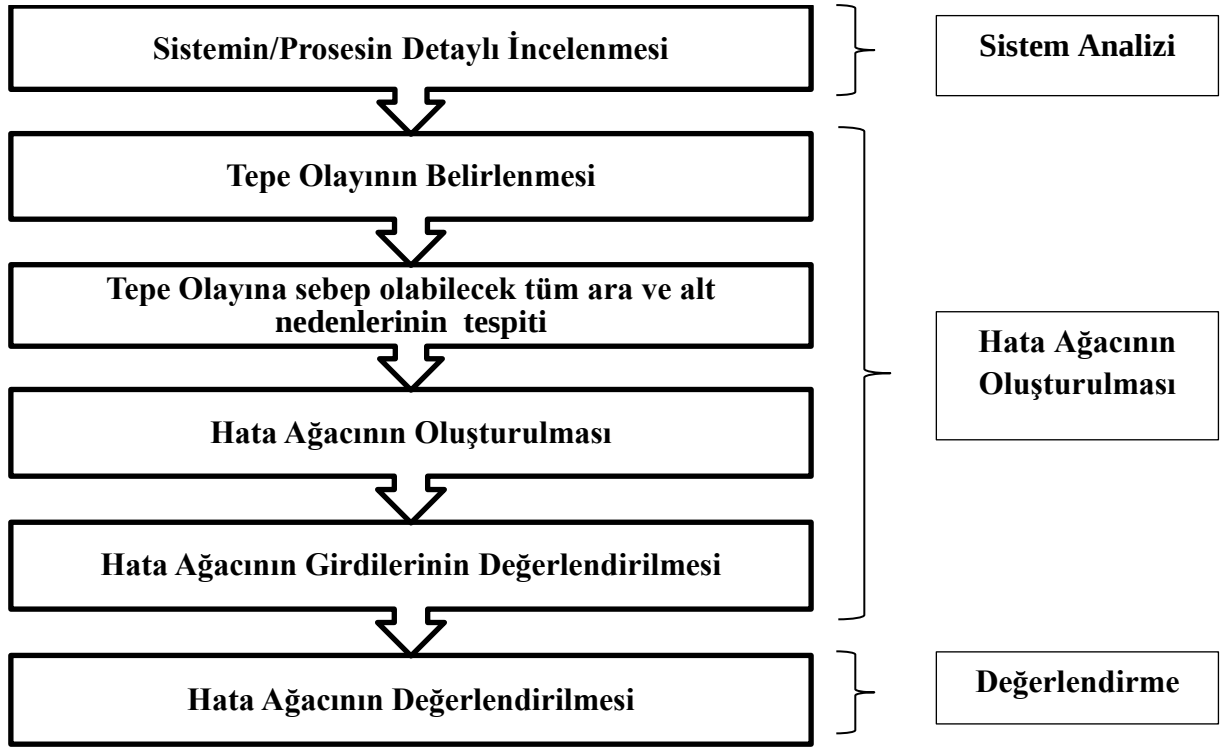
Mantıksal diyagram içinde kullanılan tüm mantık kapılarının olasılıkları ve olasılık teoremleri Boolean matematiği kullanılarak hesaplanır. HAA, hatayı alt bileşenlerine nicel teknik kullanarak ayırdığı için oldukça kullanışlı bir risk değerlendirmesi yöntemidir. HAA'nın avantajları olarak; sistematik bir yaklaşım olması, sistem unsurlarının birbirleri ile

etkileşimini değerlendirmesi, niceliksel/niteliksel sonuçlar alınabileceği ve uygulanmasının son derece kolay bir analiz olması gösterilebilir.

HAA'nın amacı, hataların mekanizmalarını ve mekanik, fiziksel, kimyasal veya insan kaynaklı hata olaylarına sebep olabilecek kök nedenleri tanımlamaktır. Hata ağacı analizi ile herhangi bir sistemin güvenilirliğinin tanımlanması, herhangi bir tehlikeye neden olabilecek olumsuzlukların belirlenmesi, bu olumsuzlukların oluşma olasılıklarının değerlendirilmesi ve herhangi bir sistemde kendini tehlike olarak hissettiren tüm problem veya olumsuzlukların sistematik olarak ortaya konulması hedeflenmektedir [13].

HAA'da risk analizi süreci; çözümlenmesi gereken hata türlerinin tanımlanması ile başlar ve süreç hataya sebep olabilecek ana nedenlerin ortaya konulması ile devam eder. HAA ile her düzeyde tehlike oluşturan hataların analizi yapılır ve mantık kapıları ile en büyük kaybı (tepe olayı) oluşturan hatanın olası tüm kombinasyonları gösterilir. Bu en büyük kaybı oluşturan hatanın kök sebebine kadar inilerek, istenmeyen diğer olası hatalar ve onların nedenleri araştırılır. Bunu gerçekleştirebilmek için de tekniğin kendine özgü olan mantık sembolleri kullanılarak hatanın soy ağacı çıkarılır [29].

HAA'nın aşamaları üç temel adımda uygulanır (Şekil 3.4.). Bunlar sistem analizi, hata ağacının oluşturulması ve değerlendirme adımlarıdır. Değerlendirme adımı analiz için bir proses veya bölüm seçilir, diyagram üzerine bir kutu çizilir ve bileşenler içine listelenir. Proses veya bölüm ile ilgili kritik arızalar ve tehlikeler tanımlanır. Riskin sebebi tanımlanır ve riskin altına muhtemel bütün nedenleri listelenir ve oval daireler içinde riske bağlanır. Bir kök sebebe doğru ilerlenir. Her risk için nedenlere ulaşana kadar tanımlanır. Her kök neden için karşıt ölçümler tanımlanır. Beyin fırtınası veya kuvvet alan analizinin gelişmiş versiyonu ile her kritik riskin kökü belirlenir. Her karşıt ölçüt için bir kutu oluşturulur [15].



Şekil 3.4. HAA aşamaları

Hata ağaçlarında, olaylar ve mantıksal kapılar temel kavramlardır. “Ve” ve “Veya” kapıları çeşitli olaylar arasında mantıksal bağlantılar sağlamak için kullanılır.

VE(AND) işlemi: Ve işleminde iki Boolean değişkeni vardır.

A ve B çıkışı, (A.B) şeklinde yazılır.

$$P(T) = P(A).P(B)$$

$$F(A \text{ AND } B) = F(A).F(B)$$

VEYA(OR) işlemi: Veya işleminde A ve B gibi iki Boolean değişkeni vardır.

A ve B çıkışı, (A+B) şeklinde yazılır.

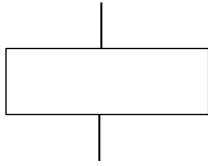
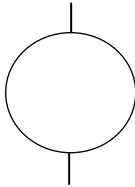
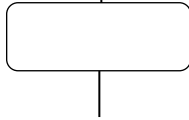
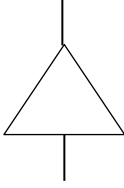
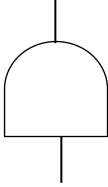
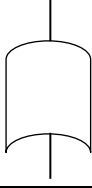
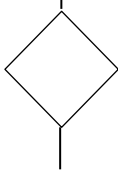
$$P(T) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \sim P(A) + P(B)$$

$$F(A \text{ OR } B) = F(A) + F(B)$$

P, olasılık; F, sıklık (zaman⁻¹); t, zaman (genellikle yıl).

Tablo 3.4.’de HAA Diyagramlarında kullanılan semboller gösterilmiştir [15].

Tablo 3.4. HAA diyagramlarında kullanılan semboller [15]

SEMBOL	TANIM
	Mantık kapısı ile bağlı daha basit olayların, elementlerin veya faktörlerin kombinasyonu ile ortaya çıkan olaydır.
	Temel olay: Birincil durumdaki olay için kullanılır. Daha ileri bir gelişimi gerektirmeyen, işleme gerek duyulmayan temel bir olaydır.
	Mantık kapısı ile bağlı yapılması zorunlu olaydır.
	Transfer(Aktarma) sembolüdür. Bağlantı ve birleştirme işlevinde kullanılır.
	Ve Kapısı: Sadece sembol altındaki girdi olaylarının gerçekleşmesi durumunda yukarıda yer alan olayın meydana gelmesi.
	Veya Kapısı: Sembolün altındaki bir veya birden fazla girdi olaydan en az herhangi birinin gerçekleşmesi durumunda yukarıda yer alan olayın meydana gelmesi.
	Gelişmemiş olay: Sebebi tanımlanmamış ve belirsiz bir son olayı tanımlamaktadır.
	Kombinasyon: N girdi olay içinden en az M tanesi gerçekleşirse baştaki olay gerçekleşir.

4. BULGULAR

Bu çalışmada, bir petrokimya rafinerisinin seçilen bir ünitesinde büyük endüstriyel kaza ile sonuçlanabilecek patlama olayının nedenlerini belirleyerek önlem almak ve etkilerini en aza indirmek amacıyla nicel risk değerlendirme yöntemlerinden biri olan HAA uygulanmıştır. Ünite olarak patlama olayının en sık yaşanabileceği “LPG Depolama Ünitesi” seçilmiştir ve LPG tankında patlama olayına neden olabilecek tüm nedenler detaylı bir şekilde belirlenmiştir.

4.1. HATA AĞACI ANALİZİNİN UYGULANMASI

Seçilen LPG depolama ünitesinde oluşabilecek büyük endüstriyel kaza senaryosunu belirleyebilmek için HAA modellemesinden önce HAZOP (Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi) çalışması yapılmıştır.

HAZOP, proses parametreleri ile kılavuz kelime kombinasyonlarının yapılması suretiyle gerçekleştirilmektedir. Bir prosesteki kılavuz kelime ile proses parametresinin birleşmesi sonucu sapma meydana gelmektedir. İlgili üniteye ait yapılan HAZOP çalışmasında, olası saptmaları (yüksek seviye, yüksek basınç, yüksek sıcaklık vb.) meydana getirebilecek nedenler ve sonuçlar göz önünde bulundurularak HAA modellemesi yapılmıştır. LPG depolama ünitesinde LPG tankı HAZOP çalışması için LPG tankı P&ID’si AutoCAD Mechanical 2014 tasarım programı ile çizilmiştir (Şekil 3.3.).

LPG Tankı Nodu için HAZOP kapsamında belirlenen kılavuz kelimeler ile parametreler birleştirilerek o nodda olabilecek saptmalar ile oluşabilecek riskler (sonuçlar) belirlenmiştir ve yapılan çalışma, Tablo 4.1.’de verilmiştir. Belirlenen riskler doğrultusunda HAA’nın tepe olayı olarak “Patlama” Olayı belirlenmiştir. Bu tepe olayına sebep olabilecek ana nedenler tespit edilmiştir. Her bir ana sebebin alt nedenleri de belirlenerek VE/VEYA mantık kapıları ile bağlantılı bir şekilde kök nedenlere inilerek Hata ağacı modellemesi yapılmıştır. Hata ağacı modellemesi, Şekil 4.1.’de ve EK-1’de gösterilmiştir. Hata ağacı modellemesi harfli gösterimi ise Şekil 4.2.’de ve EK-2’de verilmiştir.

Tablo 4.1. LPG tankı nodu HAZOP çalışması

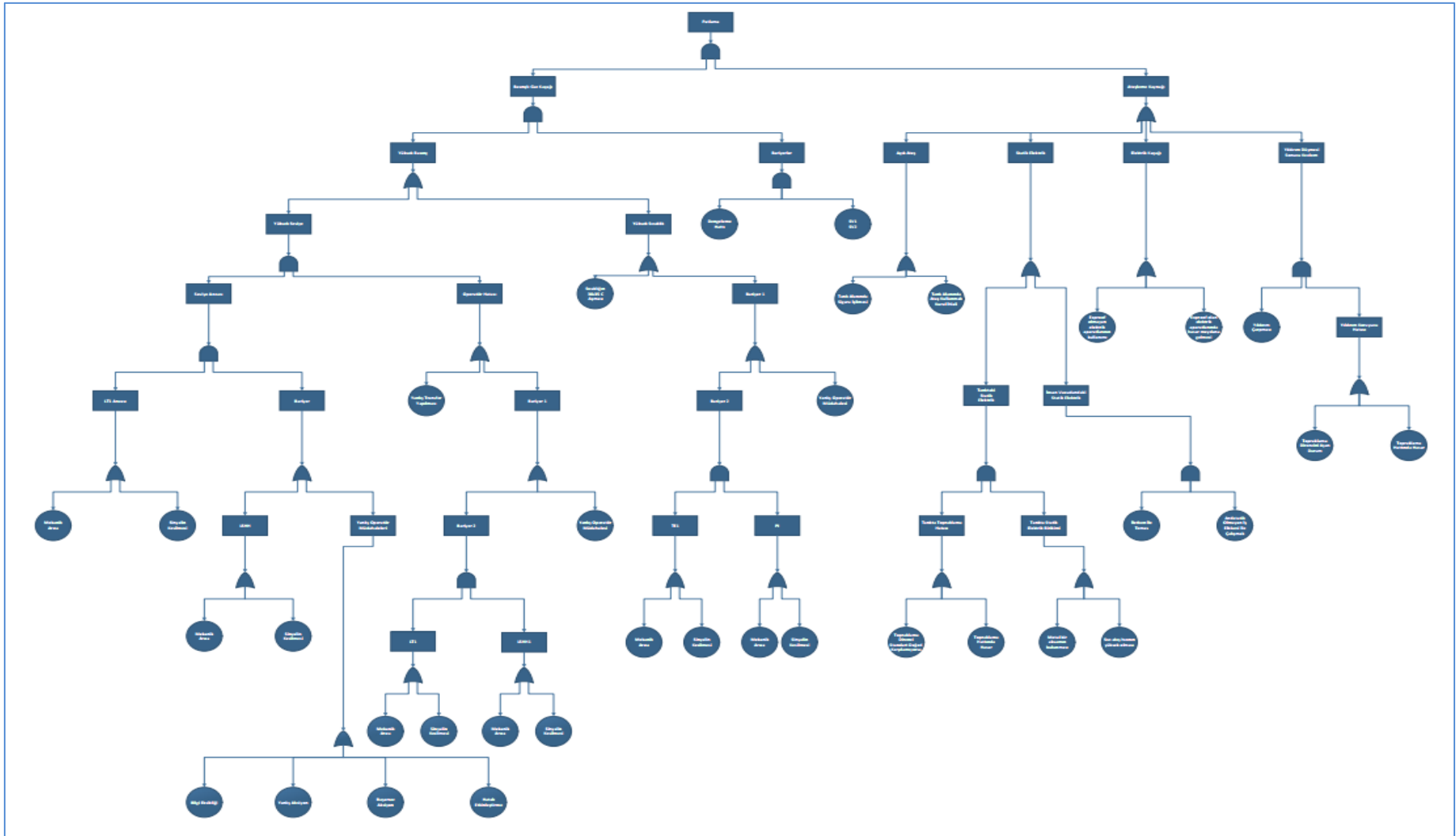
Kılavuz Kelime	Parametre	Sapma (Nedenler)	Sonuçlar	Etkili Önlemler	Tavsiyeler
Yüksek	Seviye	LT-1 Arızası	Tankta basınç artışı Muhtemel hat ya da flanş kaçağı Patlama ile sonuçlanabilir.	1.3400 RV 3F-3 SV1-3405 ve SV2-3406 açar	-LT – Seviye Ölçerin sayısının arttırılarak doğrulamanın yapılması -İleri düzey operatör eğitimi, -Güvenlik valfi, alarm ekipmanların periyodik kontrollerinin yapılması
				2.LSHH1 DCS ten görülüyor + Operatör müdahalesi	
				3.HC dedektörü-Borddan görülüyor	
				4.Spıng Sistemi-Manuel devreye alınıyor.	
				5.1700 ünitesinden ürün gönderilmediği için haber verilir	
		Operasyonel Hata	Tankta basınç artışı Muhtemel hat ya da flanş kaçağı Patlama ile sonuçlanabilir.	1.LT-1 seviye göstergesi (DCS ten takip ediliyor) + Operatör müdahalesi	-LT – Seviye Ölçerin sayısının arttırılarak doğrulamanın yapılması -İleri düzey operatör eğitimi, -Güvenlik valfi, alarm ekipmanların periyodik kontrollerinin yapılması -Operatörün hata ile açmasını engellemek adına kilitle-etiketle sisteminin kullanılması -Seviye indikatöründen bağımsız HC seviyesini takip eden yüksek ve düşük seviye indikatör konulması
				2.LSHH1 DCS ten görülüyor. +Operatör müdahalesi	
				3.HC dedektörü-Borddan görülüyor	
				4.Spıng Sistemi-Manuel devreye alınıyor.	
				5.1700 ünitesinden ürün gönderilmediği için haber verilir	
				6.PI Basınç artışı gösterir+ Operatör Müdahalesi	

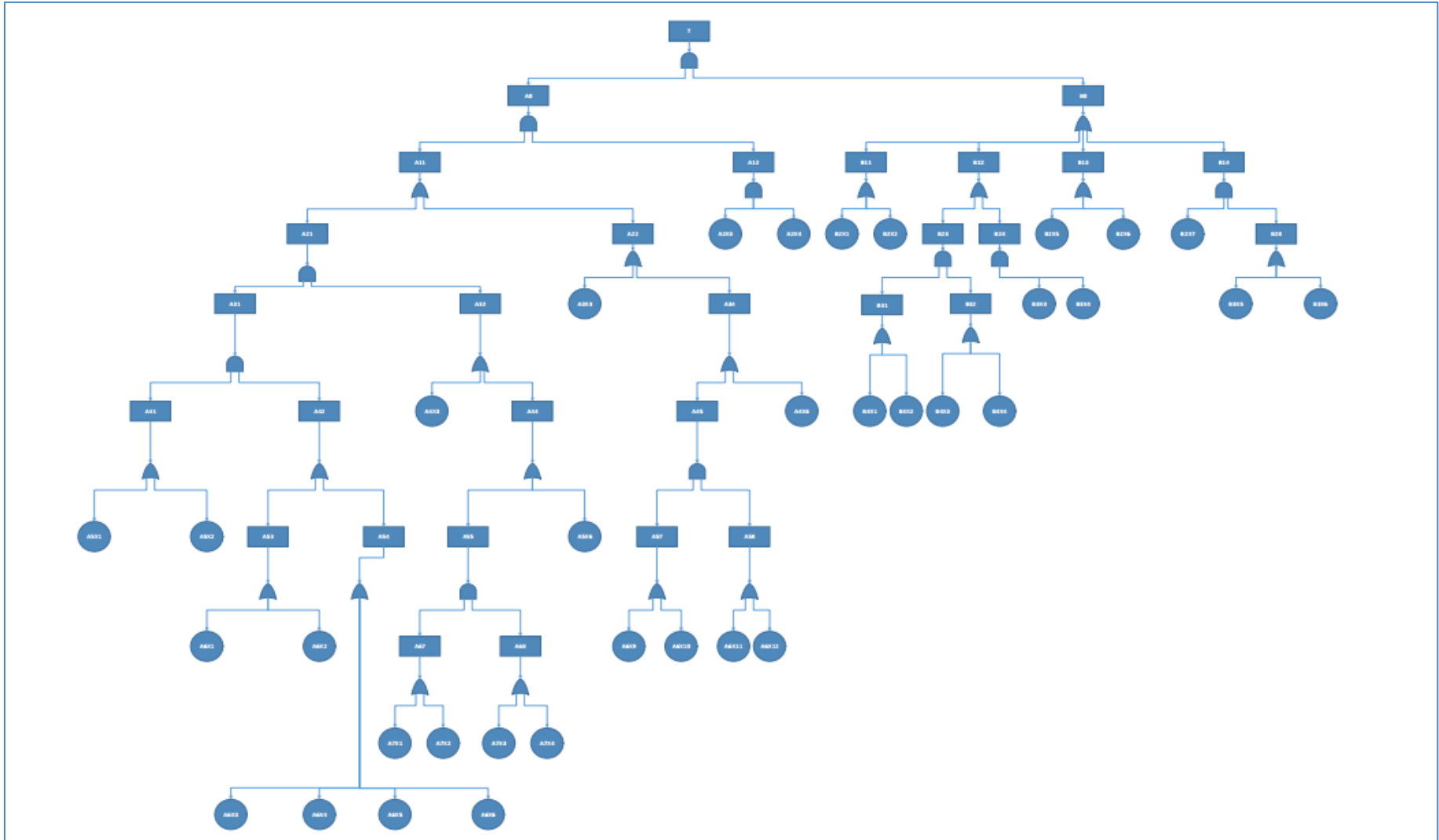
Tablo 4.1. LPG tankı nodu HAZOP çalışması (devam)

Kılavuz Kelime	Parametre	Sapma (Nedenler)	Sonuçlar	Etkili Önlemler	Tavsiyeler
Yüksek	Basınç	LT-1 Arızası	Tankta basınç artışı Muhtemel hat ya da flanş kaçağı Patlama ile sonuçlanabilir.	1.3400 RV 3F-3 SV1-3405 ve SV2-3406 açar	-LT – Seviye Ölçerin sayısının arttırılarak doğrulamanın yapılması -İleri düzey operatör eğitimi, -Güvenlik valfi, alarm ekipmanların periyodik kontrollerinin yapılması -Operatörün hata ile açmasını engellemek adına kilitle-etiketle sisteminin kullanılması -Seviye indikatöründen bağımsız HC seviyesini takip eden yüksek ve düşük seviye indikatör konulması
				2.LSHH1 DCS ten görülüyor + Operatör müdahalesi	
				3.HC dedektörü-Borddan görülüyor	
				4.Sping Sistemi-Manuel devreye alınıyor.	
				5.1700 ünitesinden ürün gönderilmediği için haber verilir	
				6.PI Basınç artışı gösterir+ Operatör Müdahalesi	
		Operasyonel Hata	Tankta basınç artışı Muhtemel hat ya da flanş kaçağı Patlama ile sonuçlanabilir.	1.LT-1 seviye göstergesi (DCS ten takip ediliyor) + Operatör müdahalesi	-İleri düzey operatör eğitimi, -Güvenlik valfi, alarm ekipmanların periyodik kontrollerinin yapılması
		Yüksek Atmosferik Sıcaklıklar	Tankta basınç artışı Muhtemel hat ya da flanş kaçağı Patlama ile sonuçlanabilir.	1.3400 RV 3F-2 SV-3403 ve SV3404 açar	-İleri düzey operatör eğitimi, -Güvenlik valfi, alarm ekipmanların periyodik kontrollerinin yapılması -Seviye indikatöründen bağımsız HC seviyesini takip eden yüksek ve düşük seviye indikatör konulması
				2.Sping Sistemi-Manuel devreye alınıyor.	
				3. PI Basınç artışı gösterir+ Operatör Müdahalesi	

Tablo 4.1. LPG tankı nodu HAZOP çalışması (devam)

Kılavuz Kelime	Parametre	Sapma (Nedenler)	Sonuçlar	Etkili Önlemler	Tavsiyeler
Yüksek	Sıcaklık	Yüksek Atmosferik Sıcaklıklar	Tankta basınç artışı Muhtemel hat ya da flanş kaçağı Yangın ve Patlama ile sonuçlanabilir.	1.3400 RV 3F-3 SV1-3405 ve SV2-3406 açar	-Güvenlik valfi, alarm ekipmanların periyodik kontrollerinin yapılması -İleri düzey operatör eğitimi
				2. Sping Sistemi	
				3. PI Basınç artışı gösterir+ Operatör Müdahalesi	
				4. TE DCS den takip ediliyor.	





Şekil 4.2. Hata ağacı modellemesi harfli gösterimi

Hata ağacı modellemesinde yer alan olayların açıklaması Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Hata ağacı olaylar açıklaması

T	Patlama
A0	Basıncılı Gaz Kaynağı
A11	Yüksek Basınc
A12	Bariyerler
A21	Yüksek Seviye
A22	Yüksek Sıcaklık
A2X3	Dengeleme Hattı
A2X4	SV1,SV2
A31	Seviye Arızası
A32	Operatör Hatası
A3X3	Sıcaklığın 30-35 °C Olması
A34	Bariyer 1
A41	LT 1 Arızası
A42	Bariyer
A4X3	Yanlış Transfer Yapılması
A44	Bariyer 1
A45	Bariyer 2
A4X6	Yanlış Operatör Müdahalesi
A5X1	Mekanik Arıza
A5X2	Sinyalin Kesilmesi
A53	LSHH Arızası
A54	Yanlış Operatör Müdahaleleri
A55	Bariyer 2
A5X6	Yanlış Operatör Müdahalesi
A57	TE1 Arızası
A58	PI Arızası
A6X1	Mekanik Arıza
A6X2	Sinyalin Kesilmesi
A6X3	Bilgi Eksikliği
A6X4	Yanlış Aksiyon
A6X5	Başarısız Aksiyon-
A6X6	Hatalı Etkileştirme
A67	LT1 Arızası
A68	LSHH1 Arızası
A6X9	Mekanik Arıza
A6X10	Sinyalin Kesilmesi
A6X11	Mekanik Arıza
A6X12	Sinyalin Kesilmesi
A7X1	Mekanik Arıza
A7X2	Sinyalin Kesilmesi
A7X3	Mekanik Arıza
A7X4	Sinyalin Kesilmesi

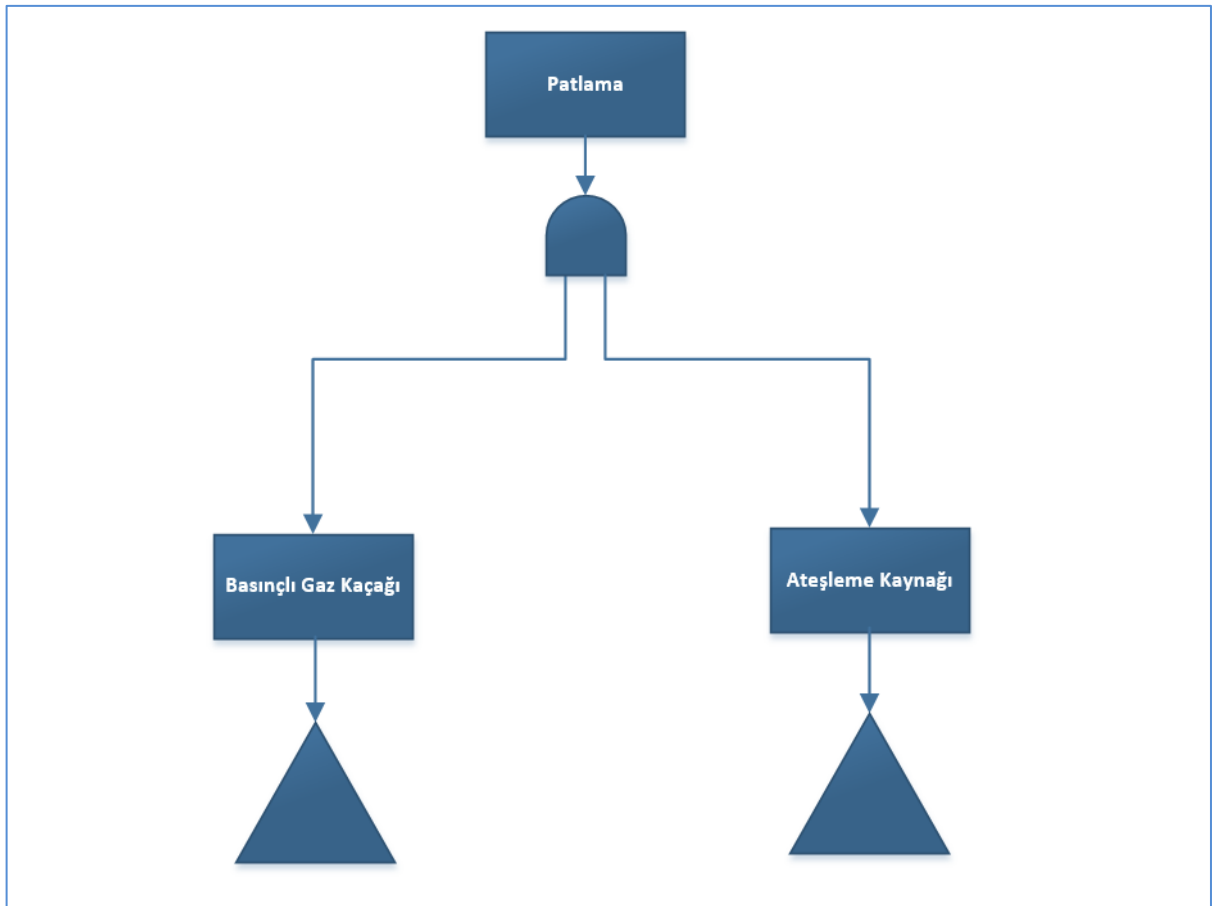
Tablo 4.2. Hata ağacı olaylar açıklaması(devam)

B0	Ateşleme Kaynağı
B11	Açık Ateş
B12	Statik Elektrik
B13	Elektrik Kaçağı
B14	Yıldırım Düşmesi Sonucu Kıvılcım
B2X1	Tank Alanında Sigara İçilmesi
B2X2	Tank Alanında Ateş Kullanmak Kural İhlali
B23	Tanktaki Statik Elektrik
B24	İnsan Vücudunda Statik Elektrik
B2X5	Exproof Olmayan Elektrik Aparatlarının Kullanımı
B2X6	Exproof Olan Elektrik Aparatlarında Hasar Meydana Gelmesi
B2X7	Yıldırım Çarpması
B28	Yıldırım Koruyucu Hatası
B31	Tankta Topraklama Hatası
B32	Tankta Statik Elektrik Birikimi
B3X3	İletken İle Temas
B3X4	Antistatik Olmayan İş Elbisesi İle Çalışmak
B3X5	Topraklama Direncini Aşan Durum
B3X6	Topraklama Hattında Hasar
B4X1	Topraklama Direnci Standart Değeri Karşılamıyorsa
B4X2	Topraklama Hattında Hasar
B4X3	Metal Bir Aksam Bulunması
B4X4	Sıvı Akış Hızının Yüksek Olması

Hata ağacı oluşturulurken, LPG tankında patlamaya sebep olabilecek temel nedenler “Basıncılı Gaz Kaçağı” ve “Ateşleme Kaynağı” olarak tespit edilmiştir. Bu iki parametre VE-Kapısı ile bağlanmıştır. Çünkü LPG, düşük karbon sayılı hidrokarbonlardan (propan, bütan) ibaret olup hava ile belli oranlarda karıştığında yanıcı ve parlayıcıdır. LPG, yanıcı gaz özelliğine sahip olduğu için tanktan belirli nedenlerle kaçak olduğunda hava ile karışacak ve ateşleme kaynakları ile buluştuğunda patlama olayı meydana gelecektir.

“Ateşleme Kaynağı” Şekil 4.3.’te gösterilen hata ağacında Transfer-kapısı ile gösterilmiştir.

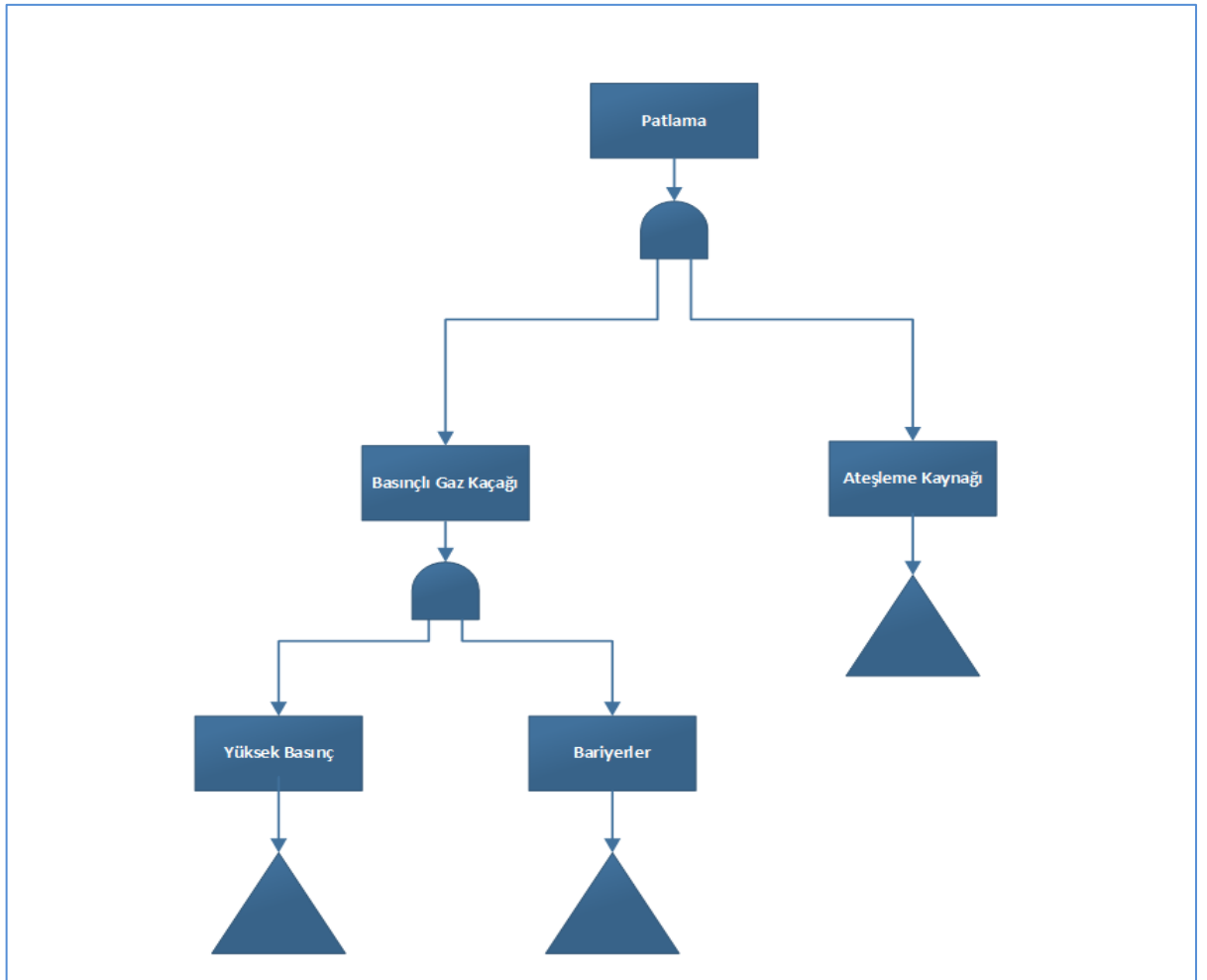
Öncelikli olarak “Basıncılı Gaz Kaçağı”na neden olan parametreler detaylı olarak incelenecek olup ateşleme kaynaklarının nedenlerine bu incelemenin ardından değinilecektir.



Şekil 4.3. Patlamaya sebep olan iki temel neden

A0 Basınçlı Gaz Kaçağı

Patlama olayının oluşmasının temel nedenlerden biri “Basınçlı Gaz Kaçağı” olayının meydana gelmesidir. Sıvılaştırılmış gazlar, normal sıcaklıkta kaynama sıcaklıklarının üzerindedir. Basınç altında tutuldukları sürece sıvı halde kalmaktadırlar. Tankın deforme olması, yarılması, tank contasında veya flanşında hasar veya benzer bir durumda basınç aniden atmosfer basıncına kadar düştüğünde, sıvı halde depolanan LPG, hızla buharlaşmaya ve gaz fazına geçip atmosfere çıkmaya çalışacaktır. Çıkan/kaçan LPG gazı, ortamda bir ateş kaynağı mevcutsa ve bu ateşleme kaynağı ile buluşursa, hızla genişleyen bulut, çok şiddetli bir patlamaya neden olacaktır. Bu yüzden, hata ağacında patlama olayına sebep olabilecek ilk neden olarak “Basınçlı Gaz Kaçağı” olarak belirlenmiştir. Çalışma ekibiyle beraber “Basınçlı Gaz Kaçağı Olayı”na sebep olabilecek 2 ara neden tespit edilmiştir. Bu nedenler “Yüksek Basınç” ve “Bariyerler” olarak saptanmış ve bunlar birbirlerine VE-kapısı ile bağlanmıştır. Şekil 4.4.’te gösterilmiştir.



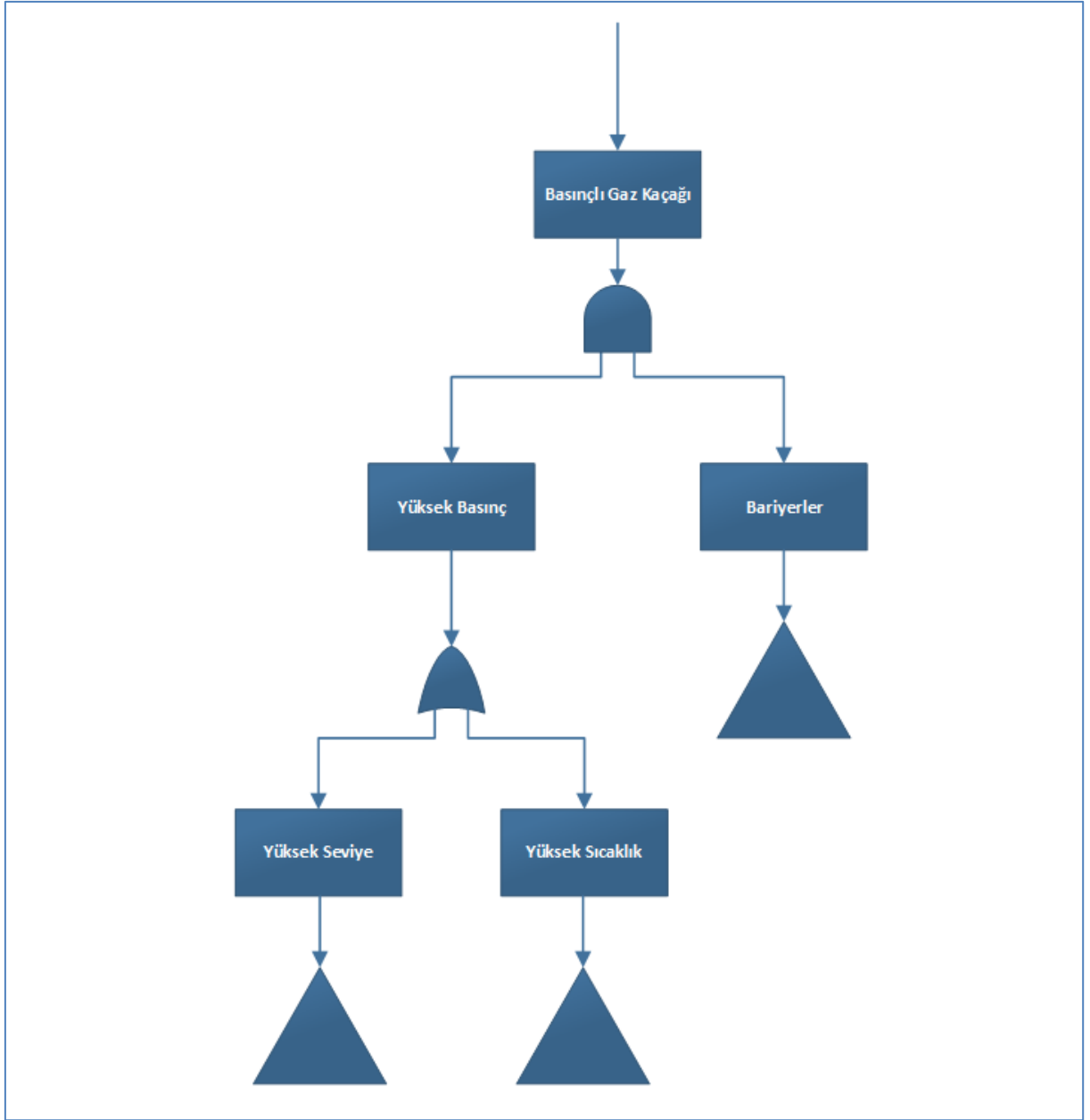
Şekil 4.4. Basınçlı gaz kaçağı nedenleri

“Bariyerler” Şekil 4.4.’te gösterilen hata ağacında Transfer-kapısı ile gösterilmiştir. HAA kollarından biri olan “Yüksek Basınç”a neden olan parametreler öncelikli olarak incelenecek olup “Bariyerler”in kök nedenlerine bu incelemenin ardından değinilecektir.

A11 Yüksek Basınç

LPG’nin depolanmasının en önemli şartı yüksek basınçtır ve patlamaya neden olabilecek en önemli parametrelerden biri yüksek basınçtır. LPG Tanklarında BLEVE (LPG tankının patlaması) ancak tank iç basıncının çok fazla arttığı ve tankın tahliye açıklıklarının artan basıncı tahliye edemediği durumda meydana gelir. LPG tankı ateşleme kaynağına maruz kalmışsa, sıvı LPG’nin buharlaşması artar ve tank gövdesine LPG tarafından uygulanan basıncı artırır. Bu durum sonucunda basınç öyle bir noktaya ulaşır ki tank üzerindeki güvenlik valfi açılır ve aşırı basıncı tahliye etmeye başlar. Fakat tank aleve maruz kalmaya devam ederse ve gerekli önlem alınamazsa tank içerisindeki basınç artmaya devam eder ve tank malzemesinin mukavemetini yenerek tankın patlamasına neden olur. Bu sebeple, “Yüksek Basınç” LPG tankının patlamasına sebep olabilecek en önemli nedenlerinden biridir ve Şekil 4.5.’te gösterilmiştir.

“Yüksek Basınç”a neden olan nedenler “Yüksek Seviye” ve “Yüksek Sıcaklık” olarak tespit edilmiş olup VEYA-kapısı ile bağlanmıştır. “Yüksek Seviye” veya “Yüksek Sıcaklık” nedenlerinden herhangi birinin gerçekleşmesi durumunda “Yüksek Basınç”a neden olmaktadır. Şekil 4.5.’te gösterilmiştir.

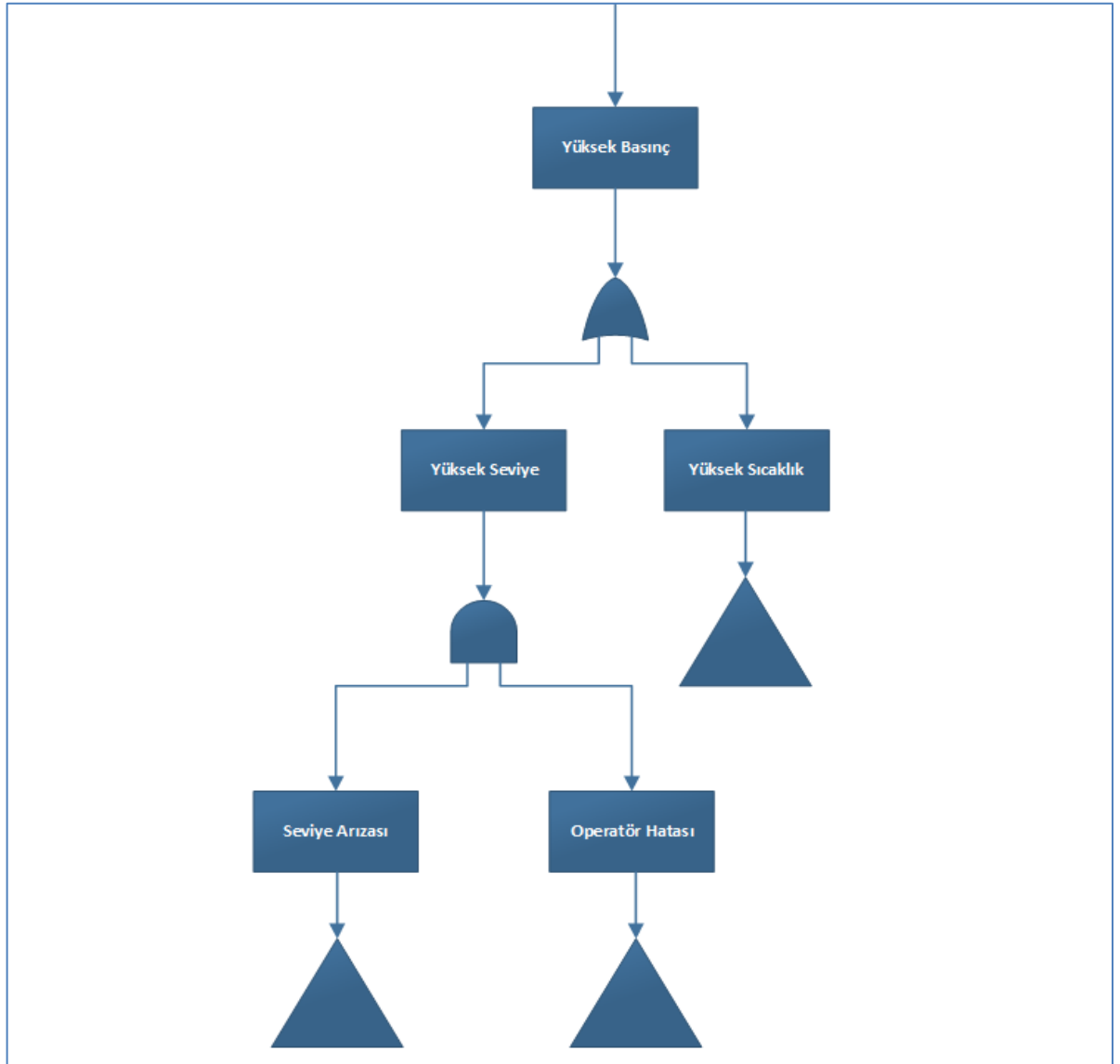


Şekil 4.5. Yüksek basınç nedenleri

“Yüksek Sıcaklık”, Şekil 4.5.’te gösterilen hata ağacında Transfer-kapısı ile gösterilmiştir. HAA kollarından biri olan “Yüksek Seviye”ye neden olan parametreler öncelikli olarak incelenecek olup “Yüksek Sıcaklık”ın kök nedenlerine bu incelemenin ardından değinilecektir.

A21 Yüksek Seviye

“Yüksek Seviye”, “Yüksek Basınç”a neden olan önemli bir parametredir. Çünkü tankın içine dolan sıvı seviyesi yükseldikçe tabana uygulanan basınç artmaya başlar. Bu sebeple seviyenin yükselmesi, basıncın yükselmesine neden olmaktadır. “Yüksek Seviye” olayının oluşabilmesi için “Seviye Arızası” ve “Operatör Hatası” olaylarının olması gerekmektedir. “Yüksek Seviye”ye neden olan nedenler, “Seviye Arızası” ve “Operatör Hatası” olarak belirlenmiş olup VE-kapısı ile bağlanmıştır. Şekil 4.6. ile gösterilmiştir.



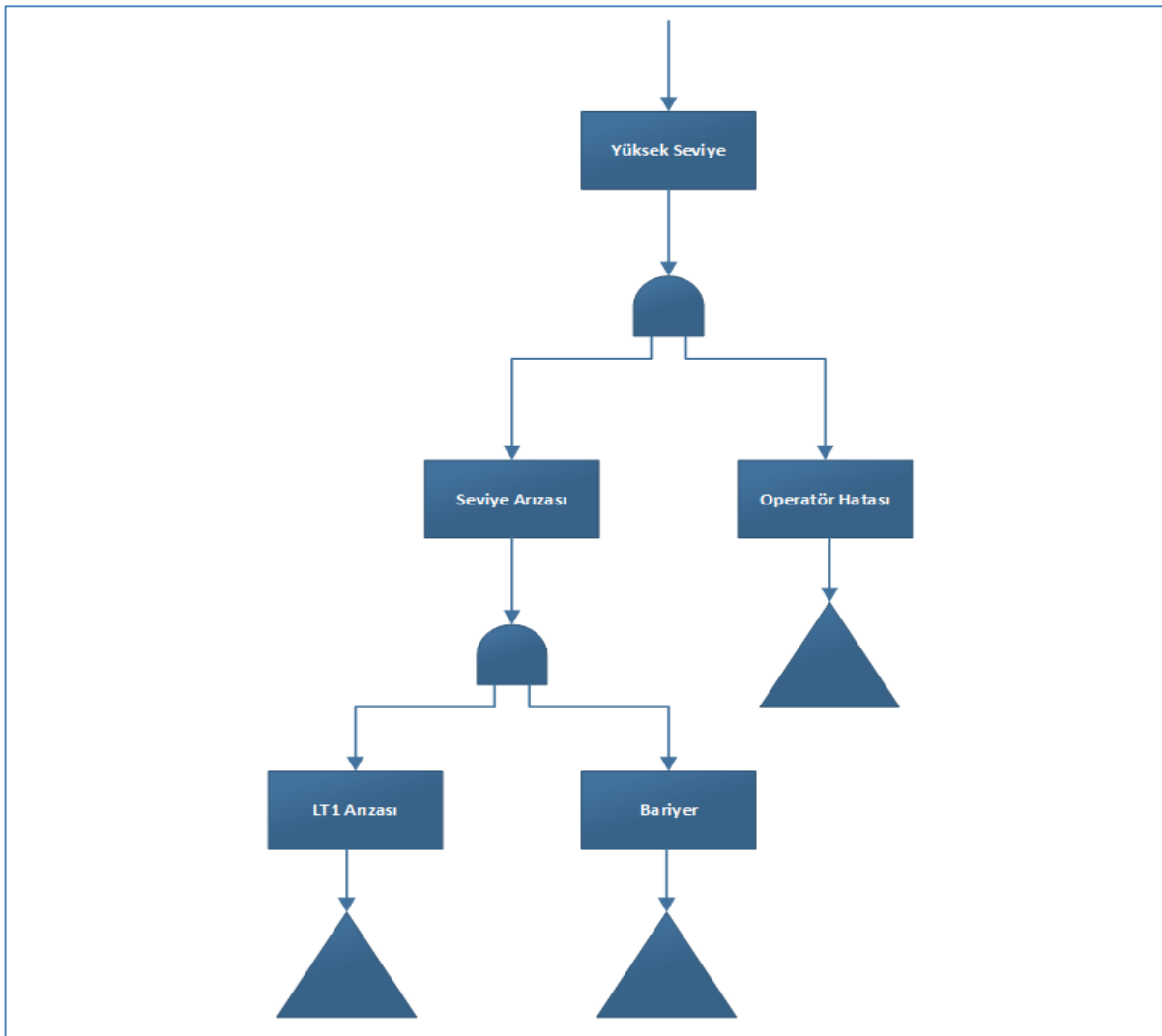
Şekil 4.6. Yüksek seviye nedenleri

“Operatör Hatası” Şekil 4.6.’da gösterilen hata ağacında Transfer-kapısı ile gösterilmiştir.

HAA kollarından biri olan “Yüksek Basınç”a neden olan parametreler öncelikli olarak incelenecek olup “Operatör Hatası”nın kök nedenlerine bu incelemenin ardından değinilecektir.

A31 Seviye Arızası

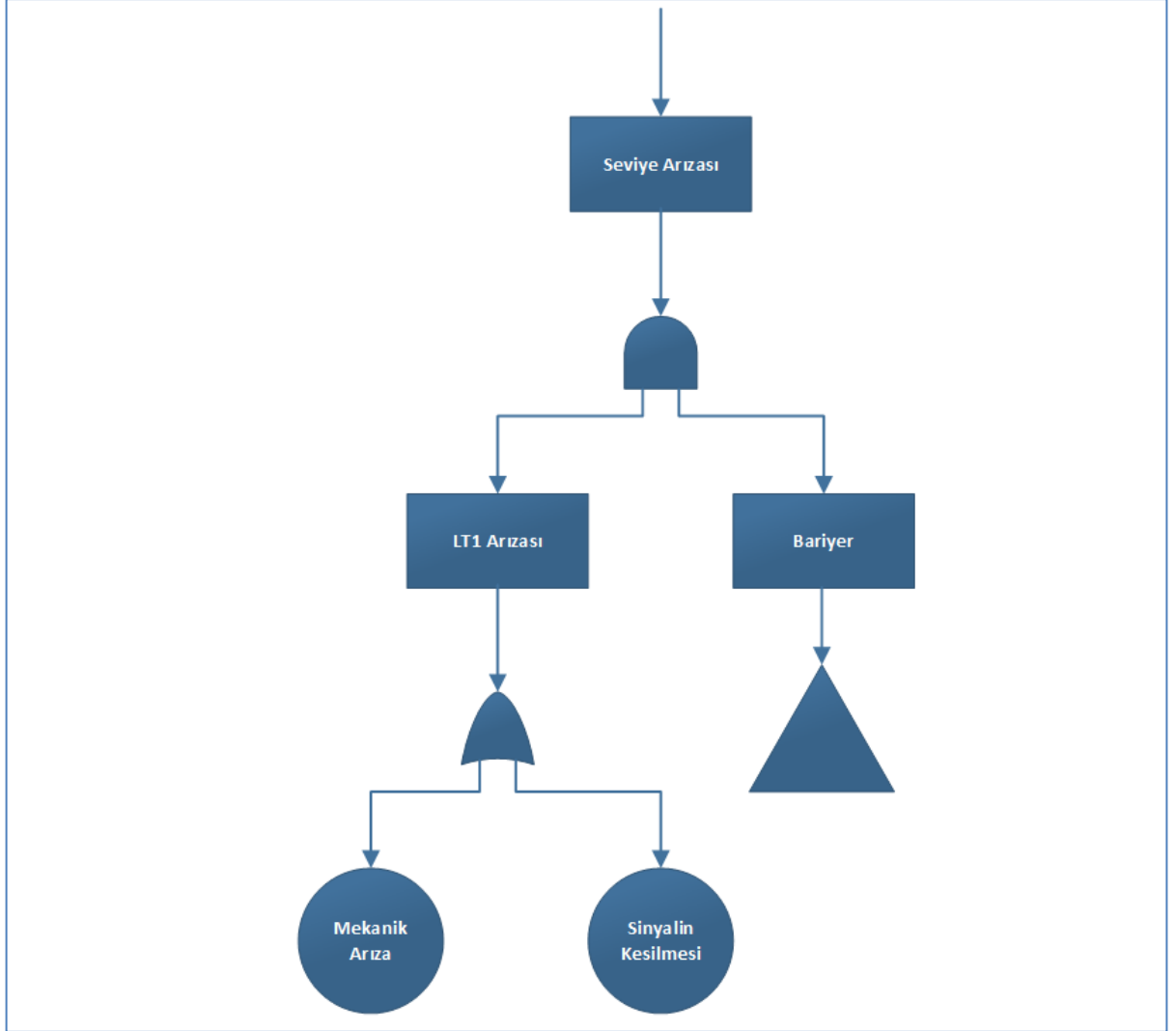
“Yüksek Seviye”ye neden olan “Seviye Arızası”nın oluşabilmesi için P&ID’de de görülebileceği üzere sistemin seviyesini takip edecek olan “Seviye Ölçer LT1”in arızalı olması ya da aldığı bilgiyi aktarmasını sağlayan kablolarda problem olması halinde okuduğu bilgiyi sisteme aktaramaması gerekmektedir. Bu nedenle, “Seviye Arızası”nın nedenleri “LT1 Arızası” ve “Bariyerler” olarak belirlenmiş ve VE-kapısı ile birbirine bağlanmıştır. LT1 arıza verdiği anda sistem güvenliği için konulmuş olan bariyer devreye girmezse “Seviye Arızası” oluşmakta ve bu da “Yüksek Seviye”ye neden olmaktadır (Şekil 4.7.).



Şekil 4.7. Seviye arızası nedenleri

A41 LT1 Arızası

LT1'in mekanik bir arıza vermesi veya sinyal kesilmesi durumunda "LT1 Arızası" meydana gelmektedir. "LT1 Arızası"nın kök nedenleri olarak "Mekanik Arıza" ve "Sinyalin Kesilmesi" tespit edilmiş olup VEYA-kapısı ile birbirine bağlanmıştır. (Şekil 4.8.)

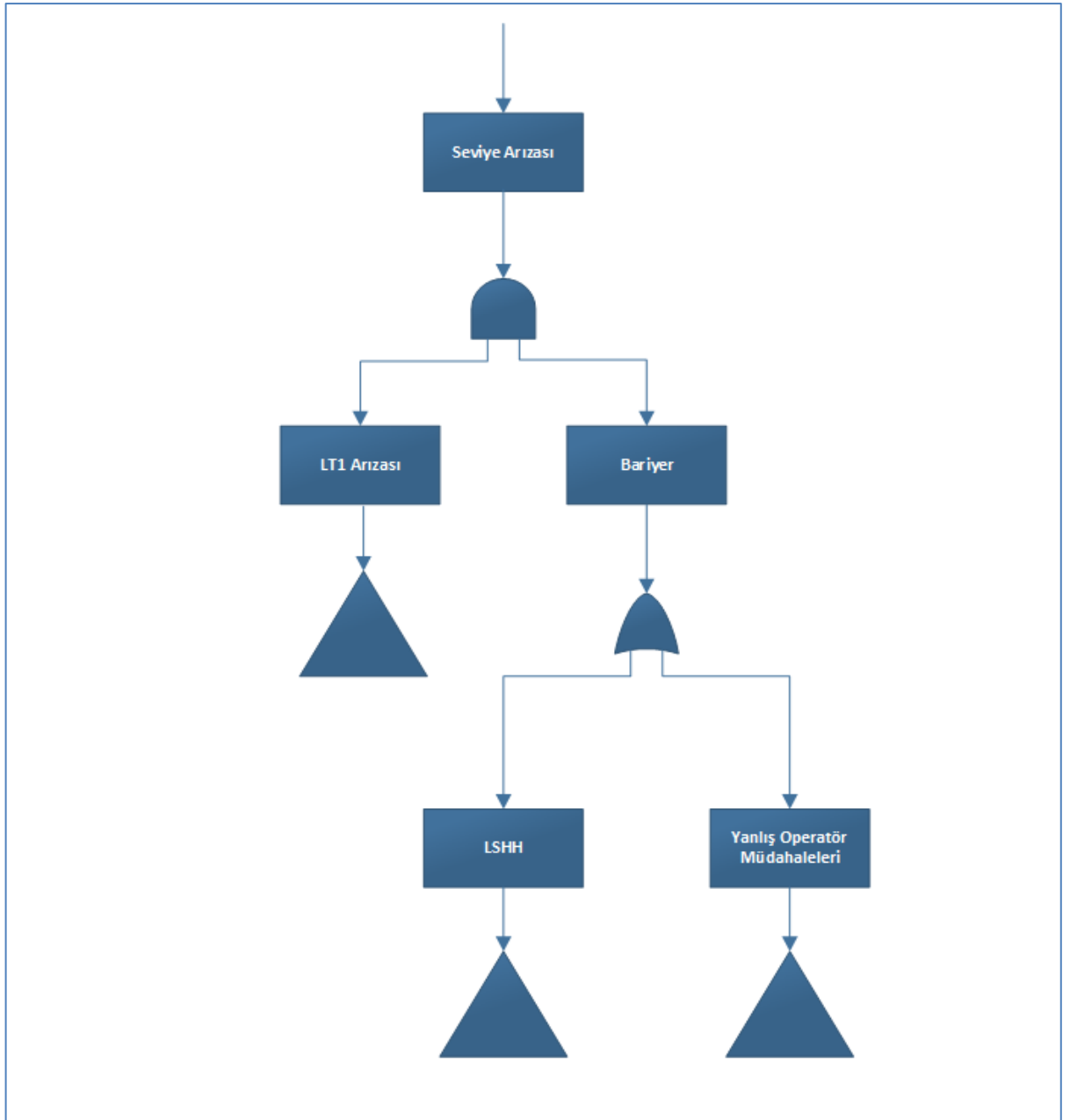


Şekil 4.8. LT1 arızası nedenleri

A42 Bariyer

Sistem arızası oluşmaması için sistemde, sistemi korumak amacıyla alınan güvenlik önlemi olan "Bariyer" mevcuttur. "Bariyer"ın devre dışı olması ve "LT1" arızası olması halinde "Seviye Arızası" meydana gelmektedir. Bariyerlerin devre dışı olmasını engellemek için önlem olarak seviyenin arttığını gösteren alarm olan "Çok Yüksek Seviye Alarmı LSHH" ve

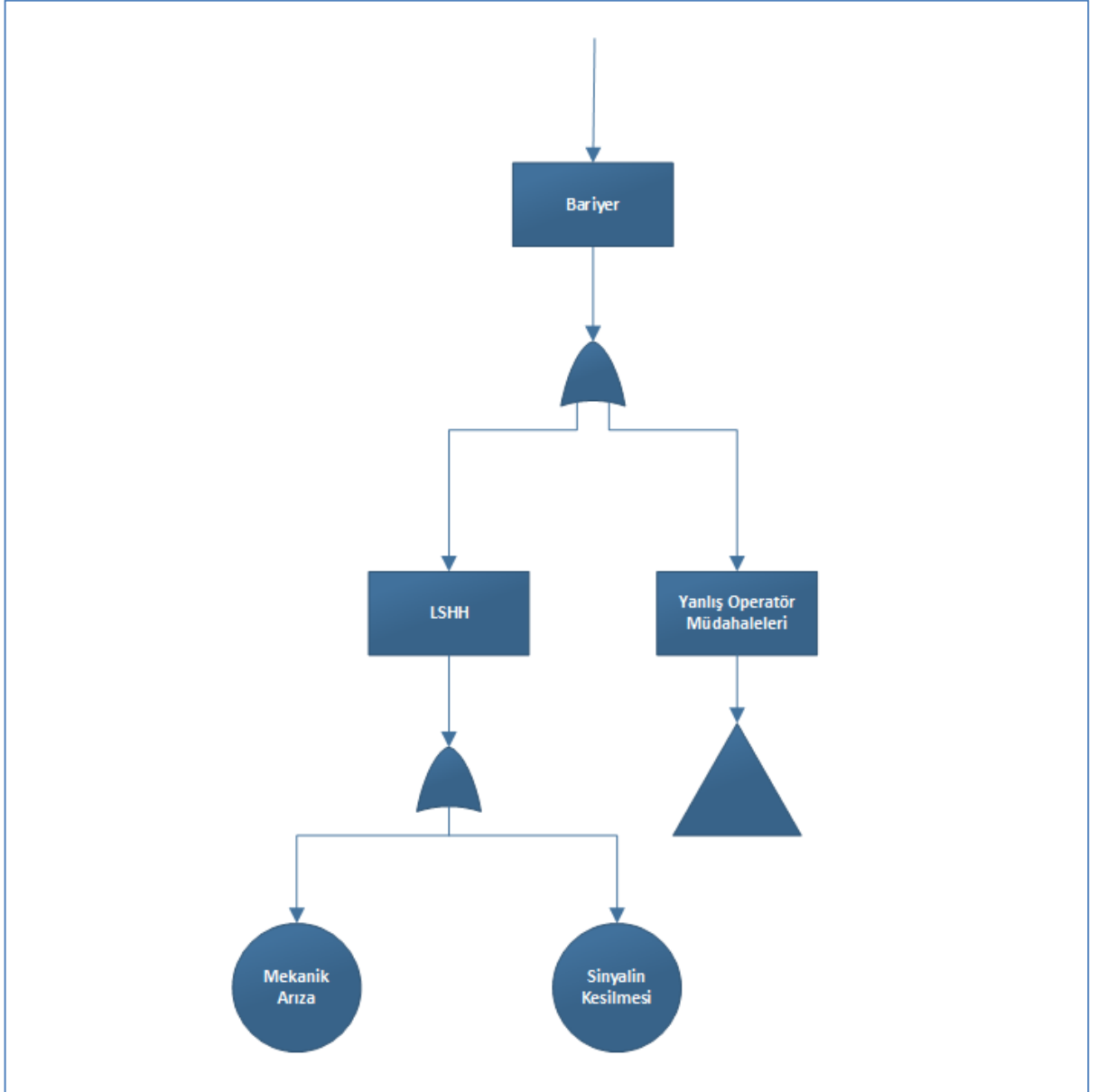
sistemin çalışmasında en önemli etmenler arasında olan operatör bulunmaktadır. Bu iki etmenden herhangi birinde yaşanacak sorun halinde bariyer devre dışı kalır. Bu nedenle “Seviye Arızası”na neden olan “Bariyer”in kök nedenleri, “LSHH(Yüksek Seviye Alarmı)” ve “Operatör Müdahalesi” olarak tespit edilmiş olup herhangi birinde problem olması durumunda tehlike durumu oluşacağı için VEYA-kapısı ile birbirine bağlanmıştır (Şekil 4.9.). Bu bariyerlerden herhangi birisinin hata vermesi durumunda bariyerler, sistemi koruyamamış olacak ve “LT1” Arızası ile birlikte “Seviye Arızası”na neden olacaklardır.



Şekil 4.9. Seviye arızası bariyer nedenleri

A53 LSHH Arızası

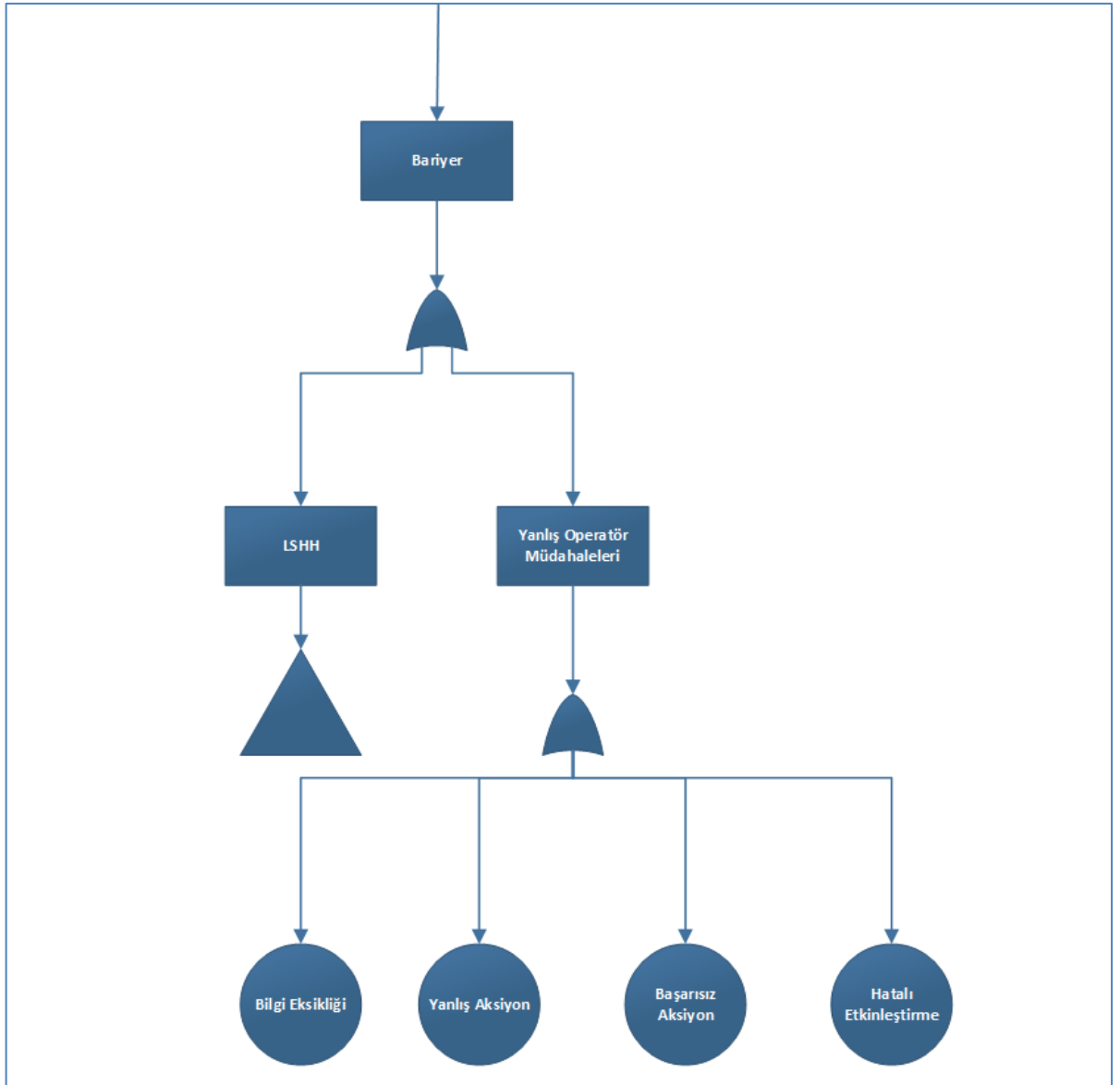
“LSHH”ın hata vermesinin kök nedenleri “Mekanik Arıza” ve “Sinyalin Kesilmesi” olarak belirlenmiş olup VEYA-kapısı ile birbirine bağlanmıştır (Şekil 4.10.). “LSHH”ın mekanik olarak arızalanması veya bilgi aktarımında bir problem olması durumunda “LSHH” hata verecektir. Bu da “Bariyer”in devreye girmemesine ve sistemin risk yaşamasına neden olacaktır.



Şekil 4.10. LSHH arızası nedenleri

A54 Yanlış Operatör Müdahaleleri

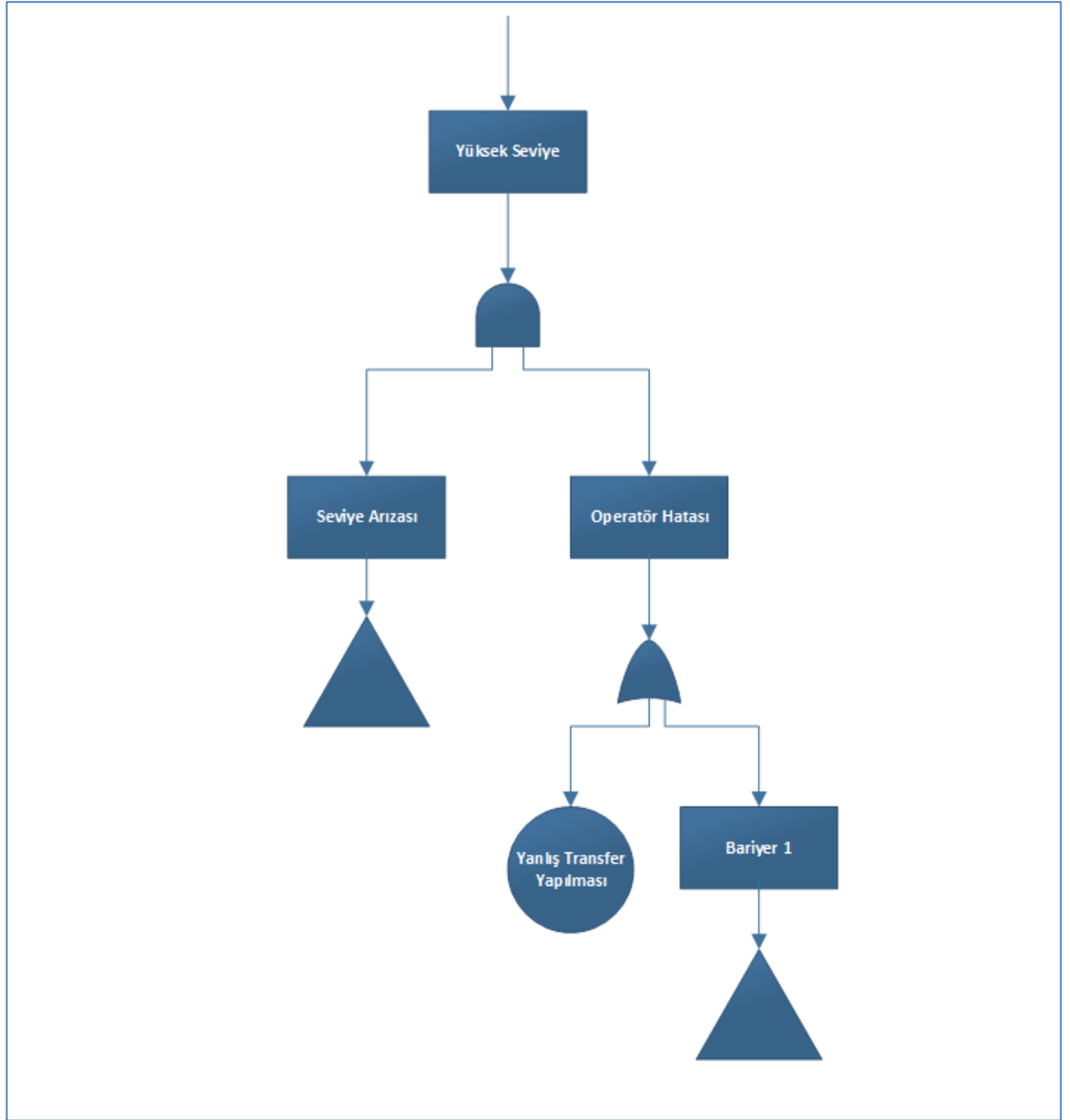
Sistemin çalışmasında en önemli etmenlerden birisi de sistemi çalıştırıp takip eden operatör yani insan faktörüdür. Operatörün hata yapmasına birçok etken neden olabilir. Bu nedenler, “Operatörün Bilgisizliği”, “Yanlış Aksiyon”, “Başarısız Aksiyon” ve “Hatalı Etkinleştirme” olarak belirlenmiş olup VEYA-kapısı ile birbirine bağlanmıştır (Şekil 4.11.). Bu kök nedenlerin herhangi biri operatörün yanlış bir müdahalesine neden olabilir ve oluşabilecek sistem arızası sebebiyle “Bariyer” devreye giremez ve bu durum “LT1 Arızası” ile birlikte gerçekleştiğinde “Seviye Arızası”na neden olmaktadır.



Şekil 4.11. Yanlış Operatör müdahaleleri nedenleri

A32 Operatör Hatası

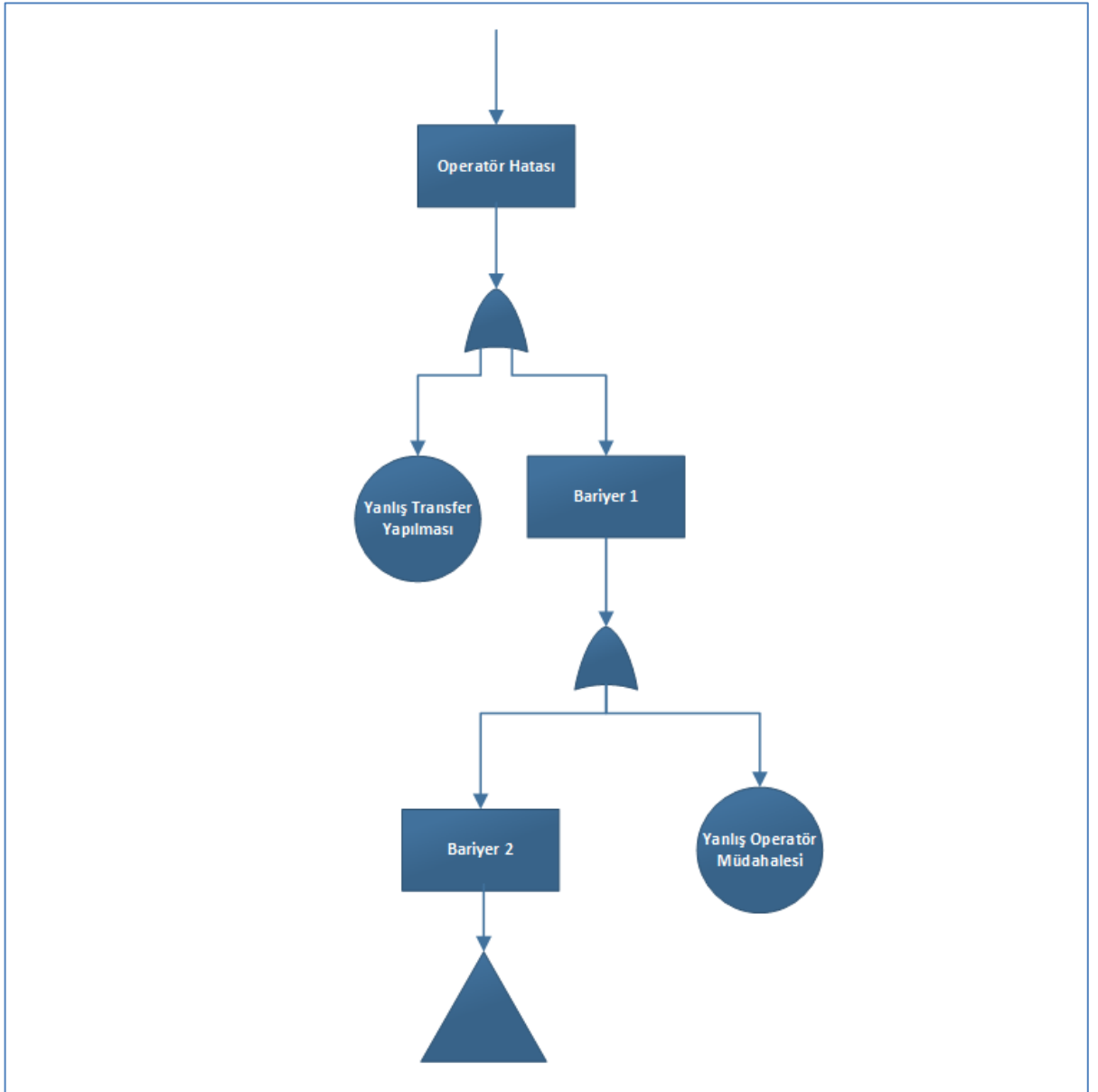
“Seviye Arızası” ile birlikte gerçekleştiğinde “Yüksek Seviye” olayına sebep olan “Operatör Hatası” nedenleri, “Yanlış Transfer Yapılması” veya “Bariyer1”in devreye girmemesi durumu olarak tespit edilmiştir ve herhangi birinde problem olması durumunda tehlike durumu oluşacağı için VEYA-kapısı ile birbirine bağlanmıştır (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. Operatör hatası nedenleri

A44 Bariyer1

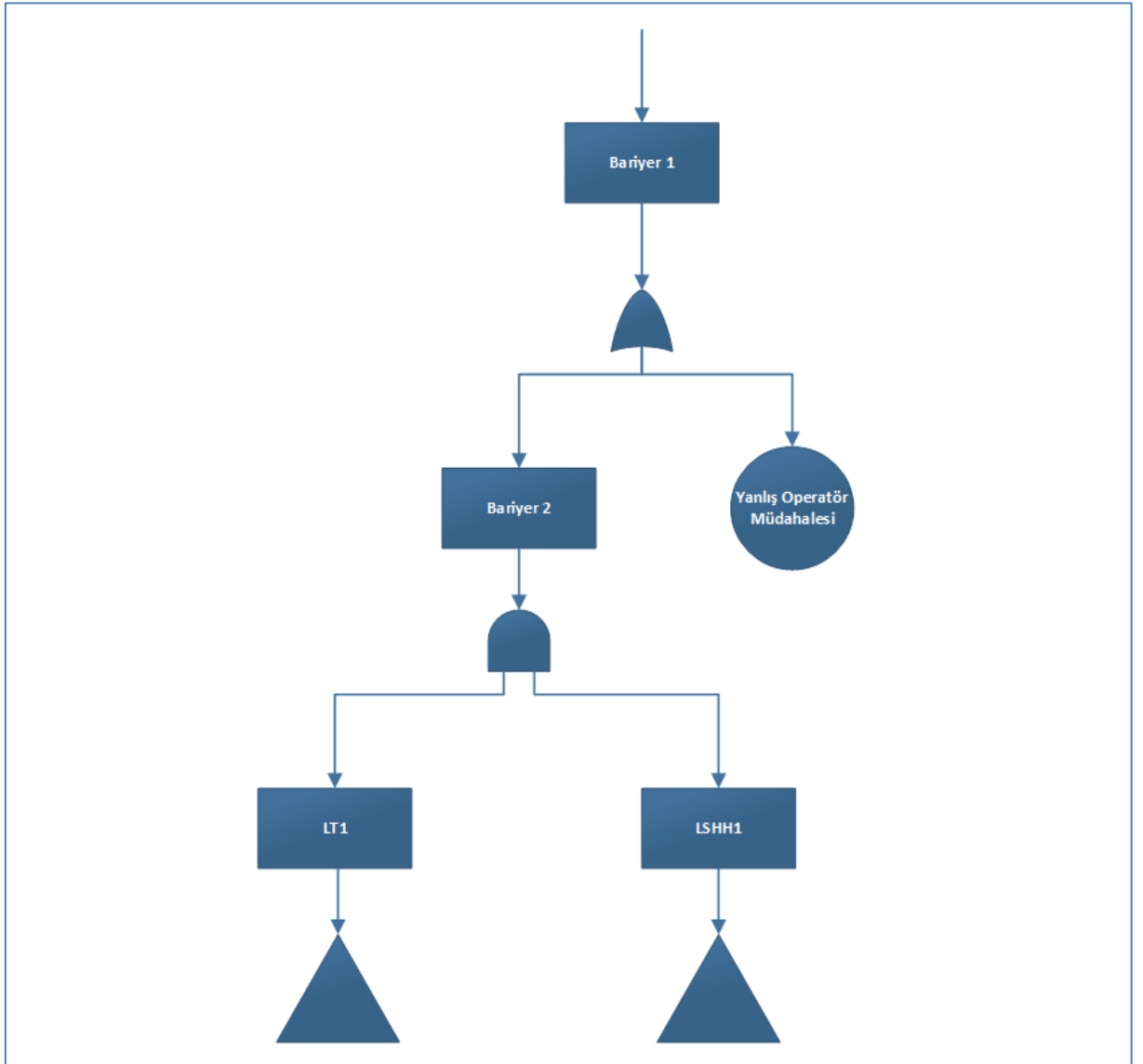
“Operatör Hatası” sebeplerinden olan sistem güvenliği için alınan bir önlem olan “Bariyer1”in devreye girmemesinin kök nedenleri “Bariyer2” ve “Yanlış Operatör Müdahalesi” olarak belirlenmiş olup, Şekil 4.13.’te gösterildiği gibi VEYA-kapısı ile birbirine bağlanmıştır. “Yanlış Operatör Müdahalesi”nin sebebi, operatörün güvenlik valflerini yani “SV1” ve “SV2”nin kapatmamış olmasıdır.



Şekil 4.13. Operatör hatası bariyer1 nedenleri

A55 Bariyer2

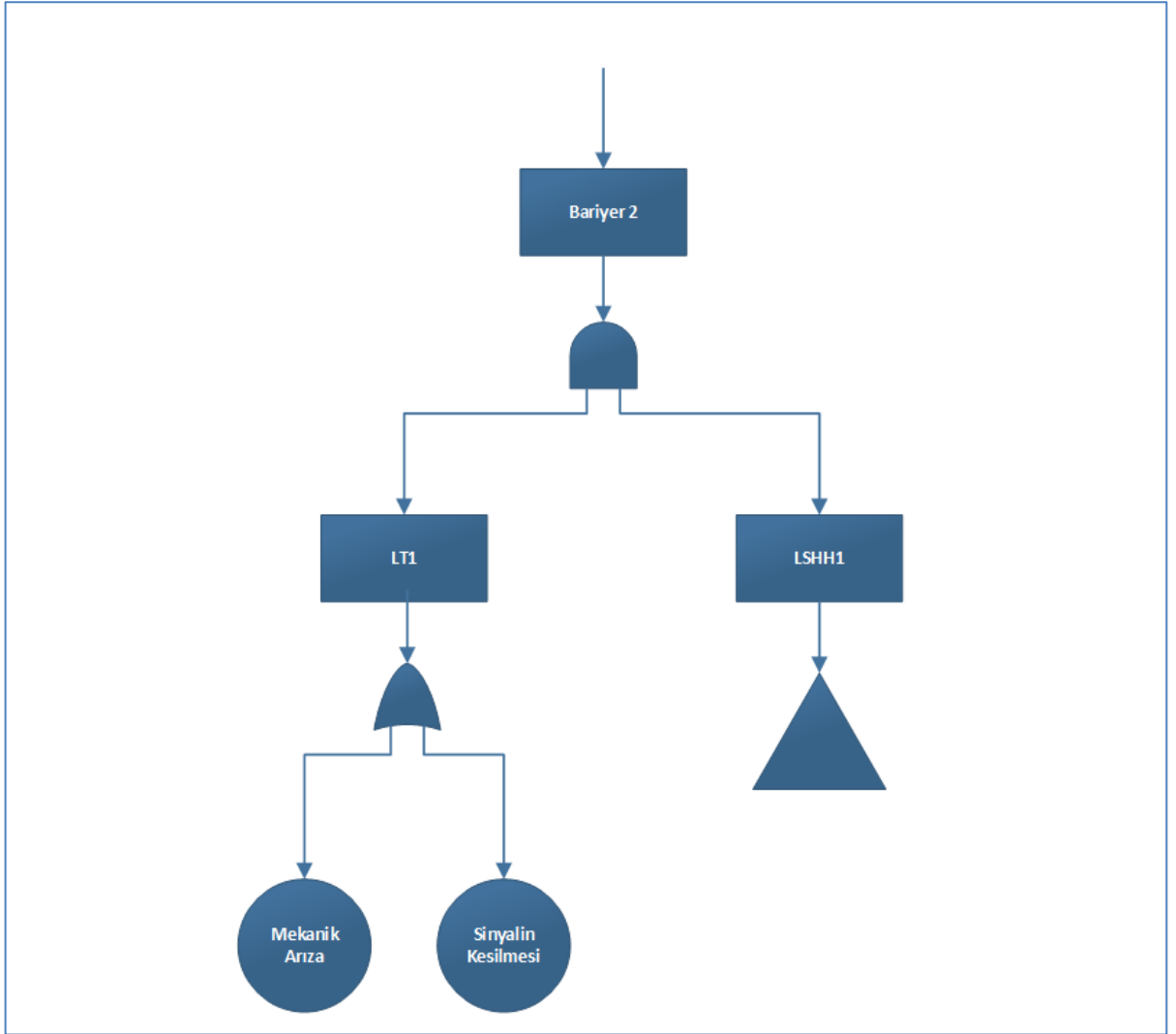
Sistemi korumak için alınan güvenli önlemlerinden biri olan “Bariyer1”in devre dışı olma sebeplerinden biri olan “Bariyer2”nin hata verme nedenleri seviye göstergesi olan “LT1” ve seviye alarmı olan “LSHH1”in arıza vermesi olarak belirlenmiştir. Her ikisinin gerçekleşmesi durumunda “Bariyer1” devre dışı olmasına neden olacağından Şekil 4.14 de gösterildiği gibi VE-kapısı ile bağlanmıştır.



Şekil 4.14. Operatör hatası bariyer2 nedenleri

A67 LT1 Arızası

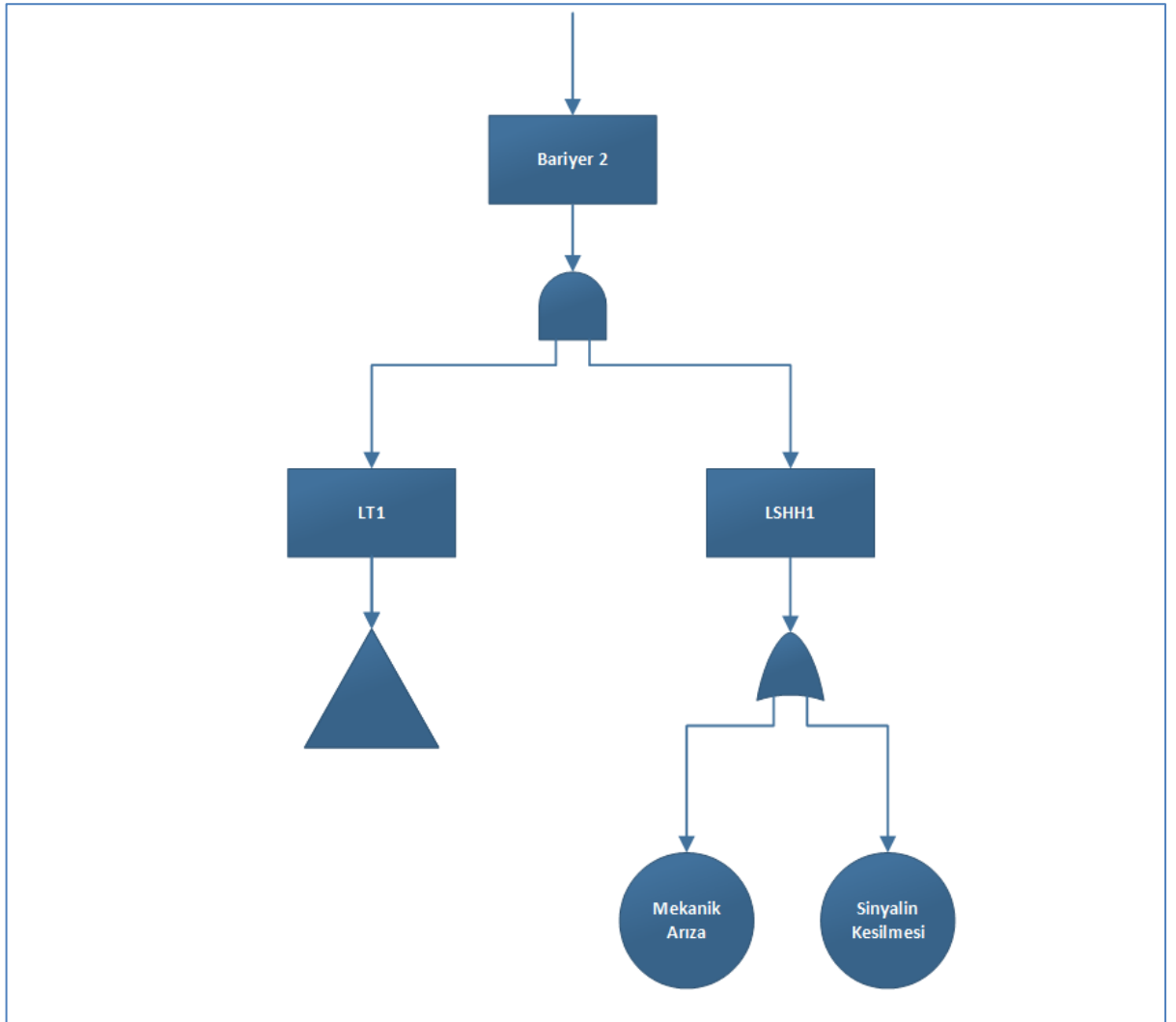
Seviye Göstergesi olan “LT1”in mekanik bir arıza vermesi veya bilgi aktarımını sağlayamaması yani sinyal kesilmesi durumunda “LT1 Arızası” meydana gelmektedir. “LT1 Arızası”nın kök nedenleri olarak “Mekanik Arıza” ve “Sinyalin Kesilmesi” belirlenmiş olup VEYA-kapısı ile bağlanmıştır. (Şekil 4.15.)



Şekil 4.15. LT1 arızası nedenleri

A68 LSHH1 Arızası

Yüksek seviye alarmı olan “LSHH1”ın hata verme kök nedenleri, “Mekanik Arıza” ve “Sinyalin Kesilmesi” olarak belirlenmiş olup VEYA-kapısı ile birbirine bağlanmıştır. Bu nedenlerin herhangi birisinin meydana gelmesi durumunda “LSHH1” hata verecektir. Şekil 4.16’da gösterilmiştir.

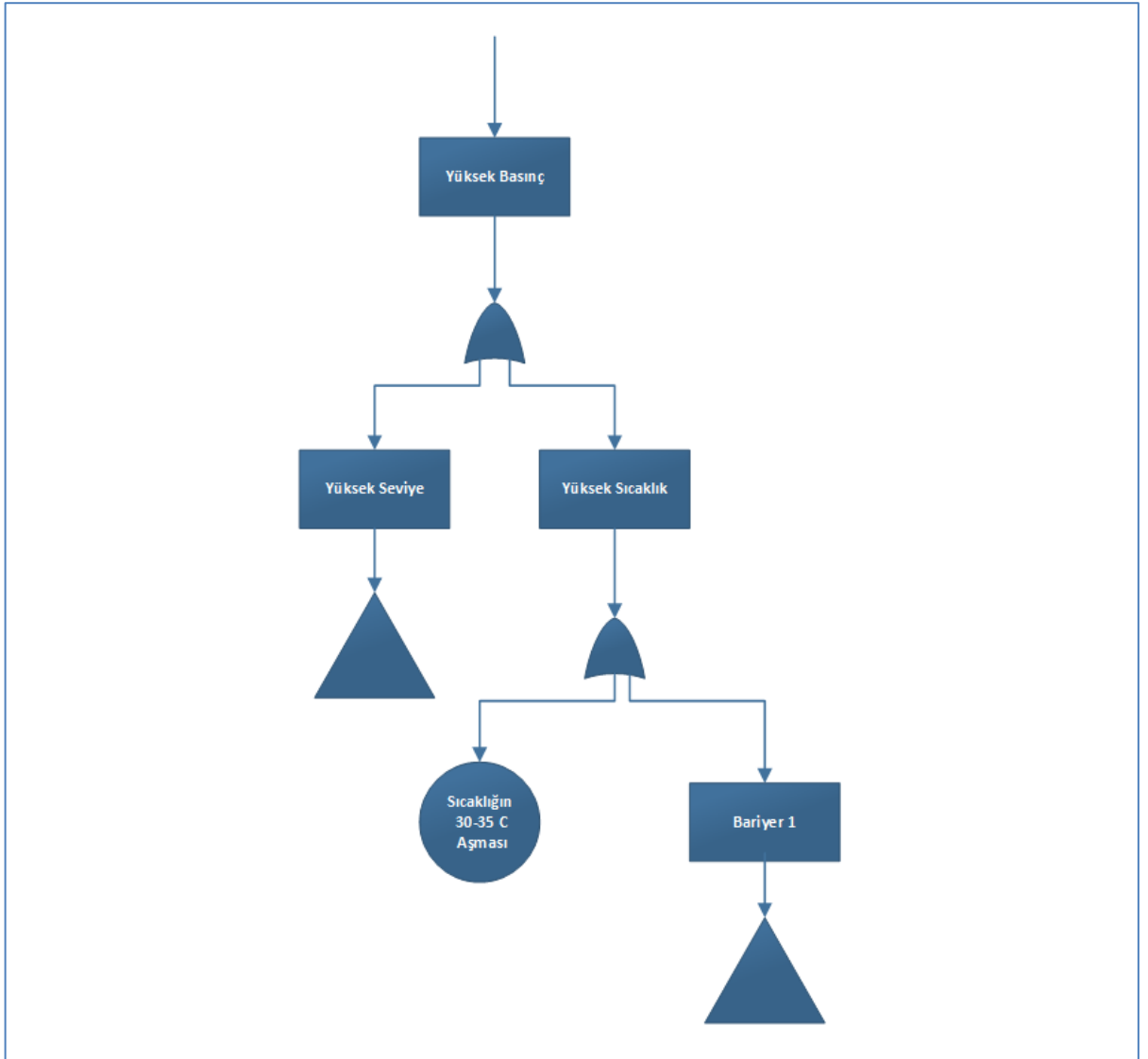


Şekil 4.16. LSHH1 arızası nedenleri

A22 Yüksek Sıcaklık

“Yüksek Basınç”ın nedenlerinden biri olan “Yüksek Sıcaklık” Şekil 4.5.’te Transfer-kapısı ile bağlanmıştı. Bu bölümde diğer kök neden olan “Yüksek Sıcaklık”ın nedenleri detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

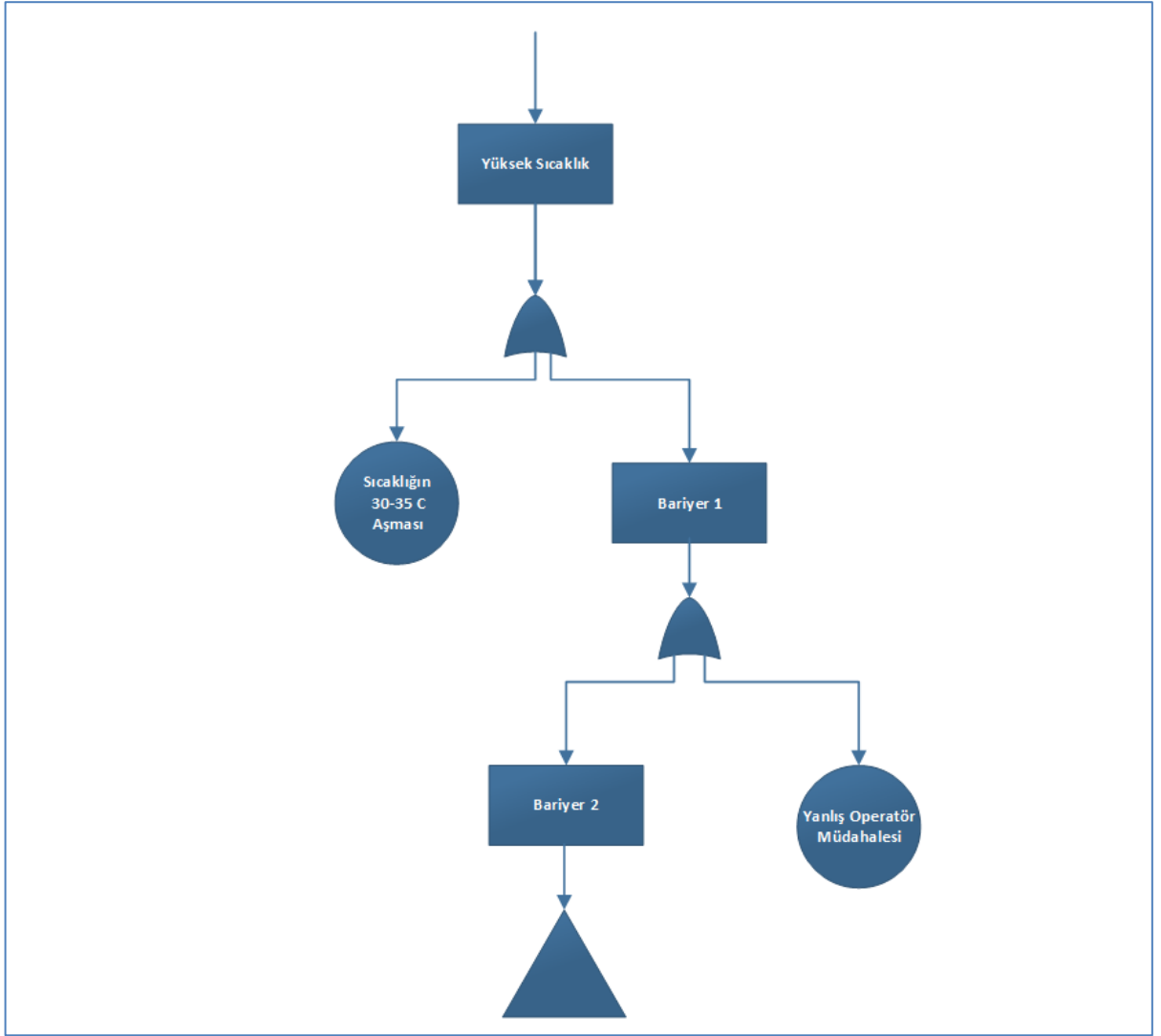
“Yüksek Sıcaklık”ın nedenleri, sistem için tehlike olan sıcaklığın 30-35 °C’yi aşması durumu ve bu durum altında “Bariyer1”in devreye girmemesi durumu olarak belirlenmiştir. Bu iki neden VE-kapısı ile birbirine bağlanmıştır (Şekil 4.17.). “Tank İçi Sıcaklığın 30-35°C’yi Aşması” durumu sistemi tehlikeye sokar ve sıcaklık artışı ile sistem risklerinden “Yüksek Basınç” riskini doğurur. Bu olayın oluşmasını önlemek adına sisteme “Bariyerler” eklenmiştir.



Şekil 4.17. Yüksek sıcaklık nedenleri

A34 Bariyer1

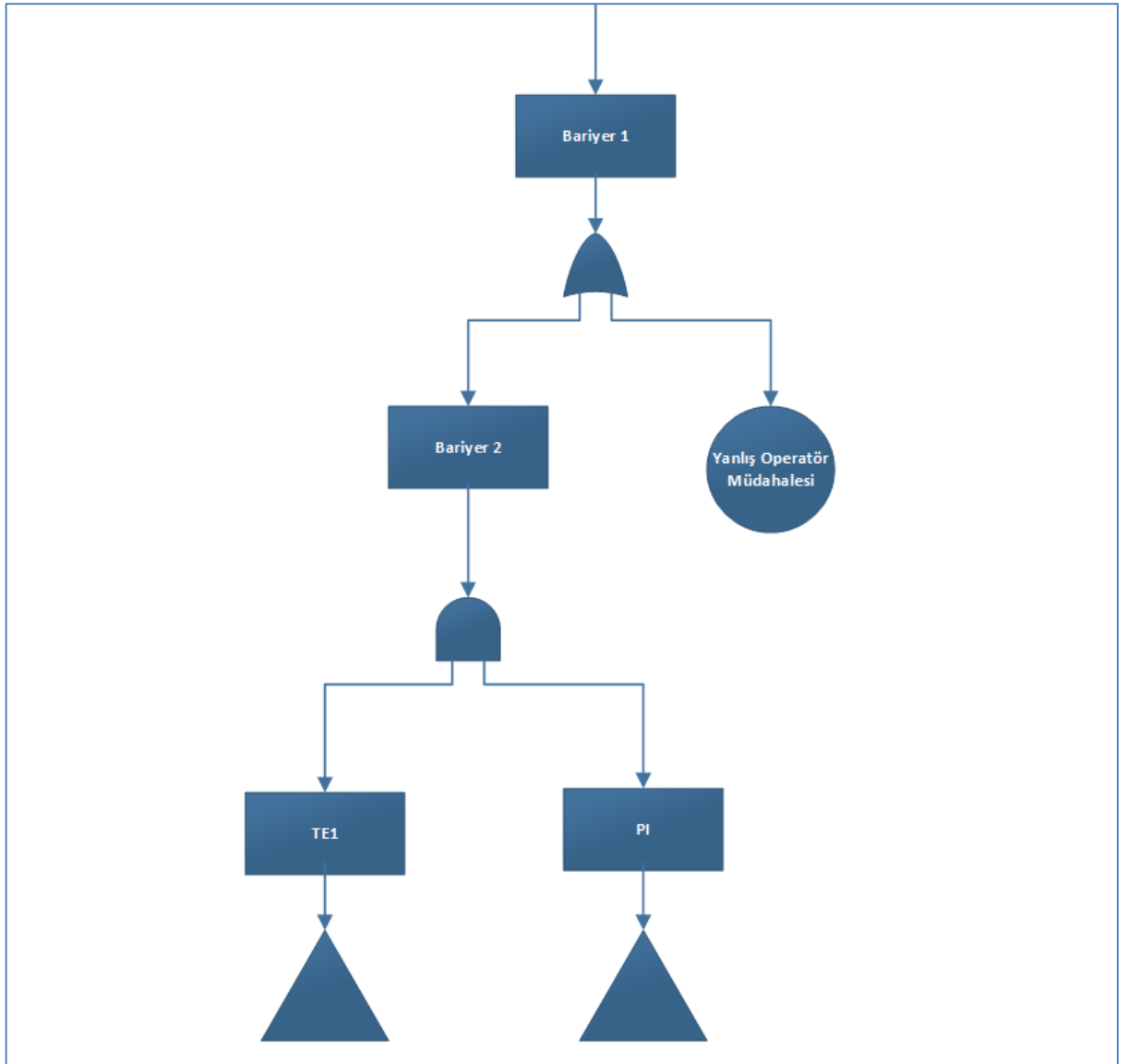
“Yüksek Sıcaklık” nedenlerinden biri olan “Bariyer1”in nedenleri “Bariyer2” ve “Operatörün Yanlış Müdahalesi” olarak belirlenmiş olup Şekil 4.18 deki gibi VEYA-kapısı ile birbirine bağlanmıştır. “Operatörün Yanlış Müdahalesi”, operatörün soğutma sistemini açması gerekirken açmamış olmasıdır.



Şekil 4.18. Yüksek sıcaklık bariyer1 nedenleri

A45 Bariyer2

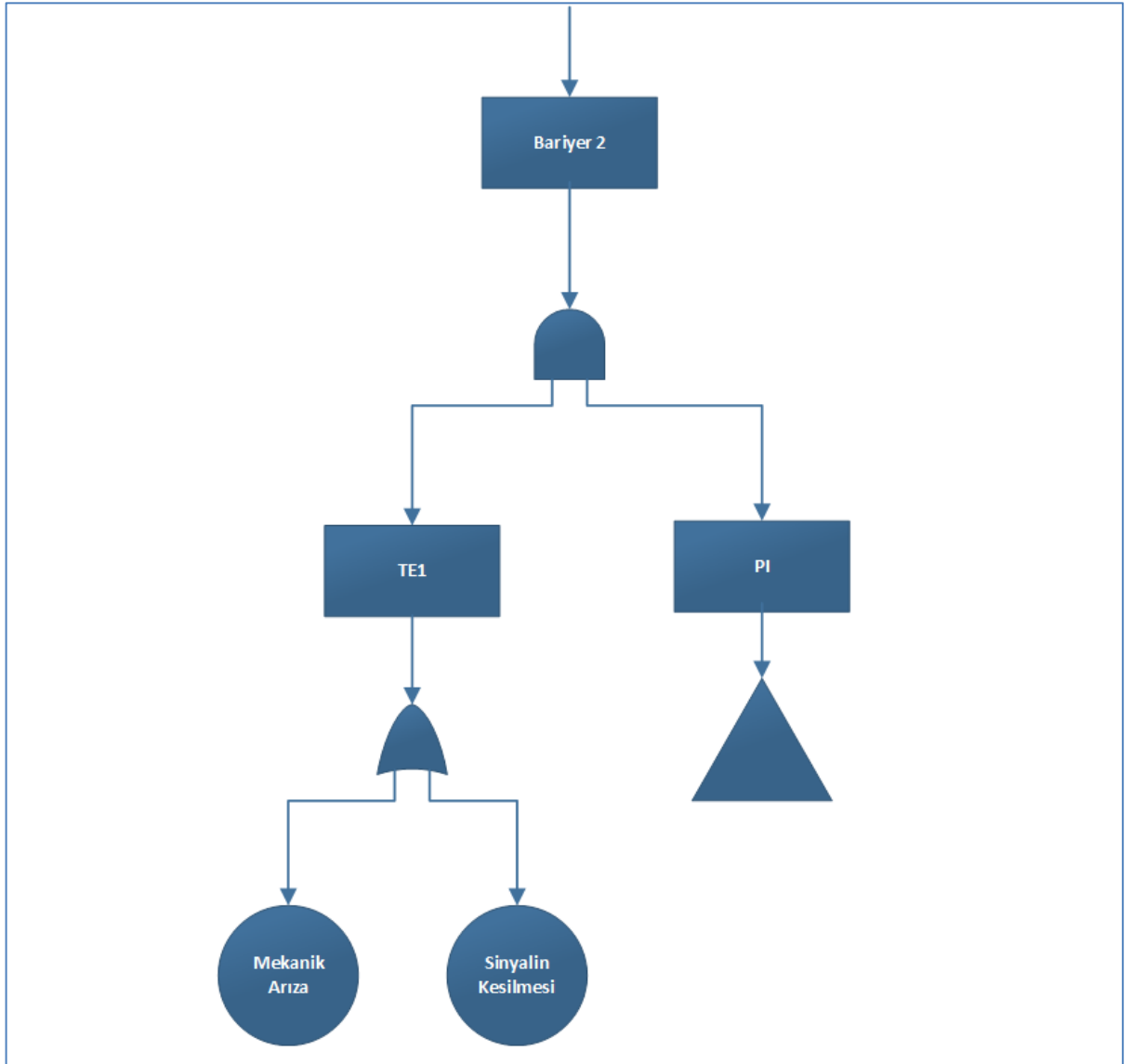
“Yüksek Sıcaklık” sebeplerinden biri olan “Bariyer2” nedenleri sıcaklık ölçer “TE1”in ve basınç göstergesi “PI”nin arızası olarak belirlenmiş olup Şekil 4.19. da görüldüğü gibi VE-kapısı ile birbirine bağlanmıştır. Sistem “Sıcaklık Ölçer (TE1)” ve “Basınç Göstergeleri (PI)” yardımı ile sürekli olarak izlenmektedir. “Operatörün Yanlış Müdahalesi” sıcaklığın daha fazla artmasına sebep olabilir. Sistemin takibi için mevcut olan iki ana eleman “Sıcaklık Ölçer (TE1)” ve “Basınç Göstergeleri (PI)”nin arızalı olması veya bilgi aktarma konusunda iletişim kablolarında yaşanabilecek sorunlar sebebiyle “Bariyer2”nin yanlış zamanda ya da yanlış şekilde devreye girmesine sebep olabilir.



Şekil 4.19. Yüksek sıcaklık bariyer2 nedenleri

A57 TE1 Arızası

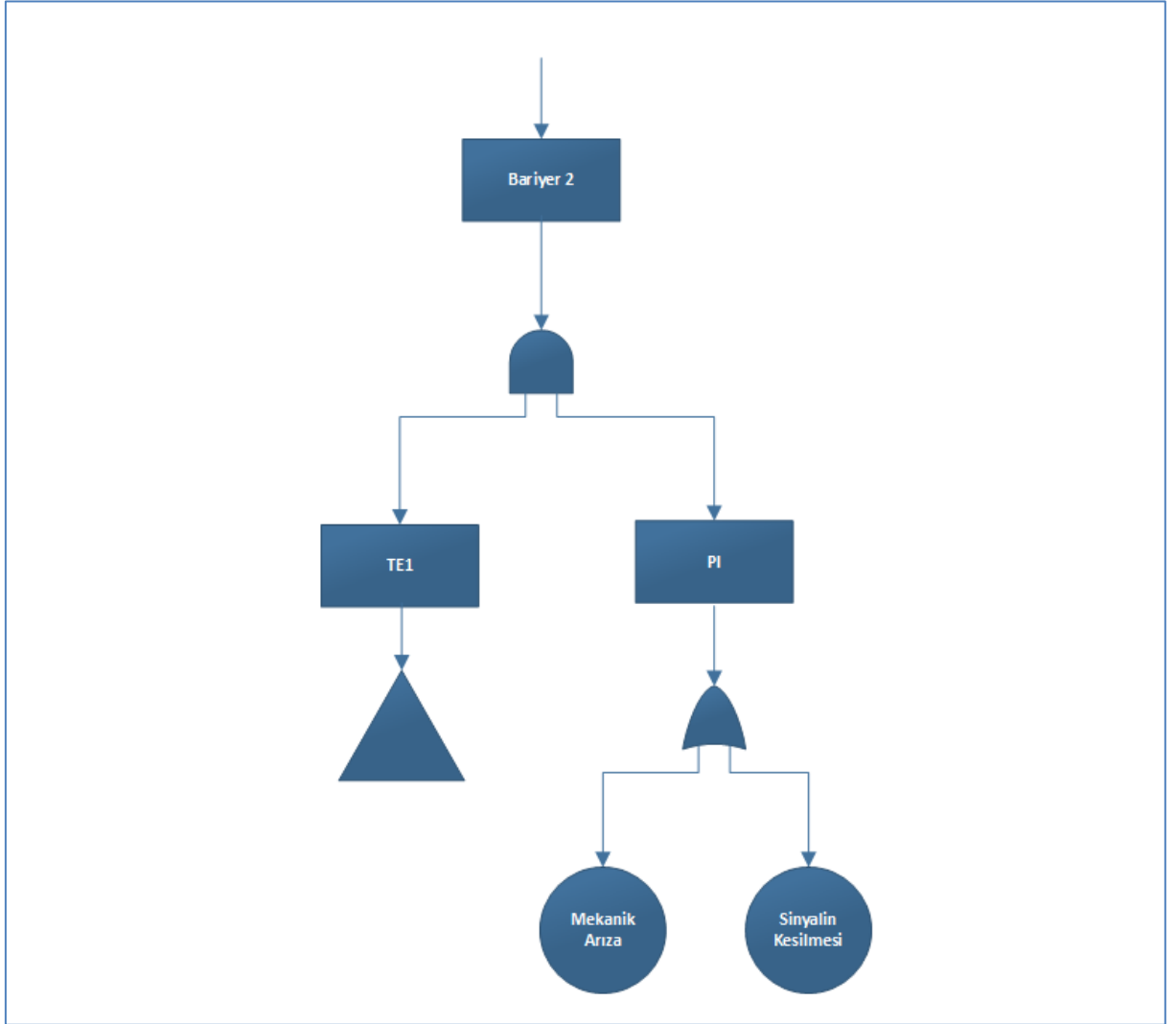
Sıcaklık ölçer “TE1”ın hata vermesinin kök nedenleri, “Mekanik Arıza” ve “Sinyalin Kesilmesi” olarak belirlenmiş olup Şekil 4.20.’de gösterildiği gibi VEYA-kapısı ile birbirine bağlanmıştır. Bu nedenlerin herhangi birisi meydana gelmesi durumunda “TE1” hata verecektir.



Şekil 4.20. TE1 arızası nedenleri

A58 PI Arızası

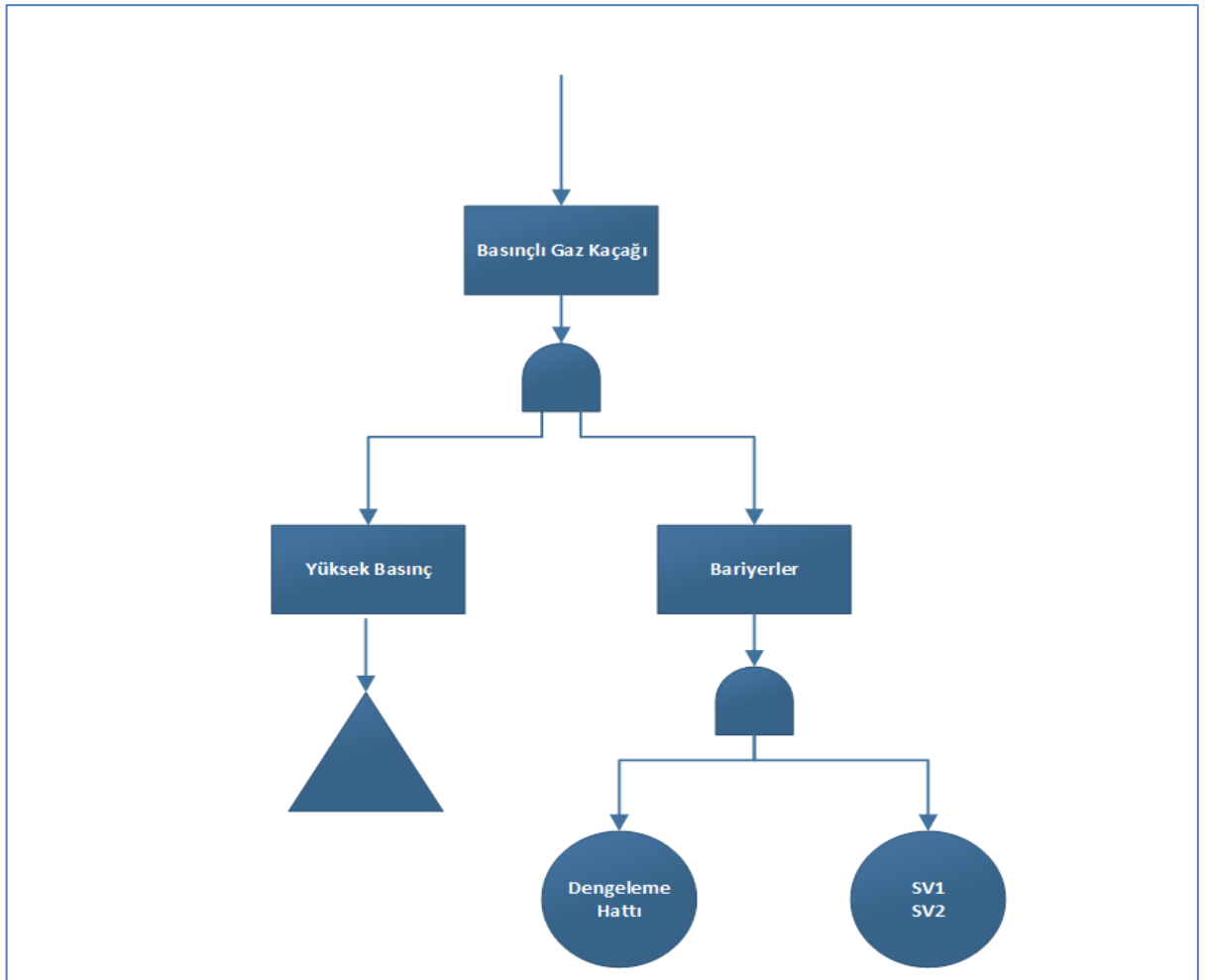
Basınç göstergesi “PI”ın hata vermesinin kök nedenleri, “Mekanik Arıza” ve “Sinyalin Kesilmesi” olarak belirlenmiş olup Şekil 4.21.’de gösterildiği şekilde VEYA-kapısı ile birbirine bağlanmıştır. Bu nedenlerin herhangi birisi meydana gelmesi durumunda “PI” hata verecektir.



Şekil 4.21. PI arızası nedenleri

A12 Bariyerler

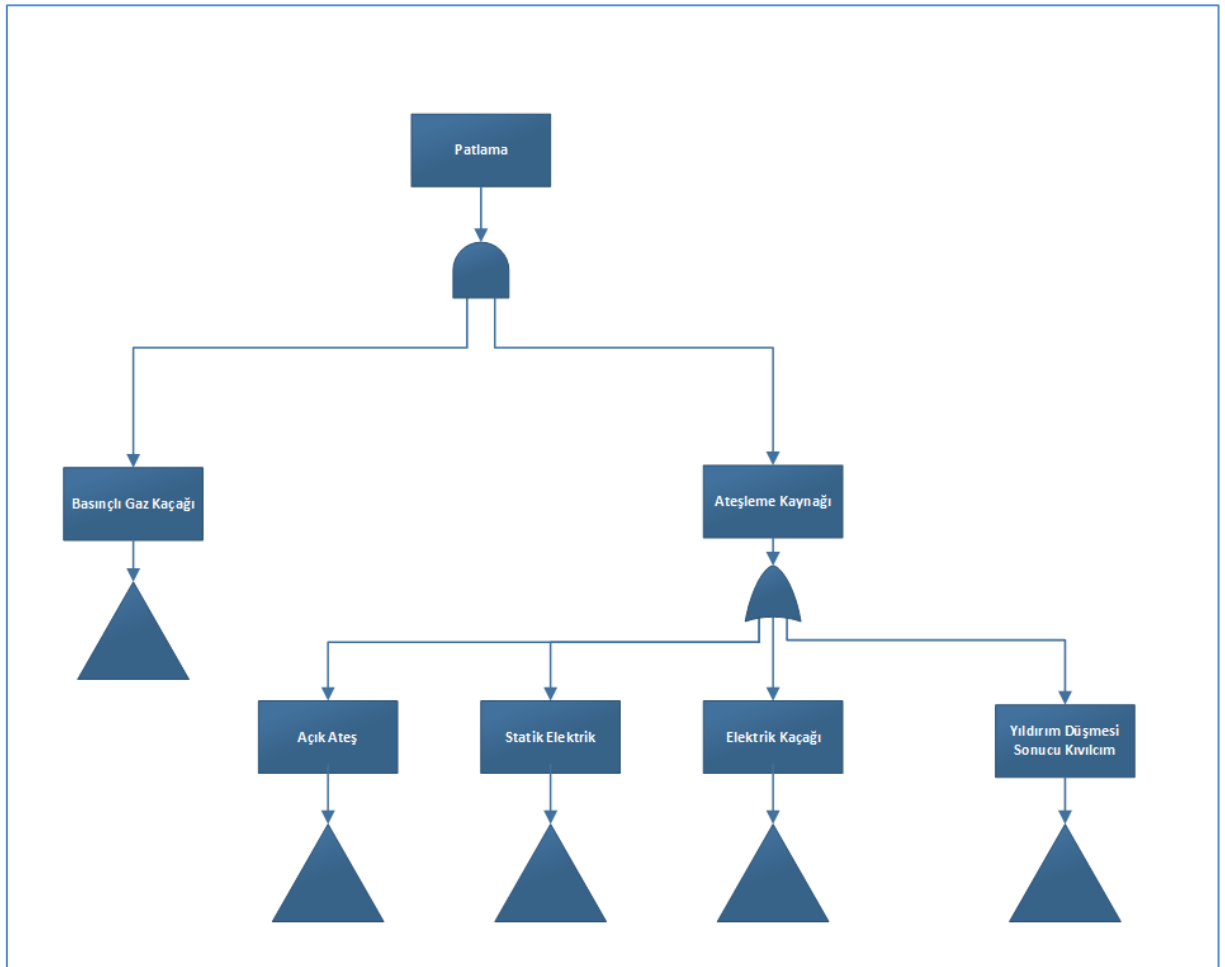
“Bariyerler” tüm sistemi korumak için alınan güvenlik önlemleridir. Sistem “Dengeleme Hattı” ve “Güvenlik Valfleri” olan “SV1” ve “SV2” ile koruma altına alınmıştır. “Dengeleme Hattı” ve “Güvenlik Valfleri”, sistem tasarımında planlanan diğer önlemlerde bir sorun yaşanması durumunda en son olarak devreye girecek mekanik bariyerlerdir. Güvenlik valflerinin görevi, sistem giriş basıncını belirli bir değerde sınırlamaktır. Dengeleme hattı ise akışkan kaynağından gelen basınç değişikliklerinin etkisini en aza indirger ve pistonlu pompa değişikliği ya da dengesiz pompa düşüşlerinin neden olduğu malzeme akışı değişikliklerini azaltır veya ortadan kaldırır. Ani artış değişimlerini önler. Bu iki parametrede oluşabilecek arıza basınçlı gaz kaçağına neden olabilir. “Bariyerler” arızasının kök nedenleri “Dengeleme Hattı” ve Güvenlik Valfleri olan “SV1” ve “SV2” arızası olarak belirlenmiş olup VE-kapısı ile bağlanmıştır (Şekil 4.22.). Bu nedenlerin arızası durumunda, patlamaya sebep olabilecek durumlar meydana gelmektedir.



Şekil 4.22. Bariyerlerin hata nedenleri

B0 Ateşleme Kaynağı

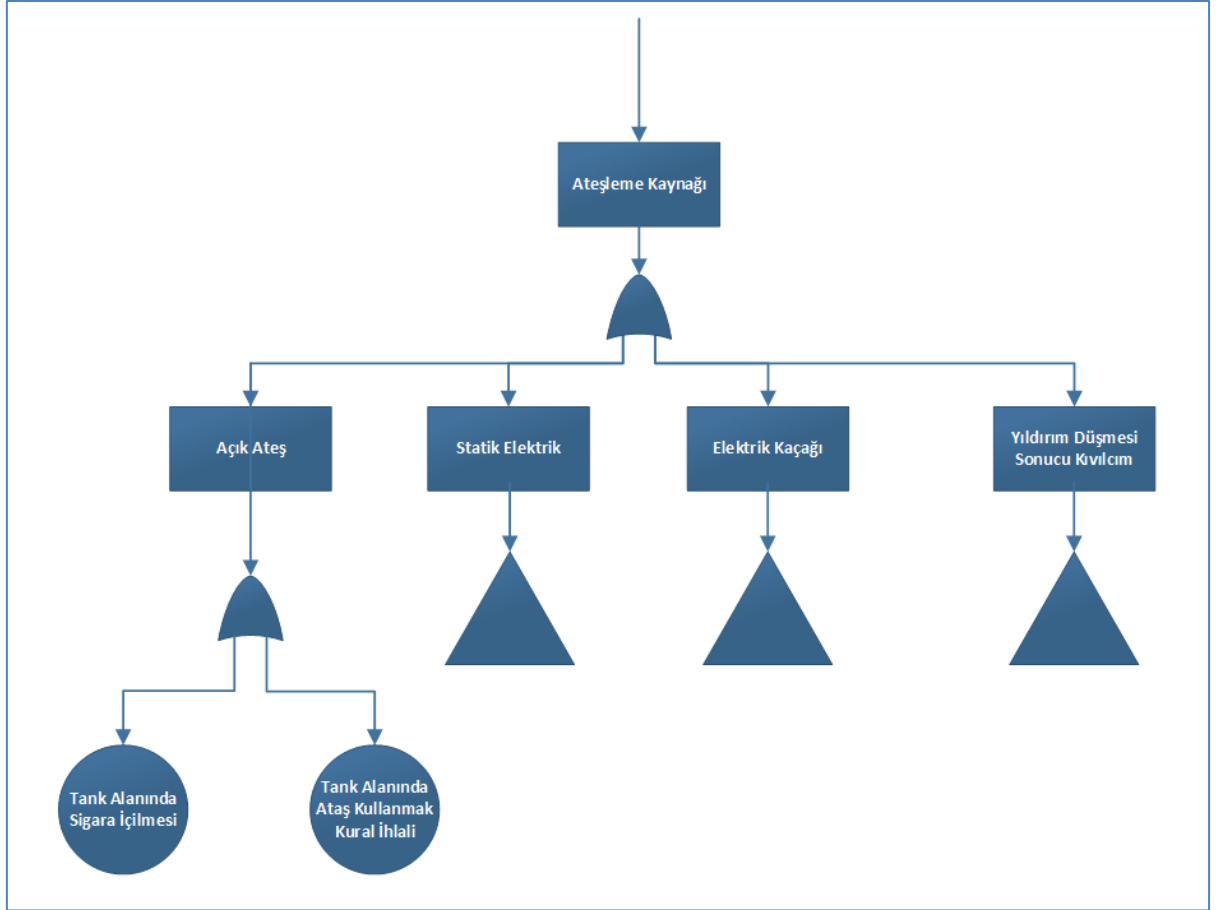
“Ateşleme Kaynağı”, Patlama olayının meydana gelmesine neden olabilen en etkin parametredir. “Ateşleme Kaynağı”nın nedenleri, “Açık Ateş”, “Statik Elektrik”, “Elektrik Kaçağı” ve “Yıldırım Düşmesi Sonucu Kıvılcım” olarak belirlenmiş olup her bir neden VEYA-kapısı ile birbirine bağlanmıştır (Şekil 4.23.).



Şekil 4.23. Ateşleme kaynağı nedenleri

B11 Açık Ateş

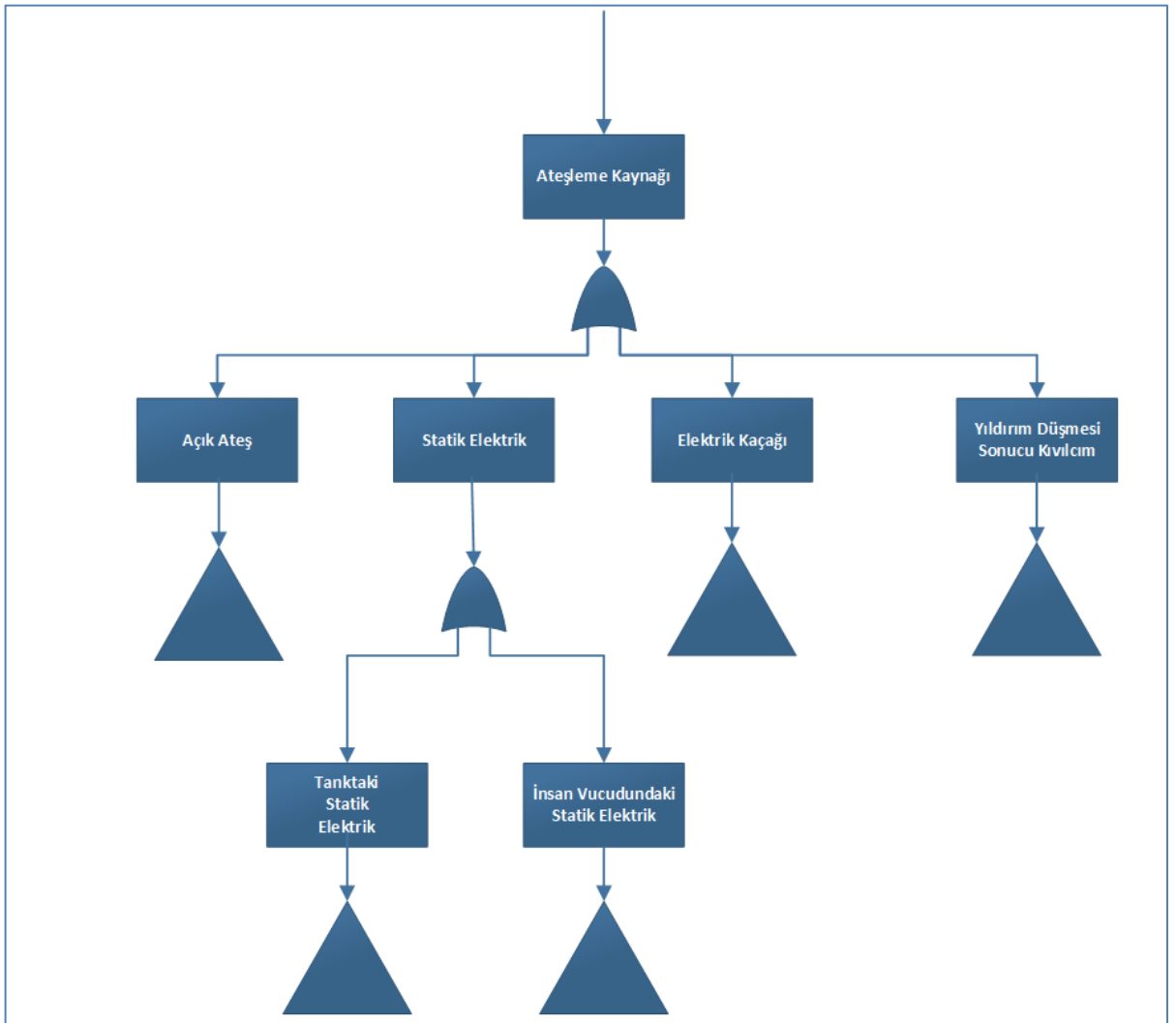
“Açık Ateş” nedenleri olarak “Tank Alanında Sigara İçilmesi” ve “Tank Alanında Ateş Kullanma Kuralı İhlali” olarak belirlenmiş olup VEYA-kapısı ile birbirine bağlanmıştır ve Şekil 4.24.’te gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Açık ateş nedenleri

B12 Statik Elektrik

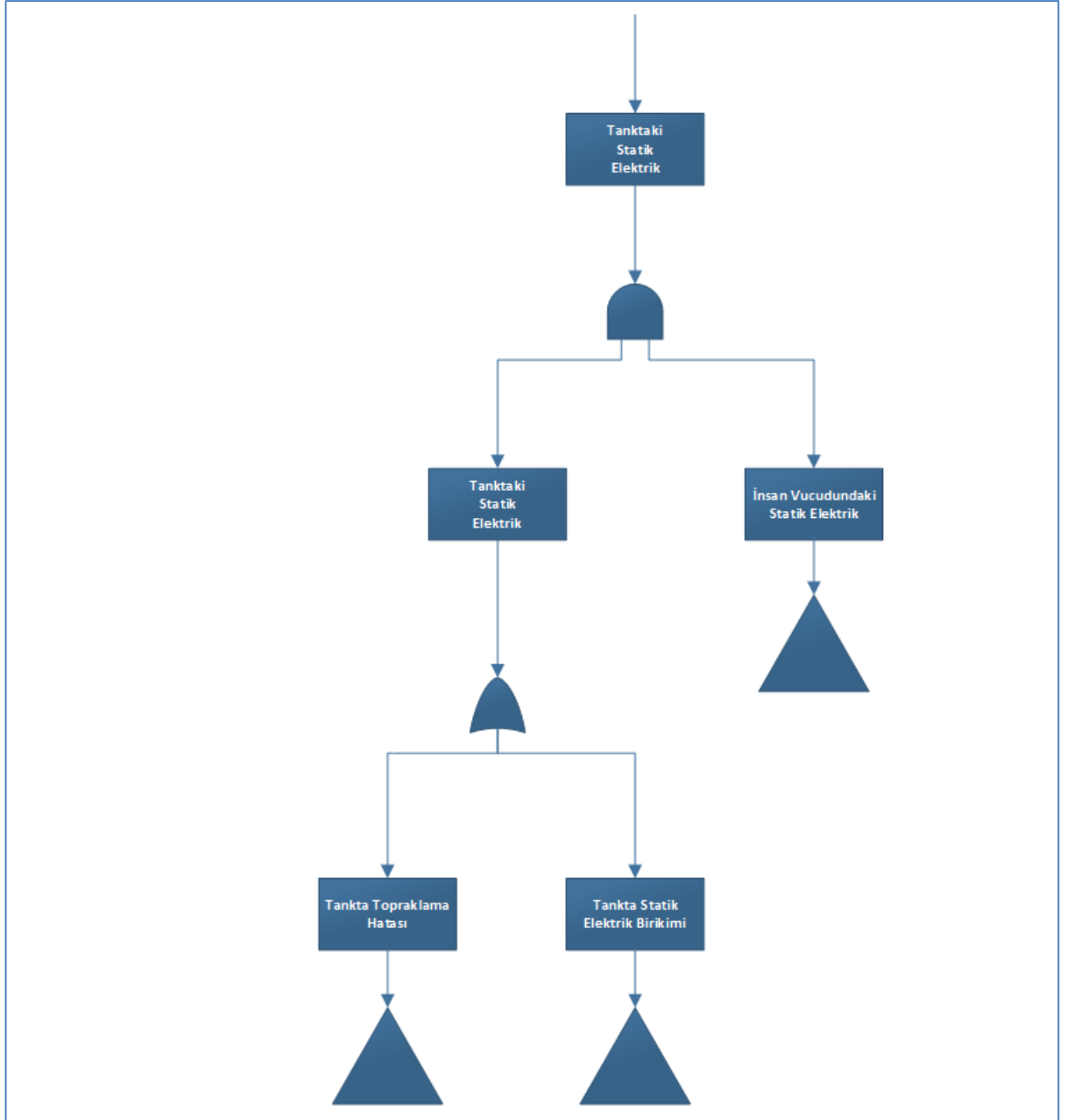
“Statik Elektrik Nedenleri”, “Tanktaki Statik Elektrik” ve “İnsan Vücudundaki Statik Elektrik” olarak tespit edilmiş olup birbirlerine VEYA-kapısı ile bağlanmıştır (Şekil 4.25.). “Statik Elektrik” olayı ise iki türlü meydana gelebilir. Bunlardan birincisi “Tanktaki Statik Elektrik”tir. “Statik Elektrik” olayını meydana getirebilecek bir diğer etmen ise “İnsan Vücudundaki Statik Elektrik”tir.



Şekil 4.25. Statik elektrik nedenleri

B23 Tanktaki Statik Elektrik

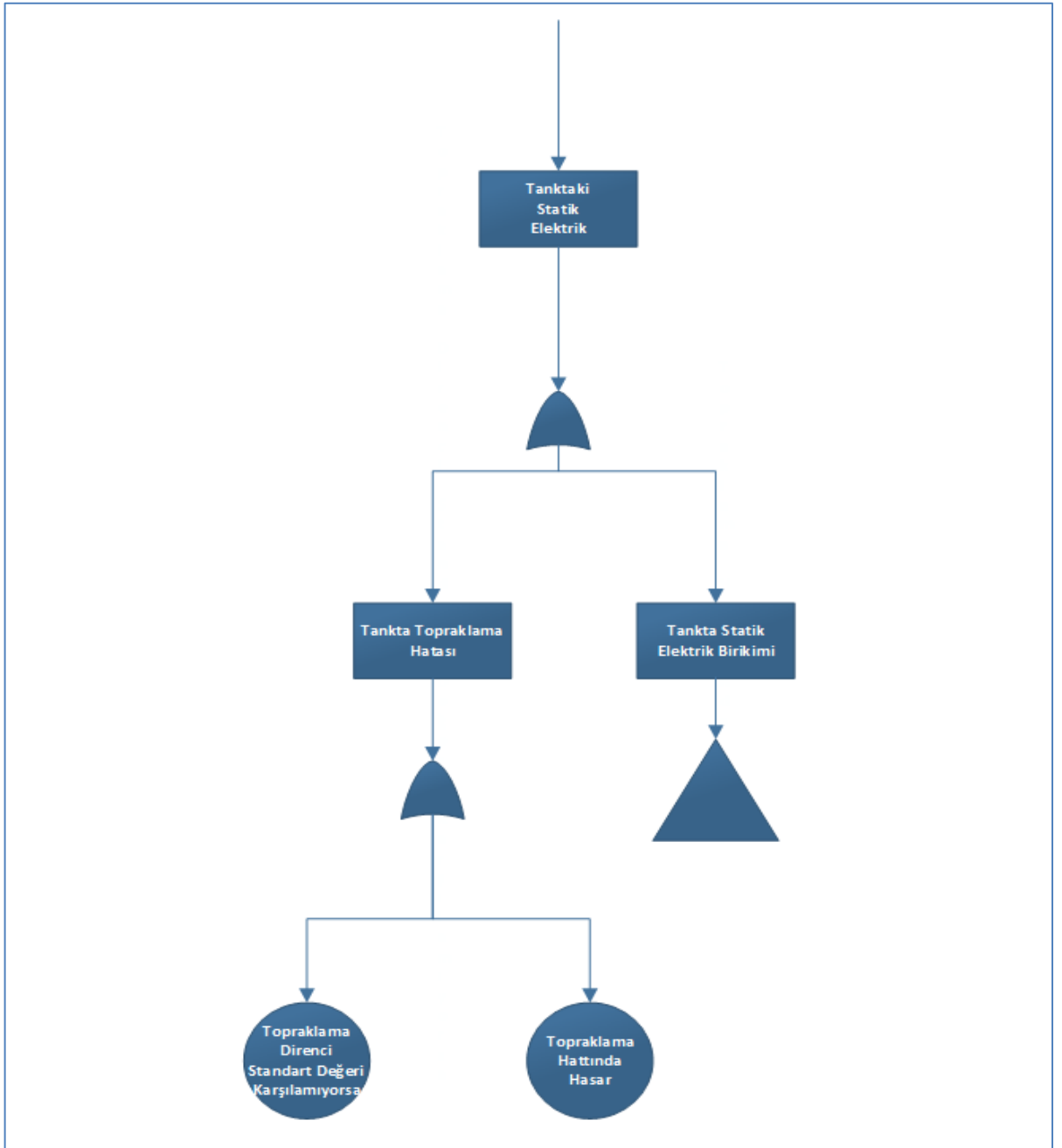
“Tanktaki Statik Elektrik Nedenleri”, “Tanktaki Topraklama Hatası” ve “Tankta Statik Elektrik Birikimi” olarak belirlenmiştir ve birbirlerine VEYA-kapısı ile bağlanmıştır (Şekil 4.26.).



Şekil 4.26. Tanktaki statik elektrik nedenleri

B31 Tankta Topraklama Hatası

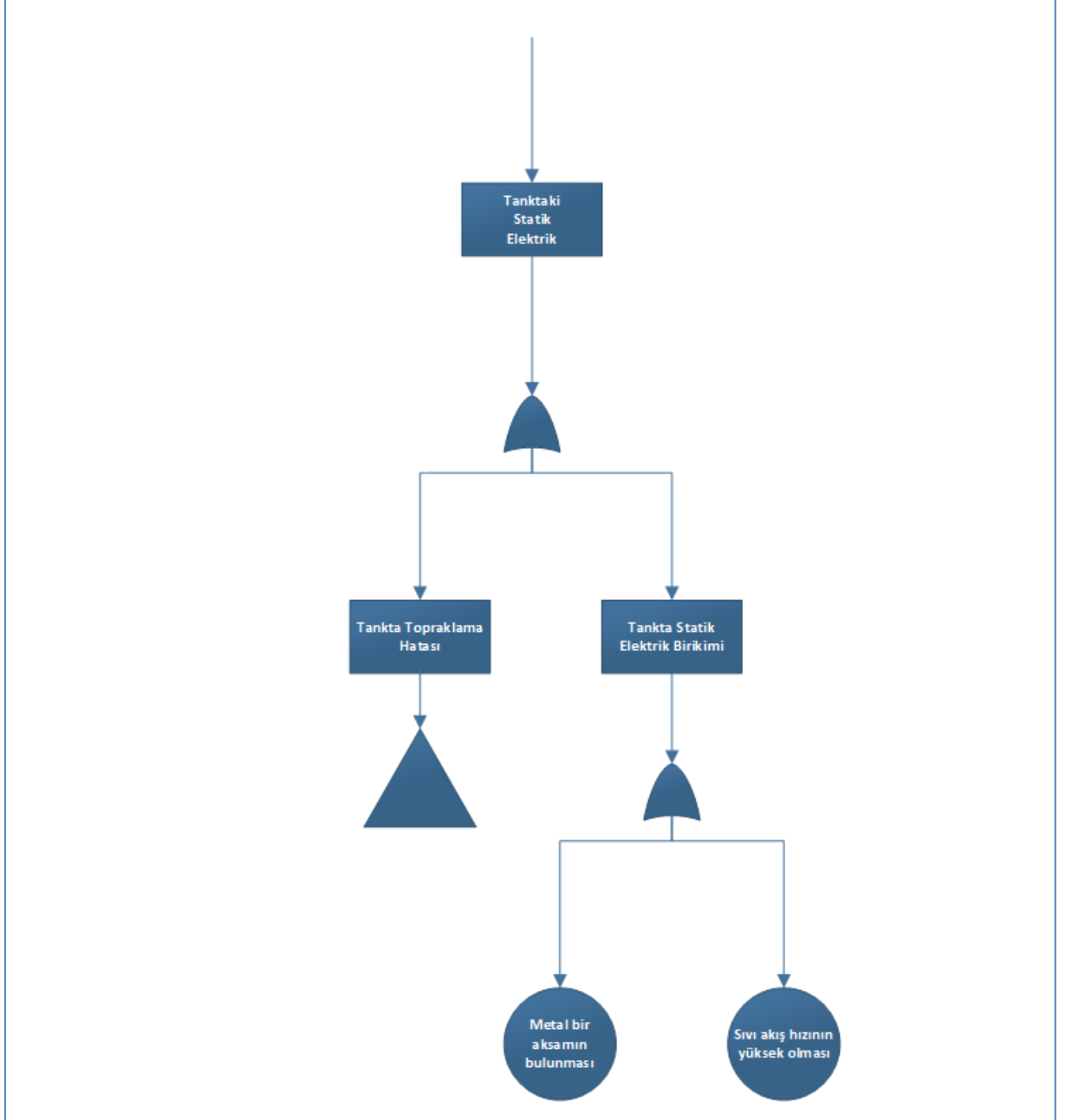
“Tankta Topraklama Hatası”nın kök nedenleri, “Topraklama Direnci Standart Değeri Karşılamıyorsa” ve “Topraklama Hattında Hasar Olması” olarak tespit edilmiştir. Bu iki kök neden Şekil 4.27.’de gösterildiği gibi VEYA-kapısı ile bağlanmıştır. Eğer “Topraklama Direnci Standart Değeri Karşılamıyorsa” veya “Topraklama Hattında Hasar” oluşmuşsa, tankta statik elektrik birikimi oluşur ve sistemde bir “Ateşleme Kaynağı” olarak büyük bir risk ortaya çıkarır.



Şekil 4.27. Tanktaki topraklama hatası nedenleri

B32 Tankta Statik Elektrik Birikimi

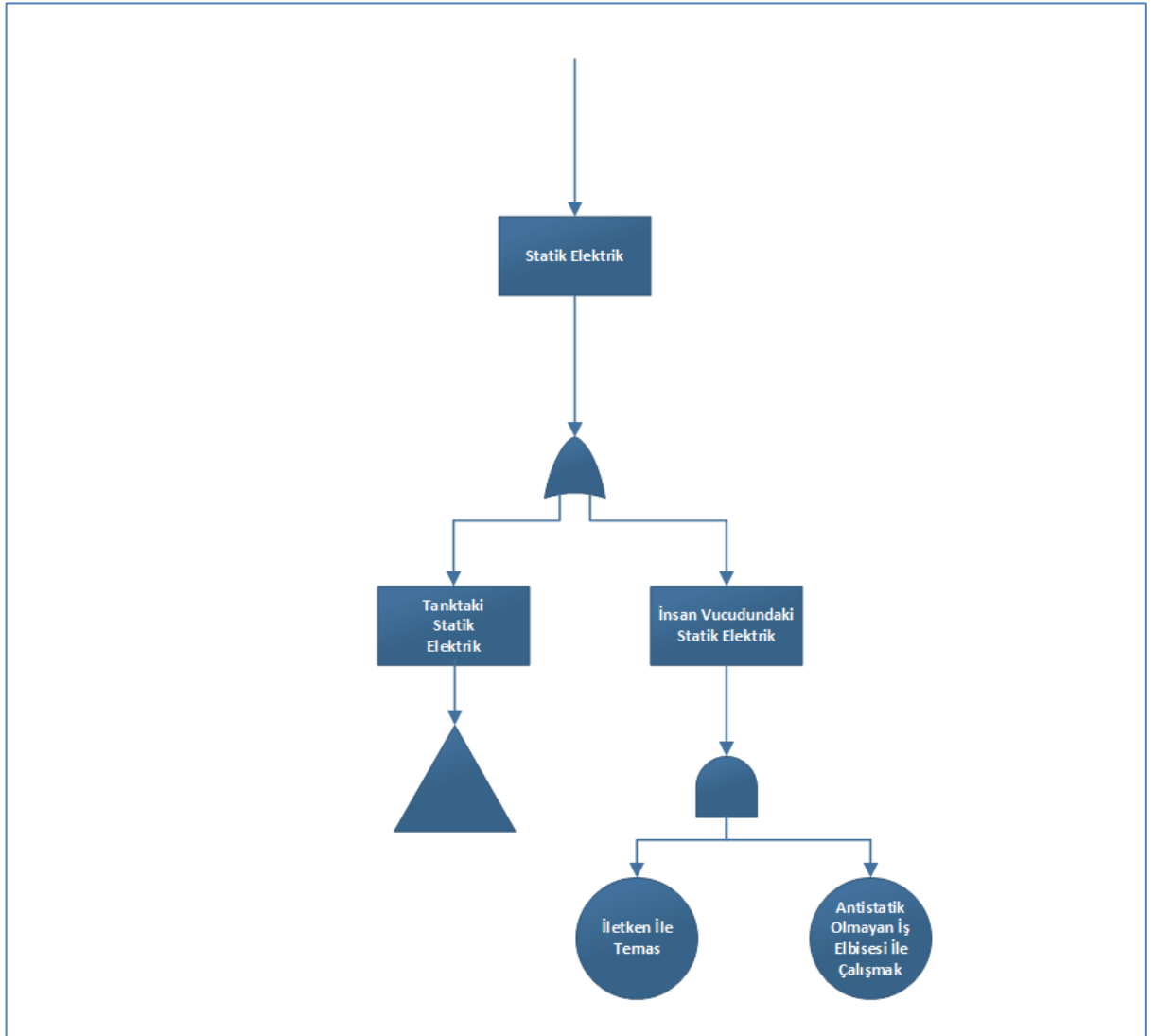
“Tankta Statik Elektrik Birikimi”nin kök nedenleri, “Metal Bir Aksamın Bulunması” ve “Sıvı Akış Hızının Yüksek Olması” olarak belirlenmiş olup Şekil 4.28. deki gibi VEYA-kapısı ile bağlanmıştır. Metal bir aksamın bulunması tankta bir statik elektrik birikimine neden olabileceği gibi sıvı akış hızının yüksekliği de statik elektrik birikimine yol açabilir.



Şekil 4.28. Tanktaki statik elektrik birikimi nedenleri

B24 İnsan Vücudundaki Statik Elektrik

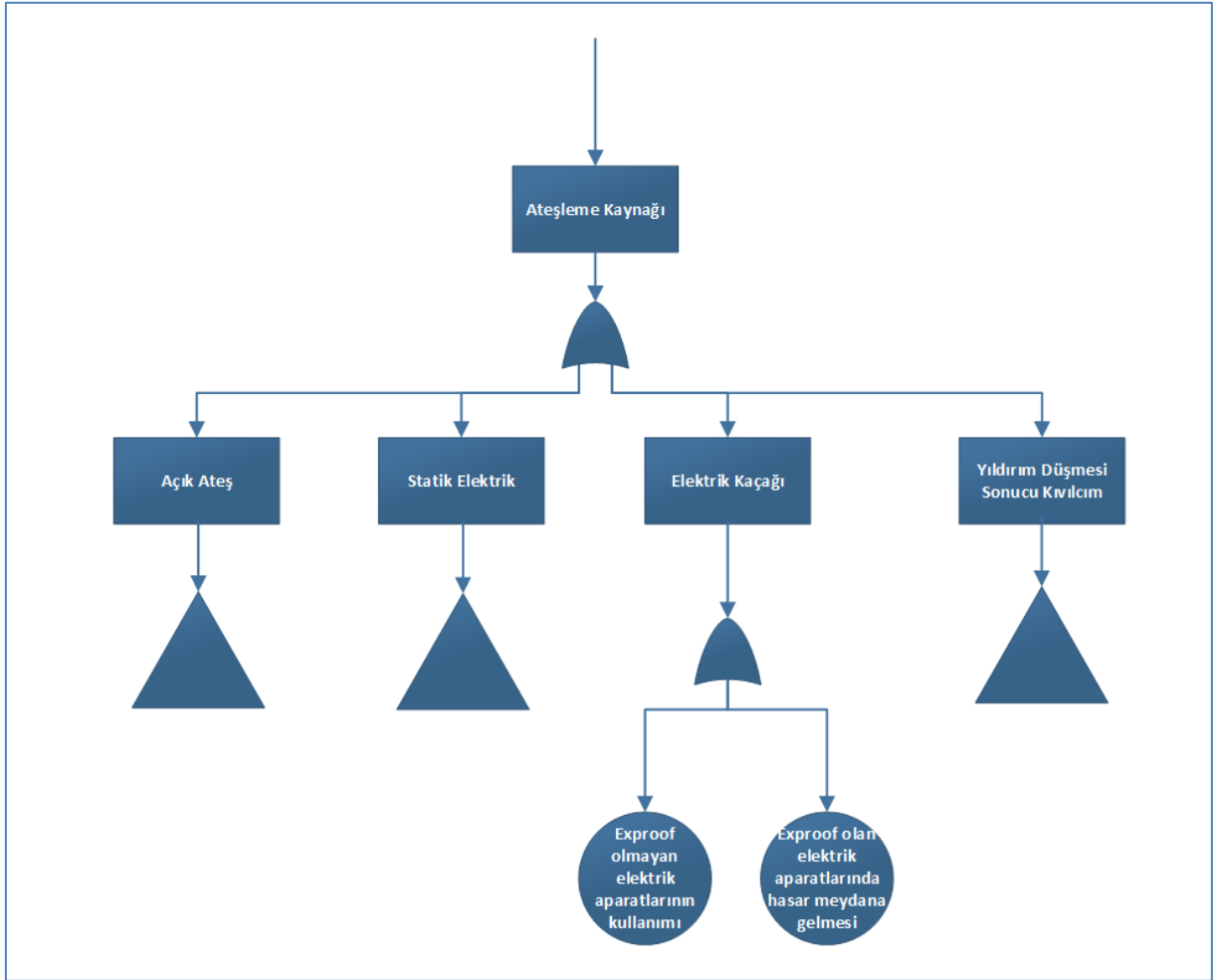
“İnsan Vücudundaki Statik Elektrik”ın kök nedenleri olarak “İletken ile Temas” ve “Antistatik Olmayan İş Elbisesi ile Çalışmak” olarak belirlenmiştir ve VE-kapısı ile birbirlerine bağlanmıştır (Şekil 4.29.). Çalışan personelin “Antistatik Olmayan İş Elbisesi ile Çalışması” ve “İletken bir Yüzeye Temas” etmesi statik elektrik oluşumuna neden olacaktır ve bu durum bir “Ateşleme Kaynağı” olarak büyük bir risk ortaya çıkarır.



Şekil 4.29. İnsan vücudundaki statik elektrik nedenleri

B13 Elektrik Kaçağı

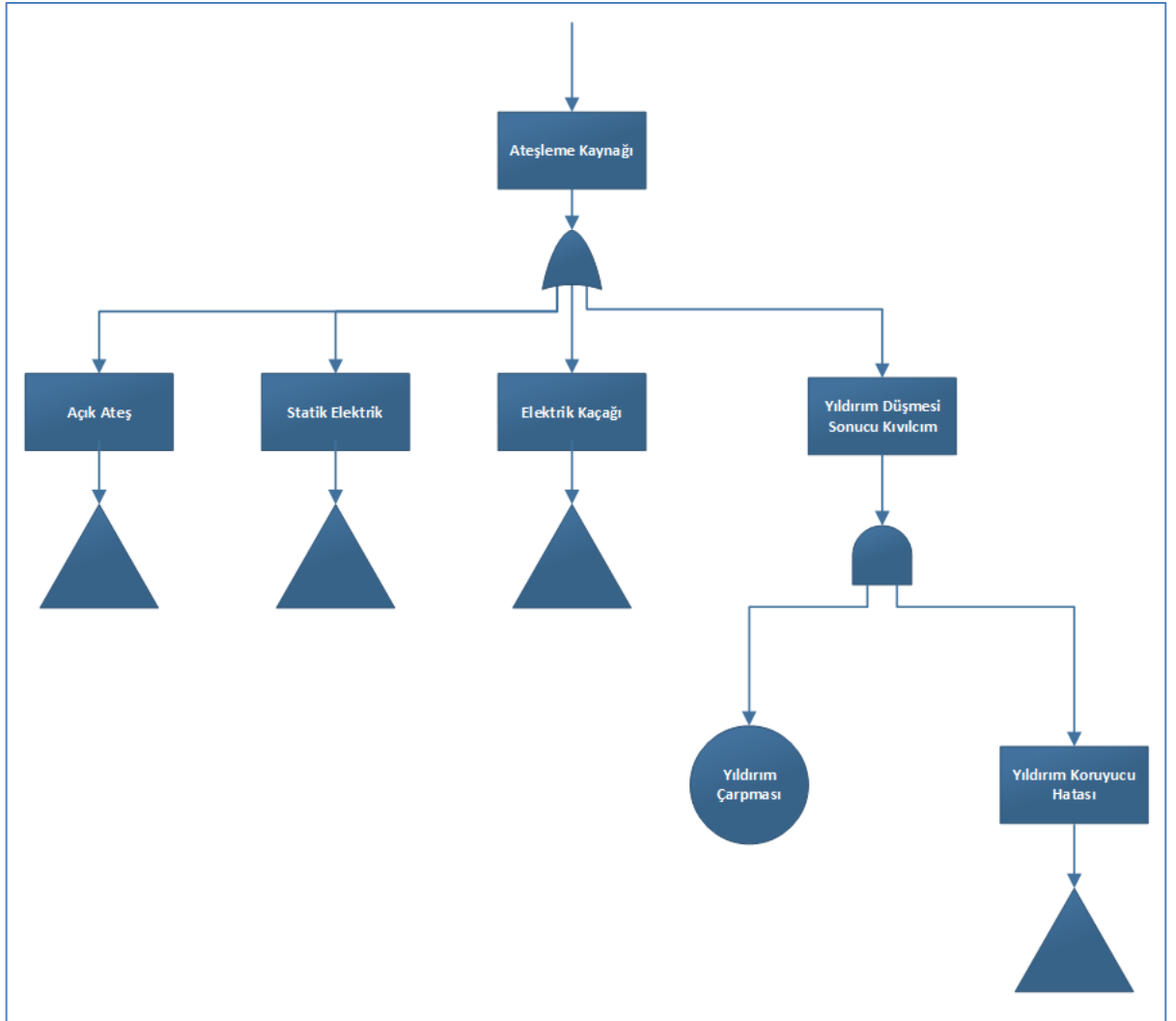
Sistemi büyük tehlikeye düşüren etmenlerden birisi de “Elektrik Kaçağı”dır. “Elektrik Kaçağı”nın kök nedenleri, “Exproof Olmayan Elektrikli Aparatlarının Kullanımı” ve “Exproof Olan Elektrikli Ekipmanlarında Hasar” olarak belirlenmiş olup Şekil 4.30’da gösterildiği gibi VEYA-kapısı ile birbirlerine bağlanmışlardır.



Şekil 4.30. Elektrik kaçağı nedenleri

B14 Yıldırım Düşmesi Sonucu Kıvılcım

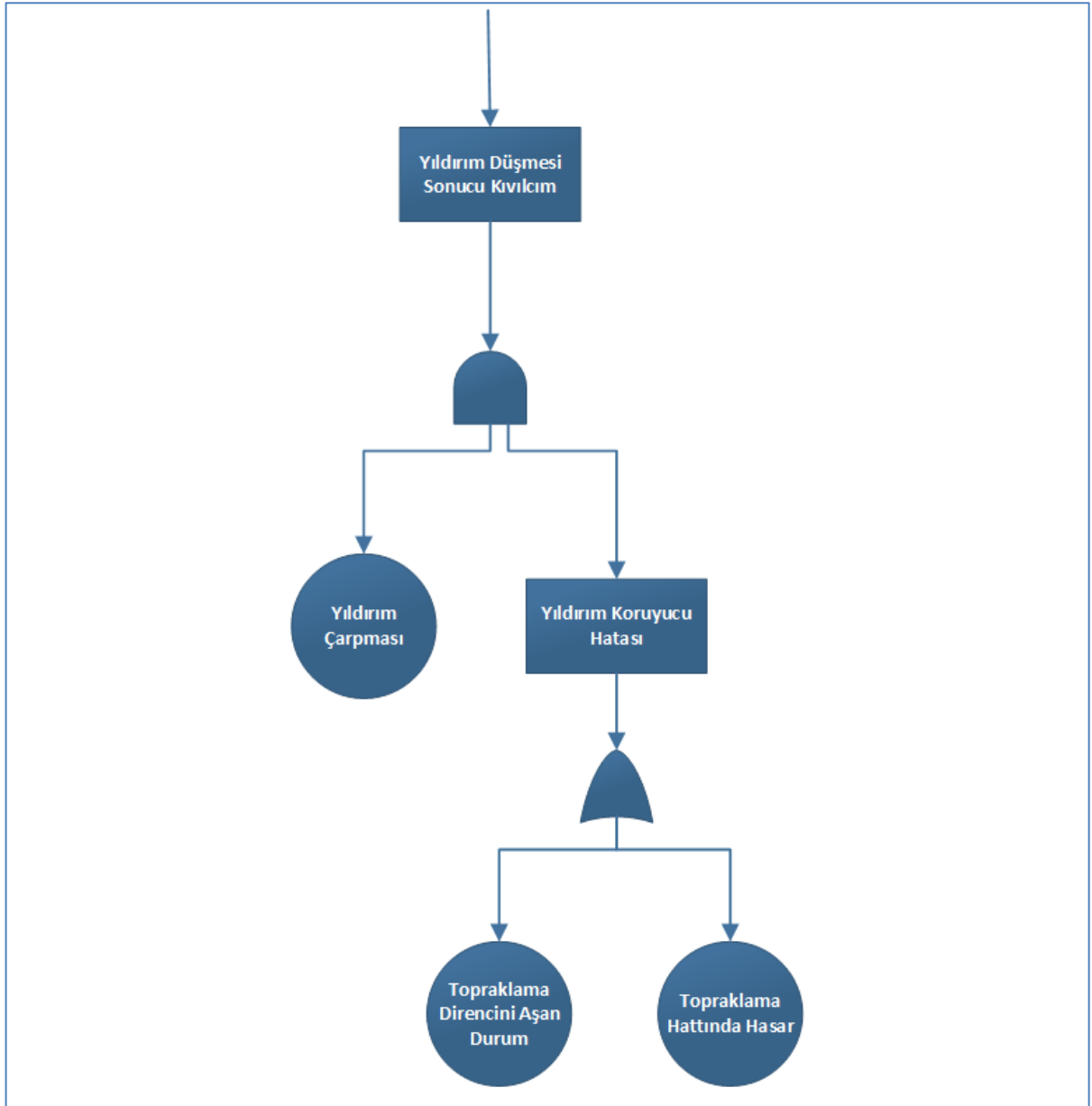
“Yıldırım Düşmesi Sonucu Kıvılcım” nedenleri olarak “Yıldırım Çarpması” ve “Yıldırım Korumucu Hatası” tespit edilmiştir ve VE-kapısı ile birbirine bağlanmıştır (Şekil 4.31.).



Şekil 4.31. Yıldırım düşmesi sonucu kıvılcım nedenleri

B28 Yıldırım koruyucu hatası

“Yıldırım Koruyucu Hatası”nın kök nedenleri, “Topraklama Direncini Aşan Durum” ve “Topraklama Hattında Hasar” olarak tespit edilmiştir ve VEYA-kapısı ile birbirine bağlanmıştır (Şekil 4.32.).



Şekil 4.32. Yıldırım koruyucu hatası nedenleri

5. TARTIŞMA

Kullanılan hammadde, ara madde ve ürettikleri nihai ürünlerin yanıcı, parlayıcı ve patlayıcı maddeler olması, bu ürünlerin büyük hacimli tanklarda depolanması ve çok yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında üretimin gerçekleşmesi nedeniyle kimya ve petrokimya tesislerinde büyük endüstriyel kaza yaşanma riski çok fazladır. Patlama olayı da bu sektörde sık rastlanan kaza türündendir.

Yapılan literatür incelemesinde, bu çalışmaya benzer çalışmalara rastlanılmış, bu çalışmaların ortak noktaları ve farklılıkları incelenerek aşağıdaki değerlendirmelerde bulunulmuştur:

Yuhua ve Datao [32] 2005 yılında HAA'nın petrokimya endüstrisinde boru hatlarında tehlikeli madde taşımacılığında sistem güvenliği değerlendirmek ve risk analizi için sıkça ve etkili bir şekilde kullanılan yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Bu yöntemi, bulanık mantık hesabı ile petrol ve gaz boru hattı taşımacılığı sistemi üzerinde kullanarak bir modelleme yapmışlardır. Boru hatlarında kaçak ve sızıntı olayları tepe olay seçilerek kök nedenler belirlenmiştir. Büyük endüstriyel kaza nedenleri belirlemede HAA kullanılması açısından bu çalışmayla benzerlik göstermektedir. Farklılık olarak bu çalışmada ise daha güvenilir bir yöntem olan Boolean Matematiği yöntemiyle hesaplama yapılmıştır.

Chang ve Lin [33] 2006 yılında kimya ve petrokimya endüstrisinde faaliyet gösteren işletmelerin depolama ünitelerinde, son 40 yılda 242 tane büyük endüstriyel kaza yaşandığını ve bu kazaların 116 tanesi ile (%47) en fazla petrokimya sektöründe yaşandığını belirtmişlerdir. Aynı zamanda yaşanan 242 tane kazanın %85'inin yangın ve patlama olayı olduğunu vurgulamışlardır. Bu çalışmalarında, meydana gelen 242 tank kazasının nedenlerini, Balık Kılçığı yöntemi kullanarak belirlemişlerdir ve sınıflandırmışlardır. Nitel bir yöntem olan Balık Kılçığı yöntemi ile tank kaza nedenleri genel olarak ele alınmış ve genel başlıklar altında sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada, benzer olarak yangın ve patlama olayının sık yaşanma potansiyeli olan petrokimya sektörü seçilmiş olup depolama ünitesinde patlama olayı ele alınmıştır. Bu çalışma ile patlama olayının kök nedenleri nicel bir yöntem olan HAA ile belirlenmiştir. Aynı zamanda kök nedenlerinin frekans verileri ile tepe olayın gerçekleşme frekansı/ihtimali hesaplanmıştır.

AB Büyük Kaza Raporlama Sistemi MARS'ın verileri üzerine, Sales ve diğerlerinin [22] 2007 yılında yazmış olduğu raporda, 1994-2004 yılları arasında yaşanan 301 adet büyük endüstriyel kazaların sektörlere göre nasıl dağıldığını göstererek petrokimya endüstrisinin

ikinci sırada olduğu belirtilmiştir. Petrokimya endüstrisinde de meydana gelen kazalar arasında yangın ve patlamanın ilk sırada yer aldığı verilmiştir. Yangın ve Patlama olayının en fazla görüldüğü ünitenin depolama ünitesi olduğu ve LPG tankının, kazaların en fazla meydana geldiği tanklar arasında olduğunu ortaya koymuşlardır.

Rong ve Xin [34] 2010 yılında LPG tankının yangın ve patlama olayını HAA ile modellemişlerdir. HAA'nın, kaza araştırmalarında kök neden belirlemede kullanılan hem nitel hem nicel bir yöntem olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmayla hem sektör, hem risk değerlendirme yöntemi, hem tank çeşidi hem de tepe olayının aynı olmasıyla benzerlik göstermektedir.

Limin [30] 2010 yayınlamış olduğu bir makalesinde, HAA'nın, sistem güvenliği analizinde ve risk analizinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olduğunu vurgulayarak "Akaryakıt Tankının Yangın ve Patlaması" tepe olayını seçerek hata ağacı modellemesi yapmıştır. Tank güvenliğinin önemi belirterek bu çalışma ile yangından korunmak için ne gibi önlemler alınacağını HAA ile ortaya koymuştur. Bu çalışma ile hem sektör hem yöntem açısından benzerlik göstermektedir. Bu çalışmada ise tepe olayı olarak "Patlama" olayı seçilmiş olup saha uygulaması, büyük endüstriyel kazaların yaşanma riskinin fazla olduğu akaryakıt tanklarından biri olan LPG tankında yapılmıştır.

Çelebi [16] 2010 yılında "Kimya ve Petrokimya Sektöründe Kazalar ve Petkim Örneği" isimli doktora tezinde Petkim'de kuruluşundan bugüne kadar meydana gelen kazaları ele almış ve elde edilen sonuçları benzer şirketler ve uluslararası kuruluşlarla karşılaştırmış ve değerlendirmiştir. Petrokimya sektörünün yapısı, üretim süreci, barındırdığı tehlikeler ve meydana gelen kazalardan bahsedilmiş ve petrokimya sektörünün kazaya açık yapısı ortaya konmaya çalışılmıştır. Petkim fabrikalarının her biri için risk değerlendirmesi yapılmış ve elde edilen sonuçlara göre fabrikalar içerdikleri tehlikeler açısından sınıflandırılmıştır. Petkim'de proses kaynaklı ve büyük endüstriyel kazalara neden olabilecek tehlikeli olaylar olarak jet yangınları, buhar bulutu patlamaları ve BLEVE olayı ele alınmıştır. Çelebi'nin çalışması, ele alınacak olan sektörün ve tepe olayının seçiminde bu çalışmaya katkı sağlamıştır.

Zhao-mei [35] 2011 yılında yazmış olduğu bir makalesinde, ham petrol toplama ve taşıma istasyonunda yangın ve patlama olayını HAA ile ele almıştır. Tepe olayı olarak yangın ve patlama olayını seçip tüm nedenleri ele alıp Hata Ağacı modellemesi yapmıştır. Aynı

zamanda, Boolean matematiği kullanarak minimal cut setleri hesaplamıştır. Bu çalışma ile patlama olayının ele alınması, HAA'nın kullanılması ve Boolean matematiği ile tepe olayının frekans değerinin hesaplanması açısından benzerlik göstermektedir. Seçilen ünite yönüyle farklılık göstermektedir. Depolama ünitesinde, büyük endüstriyel kazaların yaşanma riskinin fazla olması nedeniyle bu çalışmada ele alınmıştır.

Zheng ve Chena [36] 2011 yılında depolama tanklarında meydana gelen yangın kazalarını ele almışlardır. Çin'de 1959-2009 yılları arasında meydana gelen 50 tane depolama tank yangınlarının %64'ünün petrokimya sektöründe meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bu kazaların, depolanan kimyasala, sektördeki proses türüne, tank tipine ve kaza nedenlerine göre yüzdelik dağılımlarını tespit ederek vermişlerdir.

Tomas [13] 2011 yılında "Asetilen Üretimi Yapan Tesislerde Kazaya Sebep Olabilecek Faktörlerin Belirlenmesi ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi" başlıklı yüksek lisans tezinde asetilen üretimi yapan bir fabrikanın Seveso II Direktifi kapsamında iş güvenliği ve çevre risklerini ele almış, hata ağacı-olay ağacı yöntemi ile büyük endüstriyel kazalara neden olabilecek riskleri ve tehlikeleri belirlemiş ve kaza senaryoları oluşturmuştur. Kaza senaryolarında birbirlerini tetikleyen olaylar zincirini göstermiş ve tezde asetilen üretim sürecinde meydana gelebilecek en önemli kaza türü olan patlama seçilerek nitel olarak modellenmiştir. Bu çalışmada ise depolama ünitesinde HAA ile risk değerlendirmesi hem nitel hem nicel olarak yapılmıştır.

Açıkgöz [5] 2012 yılında yazmış olduğu "LPG Depolama Tanklarında Yangın Ve Patlama Durumlarının Modellenmesi" başlıklı yüksek lisans tezinde LPG depolama tanklarında meydana gelebilecek yangın ve patlama durumlarını merkezi bileşik deneysel tasarım yöntemi kullanılarak jet yangını ve BLEVE olayını modellemiştir. Modelleme için gerekli veriler Amerikan Çevre Örgütü (EPA) tarafından geliştirilmiş olan ALOHA 5.4.1.2 programı ile hesaplamıştır. Elde edilen model denklemler kullanılarak LPG depolama tanklarında herhangi bir sızıntı sebebiyle oluşabilecek yangın ya da patlama durumunda ne kadarlık bir alanın ne ölçüde etkileneceği ortaya konmuş ve böyle durumlarda alınması gereken güvenlik önlemleri belirlenmiştir. Bahsedilen çalışmanın ortaya koyduğu sonuçlar, bu çalışmada seçilen LPG tanklarının seçilme nedenini oluşturmaktadır.

Wang ve diğerleri [37] 2013 yılında ham petrol tanklarında meydana gelen yangın ve patlama olayını HAA ile ele almışlardır. İstatistiklere göre, akaryakıt depolama tanklarında

meydana gelen yangın ve patlama olayının petrokimya sektöründe sık görülen insan ölümüne, çevre kirliliğine ve ekonomik kayba sebep olabilen bir kaza çeşidi olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma ile sektör, kullanılan risk değerlendirmesi yöntemi ve ele alınan tepe olay olarak benzerlik gösterirken farklılık olarak farklı bir tank türü ele alınmak istenmiştir.

Cheng ve diğerleri [38] 2013 yılında petrokimya sektöründeki büyük iş kazalarının nedenlerini analiz etmek üzerine yazmış oldukları makalede, Tayvan'da 2000-2010 yılları arasında petrokimya sektöründe yaşanmış 349 tane büyük endüstriyel kazaları incelemiş ve kaza verilerini kullanarak nedenlerini tespit etmeye çalışmışlardır. Bu yıllar arasında kazaların en çok hangi aylarda, hangi saat dilimi arasında olduğunun ve yaşın, cinsiyetin, çalışma departmanının vb. etmenlerin kazalara etkisinin dağılımını göstermişlerdir. Aynı zamanda yaşanan kaza türlerinin dağılımını da vererek yangın ve patlama olayının ilk sıralarda yer aldığını vurgulamışlardır. Kazaların nedenleri de güvensiz durum, güvensiz davranış ve sağlık ve güvenlik yönetiminden kaynaklı olarak sınıflandırılarak verilmiştir.

Shi ve diğerleri [39] 2014 yılında depolama tankları, rafinerilerde ve kimyasal tesislerde tehlikeli ve alevlenebilir kimyasallar içerdiğinden dolayı petrokimya endüstrisinde önemli bir rol oynadığını, depolama tanklarının potansiyel tehlike olduğunu, tankta küçük bir hasar bile meydana geldiğinde büyük çevresel, güvenlik ve ekonomik kayıplara yol açtığını tespit etmişlerdir. Depolama tanklarında meydana gelen yangın ve patlama kazalarının, petrokimya endüstrinin üretim ve depolama proseslerinde meydana geldiğini ve insana, çevreye büyük yıkıcı etkide bulunduğunu ve büyük ekonomik kayba neden olduğunu vurgulamışlardır. Bu çalışma ile benzer bir şekilde, akaryakıt depolama tankında yangın ve patlama olayını HAA ile modellemişlerdir. Modellemede yangın ve patlamaya sebep olabilecek tüm nedenler tespit edilerek kök nedenlere inilmiştir. Farklılık olarak, kök nedenlerinin frekans/ihtimal verilerine ulaşılamadığı için bulanık mantık yaklaşımıyla tepe olayının gerçekleşme frekansını/ihtimalini hesaplanmaya çalışmışlardır. Bu çalışmada ise kök nedenlerin frekans/ihtimal verileri, seçilen işletmenin de kullandığı CCPS verileri referans alınarak kullanılmış ve tepe olayının gerçekleşme frekansı/ihtimali bu veriler ile hesaplanmıştır.

Hongguang [21] 2014 yılında, kimya sektöründe, alevlenebilir, patlayıcı ve toksik vb. yangın ve patlamaya neden olabilecek kimyasal maddelerin depolama tanklarında depolandığını ve depolama tanklarında, büyük miktarlarda üretilen tehlikeli maddelerin büyük hacimlerde depolanması sebebiyle yangın ve patlama gibi büyük endüstriyel kazaların sık görüldüğünü vurgulamıştır. Bu sektörde, depolama tank kazalarının kaza araştırılmasında ve kök neden

belirlemede HAA'nın yaygın olarak kullanılan bir yöntem olduğunu belirtmiştir. Buna istinaden, çalışmasında, HAA kullanarak risk değerlendirmesi yapmıştır. Tepe olayını “Depolama Tankında Yangın ve Patlama” olayı olarak seçmiş ve Yangın ve Patlama olayına neden olabilecek tüm nedenleri tespit etmiştir. Sözü edilen çalışma, bu çalışma ile konu, sektör ve yöntem olarak benzerlik göstermektedir.

Öcelan [14] 2014 yılında yazmış olduğu “Petrokimya Tesislerinde İş Sağlığı ve Güvenliği İle İlgili Risk Faktörleri ve Risk Değerlendirme” başlıklı yüksek lisans tezinde, petrokimya tesisinde, benzen giderme ünitesi üzerinde tank yangını ele almış ve bu kritik olayının kök tehlikelerini nitel olarak belirlemiş ve tank yangını kritik olayını önlemeye veya bu olayın önlenememesi durumunda yangın olayının etkilerini sınırlandırılmaya yönelik insani ve teknik güvenlik tedbirlerini belirlemiştir. Bu çalışmada ise nitelin yanında nicel risk değerlendirmesi de yapılarak daha detaylı sonuçlar ortaya konmuştur.

Lavasania ve Zendegania 2014 yılında petrokimya endüstrisinin üretim prosesinde HAA kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, yangın, patlama ve toksik gaz salınımı gibi potansiyel tehlikelerin bulunduğu petrokimya sektöründe bulanık mantığı ile HAA kullanarak modelleme yapmışlardır. Deetanizer hatası tepe olay seçilip bu hataya sebep olabilecek nedenler belirlenmiştir [40]. Bu çalışma ile sektörün ve yöntemin aynı olması açısından benzerlik göstermekte, seçilen proses açısından farklılık göstermektedir.

Zhang ve diğerleri [41] 2015 tarafından yayınlanan bir makalelerinde, akaryakıt tanklarında meydana gelen yangın ve patlama kazaları için HAA kullanarak risk değerlendirmesi çalışması yapmışlardır. HAA'nın, büyük endüstriyel kaza analizlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Tepe olay olarak “Akaryakıt Tanklarında Yangın ve Patlama” olayını seçmişlerdir ve nedenlerini tespit etmişlerdir. AHP (Analytic Hierarchy Process) programı kullanılarak minimum cut setler belirlenmiş. Bu çalışma ile hem sektör, hem yangın ve patlama olayının ele alınması hem de yöntem açısından benzerlik göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, petrokimya sektöründe LPG depolama ünitesinde oluşabilecek patlama riskinin tespit edilmesi, bu riskin ortaya çıkmasına neden olabilecek sebeplerin (tehlikelerin) belirlenmesi, bu sebeplerin yok edilmesi veya azaltılması amacıyla alınması gerekli önlemlerin belirlenmesi ve bu yolla işyerlerindeki büyük endüstriyel kazalarının azaltılması amaçlanmıştır.

Dünyada ve ülkemizde birçok büyük endüstriyel kazanın meydana geldiği, Research Center Büyük Kaza Önleme Bürosu, Kazaları Raporlama Sistemi (MARS)'a göre 1980 -2012 tarihleri arasında patlama olayının en yüksek sıklık değeriyle meydana gelen büyük endüstriyel kaza tipi olduğu tespit edilmiştir.

HAA kullanılarak bir petrokimya rafinerisi LPG Depolama Ünitesi'nde LPG tankında meydana gelebilecek patlama olayına yönelik büyük endüstriyel kaza senaryosu modellenmiştir. Bu modellemede tesiste kritik öneme sahip LPG depolama ünitesinde patlama olayına neden olabilecek ana, ara ve kök sebepler olmak üzere tüm sebepler tespit edilmiştir. Kök sebepler belirlendikten sonra Boolean Matematiği kullanılarak kök sebeplerin frekans verileri kullanılarak Isograph programı ile tepe olayın frekansı (en yüksek önlem seviyesi) hesaplanmıştır (Ek-3).

LPG depolama ünitesinde belirlenen patlama kritik olayı için başlangıç nedenlerini belirlemek adına ön çalışma olarak HAZOP çalışması da yapılmıştır. HAZOP çalışmasının nitel bir yöntem olması sebebiyle bu nedenlere bağlı kök neden analizi yapabilmek için nicel bir risk analizi metodu olan HAA çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Yangın, patlama ve toksik salınım gibi büyük endüstriyel kazaların kök nedenlerinin belirlenmesine katkı sağlayan HAZOP metodu ayrıca belirlenen bu kök nedenler için alınması gereken öznel güvenlik tedbirlerini önermektedir. HAZOP metodunun güçlü yönlerinin yanı sıra, öznel olarak güvenlik tedbirlerini önermesi ve proses sapmasına rağmen kök nedenlerin her zaman tam olarak tespit edilememesi gibi zayıf yönleri mevcuttur. HAA, bu noktada devreye girmiştir ve HAZOP, HAA tamamlayıcı bir yöntem olarak kullanılmıştır.

LPG depolama ünitelerinde oluşabilecek patlama riskinin tespiti konusunda hazırlanan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Analiz sonucunda LPG tankının patlamasına neden olabilecek 29 ara neden ve 35 kök neden tespit edilmiştir.
- LPG tankının patlamasına sebep olabilecek nedenler arasında basınçlı gaz kaçağı ve ateşleme kaynakları ana nedenler, yüksek basınç, yüksek seviye, yüksek sıcaklık, seviye arızası, operatör hatası, açık ateş, statik elektrik, elektrik kaçağı, yıldırım sonucu kıvılcım ve sistemdeki güvenlik bariyerlerindeki oluşabilecek hatalar ara nedenler olarak tespit edilmiştir.
- Basınçlı Gaz Kaçağı'na sebep olabilecek kök nedenler; seviye ölçerde(LT1), sıcaklık ölçerde(TE1), yüksek seviye alarmında(LSHH) ve basınç göstergesinde (PI) meydana gelebilecek mekanik arıza ve sinyalin kesilmesi, sistemin güvenlik bariyerlerinden olan dengeleme hattı, SV1 ve SV2'de oluşabilecek hatalar, sıcaklığın 30-35°C olması, yanlış transfer yapılması, yanlış operatör müdahalesi, bilgi eksikliği, yanlış aksiyon, başarısız aksiyon, hatalı etkileştirme gibi operatör hataları olarak belirlenmiştir.
- Ateşleme Kaynakları'na sebep olabilecek kök nedenler; tank alanında sigara içilmesi, tank alanında ateş kullanma kural ihlali, exproof olmayan elektrik aparatlarının kullanımı, exproof olan elektrik aparatlarında hasar meydana gelmesi, iletken ile temas, antistatik olmayan iş elbisesi ile çalışmak, topraklama direncini aşan durum, topraklama hattında hasar, topraklama direncinin standart değeri karşılamaması, topraklama hattında hasar, metal bir aksam bulunması ve sıvı akış hızının yüksek olması olarak belirlenmiştir.
- Yapılan çalışmada Isograph programı kullanılarak, risk hesaplaması yapılmıştır. Nicel risk değerlendirmesi sonucuna göre senaryo edilen büyük kaza riskinin ilgili yönetmeliğe göre (yangın ve patlama) indirilmesi gereken mümkün olan en yüksek önlem seviyesi (frekansı) olan 1×10^{-4} /yıl seviyesinden düşük yani kabul edilebilir risk düzeyinde çıkmıştır.
- HAZOP'un, HAA için temel oluşturacak ön çalışma olarak ele alınabileceği sonucuna varılmıştır. Bu sebeple de HAA'nın başarılı olabilmesi ve doğru sonuç verebilmesi için HAZOP'un kritik bir öneme sahip olduğu ortaya konmuştur. Bu doğrultuda, LPG depolama ünitesinde meydana gelebilecek patlama olayına karşı, HAA'yı ortaya koyarken öncesinde yapılmış olan HAZOP ile ilişkiler ortaya konmuş, kök nedenlerini

tespit etme, risk değerlendirme ve güvenlik tedbirlerini belirleme çalışmaları yapılmıştır.

- Bu çalışmada kullanılan HAA'nın avantajları olarak, elde edilen sonuçların sayısal olarak nasıl yorumlanacağı, yorumların kolay ve anlaşılır bir şekilde ilgililere aktarılacağı ortaya konmuştur.
- Yapılan alışma lkemizde bu sektördeki çalışmalara rehber niteliğinde hazırlanması amaçlanmış bir çalışma olup, HAA ile kök neden analizinin ve hesaplamaların nasıl yapılabileceğini ortaya koymuştur.
- Büyük endüstriyel kazalara sebep olabilecek bir işletmede depolama tanklarında meydana gelen patlama kazalarının insana, çevreye büyük yıkıcı etkide bulunabileceği ve büyük ekonomik kayba sebep olabileceği ortaya konmuştur.
- Depolama nitelerinde yaşanabilecek kazalar, büyük endüstriyel kazalara yol açabildiğinden ve sonuçlarının evre ve insan sağlığına kısa ve uzun vadeli büyük etkileri olmasından ve tamamen kontrol dışı etkilerden doğabilme ihtimali olmasından dolayı üzerinde daha fazla çalışılması gereken bir konu olduğu tespit edilmiştir.
- Petrokimya tesisleri, ekonomik, stratejik ve sosyolojik yönden son derece önemli tesislerdir. Bu tesislerde yaşanabilecek olası patlamalar, insanlara ve doğaya büyük zararlar verebilmektedirler. Bu sebeple, petrokimya tesislerinde insan ve evre odaklı hassas bir yaklaşım gösterilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.
- İşyerlerinde yapılacak risk değerlendirme çalışmalarında özellikle büyük endüstriyel kazalara sebebiyet verebilecek kritik sistemlerin irdelenmesi ve bu sistemlerde oluşabilecek, tehlikeli olarak tanımlanan sapmaların giderilmesi ile sistemin güvenilirliğinin arttırılması gerekmektedir. Bu alışma, sistem güvenilirliğinin önemini belirtmiş olup diğer sistemlerin güvenilirliğinin değerlendirilmesi farkındalığını oluşturmuştur.
- Çalışmanın sonuçları; ilgili yönetmelik gereği hazırlanması gereken risk değerlendirmesi için de firmaya rehber bir çalışma olacak şekilde teslim edilmiştir. Firma, bu çalışmayı temel alarak Güvenlik Raporunda belirtilen nicel risk değerlendirme çalışmalarını sürdürmektedir.
- LPG depolama tesislerinde büyük endüstriyel kazaları önleyebilmek için bu kazalara sebep olan kök neden tehlikelerinin detaylı olarak saptanması ve risk değerlendirmesi sonucu da bu tehlikelere bağlı risklerin minimuma indirilmesi gerekmektedir. Riskin hiçbir zaman sıfırlanamayacağı bilinciyle, riskin kabul edilebilir mertebelere çekilmesi

de bu sürecin esas amacını teşkil etmektedir. Bu kapsamda büyük endüstriyel kaza tehlikelerini belirleme ve bu tehlikeleri değerlendirme metodolojileri nitel ve nicel yöntemler olmak üzere iki yaklaşım üzerine kurgulanmıştır. Petrokimya tesisleri için kullanılabilecek muhtemel nitel ve nicel risk değerlendirme metodolojilerden bu çalışma kapsamında bahsedilmiş ve rafineri benzen giderme ünitesinde sıcaklık artışı ve yangın kritik olayına karşı bilime ve ilerleyen akademik çalışmalara katkı sağlaması amacıyla klasik nitel risk değerlendirme metodolojilerinden ayrılarak, HAZOP ve HAA kombinasyonu yapılması suretiyle, daha bilimsel ve sistematik petrokimyasal risk değerlendirme verileri elde edilmeye çalışılmıştır.

LPG depolanmasındaki riskler hususunda gerçekleştirilen bu çalışmanın sonuçlarına göre aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir.

- LPG depolama ünitesinde belirlenen patlama tepe olayı için ilgili çalışmaların birlikte kullanılması sonucu, belirlenen öznel güvenlik tedbirlerine göre,
 - ✓ Sistemin sürekli izlenebilmesi için DCS sisteminin bulunması,
 - ✓ Seviye yükselmesinin takibi için LT'nin kullanılması, LAH'ın ve LSHH'ın bulunması,
 - ✓ Sıcaklık artışı takibi için TE'nin sistemin sürekli kontrolü için TI ile birlikte kullanılması,
 - ✓ Basınç artışı takibi için PI'nın kullanılması,
 - ✓ Sistemin basınç artışlarına karşı güvenliğe alınması adına dengeleme hattının kurulması,
 - ✓ Acil durumlarda dışardan müdahale için geri tepmesiz güvenlik vanasının kullanılması,
 - ✓ Seviye yükselmesinin engellenmesi için SV'lerin bulunması,
 - ✓ Oluşabilecek tüm statik elektriğe karşı topraklamaların yapılması,
 - ✓ Rafinerilerde domino etkisi yaratma ihtimaline karşı önlemler doğrultusunda, Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik (30 Nisan 2013 tarih ve 28633 sayılı Resmi Gazete) dahilinde hazırlanan patlamadan korunma dokümanı hususları da göz önünde

bulundurularak saha içerisinde kullanılan ekipmanın (alarm, dedektör, pompa, araç vb.) alev sızdırmaz (exproof) olması,

- ✓ İnsan faktörünün sistem üzerinde etkisinin en aza indirebilmek için, sistemdeki koruyucu önlemlerin yeterliliğinin değerlendirilmesi, idari kontroller ve mühendislik kontrollerin tam olarak sağlanması,
- ✓ Sistemin yetkin personel tarafından kullanılması ve tüm acil durumlar için eğitim verilmesi gerekmektedir.

Ancak; yukarıda belirlenen güvenlik tedbirlerinin öznel olarak belirlenmesi ile bu önlemlerin bilimsel dayanaktan ve güvenilirlikle ilgili olasılık hesaplamalarından uzak olduğu ortaya konmuştur. Bu kapsamda da bu tedbirlere sayısal olarak güvenilirlik verileri atanarak hesaplamalar yapılması ve hesaplanan bu değerin büyük endüstriyel kaza riskinin ilgili yönetmeliğe göre (yangın ve patlama) indirilmesi gereken mümkün olan en yüksek önlem seviyesi (frekansı) olan 1×10^{-4} /yıl seviyesinden düşük yani kabul edilebilir risk düzeyinde olması gerekmektedir.

- Ülkemiz mevzuatı ve mevcut teknoloji kapsamında, petrokimya tesislerinde belirlenen güvenlik tedbirlerinin yanı sıra kişisel güvenlik önlemlerinin de alınması gerekmektedir.
- Ayrıca, mevcut risklerin insanlar üzerindeki zararlı etkilerini azaltmanın en önemli yollarından biri olarak bu kapsamda petrokimya tesisleri dolun ünitelerinin çevresinde kurulu mesken, işyeri ve kamusal kurumlar gibi insanların yoğun olarak faaliyet içinde bulunduğu alanların kurulmasının engellenmesi gerekmektedir.
- Teknolojik gelişmeler sonucunda; özellikle makineler, proses kontrol ekipmanları, yangın sistemleri, otomatik söndürme sistemleri ya da organizasyonel bir sistem vb. tüm ekipmanlar ve fonksiyonlar için yapılacak risk değerlendirmelerinde güvenilirlik değerlendirmesi yapılması gereklidir. Özellikle de HAA, Olay Ağacı Analizi, Olası Hata Türleri ve Etki Analizi, HAZOP vb. risk değerlendirme yöntemleriyle sistem analizi ve güvenilirlik değerlendirmelerinin büyük önem arz ettiği görülmektedir. Bu yöntemlerden herhangi birisi kullanılarak petrokimya endüstrisindeki işletmelerin tüm bölümlerine güvenlik değerlendirilmesi uygulanmalıdır.
- Büyük endüstriyel kazaları önlemek ve sonuçlarını sınırlandırmak amacıyla uygun bir bakım politikası olmalı ve bakım uygulanmalıdır. Sistemin düzenli bakım faaliyetlerinin önceliğe göre sıralanması ve zamanlanması gibi hususlar dikkate

alınarak bakım faaliyetlerinin organizasyonu yapılmalıdır. İlgili bakım prosedürleri (önleyici/düzenleyici bakım, bakım sıklığı, bakım kayıtlarının nasıl tutulduğu, bakımdan sorumlu personel vb. hakkında) hazırlanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, http://www.pigm.gov.tr/petrol_nedir.php (Erişim Tarihi 3/08/2015)
2. Parkash S. Petroleum Fuels Manufacturing Handbook, McGraw-Hill, ABD, sayfa: 3-100, 2010.
3. Hepbaşlı, A, Karakuş, A.A, Erkek, M. Liquefied Petroleum Gas in Turkey's Energy Sources, Energy Sources, 25; 373-382, 2003.
4. Fahim, M.A, Alsahhaf, T.A, Elkilani, A. Safety in Petroleum Refineries, Elsevier, 357-376, Amsterdam, NL, 2010.
5. Açıkgoz V. LPG depolama tanklarında yangın ve patlama durumlarının modellenmesi, Yüksek lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2012.
6. Meyers R.A. Handbook of petroleum refining processes, chemical process technology handbook series (üçüncü baskı), sayfa: 1-900, McGraw-Hill, ABD, 2004.
7. Aksoy A.H. Petrol rafinasyonunda uygulanan modern üretim yöntemleri, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, sayfa: 1-84, İstanbul, 1990.
8. Türkiye Petrolleri, 2013 Yılı Hampetrol Ve Doğalgaz Sektör Raporu, Ankara, 2014.
9. British Petrol BP, BP Statistical Review of World Energy June 2015, 2015.
10. British Petrol BP, BP Energy Outlook 2035: February 2015, 2015.
11. Türkiye Petrolleri, 2014 yılı Hampetrol Ve Doğalgaz Sektör Raporu, 2015.
12. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Petrol Piyasası 2014 Yılı Sektör Raporu, 2015.
13. Tomas K. Asetilen Üretimi Yapan Tesislerde Kazaya Sebep Olabilecek Faktörlerin ve Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi, Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2008.
14. Öcelan S. Petrokimya Tesislerinde İş Sağlığı ve Güvenliği İle İlgili Risk Faktörleri ve Risk Değerlendirme, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi: Ankara, 2014.
15. Özkılıç Ö. Risk Değerlendirmesi Atex Direktifleri - Patlayıcı Ortamlar Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması- Kantitatif Risk Değerlendirmesi, sayfa: 1-422, TİSK, Ankara, 2014.
16. Çelebi M.İ. Kimya ve Petrokimya Sektöründe Kazalar ve Petkim Örneği, Doktora, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2010.
17. Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete Sayısı: 28867, Resmi Gazete Tarihi: 30/12/2013, T.C. Resmi Gazete, Ankara, (30/12/2013).

18. AB Büyük Kaza Raporlama Sistemi, Emars Dashboard, <https://emars.jrc.ec.europa.eu/?id=14>, 2015 (Erişim tarihi: 14/09/2015)
19. 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Resmi Gazete Sayısı: 28339, Resmi Gazete Tarihi: 30/06/2012, T.C. Resmi Gazete, Ankara, (30/06/2012).
20. İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, Resmi Gazete Sayısı: 28512, Resmi Gazete Tarihi: 29/12/2012, T.C.Resmi Gazete, Ankara. (29/12/2012).
21. Haongguang A. Fault Tree Analysis of the Storage Tanks in the Chemical Industry, Fourth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control (Imccc), IEEE, 928-931, 2014.
22. Sales, J, Mushtaq, F, Christou, D.M. Analysis of Major Accidents Reported to the MARS Database During the Period 1994-2004, Avrupa Birliği (AB) Ortak Araştırma Merkezi, Italya, 2007.
23. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (Spg) Ve Akaryakıt Dolum Tesislerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Proje Denetimi Değerlendirme Raporu, sayfa: 5-31, Ankara, 2005.
24. Baysal S. Yangın Eğitim Notları, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Eğitim ve Araştırma Merkezi, sayfa: 3–21, Ankara, 2004.
25. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Investigation Report, Refinery Explosion and Fire, Texas, USA, 2007.
26. Çakmak M. Büyük Endüstriyel Kazalar Risk Değerlendirme Çalışması ve Modelleme Çalışmaları, sayfa: 1-63, Ankara, 2012.
27. Center for Chemical Process Safety (CCPS), <http://sache.org/beacon/files/2009/11/tr/read/2009-11-Beacon-Turkish-s.pdf>., 2009.
28. Center for Chemical Process Safety (CCPS), <http://sache.org/beacon/files/2011/01/tr/read/2011-01-Beacon-Turkish-s.pdf>., 2010.
29. Özkılıç Ö. İş Sağlığı, Güvenliği ve Çevresel Etki Değerlendirmesi, MESS Yayınları, sayfa: 37-278, İstanbul, 2007.
30. Limin W. Fault Tree Analysis for Oil Tank Fire and Explosion, IEEE International Conference, 488-491, 2010.
31. Ericson C.A. Hazards Analysis Techniques for System Safety, Wiley, 2005.
32. Yuhua, D, Datao, Y. Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 18(2); 83-88, 2005.
33. Chang, J.I, Lin, C.C. A study of storage tank accidents, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 19(1); 51-59, 2006.

34. Rong, W, Xin, D. Application of fuzzy fault tree analysis on burning and blasting of LPG tank, IEEE, 2; 1093 - 1096, 2010.
35. Zhao-mei X.U.E. Research on FTA of Fire and Explosion in the Crude Oil Gatheringtransport Combination Station, ELSEVIER, 11; 575-582, 2011.
36. Zhenga, B, Chena, G. Storage Tank Fire Accidents, Wiley Online Library, 3; 291-293, 2011.
37. Wang, D, Zhang, P, Chen, L. Fuzzy fault tree analysis for fire and explosion of crude oil tanks, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26(6); 1390-1398, 2013.
38. Cheng, C.W, Yao, H.Q, Wu, T.C. Applying data mining techniques to analyze the causes of major occupational accidents in the petrochemical industry, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26(6); 1269-1278, 2013.
39. Shi, L, Shuai, J, Xu, K. Fuzzy fault tree assessment based on improved AHP for fire and explosion accidents for steel oil storage tanks, Journal of Hazardous Materials, 278; 529-538, 2014.
40. Lavasani, S.M, Zendegani, A, Çelik, M. An extension to Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) application in petrochemical process industry, Process Safety and Environmental Protection, 93; 75-88, 2015.
41. Zhang, M, Song, W, Chen, Z, Wang, J. Risk assessment for fire and explosion accidents of steel oil tanks using improved AHP based on FTA, Wiley Online Library, 2015.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

SOYADI, adı : YAVUZ, İlkay
Doğum tarihi ve yeri : 28.05.1984, UŞAK
Telefon : 0 (312) 257 16 90
E-Posta : ilkay.yavuz@csgb.gov.tr



Eğitim

Derece	Okul	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Ü./ Kazaların Teknik ve Çevresel Araştırılması A.B.D.	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/İleri Teknolojiler A.B.D.	2012
Lisans	Hacettepe Üniversitesi/Fizik Mühendisliği	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-2012	Eldaş Deney Ve Kalibrasyon Merkezi	Test Mühendisi
2012- (Halen)	Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı	İş Sağlığı Ve Güvenliği Uzm. Yrd.

Yabancı Dil

İngilizce (YDS: 70)

Yayınlar

Gıda Tarım Endüstrisinde Toz Patlamaları, 7. İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı Bildirisi,
Mayıs 2014

Mesleki İlgil Alanları

İş Sağlığı ve Güvenliği, Risk Değerlendirmesi, Büyük Endüstriyel Kaza Araştırması.

Hobiler

Voleybol oynamak, Yürümek, Yemek Yapmak.

EKLER

EK-1: Hata Ağacı Modellemesi

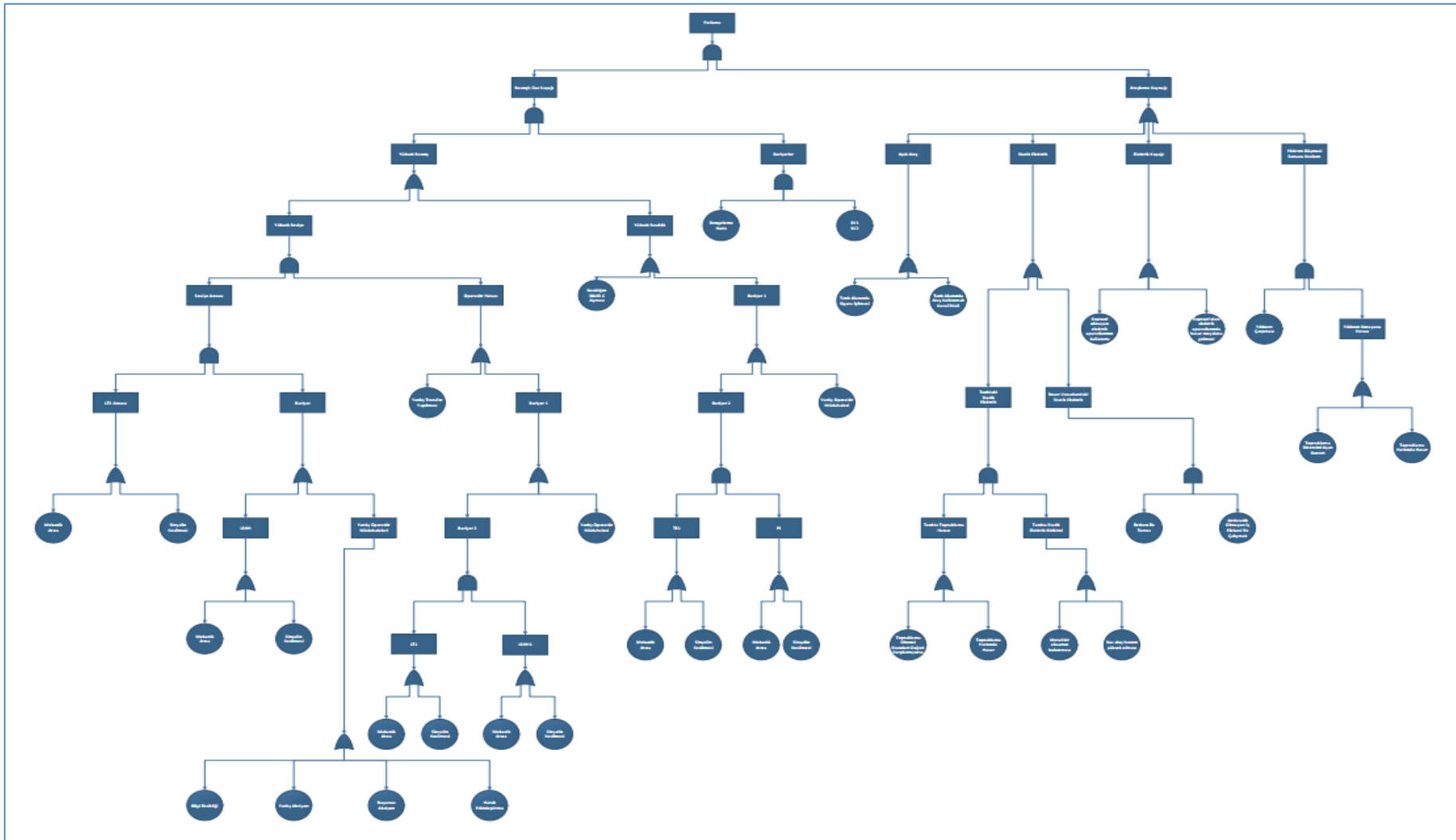
EK-2: Hata Ağacı Modellemesi Harfli Gösterimi

EK-3: HAA Raporu

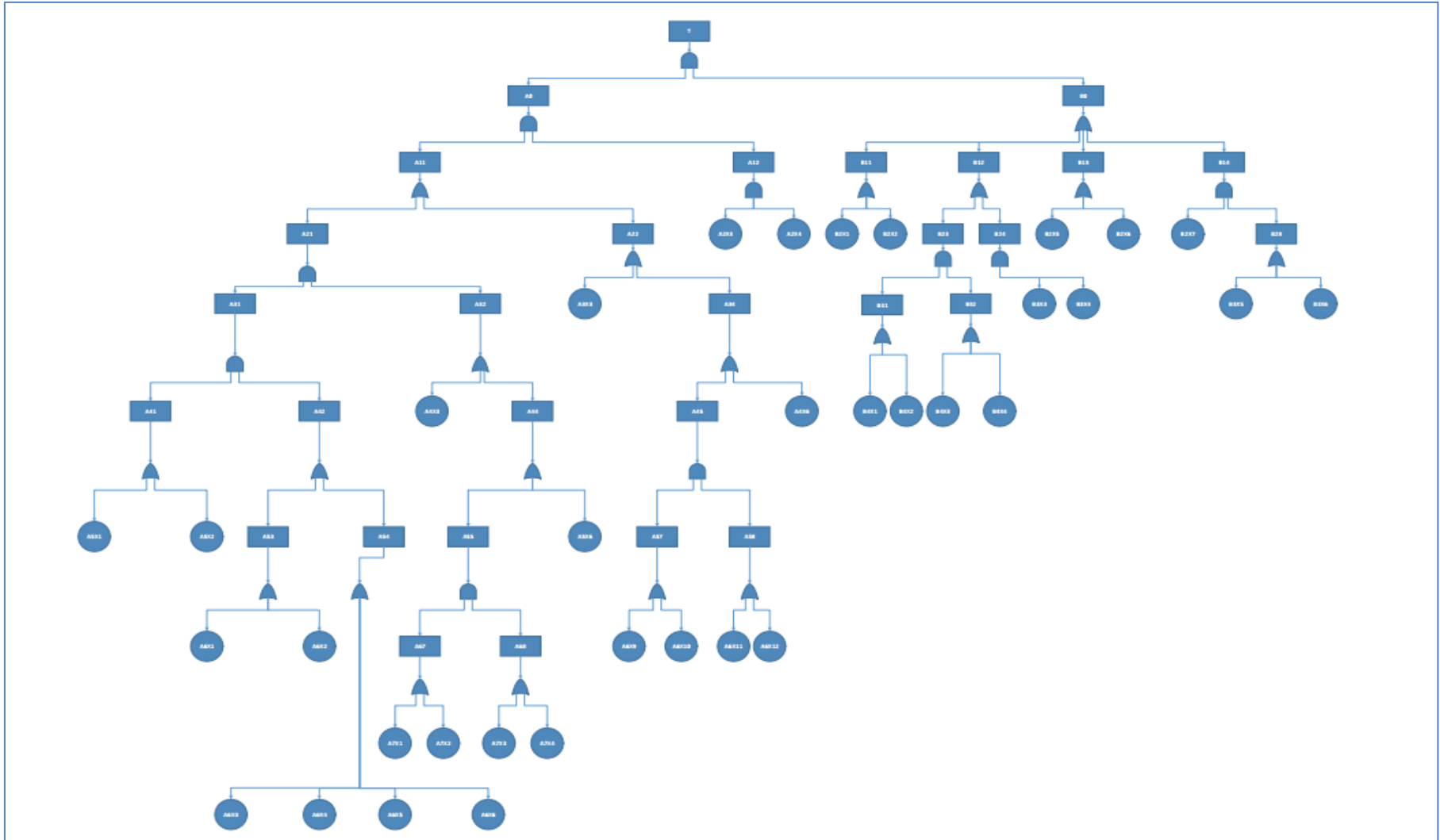
EK-4: Başlangıç Olay Frekansları (Referans CCPS Layer of Protection Analysis Kitabı Tablo 5.1.)

EK-5: Hata Ağacı Analizi Rehberi

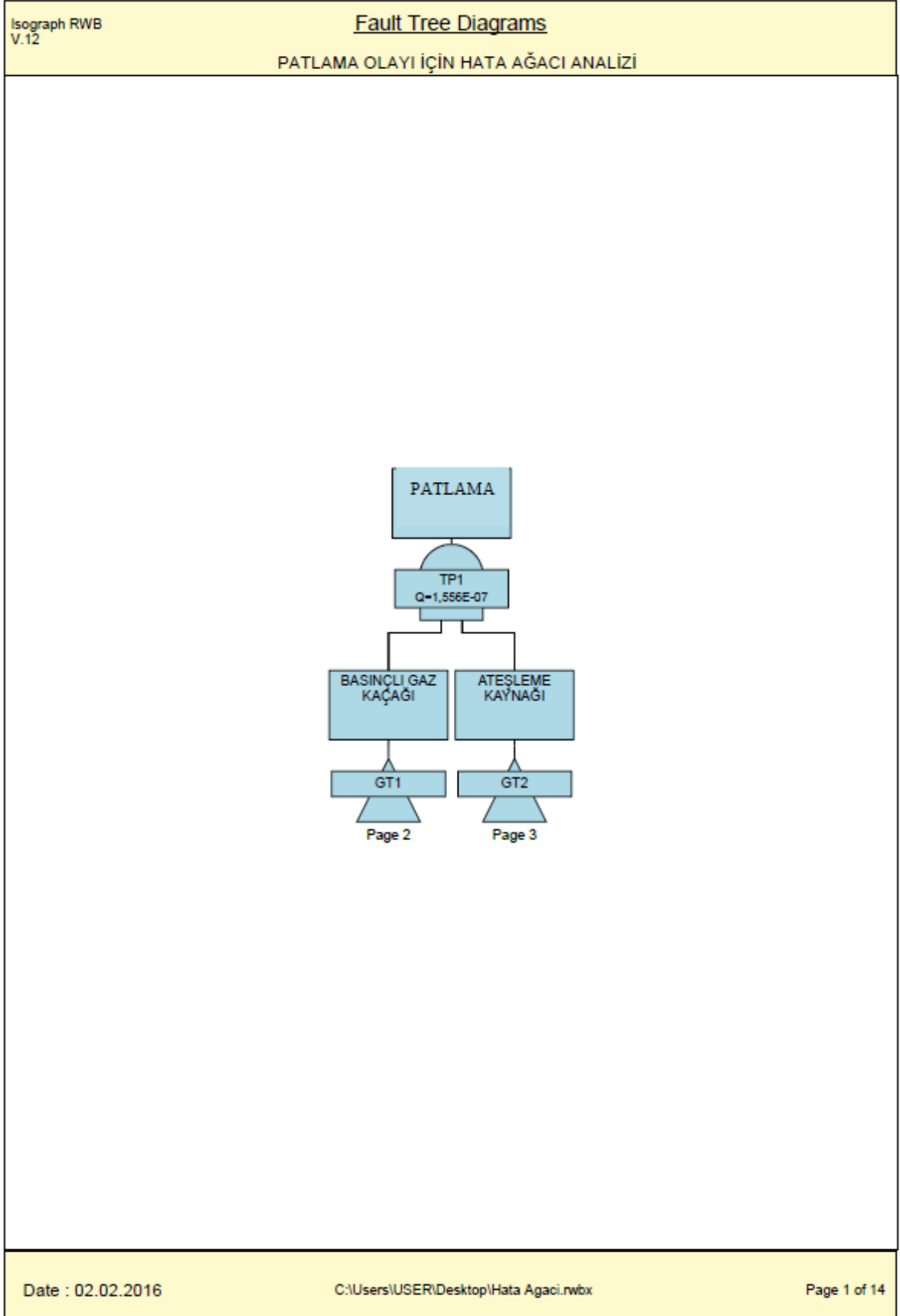
EK-1: Hata Ağacı Modellemesi

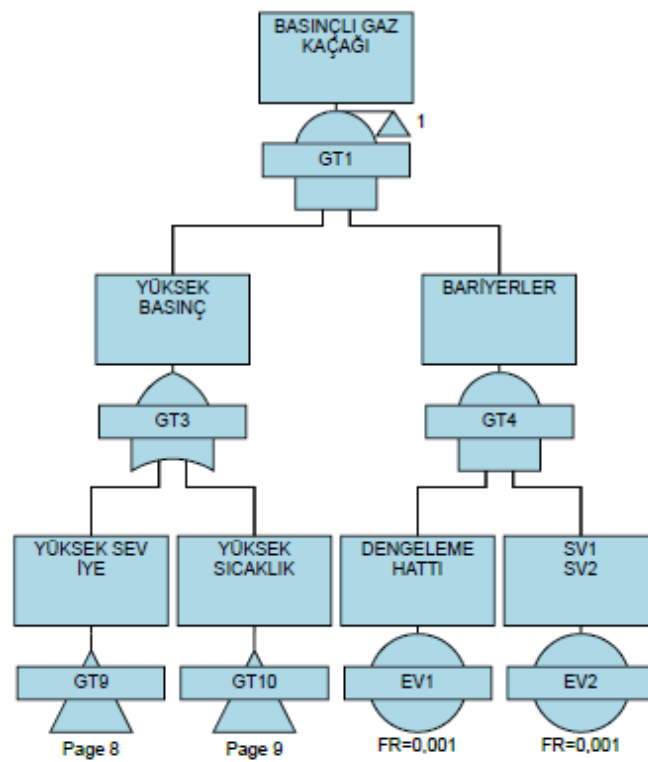


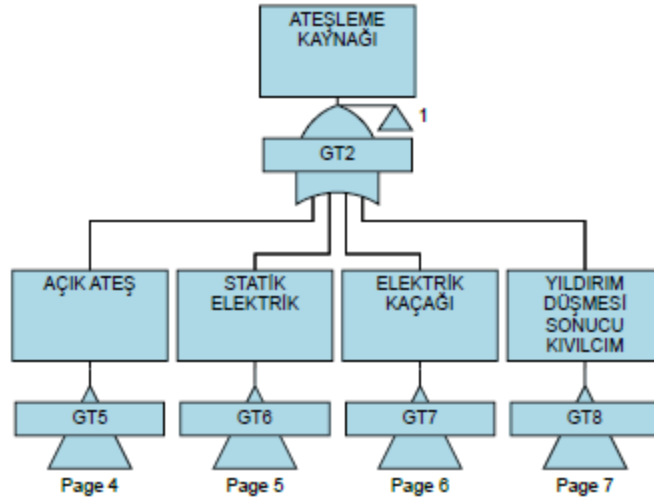
EK-2: Hata Ağacı Modellemesi Harfli Gösterimi

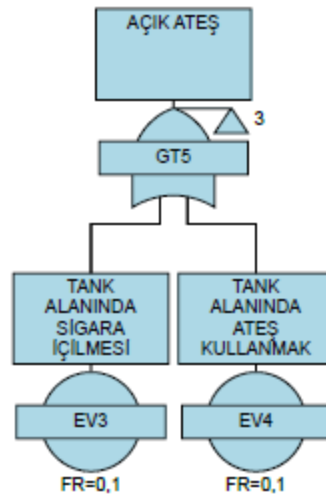


EK-3: HAA Raporu



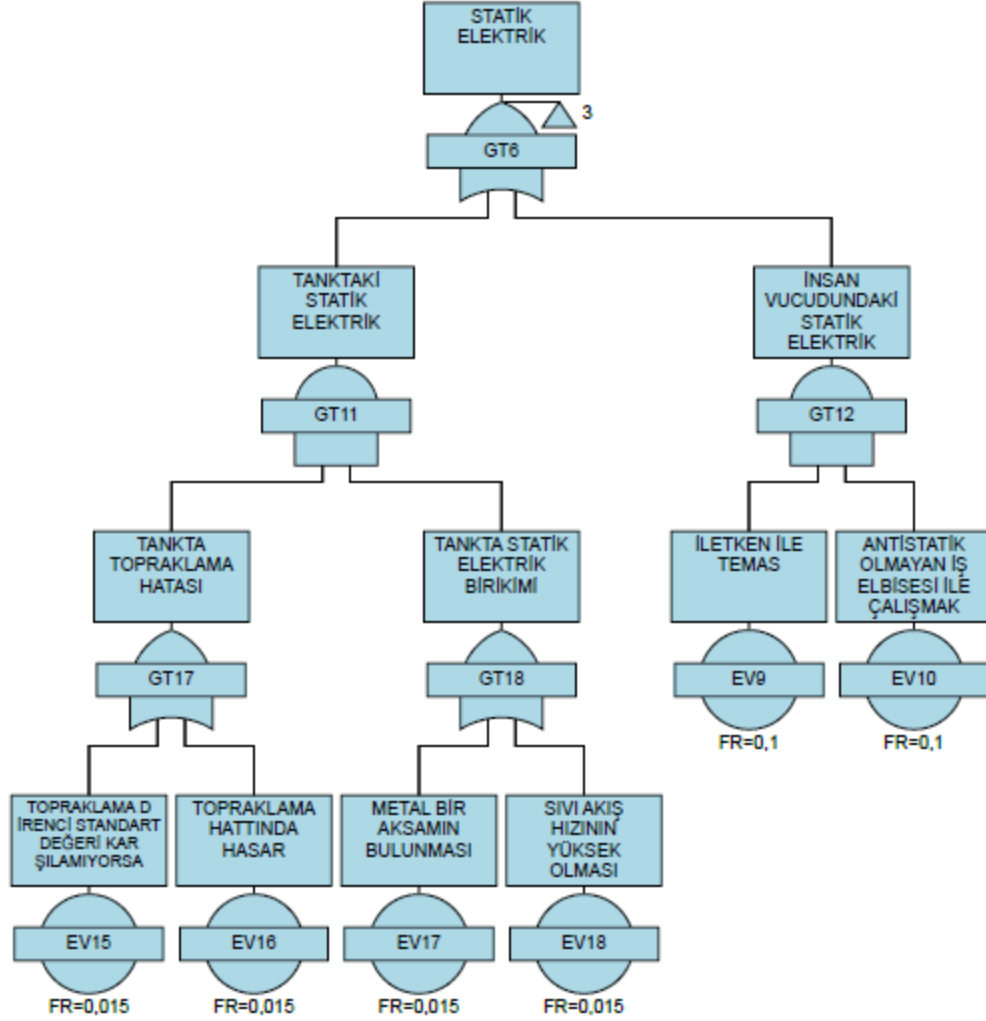


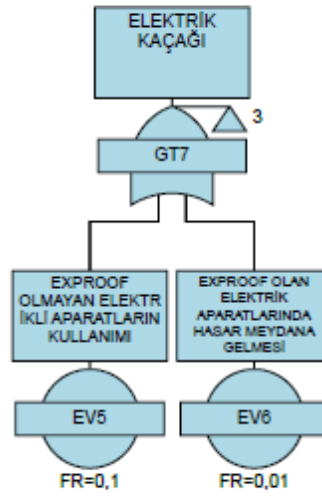


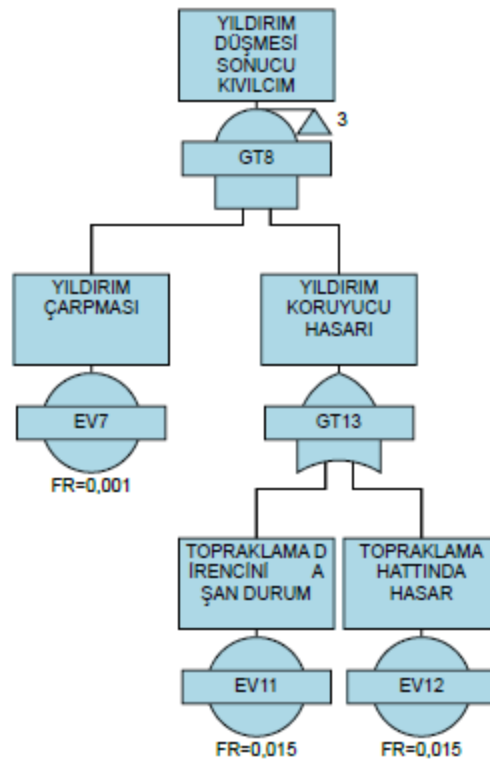


Fault Tree Diagrams

PATLAMA OLAYI İÇİN HATA AĞACI ANALİZİ

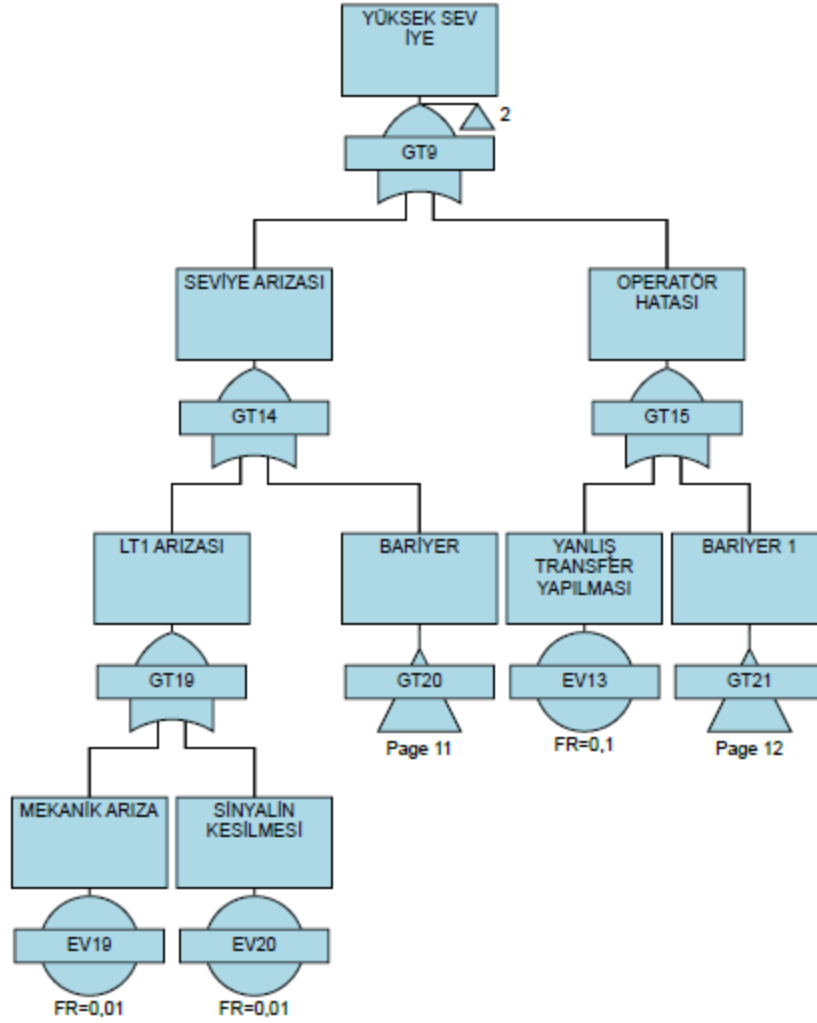


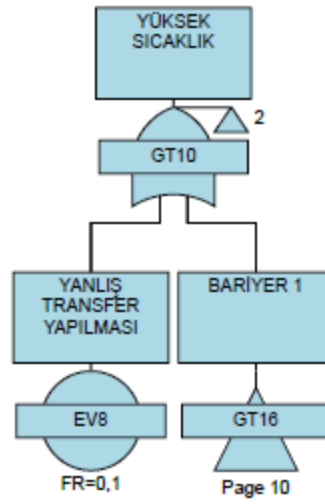




Fault Tree Diagrams

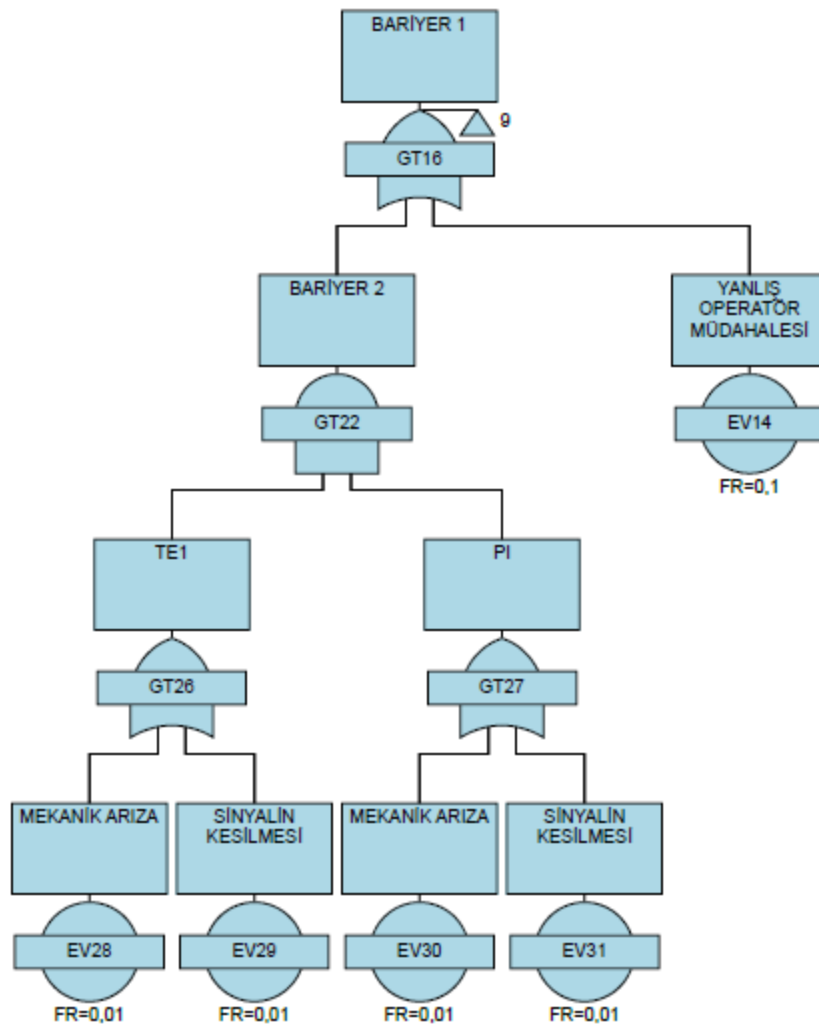
PATLAMA OLAYI İÇİN HATA AĞACI ANALİZİ

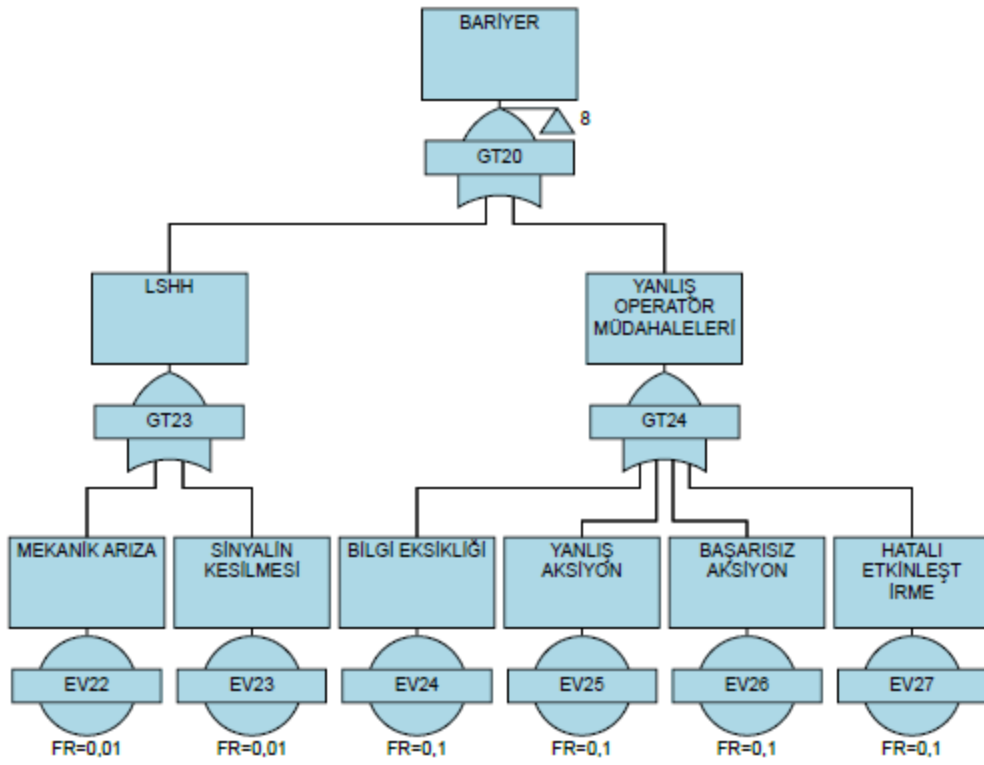


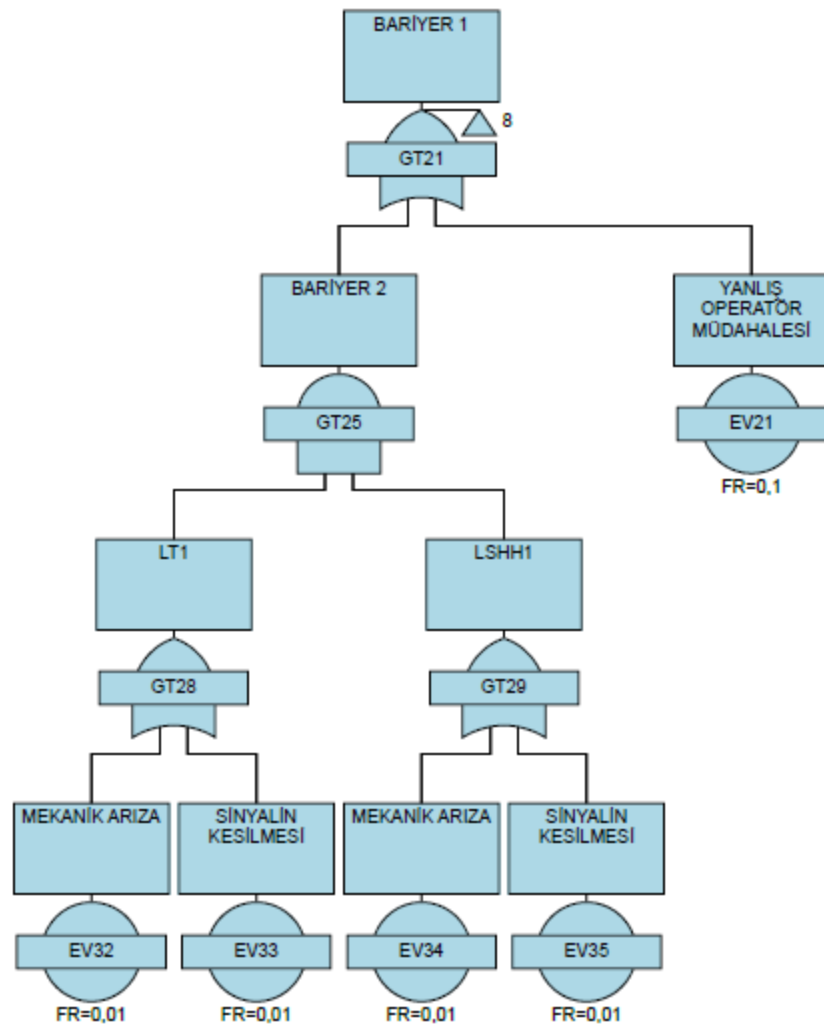


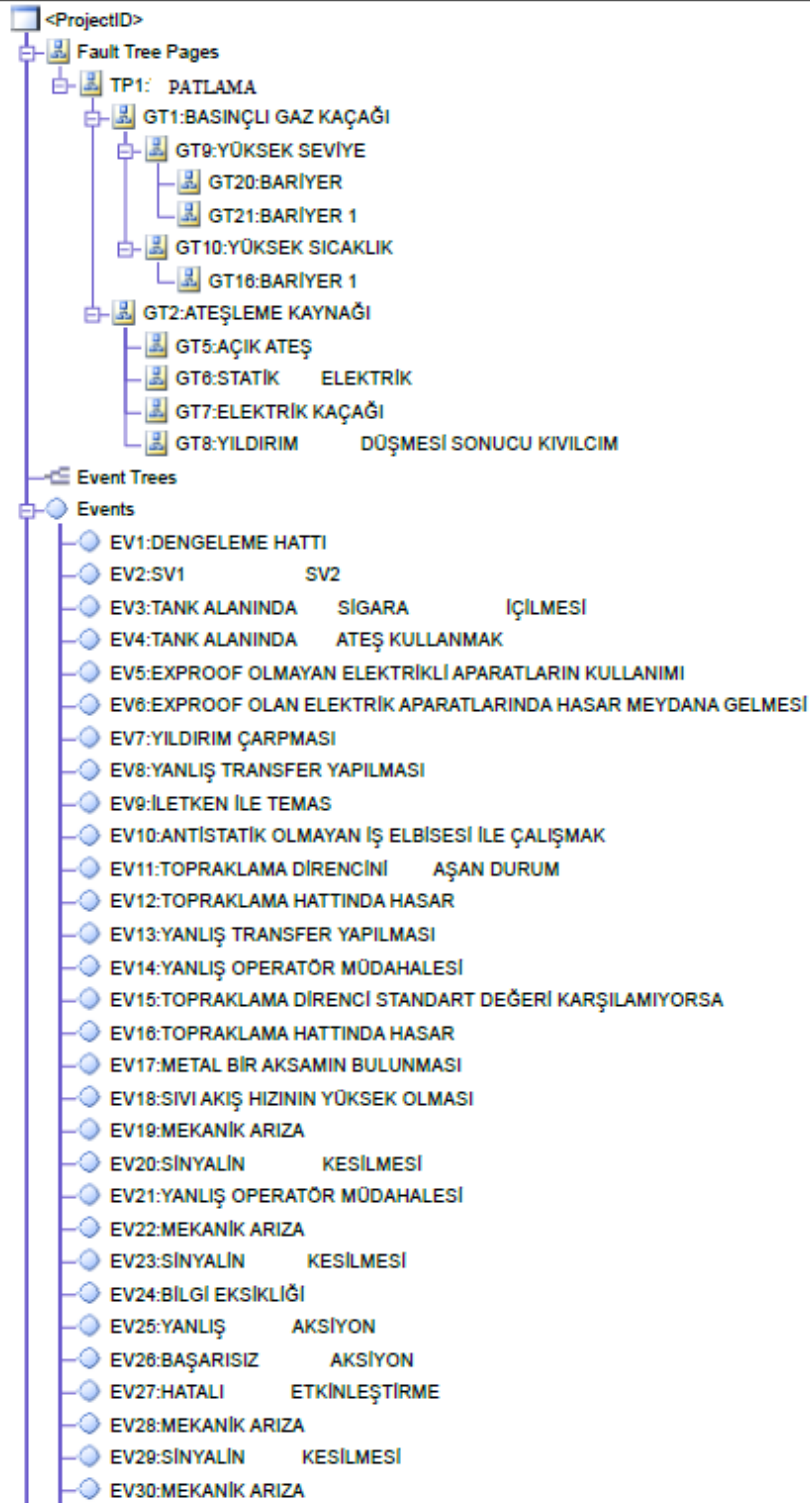
Fault Tree Diagrams

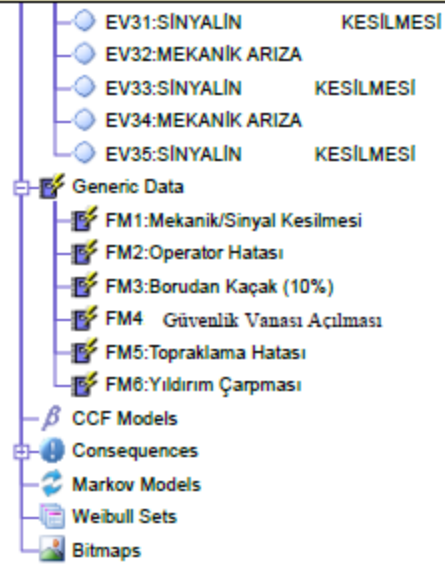
PATLAMA OLAYI İÇİN HATA AĞACI ANALİZİ











RWB V12.0 Gate Summary Results <ProjectID>										
ID	Description	Unavailability	Frequency	CFI	Number expected failures	Unreliability	Total down time	Lower bound unavailability	Number of cut sets	Used method
GT1	BASINÇLI GAZ KAÇAĞI	5,681e-7	1,498e-6	1,498e-6	1,498e-6	1,498e-6	5,681e-7	0e+0	1	Cross product
GT10	YÜKSEK SICAKLIK	1,816e-1	1,643e-1	2,008e-1	1,643e-1	1,819e-1	1,816e-1	0e+0	2	Cross product
GT11	TANKTAKİ STATİK ELEKTRİK	8,735e-4	1,721e-3	1,722e-3	1,721e-3	1,721e-3	8,735e-4	0e+0	1	Cross product
GT12	İNSAN VUCUDUNDAKİ STATİK ELEKTRİK	9,056e-3	1,722e-2	1,738e-2	1,722e-2	1,723e-2	9,056e-3	0e+0	1	Cross product
GT13	YILDIRIM KORUYUCU HASARI	2,955e-2	2,911e-2	3e-2	2,911e-2	2,955e-2	2,955e-2	0e+0	2	Cross product
GT14	SEVİYE ARIZASI	3,56e-1	2,834e-1	4,4e-1	2,834e-1	3,56e-1	3,56e-1	0e+0	2	Cross product
GT15	OPERATÖR HATASI	1,816e-1	1,643e-1	2,008e-1	1,643e-1	1,819e-1	1,816e-1	0e+0	2	Cross product
GT16	BARIYER 1	9,552e-2	9,115e-2	1,008e-1	9,115e-2	9,587e-2	9,552e-2	0e+0	2	Cross product
GT17	TANKTA TOPRAKLAMA HATASI	2,955e-2	2,911e-2	3e-2	2,911e-2	2,955e-2	2,955e-2	0e+0	2	Cross product
GT18	TANKTA STATİK ELEKTRİK BİRİKİMİ	2,955e-2	2,911e-2	3e-2	2,911e-2	2,955e-2	2,955e-2	0e+0	2	Cross product
GT19	LT1 ARIZASI	1,98e-2	1,96e-2	2e-2	1,96e-2	1,98e-2	1,98e-2	0e+0	2	Cross product
GT2	ATEŞLEME KAYNAĞI	2,739e-1	2,39e-1	3,292e-1	2,39e-1	2,805e-1	2,739e-1	0e+0	4	Cross product
GT20	BARIYER	3,43e-1	2,76e-1	4,2e-1	2,76e-1	3,43e-1	3,43e-1	0e+0	2	Cross product
GT21	BARIYER 1	9,552e-2	9,115e-2	1,008e-1	9,115e-2	9,587e-2	9,552e-2	0e+0	2	Cross product
GT22	BARIYER 2	3,921e-4	7,764e-4	7,767e-4	7,764e-4	7,764e-4	3,921e-4	0e+0	1	Cross product
GT23	LSHH	1,98e-2	1,96e-2	2e-2	1,96e-2	1,98e-2	1,98e-2	0e+0	2	Cross product
GT24	YANLIŞ OPERATÖR MÜDAHALELERİ	3,297e-1	2,681e-1	4e-1	2,681e-1	3,297e-1	3,297e-1	0e+0	4	Cross product
GT25	BARIYER 2	3,921e-4	7,764e-4	7,767e-4	7,764e-4	7,764e-4	3,921e-4	0e+0	1	Cross product
GT26	TE1	1,98e-2	1,96e-2	2e-2	1,96e-2	1,98e-2	1,98e-2	0e+0	2	Cross product

RWB V12.0 Gate Summary Results <ProjectID>										
ID	Description	Unavailability	Frequency	CFI	Number expected failures	Unreliability	Total down time	Lower bound unavailability	Number of cut sets	Used method
GT27	PI	1,98e-2	1,96e-2	2e-2	1,96e-2	1,98e-2	1,98e-2	0e+0	2	Cross product
GT28	LT1	1,98e-2	1,96e-2	2e-2	1,96e-2	1,98e-2	1,98e-2	0e+0	2	Cross product
GT29	LSHH1	1,98e-2	1,96e-2	2e-2	1,96e-2	1,98e-2	1,98e-2	0e+0	2	Cross product
GT3	YÜKSEK BASINÇ	5,686e-1	3,63e-1	8,416e-1	3,63e-1	5,69e-1	5,686e-1	0e+0	2	Cross product
GT4	BARİYERLER	9,99e-7	1,997e-6	1,997e-6	1,997e-6	1,997e-6	9,99e-7	0e+0	1	Cross product
GT5	AÇIK ATEŞ	1,813e-1	1,637e-1	2e-1	1,637e-1	1,813e-1	1,813e-1	0e+0	2	Cross product
GT6	STATİK ELEKTRİK	9,921e-3	1,891e-2	1,91e-2	1,891e-2	1,892e-2	9,921e-3	0e+0	2	Cross product
GT7	ELEKTRİK KAÇAĞI	1,042e-1	9,854e-2	1,1e-1	9,854e-2	1,042e-1	1,042e-1	0e+0	2	Cross product
GT8	YILDIRIM DÜŞMESİ SONUCU KIVILCIM	2,954e-5	5,862e-5	5,863e-5	5,862e-5	5,862e-5	2,954e-5	0e+0	1	Cross product
GT9	YÜKSEK SEVİYE	4,729e-1	3,377e-1	6,408e-1	3,377e-1	4,731e-1	4,729e-1	0e+0	2	Cross product
TP1	PATLAMA	1,556e-7	5,461e-7	5,461e-7	5,461e-7	5,461e-7	1,556e-7	0e+0	1	Cross product
Date: 02.02.2016		C:\Users\USER\Desktop\Hata Agaci.rwbx							Page 2 of 2	

EK-4: Başlangıç Olay Frekansları (Referans: CCPS Layer of Protection Analysis Kitabı Tablo 5.1.)

Başlangıç Olay	Frekans Aralığı
Basıncılı Kap Hatası	$10^{-5} - 10^{-7}$
Boru Hattının Tamamen Yarılması	$10^{-5} - 10^{-6}$
Borudan Kaçak	$10^{-3} - 10^{-4}$
Atmosferik Tankta Sorun	$10^{-3} - 10^{-5}$
Conta Patlaması	$10^{-2} - 10^{-6}$
Türbün/Dizel Motor Aşırı Hız ve Yarılma	$10^{-3} - 10^{-4}$
Harici çarpma/darbe	$10^{-2} - 10^{-4}$
Vincin Yük Düşürmesi	$10^{-3} - 10^{-4}$
Yıldırım Çarpması	$10^{-3} - 10^{-4}$
Güvenlik Vanası Açması	$10^{-2} - 10^{-4}$
Soğutma Suyu Kesintisi	$10^0 - 10^{-2}$
Pompa Seal Hatası	$10^{-1} - 10^{-2}$
Yükleme/Boşaltma hortumu Hatası	$10^0 - 10^{-2}$
BPCS Enstruman Hatası	$10^0 - 10^{-2}$
Regulatör Hatası	$10^0 - 10^{-1}$
Küçük Çaplı Yangın	$10^{-1} - 10^{-2}$
Büyük Çaplı Yangın	$10^{-2} - 10^{-3}$
Kilitleme/Etiketleme Hatası	$10^{-3} - 10^{-4}$
Operatör Hatası	$10^{-1} - 10^{-3}$

EK-5

HATA AĞACI ANALİZİ

REHBERİ

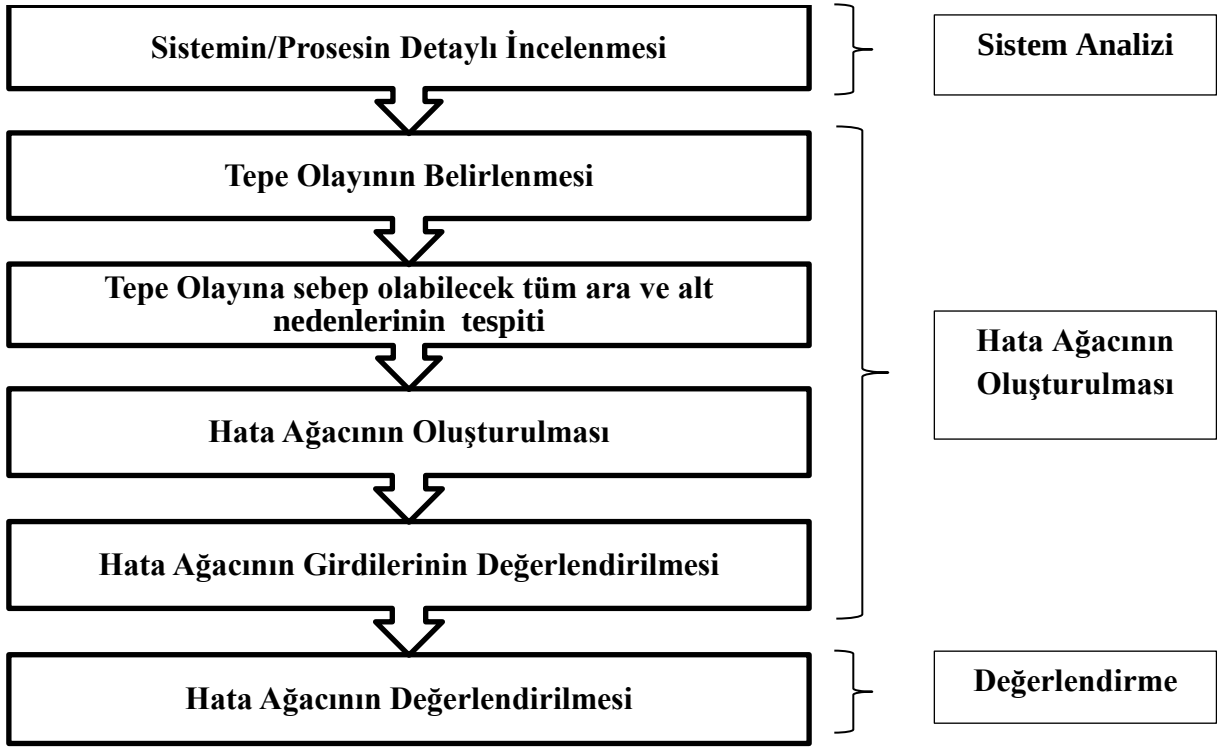
Hata Ağacı Analizi (HAA), istenmeyen bir olayın (tepe olayının) nedenlerinin mantıksal kombinasyonunun grafiksel ifadesidir. HAA, belirli bir tepe olayı üzerine odaklanan analizci bir tekniktir. Muhtemel alt olayları mantıksal bir diyagramla gösterir.

HAA'nın amacı, hataların mekanizmalarını ve mekanik, fiziksel, kimyasal veya insan vb. kaynaklı hata olaylarına sebep olabilecek kök nedenleri tanımlamaktır. HAA ile herhangi bir sistemin güvenilirliğinin tanımlanması, herhangi bir tehlikeye neden olabilecek olumsuzlukların belirlenmesi, bu olumsuzlukların oluşma olasılıklarının değerlendirilmesi ve herhangi bir sistemde kendini tehlike olarak hissettiren tüm problem veya olumsuzlukların sistematik olarak ortaya konulması hedeflenmektedir.

HAA'da risk analizi süreci; çözümlenmesi gereken hata türlerinin tanımlanması ile başlar ve süreç hataya sebep olabilecek ana nedenlerin ortaya konulması ile devam eder. HAA ile her düzeyde tehlike oluşturan hataların analizi yapılr ve mantık kapıları ile en büyük kaybı (tepe olayı) oluşturan hatanın olası tüm kombinasyonları gösterilir. Bu en büyük kaybı oluşturan hatanın kök sebebine kadar inilerek, istenmeyen diğer olası hatalar ve onların nedenleri araştırılır. Bunu gerçekleştirebilmek için de tekniğin kendine özgü olan mantık sembolleri kullanılarak hatanın soy ağacı çıkarılır.

HAA, hatayı alt bileşenlerine nicel teknik kullanarak ayırdığı için oldukça kullanışlı bir risk değerlendirmesi yöntemidir. HAA'nın avantajları sistematik bir yaklaşım olması, sistem unsurlarının birbirleri ile etkileşimini değerlendirmesi, niceliksel/niteliksel sonuçlar alınabileceği ve uygulanmasının son derece kolay bir analiz olmasıdır.

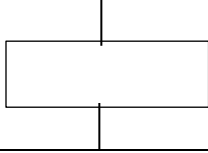
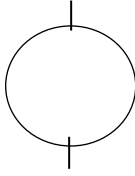
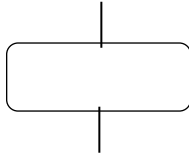
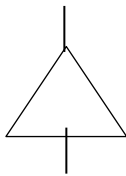
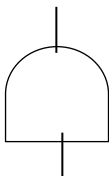
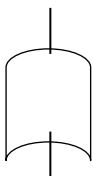
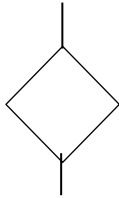
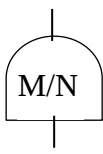
HAA'nın aşamaları üç temel adımda uygulanır (Şekil 1.). Bunlar sistem analizi, hata ağacının oluşturulması ve değerlendirme adımlarıdır. Değerlendirme adımında analiz için bir proses veya bölüm seçilir, diyagram üzerine bir kutu çizilir ve bileşenler içine listelenir. Proses veya bölüm ile ilgili kritik arızalar ve tehlikeler tanımlanır. Riskin sebebi tanımlanır ve riskin altına muhtemel bütün nedenleri listelenir ve oval daireler içinde riske bağlanır. Bir kök sebebe doğru ilerlenir. Her risk için nedenlere ulaşana kadar tanımlanır. Her kök neden için karşıt ölçümler tanımlanır. Beyin fırtınası veya kuvvet alan analizinin gelişmiş versiyonu ile her kritik riskin kökü belirlenir. Her karşıt ölçüt için bir kutu oluşturulur.



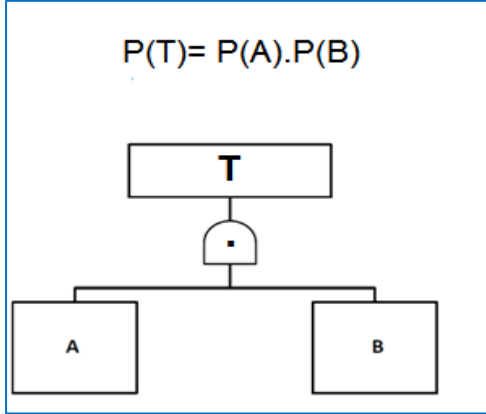
Şekil 1. HAA aşamaları

Tablo 1.'de HAA Diyagramlarında kullanılan semboller gösterilmiştir.

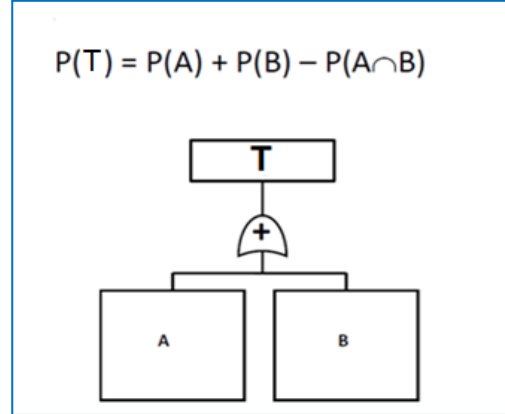
Tablo 1. HAA diyagramlarında kullanılan semboller

SEMBOL	TANIM
	Mantık kapısı ile bağlı daha basit olayların, elementlerin veya faktörlerin kombinasyonu ile ortaya çıkan olaydır.
	Temel olay: Birincil durumdaki olay için kullanılır. Daha ileri bir gelişimi gerektirmeyen, işleme gerek duyulmayan temel bir olaydır.
	Mantık kapısı ile bağlı yapılması zorunlu olaydır.
	Transfer(Aktarma) sembolüdür. Bağlantı ve birleştirme işlevinde kullanılır.
	Ve Kapısı: Sadece sembol altındaki girdi olaylarının gerçekleşmesi durumunda yukarıda yer alan olayın meydana gelmesi.
	Veya Kapısı: Sembolün altındaki bir veya birden fazla girdi olaydan en az herhangi birinin gerçekleşmesi durumunda yukarıda yer alan olayın meydana gelmesi.
	Gelişmemiş olay: Sebebi tanımlanmamış ve belirsiz bir son olayı tanımlamaktadır.
	Kombinasyon: N girdi olay içinden en az M tanesi gerçekleşirse baştaki olay gerçekleşir.

Hata ağacında, olaylar (ana, ara ve kök nedenler) ve mantıksal kapılar temel kavramlardır. HAA’nde “VE – VEYA” mantık kapıları kullanılır. Mantıksal diyagram içinde kullanılan tüm mantık kapılarının olasılıkları ve olasılık teoremleri Boolean matematiği kullanılarak hesaplanır.



Şekil 2. VE Kapısı



Şekil 3. VEYA Kapısı

VE(AND) işlemi: Ve işleminde iki Boolean değişkeni vardır.

A ve B çıkışı, (A.B) şeklinde yazılır.

$$P(T) = P(A).P(B)$$

$$F(A \text{ AND } B) = F(A).F(B)$$

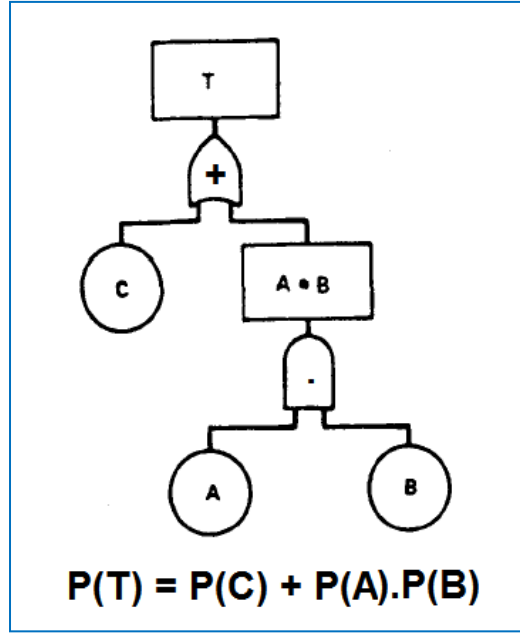
VEYA(OR) işlemi: Veya işleminde A ve B gibi iki Boolean değişkeni vardır.

A ve B çıkışı, (A+B) şeklinde yazılır.

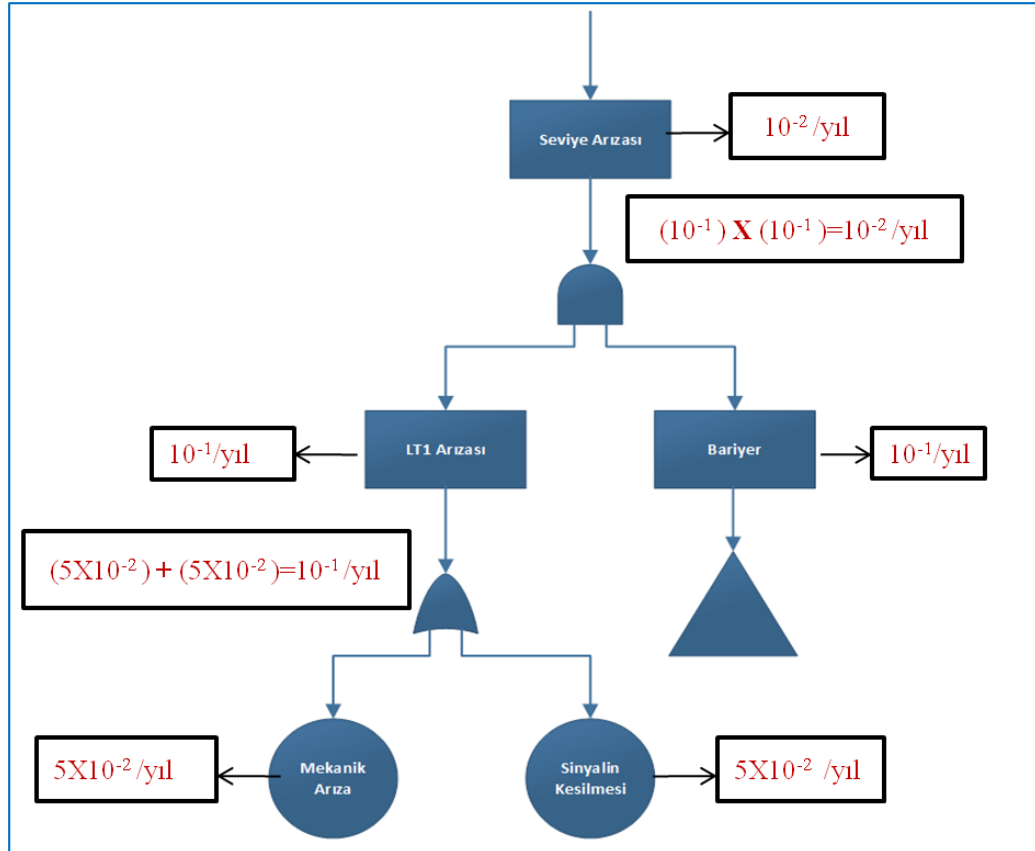
$$P(T) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \sim P(A) + P(B)$$

$$F(A \text{ OR } B) = F(A) + F(B)$$

P, olasılık; F, sıklık (zaman^{-1}); t, zaman (genellikle yıl)



Şekil 4. Örnek Hata Ağacı Hesaplaması



Şekil 5. Uygulamalı Hata Ağacı Örneği