

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

**BASINÇLI KAPLARDA OLUŞAN RİSKLERİN BOW-TİE MODELİ İLE
ANALİZ EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet DEVECİ

MAYIS- 2024

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

**BASINÇLI KAPLARDAN OLUŞAN RİSKLERİN BOW-TİE MODELİ İLE
ANALİZ EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet DEVECİ

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Evren ÇAĞLARER

Mayıs – 2024

“BASINÇLI KAPLARDA OLUŞAN RİSKLERİN BOW-TİE MODELİ İLE ANALİZ EDİLMESİ” adlı tez çalışması **Mehmet DEVECİ** tarafından hazırlanmış olup aşağıdaki jüri tarafından **OY BİRLİĞİ** ile Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Evren ÇAĞLARER
Kırklareli Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri:

Dr. Öğr. Üyesi Gülcan İNER
Kırklareli Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Arzum İŞİTAN
Pamukkale Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi: 24/05/2024

.....
Doç. Dr. H. Hale KARAYER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Kırkırelı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehmet DEVECİ

24/05/2024

ÖZET

BASINÇLI KAPLARDA OLUŞAN RİSKLERİN BOW-TİE MODELİ İLE ANALİZ EDİLMESİ

Mehmet DEVECİ

Yüksek Lisans Tezi

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Evren ÇAĞLARER

Mayıs 2024, 70 sayfa

Teknolojinin çalışma hayatında getirdiği büyük devrimler, dünyadaki toplumsal refahı ve gelişimi için katkı sağlarken bir yandan insanoğlunun yaşamına ve bulunduğu iş ortamına yönelik oluşturduğu tehditleri beraberinde getirmiştir. 18. Yüzyılda enerji kaynaklarının makinelerle birleşmesiyle başlayan makineleşme çağı, o zamandan bu yana çeşitli etkenlere ve dış faktörlere bağlı birçok ‘‘İş Kazasına’’ sebebiyet vermişlerdir. Yaşanan kazaların artması küresel sorunlar olarak nitelendirilmiş ve engelleyici tedbirlerin alınması gerekliliği zorunlu hale gelmiştir.

İş kazalarının yaşanmasında yangın, patlama, sızdırma gibi risklerle karşılaşılan basınçlı kaplarda, günümüzde birçok iş güvenliği tedbirleri uygulanmaktadır. Alınan tedbirler çalışanı koruyup, çalışan ortamın güvenliğini sağlarken yaşanabilecek iş kazalarının önlenmesinde etkili olmuştur. Fiziki tedbirler ve eğitime ek olarak iş güvenliği sorumlularınca çalışma sahası özelinde yapılan risk analizleri de kazaların azalmasına, çalışan ve işvereni olası kaza senaryolarına karşı sürekli duyarlı kalmalarına katkı sağlamıştır.

Yapılan bu çalışma; sosyal ve iş hayatımızın her noktasında yer alan ‘‘Basınçlı Kapların’’ üretiminden kullanım sahalarına kadarki olan süreci, kullanımında oluşabilecek tehditleri, olası sonuçları ve bunları engelleyici unsurları çalıştıran bir metot olan Bow-tie risk analiz

modeli (Papyon modeli) üzerine literatür taramasını ele almaktadır. Bu risk modellemesinin ana tehlikesi olarak ‘‘Sıcak Su Kazanın Patlaması’’ olayı belirlenerek analiz çalışması yapılmıştır.

Bow-tie risk modellemesinin kritik olayı ele alarak varacağı olası sonuçları ve özellikle hasarı/şiddeti azaltıcı engelleyici bariyerler içeren bir analiz olması, tez çalışmasının da ele aldığı basınçlı kaplar gibi risk içeren, bakım ve kontrollerinin sürekli düzenli olarak takip edilmesi gereken, insan ve makinelerin iç içe çalıştığı tüm sahalarda etkili bir analiz metodu olduğu anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İş güvenliği ve sağlığı, basınçlı kaplar, bow-tie risk analizi, iş kazaları, kazan patlaması

ABSTRACT

ANALYZING RISKS IN PRESSURIZED VESSELS WITH THE BOW-TIE MODEL

Mehmet DEVECİ

MSc Thesis

Kırklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Asst. Prof. Evren ÇAĞLARER

May 2024, 70 pages

The significant revolutions brought by technology in the workplace have contributed to societal welfare and development worldwide, while simultaneously posing threats to human life and the work environment. The era of mechanization, which began in the 18th century with the combination of energy sources with machines, has resulted in numerous workplace accidents up to the present day, attributable to various factors and external influences. The increase in accidents has been described as a global problem and the need to take preventive measures has become mandatory.

Many occupational safety measures are implemented in pressure vessels where risks such as fire, explosion and leakage occur in the event of work accidents. These measures not only protect the workers and ensure the safety of the working environment but also effectively prevent potential workplace accidents. In addition to physical measures and training, risk analyses conducted by Occupational Health and Safety officers specific to the workplace have contributed to reducing accidents and keeping both employees and employers constantly aware of possible accident scenarios.

This study focuses on the entire process from the production to the usage of 'Pressurized Vessels,' which are ubiquitous in our social and work life, as well as the threats that may arise during their usage, possible consequences, and mitigating factors, using the Bow-tie

risk analysis model (also known as the Butterfly model) as the driving methodology. The primary hazard identified for this risk modeling is the 'Explosion of a Hot Water Boiler,' and an analysis study has been conducted accordingly.

By addressing the critical event in the Bow-tie risk modeling and its possible consequences, especially incorporating preventive barriers to reduce damage/intensity, it is understood that this analysis method is effective in all fields containing risks, such as pressurized vessels discussed in this thesis, where maintenance and checks need to be continuously monitored, and where humans and machines work closely together.

Keywords: Occupational health and safety, pressurized vessels, bow-tie risk analysis, workplace accidents, boiler explosion

TEŞEKKÜR

Tez konumu oluşturma aşamasından son ana kadar desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen, sabır ve anlayışla bu süreçte yanımda olan başta danışmanım Sn. Dr. Öğr. Üyesi Evren ÇAĞLARER' e, çalışma sürecinde birçok yükümü üstlenen değerli eşim Meltem DEVECİ' ye, sürekli odaklanmam konusunda telkinlerde bulunan eğitim hayatımın her noktasına dokunmuş annem Hamide DEVECİ' ye ve son olarak çalışma esnasında sabırla bilgisayar başından kalkmamı bekleyen, küçük yaşlarına rağmen anlayışlı davranan çocuklarım Metehan ve Atahan DEVECİ' ye teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
RESİMLER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	9
2. BASINÇLI KAPLAR.....	10
2.1. Basınçlı Kap Tanımı	10
2.2. Basınçlı Kap Türleri	11
2.3. Basınçlı Kaplar İçin Malzemelerin Belirlenmesi	12
2.4. Basınçlı Kapların Tasarımına Yönelik Standartlar	13
2.5. Basınçlı Kapların Etkilendiği Yükler	14
2.5.1. Titreşim.....	15
2.5.2. Ağırlık.....	15
2.5.3. Rüzgar.....	16
2.5.4. Sıcaklık	17
2.5.5. Dinamik ve Statik Yük	18
2.5.6. Dış ve İç Basınç	19
2.6. Basınçlı Kap Kaynağı.....	19
2.6.1. Kaynak Kabiliyeti.....	20
2.6.2. Kaynak Metotları.....	20
2.7. Basınçlı Kapların Muayenesi ve Periyodik Kontrolü.....	21
2.8. Basınçlı Kaplarda Güvenlik.....	22
2.8.1. Emniyet ve Basınç Düşürme Cihazları.....	22
2.8.2. Otomatik Sistemler	23
2.8.3. Basınçlı Kaplarda Test Teknikleri.....	24
2.8.4. Basınçlı Kaplardan Kaynaklanan İş Sağlığı ve Güvenliği Riskleri.....	25

2.8.5. Basınçlı Kaplar İçin Temel Emniyet Kuralları	27
2.9. Basınçlı Kaplardaki Risklere Karşı Alınacak Tedbirler.....	30
2.9.1. Sınırlayıcı Tedbirler	30
2.9.2. Önleyici Tedbirler.....	31
3. BOW-TİE MODELİNİN TANITIMI	33
3.1. Bow-Tie Modelinin Tanımı	35
3.2. Bow-Tie Modelinin Ögeleri	36
3.2.1. Tehlike	36
3.2.2. Kritik Olay	37
3.2.3. Tehditler	38
3.2.4. Sonuçlar	39
3.3. Bow-Tie Modelinin Kökeni.....	40
3.3.1. Sebep Faktörleri Grafiği	41
3.3.2. Olay Ağacı Analizi.....	41
3.3.3. Hata Ağacı Analizi.....	42
3.4. Bow-Tie Modeline Yönelik Bariyerler.....	44
3.4.1. Kontrol Bariyerleri	45
3.4.2. Bariyer Çeşitleri.....	45
3.4.3. Bariyer İşlevi	46
3.4.4. Bariyer Kapsamında Verimlilik	47
3.4.5. Bariyer Sistemleri	48
3.4.6. Bariyer Yanıltma Yapısı	49
4. BİR KAZAN DAİRESİNDE ÇALIŞAN SICAK SU KAZANINDA YAPILAN BOW-TİE RİSK ANALİZİ ÇALIŞMASI.....	54
4.1. Tehditler ve Önleyici Bariyerleri	55
4.1.1. Kazanın Susuz Kalması (Tehdit 1)	56
4.1.2. Kazanın Yüksek Basınçlara Çıkması (Tehdit 2).....	58
4.1.3. Yakıt Kaynaklı Patlamalar (Tehdit 3)	59
4.2. Sonuçlar ve Önleyici Bariyerler	60
4.2.1. Ölüm ve Yaralanma Durumu (Sonuç 1)	61
4.2.2. Maddi Hasar ve Kayıplar (Sonuç 2).....	62
4.2.3. Hizmetin Aksaması Durumu (Sonuç 3).....	63
4.3. ANALİZ DEĞERLENDİRMESİ	64
4.3.1. Yanıltma Mekanizmalarının Bariyerleri	64

5. SONUÇ ve ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	75



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. En temel basınç düşürme araçları.....	23
Şekil 3.1. Bow-Tie modelinin ögeleri	36
Şekil 3.3. Tehlike	37
Şekil 3.4. Kritik olay	38
Şekil 3.5. Tehditler.....	39
Şekil 3.6. Sonuçlar.....	40
Şekil 3.7. Olay ağacı formu	42
Şekil 3.8. Hata ağacı formu	43
Şekil 3.9. Bariyerler.....	44
Şekil 3.10. Bow-Tie modeli ve bariyerler	45
Şekil 3.11. Bariyer yanıtma mekanizması	50
Şekil 4.1 Bow-tie modeli.....	55

RESİMLER DİZİNİ

Resim 4.1. Basınçlı Kaplar	4
Resim 4.2. Basınçlı Kaplarında Tasarımı	6
Resim 4.3. Basınçlı Kaplarda Test Teknikleri	16
Resim 4.4. Basınçlı Kaplar İçin Temel Emniyet Kuralları	20
Resim 5.5. Basınçlı Kaplarda Alınan Tedbirler	22
Resim 4.6. Sıcak su kazanı	56
Resim 4.7. Kazan termostat/sıcaklık-basınç göstergeleri	57
Resim 4.8. Kazan emniyet ventili.....	58
Resim 4.9. Patlama kapağı	59
Resim 4.10. Yangın ikaz butonu	60

1. GİRİŞ

İnsanoğlu çalışmaya ihtiyaç duyduğu günlerden günümüze kadar yaptığı her işte iş bölümü oluşturmaya ihtiyaç duymuştur. İş kapasitelerinin artması ve farklılaşmasıyla oluşturulan bu iş bölümlerinde de riskler değişkenlik göstererek artmıştır. Buda, çalışanın ve yapılan işin sağlıklı olması/kalabilmesi için belirli standartlarla çevrenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Üretimin başladığı, kazaların ölümcül hale geldiği özellikle Sanayi Devrimi sonrası yaşanan iş kazaları, nesnelleşen bir kuram içinde yürütülmesi gereken bir hâl almıştır (Çiçek, Ö., & Öçal, M.,2016).

Bu süreçte iş kolaylaştıran ekipmanların çalışma sürecine dahil edilmesi, yürütülen işlerin verimini, kapasitesini arttırmış, zamandan kazanç sağlamış ve fiziksel iş yükünü düşürmüştür. Özellikle kullanılabilecek sıvı ve gaz maddelerinin; sıcaklığını değiştirmek, basınçlandırılmasını ve taşınmasını sağlamak, çeşitli kimyasal ürünler elde etmek gibi kullanılması ve işlenilmesinde kullanılan basınçlı kaplar, hayatın her bir noktasında yerlerini almıştır.

Günümüz teknolojisinde gelineen noktada basınçlı kaplar kullanım durumlarına göre endüstride, evlerde, çeşitli enerji santrallerinde, taşıtlarda hemen hemen yaşamın her noktasında kullanılan önemli ekipmanlardır. Hatalı imalat ve tasarımdan kaynaklı, bakımsız ve kontrolsüz kullanımında sebebiyet verdiği bazı durumlar, basınçlı kapların patlaması neticesinde insanların ölümüne veya yaralanmalarına yol açmıştır. Bu durum teknik personel ve mühendislerce belirli standartların geliştirilmesine gerek duyulmuş, bakım, kontrol ve kullanım esaslarının takip edildiği yönetmelikler çıkarılmıştır.

Bu çalışmada İş sağlığı ve güvenliğinin üzerinde önemle durduğu ve yönetmeliklerle desteklenen ve Basınçlı Kaplar ve Bow-Tie Risk Analiziyle ilgili çalışmaların araştırmaları yapılarak Sıcak Su Kazanı Patlaması riskine ilişkin örnek bir Bow-Tie Risk Analizi çalışması (Papyon modeli) hazırlanmıştır.

2. BASINÇLI KAPLAR

Sanayi kuruluşlarında yaygın olarak kullanılan gazların basınç altında çözölen formları, sıkıştırılmış veya sıvı hale getirilmiş biçimleri farklı işlemler içerisinde kullanım bulmaktadır. Kullanılacak bu gazların depo edilmesi ve taşınması işlemleri çoğunlukla basınçlı kaplar aracılığı ile gerçekleşmektedir (Sayılğan, 1993; Habiboğlu, 1993).

Basınçlı kaplar, iç ve dış basınçlara maruz kalan, akışkanları taşıyan veya depolayan yüksek sızdırmazlık özellikleri bulunan tank ve depolar olarak ifade edilebilmektedir. Tank ve depolarda çoğunlukla dış basınç oranı iç basınç oranına göre daha düşük seviyede bulunmaktadır (Küçüköner, 2019).

Basınçlı kapların kullanımı hem amaçları hem de fiziksel özelliklerinden kaynaklanan bazı potansiyel tehlikeleri beraberinde getirir. Bu tehlikelerin başında yüksek basınç yer almaktadır. Yüksek basınç, ekipman veya yapı parçalarının kontrolsüz bir şekilde patlamasına ve uzak mesafelere fırlamasına neden olabilir. Kap içerisinde yer alan sıcak su ise zararlı kimyasal madde ve buharların kontrollü olmayan biçimde yayılmasına neden olabilmektedir (Kırtaş ve Altundağ, 2020).

Basınçlı kapların yer aldığı ortamlarda sürekli olarak yangın tehlikesi riski bulunmaktadır. Yanıcı gazların ve sıvıların aynı ortamda bulunması nedeni ile ısı iletkenliği olan ya da ısı üreten basınçlı kapların alevli patlamalara neden olma ve yangın çıkarma ihtimali yüksektir (Sözen vd., 2021).

2.1. Basınçlı Kap Tanımı

Chattopadhyay (2004) basınçlı kapları; “içerisinde akışkan taşıyan veya depolayan, iç ve dış basınçlara maruz kalan, yüksek sızdırmazlık özellikleri arzulan depo ve tanklar” biçiminde tanımlamaktadır. TSE (2023) ise basınçlı kap kavramını, “daha yüksek basınçlı sıvı ve gazların üretimi, taşınması veya depolanması için kullanılan basınçlı kaplar, küre, silindir biçimli küre, silindir veya koni biçimli hacimlerin birleştirilmesinden oluşan atmosfere kapalı kaplar” biçiminde ifade etmektedir.

Basınçlı kapların güvenli bir şekilde görevlerini idame edebilmelerinin ön koşulu bu kapların periyodik bir biçimde kontrol edilmesinden geçmektedir. Bu sebeple, basınçlı kapların kontrolü, imalatı ve tasarımı belirli standartlar bağlamında yapılmalıdır. Türkiye bağlamında basınçlı kapların muayene ve kontrolleri en genel görünümü itibariyle TSE tarafından gerçekleştirilmektedir (Canlı, 2017).

Zaman içerisinde sanayinin gelişmesine bağlı olarak ilerleme yaşayan üretim kapasitesinin artması durumu işletme sayısının da artmasına neden olmuş, buna bağlı olarak bir standart ve kural zincirinde basınçlı kaplar üretilmeye başlanmıştır. Bu bağlamda basınçlı kapların tasarımı, üretimi ve kontrolü ulusal ve uluslararası standartlara uygun olarak gerçekleştirilmelidir. Dünya genelinde basınçlı kap tasarımı için farklı standartlar kullanılmaktadır (Balcı, 2014);

- TSE (Türk Standartları Enstitüsü)- Kazan ve basınçlı kap kuralları,
- Almanya AD (Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter)- Basınçlı kap kuralları,
- Almanya TRG (Technische Regeln für Gaskessel)- Basınçlı gaz kabı teknik kuralları,
- Almanya TRD (Technische Regeln für Dampfkessel)- Buhar kazanı teknik kuralları.”

2.2. Basınçlı Kap Türleri

Kullanım amaçlarına göre çeşitlenen basınçlı kaplar, çeşitli endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kaplar arasında şu çeşitler bulunmaktadır (Fayazbakhsh vd., 2009):

- Boru Hatları,
- Kazanlar,
- Kompresörler,
- Hava Tankları,
- LPG Tankları,
- Hidrolik Akışkan Devreleri,
- Hidrofor (Basınçlandırma Sistemleri),
- Sanayi Gaz Tankları,
- Soğutma Üniteleri,
- Pnömatik Akışkan Devreleri,
- Gaz Tüpleri,

- Kriyojenik Tanklar,
- Otoklavlar (İç Basınca Dayanıklı Kaplar)’’.

Her bir basınçlı kap türü, özel ihtiyaçları karşılamak ve belirli uygulama alanlarına uygun olmak üzere tasarlanmıştır. Bu çeşitlilik, endüstriyel süreçlerin çeşitliliği ve gereksinimlerinin bir yansımasıdır.



Resim 2.1. Basınçlı Kaplar

2.3. Basınçlı Kaplar İçin Malzemelerin Belirlenmesi

Basınçlı kaplarda malzeme seçimi, uygulanacak alanın koşulları, korozyon, kap sıcaklığı ve basınç gibi faktörlere bağlı olarak değişen kriterlere dayanmaktadır (Balci, 2014). Malzemelerin belirlenmesinde bazı kriter ve koşullar bulunmaktadır. Bunlara bağlı olarak potansiyel malzemeler belirlenmekte ve ardından bu malzemeler arasında en uygun malzeme tercih edilerek seçim süreci sonlandırılmaktadır (Sapuan vd., 2002).

Malzeme tercihinde dikkat edilen ön koşul maliyet olarak öne çıkmaktadır. Maliyet unsurunu hammaddenin temin edilmesi, malzemenin üretilmesi, işlenebilir olması ve kaynak yeteneği gibi diğer unsurlar takip etmektedir. Malzeme seçimi sırasında, çeşitli faktörler göz önüne alınmalıdır. Bunlar arasında korozyon etkisi, çekme mukavemeti, aşınma katsayısı, malzeme özellikleri, akma gerilmesi, kırılma analizi, işletme sıcaklığı ve basıncı, hidrojen etkisi, emniyet katsayısı gibi faktörler bulunmaktadır. Bu kapsamlı

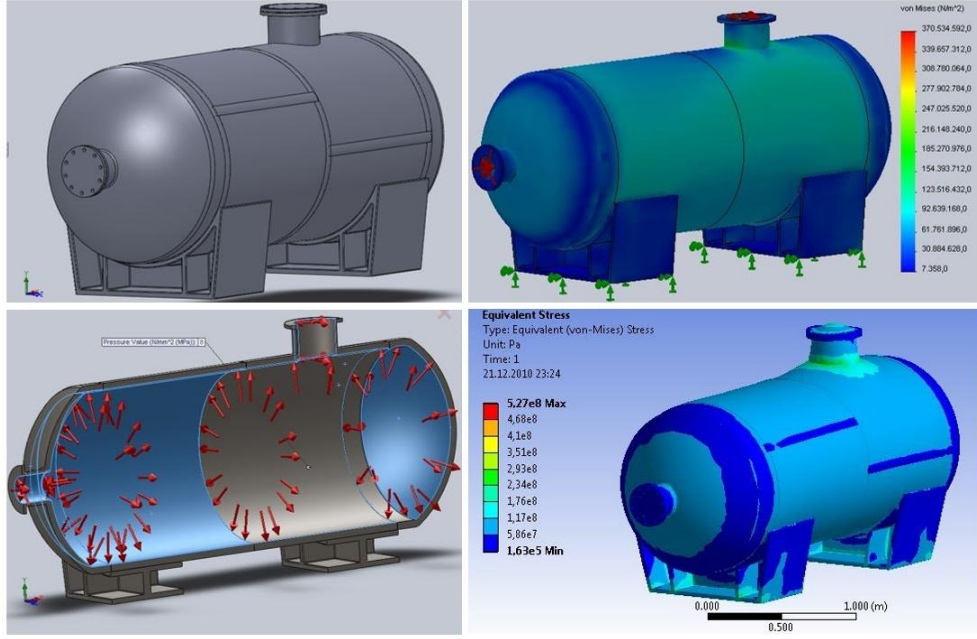
değerlendirmeler, basınçlı kapların güvenli ve etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak için hayati öneme sahiptir (Chatterjee vd., 2011).

2.4. Basınçlı Kapların Tasarımına Yönelik Standartlar

Yüksek basınçlı ürünleri içinde barındıran basınçlı kapların tasarımları, güvenlik ve standartlara uygunluk açısından büyük bir öneme sahiptir. Standartlara uygun olmayan tasarımlar, potansiyel tehlikeleri beraberinde getirebilir ve can kaybına veya mal kaybına neden olabilir. Bu tür kazaları önlemek amacıyla dünya genelinde belirli bir standart zinciri bulunmaktadır. Farklı ülkelerde kullanılan bazı standartlar şunlardır (Türkel, 2004).

- “Türk Standartları Enstitüsü (TSE): TS 1203, TS 13222-1, TS 736, TS 377, TS 497, TS 12952,
- Türk Loydu: TL
- Almanya: AD 2000
- Almanya: TRG Technische Regeln Druckgase
- ABD: ASME Boiler and Pressure Vessel Code
- İngiltere: PD 5500
- İtalya: Italian Pressure Vessel Code ANCC
- Avustralya: AS 1210, Unfired Pressure Vessel and Class 1H
- Hindistan: IS 2825, Code for Unfired Pressure Vessel
- İsveç: Swedish Pressure Vessel Codes
- Japonya: Japanese Pressure Vessel Code
- Japonya: Japanese Standards for Pressure Vessel Construction
- Rusya: Regeln für Entwurf und Betriebssicherheit von Druckbehältern
- Fransa: CODAP
- Hollanda: Regeis Voor Toestellen
- Belçika: Reglement General Pour la Protection Travail (RGPT)
- Avrupa: EN 13445”.

Bu standartlar, basınçlı kapların güvenli bir şekilde tasarlanmasını, üretilmesini ve kullanılmasını sağlamak için belirli kurallar ve yönergeler sağlar. Uygun standartlara uymak, endüstriyel güvenliği artırır ve potansiyel riskleri en aza indirir.



Resim 2.2. Basınçlı Kaplarında Tasarımı

2.5. Basınçlı Kapların Etkilendiği Yükler

Yüksek basınç altında işlem gören basınçlı kapların kullanımı ciddi yaralanmalara neden olabilecek tehlikeleri içerisinde barındırmaktadır. Bu nedenle, basınçlı kapların tasarımında ve üretiminde güvenlik ön planda tutularak, insan hayatı için önemli bir faktör olan emniyet sağlanmalıdır. Bu amacı gerçekleştirebilmek adına, basınçlı bir kap tasarımı sırasında bu kaba etki edecek tüm yük belirlenerek bu etkiler daha mevcut olmadan hesaplanmalı ve tasarım bu doğrultuda ilerletilmelidir. Basınçlı kaplarda etkisi bulunan yükler şu şekilde sıralanmaktadır; (Baba, 2013).

- Titreşim,
- Ağırlık,
- Rüzgar,
- Sıcaklık,
- Dinamik ve Statik yük,
- Dış ve İç basınç.

Bu faktörlerin her biri, basınçlı kapların güvenli bir şekilde çalışabilmesi için dikkate alınması gereken önemli etmenlerdir. Tasarım sürecinde, bu etkilerin güvenlik standartlarına uygun olarak değerlendirilmesi ve kontrol edilmesi, potansiyel riskleri en aza indirir ve basınçlı kapların güvenliği sağlanmış olur (Kahraman, 2017).

2.5.1. Titreşim

Rüzgar, basınçlı kaplarda titreşimin meydana gelmesinde temel neden olarak görülmektedir. Rüzgarın etkisi, basınçlı kapların üzerindeki yüzey alanına ve rüzgar hızına bağlı olarak titreşime neden olabilir. Bu titreşimler, kullanılan malzeme üzerinde yorulmaya yol açabilir ve zaman içinde malzeme yorgunluğuna sebep olabilir (Çetin, 2014). Rüzgarın neden olduğu titreşimler, basınçlı kapların yapısal bütünlüğünü ve performansını önemli ölçüde etkileyebilir. Bu titreşimler, kapların bağlantı noktalarında ve kaynak bölgelerinde özellikle tehlikeli olabilir, çünkü bu bölgeler genellikle malzemenin zayıf noktalarıdır ve yorulma kırılmalarına daha yatkındır. Ayrıca, rüzgar kaynaklı titreşimler, kapların içindeki sıvı veya gazların dinamiklerini de etkileyebilir, bu da basınç dalgalanmalarına ve akışın istikrarsızlaşmasına yol açabilir. Bu nedenle, basınçlı kapların tasarımında ve bakımında rüzgar etkilerini azaltacak önlemlerin alınması hayati önem taşır. Bu önlemler arasında aerodinamik şekillendirme, titreşim sönümleyicilerin kullanımı ve düzenli yapısal sağlık kontrolleri yer alabilir. Böylece, uzun vadede malzeme yorgunluğu ve olası arızaların önüne geçilebilir.

Bu sebeple, basınçlı kapların tasarımında, özellikle rüzgar etkisi altında gerçekleşen büyük doğal titreşim periyodunun sınırlandırılması önemlidir. Titreşimleri kontrol etmek ve yorulmaya sebep olan faktörleri azaltmak, basınçlı kapların güvenliğini artırmak için kritik bir adımdır (Johansson ve Liljas, 2002).

Dolayısıyla, tasarım aşamasında rüzgarın neden olduğu titreşimlerin dikkate alınması ve malzeme seçiminden başlayarak doğru önlemlerin alınması, basınçlı kapların güvenli ve dayanıklı bir şekilde çalışmasını sağlamak adına önemlidir. Bu, basınçlı kapların uzun ömürlü olmasını ve potansiyel risklerin en aza indirilmesini sağlar (Charles, 1997).

2.5.2. Ağırlık

Kabın bağlantı elemanlarına bağlı olarak basınçlı kaba etki eden ağırlık ortaya çıkmaktadır. Basınçlı kap üzerinde bir bağlantı ya da yükleme olmadan uygulanan yükün değeri ölü veya boş yük olarak ifade edilmektedir. Basınçlı kabın sahip olduğu ağırlık, eksek kaçmasının olmadığı ve yük bileşkesinin kap eksenine ile çakıştığı durumlarda çoğunlukla yalnızca basma gerilmesine neden olur ve bu durum genellikle önemsiz kabul edilir (Aran ve Temel, 2004). Ancak, basınçlı kap üzerine ek yüklerin uygulanması veya kabın operasyonel koşullar altında maruz kaldığı dinamik kuvvetler, gerilme durumunu

önemli ölçüde değiştirebilir. Bu ek yükler, basınçlı kabın içindeki basıncın yanı sıra dış etkenlerden kaynaklanabilir, örneğin termal genleşme, mekanik titreşimler veya harici yükler. Bu durumda, basma gerilmesi artık tek başına belirleyici olmayıp, çekme, kesme veya bükülme gerilmeleri de dikkate alınmalıdır.

Bu gerilmelerin kombinasyonu, kabın malzemesinin mekanik özelliklerini zorlayabilir ve malzemenin yorulma ömrünü kısaltabilir. Bu nedenle, basınçlı kapların tasarımı ve analizi sırasında, bu tür yüklemelerin ve gerilmelerin etkili bir şekilde hesaplanması ve yönetilmesi gerekmektedir. Ayrıca, düzenli bakım ve muayene programları, bu tür gerilmelerin zamanla kabın yapısında oluşturabileceği hasarın tespiti ve önlenmesi için kritik önem taşır. Bu yaklaşımlar, basınçlı kapların güvenli ve etkin bir şekilde işletilmesini sağlayarak, potansiyel arızaların ve kazaların önüne geçilmesine yardımcı olur.

Bu durumda, basınçlı kapın kendisine ait ağırlık ve bağlantı elemanlarının ağırlıkları, genellikle basma gerilmesi üzerinde ana etkiyi oluşturur. Ancak, eksen kaçıklığı veya yük bileşkesi kap eksenini ile çakışmıyorsa, farklı yük etkileri ortaya çıkabilir ve tasarım sürecinde bu faktörlerin dikkate alınması önemlidir (Canlı vd., 2019). Bu nedenle, basınçlı kap tasarımlarında ağırlık etkileri ve yük dağılımları titizlikle hesaplanmalı ve bu hesaplamalar, güvenlik standartlarına uygun olarak yapılmalıdır. Bu, basınçlı kapın dayanıklılığı ve güvenliği açısından önemlidir (Sayılğan, 1993).

2.5.3. Rüzgar

Dikey biçimde bulunan basınçlı kaplar için rüzgar önem arz eden bir parametre konumunda bulunmaktadır ve kabın ayaklarının tasarımı esnasında rüzgarın geliş yönüne dikkat edilerek bir tasarım yapılması gerekmektedir. Kabın yüksekliği ile rüzgârın etki derecesi arasında bir bağlantı bulunması itibarıyla rüzgarın çok olduğu bölgelerde basınçlı kapların tasarımsal uzunlukları ona göre seçilmelidir. Rüzgarın etkisiyle artan yanal yükler ve stabilite sorunları, dikey basınçlı kapların tasarımında özel dikkat gerektirir. Bu kapların yüksekliği arttıkça, rüzgar yükünün neden olduğu baskı da artar, bu da yapısal bütünlük ve stabilite açısından riskleri artırır. Bu nedenle, rüzgar yüklerine dayanıklı olacak şekilde kapların taban ve bağlantı elemanlarının güçlendirilmesi önemlidir. Rüzgarın yönü ve hızı gibi faktörler dikkate alınarak, kapların şekli ve konumlandırılması optimize edilmelidir. Aerodinamik tasarım, rüzgar yükünün azaltılmasına yardımcı olabilir. Örneğin, yuvarlak veya aerodinamik yüzeyler, rüzgarın

neden olduğu yanal kuvvetleri azaltmada etkili olabilir. Ayrıca, rüzgarın çok olduğu bölgelerde, kapların altına ek destekler veya ağırlıklar eklenerek devrilme riski azaltılabilir (Gökçe, 2015). Bu tasarım yaklaşımları hem güvenlik hem de operasyonel verimlilik açısından kritik öneme sahiptir. Rüzgar yüklerine karşı dayanıklı tasarım, basınçlı kapların uzun süreli ve güvenli kullanımını sağlar ve olası arızaların veya kazaların önlenmesine katkıda bulunur. Bu, özellikle yoğun rüzgar koşullarına maruz kalan bölgelerde, mühendislik ve tasarım kararlarında önemli bir faktördür.

Bu tasarım önlemleri, rüzgarın neden olduğu kuvvetleri ve momentleri etkin bir şekilde karşılamak ve basınçlı kapın stabilizesini sağlamak için alınır. Ayrıca, rüzgar yükleri göz önüne alındığında, basınçlı kapın dayanıklılığı ve güvenliği artırılır, böylece potansiyel riskler en aza indirilmiş olur. Bu nedenle, özellikle yüksek rüzgar alan bölgelerde kullanılacak basınçlı kapların tasarımında rüzgar etkileri dikkate alınarak uygun önlemler alınmalıdır (Şenyürek vd., 2023).

2.5.4. Sıcaklık

Isı, birebir bir tasarım yükü olmasa da çevresel koşulların basınçlı kaplar üzerindeki etkilerini analiz etmede önemli bir ölçüt olarak öne çıkmaktadır. Özellikle fazla sıcaklıklarda faaliyet gösteren kaplarda, ısı farkı termal gerilmelere yol açabilir. Bu nedenle, ısı farkının bulunduğu alanlarda kullanılacak kaplar için düşük termal genleşmeye sahip malzemeler tercih edilmelidir (Adın, 2016).

Yüksek sıcaklıklarda çalışan basınçlı kaplarda ortaya çıkabilecek ısı genleşme ve gerilmeler, malzeme seçimi, tasarım ve güvenlik önlemleri üzerinde etkili olabilir. Termal genleşmesi düşük olan malzemeler, sıcaklık değişikliklerine daha iyi dayanabilir ve ısı gerilmelerin etkisini azaltabilir (Büyüktuncel, 2012). Termal genleşmesi düşük olan malzemelerin kullanımı, yüksek sıcaklıklara maruz kalan basınçlı kapların uzun ömürlü ve güvenli olmasını sağlayabilir. Bu nedenle, mühendisler genellikle titanyum, paslanmaz çelik gibi malzemeleri tercih ederler, çünkü bu malzemeler hem yüksek sıcaklık toleransına sahip hem de korozyona karşı dayanıklıdır. Ayrıca, bu tür malzemelerin termal genleşme katsayıları düşük olduğu için, sıcaklık dalgalanmaları sırasında oluşabilecek yapısal deformasyonlar en aza indirilir. Tasarım aşamasında, mühendisler malzemenin termal özelliklerini ve mekanik dayanıklılığını dikkate alarak, basınçlı kapların güvenliğini artıracak şekilde boyutlandırma ve şekillendirme yaparlar. Bu hem malzemenin kendine özgü özelliklerinin hem de operasyonel gereksinimlerin bir arada

değerlendirilmesini gerektirir. Örneğin, ısı genleşmeyle ilgili hesaplamalar, kapların duvar kalınlığının ve bağlantı elemanlarının doğru seçilmesinde kritik bir rol oynar.

Güvenlik önlemleri açısından, yüksek sıcaklıklarda çalışan basınçlı kaplar için sıkı denetim ve bakım rutinleri uygulanır. Düzenli kontroller, malzemelerin yorulma ve aşınma durumunu izlemek ve olası arızaları erken aşamada tespit etmek için önemlidir. Bu yaklaşımlar hem işletme güvenliğini hem de sistemlerin verimliliğini artırırken, olası kazaların ve arızaların önlenmesine yardımcı olur.

Bu nedenle, basınçlı kap tasarımlarında malzeme seçimi yapılırken, çalışma sıcaklıkları dikkate alınmalı ve termal genleşme özellikleri göz önünde tutulmalıdır. Bu, basınçlı kapların uzun ömürlü, güvenli ve etkili bir şekilde çalışmasını sağlamak için önemli bir faktördür (İç vd., 2018).

2.5.5. Dinamik ve Statik Yük

Basınçlı kap tasarımlarında, kabın kendi ağırlığının yanı sıra, örneğin taşınması sırasında ortaya çıkabilecek potansiyel statik veya dinamik yüklerin de hesaplanması ve tasarım yüküne eklenmesi önemlidir. Bu, tasarımın gerçek dünya koşullarına uygunluğunu sağlamak ve kabın güvenli bir şekilde kullanılabilirliğini artırmak için kritik bir adımdır. Taşıma sırasında oluşabilecek darbeler, titreşimler ve dış etkenlere karşı direncin değerlendirilmesi, basınçlı kabinin malzeme seçimi, geometrisi ve bağlantı elemanlarının belirlenmesi sürecinde önemli rol oynar. Bu dış yüklerin doğru bir şekilde hesaplanması, tasarımın sağlamlığını, dayanıklılığını ve güvenliğini artırarak endüstri standartlarına uygunluğunu sağlar (Baba, 2013).

Bu nedenle, basınçlı kap tasarımlarında, dış yüklerin analizi için detaylı hesaplamalar yapılması gereklidir. Bu hesaplamalar, kabın maruz kalabileceği maksimum yükleri belirleyerek, tasarımın bu yükleri güvenle taşıyabileceğinden emin olmak için yapılır. Hesaplamalar sırasında, kabın maruz kalacağı çeşitli çevresel koşullar, sıcaklık değişimleri, kimyasal etkiler ve mekanik darbeler dikkate alınır. Ayrıca, basınçlı kapların tasarımında, uluslararası standartlar ve yönetmeliklere uyum, malzeme seçimi, kaynak teknikleri ve muayene prosedürleri gibi konular da büyük önem taşır. Tüm bu faktörler, basınçlı kapların güvenliğini ve uzun ömürlü kullanımını sağlamak için dikkatle ele alınmalıdır. Tasarımcıların, bu karmaşık gereklilikleri karşılamak için güncel mühendislik ilkelerini ve teknolojilerini uygulamaları önemlidir.

2.5.6. Dış ve İç Basınç

İçsel ve dışsal basınç, basınçlı kapların tasarımında temel parametreler arasında yer alır. Kap, sadece iç basınca maruz kalıyorsa tasarım sırasında sadece iç basınç dikkate alınır. Benzer şekilde, yalnızca dış basınca maruz kalan kaplar için tasarım aşamasında yalnızca dış basınç hesaplanır. Bu yaklaşım, basınçlı kapların güvenli ve etkili bir şekilde çalışabilmesi için gerekli dayanıklılık ve dayanma kapasitesini sağlamak adına önemlidir. Tasarım sürecinde, kapın maruz kaldığı iç ve dış basınç değerleri belirlenir ve bu değerler, malzeme seçimi, geometri ve bağlantı elemanları gibi tasarım faktörlerini etkiler. Bu, basınçlı kapların güvenlik standartlarına uygun ve belirlenen iş koşullarına dayanıklı bir şekilde tasarlanmasını sağlar (Kahraman vd., 2002).

İçsel ve dışsal basınçlar dikkate alındığında, tasarım süreci aynı zamanda kapın genel yapısal bütünlüğünü ve esnekliğini de hesaba katmalıdır. Örneğin, yüksek iç basınca maruz kalan kaplar, patlama riskini azaltmak için güçlendirilmiş duvar kalınlıkları ve özel malzemeler gerektirebilir. Dış basınca maruz kalan kaplar ise, çökme veya ezilme risklerine karşı daha sağlam destek yapılarına ihtiyaç duyar. Ayrıca, tasarım sürecinde, basınçlı kapların periyodik muayene ve bakım ihtiyaçları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu, kapların uzun süreli güvenliğini ve performansını korumak için kritik bir unsurdur. Tasarımcılar, bu kapların kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek aşınma, yorulma ve korozyon gibi faktörlere karşı dayanıklılığı artırmak için ileri malzeme bilimleri ve mühendislik tekniklerini uygulamalıdır. Son olarak, basınçlı kapların tasarımı, kullanıcıların ve çevrenin güvenliğini sağlamak amacıyla, ulusal ve uluslararası güvenlik standartları ve yönetmeliklerle uyumlu olmalıdır. Bu, tasarımın sadece teknik olarak uygunluğunun yanında, aynı zamanda da yasal gerekliliklere de uygun olmasını sağlar.

2.6. Basınçlı Kap Kaynağı

Sıvı veya gaz içerdikleri için basınçlı kaplardaki kaynaklı bağlantıların üst düzeyde kaliteli ve sızdırmaz özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu bağlamda, basınçlı kapların kaynak birleştirmelerinde genellikle alın kaynağı tercih edilmeli ve kaynak hatalarına müsaade edilmemelidir. Özel durumlar dışında, kaynak bölgesi, non-invaziv muayene yöntemleriyle test edildikten sonra sızdırmazlık kontrolünden geçirilmelidir (Yürük, 2016).

Bu yaklaşım, basınçlı kapların dayanıklılığı ve güvenliği için kritik bir adımdır. Yüksek kalitede ve sızdırmaz kaynaklar, basınçlı kapların işlevselliğini ve performansını artırır, aynı zamanda çevresel ve güvenlik standartlarına uyum sağlar. Kaynaklı bağlantıların doğru bir şekilde yapılmış ve test edilmiş olması, potansiyel sızıntıları önler ve işletme sırasında olası riskleri en aza indirir (Özkiraz vd., 2016).

2.6.1. Kaynak Kabiliyeti

Kaynak malzemenin ne denli güvenilir ve kullanım olarak ne kadar başarılı olduğunun ölçümü kaynak kabiliyeti kavramı ile ifade edilmektedir. Alaşım ya da metalin fazla kaynak kabiliyetine sahip olması, özel önlemlere gerek duymadan birçok çalışma koşulu içerisinde kullanıcı için gerekli kaynak kalitesini kolaylıkla sağlayabilmesine olanak sağlamaktadır (Karacif vd., 2019).

Karbon çelikler, çoğunlukla basınçlı kap imalatı içerisinde kullanım alanı bulmaktadır. Çeliklerin sahip oldukları kaynak kabiliyetleri içerisinde barındırdığı karbon miktarı ile ölçülmektedir. İçerisinde bulunan karbon miktarı yükseldikçe çeliğin kaynak kabiliyetinde azalma meydana gelmektedir. Orta ve az derecede karbon barındıran çeliklerde ortalama %0,25-0,55 oranında bir karbon bulunmaktadır ve bu bağlamda bu çeliklerin kaynak kabiliyetleri yüksek düzeydedir. Orta ve az karbonlu çelikler yapıları itibarıyla kolay kaynaklanabilir bir yapıda bulunmaktadırlar. Yüksek karbonlu çeliklerde ise karbon oranı %0,55'lerin üzerinde olduğundan dolayı kaynak yapılmadan önce bazı özel önlemlerin alınması zorunlu bir gerekliliktir. Bununla birlikte kükürt, silisyum, fosfor ve mangan gibi belirli elementlerde kaynak kabiliyetini etkilemektedir (Baday vd., 2017).

2.6.2. Kaynak Metotları

Ergitmeli kaynak yöntemleri, basınçlı kapların kaynağında sıklıkla kullanılan metotların başında gelmektedir. Kullanılan diğer kaynak metotları şu şekildedir (Mert, 2013; Dal vd., 2017; Enver vd., 2001; Akay vd., 2013; Durgutlu vd., 2005);

- **Örtülü Elektrot Kaynağı:** Bu yöntemde, elektrot ile kaynak yapılan malzeme arasında bir ark oluşturularak kaynak gerçekleştirilir. Elektrotun kaplaması, kaynak sırasında erir ve kaynak banyosunu korur.

- MIG-MAG Kaynağı: Metal İnerit Gaz (MIG) veya Metal Aktif Gaz (MAG) olarak da bilinen bu yöntemde, eriyen tel elektrot kullanılır. Kaynak banyosunu korumak için inerte (MIG) veya aktif (MAG) bir gaz kullanılır.
- TIG Kaynağı: Tungsten İnerit Gaz (TIG) kaynağında, tungsten elektrot kullanılır ve kaynak sırasında inerte bir gaz (genellikle argon) kullanılarak kaynak banyosu korunur.
- Tozaltı Ark Kaynağı: Bu yöntemde, kaynak banyosunu korumak için kaynak sırasında kullanılan özel bir toz tabakası vardır. Tozaltı ark kaynağı genellikle otomatik kaynak uygulamalarında kullanılır.

Bu ergitmeli kaynak yöntemleri, basınçlı kapların imalatında kullanılan malzemelerin birbirine sağlam ve sızdırmaz bir şekilde kaynatılmasını sağlamak için tercih edilir.

2.7. Basınçlı Kapların Muayenesi ve Periyodik Kontrolü

Basınçlı kapların periyodik kontrolü taşıdıkları risk düzeyinin yüksek olması nedeniyle iş yerleri için oldukça önemlidir. İş yerlerinde sektörel gerekliliğe göre kullanılan her tip basınçlı alet ve ekipmanlarının performansını izlemek için yapılan faaliyetlere basınçlı ekipman kontrolü adı verilmektedir. Yapılan bu çalışmalar sayesinde basınçlı ekipmanların mevcut durumu hakkında bilgi sahibi olunur. Bu bilgiler de iş yerinde gerekli önlemlerin alınmasını ve risklerin asgari düzeyde tutulmasını sağlar. Ayrıca kontroller sonucu ortaya çıkacak raporla yasal gerekliliklerin de yerine getirildiği kanıtlanacaktır. (Sözen vd., 2021).

Yasal olarak belirlenmiş uluslararası ve ulusal standartlar temelinde yapılan bu çalışmalarda imalatçı verileri de kullanılır. Kullanılan ekipmanlar eğer imalatçının belirttiği standardı sağlamıyorsa alınabilecek önlemler işverenlerle paylaşılmalı ve gerekli önlemlerin alınması sağlanmalıdır. Türkiye’de buhar kazanları, LPG kazanları ve ayrıca kızgın su kazanları kontrolü en sık yapılan ekipmanlardır. Diğer türler ise; (Çakır vd., 2022);

- Depolama Tankları,
- Eşanjörler,
- Proses Kapları.

Basınçlı ekipmanlar yüksek basınç nedeniyle oldukça tehlikeli olabilmektedir. Bu yüzden olası tehlikelerin önlenmesi ve kontrol altında tutulabilmesi için periyodik kontrolünün yapılması oldukça önemlidir. Basınçlı kapların kontrolü; aksi belirtilmediği sürece bir yılı aşmayan sürelerle yapılır. Basınçlı kaplar sürekli olarak takip edilmeli ve fark edilen sorunlu bir durum ile hemen ilgilenilerek durumun daha ciddi bir hal almasının önüne geçilmelidir. Ayrıca, konuya ilişkin iş yeri hiyerarşisine göre bildirimler gerçekleştirilmelidir. Planlı ve koruma amaçlı yapılan kontroller, olası risk yaratacak durumların zamanında tespit edilmesini sağlar (Ayanoglu ve Kurt, 2019).

Söz konusu kontroller, “İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği” gerekliliklerine göre tamamlanmaktadır. TÜRKAK tarafından yetkilendirilen kurum ya da bağlı uzman mühendisler tarafından bu kontroller gerçekleştirilir. Basınçlı kapların periyodik kontrolü mekatronik mühendisleri, makine teknikerleri, yüksek teknikerler, makine mühendisleri ve metal eğitimi bölümü mezunu teknik öğretmenler tarafından gerçekleştirilir. (Karabay, 2002)

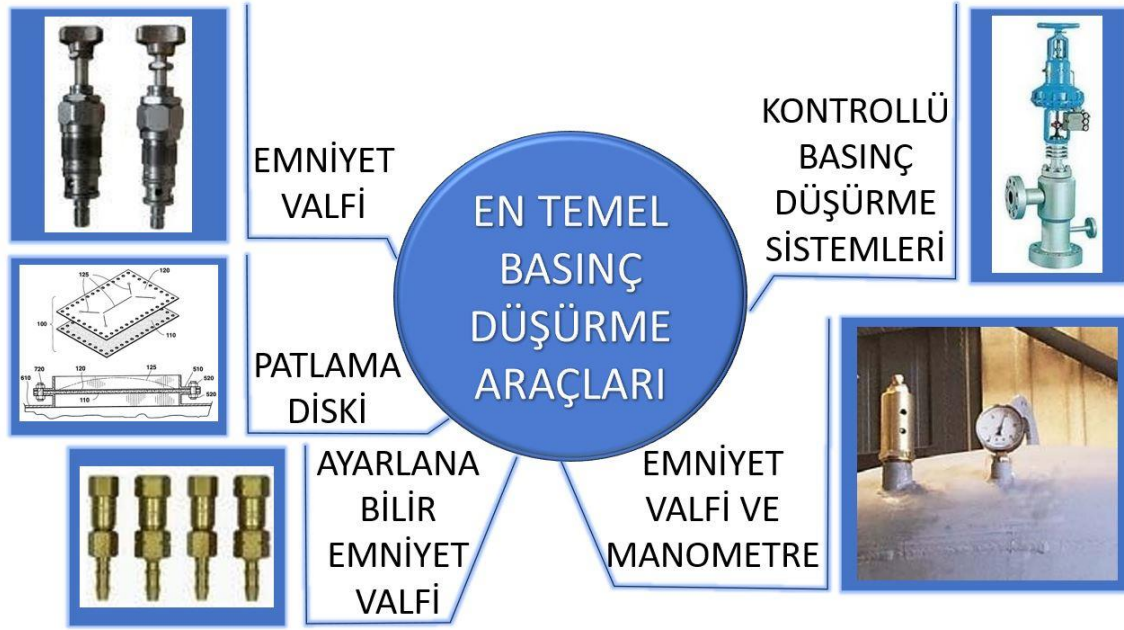
2.8. Basınçlı Kaplarda Güvenlik

2.8.1. Emniyet ve Basınç Düşürme Cihazları

Belirli bir basınç sınırının bulunduğu kaplarda bu sınırın aşılması sonrasında aktif olan ve basıncın ya tamamını ya da belirlenen sınıra kadar olan kısmını tahliye eden cihazlar şu şekilde sıralanabilmektedir. (Kamer ve Kaya, 2020; Kalkan vd., 2017);

- **Emniyet Valfleri:** Bu valfler, belirli bir basınç seviyesine ulaşıldığında otomatik olarak açılarak sisteme aşırı basınçtan koruma sağlar. Aşırı basınç durumunda fazla basıncı dışarıya atarak sistemin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar.
- **Patlama Diski:** Patlama diski, belirli bir basınç seviyesine ulaşıldığında patlayarak basıncı kontrol altına alır. Bu, ani basınç artışlarına karşı bir güvenlik önlemidir.
- **Bel Verme Çubukları:** Bu cihazlar, belirli bir basınç seviyesine ulaşıldığında veya aşıldığında devreye girerek basıncı düşürür. Belirli bir sınırın üzerine çıkıldığında çubuklar bükülerek sistemi emniyet altına alır.
- **Kontrollü Basınç Düşürme Sistemleri:** Bu sistemler, basınç seviyesini kontrol altında tutarak aşırı basıncı önler. Genellikle regülatörler veya kontrol valfleri kullanılarak basınç seviyesini belirli bir değerde tutarlar.

Bu cihazlar, basınçlı sistemlerde aşırı basınç durumunda olası riskleri azaltmak ve sistemin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için kullanılır.



Şekil 2.1. En temel basınç düşürme araçları

Kaynak: Kamer ve Kaya, 2020.

2.8.2. Otomatik Sistemler

Belirlenen sınırların aşılması durumunda devreye giren, hata düzeltme olanaklarını başlatan, tesisin kısmen veya tamamen kapanmasına neden olan veya duran aşağıdaki sistemler bulunmaktadır (Kahraman, 2017):

- **Basınç ve Sıcaklık Şalterleri:** Belirli bir basınç veya sıcaklık seviyesine ulaşıldığında devreye giren bu şalterler, sistemi koruma altına almak için tasarlanmıştır. Limit aşıldığında, şalterler genellikle ilgili hata düzeltme prosedürlerini başlatarak sistemi kontrol altına alır.
- **Akışkan Seviye Ölçme Cihazları:** Sıvı seviyelerini izlemek ve kontrol etmek için kullanılan bu cihazlar, belirlenen seviyelerin üzerine veya altına düştüğünde sistemde önlemler alır. Bu önlemler arasında tesisi kapatma veya düzenleme işlemleri bulunabilir.
- **Koruma Amaçlı Kullanılan Tüm Düzenleme, Ölçme ve Kontrol Araçları:** Bu kapsamlı bir kategori olup, basınç, sıcaklık, akış hızı, seviye gibi bir dizi ölçme ve

kontrol cihazını içerir. Bu cihazlar, emniyetle ilgili kritik parametrelerdeki anormal durumları algılar ve uygun önlemleri devreye alır.

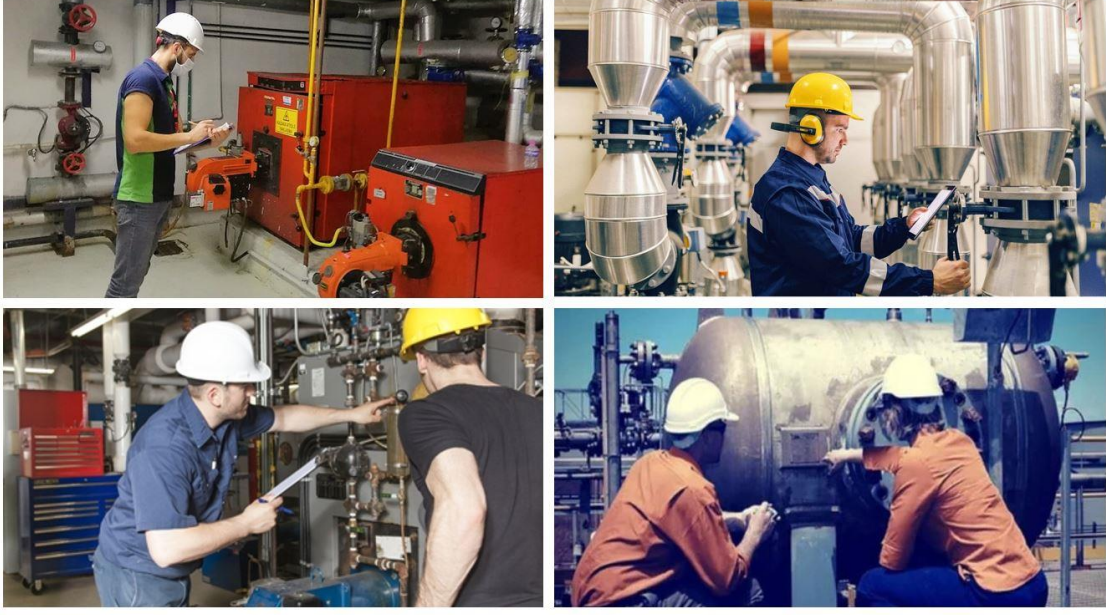
Bu sistemler, endüstriyel tesislerde güvenliği sağlamak ve olası hatalara karşı koruma sağlamak amacıyla kullanılır.

2.8.3. Basınçlı Kaplarda Test Teknikleri

Belirli testlerin gerçekleştirilmesi hem işletmenin özellikle mali anlamda kayıp yaşamasının önüne geçmede hem de iş güvenliğinin sağlanmasında gerekli ön koşul olarak görülmektedir. Her türlü sızıntı, potansiyel bir kayıp anlamına gelir. Bu sızıntılar, su ve akışkan borularında ürün kaybına neden olabilirken, ısıtma düzeneklerinde, buhar borularında ve sıkı halde bulunan hava sistemleri içerisinde basınç ve ısı kaybına bağlı olarak enerji maliyetini yükseltmektedir (Usta, 2019)

Özellikle endüstriyel sistemlerde düzenli testler ve bakımlar, tesisin güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu testler, potansiyel kaçakları erken tespit etmeye ve gerekli önlemleri alarak kayıpları minimize etmeye yardımcı olur. Ayrıca, enerji maliyetlerini düşürmek ve sistem verimliliğini artırmak için düzenli bakım ve testler kritiktir (Yalçın, 2023).

Bu nedenle, işletmeler genellikle periyodik olarak tesislerinde test ve bakım programları uygularlar. Bu programlar, sızıntıların, kaçakların ve diğer olası sorunların tespit edilmesine ve çözülmesine yardımcı olarak iş güvenliğini artırırken, enerji ve ürün kayıplarını önler. Basınçlı kaplarda kullanılan test biçimleri zorlayıcı testler ve zorlayıcı olmayan testler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu testler kendi içerisinde zorlayıcı testler hidrolik ve pnömatik testler olmak üzere kendi içerisinde ikiye ayrılırken zorlayıcı olmayan testler kendi içerisinde ultrasonik test, manyetik partiküler testi, gözle muayene testi, radyografi testi ve sıvı penetrant testi olmak üzere beşe ayrılmaktadır (Beköz, 2008).



Resim 2.3. Basınçlı Kaplarda Test Teknikleri

2.8.4. Basınçlı Kaplardan Kaynaklanan İş Sağlığı ve Güvenliği Riskleri

Basınçlı kapların kullanımında güvenli bir kullanım ortamı yaratabilmek için emniyet ekipmanlarının kullanılması iş sağlığı ve güvenlik açısından işletmeler için oldukça önemli bir durum olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda kullanılacak basınçlı kapların belirli aralıklarla kontrol ve test edilmesi güvenlik açısından önemlidir. Kontroller çoğunlukla şu şekilde yapılmaktadır (Cervatoğlu, 2003);

- **Korozyon Kontrolü:** Kapların malzeme yapısında oluşan korozyonun tespiti ve önlenmesi için kontrol edilir. Korozyon kontrol sürecinde, kapların düzenli olarak görsel ve teknik incelemelerden geçirilmesi önemlidir. Bu incelemeler sırasında, metal yüzeylerde paslanma, çatlak veya diğer anormalliklerin varlığına dikkat edilir. Ayrıca, kapların iç ve dış yüzeylerindeki korozyon direncini artırmak için çeşitli kaplama ve boya teknikleri uygulanabilir. Bu yöntemler, malzemenin ömrünü uzatmak ve performansını korumak için kritik öneme sahiptir. Korozyonun erken tespiti ve önlenmesi, kapların daha uzun ömürlü ve güvenli kullanımını sağlar. Bu nedenle, düzenli bakım ve koruyucu tedbirler, korozyon kontrol stratejisinin temel bileşenleridir.
- **Sızdırmazlık Kontrolü:** Kapların sızdırmazlık özelliklerinin test edilmesi, potansiyel sızıntıların önceden belirlenmesine yardımcı olur. Bu süreç, çeşitli test yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilir. Örneğin, basınç testleri, kapların belirli bir basınca kadar

sızıntı yapmadıklarını doğrulamak için kullanılır. Ayrıca, boyar madde testleri gibi görsel yöntemler de sızıntı noktalarını tespit etmede etkili olabilir. Sızdırmazlık testleri, ürün güvenliğini ve kalitesini artırmada önemli bir rol oynar. Özellikle gıda, ilaç ve tehlikeli maddelerin taşınması gibi hassas sektörlerde bu testler hayati öneme sahiptir. Sızdırmazlık kontrolü hem üretim sürecinde hem de sonrasında periyodik olarak yapılmalıdır, böylece ürünlerin güvenli ve standartlara uygun şekilde kullanıcıya ulaştığından emin olunur.

- **Kalınlık Kontrolü:** Kapların duvar kalınlığının belirlenmesi, malzemenin dayanıklılığını ve güvenliğini değerlendirmek için önemlidir. Kalınlık ölçümü, endüstriyel üretimde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir ve özellikle boru hatları, tanklar ve basınç kapları gibi kritik ekipmanların güvenlik standartlarına uygunluğunu sağlamak için hayati önem taşır. Bu süreç, ultrasonik test cihazları, mikrometreler veya diğer ölçüm araçları kullanılarak yapılabilir ve malzemenin aşınma oranını, korozyon seviyesini ve yapısal bütünlüğünü anlamak için kritik bilgiler sağlar. Ayrıca, kalınlık kontrolü, malzemenin belirli bir uygulama için uygun olup olmadığını belirlemeye ve ürün ömrünü tahmin etmeye yardımcı olur, bu da maliyet etkinliği ve operasyonel verimliliği artırmak için önemlidir.
- **Aşınma, Çatlak, Çizik ve Deformasyon Kontrolü:** Kapların dış yüzeylerinde oluşan aşınma, çatlak, çizik veya deformasyonların tespit edilmesi ve önlem alınmasını sağlar. Bu kontrol süreci, düzenli bakım ve muayene rutinlerinin bir parçası olarak uygulanmalıdır ve özellikle yüksek basınç veya aşındırıcı maddelerle çalışan endüstriyel ekipmanlar için kritik öneme sahiptir. Aşınma ve çatlakların erken tespiti, potansiyel güvenlik risklerini azaltmaya ve ekipman arızalarını önlemeye yardımcı olur, bu da işletme sürekliliği ve çalışan güvenliği için hayati önem taşır. Gelişmiş görüntüleme teknolojileri ve yüzey analizi yöntemleri, bu tür hasarların daha hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesini sağlayarak, zamanında onarım veya değiştirme işlemlerinin gerçekleştirilmesine olanak tanır. Ayrıca, bu tür hasarların analizi, malzeme seçimi veya üretim süreçlerinde iyileştirmeler yapılmasına yardımcı olabilir, bu da uzun vadede ürün kalitesini ve güvenilirliğini artırır.
- **Bağlantı Kontrolü:** Kapların bağlantı noktalarının sağlamlığı ve doğruluğu kontrol edilir. Bu aşamada, kapların bağlantı noktalarının sızdırmazlık özellikleri de detaylı bir şekilde incelenir. Herhangi bir hava veya sıvı kaçağı riskini önlemek için, bağlantı elemanlarının sıklık derecesi özenle ayarlanır. Son olarak, bağlantıların uzun süreli

kullanıma dayanıklı olup olmadığı, çevresel faktörler ve mekanik gerilimler göz önünde bulundurularak test edilir.

- **Sıcaklık ve Basınç Kontrolü:** Kapların tasarım parametrelerine uygun bir şekilde sıcaklık ve basınç altında nasıl tepki verdiğinin kontrol edilmesi. Kapların içindeki sıcaklık değişimlerini yönetmek için etkili ısıtma ve soğutma sistemlerinin entegrasyonunun önemi. Bu sistemler, sıcaklık dalgalanmalarını minimize etmek ve kapların içeriğinin istenilen sıcaklıkta kalmasını sağlamak için hassas kontrol mekanizmalarına sahip olmalıdır. Yüksek basınç veya sıcaklık durumlarında kapların güvenli bir şekilde işlemesi için gerekli güvenlik mekanizmalarının tasarımı. Bu mekanizmalar, aşırı basınç veya sıcaklıkta otomatik olarak devreye girerek kapların ve çevresindeki alanın güvenliğini sağlamalıdır. Sıcaklık ve basınç altında kapların dayanıklılığını etkileyen malzeme seçiminin önemi. Kullanılan malzemelerin, sıcaklık ve basınç değişimlerine karşı mukavemetli olması ve uzun süreli kullanımda performansını koruyabilmesi gerekmektedir.
- **Fonksiyon ve Cihazların Kalibrasyonu:** Emniyet ekipmanlarının doğru bir şekilde çalışıp çalışmadığının ve cihazların kalibrasyon durumunun kontrol edilmesi yapılan testlerin sağlıklı olması için en önemli husustur.

Bu kontrollerin düzenli olarak yapılması, potansiyel tehlikelerin önceden tespit edilmesini sağlar ve işçi sağlığı ile iş güvenliğini korur. Ayrıca, basınçlı kapların kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek infilak, parçalanma, boğulma, yangın, kimyasal ve termal yanıklar gibi tehlikelerin önlenmesine katkı sağlar (Gülşahin vd., 2020).

2.8.5. Basınçlı Kaplar İçin Temel Emniyet Kuralları

Basınçlı kaplarda emniyetin sağlanabilmesi için kullanılan malzemelerin dikkatli seçilmesi ve basınca dayanıklı malzemeler olması ön koşul olarak öne çıkmaktadır. Malzemelerin basınca dayanıklı, kırılğan yapıda olmayan, kaynak yapılabilen, kopma durumunun olmayacağı, şekil verilecek süneklik ve tokluğa sahip ve yıllar geçtikçe gücünü kaybetmeyecek malzemeler tercih edilmelidir. (Stewart ve Lewis, 2012).

İmalatçı, bir kap tasarlarırken aşağıdaki kriterleri dikkate almalıdır; (Bradley vd., 2021);

- **Çalışma Basıncı (PS):** Kaptaki azami çalışma basıncı belirlenmelidir.

- İç Basınç: Basıncın hiçbir şekilde tavan çalışma basıncını geçmemesi gerekmektedir. Yine de belirli durumlarda çalışma basıncı çok kısa süreler olmak şartıyla %10 oranında geçilebilmektedir.
- Çalışma Sıcaklığı (Tmin ve Tmax): Kaptaki asgari ve azami çalışma sıcaklıkları belirlenmelidir. -10°C'nin altındaki asgari çalışma sıcaklığı seçildiğinde, malzemenin -10°C'de istenen özellikleri sağlaması önemlidir.
- Korozyona Karşı Koruma: Kullanım amacına bağlı olarak kapların korozyona karşı korunması gerekmektedir.
- Mekanik Özellikler: Kap, işlev amacına uygun olarak, kullanıldığı süre boyunca mekanik özelliklerini muhafaza etmelidir.
- Muayene ve Boşaltma Kolaylığı: Kap iç kısmının muayenesi ve boşaltılması mümkün olmalıdır.

Bu kriterler, kapların güvenli ve etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak için önemlidir. İmalatçı, tasarım sürecinde bu faktörleri detaylı bir şekilde değerlendirmeli ve belirtilen standartlara uygunluğunu sağlamalıdır.

Üretim süreci aşağıdaki adımları içermektedir; (Aydın ve Karamolla, 2019);

- Ayrıntılı Parçaların Hazırlanması: Hazırlık aşamasında kapların emniyetini tehlikeye atabilecek yüzey bozulmaları, çatlaklar veya mekanik özelliklerde değişikliklere sebep olmamalıdır.
- Basınç Altındaki Parçalarda Yapılan Kaynak İşlemleri: Basınca maruz kalan parçalardaki kaynak bölgeleri ve çevresindeki alanlar, kaynak edilen malzemenin gereksinimlerine uygun olmalıdır. Kaynaklar, onaylı kaynak işlemlerine uygun bir şekilde operatör ya da kaynakçılar tarafından gerçekleştirilmelidir. Muayene kuruluşu tarafından kalite ve onay testleri yapılmalıdır. Üretici, üretim sürecinde uygun prosedürleri kullanarak gerekli testleri gerçekleştirerek kaynak kalitesini temin etmelidir. Kaynak edilen malzemenin uyumluluğunu sağlamalı ve bu testleri belgelemelidir.

Bu adımlar, imalat sürecinin emniyet standartlarına uygun bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak amacıyla önemlidir. Detaylı test ve belgelendirme süreçleri, üreticiye malzeme kalitesi ve dayanıklılığı konusunda güvence sağlar ve üretilen kapların güvenli bir şekilde kullanılabilirliğini artırır.



Resim 2.4. Basınçlı Kaplar İçin Temel Emniyet Kuralları

CE İşaretinin kökeni, “Avrupa Normlarına Uygunluk” anlamına gelen “Conformité Européenne” kavramıdır. İşaret, Avrupa Birliği tarafından 1985 senesinde kabul edilen “Yeni Yaklaşım Politikası” bağlamında hazırlanmış “Yeni Yaklaşım Direktifleri” yaklaşımına uygunluğunu tanımlamak için kullanılmaktadır. Ürünlerin direktifler içerisinde belirtilen uygunluk derecesine ne denli uygun olduğunun değerlendirilmesi faaliyeti bu işaret bağlamında ifade edilmektedir. CE İşareti; *“bir ürünün amacına uygun kullanılması durumunda insan can ve mal güvenliği, bitki ve hayvan varlığı ile çevreye zarar vermeyeceğini”* ifade etmektedir (Kılıç, 2008).

CE İşareti ile bir ürün piyasaya ve insanlara güvenli bir ürün olduğunu gösterebilmektedir. Bu güvence yalnızca ürünün içeriği ile ilgili olduğu için CE işareti kalite anlamında bir güvence vermemektedir. İşaret ile verilen güvence ürünün “asgari güvenlik koşullarına uygunluğu” bağlamında bir güvencedir. Ayrıca işaret sahibi ürünler tüm AB ülkelerindeki pazarlara girebilmektedir. “CE Uygunluk İşareti” nitelik bakımından şu şekilde sıralanmaktadır (Akpınar, 2016);

- “CE harflerini içermelidir.
- İşaretin küçültülmesi veya büyütülmesi durumunda belirli oranlar korunmalıdır.
- İşaretin çeşitli bileşenleri, 5 mm'den az olmamak şartıyla aynı düşey boyutlara sahip olmalıdır.

Ayrıca, kap veya tanıtım plakasında şu bilgiler bulunmalıdır (Akpınar, 2016);

- Azami çalışma basıncı (PS) bar cinsinden,
- Azami çalışma sıcaklığı (Tmax) °C cinsinden,
- Asgari çalışma sıcaklığı (Tmin) °C cinsinden,
- Kabin kapasitesi (V) litre cinsinden,

- Üreticinin ismi veya markası,
- Kabın tipi ve serisi veya partinin numarası,
- CE uygunluk işaretinin vurulduğu yılın son iki rakamı”.

2.9. Basınçlı Kaplardaki Risklere Karşı Alınacak Tedbirler

Basınçlı kapların olası tehlikelerini bertaraf etmek ve potansiyel riskleri minimize etmek amacıyla çeşitli iş güvenliği önlemleri alınabilir. Bu bağlamda, basınçlı kapların tasarımından itibaren çeşitli güvenlik tedbirleri uygulanabilir. Bu tedbirleri önleyici ve sınırlayıcı olmak üzere iki ana kategoriye ayırmak mümkündür. Bu kategoriler aşağıda yer alan alt başlıklar içerisinde açıklanmaktadır.



Resim 2.5. Basınçlı Kaplarda Alınan Tedbirler

2.9.1. Sınırlayıcı Tedbirler

Basınçlı kaplar, olası bir patlama durumunda işçilere ve çevreye zarar vermemek amacıyla işletme dışında veya çalışanların bulunmadığı bir bölgeye yerleştirilmelidir. Eğer basınçlı kaplar işletme içine konumlandırılması gerekiyorsa, aşağıda belirtilen önlemler alınmalıdır (Yılmaz, 2018):

- Algılama sistemleri kullanılarak potansiyel tehlikeler önceden tespit edilmelidir.
- Basınçlı kapların bulunduğu alanın üst katı boş olmalıdır, böylece olası bir patlama durumunda yukarı yönlü etkiler en aza indirilir.
- Gerekli otomatik yangın söndürme sistemleri bulunmalıdır.

- En az bir duvar daha düşük dirençli olmalı ve arkası boş olmalıdır. Bu sayede, patlama sırasında ortaya çıkabilecek enerji, daha zayıf olan duvarı aşarak boş alana yönlendirilir, böylece çevresel etkiler en aza indirilmiş olur.

Bu önlemler, basınçlı kaplarla ilişkilendirilebilecek potansiyel tehlikeleri en aza indirerek çalışanların ve çevrenin güvenliğini sağlama amacını taşımaktadır.

2.9.2. Önleyici Tedbirler

Basınçlı kaplar, yalnızca bu alanda eğitim almış ve yetkili kişiler tarafından kullanılmalıdır. Bu ekipmanların güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için temel iş güvenliği prensiplerine ve kullanım talimatlarına titizlikle uyulmalıdır. Bu yaklaşım, kazaların önlenmesine önemli ölçüde katkı sağlar. Basınçlı kapların kullanım talimatları, güvenlik kuralları ve uyarı levhaları, bu ekipmanların bulunduğu alanın girişinde ve kolayca görülebilen noktalarda yer almalıdır. Ayrıca, basınçlı kaplarla ilgili olarak şu tedbirlerin alınması önemlidir (Kaybek ve Çevik, 2022);

- Basınçlı kaplar, temiz hava sağlanan bölgelere yerleştirilmelidir; hava filtresi düzenli aralıklarla kontrol edilmeli ve temizlenmelidir. Kapların etrafındaki alan her zaman temiz ve düzenli tutulmalıdır. Bu hem güvenlik açısından önemlidir hem de kapların verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. Basınçlı kapların bakım ve kontrolü için periyodik testler yapılmalıdır; bu, olası arızaların erken tespiti ve güvenli bir çalışma ortamının sürdürülmesi için kritik öneme sahiptir. Kapların kullanımı sırasında güvenlik prosedürlerine sıkı sıkıya uyulmalı ve tüm çalışanlar bu prosedürler konusunda düzenli olarak eğitim almalıdır; bu, kazaları önlemek ve operasyonel verimliliği artırmak için esastır.
- Basınçlı kaplar, titreşimlere karşı korunmalıdır. Basınçlı kaplar, özellikle sanayi tesislerinde kullanıldıklarında, mekanik titreşimlerden etkilenebilirler. Bu nedenle, bu tür kapların montajında özel titreşim emici materyaller kullanılması önemlidir. Ayrıca, düzenli bakım ve kontroller, bu kapların güvenliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Titreşimlerden kaynaklanabilecek herhangi bir hasarın erken tespiti, potansiyel kazaların önlenmesinde yardımcı olabilir. Basınçlı kapların tasarımında, titreşimlere karşı dayanıklılık da göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek mukavemetli malzemeler ve ileri mühendislik teknikleri, bu tür kapların daha güvenli hale getirilmesinde önemli rol oynar.

- Basınçlı kaplarda basınç ayarı ve sistemdeki basınç seviyelerini izleyen mekanizmalar bulunmalıdır, bu da patlama riskini azaltır. Bu mekanizmaların düzenli olarak bakımının yapılması ve potansiyel arızaların erken tespit edilmesi, sistemin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar.
- Elektrik tesisatı exproof özellikte olmalı ve ortamda yanıcı, patlayıcı malzemeler bulunmamalıdır.
- Emniyet supapları, basınç, sıcaklık ve su göstergeleri gibi parçalar eksiksiz olmalı ve bilgiler etiketlerde belirtilmelidir.
- Çekvalflar gibi mekanik kontrol elemanları, gaz veya sıvı akışını önlemek için kullanılmalıdır.
- Basınçlı kaplar, belirli periyotlarda ilgili standartlara uygun olarak muayene edilmeli ve eksiklikler giderilmelidir.
- Tüm basınçlı kaplarda gövde topraklaması yapılmalı veya elektrik hattında kaçak akım rölesi bulunmalıdır.

3. BOW-TİE MODELİNİN TANITIMI

Sanayi tesislerinde kazaların tamamen önlenmesi her zaman mümkün olmasa da olası zararları minimuma indirmek için önlemler alınabilir. İşletmenin faaliyet alanının deprem gibi doğal afetlere karşı dayanıklı olması, hayati sistemlerin yedekli yapıda olması, birbirini tamamlayan çeşitli iletişim araç ve sistemlerinin mevcudiyeti, acil durumlar öncesinde ve sonrasında kapsamlı yönetimsel ve teknik planlamalar yapılması, büyük endüstriyel felaketleri önleyebilir ve olası bir yıkım sonrasında tesisi tekrar normal işleyişine dönüştürmeyi hızlandırabilir.

Bow-Tie (Papyon) Yöntemi, bir işletme veya sistemin karşılaşılabileceği kaza nedenlerini (tehditleri), bu nedenlerin kritik olaylara (kazalara) yol açma ihtimalini ve bu ihtimallerle sonuçlar arasındaki ilişkiyi rahatlıkla belirleyebilmek için tasarlanmış bir risk değerlendirme yöntemidir. Bow-Tie Yöntemi, hem önleyici kontrolleri (bariyerleri) hem de kazalar sonrasında alınabilecek acil durum önlemlerini görsel bir biçimde ortaya koyar. Bu yöntem, risk yönetimindeki önemli unsurları ve potansiyel zayıf noktaları açıkça tanımlamaya yardımcı olur, böylece yöneticiler ve çalışanlar için kolay anlaşılır bir referans sağlar. Ayrıca, bu yöntem, bir işletmenin veya sistemin güvenliğini ve operasyonel verimliliğini artırmak için stratejik iyileştirmeler yapılmasına olanak tanır, çünkü tüm risk senaryoları ve müdahale stratejileri detaylı bir şekilde incelenir (Özkılıç, 2007).

Bow-Tie risk analizi yöntemi, riskleri görsel bir biçimde sunan ve anlaması kolay bir diyagram içinde ele alır. Bu diyagram papyon şeklinde olup, proaktif ve reaktif risk yönetimi arasındaki net bir ayrımı sağlayarak farkındalık yaratır. Bow-Tie diyagramının etkinliği, birden fazla ve anlaşılması kolay senaryoyu tek bir görselde sunabilmesinden kaynaklanır. Bow-Tie diyagramı, merkezde bir tehlike unsurunu gösterir ve bu tehlikeye yol açabilecek nedenleri (sol kanatta) ve bu tehlikenin potansiyel sonuçlarını (sağ kanatta) görselleştirir. Bu yöntem, riskleri azaltmak için alınabilecek önlemleri ve bu önlemlerin başarısız olması durumunda devreye girecek acil durum planlarını da içerir. Diyagramın

bu yapısal özelliği, organizasyonların riskleri daha etkin bir şekilde yönetmelerine ve karar verme süreçlerini iyileştirmelerine olanak tanır (Andaç, 2002).

İlk gerçek Bow-Tie diyagramının, 1979 yılında Avustralya'nın Queensland Üniversitesi'nde verilen bir tehlike analizi dersinde ortaya çıktığı belirtiliyor (Lewis ve Smith, 2010). 1988'de Piper Alpha Platformu'ndaki trajik kazanın ardından petrol ve gaz endüstrisi ciddi bir uyanış yaşamıştır. Lord Cullen'ın raporunda, faaliyetlerin bir parçası olan tehlikeler ve bunlara bağlı riskler hakkında yeterli bilgi bulunmadığını belirtmesi sonrasında, bağımsız gibi görünen olay ve durumların daha detaylı incelenmesi ve bu tehlikeleri kontrol altında tutacak sistematik bir yöntemin geliştirilmesi gerektiği konusunda önemli bir tartışma başlamıştır (Wolters Kluwer, 2023).

1990'ların başında, Shell Grubu risk analizi ve yönetimi için Bow-Tie Metodunu bünyesine dahil etti. Shell, bu metodun uygulanmasına dair geniş çaplı araştırmalar yapmış ve kendi en iyi uygulamalarına dayanan, tanımlamaları içeren sıkı bir kurallar seti oluşturmuştur. Shell'in bu alandaki ana itici gücü, global faaliyetlerinde karşılaşacağı risklerin sürekli ve etkin bir şekilde yönetilmesinin sağlanması gerekliliğinden kaynaklanmaktadır (Primrose vd., 1996). Shell'in ardından, Bow-Tie Metodu diyagramları, risk yönetimi uygulamalarını görsel olarak daha etkili bir biçimde sunması nedeniyle endüstride yaygın olarak benimsenmeye başlanmıştır.

Bow-Tie Yöntemi, Bariyer Analizi ile benzerlik gösterse de uygulama açısından bazı farklılıklara sahiptir. Bu metod, 1990 yılında Bishop tarafından da ele alınmıştır, ancak grafiksel tasarımı ve sistemsel olarak ilk kez 1999 yılında Edwards ve Zuijderduijn tarafından geliştirilmiştir. Edwards ve Zuijderduijn, özellikle Hata Ağacı Analizi ve Olay Ağacı Analizi'nden yola çıkarak, Bow-Tie Yönteminin gelişiminde, bu yöntemlerden ayrı olarak hem reaktif hem de proaktif bariyerlerin tanımlanması ve etkinliklerinin değerlendirilmesine odaklanmışlardır. Günümüzde, bu metodun grafiksel tasarımı, oluşturulması ve bariyerlerin seçimi için bilgisayar tabanlı profesyonel araçlar geliştirilmeye devam etmektedir. (Özkılıç, 2007).

1999'da Trbojevic ve Carr, Bow Tie analiz diyagramlarının oluşturulmasını, işaretlenmesini, tasarımını ve grafiksel sunumunu, ayrıca metodolojinin ve optimizasyonunun iyileştirilmesi için uzman sistemler geliştirdi. Bu amaçla, sembolik ve nümerik hesaplamalar için iki ayrı uzman sistem kullanılmıştır. Sembolik hesaplama,

uygun kontrol diyagramlarının belirlenmesi ve kontrol dışı süreçlerin temel nedenlerinin tanımlanmasında etkili olmuştur (Özkılıç, 2007).

Bow-Tie Metodunun ilk adımında, incelenen sistem veya tesisin karşı karşıya olduğu risk belirlenir ve bu riski tanımlayan kriterler netleştirilir. Doğal afetler ve endüstriyel kazaları tetikleyebilecek tehditlerin yanı sıra, bu tehditler gerçekleştiğinde oluşabilecek zararların düzeyi de değerlendirilir. Bu şekilde, en az zarar ihtimali öngörülebilir. Yakın zamanda, Bow-Tie Metodu petrol ve gaz endüstrisinin ötesinde, havacılık, madencilik, denizcilik, kimya ve belirli ölçüde sağlık sektörü dahil olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

3.1. Bow-Tie Modelinin Tanımı

Bow-Tie Modeli, risk yönetimi ve güvenlik analizi alanlarında kullanılan bir araçtır. Temel olarak bir riskin (tehlikenin) nedenlerini (sol kanat) ve olası sonuçlarını (sağ kanat) görsel bir şekilde gösterir. Bu model, bir yay şekline benzer ve adını bu yay şeklinden alır. Merkezde tehlike bulunurken, sol tarafta tehlikeye yol açabilecek nedenler (tehditler), sağ tarafta ise bu tehlikenin olası sonuçları yer alır. Ayrıca, tehlikenin ortasında, riski azaltmak veya yönetmek için alınabilecek önlemler (bariyerler) gösterilir. Bu model, karmaşık risklerin daha iyi anlaşılmasına ve yönetilmesine yardımcı olur. Özellikle endüstriyel güvenlik, havacılık güvenliği ve çevre sağlığı gibi alanlarda sıkça kullanılır.

Bow-Tie Modelinin Bileşenleri:

- **Tehlike (Hazard):** Modelin merkezinde yer alır ve potansiyel zararlı bir olay veya durumu temsil eder.
- **Tehditler (Threats):** Tehlikenin sol tarafında yer alır. Bunlar, tehlikenin gerçekleşmesine neden olabilecek faktörlerdir. Örneğin, bir kimyasal tesis için tehlike, tehlikeli bir maddenin sızması olabilir ve tehditler arasında ekipman arızası, insan hatası, doğal afetler yer alabilir.
- **Sonuçlar (Consequences):** Tehlikenin sağ tarafında yer alır ve tehlikenin gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkabilecek zararlı sonuçları temsil eder. Bu, can kaybı, çevresel hasar, mali kayıp gibi olabilir.

- **Önlemler (Controls):** Tehlikeye doğru yönelen okların üzerinde yer alır ve tehditlerin etkisini azaltmak veya engellemek için kullanılan yöntemleri ifade eder. Bu, güvenlik prosedürleri, alarm sistemleri, eğitim programları olabilir.
- **Acil Durum Planları (Mitigation Measures):** Sonuçlara doğru yönelen okların üzerinde yer alır ve tehlikenin gerçekleşmesi durumunda zararı azaltmak için alınan tedbirleri ifade eder. Bu, acil durum müdahale planları, tahliye prosedürleri, ilk yardım tedbirleri gibi olabilir.

3.2. Bow-Tie Modelinin Öğeleri

Bow-Tie Modeli, bir dizi bileşenden oluşur. Şekil 3.1 üzerinde gösterildiği gibi, bu bileşenler şunlardır: tehlike, kritik olay, tehditler (nedenler), önleme engelleri, düzeltme engelleri, sonuçlar, engel yanıtı mekanizmalarının

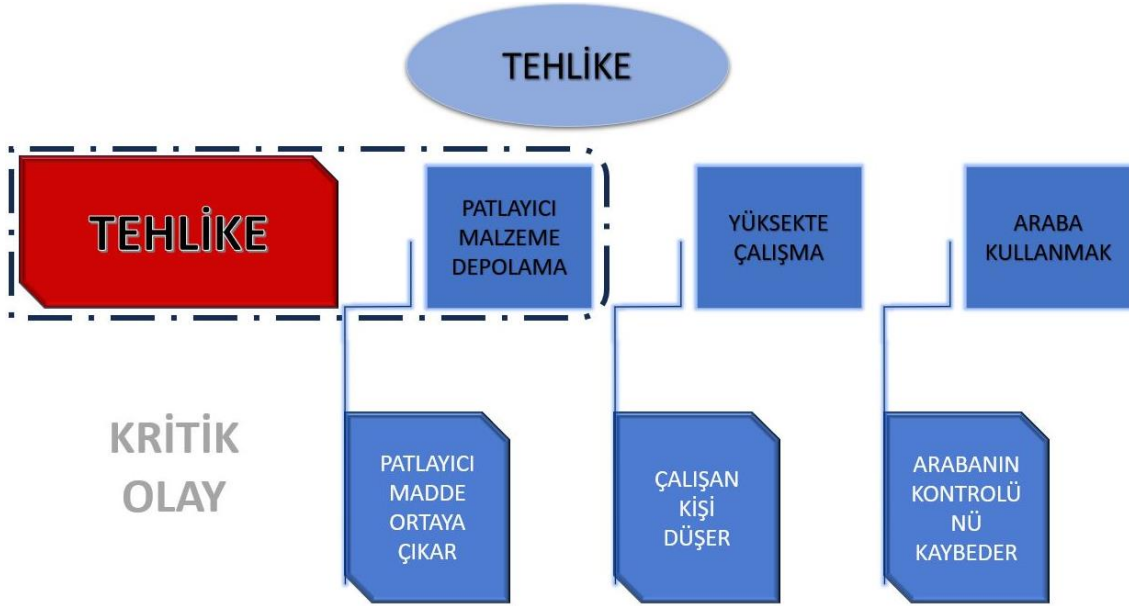


Şekil 3.1. Bow-Tie modelinin öğeleri

3.2.1. Tehlike

Her Bow-Tie diyagramının başı, bir tehlike kaynağıdır. Tehlike, kurumu zarar görebilecek duruma sokabilecek; kurumun içinden, çevresinden veya bir parçası olan her türlü faktördür. Örneğin, araç kullanımı veya önemli bilgilerin bilgisayarda saklanması tehlikeli senaryolar olabilir, ancak bu metni bilgisayarınızda okumanız tehlike arz etmez. Kurumun bir bileşeni olan bu faktörlerle ilgili asıl amaç, kontrolün kaybolması durumunda, zarar verebilecek unsurları saptamaktır. Bu unsurlar, kurumun rutin

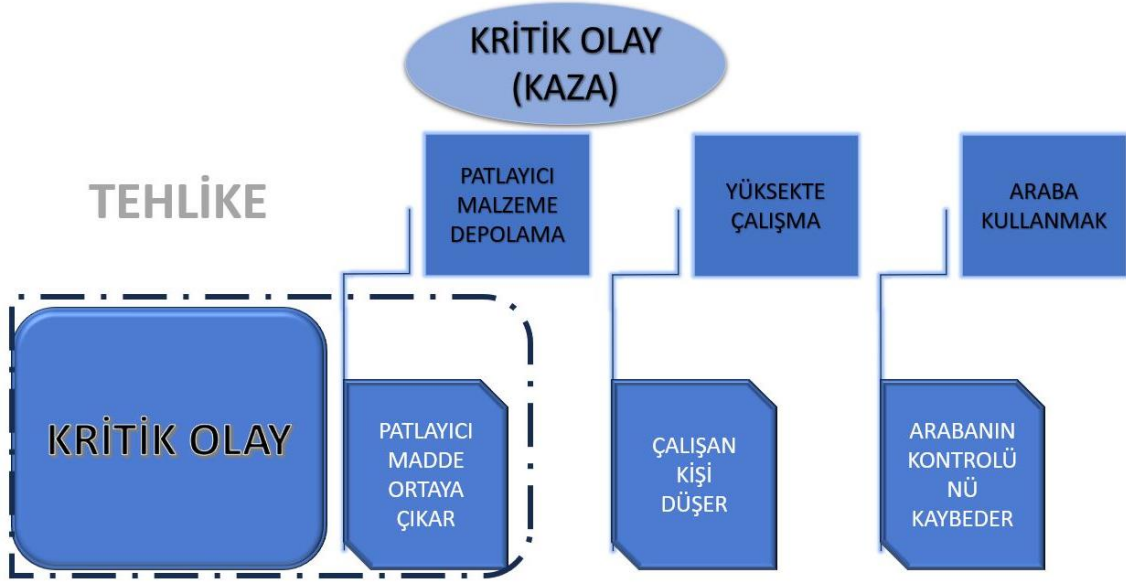
bileşenleri olarak tanımlanmalıdır. Bow-Tie diyagramının devamı, bu rutin ama tehlikeli unsurların istenmeyen olaylara dönüşümünün nasıl engelleneceğiyle alakalıdır. İlk adım, bu durumda da olduğu gibi, en zor olanıdır. Genellikle, başlangıçta bir tehlike envanteri oluşturarak tüm potansiyel tehlikeleri saptamak iyi bir yöntemdir. Ardından, yalnızca büyük zararlara yol açabilecek tehlikeler için Bow-Tie diyagramları geliştirilir. Genelde 5 ve 10 tehlike, iyi bir başlangıç noktası oluşturur. Tehlike ve Kritik Olaylar kapsamında örnek aşağıdaki şekilde sunulmaktadır.



Şekil 3.2. Tehlike

3.2.2. Kritik Olay

Tehlike tespit edildikten sonra, yapılacak bir sonraki işlem, kritik olayın tanımlanmasıdır. Bu, tehlike üzerindeki kontrolün kaybolması anıdır. Bu noktada herhangi bir zarar ya da olumsuz sonuç henüz meydana gelmemiştir, ancak bu andan sonra zarar veya olumsuz sonuçların meydana gelmesi oldukça olasıdır. Bu, kritik olayın zararın meydana gelmesinden hemen önce belirlenmesi gerektiği anlamına gelir. Kritik olay, kontrolün ne zaman kaybolabileceğine dair bir karardır.



Şekil 3.3. Kritik olay

Bu, genel olarak öznel ve pratik bir tercihtir. Kritik olay, Bow-Tie diyagramı tamamlandıktan sonra genellikle yeniden değerlendirilir. Bu yüzden, başlangıçtaki seçimle ilgili fazla kaygılanmaya gerek yoktur. Genel bir kritik olay (kontrol kaybı) ile başlayıp, diyagram oluşturma süreci boyunca bu durumu birkaç kez gözden geçirerek, süreci daha net bir formülasyona kavuşturabilmektedir.

3.2.3. Tehditler

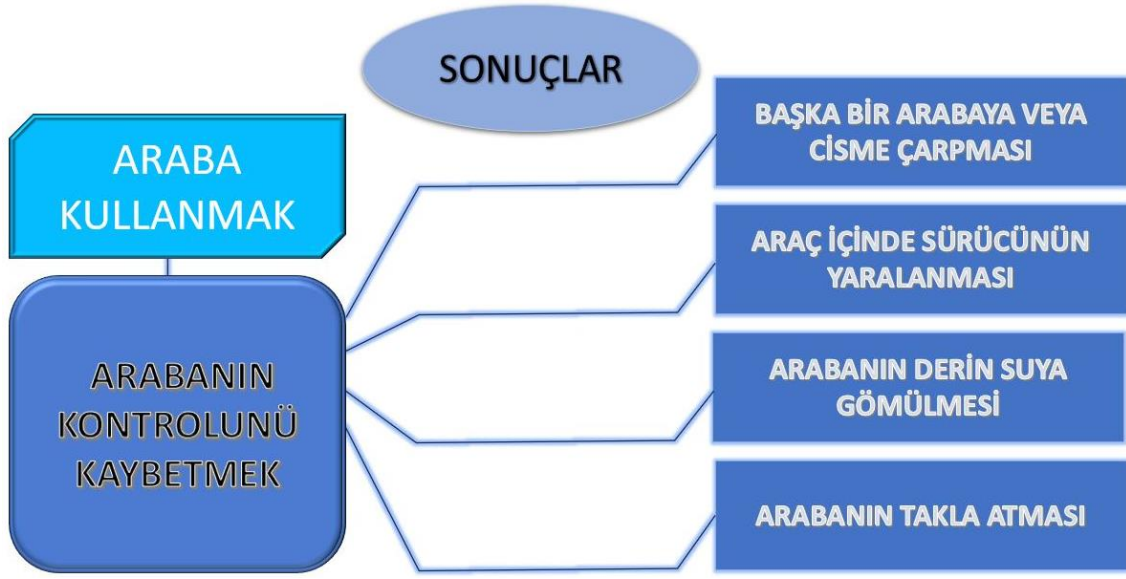
Seçilen kritik olayı tetikleyen etkenler, tehditler olarak adlandırılır. Birden fazla tehdit olabilir. "İnsan hatası", "teknik arıza" veya "iklim şartları" gibi genel ifadelerden kaçınmak önemlidir. "Bir çalışan kritik olayı nasıl başlattı?", "Cihazın hangi bölümü arızalandı?", "Hangi hava durumu veya olayı neyi etkiledi?" gibi daha özgün sorular sorulmalıdır.



Şekil 3.4. Tehditler

3.2.4. Sonuçlar

Sonuçlar, kritik olayların doğrudan etkileridir. Her kritik olayın birden çok sonucu olabilir. Tehditlerde olduğu gibi, insanlar spesifik detaylar yerine genel durumlara odaklanma eğilimindedir. Yaralanma/ölüm, mülkiyet zararı, çevresel etkiler, şirketin itibarı ve mali kayıplar gibi konulara odaklanmaktan kaçınılmalıdır. Bunlar, zararların spesifik türleri yerine, genel kategorilerle ilişkilidir. "Araç devrilmesi", "denize petrol sızıntısı", "zehirli gaz yayılması" gibi spesifik olaylar belirtilmelidir. Bu, daha ayrıntılı bilgiler sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bariyerler oluşturulurken daha etkili düşünülmesine de katkıda bulunur. "Denize petrol sızıntısını" önlemek, "çevresel zararı" önlemekten daha spesifik bir yaklaşımdır.



Şekil 3.5. Sonuçlar

Bu aşamaya kadar, risk ve kontrol edilmesi gereken unsurlar hakkında açık bilgiler sağlanmıştır. "Tehlike", "Kritik olay", "Tehditler" ve "Sonuçlar" bölümleri, belirli bir tehlike etrafında meydana gelebilecek her şey hakkında kapsamlı bir bakış sunmuştur. Bow-Tie diyagramındaki her çizgi, farklı bir potansiyel kazayı temsil eder. Şimdiye kadar yaşanmış olay senaryolarını içermesi yanında, Bow-Tie metodolojisinin güçlü yanlarından biri de henüz meydana gelmemiş senaryoları da barındırmasıdır. Bu özellik, Bow-Tie metodunu oldukça önleyici bir yaklaşım olarak öne çıkarmaktadır.

3.3. Bow-Tie Modelinin Kökeni

Bow-Tie metodunun kökeni net olmasa da bu düşünce tarzının temellerini oluşturmuş veya daha sonraları ortaya çıkmış olsa da benzer yaklaşımlar mevcuttur. Bu, Bow-Tie metodunun mantığını anlamak için yeterli bilgiye sahip olduğumuzu gösterir.

Bow-Tie Yöntemi iki ana görevi yerine getirir. İlki, yöntem potansiyel kaza senaryolarını ve olay zincirlerini analiz eder. Bu süreçte, yöntem üç ayrı metottan ilham alır. Bunların ilki, Hata Ağacı Metodu olup, Bow-Tie diyagramının sol kısmını farklı bir şekilde oluşturur. İkincisi, Olay Ağacı Metodu'dur ve bu, Bow-Tie diyagramının sağ tarafını, orijinal yönteminden farklı bir biçimde kurar. Üçüncüsü ise, bariyer yanılğı mekanizmasının muhtemel kaynağı olan Nedensel Faktörlerin Haritalanmasıdır (Causal Factors Charting).

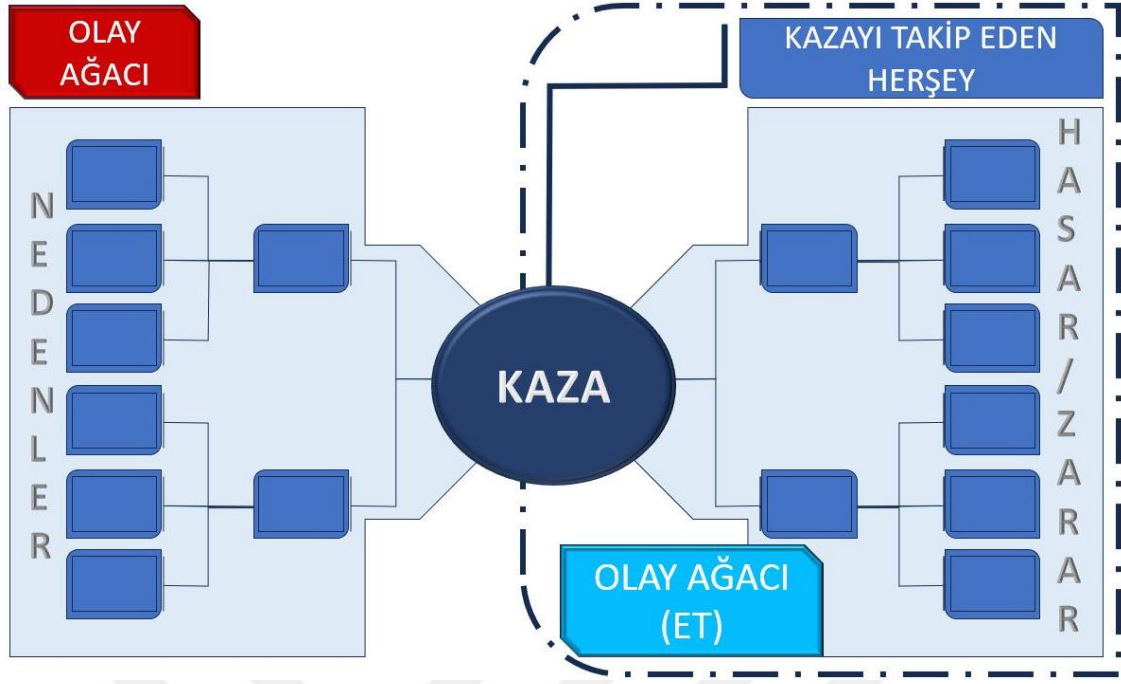
Bow-Tie Metodunun üstlendiği ikinci önemli görev, bir kurumda bulunan kontrol önlemlerini saptamaktır. Bu görev, 1990'ların başlarında James Reason tarafından geliştirilen "İsviçre Peyniri Modeli" (Swiss Cheese Model) kullanılarak rahatlıkla açıklanabilir.

3.3.1. Sebep Faktörleri Grafiği

Bow-Tie Metodolojisi, nedensellik ilişkilerini haritalamada (Sebep Faktörleri Grafiği gibi) tehditler ile kritik olay arasında ve kritik olay ile sonuçlar arasında bağlantılar kurar. Bow-Tie Diyagramı, ayrıca kontrol (bariyer) mekanizmaları ve bu bariyerlerin yanıltma ihtimalleri arasındaki nedensel ilişkiyi de gösterir. Sebep Faktörleri Grafiği esas olarak kazaların analizi amacıyla kullanılırken, Bow-Tie Yöntemi daha çok proaktif risk değerlendirmesi ve işlem güvenliği analizi için tercih edilir. Bow-Tie Yöntemi, bir sebep faktörleri zincirine odaklanmak yerine, belirli bir tehlikeyle ilgili olası tüm nedensel bağları inceleyerek daha geniş bir perspektif sunar. Bu yöntem, aynı zamanda risklerin ve kontrol mekanizmalarının görselleştirilmesiyle, yöneticilere ve çalışanlara riskleri daha iyi anlama ve bunlara karşı önlemler geliştirme konusunda yardımcı olur. Bow-Tie Diyagramları, olası risk senaryolarının ve bu senaryoları önlemek için kullanılabilecek stratejilerin, kurum içindeki tüm seviyelerde net bir şekilde anlaşılmasını sağlar. Ayrıca, bu metodoloji, risk yönetiminde sürekli iyileştirme ve öğrenme süreçlerini destekler, böylece organizasyonlar zaman içinde daha dayanıklı ve esnek hale gelebilirler.

3.3.2. Olay Ağacı Analizi

Bow-Tie Diyagramının sağ tarafı, bir Olay Ağacı formatını andırır. Bow-Tie Yöntemi, olasılık veya sıklık hesaplarından ziyade, kontrollerin etkin bir şekilde işleyip işlemediğine odaklanır ve "Mevcut güvenlik önlemleri yeterli mi, yoksa ek güvenlik tedbirleri mi alınmalı?" diye sorar. Bow-Tie Diyagramının bu yaklaşımı, organizasyonların risk yönetim stratejilerini, gerçek zamanlı veriler ve saha deneyimleri ile uyumlu hale getirmelerine yardımcı olur. Bu metodoloji, risk değerlendirme sürecini somutlaştırarak, yöneticilere ve karar vericilere, riskleri azaltmak için alınması gereken spesifik adımları daha açık bir şekilde gösterir. Ayrıca, Bow-Tie Yöntemi, risk analizi ve yönetimi sürecinde ekip çalışmasını ve disiplinler arası iş birliğini teşvik eder, böylece farklı bakış açıları ve uzmanlık alanlarından gelen bilgileri bütünleştirebilir.



Şekil 3.6. Olay ağacı formu

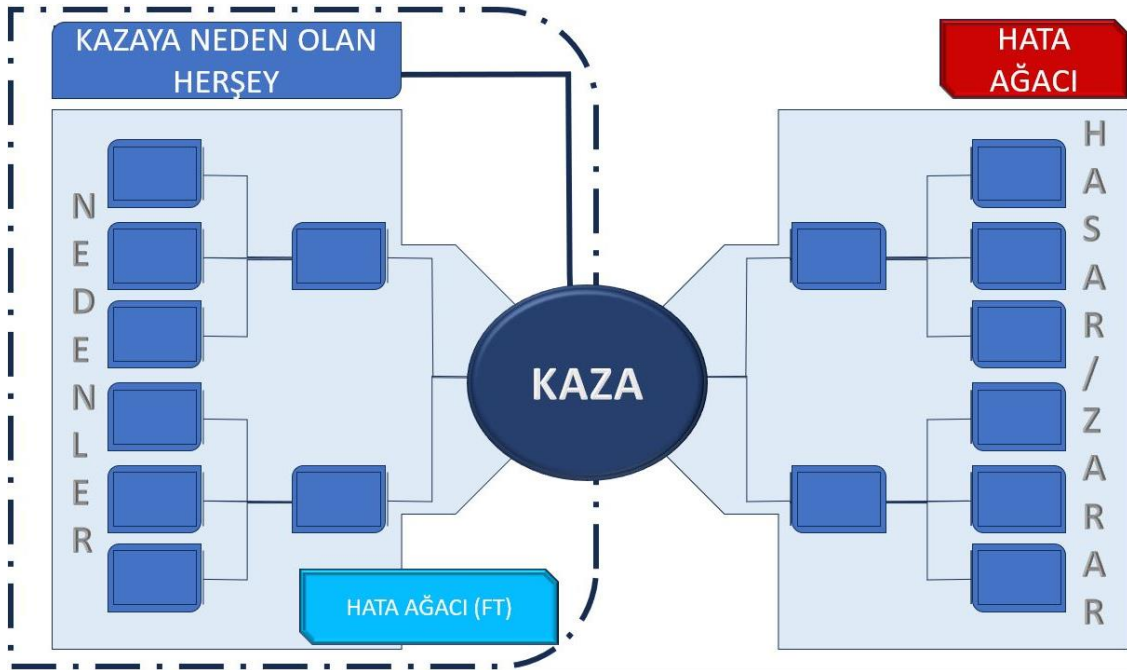
Bu yöntem, tehlikenin yönetimine odaklanarak, sonuçların gerçek olasılıklarından bağımsız bir biçimde, özellikle büyük hasar senaryolarının analiz edilmesi için kullanılır. Genellikle, sonuçların spektrumundaki en ciddi durumlar olarak kabul edilen büyük hasar senaryoları üzerine yoğunlaşılır.

3.3.3. Hata Ağacı Analizi

Hata Ağacı Analizi, 1962 yılında geliştirilmiş ve nükleer ile havacılık sektörlerinde hızla popüler hale gelmiştir. Bu yöntem, olaylar arasındaki nedensel ilişkileri modellemek için matematiksel mantığın temelini oluşturan Boolean ve/veya kapılarını kullanır. (Yöntem, genellikle istenmeyen olaylardan kaynaklanan kazaların modellenmesinde kullanılıyor olsa da, her türlü nedensellik ilişkisini modelleyebilir.) Hata Ağacı Analizinin orijinal versiyonu, sıklıkla başarısızlık veya hata ihtimallerini değerlendirir ve bu olasılıkları hesaplar.

Boolean mantık kapıları, modeldeki başarısızlık/hata olasılıklarına gerçek sayılar yerleştirilmesine ve bu olasılıkların hesaplanmasına olanak tanısa da bu verilerin kullanımı genellikle test maliyetlerine ve sistem üzerindeki insan etkisinin değerlendirilmesine bağlı olup, nadiren mümkün olur. Bow-Tie Metodu, Hata Ağacı analizindeki bu olasılık hesaplamalarını dışarıda bırakarak, analizi daha kolay

anlaşılabilir ve bütünsel bir hale getirmiştir, böylece analizin aşırı detaycılığından kaçınılmıştır.



Şekil 3.7. Hata ağacı formu

Bow-Tie Yönteminin diğer yöntemlerden farklılaşan en belirgin özelliklerinden biri, kontrollerde ve dolayısıyla genel sistemdeki kırılabilirlikleri belirleyip gösteren bariyer yanılığ mekanizmasıdır. Bu özellik, Hata Ağacı Analizlerindeki olası eksikliklerin üstesinden gelmeyi sağlar.

Hata Ağacı, analizin amacına ve içeriğine göre değişen, oldukça ayrıntılı bir görünüm sunar. Eğer amaç, bir organizasyon içindeki güç dinamikleri arasındaki tüm mümkün etkileşimleri kapsamlı bir şekilde analiz etmekse, Hata Ağacı bunu başarabilir.

Olumlu Yönleri:

- **Detaylı Analiz:** Hata Ağacı Analizi, sistemin tüm bileşenlerini ve aralarındaki etkileşimleri derinlemesine inceler. Bu, sistemin zayıf noktalarını ve potansiyel başarısızlık senaryolarını ortaya çıkarmada etkilidir. Bu analiz, özellikle karmaşık sistemlerde, hataların kök nedenlerini belirlemek için çok değerlidir.
- **Nicel Değerlendirme İmkânı:** Teorik olarak, Hata Ağacı Analizi sayesinde, farklı hata senaryolarının olasılıkları hesaplanabilir. Bu, risk yönetimi açısından önemli bir avantajdır çünkü olası hata senaryolarının sıklığını ve etkisini anlamak, risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olur.

Olumsuz Yönleri:

- İletişimde Zorluklar: Hata Ağacı Analizinin karmaşıklığı, sonuçlarının anlaşılmasını ve iletişimini zorlaştırabilir. Özellikle, teknik olmayan paydaşlar için analizin sonuçlarını açıklamak zor olabilir.
- Güvenilir Nicel Değerlendirme Zorluğu: Pratikte, farklı hata senaryolarının olasılıklarını hesaplamak zordur. Bu, özellikle sistemin çok fazla değişken içerdiği veya gerekli veri eksikliği olduğunda geçerlidir. Bu, analizin nicel yönünün güvenilirliğini sınırlayabilir.

Genel olarak, Hata Ağacı Analizi, özellikle karmaşık ve kritik sistemlerde, potansiyel hataları anlamak ve önlemek için güçlü bir araçtır. Ancak, bu analizin etkinliği, kullanılan verilerin kalitesine ve analizi yürüten ekip üyelerinin uzmanlığına bağlıdır. Ayrıca, analizin sonuçlarını anlaşılır ve uygulanabilir bir biçimde iletmek, bu yöntemin başarısında kritik bir rol oynar.

3.4. Bow-Tie Modeline Yönelik Bariyerler

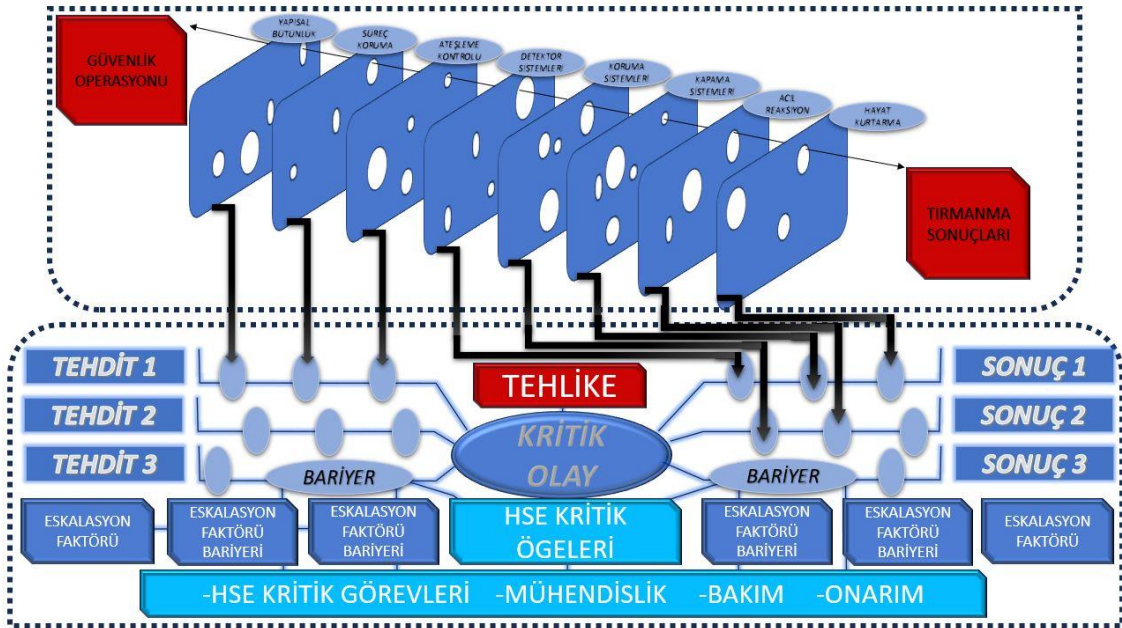
Organizasyonlar, istenmeyen durumlarla karşılaştıklarında, bu senaryoları nasıl ele alacaklarını bilmelidir. Reason'ın belirttiği gibi, kontrollerdeki zafiyetler genellikle organizasyon içindeki ortak sebeplerden kaynaklanır. Örneğin, maliyet ve zaman baskısı altında yapılan bakım işlemlerinin sistemdeki kontrol mekanizmalarını azaltması bu durumlardan biridir. Bow-Tie Metodu'nda, bu tür zafiyetler bariyer yanıtma mekanizmaları olarak tanımlanır ve organizasyonların zaman içerisinde karşılaştığı ve üstesinden gelmesi gereken yaygın hatalar olarak kabul edilir.



Şekil 3.8. Bariyerler

3.4.1. Kontrol Bariyerleri

Bow-Tie diyagramında yer alan bariyerler, kritik olayın her iki yanında bulunur. Bariyerler, tehditlerin kontrol kaybına (kritik olay) yol açmasını engelleyen veya sonuçların olumsuz etkilerini minimize eden kontrol unsurlarıdır. Genellikle Şekil 3.9 'da, gösterildiği gibi, insan davranışları ve/veya donanım/teknoloji kombinasyonundan oluşan çeşitli bariyer türleri bulunur.



Şekil 3.9. Bow-Tie modeli ve bariyerler

Bir bariyer belirlendiğinde, risk yönetiminin nasıl yapılacağına dair temel bir anlayışınız oluşur. Bu temel bilgi, zafiyetin yerini belirleme ve bu zafiyete karşı daha etkin bir yapı inşa etme konusunda yardımcı olur. Bariyerler, örneğin işlevselliği artırmak için, bariyer türleri arasında genişletilebilir. Bu, bir bariyerin bir soruna ne kadar iyi yanıt verebileceğini tahmin etme olanağı sağlar. Sonrasında, uygulanması ve sürdürülmesi gereken faaliyetler, bariyerlere dayanarak planlanabilir. Bu, aslında Güvenlik Yönetim Sisteminin, bariyerler aracılığıyla şekillendirilmesi anlamına gelir. Ayrıca, bir bariyerin sorumluluğunun belirlenmesi ve bariyerin öneminin değerlendirilmesi, bariyerler hakkında daha derin bir anlayış geliştirmek için atılması gereken adımlardır.

3.4.2. Bariyer Çeşitleri

Bow-Tie diyagramlarında nadiren kullanılan özelliklerden biri, bariyer türleridir. Bu, bariyerlerin sınıflandırılmasını ve çeşitli bariyer türlerinin kombinasyonlarının

değerlendirilmesine olanak tanır. Genelde, farklı türde bariyerlere sahip olmanın iki ana avantajı vardır.

- Çeşitli bariyer türleri, yaygın hata moduna düşme riskini düşürür.
- Farklı bariyer türleri, birbirlerinin eksikliklerini telafi eder.

Çeşitli kategorizasyonlar mümkün olsa da genel olarak bariyer işlevleri veya bariyer sistemleri tanımlanır.

3.4.3. Bariyer İşlevi

Bariyer fonksiyonu, istenmeyen olayları ve kazaları önlemek, sınırlandırmak veya hafifletmek amacıyla tasarlanmış işlevlerdir. Bariyer fonksiyonu, organizasyonda bulunma nedenini, varlığının amacını açıklamalıdır. Bariyer fonksiyonlarındaki çeşitliliği ayırt etmek için geliştirilen ilk sistemlerden biri 1970'lerin başında ortaya çıkmıştır. Hodden, klasik bir makalesinde, her türlü enerji kaynaklı hasarın önlenmesine yönelik 10 strateji belirlemiştir. Bu, bariyer fonksiyonlarının erken sınıflandırmalarından biri olup, sonraki sınıflandırmalara önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Hodden'ın On Stratejisi şunlardır:

- İlk strateji, başlangıçta enerjinin serbest bırakılmasını engellemektir.
- İkinci strateji, serbest bırakılan enerjinin miktarını minimize etmektir.
- Üçüncü strateji, enerjinin salınımını önlemeyi hedefler.
- Dördüncü strateji, enerji kaynağından yayılan enerjinin yayılım yollarını düzenlemektir.
- Beşinci strateji, belirli bir alandan salınan aktif veya pasif enerjinin zamansal veya mekânsal olarak bölünmesidir.
- Altıncı strateji, zaman veya mekân ayırımı yerine bir engelle etkileşim yoluyla enerjiyi dağıtmaktır ve oldukça kritiktir.
- Yedinci strateji, insanların dokunabileceği yüzeylerin veya temel yapıların, yuvarlatma veya kenar yumuşatma gibi yöntemlerle güvenli hale getirilmesi işlemidir ve altıncı strateji kadar önemlidir.
- Sekizinci strateji, insan ve nesne kayıplarını azaltmak için tehlikeli transfer noktalarının güçlendirilmesidir.

- Dokuzuncu strateji, sekizinci stratejiye uygun olarak korunmasız kalan alanlardaki hasarın tespiti, değerlendirilmesi ve hızla müdahale edilerek hasarın sınırlanması veya önlenmesidir.
- Onuncu strateji, hasar veren enerji değişiklikleri ile sürecin dengelenmesi arasındaki ve süreç sonrasında kısa ve uzun vadeli onarım ve rehabilitasyon tedbirlerini içerir.

Sonraki sistemler, daha geniş kapsamlı bariyer fonksiyonları tanımlamaya odaklanmıştır. Önleme, kontrol etme ve azaltma/korumak, çoğu şirketin sınıflandırma sistemlerinde bariyer fonksiyonlarının üç ana rolünü oluşturur. Bu rollerin bir kazanın evrimine göre değişebileceği kritik bir noktadır. Örneğin, bir bariyer (bir duvar gibi) bir durumda önleyici rol oynarken, başka bir durumda zararı hafifletici bir işlev üstlenebilir. Bariyer fonksiyonları, bariyerlerin sabit özellikleri değil, kazanın bağlamında üstlendikleri roller ile tanımlanır.

3.4.4. Bariyer Kapsamında Verimlilik

Bariyerler arasında farklar vardır; bazıları diğerlerine göre daha etkilidir. Bariyer etkinliği, bir bariyerin ne kadar başarılı olduğunun değerlendirilmesi için bir ölçüttür. Genellikle, etkinlik bir bariyerin ana özelliklerinden biri olarak ele alınır.

Yeterlilik: Defansif sürüş, bir bariyer olarak düşünüldüğünde, birden fazla tehdide yanıt verdiği görülür. Ancak, defansif sürüş, bu tehditlere karşı her zaman aynı düzeyde etkili olmayabilir. Bu sebeple, yeterlilik değişkendir. Yeterlilik, bariyerin belli bir durumda görevini etkin bir şekilde yerine getirebilmesi için gerekenleri belirtir. Bir bariyerin yeterliliğinin sabit bir ölçüt olmadığını anlamak önemlidir. Bariyerin yeterliliği, göz önünde bulundurulacak senaryoya bağlı olarak değişir. Bu, etkili olduğu gözlemlenen bir bariyerin, aynı şekilde kopyalanıp kullanılmasının gerekliliğinin altını çizer. Yeterlilik farklı olduğunda, etkinlik de farklılık gösterecektir.

Dayanıklılık: Her ne kadar kusursuz yeterliliğe sahip bir bariyer ideal olsa da, bu bariyerin gerektiğinde etkin olarak kullanılabilir olması da esastır. Dayanıklılık, işte bu durumla ilgili bir kavramdır. “Bir tehlike anında bariyer beklenen performansı gösterebilecek mi?” sorusu bariyer dayanıklılığından beklenen durumu sorgulamaktadır. Dayanıklılığın değerlendirilmesi, bariyerin yanlış yönlendirilmesi durumlarına (Her bariyer yanıltma mekanizması dayanıklılığı etkilemek zorunda değildir), bariyerin başarısız olduğu kazalara, denetim sonuçlarına ve diğer verilere dayanarak yapılır.

3.4.5. Bariyer Sistemleri

Sklet'in tanımına göre, bariyer sistemleri belirli bir bariyer fonksiyonunu hayata geçirir. Örnek olarak, bir itfaiye ekibi, zarar azaltma işlevini gerçekleştiren bir bariyer sistemidir. Bariyer sisteminin türü, göreceli bir nitelik olan bariyer fonksiyonundan ayrı olarak, bariyerin kendisine özgüdür. Bariyer sistemlerinin sınıflandırılması için çeşitli yöntemler mevcuttur. AB'nin SEVESO II Direktifi kapsamında geliştirilen ARAMİS projesi, bariyer sistemleri için farklı bir tanımlama yapmıştır. Bu bağlamda, beş farklı türü ayırt eden daha basit bir sınıflandırma üzerinden konuşulabilir.

Bariyer sistemleri, aktif ve pasif olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. Pasif bariyerler için örnek olarak bir duvar veya koruma seti gösterilebilir. Aktif bariyerler ise algılama - karar verme - eyleme (AKE) prensibiyle işler ve alt bölümlere ayrılabilir. Bu üç aşama insanlar veya teknolojik araçlar tarafından uygulandığında, sistem aktif bir bariyer haline gelir. Eğer AKE döngüsü tamamen insanlar tarafından yürütülüyorsa, bu duruma davranışsal bariyer denir. Tüm döngü teknolojik cihazlarla gerçekleşiyorsa, bu aktif bariyer olarak adlandırılır. AKE döngüsünde insanlar ve teknolojik araçlar bir arada kullanılıyorsa, buna sosyo-teknik (ya da insan-makine) bariyer sistemi denir. Son olarak, algılama olmadan sürekli bir hareketin olduğu durumlar (örneğin bir havalandırma sistemi) sürekli bariyer olarak adlandırılır. Dolayısıyla, bariyer sistemleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

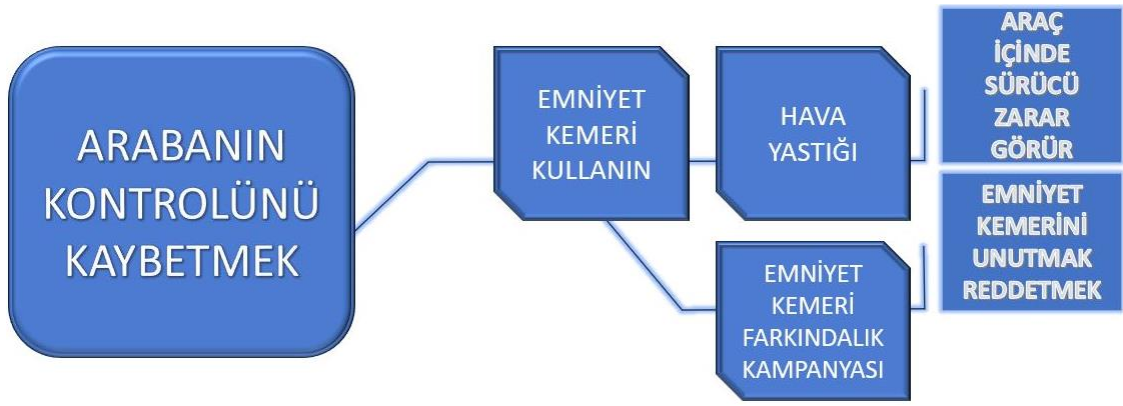
- **Pasif Bariyer:** Bu bariyer türü, herhangi bir aktif müdahalede bulunmadan engel oluşturur. Örneğin, duvarlar, çitler ve kapı kilitleri pasif bariyer örnekleridir. Bunlar, bir alana erişimi fiziksel olarak kısıtlamak için kullanılır ve genellikle sabit yapıları vardır.
- **Davranışsal Bariyer:** Davranışsal bariyerler, insan davranışını yönlendirmek veya kontrol etmek için tasarlanmıştır. Bu tür bariyerler, kurallar, prosedürler ve eğitim yoluyla çalışır. Örneğin, güvenlik protokolleri, acil durum prosedürleri ve iş güvenliği eğitimleri bu kategoriye girer.
- **Sosyo-Teknik Bariyer:** Bu bariyerler, sosyal ve teknik unsurların birleşiminden oluşur. Örneğin, bir bilgi güvenliği sistemi hem teknolojik güvenlik önlemleri (şifreler, erişim kontrolleri) hem de insan etkileşimine dayalı uygulamaları (kullanıcı eğitimi, güvenlik farkındalığı) içerebilir. Sosyo-teknik bariyerler hem teknik hem de insan faktörlerini dikkate alarak güvenliği optimize eder.

- **Aktif Bariyer:** Aktif bariyerler, bir tehdit algılandığında veya belirli bir koşul gerçekleştiğinde devreye giren bariyerlerdir. Örnek olarak, alarm sistemleri, erişim kontrol sistemleri ve güvenlik kameraları verilebilir. Bu tür bariyerler, sürekli izleme ve müdahale gerektirir.
- **Sürekli Bariyer.** Bu bariyerler, sürekli ve kesintisiz bir koruma sağlamak için tasarlanmıştır. Örneğin, sürekli çalışan bir gözetim sistemi veya 24 saat aktif olan bir güvenlik ekibi bu kategoriye dahil edilebilir. Sürekli bariyerler, sürekli tehdit algılama ve önleme yeteneği sağlayarak güvenlik düzeyini artırır.

Bariyerler, çeşitli yollarla sınıflandırılabilir. Burada sunulan model ve listeler, tek geçerli açıklamalar değildir. Hem bariyer fonksiyonlarının hem de bariyer sistemlerinin kendine has avantajları bulunmaktadır, fakat bir seçim yapılırken hangi bariyer türünün tercih edileceğinin belirlenmesi önemlidir.

3.4.6. Bariyer Yanıltma Yapısı

Bariyerler her zaman kusursuz olamaz. En gelişmiş bariyerler bile işlevini yitirebilir. Bu durumu göz önünde bulundurarak, bir bariyerin neden başarısız olabileceğini anlamak önemlidir. Bu, bariyer yanıltma mekanizmalarının incelenmesiyle mümkündür. Bir bariyerin başarısızlığına yol açabilecek her durum, bir bariyer yanıltma mekanizması olarak değerlendirilebilir. Mesela, bir araçta emniyet kemeri kullanımı, sürücünün kazada zarar görmesini engellemek için tasarlanmış bir bariyerdir. Ancak sürücü, emniyet kemerini unutursa ya da bilerek takmazsa, bu emniyet kemeri bariyerinin işlevsiz kalmasına neden olur. Bu durumda, "Emniyet kemerini unutmak veya bilerek takmamak", "emniyet kemeri kullanımı" bariyerinin bir yanıltma mekanizması haline gelir. "Emniyet kemeri farkındalık kampanyası" ise bu yanıltma mekanizmasına karşı bir bariyer olarak işlev görür.



Şekil 3.10. Bariyer yanılma mekanizması

Bariyer yanılma mekanizmalarının tanımlanmasında dikkatli olmak önemlidir. Olası tüm başarısızlık ve arıza modları belirlenmelidir. Gerçekleşebilecek zafiyetler ve bunların nasıl ele alınacağı net bir şekilde tanımlanmalıdır. Bariyer yanılma mekanizmalarını yönetmek için uygun bariyerlerin oluşturulması akıllıca bir yaklaşım olacaktır. Bariyer yanılma mekanizmalarını etkin bir şekilde yönetmek için, bariyerlerin düzenli olarak gözden geçirilmesi ve test edilmesi gereklidir. Bu süreç, bariyerlerin zaman içindeki değişen koşullara ve yeni tehditlere karşı etkinliğini korumasını sağlar. Ayrıca, bariyerlerin tasarımı ve uygulanması, riskleri azaltma ve olası hataları önleme konusunda en iyi uygulamalar ve endüstri standartları ile uyumlu olmalıdır. Bu yaklaşım hem iş güvenliği hem de operasyonel verimlilik açısından kritik öneme sahiptir. Son olarak, eğitim ve farkındalık programları, çalışanların bariyerlerin önemini anlamalarını ve potansiyel yanılma mekanizmalarına karşı nasıl hareket etmeleri gerektiğini bilinçlendirmek için hayati önem taşır.

Bariyer yanılma mekanizmaları, Bow-Tie risk analizi yönteminin dikkate alınması gereken önemli bir yönüdür. Bu mekanizmalar, bariyerlerin zayıf noktalarının analizine ve organizasyonun daha detaylı incelenmesine olanak tanır. Birçok uzman, bariyer yanılma mekanizmalarını kullanır ve bunların anlamlı ve işlevsel olmasını sağlamak için çaba gösterir. Bariyer yanılma mekanizmalarını etkili bir şekilde kullanmak, risk yönetimi sürecindeki zayıf noktaların tespit edilmesine ve giderilmesine yardımcı olur. Bu, organizasyonların hem mevcut riskleri azaltmalarına hem de gelecekteki potansiyel risklere karşı daha dirençli hale gelmelerine olanak tanır. Ayrıca, bu mekanizmaların sürekli değerlendirilmesi ve güncellenmesi, teknolojik gelişmeler ve operasyonel değişiklikler göz önünde bulundurularak risk yönetimi stratejilerinin güncel ve etkin kalmasını sağlar. Bariyer yanılma mekanizmalarının doğru bir şekilde uygulanması, acil

durum planlamasında ve kriz yönetiminde de önemli bir rol oynar, çünkü bu, organizasyonların olası kriz durumlarında hızlı ve etkili bir şekilde yanıt verme yeteneklerini artırır. Bu yaklaşım, aynı zamanda, risk yönetimi kültürünün tüm organizasyon boyunca yayılmasına ve güçlenmesine katkıda bulunur.

Bariyer yanılma mekanizması, "bariyerlerin işlevselliğini düşüren veya yok eden koşullar" ya da "tırmanış faktörleri" olarak da bilinir. Başka bir ifadeyle, bariyer yanılma mekanizmaları, İsviçre Peyniri Modeli'ndeki delikler gibi işlev görür. Bariyer yanılma mekanizmalarının etkin bir şekilde tanımlanması ve yönetilmesi, riskleri önemli ölçüde azaltabilir ve kazaları önleyebilir. Bu mekanizmaların tespiti, organizasyonların kendi güvenlik sistemlerindeki potansiyel zayıf noktaları anlamalarına ve bu zayıf noktaları güçlendirmelerine olanak tanır. İsviçre Peyniri Modeli'nde olduğu gibi, her bariyerin arkasında başka bir güvenlik katmanı oluşturarak, bir katmanın başarısız olması durumunda bile riskleri minimize etmek mümkündür. Bu çok katmanlı yaklaşım, sistemik ve insan hatalarının neden olduğu riskleri azaltmada çok etkilidir ve organizasyonların güvenlik kültürünü güçlendirir. Ayrıca, bu mekanizmaların sürekli gözden geçirilmesi ve iyileştirilmesi, risk yönetim stratejilerinin sürekli güncel ve etkili kalmasını sağlar.

Bow-Tie Metodunda insanlar tarafından genellikle çok sayıda bariyer yanılma mekanizması tanımlanır. Bu durum, Bow-Tie diyagramlarının çok sayıda bariyer yanılma mekanizması içermesine yol açar. Örneğin, sol tarafında on tehdit, sağ tarafında beş sonuç barındıran tipik bir Bow-Tie diyagramında, her biri için üç ya da dört bariyer belirlendiğinde, yüzden fazla bariyer yanılma mekanizması da dahil edilmiş olur. Bu durum, okuması zor ve anlaması güç, karmaşık bir Bow-Tie diyagramı oluşturabilir ve bu da diyagramın anlaşılmasında ve kullanılmamasında riskini artırır.

Bow-Tie Diyagramlarındaki aşırı sayıda bariyer yanılma mekanizmasının nedenleri şu şekildedir:

- **Aşırı Detaylandırma:** Bu durumda, sistemin en küçük etkilerine kadar tüm faktörlerin dahil edildiği, aşırı geniş bir liste ortaya çıkabilir. Hata Ağacı Analizi gibi daha ayrıntılı incelemelerde de bu durum görülebilir. Eğer hedef bu faktörleri detaylıca incelemek ve kapsamlı bir değerlendirme yapmaksa sorun yoktur; ancak, risk yönetimi Bow-Tie metodolojisi ile yapılacaksa bu yaklaşım en uygunu olmayabilir.
- **Genelleştirmenin Fazlalığı:** Örnek olarak, "yetersiz bakım", "insan hatası" veya "zayıf güvenlik faktörü" gibi çok genel terimler kullanmak, konuyla ilgilenen kişilere fazla

yardımcı olmayacaktır. Bu tür mekanizmalar birçok bariyere uygulanabilir, ancak sonuçta benzer bariyer yanılma mekanizmaları elde edilir. Genel bariyer yanılma mekanizmaları, sizi genel kontrol elemanlarına yönlendirecek, rekabet yönetimi, bakım yönetimi, denetim gibi konulara odaklanmanızı sağlayacaktır. Bu durum, özel bariyerleri tanımlamadığı için kaçınılması gereken bir yaklaşımdır. İdeal olanı, tüm yönetim sisteminin bütün bariyerleri destekleyecek şekilde düzenlenmesidir.

- **Bariyerlerin Belirsizliği:** Bow-Tie analizi, riskleri azaltmak için bariyerleri tanımlar. Ancak, bu bariyerlerin etkinliği ve güvenilirliği her zaman net olmayabilir. Örneğin, bir bariyerin ne zaman başarısız olacağının veya ne kadar etkili olduğunun belirsiz olması, analizin doğruluğunu azaltabilir.
- **Kompleksite Yönetimi:** Bow-Tie metodolojisi, karmaşık sistemlerdeki riskleri yönetmek için tasarlanmıştır. Ancak, sistemin karmaşıklığı arttıkça, doğru bariyerleri tanımlamak ve bunların etkileşimlerini anlamak zorlaşabilir. Bu durum, yanlış veya eksik risk değerlendirmelerine yol açabilir.
- **Odak Kaybı Riski:** Aşırı detaylandırma ve belirsiz bariyerler, analizin temel amacından sapmasına neden olabilir. Risk yönetimi sürecinde asıl odaklanılması gereken kritik risklerin göz ardı edilmesi, tehlikeli sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle, Bow-Tie analizinde dengeli bir yaklaşım benimsemek önemlidir.
- **İletişim ve Anlayış Zorlukları:** Bow-Tie diyagramlarının karmaşıklığı, ekipler arasında etkili iletişim kurmayı zorlaştırabilir. Diyagramın aşırı detaylı olması, temel mesajların ve risk yönetimi stratejilerinin anlaşılmasını engelleyebilir. Bu, özellikle farklı disiplinlerden veya arka planlardan gelen ekiplerin bir arada çalıştığı durumlarda sorun teşkil edebilir.
- **Kaynakların Yanlış Yönlendirilmesi:** Aşırı sayıda bariyerin tanımlanması, kaynakların yanlış veya verimsiz bir şekilde kullanılmasına yol açabilir. Önemsiz veya düşük etkili riskler için aşırı kaynak ayırmak, daha kritik riskleri gözden kaçırmaya veya bunlar için yeterli kaynak ayıramamaya neden olabilir.
- **Esneklik Eksikliği:** Bow-Tie analizleri, önceden tanımlanmış senaryolara dayanır. Ancak, gerçek dünya koşulları hızla değişebilir ve bu da diyagramların esnek olmayan yapısını sorgulamaya yol açar. Diyagramlar, beklenmedik veya yeni ortaya çıkan risklere hızla uyum sağlayamayabilir, bu da risk yönetimi sürecinin etkinliğini azaltır.

Bariyer yanılma mekanizmaları, organizasyon içinde belirlenen sayıda, somut problemleri veya zayıflıkları işaretleyerek en etkin şekilde kullanılmalıdır. Bu metodoloji,

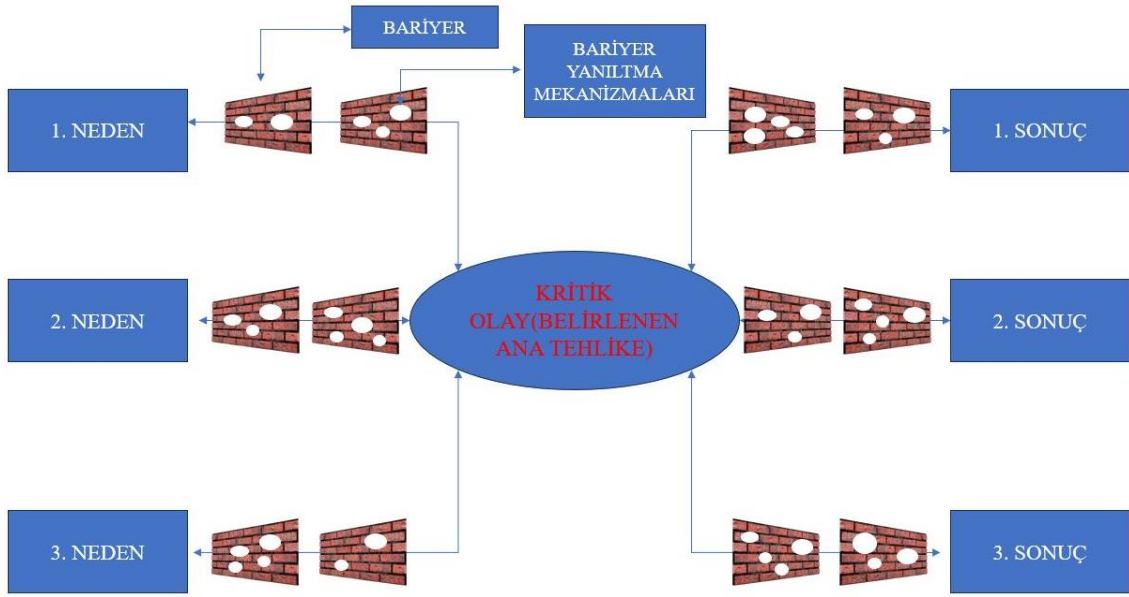
Bow-Tie Yöntemini her mümkün başarısızlık durumunu sıralamaktan ziyade, özellikle dikkat edilmesi gereken kritik noktaları vurgulamaya yönlendirecektir. Bariyer yanıtma mekanizmaları, uzun listeler oluşturmak yerine dikkat çekici işaretler olarak kullanıldığında, Bow-Tie Yönteminin iletişimdeki etkinliği önemli ölçüde artacaktır.



4. BİR KAZAN DAİRESİNDE ÇALIŞAN SICAK SU KAZANINDA YAPILAN BOW-TİE RİSK ANALİZİ ÇALIŞMASI

Basınçlı kaplar gelişen günümüz teknolojisinde firma üretim aşamasından ürün satışına kadar tüm mühendislik hesaplamaları yapılarak, gerekli tüm test aşamalarından geçerek belirli emniyet kullanım standartlarında ihtiyaç duyulan iş kapasitelerine göre tasarlanmakta ve kullanılmaktadır. Risk modelimizdeki ana tehlikenin oluşabilmesi için çokça kusuru aynı anda barındırması ve hata silsilesinin peş peşe çakışması durumunda nadir ama kaçınılmaz olan patlama olayı meydana gelmekte ve şiddetine göre ölümlü iş kazalarına sebebiyet vermektedir. Bu durumun öncesi ve sonrasında yaşanabilecek olayları araştırıp, derlenmesiyle bir dizi tehditler ve bariyerler üzerinde çalışma yapılmıştır.

Kazan dairesinde bulunan bir sıcak su kazanının oluşabilecek bir patlaması ana tehlike kaynağı olarak belirlenerek yapılan bu çalışmada, buna sebebiyet veren tehditleri ve patlama sonucu meydana gelen durumları ele alan bir çalışma yapılmıştır. Tehditler belirlenerek önleyici bariyerler ve yanılma mekanizmaları oluşturulmuş, aynı şekilde yaşanacak bir patlamada ortaya çıkan sonucu önleyici bariyerler ve yanılma mekanizmaları analiz edilmiştir.



Şekil 4.1. Bow-tie modeli

4.1. Tehditler ve Önleyici Bariyerleri

Bow-tie risk analizinde bariyerler ile bariyer yaniltma mekanizmaları arasında doğrudan ilişki olabileceği gibi olmadığı durumlar da görülebilir. Yapılan analizde bariyer yaniltma mekanizmalarının çok sayıda bulunması anlaması güç, karmaşık bir diyagram ortaya sunacaktır. Bu durum diyagramın anlaşılmması ve kullanılmaması riskini artıracaktır. Kazan dairelerinde ısıtma ve sıcak su kullanımı için kullanılan basınçlı kaplardan kazan özelinde yapılan bu çalışmada; patlama olayına karşın oluşabilecek tehditler, önleyici bariyerler ve bariyer yaniltıcı mekanizmaları alt başlıklarda değerlendirilmiştir.



Resim 4.6. Sıcak su kazanı

4.1.1. Kazanın Susuz Kalması (Tehdit 1)

Kazanlarda risk oluşturan en önemli etkenlerden biri susuz kalmasıdır. Kazanın susuz kalma süresi arttığında ve fark edilemediği durumlarda metal yüzeyin sıcaklığı artmakta ve suyla teması gerçekleştiği esnada büyük patlamalara sebebiyet vermektedir. Bu riskin oluşmaması için bazı önleyici bariyerler ve yanıtıcı mekanizmalar kullanılmaktadır. Bunlar:

- Bariyer: Saf su kullanmak,
Yanıtma mekanizması: Maliyeti arttırması,
- Bariyer: Su seviyesi azaldığında geri bildirim yapan elektronik haber verici kullanmak,
- Bariyer: Operatör sayısının yeterli sayıda ve iyi eğitilmiş olması,
Yanıtma mekanizması: Ehl personel yetersizliği, maliyet arttırması,
- Bariyer: Periyodik olarak (günlük, haftalık, aylık ve yıllık) düzenli bir şekilde bakım ve test kontrollerinin yapılması,
Yanıtma mekanizması: Bir şey olmaz anlayışı (umursamazlık), disiplinsizlik,

- Besleme suyu boruları üzerine, en az birer adet stop valfı ve geri tepme klapesi konması,

Yanılma mekanizması: Bakımsızlık, kullanılan malzemenin kalitesiz ve uygunsuz olması.



Resim 4.7. Kazan termostat/sıcaklık-basınç göstergeleri



Resim 4.8. Kazan emniyet ventili

4.1.2. Kazanın Yüksek Basınçlara Çıkması (Tehdit 2)

Kazan bazı sebeplerden dolayı yüksek basınçlara çıkabilir. Kazan kontrolsüz bir şekilde basınçlandığında istenmeyen kazalar meydana gelebilmektedir. Her ne kadar tahliye vanası, emniyet ventili gibi mekanizmalar buna engel olsada kazalar kaçınılmaz olmaktadır. Bunu engelleyici bariyerler ve yanıtıcı mekanizmalar şu şekildedir:

- Bariyer: Emniyet ventili,
Yanıtma mekanizması: Sabit ventilin uygun olmaması, ayarlanabilir ventillere müdahale edilebilir olması,
- Bariyer: Basınç göstergesi (manometre) ve takibi,
Yanıtma mekanizması: Kalibre edilmemesi, dikkat dağınıklığı, personelin kişisel sorunları,
- Bariyer: Patlama kapağının bulunması,
- Bariyer: Limit termostatu kullanımı,
Yanıtma Mekanizması: Arızalanma durumu,
- Bariyer: Giriş/çıkış vanaları,

- Bariyer: Periyodik kontroller ve bakımlar,
Yanıtma mekanizması: Zaman alması, önemsenmemesi,
- Bariyer: Vardiya değişimlerinde kazan emniyet subaplarının kontrolü,
Yanıtma mekanizması: Tecrübesiz personel.



Resim 4.9. Patlama kapağı

4.1.3. Yakıt Kaynaklı Patlamalar (Tehdit 3)

Brülöre yakıt gönderen hattaki selenoid vananın kesmemesi sonucu kazan içerisine yakıt birikmesi ve ateşleme durumunda parlamadan kaynaklı kazanın basınca maruz kalarak patlama riski oluşturması yakıt kaynaklı patlama sebebidir. Bu tip risklerin oluşmaması için önleyici bariyerler ve yanıtıcı mekanizmalar şunlardır:

- Bariyer: Yakıt seviyesi kritik doluluğa ulaştığında geri bildirim yapan elektronik sensör kullanmak,
Yanıtma mekanizması: Arızalanabilir olması,
- Bariyer: Selenoid vananın kesmemesinden kaynaklı oluşabilecek arızanın giderilebilmesi için selenoid vananın durumunu kontrol eden optoelektronik sensör kullanılarak sistem geri bildiriminin sağlanması,
- Bariyer: Operatör sayısının yeterli ve iyi eğitilmiş olması,
Yanıtma mekanizması: Ehil personel yetersizliği, uzun çalışma süreleri,

- Bariyer: Periyodik olarak (günlük, haftalık, aylık ve yıllık) düzenli bir şekilde sistemin ve kontrol elemanlarının bakımlarının yapılması,

Yanıtma mekanizması: Bakımda kullanılan ekipmanların/gereçlerin yetersizliği, kalitesiz ürün kullanma,

- Bariyer: Periyodik muayenelerinin zamanında ve akredite olan firmalarca yapılması,

Yanıtma mekanizması: Kontrollerde yapılması gereken tetkiklerin eksik ve itinasız yapılması,



Resim 4.10. Yangın ikaz butonu

4.2. Sonuçlar ve Önleyici Bariyerler

Yaşanan iş kazalarının azaltılması, yaşanan kazalarda ölüm ve yaralanmaların meydana gelmemesi hem sosyal hem de ekonomik sebepler açısından birincil öncelik ifade etmektedir. Yapılan çalışma neticesinde Kazan patlaması durumunda ortaya çıkabilecek sonuçlar, önleyici bariyerler ve yanıtma mekanizmaları alt başlıklarda değerlendirilmiştir.



Resim 4.11. Emniyet ve uyarıcı tedbirler

4.2.1. Ölüm ve Yaralanma Durumu (Sonuç 1)

Kazan patlaması durumunda yaşanabilecek en olumsuz durum şüphesiz ölüm ve yaralanma durumudur. Bu durumların yaşanmaması için önleyici bariyerler belirlenmesi ve bilinmesi, yanıtma mekanizmalarının tespit edilmesi kaza sonrası yaşanacak can kaybı ve yaralanmaları en aza indirecektir. Bunlar şu şekilde değerlendirilmiştir:

- Bariyer: Kaza durumlarının önlenmesi ve kaza sonrası yapılacakların da yer aldığı iş güvenliği ve uyarı levhalarının asılması,

Yanıtma mekanizması: Zamanla özelliğini yitirmesi, yerlerinin uygun olmaması,

- Bariyer: Kazan dairesinin bulunduğu bölüm patlamaya ve yangına dayanıklı ayrı bir bölme ile ayrılması,

Yanıtma mekanizması: Maliyetli olması,

- Bariyer: Kazan dairesinin üst tarafında elektrik odası varsa bulundurulmamalı, insanın sürekli çalıştığı ortam olmamalı,

Yanıtma mekanizması: Kurulum aşamasında yapılan plansızlık,

- Bariyer: Personele İş Sağlığı ve Güvenliği eğitiminin verilmesi ve koruyucu ekipmanlarının iş sırasında eksiksiz olması,

Yanıtma mekanizması: Eğitimlerin anlaşılabilirliği, ekipmanın konforsuz ve kalitesiz olması,

- Bariyer: Personelin ilkyardım eğitimi almış olması,

Yaniltma mekanizması: Düzenli aralıklarla tatbikat yapılmaması,

- Bariyer: Kaza, yaralanma ve ölüm olaylarında aranacak acil durum numaralarının görülebilecek yerlere asılması ve bilinmesi, kritik durumlar için direk hat kullanılması,

Yaniltma mekanizması: Bilgilendirici afişlerin güncel olmaması, patlama sonrası hatların hasar alması,

- Bariyer: Patlamada çıkabilecek yangına müdahale etmek için personele eğitim verilmiş olması, ikaz sistemlerinin erişilebilir mesafede olması, yangın söndürme cihazlarının uygun yerlere konması ve periyodik kontrollerinin düzenli olarak yapılması,

Yaniltma mekanizması: Verilen eğitimlerin gerçekçi olmaması, pratiğinin yapılmaması,

- Bariyer: Acil durum ve Tahliye talimatlarının olması ve çalışılan yerden rahat görülebilir yerde konumlandırılması,

Yaniltma mekanizması: Kaçış güzergâh zeminlerinin engebeli ve kaygan olması,

- Bariyer: Patlama esnasında tehlikeli bölgeden personelin güvenli bir şekilde uzaklaşabilmeleri amacıyla sadece acil çıkış maksadıyla kullanılması için aydınlatmalı/fosforlu zemin işaretlemeleri ve duvar üstü “Acil Çıkış” yön levhalarının bulunması,

Yaniltma mekanizması: Kullanılan malzemelerin exproof özellikli olmaması,

4.2.2. Maddi Hasar ve Kayıplar (Sonuç 2)

Yaşanacak bir kazan patlaması durumunda ölüm ve yaralanmanın olmadığı fakat çok ciddi maddi hasarlar ve kayıpların meydana geldiği kazalar yaşanabilir. Bu hasar ve kayıpların en aza indirgenmesi için önleyici bariyerler ve yaniltma mekanizmaları olarak şunlar değerlendirilmiştir:

- Bariyer: Kazanların çevresine daha az zarar vermesi amacıyla ayrı özel bir bölüm içerisine alınması ya da etrafının kafes veya tel gibi materyallerle çevrelenmiş olması,
- Bariyer: Kaza durumlarının önlenmesi ve kaza sonrası yapılacakların da yer aldığı iş güvenliği ve uyarı levhalarının asılması,

- Bariyer: Cam, sivri ve kesici aletler gibi patlamada tehdit arz eden ürünlerin kazan yakınlarında bulundurulmaması,

Yanıtma mekanizması: Çalışma alanındaki tertip, düzen eksikliği,

- Bariyer: Kazanın bulunduğu bölgede yangına dayanıklı malzemelerin (beton, tuğla, yanmaz boya, seramik vb.) kullanılması,

Yanıtma mekanizması: Maliyetli olması,

- Bariyer: İşyerinde bulunan eşyaların sigorta ve kaskolarının yaptırılarak maddi kayıpların önüne geçilmesi,

Yanıtma mekanizması: İşverenin yeterli bilgiye sahip olmaması ve maliyetli bulması,

- Bariyer: Patlamanın olduğu bölgede arızalanan bir teçhizat tespit edildiğinde diğer teçhizatlara zarar vermemesi amacıyla bağlantı akışının kesilmesi ve kontrol altına alınması,

Yanıtma mekanizması: Kaza sonrası şok etkisi.

4.2.3. Hizmetin Aksaması Durumu (Sonuç 3)

Patlamanın bir diğer ağır sonuçlarından biri de işin durması veya aksaması durumudur. Patlama sonunda kazanın kullanım durumuna göre hizmet aksayacak veya duracaktır. İşletmenin işleyişinin çok etkilenmemesi için önleyici bariyerler ve yanıtma mekanizmaları olarak şunlar değerlendirilmiştir:

- Bariyer: Patlama sonrasında sistemin devamlılığı amacıyla iş yeri depolarında yedek parçaların bulundurulması veya temin edilebilecek yerlerin planlanmış olması

Yanıtma mekanizması: Malzeme raf ömürleri,

- Bariyer: Patlama sonrasında oluşabilecek dijital veri kaybının önlenmesi amacıyla düzenli olarak verilerin yedeklenmesi,

- Bariyer: Olası bir patlama durumunda kurtarılması gereken dosya ve belgelerin önceliklerine göre sıralanarak kurtarılması,

- Bariyer: Patlama sonucunda enerjinin devamlılığının sağlanması için kesintisiz güç kaynakları (UPS) ve jeneratörlerin bulunması,

Yanıtma mekanizması: UPS ve Jeneratörlerin faal ve hazır tutulmaması,

- Bariyer: Patlama sonrası iş gücü verimliliğinin sağlanması ve personel moralinin yüksek tutulması amacıyla patlamadan etkilenen çalışanlara psikolojik destek verilmesi.

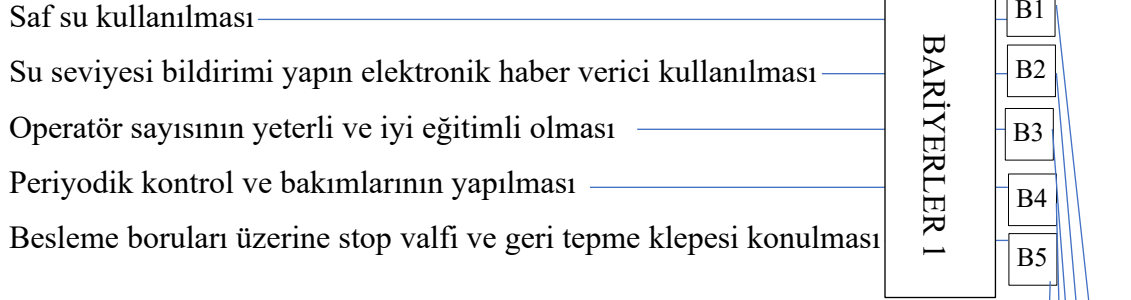
4.3. ANALİZ DEĞERLENDİRMESİ

Sıcak su kazanın patlaması, kritik olay olarak belirlenmiştir. Patlamanın meydana gelebilmesi için tehditler; kazanın susuz kalması, yüksek basınçlara çıkması ve yakıttan kaynaklı oluşabilecek nedenler olarak çalışılmış, patlama sonrası olası sonuçlar; ölüm ve yaralanma durumu, maddi hasar ve kayıplar ve hizmetin aksaması durumu olarak belirlenmiştir. Bu tehditlerin ve sonuçların yaşanmaması için önleyici bariyerler ve yanıtma mekanizmaları yapılan analiz çalışmasında ayrı ayrı saptanmıştır. Yanıtma mekanizmaları belirlenirken aşırı detaydan kaçınılmış, kaynaktan uzaklaşmamıştır. Çalışılan bölgenin dinamik bir yapıda olması nedeniyle yanıtma mekanizmalarının bariyerleri genel olarak alt başlıklarda ele alınmıştır.

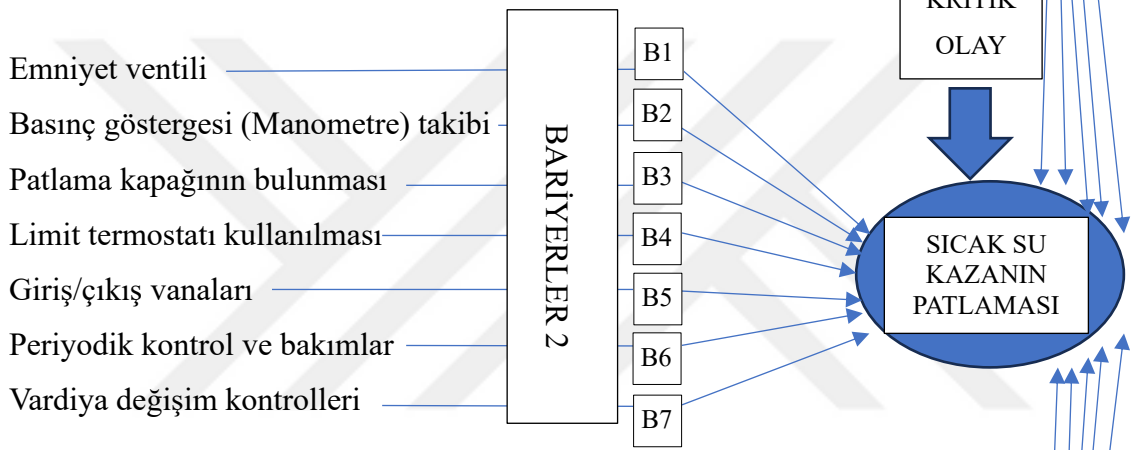
4.3.1. Yanıtma Mekanizmalarının Bariyerleri

1. Düzenli aralıklarla tatbikat yapmak.
2. Çalışanı ve işvereni olası risklere karşı hazır tutmak ve ilgililere risk analizinin anlaşılabilirliğini sağlamak.
3. Bariyerler olarak belirlenen alınan veya alınacak önlemleri düzenli olarak kontrol etmek, uyulmaması durumlarda caydırıcı yaptırımlar uygulamak.

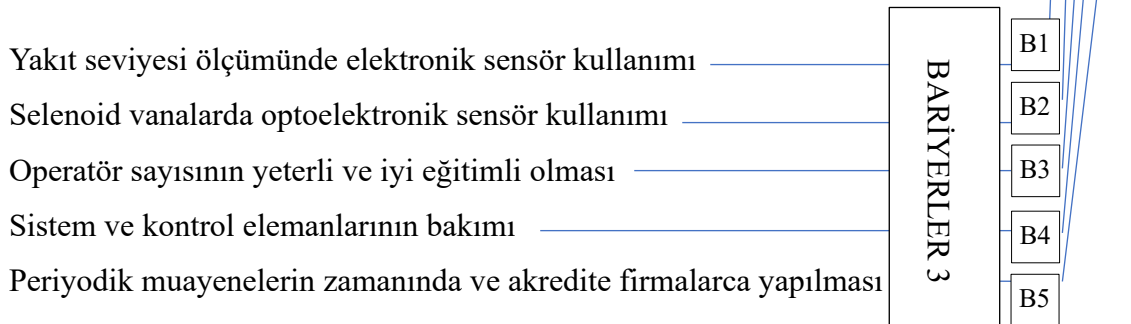
4.1.1 KAZANIN SUSUZ KALIP PATLAMASI (TEHDİT 1)



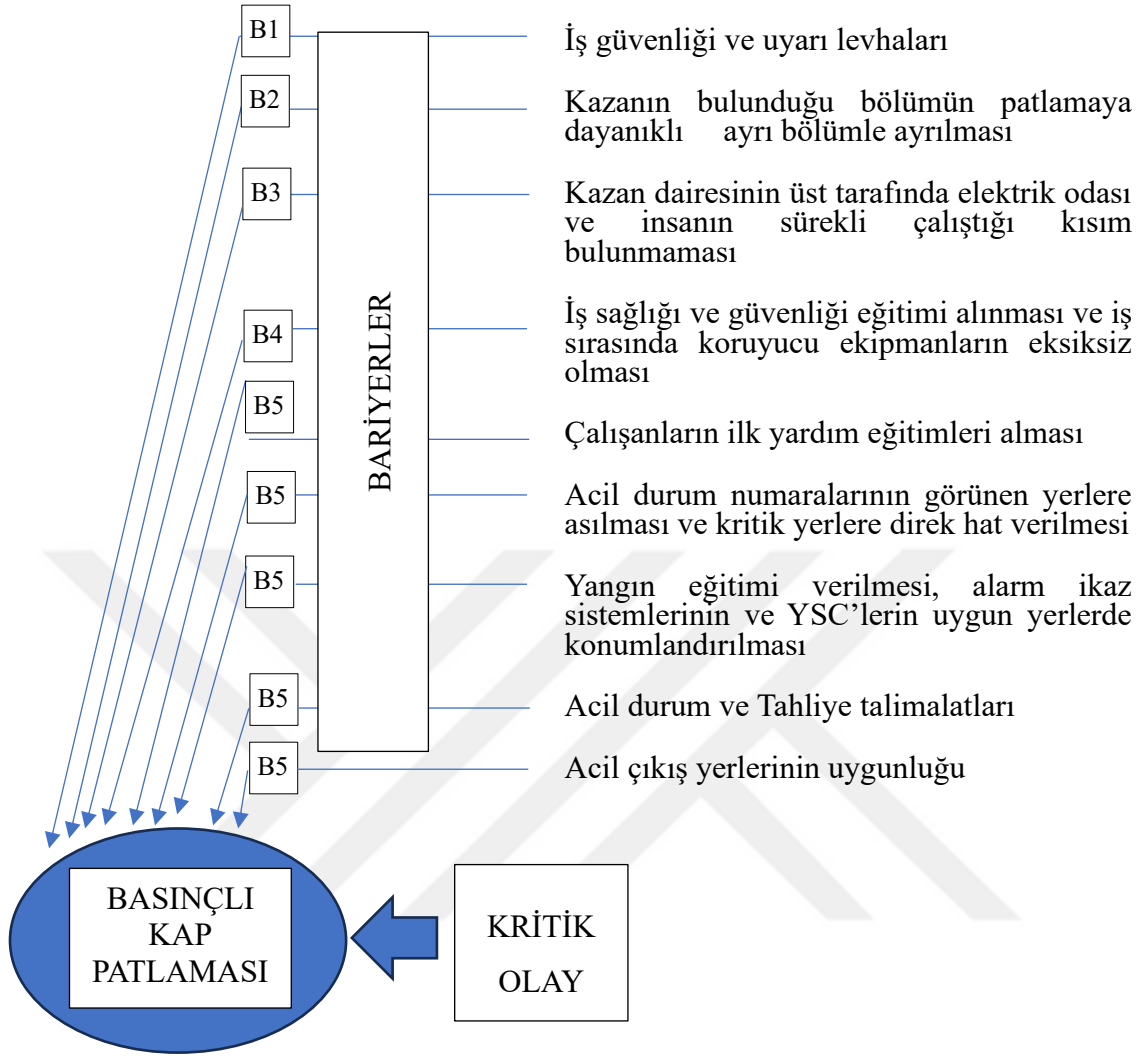
4.1.2. KAZANIN YÜKSEK BASINÇTA PATLAMASI (TEHDİT 2)



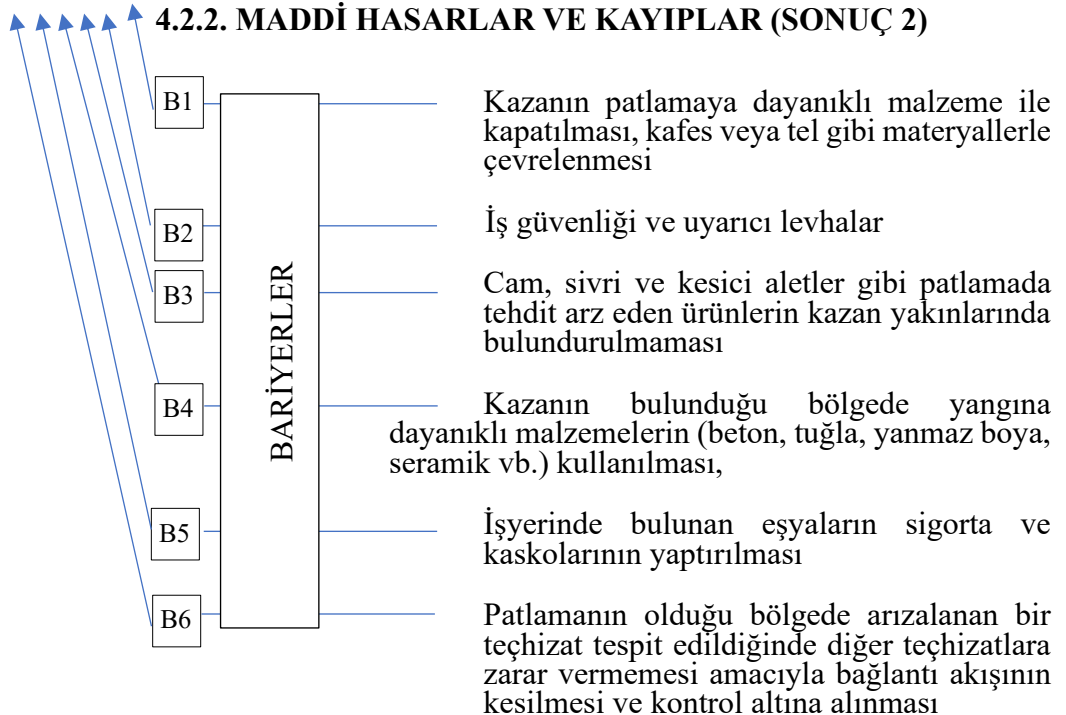
4.1.3. YAKIT KAYNAKLI PATLAMALAR (TEHDİT 3)



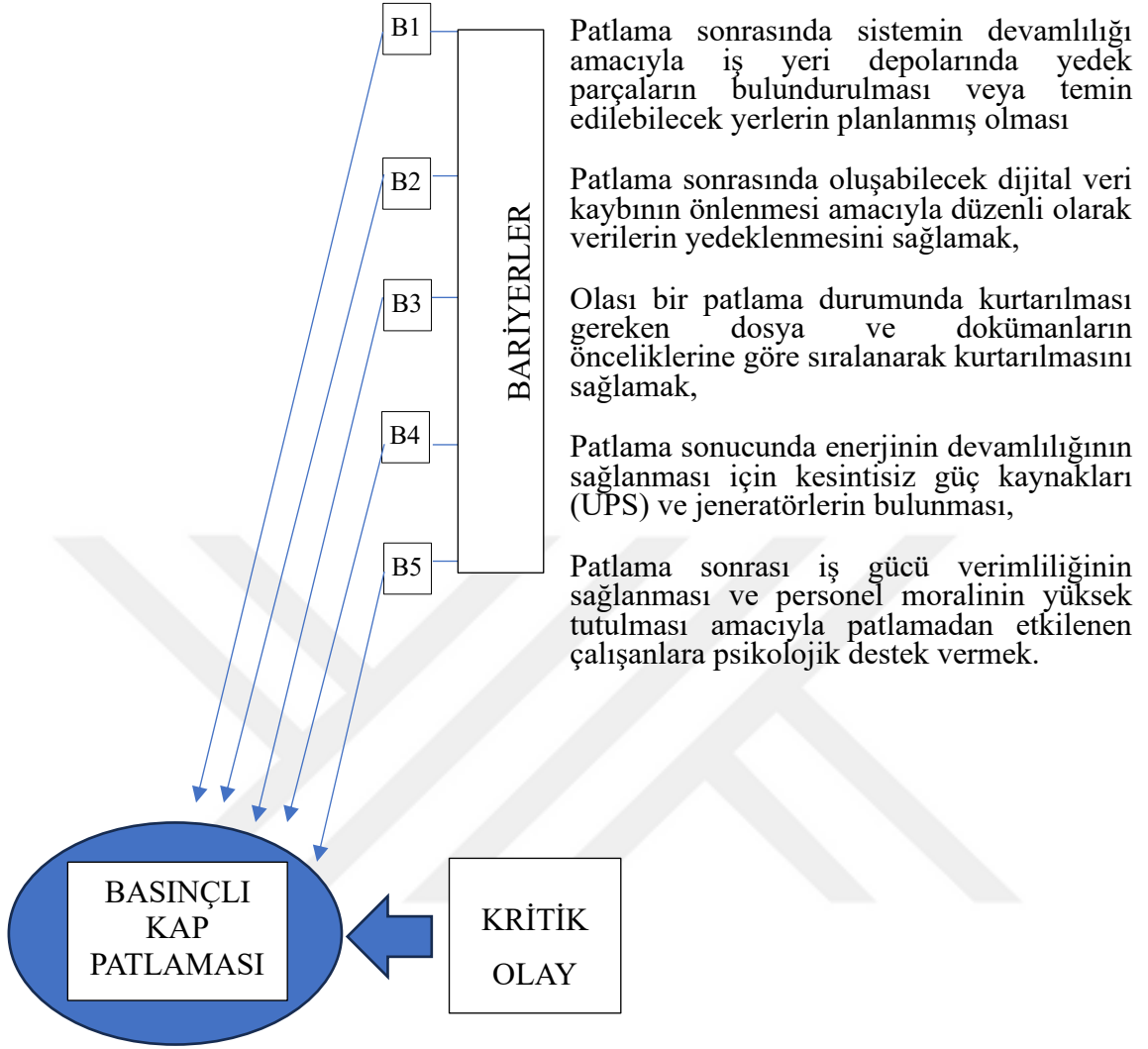
4.2.1 ÖLÜM VE YARALANMA DURUMU (SONUÇ 1)



4.2.2. MADDİ HASARLAR VE KAYIPLAR (SONUÇ 2)



4.2.3 HİZMETİN AKSAMASI DURUMU (SONUÇ 3)



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Endüstriyel tesislerde ve sanayinin her bir kolunda farklı amaçlarla kullanılan, üretimin her kademesine doğrudan etki eden, insan ve makine etkileşiminin en yoğun görüldüğü unsurların en başta gelenlerinden biri basınçlı kaplardır. Bu çalışmamızda basınçlı kapların üretiminden kullanım sahasına kadar olan süreçte bilinmesi gereken gerekli tanımlar ve metotları, Bow-tie risk modellemesinin çalışma biçimi ve üzerine yapılan çalışmaları ve neticesinde bir sıcak su kazanının patlaması olayını çalışmanın merkezine alarak nedenlerini ve sonuçlarını modellemenin gerektirdiği üzerine incelenmiştir.

Bow-tie risk modellemesinin bu tür sahalarda kullanımının; özellikle risk oluşturan unsurların fotoğraflanıp, sonucunda olası olayların açacağı hasarı en aza indirmek için yapılması gerekenleri aynı diyagramda çalışarak; işçi ve işvereni potansiyel kazalara/ölümlere karşı koruma mekanizması olarak fayda sağlayacağı bu çalışmayla görülmüştür. Ayrıca metodun en çok da fazla detaylandırma içermeyen özellikle çalışanı bilgilendirme konusunda etkili olacağı anlaşılmaktadır.

Yapılan çalışma şunu da göstermiştir ki; Olay örgüsünün merkezinde yer alan Ana Tehlike unsurunun (kritik olay) birden fazla olduğu risk analizlerinde, bunların aynı çalışmada yer alması anlam karmaşası yaratabileceği, risk analizini zorlaştıracak ve karmaşık bir metot oluşturacağı analiz aşamasında tespit edilmiştir. Bu sebeple yapılan analizin kritik olayı olarak sadece ‘‘Kazan Patlaması’’ olarak ele alınmıştır. Her kritik belirlenen olay için farklı analiz ve çalışma yapmak daha sağlıklı sonuçlar yaratacaktır. Ayrıca analizde yer alan her tehdit bir tehlike unsurudur. Fakat ana tehlike değildir. Kritik olayların doğru belirlendiği yapılan analiz sonucunda açıkça fark edilebilmektedir. Örneğin; tehdit olarak analiz ettiğimiz kazanın susuz kalması eğer kritik olayımız olsaydı, bu kritik olayın tehditlerine saf su kullanmamak veya su düzey denetim sistemindeki oluşabilecek arızalar denilebilirdi. Aynı şekilde susuz kalmasının oluşturabileceği sonuçlara da patlama veya kazan kullanım ömrünün azalması gibi neticeler söylenebilirdi. Bu şekilde ilerlenecek bir analiz çalışması Bow-tie metoduna sistemsel olarak uygundur fakat etkisi ve işlevselliği düşük olacaktır. Çünkü Patlama olayı sonuç olarak kalacaktır. Asıl patlamanın vereceği hasarın sonuçları üzerine analiz eksik kalacaktır. Buda acil durum planları olarak

adlandırılan kritik olay ve sonuçlar arasındaki bariyerlerin eksik olmasına sebebiyet verecektir. Yani kritik olayın eksik/hatalı belirlenmesi sistemsal olarak sonuç verecektir fakat analizin verimliliğini düşürecektir.

İnsan ve makine etkileşimli çalışma sahalarında kesinlikle risk modellemesi yapmak, önceden kaza gelebilecek yerleri öngermek ve tedbirler almak/aldırmak, işçi ve işvereni kazanın her an olabileceği tehlikesiyle yüzleştirmek ve sürekli hazır tutmak açısından önemlidir. Bow-tie risk analizi de bu sahada kullanılabilecek en iyi metotlardan biridir. Çünkü günümüz çalışma ortamında unutkanlık/dalgınlık ve hata yapmayacağını düşünme anlayışı yaşanan kazalarda sebepler kısmında ilk sıraları almaktadır. Bow-tie risk analizinin metot uygulamalarında gereksiz detaylara yer vermemesi, görsel uyarıları ön planda tutması yaşanan kaza sonrasını da planlama dahilinde tutarak ağır sonuçlar yaşanmasına tedbirler alıp bariyerler yerleştirmesi işveren ve işçi üzerinde yeterli bilgi ve farkındalık oluşturacaktır.

Sonuç olarak; basınçlı kaplar kontrolsüz durumlarda risk oluşturan ekipmanlardır. Hayatımızın her yerinde karşılaştığımız, evimizde dahi tüp, kombi ve bazı tencere çeşitleri gibi basınçlı kap niteliği taşıyan bu ekipmanların kullanımında dikkatli olunmalıdır. Risk hiçbir zaman ortadan kaldırılamaz, fakat tüm tehlike oluşturacak unsurlar belirlenebilmekte ve önlemek için tedbirler alınabilmektedir. Riski analiz etmek, yaşanabilecek kazaları önlemenin temelini oluşturmaktadır. Bu tür dinamik ve riskin değişkenlik gösterdiği çalışma sahalarında Bow-tie Risk modeli ile tehlikelerin belirlenmesi, olası sebep ve sonuçlarının araştırılması, gerçekleşmemesi için bariyerler oluşturmaları iş kazalarının azaltılmasında büyük rol alacaktır. Nihayetinde yapılan bu analizin çalışan ve işverene aktarılması, Bow-tie risk modelinin net, sade ve anlaşılır yapısı gereği alınacak tedbirlerle beraber sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı sunacaktır.

KAYNAKLAR

- Adın, H. (2016). Çeliklerin çalışma ortamlarının mekanik özelliklerine etkisi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 6(2/2), 160-173.
- Akay, A. A., Kaya, Y., ve Kahraman, N. (2013). Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen X60, X65 ve X70 Çeliklerin Kaynak Bölgesinin Etüdü. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(2), 34-42.
- Akpınar, R. (2016). CE İşaretinin Önemi ve İzmir Sanayisinde Uygulaması. *International Journal Of Eurasia Social Sciences*, 2013(12), 75-90.
- Andaç, M. (2002). Risk Analizi ve Yönetimi, *İSG Dergisi*, 2(7), 14.
- Aran, A., Temel, M. A. (2004). Paslanmaz Çelik Yassı Mamül Üretimi, Kullanımı, Standartları, Sarıtaş Teknik Yayın No:1 2. Baskı, İstanbul.
- Atık, E., Meriç, C., ve Şahan, A. (2001). TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmiş Alüminyum Alaşımının Kaynak Bölgesinin Çökelme Sertleşmesi Bakımından İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(3), 75-83.
- Ayanoğlu, C. C., ve Kurt, M. (2019). Metal Sektöründe Veri Madenciliği Yöntemleri ile Bir İş Kazası Tahmin Modeli Önerisi. *Ergonomi*, 2(2), 78-87.
- Aydın, K., ve Karamolla, M. (2019). Katmanlı İmalat ile Üretilen Metal Malzemelerin Kaynak Kabiliyeti. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(4), 1610-1620.
- Baba, S. (2013). Anizotropik Kalın Cidarlı Basınçlı Kapların Serbest ve Zorlanmış Titreşim Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Baday, Ş., Başak, H., ve Sönmez, F. (2017). Isıl İşlem Uygulanmış Orta Karbonlu Çelikte Mikroyapı Değişiminin Bulanık Mantık ile Tahmin Edilmesi. *Technological Applied Sciences*, 12(4), 153-162.
- Balcı, A. (2014). Basınçlı Kaplarda Malzeme Seçimi İçin Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Beköz, N. (2008). Kaynak Hatalarının Belirlenmesinde Tahribatsız Muayene Yöntemlerinin Önemi. *Metal ve Kaynak*, (97), 59-61.
- Bradley, I., Scarponi, G. E., Otremba, F., and Birk, A. M. (2021). An overview of test standards and regulations relevant to the fire testing of pressure vessels. *Process safety and environmental protection*, 145, 150-156.
- Büyüktuncel, E. (2012). Gelişmiş Ekstraksiyon Teknikleri, *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, (2), 209-242.

- Canlı, A. (2017). Tozaltı Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Basınçlı Kap Çeliklerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Canlı, A., İmdat, K., Yıldırım, M. S., Kaya, Y. (2019). Basınçlı Kap Çeliklerinin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi. III. Uluslararası Avrasya Multidisipliner Çalışmalar Kongresi Uygulamalı Bilimler Kitabı, 4-7 Nisan Gaziantep-Türkiye, 412-419.
- Cervatoğlu, E. (2003). İş Sağlığı ve İş Güvenliği Konusunda Bir Değerlendirme. *TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, 4(13), 23-29.
- Charles, J. (1997). Why and Where Duplex Stainless Steels, Proceeding of 5th World Conference on Duplex Stainless Steels, Netherlands.
- Chatterjee, P., Athawale, V. M., and Chakraborty, S. (2011). Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods. *Materials and Design*, 32 (2): 851-860.
- Chattopadhyay, S. (2004). Pressure Vessels Design and Practice, CRC Press Boca Raton.
- Çakır, A., Demircan, N., Kara, H. R., Kocabaş, S., ve Dilsiz, G. (2022). Bir Yeraltı Maden İşletmesindeki Kompresör Dairesi ve Basınçlı Hava İletim Hatlarının İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi. *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety*, 6(1), 15-30.
- Çetin, T. (2014). Dupleks Paslanmaz Çeliğin Nİ3AL ile Kaplanabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Çiçek, Ö., & Öçal, M. (2016). Dünyada ve Türkiye’de iş sağlığı ve iş güvenliğinin tarihsel gelişimi. *Hak iş uluslararası emek ve toplum dergisi*, 5(11), 106-129.
- Dal, S., Çarboğa, C., ve Kurt, B. (2017). Farklı Oranlarda Al İçeren TRIP Çeliğinin Mig-Mag Kaynak Tekniği ile Kaynağı ve Mikroyapısının İncelenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 563-570.
- Durgutlu, A., Kahraman, N., ve Gülenç, B. (2005). Bakır ve Çelik Levhaların Örtülü Elektrot ve TIG Kaynak Yöntemleri ile Birleştirilmesi ve Ara yüzey Özelliklerinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(2), 13-22.
- Fayazbakhsh, K., Abedian, A., Manshadi, B. D., and Khabbaz, K. S. (2009). Introducing a Novel Method For Materials Selection İn Mechanical Design Using Ztransformation İn Statistics For Normalization Of Material Properties. *Materials and Design*, 30, 4396-4404.
- Gökçe, H. (2015). Yüksek Basınçlı Küresel Tank Sistemlerinde Geometri Tabanlı Uygun Basınç Dağılımlarının Belirlenmesi. *TÜBİTAK-SAGE Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü*, 46-54.
- Gülşahin, A., Cerim, H., ve Soykan, O. (2020). Su Ürünleri Mühendisliği’nde Donanımlı Dalışın İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 94-101.

- Habiboğlu, H. (1993). Basınçlı Kapların İmalatı, Test Yöntemleri ve Periyodik Kontrol, Türk Loydu Vakfı, İstanbul.
- İç, Y. T., Balcı, A., ve Yurdakul, M. (2018). Basınçlı Kaplarda Malzeme Seçimine Yönelik Bir Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(1), 47-85.
- Johansson, P., ve Liljas, M. (2002). A New Lean Duplex Stainless Steel for Construction Purposes. Proceeding of 4th European Stainless Steel Conference and Market, Paris.
- Kahraman, N. (2017). URT418: Boru ve Basınçlı Kapların Kaynağı Ders Notları, Karabük Üniversitesi, İmalat Mühendisliği, Karabük.
- Kahraman, N., Gülenç, B., Akça, H. (2002). Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Ostenitik Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Çeliğin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(2), 75-85.
- Kalkan, M. E., Oktor, K., ve Özdemir, N. (2017). Yangın ve Patlama Potansiyeli Olan Tehlikeli Ekipmanların Belirlenmesi: Dow İndeksi. *Uluslararası Yakıtlar Yanma ve Yangın Dergisi*, (5), 1-7.
- Kamer, M. S., ve Kaya, A. (2020). Su Tasarrufu Sağlayan Emniyet Valfinin Yerel Kayıp Katsayısının Belirlenmesi ve Yüzey Pürüzlülüğünün Akışa Olan Etkisinin İncelenmesi. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 180-195.
- Karabay, M. (2002). Türkak ve ISO EN TS 17025. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 4(3), 186-188.
- Karacif, K., Çarboğa, C., ve Candemir, D. (2019). Düşük oranlarda bor içeren az karbonlu çeliklerin asidik ve tuzlu ortamlarda korozyon özelliklerinin incelenmesi. *Journal of Boron*, 4(1), 39-45.
- Kayabek, İ., ve Çevik, C. (2022). Sağlık Çalışanlarında İş Yeri Risk Faktörleri ve Korumaya İlişkin Bir Derleme. *Ordu Üniversitesi Hemşirelik Çalışmaları Dergisi*, 5(2), 258-268.
- Kılıç, O. G. (2008). Uluslararası Ticarete Teknik Engeller ve Ürün Standartları Açısından CE Uygunluk İşareti ve Makina İmalatı Yapan Firmaların İhracatına Etkisi Üzerine Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Kırtaş, H. A., ve Altundağ, H. (2020). Depolanabilir Tanklarda Sıcak İş Çalışmalarının Uygulanması ve Çevre Güvenliği Tedbirleri. *İSG Akademik*, 2(2), 161-170.
- Küçüköner, H. (2019). Dupleks Paslanmaz Çelik ve Basınçlı Kap Çeliğinin Tozaltı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Birleştirmelerin Mekanik/Mikro Yapı Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Lewis, S., ve Smith, K. (2010). Lessons Learned from Real World Application of the Bow-tie Method, 6th Global Congress on Process Safety, San Antonio, Texas, USA, 22-24 March.

- Mert, T. (2013). MIG-MAG Kaynağında Duman Oluşumu. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(2), 15-28.
- Özkılıç, Ö. (2007). İş Sağlığı, Güvenliği ve Çevresel Etki Risk Değerlendirmesi, Yayın No:540, MESS- Metal Sanayileri Sendikası Yayınları, İstanbul.
- Özkan, O., Zeybek, M., ve Ertürk, İ. (2016). Kaynaklı Çelik Yapılarda Tamir Kaynağı ve Prosedürü. *Mühendis ve Makina*, 57(673), 39-47.
- Primrose, M. J., Bentley, P. D., van der Graaf, G. C., ve Sykes, R. M. (1996). Shell International Exploration and Production B.V., The HSE Management System in Practice-Implementation, SPE Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production Conference, New Orleans, Louisiana, USA, 9-12 June.
- Sapuan, S. M., Jacob, M. S. D., Mustafa, F., and İsmail, N. (2002). A Prototype Knowledge-Based System For Material Selection Of Ceramic Matrix Composites Of Automotive Engine Components. *Materials and Design*, 23, 701-708.
- Sayılgan, U. (1993). Basınçlı Kapların Tanımı, Tasarımı, Standartları, Türk Loydu Vakfı, İstanbul.
- Sözen, L., Yurdakul, M., ve İç, Y. T. (2021). Yorulmaya Maruz Kalan Basınçlı Ekipmanlarda Periyodik Muayene Zamanının Hasar Olasılığı Tahmini Yapılarak Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(4), 1977-1992.
- Stewart, M., ve Lewis, O. T. (2012). *Pressure Vessels Field Manual: Common operating problems and practical solutions*. Gulf Professional Publishing.
- Şenyürek, Ü., Soyhan, H. S., ve Çelik, C. (2023). İşletmelerde Deprem Kaynaklı Yangınların Önlenmesi. *Uluslararası Yakıtlar Yanma ve Yangın Dergisi*, 11(1), 1-17.
- TSE, (2023). Yönetmelikle ilgili bilgilere ve ilgili tanımlamalara <https://www.tse.org.tr/basinccli-ekipmanlar-yonetmeligi-uygunluk-degerlendirme-islemleri/> adresinden ulaşılabilmektedir. Erişim tarihi: 27.11.2023.
- Türkel, V. (2004). Küresel LPG Tanklarının Tasarımının ve İmalatının Bilgisayar Yardımıyla İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Usta, O. (2019). Hızlandırılmış Erozyon Testleriyle Malzemelerin Kaviteasyon Erozyonu Özelliklerinin İncelenmesi. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, (216), 32-49.
- Wolters Kluwer (2023). Bowtie Suite. <https://www.wolterskluwer.com/en/solutions/enablon/bowtie> (Erişim Tarihi: 16.12.2023).
- Yalçın, F. (2023). Basınçlı Kap Çeliklerinin MAG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Tahratsız/Tahratlı Muayenesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Karabük.
- Yılmaz, R. (2018). Basınçlı Gaz Tüplerinde Güvenli Çalışma Koşulları. *OHS Academy*, 1(2), 74-82.

Yürük, A. (2016). Farklı Alüminyum Alaşımlarının MIG Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(3), 894-901.

(Resim 4.3.) <http://www.certest.com.tr/basincli.asp>

(Resim 4.3.) <https://www.igbteknik.com.tr/basincli-kaplar-ve-kazanlar-periyodik-kontrolu/>

(Resim 4.3.) <https://www.denetim.com/muayene/basincli-kaplar-ve-kazanlar/>

(Resim 4.3.) <https://www.indiamart.com/proddetail/pressure-vessel-inspection-testing-service-2851974875891.html>

(Resim 4.1.) <https://www.onculab.com/hizmet/44/basincli-kaplarin-periyodik-test-ve-kontrolleri>

(Resim 4.5.) <https://www.isghizmetleri.info/makaleler/basincli-kaplar>

(Resim 4.2.) <http://gencmakinaci.blogspot.com/2010/12/basncl-kap-tasarm-analiz.html>