

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



BASINÇLI ÇALIŞMALARDA RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selçuk DURGUT

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

İş Sağlığı ve Güvenliği Programı

Mart, 2019

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



BASINÇLI ÇALIŞMALARDA RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selçuk DURGUT
(Y1713.220030)

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı
İş Sağlığı ve Güvenliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Reşit ERÇETİN

Mart, 2019





T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı İş Sağlığı ve Güvenliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1713.220030 numaralı öğrencisi **Selçuk DURGUT** 'un "**BASINÇLI ÇALIŞMALARDA RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ**" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 06.02.2019 tarih ve 2019/04 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *ay.birlik* ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak *kabul* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 04/03/2019

1) **Tez Danışmanı:** Dr. Öğr. Üyesi Reşit ERÇETİN

2) **Jüri Üyesi** : Doç. Dr. Ahmet Emin KUZUCUOĞLU

3) **Jüri Üyesi** : Dr. Öğr. Üyesi Sepanta NAIMI

.....
.....
.....

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.



YEMİN METNİ

Yüksek Lisans olarak sunduğum “Basınçlı Çalışmalarda Risklerin Değerlendirilmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (.../.../2019)

Selçuk DURGUT





ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca bana yapmış olduğu desteklerinden dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Reşit ERÇETİN'e, ve derslerinden İş sağlığı ve güvenli konularında çok faydalı bilgiler aldığım değerli hocam Dr. Necla DALBAY'a teşekkür ederim.

Özellikle bu çalışmayı yaparken manevi desteğini her zaman hissettiğim sevgili eşim Yeşim'e ve biricik kızım Eylül'e en içten dileklerle teşekkür ediyorum.

Mart, 2019

Selçuk DURGUT





İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖNSÖZ | vii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| KISALTMALAR | xi |
| ÇİZELGE LİSTESİ | xiii |
| ŞEKİL LİSTESİ | xv |
| ÖZET | xvii |
| ABSTRACT | xix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Çalışma Konusu | 1 |
| 1.2 Tezin Amacı | 1 |
| 1.3 Hipotez | 1 |
| 2. BASINÇ TESTLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER | 3 |
| 2.1 Neden Basınç Testi Yapılır? | 3 |
| 2.2 Basınç Testi Çeşitleri | 3 |
| 2.3 Basınç Testlerinde Güvenlik Neden Önemlidir? | 4 |
| 3. BASINÇ TESTLERİNDEKİ RİSKLER | 7 |
| 3.1 Patlama ve Parça Fırlama Tehlikesi | 7 |
| 3.1.1 Depolanmış Enerji | 7 |
| 3.1.1.1 Akışkanların genişleme enerjisi | 8 |
| 3.1.1.2 Gerginlik enerjisi | 11 |
| 3.1.2 Depolanmış Enerjinin TNT Eşdeğerliği | 12 |
| 3.2 Sıvı Fıskırma Tehlikesi | 15 |
| 3.3 Diğer Tehlikeler | 18 |
| 3.3.1 Bağlantı elemanlarının yerinden çıkması tehlikesi | 18 |
| 3.3.2 Yüksekten düşme tehlikesi | 18 |
| 3.3.3 Sıcak sıvı veya buhara maruziyet tehlikesi | 19 |
| 3.3.4 Elektrik akımına kapılma tehlikesi | 19 |
| 4. BASINÇLI ÇALIŞMALARDA RİSKLERDEN KORUNMA | 21 |
| 4.1 Güvenli Mesafe Hesaplamaları | 21 |
| 4.1.1 Parça fırlaması tesir mesafesi | 21 |
| 4.1.2 Şok dalgası tesir mesafesi | 23 |
| 4.1.3 Sıvı Fıskırması Tesir Mesafesi | 25 |
| 4.2 Test Yönteminin ve Basıncının Belirlenmesi | 27 |
| 4.3 Parça Fırlama Tehlikesine Karşı Bariyerleme | 29 |
| 4.4 Basınç Testi Çalışma Prosedürlerinde Dikkat Edilecek Noktalar | 32 |
| 4.4.1 Manometrelerin özellikleri | 32 |
| 4.4.2 Manometrelerin doğru konumlandırılması | 33 |
| 4.4.3 Emniyet valfleri | 34 |
| 4.4.4 Hidrolik testlerde sistemde sıkışan gaz | 36 |
| 4.4.5 Test yapılacak sistemin sınırlandırılması | 37 |
| 4.4.6 Whip-Check uygulaması | 43 |
| 4.4.7 Basınç hortumlarının güvenliği | 44 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4.8 Basınç üretici kaynakların güvenliği | 44 |
| 4.4.9 Basınç testi öncesinde dikkat edilmesi gereken hususlar | 47 |
| 4.4.10 Basınç testi sırasında dikkat edilmesi gerekenler hususlar | 48 |
| 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME | 51 |
| KAYNAKLAR..... | 53 |
| EKLER..... | 55 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 59 |



KISALTMALAR

| | |
|----------------|-------------------------------------------------------------|
| İSG | : İş Sağlığı Ve Güvenliği |
| ASME | : The American Society of Mechanical Engineers |
| ANSI | : American National Standards Institute |
| T.N.T | : Trinitrotoluen |
| M.S.D.S | : Material Safety Data Sheet (Malzeme Güvenlik Bilgi Formu) |
| LNG | : Sıvılaştırılmış Doğal Gaz |
| BRL | : Ballistic Research Laboratory |
| MCAA | : The Mechanical Contractors Association of America |
| PED | : Pressure Equipment Directive |
| TS | : Translate Standard |
| EN | : European Standard |
| ISO | : International Organization for Standardization |
| CE | : Conformance European |
| OSHA | : Occupational Safety and Health Administration |



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1: Çeşitli Gazların Isı Sığası Oranları..... | 9 |
| Çizelge 3.2: Sıvıların İzotermal Sıkıştırılabilirliği | 10 |
| Çizelge 3.3: Çeşitli Sıvılar İçin Huddleston's denkleminin değerleri | 11 |
| Çizelge 4.1: Çeşitli Sıvı ve Katıların Özgül Isıları | 21 |
| Çizelge 4.2: Gazlar için k değerleri tablosu..... | 22 |
| Çizelge 4.3: TNT miktarları için parça fırlama tesir mesafeleri | 22 |
| Çizelge 4.4: Şok Dalgası Tesir Mesafeleri | 23 |
| Çizelge 4.5: Boru Hatları İçin Güvenli Mesafeler | 24 |
| Çizelge 4.6: Basıncılı kaplar için güvenlik mesafeleri | 25 |



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1: Nitrojen İçin 200 bara Kadar Akışkan Genlenme Enerjisi Grafiği | 13 |
| Şekil 3.2: Çeşitli Sıvılar İçin 1000 bara Kadar Akışkan Genlenme Enerjisi Grafiği | 15 |
| Şekil 3.3: Hidrolik Yağın Örnek MSDS Formu | 16 |
| Şekil 3.4: Hidrolik Nüfuzundan 36 Saat Sonrası | 17 |
| Şekil 3.5: Hidrolik Nüfuzundan 56 Saat Sonrası | 17 |
| Şekil 3.6: Tedavi Sonrası Yaralının Durumu | 18 |





BASINÇLI ÇALIŞMALARDA RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Basınç testlerinde yapısı itibariyle hayati tehlike yaratabilecek işlerdir. Bu çalışmaların ilgili kalite standartları, mühendislik standartları ve iş güvenliği bakış açısından birlikte ele alınması gerekmektedir. Basınç testlerinde multi-disipliner bir çalışma ile risklerin minimize edilmesi ve kazaların önlenmesi mümkündür. Bu çalışmada basınç testleri ile ilgili uluslararası standartlar iş güvenliği bakış açısından incelenmiştir ve basınç testi vb. çalışma prosedürlerine iş güvenliği açısından katkı sağlamak amaçlanmıştır

Gerek yerel mevzuat gereğince basınçlı ekipmanların periyodik olarak test edilmesi gerekse basınçlı ekipmanların devreye alma süreçlerinde basınç testleri sıkça yapılmaktadır. Basınç testlerinde ilgili standartlar doğrultusunda hazırlanacak çalışma prosedürleri ile bu çalışmalarda yaralanmaların ve ölümlerin önüne geçilebilir.

Anahtar Kelimeler: *Basınç testlerinde iş güvenliği, Hidrostatik ve pnömatik basınç testlerinde güvenlik, Basınç testlerinde güvenli mesafe hesaplamaları, Basınçlı çalışmalarda güvenlik, Basınçlı çalışmalarda risklerin değerlendirilmesi*



ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL SAFETY RISK FOR WORKING WITH PRESSURE

ABSTRACT

As the nature of the pressure tests are jobs that can be fatal injury. These works need to be handled a subject delicately from the relevant quality standards, engineering standards and work safety perspective. It is possible to minimize the risks and prevent accidents with multidisciplinary works in pressure tests. In this article, international standards related to pressure tests are searching from the point of view of occupational safety and In this article aimed to contribute to safety for pressure testing procedures. Literature searching has been done by examining national and international standards and related academic publications related to pressure tests. In many international standards, it has been determined that there are substances related to work safety for pressure and pressure tests. Pressure tests are frequently carried out during periodic testing of pressure equipment and localization of pressure equipment according to local regulations. However, there is a lack of guidance to facilitate the identification of occupational safety risks for these works. If working procedures could be prepared in accordance with the relevant standards in the pressure tests, the injuries and deaths in these works can be prevented.

Keywords: *Safety in pressure tests, Safety in hydrostatic and pneumatic pressure tests, Safe distance calculations in pressure tests, Safety in pressure works, Risk assessment in pressurized works*



1. GİRİŞ

1.1 Çalışma Konusu

Basınçlı çalışmalarda risklerin iş güvenliği açısından değerlendirilmesi ve bu risklerden korunma yollarının ortaya konulması bu çalışmanın konusudur.

1.2 Tezin Amacı

Basınçlı çalışmaların en riskli riskli çeşiti olan basınç testleri yapısı itibariyle hayati tehlike yaratabilecek işlerdendir. Bu çalışmaların ilgili kalite standartları, mühendislik standartları ve iş güvenliği bakış açısından birlikte ele alınması gerekmektedir. Basınç testleri çalışmalarında multi disiplinler bir çalışma ile risklerin minimize edilmesi ve kazaların en az seviyeye indirilmesi mümkündür. Bu çalışmada basınç testleri ile ilgili ulusal ve uluslararası standartlar ve de ilgili akademik yayınların iş güvenliği bakış açısından incelenerek literatür taraması yapılmıştır ve basınçlı çalışma prosedürlerine iş güvenliği açısından katkı sağlamak amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Gerek basınçlı ekipmanları devreye alma süreçlerinde gerekse yerel mevzuat gereğince basınçlı ekipmanların periyodik olarak test edilmesi süreçlerinde ve benzeri diğer gereksinimlerden dolayı basınç testleri sıkça yapılmaktadır. Basınç testlerinde ilgili standartlar doğrultusunda hazırlanacak çalışma prosedürleri ile bu çalışmalardaki yaralanmaların ve ölümlerin önüne geçilebilir.



2. BASINÇ TESTLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Neden Basınç Testi Yapılır?

Üretilen basınçlı ekipmanların dayanımlarının test edilmesi, motajı tamamlanmış basınçlı ekipmanların devreye alma süreçlerinde ve çalışmakta olan sistemleri periyodik olarak test edilmesi gibi çalışmalarda yapılan su, hava, hidrolik yağ veya çeşitli gazlar kullanılarak yapılan çalışmalar basınç testleri olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmalar gerek sistemin optimal düzeyde çalışıp çalışmadığının teyit edilmesi gerekse hasarlı veya ömrünü tamamlamış ekipmanların değiştirilmesinden sonra devreye alma işlemleri de yapılan çalışmalardır. Ayrıca 'İş ekipmanlarının kullanımında sağlık ve güvenlik şartları yönetmeliği' gibi yerel kanunlar kapsamında da yapılması gereken zorunlu çalışmalardır. Bu testlerin yapılması sırasında çalışanların güvenliği ve basınçlı ekipmanların devrede olduğu süre boyunca tehlike yaratmadığının teyit edilmesi amacıyla yapılan bu çalışmalar iş güvenliği açısından çok önemlidir. Uygun test edilmemiş bir ekipman veya basınçlı sistem devrede olduğu sürece adeta pimi çekilmiş bir el bombasıdır. Bu sebepten dolayı basınç testleri son derece önemli multi-disipliner bir çalışmalardır.

2.2 Basınç Testi Çeşitleri

Basınç testlerinin isimlendirilmesi ile ilgili değişik tanımlamalar mevcuttur. Genel manada basınç testlerini dörde ayırabiliriz.

- Sağlık araştırma testi (Research Proof Test)

Yeni dizayn edilen basınçlı kapların test edilmesidir. Bu testler dizayn kalitesi, malzeme kalitesi ve üretim kalitesinin uygunluğunun ve güvenliğinin doğrulanması amacıyla yapılır. Veya metarüljik verilerin belirlenmesi için yapılan extreme koşullardaki testlerdir. Yüksek veya düşük sıcaklıkta malzemelerin hangi sınırlara dayandığı test edilir. Bu testler en tehlikeli basınç testleridir.

- Sağlamlık testi (Proof test)

Montaj işlerinin son aşaması olarak düşünülebilir. Basınçlı kap ve ekipmanların montajı tamamlandıktan sonra sağlamlığının test edilmesi ve sistemdeki stresin azaltılması için yapılan testlerdir. Bu testler sağlamlık araştırma testlerine göre daha az tehlikelidir.

- Sızdırmazlık testi (Leak test)

Sızdırmazlık testleri genellikle işletme basıncının %10'nu seviyesinde yapılan basınçlı kaplarda ve sistemlerde sızıntı olup olmadığını test etmek için yapılır. Fakat yüksek basınçlarda da sızdırmazlık testi yapılabilir. Basınç ve diğer şartlara bağlı olarak değişiklik gösterse de genel manada sağlamlık ve araştırma testlerine göre daha az tehlikelidir

- Fonksiyon testi (Function test)

Basınçlı tankların ve sistemlerin fonksiyonlarının kontrol edildiği testlerdir. Örneğin vanalar açılıp kapanır ve görevini yerine getirip getirmediği kontrol edilir.

Basınç testleri sistem veya ekipman içerisine doldurulan akışkanın cinsine göre de 2 sınıfa ayırabiliriz. Akışkan olarak su kullanılırsa hidrostatik basınç testi olarak adlandırılır. Akışkan olarak gaz kullanılarak yapılıyor ise pnömatik basınç testi olarak adlandırılır. Bazı basınç testlerinde havanın sisteme korozyon, oksitlenme gibi zararlar vereceği düşünülüyorsa veya patlama riski mevcut olan bir sistem ise Azot gazı (N₂) gibi inert gazlarda kullanılabilir.

2.3 Basınç Testlerinde Güvenlik Neden Önemlidir?

Günümüzde birçok işletmenin proseslerinde basınç ve basınçlı ekipmanlar mevcut durumdadır. Gerek işletmelerin yapılış aşamasındaki devreye alma süreçlerinde gerekse yerel mevzuat gereğince belirli periyotlarda yapılması gereken periyodik kontrol muayenelerinde basınç testleri uygulamaktadır. Bu çalışmalarda uzuv kaybı veya ölümlerle sonuçlanabilecek iş kazaları yaşanmaktadır. Proses güvenliği ile de bağlantılı olan bu basınç testlerinin güvenli ve doğru bir şekilde yapılması son derece önemlidir. Çünkü doğru şekilde yapılmamış basınç testleri sonrası devreye alınan sistemler adeta pimi çekilmiş bomba gibi tehlike arz etmekte ve öncede tespit edilmesi çok zor olan proses kaynaklı kazalara neden olabilmektedir. Bu yüzden

basınç testlerinin gerek yapılışı sırasında çalışanları güvenliği gerekse işletme sırasında çalışanların güvenliği için hayati önem arz etmektedir.





3. BASINÇ TESTLERİNDEKİ RİSKLER

Yapılacak testin çeşiti, kullanılan yöntem, test basıncı, sıcaklık ve kullanılan sıvı\gaz miktarlarına bağlı olarak değişmekle beraber birçok basınç testi ciddi tehlikeler içermektedir. Genel manada basınç testlerindeki ana tehlikeleri; patlama tehlikesi, parça fırlama tehlikesi, yüksek basınçlı sıvı fışkırma tehlikesi, yüksekte düşme tehlikesi, sıcak çalışmalar ile ilgili tehlikeler, bağlantı elemanlarının kopması veya yerinden çıkması olarak değerlendirebiliriz.

3.1 Patlama ve Parça Fırlama Tehlikesi

Basınç testlerinde ana olarak iki tehlikeden söz edebiliriz. Birincisi parça fırlama tehlikesi ikincisi ise patlama tehlikesidir. Bu tehlikelerin seviyesi; test sırasındaki sıcaklık, basınç, sıvı veya gaz kullanımı vb. değişkenlere bağlı olarak yani depolanan enerji (stored energy) miktarına bağlı olarak değişir.

3.1.1 Depolanmış Enerji

Basınçlı kapların ve sistemlerin testlerinde meydana gelebilecek kazaların şiddeti ve etkisi depolanan enerjinin büyüklüğüne göre değişmektedir.

Depolanan toplam enerjiyi aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz.

$$ET = EX + EC + ES \quad (3.1)$$

Burada;

- EX = Akışkanların genleşme enerjisi (fluid expansion energy)
- ES = Gerginlik enerjisi (strain energy)
- EC = Kimyasal salınım enerjisi (chemically released energy)

ifade eder. (3.1)

Basınç testlerinde depolanmış enerjiyi hesap ederken dikkat edeceğimiz 2 faktör mevcuttur. Birincisi Akışkanların genleşme enerjisi, ikincisi ise gerilme enerjisidir. Çünkü basınç testlerinde kimyasal olarak çok düşük aktivitesi olan sıvı ve gazlar (su,

azot gazı, hava vb.) kullanıldığı için kimyasal salınım enerjisi ihmal edilebilecek seviyededir.

3.1.1.1 Akışkanların genleşme enerjisi

Termodinamiğin 1. Yasasına göre bir sistemin entalpisi kapalı sistemler için sıcaklık ve yapılan işin toplamına eşittir.

$$\Delta U = Q + W \quad (3.2)$$

Test işlemi sırasında basıncın yükseltilmesiyle yapılan iş ile harcanan enerji sistemin entalpisine dahil olur.

- Gaz Dolu Sistemin Depoladığı Enerji (gas-filled system)

Gaz dolu sistemlerde yapılan basınç testlerinde sisteme eklenen enerji basınç ve hacim çarpımıdır. Test yapılacak sistemin hacmi hesaplanabilir ve test basıncıda bilindiğine göre depolanan enerji hesaplanabilir.

$$E_x = pV \quad (3.3)$$

Fakat malesef hesaplanan bu enerji gerçek depolanan enerjiden düşük kalmaktadır. Bunun handikap yaratmaması ve güvenliği tehlikeye atmaması için güvenlik katsayısı eklemek gerekmektedir.

$$E_x = n pV$$

$$n = 1,5 \text{ for } p < 50 \text{MPa} (500 \text{ bar})$$

İdeal gaz denklemi;

$$pV = nRT \quad (3.4)$$

- p = Basınç(Pa)
- V= Hacim (m³)
- n = Mol kütlesi (mol)
- R = Gaz sabiti (8,314 J/K.mol)
- T = Sıcaklık (K)

İdeal gazlar için izotermal genleşme enerjisi

$$W = p_i V_i \ln (p_f / p_i) \quad (3.5)$$

İdeal gazlar için izentropik genişleme enerjisi

$$W = \frac{1}{\gamma - 1} p_i V_i \left[\left(\frac{p_f}{p_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \quad (3.6)$$

- p_f = Atmosfer basıncı (Pa)
- p_i = İç basınç (Pa)
- V_i = Sistemin hacmi (m³)
- γ = Isı sığası oranı (c_p / c_v)

Çizelge 3.1: Çeşitli Gazların Isı Sığası Oranları

| Gaz | γ (300 K) |
|-------------------------------|------------------|
| Ne | 1.67 |
| Ar | 1.67 |
| He | 1.67 |
| N ₂ | 1.40 |
| H ₂ | 1.40 |
| O ₂ | 1.40 |
| Air | 1.40 |
| H ₂ O | 1.33 |
| CO ₂ | 1.30 |
| SO ₂ | 1.30 |
| CH ₄ | 1.31 |
| C ₂ H ₄ | 1.24 |
| C ₂ H ₆ | 1.22 |
| C ₃ H ₈ | 1.13 |

- Sıvı Dolu Sistemin Depoladığı Enerji (liquid-filled system)

Sıvı dolu sistemlerde depolanmış enerjinin hesabı da gazların entalpi hesabı gibidir. Fakat sıvıların sıkıştırılabilirliği gazlara göre çok daha az olduğu için formülizasyon farklıdır.

Hesaplama elastisite K_s olarak gösterilirse;

İzentropik elastisite aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Ks = -\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial p} \Big|_S \quad (3.7)$$

Entalpi hesabı aşağıdaki şekilde yapılır.

$$\Delta U = \int_{p_i}^{p_f} p V Ks dp \quad (3.8)$$

İzotermal elastisite Kt için entalpi hesabı aşağıdaki şekilde yapılır.

$$\Delta U \cong V Kt \int_{p_i}^{p_f} p dp = \frac{1}{2} V Kt (p_f^2 - p_i^2) \quad (3.9)$$

Çizelge 3.2: Sıvıların İzotermal Sıkıştırılabilirliği

| Isothermal compressibilities. β_T of some liquids at 1 bar, 20° (unless otherwise indicated) | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------|
| | β_T (10 ² kbar ⁻¹) | | β_T (10 ² kbar ⁻¹) |
| Hexane | 1.540 | Methanol | 1.214 |
| 2.3-Dimethylbutane | 1.797 | Ethanol | 1.119 |
| Heptane | 134 | 1-Propanol (0°) | 843 |
| Octane | 113 | 1-Butanol (0°) | 810 |
| Cyclopentane | 13.1 | 1-Pentanol (0°) | 771 |
| Cyclohexane | 1.30 | Ethandiol | 364 |
| Cycloheptane | 912 | 1-Octanol (0°) | 682 |
| Cyclooctane | 803 | | |
| Dodecane (37.8°) | 99 | Acetic acid | 908 |
| Pentadecane (37.8°) | 91 | Ethyl acetate | 1.132 |
| Octadecane (60°) | 94 | Acetone | 1262 |
| Benzene | 944 | Diethyl ether | 1.865 |
| Toluene | 896 | | |
| m-Xylene | 846 | Water | 458 |
| | | Mercury | 040 |
| Chlorobenzene | 745 | | |
| Bromobenzene | 646 | | |
| Anisole | 660 | | |
| Aniline | 453 | | |
| Nitrobenzene | 4.9J | | |
| Phenol (60°) | 605 | Molten salts: | |
| | | NaNO ₃ , 623 K | 199 |
| Carbon disulphide | 938 | KNO ₃ , 657 K | 219 |
| Carbon tetrachloride | 1.050 | RbNO ₃ , 629 K | 226 |
| Chloroform | 996 | CsNO ₃ , 709 K | 309 |
| Bromochloroac | 1294 | | |
| Iodoctane | 982 | | |
| 1,1-Dichloroethane | 797 | | |
| Tetrachloroethylene (25°) | 756 | | |
| Trichloroethylene (2.5°) | 857 | | |

Yukarıda genişleme enerjileri hesaplamaları düşük basınçlar için yeterlidir (1 bar). Ancak yüksek basınçlara çıkıldıkça sıvıların sıkıştırılması daha da zorlaşacağı için aşağıdaki hesaplamaların kullanılması uygun olacaktır.

$$\text{Log}_{10} \left[\frac{L_2 p}{L_0 - L} \right] = A + Bt + C (L_0 - L) \quad (3.10)$$

- P=Basınç
- $L_3 = V(p,t) / V(p=0,t=0)$
- $L_0^3 = V(p=0,t) / V(p=0,t=0)$
- t= sıcaklık (celcius)
- A,B,C= Huddleston's denklemi değerleri

Çizelge 3.3: Çeşitli Sıvılar İçin Huddleston's denklemi değerleri

| | A | B | C |
|----------------------|--------|------------|-------|
| Water | 479 | 8 | 344 |
| Benzene | 45.772 | --0.00343 | 5.962 |
| Carbon tetrachloride | 45.325 | --0.00343 | 6.099 |
| Ethanol | 45.000 | --0.00267 | 579 |
| Liquid paraffin | 4.710 | --0.0016 | 7.235 |
| Mercury | 58.837 | --0.000488 | 495 |

3.1.1.2 Gerginlik enerjisi

Silindirik basınç tanklarında elastik gerginlik enerjisi biriken bu enerji genişleme enerjisine göre küçük boyuttadır. Düşük elastikiyeti bulunan sıvıların sıkıştırılmasındaki gerginlik hesabını aşağıdaki şekilde yapılabilir.

$$E_s = \frac{P_1^2 V_1}{2 E} \left[\frac{3(1 - 2 \nu) + 2 K^2 (1 + \nu)}{K^2 - 1} \right] \quad (3.11)$$

- $P_1 =$ İç basınç (Pa)
- $V_1 =$ Kabın Hacmi (m³)
- $E =$ Young's modulus of the vessel material(Pa)
- $\nu =$ Poisson's ratio for vessel material (-)
- $K =$ The ratio of the outside to the inside diameter of the vessel (-)

3.1.2 Depolanmış Enerjinin TNT Eşdeğerliği

Hesaplanan depolanmış enerjinin anlamlandırılması için kullanılan değer TNT eşdeğerliğidir. Depolanmış enerjinin büyüklüğü ve hasar potansiyeli bu şekilde bağlı olarak ölçülebiliriz.

1kg TNT = 4.5MJ depolanmış enerjiye eşdeğerdir.

Bu eşdeğerliği basınç testlerinde alınacak önlemlerin belirlenmesi ve güvenli mesafe hesaplamalarında kullanacağız.

Depolanmış enerji hesaplamalarına örnekler;

Örnek 1:

2,63 m³ hacmi olan basınçlı bir kap Nitrojen gazı ile doldurulup 330K (57 °C) sıcaklıktayken 10MPa (100 bar) basınç altına alınıyor. Sistemdeki depolanmış enerji ne kadardır?

Gazın ideal gaz olduğunu varsayarsak depolanmış enerjinin hesabı aşağıdaki gibi yapılabilir.

*İzotermal genişleme için;

$$W = p_f V_i \ln (p_f / p_i)$$

p_f = Atmosfer basıncı (Pa) 0,1MPa

p_i = İç basınç (Pa) 10MPa

V_i = Sistemin hacmi (m³) 2,63 m³

$$W = 10MJ \cdot 2,63 \text{ m}^3 \left(\ln \frac{0,1MPa}{10MPa} \right)$$

$$W = \Delta U = - 108,678 \text{ MJ}$$

$EX \cong 109 \text{ MJ}$ Olarak hesaplanır.

*İzotropik genişleme için;

$$W = \frac{1}{\gamma - 1} p_i V_i \left[\left(\frac{p_f}{p_i} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right]$$

p_f = Atmosfer basıncı (Pa) 0,1MPa

p_i = İç basınç (Pa) 10MPa

V_i = Sistemin hacmi (m³) 2,63 m³

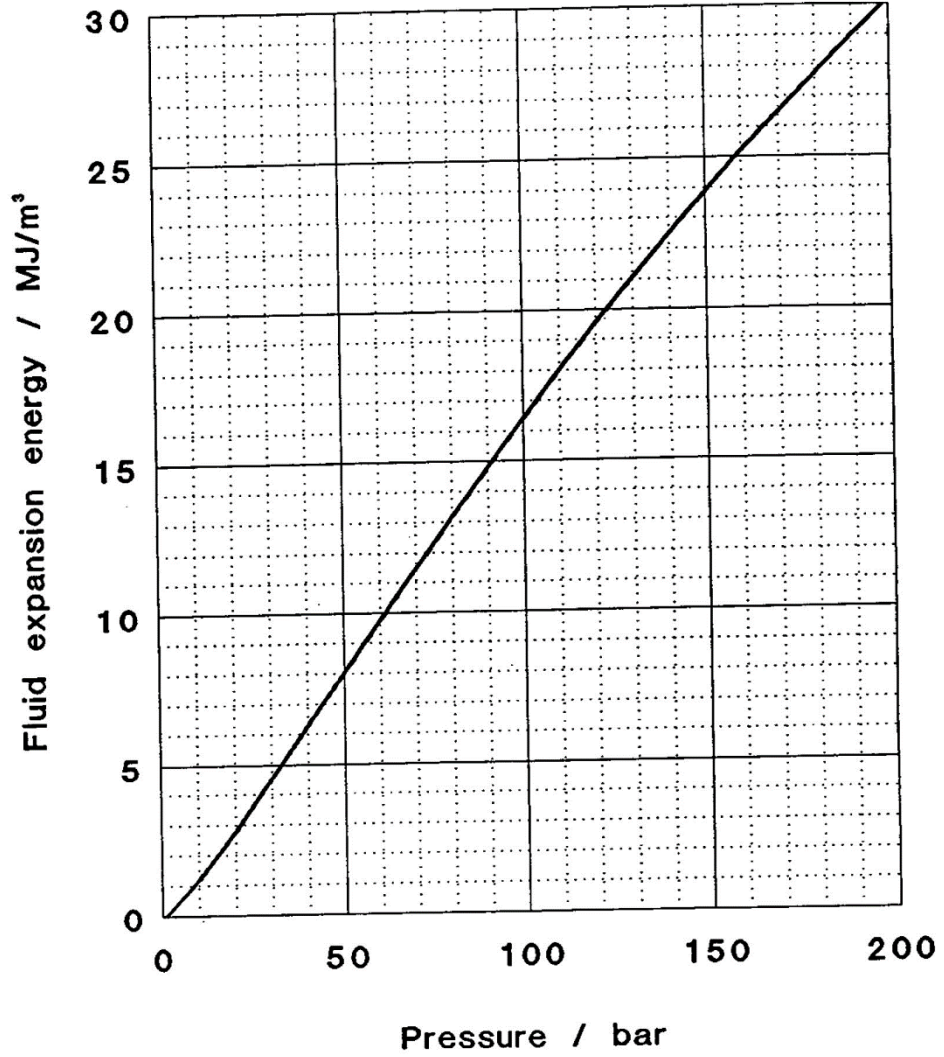
$\gamma =$ Isı sığası oranı (c_p / c_v) 1,4

$$W = \frac{1}{1,4-1} 10\text{MPa} \cdot 2,36 \text{ m}^3 \left[\left(\frac{0,1\text{MPa}}{10\text{MPa}} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \right]$$

$$W = \Delta U = - 43,48 \text{ MJ}$$

$EX \cong 43 \text{ MJ}$ Olarak hesaplanır.

N2 gazı için akışkan genleşme enerjisi grafiğini kullanarak da hesaplama yapılabilir



Şekil 3.1: Nitrojen İçin 200 bara Kadar Akışkan Genleşme Enerjisi Grafiği

Şekil 3.1'deki grafikte 100 bar basınç değerinde için N2 gazının sahip olduğu genleşme enerjisi 16,4 MJ /m³ olarak okunuyor.

$$Ex = 16,4 \text{ MJ /m}^3 \cdot 2,36\text{m}^3$$

$Ex = 39\text{MJ}$ olarak hesaplanabilir.

Örnekteki basınçlandırma işleminin sabit sıcaklıkta bir genişleme işlemi olmadığı için teorik olarak hesapladığımız izotropik genişleme enerjisini muayyese edeceğim. İzotropik genişleme için bulduğumuz teorik değer $E_X \cong 43 \text{ MJ}$ ve grafikten yola çıkarak elde ettiğimiz değer ise $E_X = 39 \text{ MJ}$ idi. Görüldüğü üzere sonuçlar birbirine yakın değerdedir. Tam olarak aynı değerlerin elde edilmemesinin sebebi teorik olarak hesaplamalarda gazların ideal gaz olarak davrandığını varsaymamızdan kaynaklanmaktadır.

Örnek 2:

2,63 m³ hacmi olan basınçlı bir kap su ile doldurulup 300K (27 °C) sıcaklıktayken 10MPa (100 bar) basınç altına alınıyor. Sistemdeki depolanan genişleme enerjisi ne kadardır?

İzotermal elastisite K_t için;

$$\Delta U \cong V K_t \int_{p_i}^{p_f} p \, dp = \frac{1}{2} V K_t (p_f^2 - p_i^2)$$

p_f = Atmosfer basıncı (Pa) 0,1MPa

p_i = İç basınç (Pa) 10MPa

V = Sistemin hacmi (m³) 2,63 m³

K_t = Su için elastisite 4,58

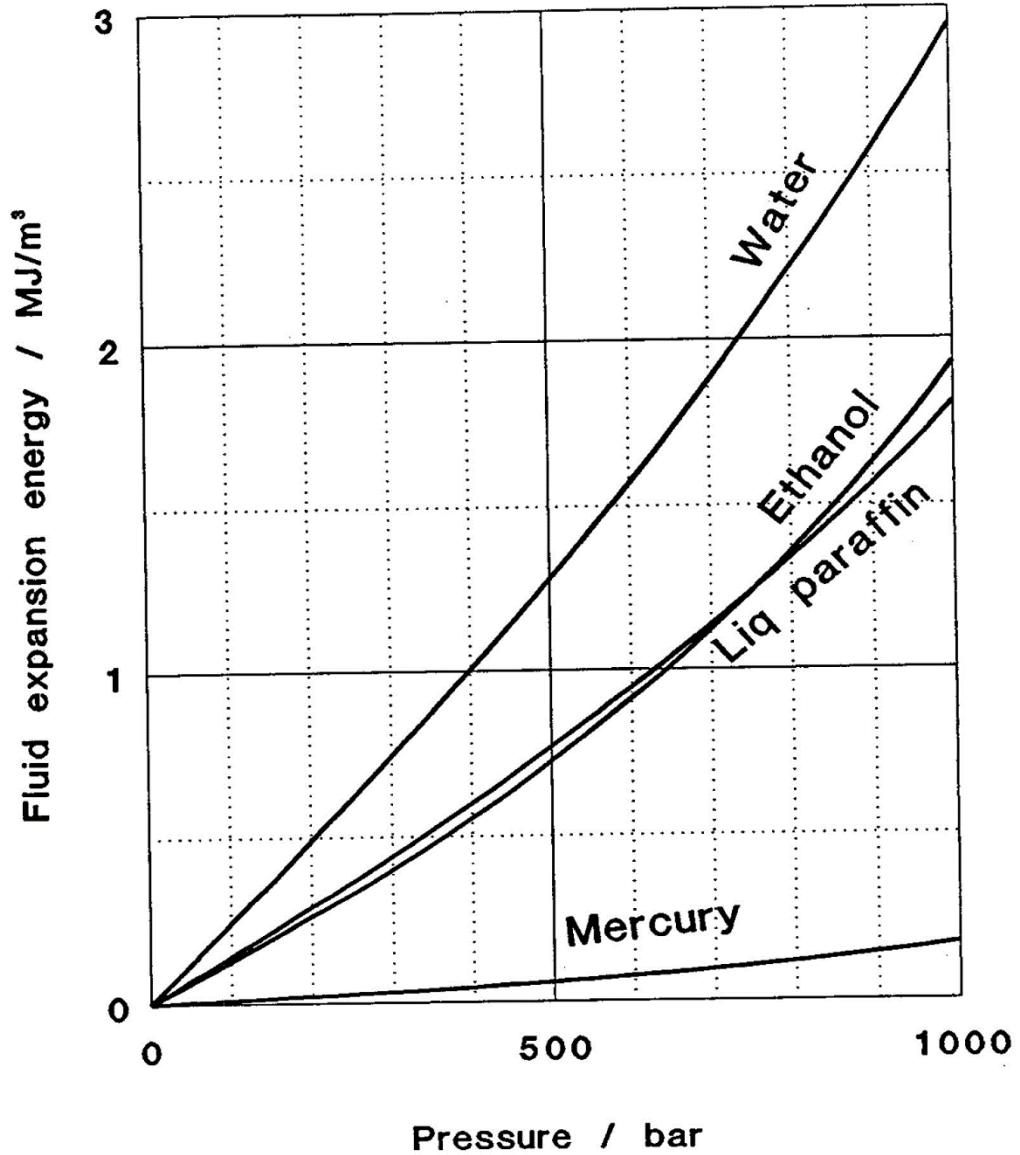
$$\Delta U = \frac{1}{2} V K_t (p_f^2 - p_i^2)$$

$$\Delta U = \frac{1}{2} 2,36 \text{m}^3 \cdot 4,58(12-1002)$$

$$\Delta U = - 0,54 \text{MJ}$$

$E_X = 0,54 \text{ MJ}$ olarak hesaplanır.

Su için akışkan genişleme enerjisi grafiğini kullanarak da hesaplama yapılabilir.



Şekil 3.2: Çeşitli Sıvılar İçin 1000 bara Kadar Akışkan Genlenme Enerjisi Grafiği
 Şekil 3.2'deki grafikte 100 bar basınç değerinde için suyun sahip olduğu genleşme enerjisi 0,25 MJ /m³ olarak okunuyor.

$$E_x = 0,25 \text{ MJ /m}^3 \cdot 2,36\text{m}^3$$

$E_x = 0,59\text{MJ}$ olarak hesaplanabilir

3.2 Sıvı Fıskırma Tehlikesi

Banç testlerindeki bir diğer önemli tehlike yüksek basınçlı sıvı fıskırması tehlikesidir. Bu tehlikeye katkı yapan ana faktörler sistemin basıncı, sistemin hacmi,

sıvı fişkırın noktanın büyüklüğü, sıvı fişkırın noktasına uzaklık ve fişkırın sıvının cinsidir.

Özellikle hacimden bağımsız olarak tüm hidrolik sistemler için ortak bir risk hidrolik yağların enjeksiyon yaralanmalarıdır. Genellikle gözden kaçırılan bu yaralanma riski uzuv kaybına hatta ölümlere varan sonuçlar meydana getirebilir.

Birçok hidrolik yağın MSDS formunda ‘Deri altına yüksek basınçta enjeksiyonu, yerel kangren dahil ciddi zarara neden olabilir.’ İbaresini bulunmaktadır.

| TEHLİKELERİN TANIMI | |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EC Sınıflandırması | : Avrupa Topluluğu kriterlerine göre tehlikeli olarak sınıflandırılmıyor. |
| Sağlık Tehlikeleri | : Normal koşullar altında kullanıldığında sağlık için tehlike oluşturması beklenmemektedir. Gereği gibi temizlemeden cildin uzun süreli veya tekrarlı biçimde maruz kalması derideki gözenekleri kapatarak yağ aknesi/folikülit gibibozukluklara neden olabilir. Deri altına yüksek basınçta enjeksiyonu, yerel kangren dahil ciddi zarara neden olabilir. Kullanılmış yağ zararlı kirleticiler içerebilir. |
| Belirti ve Semptomlar | : Maruz kalan bölgelerde deri üzerinde siyah kabarcık ve noktaların görülmesi yağ aknesi/folikülit belirtilerindedir. Enjeksiyondan sonra birkaç saat içinde acının gecikmesi ve dokunun zarar görmesinin başlamasıyla yerel kangren olduğu ispatlanmıştır. Ağızdan alınması durumunda, bulantı, kusma ve/veya ishale neden olabilir. |
| Güvenlik açısından tehlikeler | : Alev alıcı olarak sınıflandırılmıyor ama yanıcı. |
| Çevresel tehlikeler. | : Çevre için tehlikeli olarak sınıflandırılmamıştır. |

Şekil 3.3: Hidrolik Yağın Örnek MSDS Formu

Şekil 3.4’deki fotoğraf 25 yaşındaki bir erkeğin sağ elinin işaret parmağının ucuna bir hidrolik çözücü enjeksiyonu gerçekleştirildikten 36 saat sonrasında göstermektedir. Parmaktaki küçük bir delinme önemsiz görünmesi nedeniyle tıbbi yardım alınmamıştır. Dokunun nekrozu parmak ucunda görülmektedir.



Şekil 3.4: Hidrolik Nüfuzundan 36 Saat Sonrası

Şekil 3.5 Hastaya tıbbi müdahale yapıldıktan sonraki durumu göstermektedir. İlk yaralanmadan 56 saat sonrasını elin durumudur.



Şekil 3.5: Hidrolik Nüfuzundan 56 Saat Sonrası

Yaralının parmağı kurtarılamamıştır. Şekil 3.6'da yaralının elinin son durumu görülmektedir.



Şekil 3.6: Tedavi Sonrası Yaralının Durumu

3.3 Diğer Tehlikeler

Basınç testlerinde patlama, parça fırlaması, sıvı fişkırması tehlikelerinin yanında birçok tehlike daha mevcuttur. Bu tehlikelerden ciddi yaralanma veya hayati tehlike yaratabilecek olanları genel olarak aşağıdaki şekilde belirtebiliriz.

3.3.1 Bağlantı elemanlarının yerinden çıkması tehlikesi

Basınç testlerindeki tehlikelerden bir diğeri bağlantı elemanlarının çeşitli sebeplerden dolayı yerinden çıkması ve kırbaçlama etkisiyle insanlara zarar vermesidir. Yine sistemin basıncı ve hacmi ile doğru orantılı bu etki ciddi yaralanmalara sebep olabilir.

3.3.2 Yüksekten düşme tehlikesi

Basınç testi yapılacak sistemlere erişim için genellikle platform, iskele vb. sistemler ile sağlandığı için, yüksekten düşme tehlikesi ciddi yaralanmaya sebep olabilecek tehlikelerdendir. Yüksekte çalışma İSG açısından başlı başına bir konu olduğu için burada detaya girmeyeceğiz. Basınç testlerinde İSG literatüründe yer alan yüksekte çalışma kurallarına mutlaka uyulmalıdır.

3.3.3 Sıcak sıvı veya buhara maruziyet tehlikesi

Basınç testlerinde özellikle yüksek sıcaklıkta hidrolik yağ ve yüksek sıcaklıkta su kullanılarak yapılan testlerde personellerin 1. 2. ve 3. Dereceden yanık ile sonuçlanan kazalara maruz kalması da olasıdır. Genellikle fonksiyon testlerinde ve devreye alma süreçlerin bu tehlike mevcuttur.

3.3.4 Elektrik akımına kapılma tehlikesi

Basınç testleri sırasında elektrikli ekipmanlarda kullanıldığı için elektrik akımına kapılma tehlikesi de yine hayati tehlike yaratacak kazalara sebep olabilir. Yine elektrik işlerinde iş güvenliği İSG açısından başlı başına bir konu olduğu için burada detaya girmeyeceğiz. Ancak özellikle hidrostatik basınç testlerinde olası bir hatadan dolayı yüksek hacimde su çıkışı olması durumunda çalışma alanında bulunan aydınlatma, elektrik bağlantısı bulunan makineler ciddi elektrik akımına kapılma tehlikesi yaratabilir. Olası istenmeyen durumlara müdahale için mutlaka önceden planlama yapılmalı ve gerekli durumlarda çalışma alanındaki enerji tamamen kesildikten sonra müdahale edilmelidir.



4. BASINÇLI ÇALIŞMALARDA RİSKLERDEN KORUNMA

4.1 Güvenli Mesafe Hesaplamaları

4.1.1 Parça fırlaması tesir mesafesi

Depolanmış enerjinin hesaplanması sonrasında bu değerin anlamlı olabilmesi için TNT eşdeğeri hesaplanır. TNT eşdeğeri hesapladığımız enerjinin kaç kg TNT patlayıcısı gücünde olduğunun hesaplanmasıdır. ASME standartı olan Repair of Pressure Equipment and Piping (PCC-2 – 2015) göre depolanmış enerjinin TNT eşdeğer kilogram karşılığı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$E = [1/(k - 1)] \times Pat \times V \left(1 - \left(\frac{Pa}{Pat}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right) \quad (4.1)$$

E =Depolanmış enerji (J)

k=Test sıvısı için spesifik ısı kapasitesi (özgül ısı)

Pa =Atmosfer basıncı (101 kPa)

Pat =Test basıncı, (Pa)

V =Basınç altındaki ekipmanların toplam hacmi (m³)

Çizelge 4.1: Çeşitli Sıvı ve Katıların Özgül Isıları

| Sıvı ve Katıların Özgül Isıları | | | | | |
|---------------------------------|----------------|-------|------------|---------------|--------|
| Cp, kJ/kg. °C | | | | | |
| Sıvılar | Durum | Cp | Madde | Durum | Cp |
| Su | 1 atm, 25 °C | 4.177 | Gliserin | 1 atm, 10 °C | 2.32 |
| Amonyak | doymuş, -20 °C | 452 | Bizmut | 1 atm, 425 °C | 0.144 |
| | doymuş, 50 °C | 5.10 | C1va | 1 alm, 10 °C | 0.138 |
| Freon 12 | doymuş, -20 °C | 0.908 | Sodyum | 1 atm, 95 °C | 138 |
| | doymuş, 50 °C | 102 | Propan | 1 atm, 0°C | 2.41 |
| Benzen | 1 atm, 15°C | 180 | Etil alkol | 1 atm, 25 °C | 243 |
| Katılar | | | | | |
| Madde | T, °C | Cp | Madde | T, °C | Cp |
| Buz | -11 | 2.033 | Kurşun | -100 | 0.1 18 |
| | -22 | 210 | | 0 | 0.124 |
| Alüminyum | -100 | 0.699 | | 100 | 0.134 |
| | 0 | 0.870 | Bakır | -100 | 0.328 |
| | 100 | 0.941 | | 0 | 0.381 |
| Demir | 20 | 0.448 | | 100 | 0.393 |
| Gümüş | 20 | 0.233 | | | |

Test ortamı olarak hava veya azot kullanıldığında ($k=1.4$), bu denklem

$$E = 2,5 \times Pat \times V \left(1 - \left(\frac{Pa}{Pat}\right)^{0,286}\right)$$

olur.

Çizelge 4.2: Gazlar için k degerleri tablosu

| Değişik ideal Gazların Özellikleri | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------|----------------|----------------------|------------------|---------------------|---------------|----------------------|-------|
| Gaz | Kimyasal Formül | Mol Kütle | R kJ/kg·K | R ft-lbf/lbm-OR | c_p kJ/kg·K | c_p Btu/lbm-OR | k J/kg·K | C_p Btu/lb m-OR | k |
| Hava | - | 2.897 | 0.287 0 | 5.334 | 1.003 | 0.240 | 0.717 | 0.171 | 1.400 |
| Argon | Ar | 3.995 | 0.208 1 | 3.868 | 0.520 | 0.1253 | 0.312 | 0.0756 | 1.667 |
| Bütan | C ₄ H ₁₀ | 58.12 | 0.143 0 | 2.658 | 1.716 | 0.415 | 1.573 | 0.381 | 1.091 |
| Karbon dioksit | CO ₂ | 4.401 | 0.188 9 | 3.510 | 0.842 | 0.203 | 0.653 | 0.158 | 1.289 |
| Karbonmonoksit | CO | 2.801 | 0.296 8 | 55.16 | 1.041 | 0.249 | 0.744 | 0.178 | 1.400 |
| Etan | C ₂ H ₆ | 3.007 | 0.276 5 | 51.38 | 1.766 | 0.427 | 1.490 | 0.361 | 1.186 |
| Etilen | C ₂ H ₄ | 2.805 | 0.296 4 | 5.507 | 1.548 | 0.411 | 1.252 | 0.340 | 1.237 |
| Helyum | He | 400 | 2.077 0 | 3.860 | 5.198 | 125 | 3.116 | 0.753 | 1.667 |
| Hidrojen | H ₂ | 202 | 4.124 2 | 7.664 | 14.209 | 343 | 10.085 | 244 | 1.409 |
| Metan | CH ₄ | 1.604 | 0.518 4 | 9.635 | 2.254 | 0.532 | 1.735 | 0.403 | 1.299 |
| Neon | Ne | 20.18 | 0.412 0 | 7.655 | 1.020 | 0.246 | 0.618 | 0.1477 | 1.667 |
| Azot | N ₂ | 2.801 | 0.296 8 | 55.15 | 1.042 | 0.248 | 0.745 | 0.177 | 1.400 |
| Oktan | C ₈ H ₁₈ | 114.23 | 0.072 8 | 1.353 | 1.711 | 0.409 | 1.638 | 0.392 | 1.044 |
| Oksijen | O ₂ | 3.200 | 0.259 8 | 4.828 | 0.922 | 0.219 | 0.662 | 0.157 | 1.393 |
| Propan | C ₃ H ₈ | 44.10 | 0.188 6 | 3.504 | 1.679 | 0.407 | 1.491 | 0.362 | 1.126 |
| Buhar | H ₂ O | 1.802 | 0.461 5 | 8.576 | 1.872 | 0.445 | 1.411 | 0.335 | 1.327 |

TNT eşdeğerliğini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılabilir;

$$TNT = \frac{E}{4266920} \text{ (kg)} \quad (4.2)$$

Aynı standartta TNT miktarları için parça fırlatma tesir mesafesi Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.3: TNT miktarları için parça fırlama tesir mesafeleri

| Part 5 - Article 5.1, Mandatory Appendix III ASME PCC 2-2015 | | | |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| Table 111-2 Minimum Distances for Fragment Throw Considerations | | | |
| TNT Equivalent (kg) | Minimum Distance (m) | TNT Equivalent (th) | Minimum Distance (ft) |
| 0 to 3 | 50 | 0 to 5 | 140 |
| 3.5 to 5 | 60 | 5 to 10 | 180 |
| 5 to 10 | 70 | 10 to 20 | 220 |
| 10 to 15 | 80 | 20 to 30 | 250 |
| 15 to 20 | 90 | 30 to 40 | 280 |

Olası bir patlamada boru, kazan vb. basınçlı ekipmanlardan fırlayan parçaların çalışanlara zarar verme ihtimali buluyor ise örneğin test yapılan sistem açık

alandaysa- personeller ile basınçlı ekipmanlar arasındaki güvenli uzaklık için çizelge 4.3'de yer alan mesafeler dikkate alınmalıdır.

4.1.2 Şok dalgası tesir mesafesi

Endüstriyel gaz ve LNG endüstrilerinde, boru hattı ve ekipmanı kuru tutma gerekliliği nedeniyle, basınç testlerinin hidrolik olarak değil de pnömatik olarak yapılması zorunlu ve rutin olarak gerçekleştirilmektedir. Pnömatik basınç testlerinde depolanan enerjinin çok yüksek seviyede olması olası bir patlamada ciddi yaralanma tehlikesi yaratmaktadır.

Pnömatik basınç testlerinde olası bir patlamada şok dalgası tesir mesafesi standardı aşağıdaki gibi hesaplanır. (ASME PCC-2, 2015)

$$R = R_{scaled} (2TNT)^{1/3} \quad (4.3)$$

R= Ekipmandan güvenli uzaklık (m)

Rscaled = Ölçeklendirilmiş sonuç faktörü; Değer (Tablo III-1)'e göre 20 m/kg^{1/3} veya daha yüksek olmalıdır.

TNT = Depolanmış enerjinin TNT eşdeğer gramı (kg)

Çizelge 4.4: Şok Dalgası Tesir Mesafeleri

| R_{scaled}, m /kg^{1/3} | R_{scaled}, ft/ lb^{1/3} | Biological Effect | Structural Failure |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 20 | 50 | ... | Glass windows |
| 12 | 30 | Eardrum rupture | Concrete block panels |
| 6 | 15 | Lung damage | Brick walls |
| 2 | 5 | Fatal | ... |

Şok dalgası personeli yaralama riski taşıyorsa pnömatik basınç testlerinde tüm personel ile test edilen ekipman arasındaki minimum mesafe, hesaplanan R değerden daha büyük olmalıdır.

Test altındaki pnömatik olarak basınçlı ekipmanın potansiyel olarak arızalanmasıyla ilgili tehlikeler iyi anlaşılmıştır, ancak bugün, bu tür testler sırasında personeli korumak için önerilen güvenlik mesafeleri hakkında genel olarak tanınmış bir endüstri rehberi yoktur. Air Products, Air Liquide ve BakerRisk firmaları birlikte çalışarak "New Criteria for Safety Distances during Pneumatic Pressure Testing of

Vessels and Pipes" isimli makaleyi yayınlamış ve sonuçları tablolar biçiminde sunarak, kullanımı kolay sonuçlar elde etmiştir. Basınç testleri süresince olası bir patlamadan personellerin zarar görmemesi için boru hattı ve basınçlı kaplar ile arasında bulunması gereken minimum mesafeler çizelge 4.4 ve çizelge 4.5’de verilmiştir. Tablo şeklinde verilen değerler uygulamada büyük kolaylık sağlamaktadır.

Çizelge 4.5: Boru Hatları İçin Güvenli Mesafeler

| x,m pipe diameter, inches | Pipe pressure bag – 2 psig overpressure | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 100 | 150 | 200 | 300 | 500 |
| 1 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m |
| 2 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m |
| 4 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m |
| 6 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m |
| 12 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 11 m | 15 m |
| 24 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 13 m | 16 m | 19 m | 23 m | 30 m |
| 36 | 10 m | 10 m | 10 m | 11 m | 13 m | 14 m | 20 m | 24 m | 28 m | 34 m | 44 m |
| 60 | 10 m | 11 m | 15 m | 18 m | 21 m | 24 m | 33 m | 41 m | 47 m | 57 m | 74 m |
| 72 | 10 m | 13 m | 18 m | 22 m | 25 m | 28 m | 40 m | 49 m | 56 m | 69 m | 89 m |
| x,m pipe diameter, inches | Pipe pressure bag – 1 psig overpressure | | | | | | | | | | |
| | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 100 | 150 | 200 | 300 | 500 |
| 1 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m |
| 2 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m |
| 4 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m |
| 6 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 12 m |
| 12 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 11 m | 14 m | 16 m | 19 m | 25 m |
| 24 | 10 m | 10 m | 10 m | 12 m | 14 m | 16 m | 22 m | 27 m | 32 m | 39 m | 50 m |
| 36 | 10 m | 11 m | 15 m | 19 m | 21 m | 24 m | 34 m | 41 m | 47 m | 58 m | 75 m |
| 60 | 14 m | 18 m | 26 m | 31 m | 36 m | 40 m | 56 m | 68 m | 79 m | 97 m | 125 m |
| 72 | 16 m | 22 m | 31 m | 37 m | 43 m | 48 m | 67 m | 82 m | 95 m | 116 m | 149 m |
| x,m pipe diameter, inches | Pipe pressure bag – 0.5 psig overpressure | | | | | | | | | | |
| | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 100 | 150 | 200 | 300 | 500 |
| 1 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m |
| 2 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m |
| 4 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 11 m | 14 m |
| 6 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 11 m | 13 m | 16 m | 21 m |
| 12 | 10 m | 10 m | 10 m | 10 m | 12 m | 13 m | 19 m | 23 m | 27 m | 32 m | 42 m |
| 24 | 10 m | 12 m | 17 m | 21 m | 24 m | 27 m | 38 m | 46 m | 53 m | 65 m | 84 m |
| 36 | 14 m | 19 m | 26 m | 31 m | 36 m | 40 m | 56 m | 69 m | 80 m | 97 m | 126 m |
| 60 | 23 m | 31 m | 43 m | 52 m | 60 m | 67 m | 94 m | 115 m | 133 m | 162 m | 209 m |
| 72 | 28 m | 37 m | 51 m | 63 m | 72 m | 80 m | 113 m | 138 m | 159 m | 195 m | 251 m |

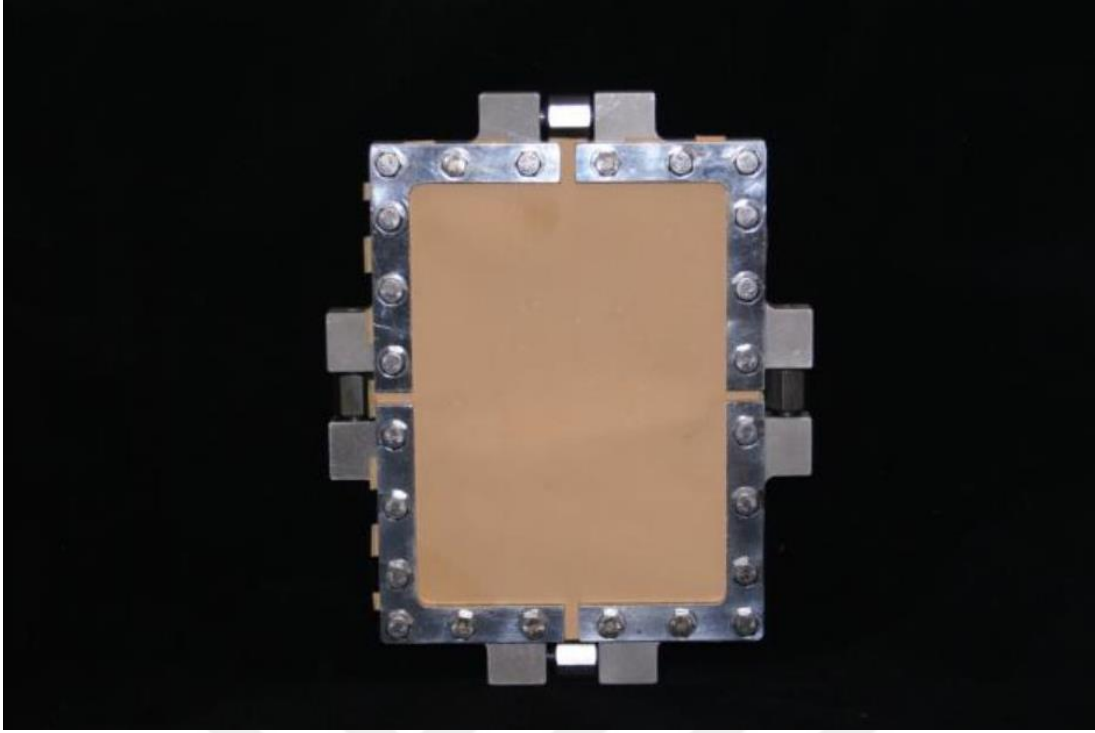
Çizelge 4.6: Basıncılı kaplar için güvenlik mesafeleri

| x,m volume m3 | Pressure bag – 2 psig overpressure | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 100 | 150 | 200 | 300 | 500 |
| 1 | 10 m | 10 m | 12 m | 14 m | 15 m | 16 m | 21 m | 24 m | 26 m | 30 m | 35 m |
| 3 | 12 m | 14 m | 18 m | 20 m | 22 m | 24 m | 30 m | 34 m | 38 m | 43 m | 51 m |
| 5 | 14 m | 17 m | 21 m | 24 m | 26 m | 28 m | 35 m | 40 m | 45 m | 51 m | 60 m |
| 10 | 17 m | 21 m | 26 m | 30 m | 33 m | 36 m | 45 m | 51 m | 56 m | 64 m | 76 m |
| 30 | 25 m | 31 m | 38 m | 43 m | 48 m | 51 m | 64 m | 74 m | 81 m | 93 m | 110 m |
| 50 | 30 m | 36 m | 45 m | 51 m | 56 m | 61 m | 76 m | 87 m | 96 m | 110 m | 130 m |
| 100 | 38 m | 46 m | 57 m | 65 m | 71 m | 77 m | 96 m | 110 m | 121 m | 138 m | 164 m |
| 500 | 64 m | 78 m | 97 m | 111 m | 122 m | 131 m | 164 m | 188 m | 207 m | 236 m | 280 m |
| 1000 | 81 m | 99 m | 123 m | 140 m | 153 m | 165 m | 207 m | 237 m | 260 m | 298 m | 353 m |
| x,m volume m3 | Pressure bag – 1 psig overpressure | | | | | | | | | | |
| | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 100 | 150 | 200 | 300 | 500 |
| 1 | 14 m | 17 m | 21 m | 23 m | 26 m | 28 m | 35 m | 40 m | 44 m | 50 m | 59 m |
| 3 | 20 m | 24 m | 30 m | 34 m | 37 m | 40 m | 50 m | 57 m | 63 m | 72 m | 86 m |
| 5 | 23 m | 28 m | 35 m | 40 m | 44 m | 47 m | 60 m | 68 m | 75 m | 86 m | 102 m |
| 10 | 29 m | 36 m | 44 m | 51 m | 56 m | 60 m | 75 m | 86 m | 94 m | 108 m | 128 m |
| 30 | 42 m | 52 m | 64 m | 73 m | 80 m | 86 m | 108 m | 124 m | 136 m | 156 m | 184 m |
| 50 | 50 m | 61 m | 76 m | 87 m | 95 m | 102 m | 125 m | 147 m | 161 m | 185 m | 219 m |
| 100 | 63 m | 77 m | 96 m | 109 m | 120 m | 129 m | 162 m | 185 m | 203 m | 233 m | 276 m |
| 500 | 108 m | 132 m | 164 m | 186 m | 205 m | 220 m | 276 m | 316 m | 348 m | 398 m | 471 m |
| 1000 | 136 m | 166 m | 206 m | 235 m | 258 m | 277 m | 348 m | 398 m | 438 m | 501 m | 594 m |
| x,m volume m3 | Pressure bag – 0.5 psig overpressure | | | | | | | | | | |
| | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 100 | 150 | 200 | 300 | 500 |
| 1 | 23 m | 28 m | 35 m | 39 m | 43 m | 47 m | 59 m | 67 m | 74 m | 84 m | 100 m |
| 3 | 33 m | 40 m | 50 m | 57 m | 63 m | 67 m | 84 m | 97 m | 106 m | 122 m | 144 m |
| 5 | 39 m | 48 m | 59 m | 68 m | 74 m | 80 m | 100 m | 114 m | 126 m | 144 m | 171 m |
| 10 | 49 m | 60 m | 75 m | 85 m | 93 m | 100 m | 126 m | 144 m | 159 m | 182 m | 215 m |
| 30 | 71 m | 87 m | 108 m | 123 m | 135 m | 145 m | 182 m | 208 m | 229 m | 262 m | 310 m |
| 50 | 84 m | 103 m | 128 m | 146 m | 160 m | 172 m | 216 m | 247 m | 271 m | 310 m | 368 m |
| 100 | 106 m | 130 m | 161 m | 183 m | 201 m | 216 m | 272 m | 311 m | 342 m | 391 m | 463 m |
| 500 | 181 m | 222 m | 275 m | 313 m | 344 m | 370 m | 465 m | 531 m | 585 m | 669 m | 792 m |
| 1000 | 229 m | 280 m | 347 m | 395 m | 434 m | 466 m | 585 m | 669 m | 736 m | 843 m | 998 m |

4.1.3 Sıvı Fıskırması Tesir Mesafesi

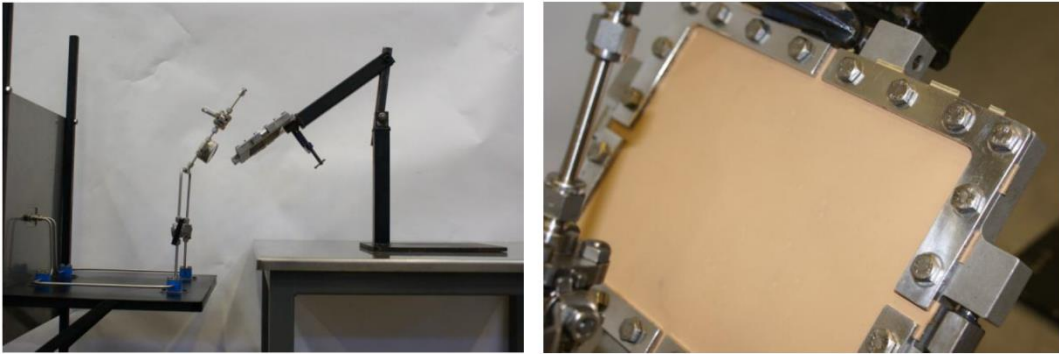
Basınç testlerinde ve basınçlı çalışmalarda en ciddi tehlikelerden biride sıvı fıskırması tehlikesidir. Özellikle akışkan olarak hidrolik yağ kullanılıyor ise tehlikesi daha fazladır. Hidrolik yağların basınç ile insan vücuduna enjekte olmasının sonuçlarını bu çalışmanın 2. Bölümünde yer almaktadır.

Hidrolik yağların hangi şartlar altında insan derisini delerek vucüda girebileceği ile ilgili çalışma İngiliz İş Sağlığı ve Güvenliği Laboratuvarı (Health and Safety Laboratory) tarafından 2013 yılında yapılan bir deney ile ortaya konulmuştur. Bu deneyde 0,9-1,1mm kalınlığında yarı bitmiş, kromlanmış inek derisi kullanılmıştır. Bu özelliklerin insan derisine en yakın özellik taşıdığı Ballistic skin simulant raporunda belirlenmiştir.



Şekil 4.1: İnsan Derisi Simülatörü

Deneyde kullanılacak test cihazında 316 paslanmaz boru üzerine çapları 0,3mm'den 0,9mm'ye kadar değişen 9 adet delik açılmıştır. 0,3 mm açıklıktan 100 bar jet basıncıyla ölçülen akış hızı yaklaşık 5,7 ml / sn idi. Çeşitli basınç ve uzaklık değerlerinde deri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.



Şekil 4.2: Test Cihazı

Monte edilmiş ve gerilmiş cilt numunesi 150mm ile 10mm arasındaki mesafelerden hidrolik enjeksiyona tabi tutulmuştur. 150 bara kadar olan basınçlarda 0,9 mm'lik bir jet açıklığı kullanılırken, deri simülasyonunda delinme gözlenmedi. 0,9 mm açıklık testi sırasında yapılanlara benzer gözlemler, 0,8 mm ila 0,4 mm'lik jet açıklığı boyutlarına sahip testlerde devam etti. 100 bar basınçta 0,3mm çaplı jet açıklığında

yapılan testlerde cilt numunesinde hasar meydana geldiği gözlemlendi. Deride meydana gelen yırtılmalar 10mm ile 40mm arasındadır. Şekil 4.3’de hasarları görülmektedir.



Şekil 4.3: Deney Sonrası Deri Üzerindeki Hasarlar

Bu test sonuçlarına göre 100 bar basınçta 0,3 mm çapındaki bir yarıktan fişkıran hidrolik sıvısı 150 mm uzaklıktan insanın derisini delerek vücuduna enjekte olabilmektedir. Basınç değeri arttıkça hidrolik sıvısının vereceği hasar ve tesir mesafesinde artacağını söylemek mümkündür.

4.2 Test Yönteminin ve Basıncının Belirlenmesi

Gazların sıkıştırılabilme özelliği sıvılara göre daha yüksektir. Basınç testlerinde sıvı yerine gaz kullanılmak istenirse aynı basınç değerine ulaşmak için çok daha fazla enerjinin sisteme aktarılması gerekmektedir. Dolayısıyla sistemde çok daha fazla genişleme enerjisi olacağı için depolanmış enerji miktarıda fazla olacaktır. Bu yüzden basınç testlerinde sıvı kullanımı daha güvenlidir. İlgili standartlarda da basınç testleride gaz kullanımı tavsiye edilmemektedir ve sınırlandırılmaktadır.

Pnömatik test, sıkıştırılmış gazda depolanan yüksek serbest enerjinin tehlikesini içerir. Hidrostatik testten önce ön Pnömatik Test 170 kPa (25 psi, 1.75bar) 'den fazla olmayan bir basınçta hava kullanılarak ön test yapılabilir. (ASME B31.3, 2010)

Ayrıca 25 Nisan 2013 tarih ve 28628 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan İş ekipmanlarının kullanımında sağlık ve güvenlik şartları yönetmeliği EkIII madde 2.1.1’de ‘Basınçlı kaplarda temel prensip olarak hidrostatik test yapılması esastır.’ denilmektedir.

Repair of Pressure Equipment and Piping (PCC-2 - 2015) standartı madde 3.4.1’de;

Basınç testi, aşağıdaki koşullardan biri ile karşılaşılmadığı sürece hidrostatik olarak yapılmalıdır.

- Temeller dahil olmak üzere ekipman, boru ve / veya destekler, sıvı ağırlığını yeterince destekleyemez ise
- Ekipmanın veya boruların kurutulmaması ve test sıvısının izleri, işletmeye alındıktan sonra sistemin veya içeriğinin kirlenmesine neden olabiliyorsa
- Ekipman veya borular, test sıvısı tarafından hasar görebilecek iç kaplamalar içeriyorsa denilmektedir. Bu tip zorluklardan dolayı hidrostatik test yapılamıyor ise standartlarda belirtilen tahribatsız muayene yöntemleri (radyografik test, ultrasonik test, sıvı penetrant testi, manyetik parçacık testi vb.) uygulanabilir.

Basınç testlerinde dikkat edilmesi gereken bir konuda test basıncının doğru bir şekilde belirlenmesidir. Basınçlı ekipman ve sistemin doğru basınç değerinde test edilmesi sistemin güvenli bir şekilde çalıştığından emin olunması için önemlidir. Olması gereken basınç değerinden daha düşük değerde test edilmesi işletme sırasında doğabilecek risklerin tespit edilmesini önleyecektir. Olması gereken basınç değerinden daha yüksek bir basınç değerinde test yapılması hem test işlemi sırasında kaza riskini arttıracak hemde sistemin üzerinde fazladan gerilim ve stres yaratabileceği için işletme sırasında risk oluşturacaktır.

Boru hatlarındaki hidrostatik testler için belirleyici standart olan ASME B31.3-2010 Process Piping standardı madde 345.4'de aşağıdaki bilgiler verilmektedir.

Hidrostatik test basıncı aşağıdaki özellikleri taşımalıdır;

- Tasarım basıncının 1,5 katından az olmamalıdır.
- Tasarım sıcaklığı test sıcaklığından daha büyük olduğunda, dikkate alınan noktadaki minimum test basıncı, denklem (24) ile hesaplanacaktır.

PT

$$= 1.5 PPr (24)$$

(4.4)

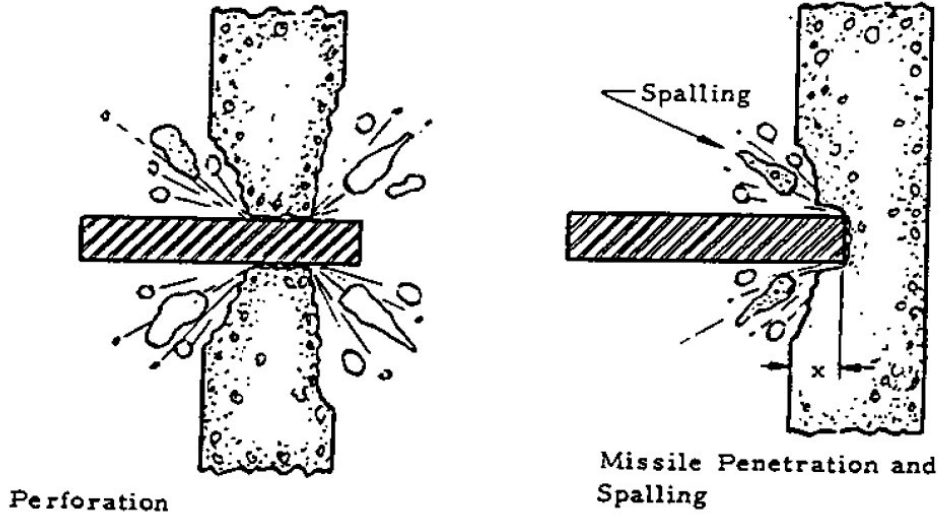
Boru hatlarındaki pnömatik testler için belirleyici standart olan ASME B31.3-2010 Process Piping standardı madde 345.5'de aşağıdaki bilgiler verilmektedir.

- Test akışkanı olarak kullanılan gaz, eğer hava değilse, yanmaz ve zehirsiz olacaktır. Test basıncı, tasarım basıncının 1,1 katından daha az olmayacak ve aşağıdaki şartları geçemez
- Tasarım basıncının 1,33 katı
- Test sıcaklığında herhangi bir bileşenin akma dayanımının% 90'ını aşan nominal basınç gerilmesi veya boyuna gerilmeye neden olacak basınç

Test basıncının belirlenmesinde kritik olan dizayn basıncıdır. Dizayn basıncının tam ve doğru bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Ayrıca test yapılacak sistemde dizayn basıncının altında yer alan vana vb. ekipmanlar var ise bunlarda test işlemi öncesi uygun ekipmanlar ile değiştirilmelidir.

4.3 Parça Fırlama Tehlikesine Karşı Bariyerleme

Olası bir patlamada basınçlı kapta depolanan enerjinin% 35'i fırlayan parçalar ile kinetik enerjisine, geri kalan% 65'i de bir patlama dalgasına ve ses gibi diğer enerji aktarımlarına dönüştürülür. Bu bölümde basınçlı kaplarda olası bir parça fırlamasına karşı kullanılacak bariyerlerin kalınlık hesaplarını inceleyeceğiz. Fırlayan parçaların bariyeri delme veya nüfuz etme çizimleri Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4: Fırlayan Parçanın Bariyeri Delme ve Nüfuz Etme Çizimleri

Basınç testlerinde riskin kabul edilebilir seviyeye indirilemediği durumlarda personellerin korunması için bariyer uygulaması yapılmalıdır. İşletme şartlarında bu

testler sürekli yapılıyor ise kalınlık değerlerine uyularak kabin şeklinde koruma yapılabilir.



Şekil 4.5: Basınç Testi İçin Dizayn Edilmiş Kabin Örneği

Öncelikli olarak olası fırlayacak parçaların hızının hesap edilmesi gerekmektedir. Pnömatik testler için depolanmış enerjinin %35'i fırlayan parçayla kinetik enerjiye dönüştüğünü düşünürsek, kinetik enerji formülünden $E = \frac{1}{2} mV^2$ olası fırlayan parçaların hızını hesaplayabiliriz. 3.1.1 bölümünde hesapladığımız depolanmış enerjinin %35'ini alarak hesaplamada kullanabiliriz. Hidrostatik testlerde depolanan enerjinin tamamı kinetik enerjiye dönüşecektir.

Olası bir patlamada fırlayan parçaların büyüklüğü bilinmemektedir. Yapılan gözlemlerde basınç tanklarından fırlayan parçaların genellikle büyük olduğu anlaşılmıştır. Yapılan hesaplamalarda fırlayan parçanın en büyüğünü tank kabuğunun %20'si kadarı olarak tanımlayacağız. En küçük parçayıda tank kabuğunun %1'i kadar olacak şekilde hesaplamaya katacağız.

Fırlayan parçaya koruma sağlayacak metal malzemenin kalınlığının hesabı için Amerikan ordusuna bağlı Ballistic Research Laboratory (BRL) formülünü kullanacağız. Formülün hangi tecrübeler sonucu elde edildiği ile ilgili detaylı bilgi bulunmamaktadır. Ancak yapılan deney sonuçlarına en yakın değerleri veren formülüzasyondur.

$$t = 4,9 \times 10^{-7} (MV^2)^{0,667} / d \quad (4.5)$$

Burada;

- t = Metal bariyerin kalınlığı (delinmeye karşı %50 koruma sağlayan) (m)
- M = Fırlayan parçanın kütlesi (kg)
- V = Fırlayan parçanın hızı (m/s)
- d = Fırlayan parçanın çapı (m)

ifade eder.

Örnekler;

Çapı 1m olan 3 metre uzunluğundaki basınçlı kabın çeper kalınlığı silindirik kısımlarda 20mm, üst kapak kısımlarında 80mm'dir. Basınçlı kap 100 barda Nitrojen gazı kullanılarak test edilmektedir.

- Kabın silindir kısmının kütlesi = 1470 kg
- Kabın alt ve üst kapaklarının her biri = 490 kg
- Kabın yüzey alanı = 11 m²

3.1.1 göre depolanmış enerji hesaplanırsa 39MJ olarak bulunur.

- Depolanmış enerjinin %35'i kinetik enerjiye dönüştüğüne göre $0,35 \times 39 = 13,6$ MJ
- Kabın silindirik kısmının teorik kütle hesabı = $11.0 \times 0,020 \times 7800 = 1716$ kg
- Kabın silindirik kısmı için hız hesabı = $(2 \times 13,6 \times 10^6 / 1716)^{0,5} = 126$ m/s
- Kabın alt ve üst kısmı için hız hesabı = $126 \times (20 / 80)^{0,5} = 63$ m/s
- Fırlaması muhtemel en küçük parça (kütlenin %1'i) = $1716 \times 0,01 = 17$ kg
- Fırlaması muhtemel en küçük parça (kütlenin %20'si) = 340 kg
- 17 kg parçanın alanı = $17 / 7800 / 0,020 = 0,11$ m² dairesel yarıçap karşılığı 0,37 m
- 340 kg parçanın alanı = $340 / 7800 / 0,020 = 2,2$ m² dairesel yarıçap karşılığı 3,3 m
- 17kg için bariyere çarpan yüzey alanı = $0,37 \times 0,020 = 0,0074$ m²
- 17kg için bariyere çarpan yüzeyin çapı = $2 \times (0,0074 / \pi)^{0,5} = 0,097$ m
- 340 kg için bariyere çarpan yüzey alanı = $3,3 \times 0,020 = 0,066$ m²
- 340 kg için bariyere çarpan yüzeyin çapı = $2 \times (0,066 / \pi)^{0,5} = 0,290$ m
- 490 kg kapak için bariyere çarpan yüzey alanı = $1,00 \times 0,080 = 0,080$ m²

- 490 kg kapak için bariyere çarpan yüzey alanı = $1,00 \times 0,080 = 0,320 \text{ m}^2$
- $t = 4,9 \times 10^{-7} (MV^2)^{0,667} / d$ formülünden hesaplama yapılırsa;
- 17 kg fırlayan parça için 21 mm
- 340 kg parça için 52 mm
- 490 kg parça için 24 mm

Tam koruma için hesaplanan değerlerin %25 fazlası alınmalıdır.

- $52 \times 1,25 = 65 \text{ mm}$

Aynı test su ile yapılırsa hesaplamalar aşağıdaki gibi olacaktır.

3.1.1 göre depolanmış enerji hesaplanırsa 0,59 MJ olarak bulunur.

Bu enerjinin tamamı kinetik enerjiye dönüşecektir.

- Kabın silindirik kısmı için hız hesabı = $(2 \times 0,59 \times 10^6 / 1716)^{0,5} = 26 \text{ m/s}$
- Kabın alt ve üst kısmı için hız hesabı = $26 \times (20 / 80)^{0,5} = 13 \text{ m/s}$
- $t = 4,9 \times 10^{-7} (MV^2)^{0,667} / d$ formülünden hesaplama yapılırsa;
- 17 kg fırlayan parça için 2,5 mm
- 340 kg parça için 6,4 mm
- 490 kg parça için 2,9 mm

Tam koruma için hesaplanan değerlerin %25 fazlası alınmalıdır.

- $6,4 \times 1,25 = 8 \text{ mm}$

4.4 Basınç Testi Çalışma Prosedürlerinde Dikkat Edilecek Noktalar

Basınç testlerinde ana tehlikeler ve korunma yöntemlerinden detaylı olarak bahsettik. Bu bölümde de diğer tehlikelerden ve bu tehlikelerden kaçınmak için neler yapılabileceğinden bahsedeceğiz. Basınçlı çalışmalar öncesinde mutlaka detaylı ve dikkatli bir risk değerlendirilmesi yapılmalı ve bu risk değerlendirmesi ışığında çalışma prosedürleri oluşturulmalı ve etkin bir şekilde uygulanmalıdır.

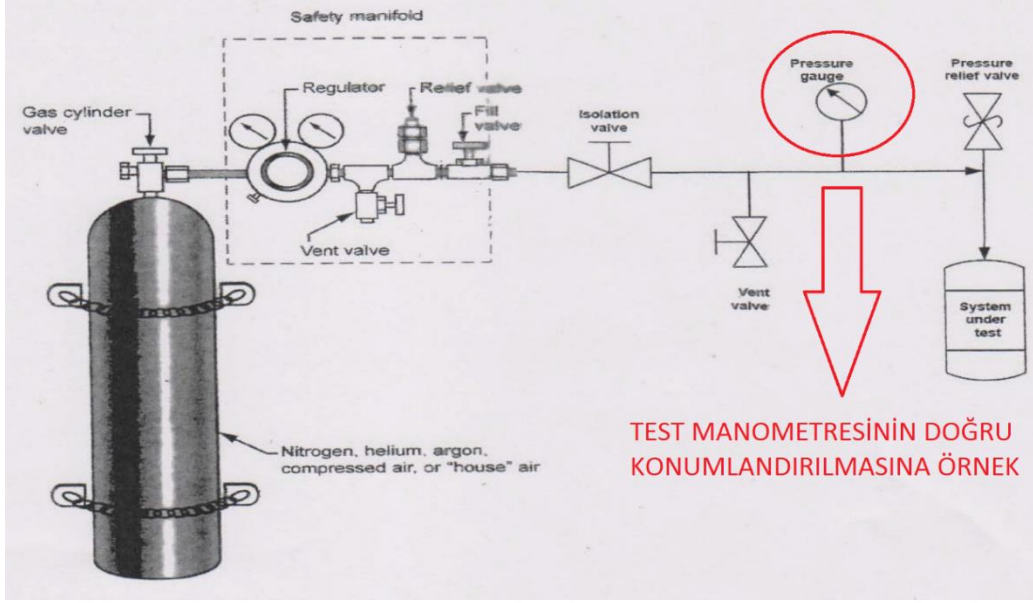
4.4.1 Manometrelerin özellikleri

Basınç testlerinde kullanılan manometreler son derece önemlidir. Çünkü sistemin doğru test basıncına gelip gelmediği bu manometreler aracılığı ile kontrol edilmektedir. Test basıncını doğru ölçemeyen bir manometre sistemin taşıyabileceğinden fazla bir basınca maruz bırakılmasına neden olabilir. Buda basınç

testlerinde meydana gelen kazalarda çok sık karşılaşılan bir durumdur. EURAMET Calibration Guide No. 17 Version 3.0 standartına göre basınç testlerinde kullanılan manometreler son bir yıl içerisinde kalibre edilmiş olmalı ve kalibrasyon kayıt altına alınmış olmalıdır. Kısa adı MCAA olan Amerika Mekanik Mütahhitler Birliğinin (The Mechanical Contractors Association of America) 2013 yılında yayınlamış olduğu Basınç Testleri Güvenliği Klavuzunda (Guide to Pressure Test Safety) basınç testinde kullanılacak manometrelerin test basıncının en az 2 katını ölçecek kapasitede olması gerektiği yazmaktadır. Yani 100bar'da test yapılacak ise manometrenin en az 200 barı ölçecek kapasitede olması gerekmektedir.

4.4.2 Manometrelerin doğru konumlandırılması

Basınç testlerinde manometrelerin doğru konumlandırılması çok önemlidir. 1 adet manometre test edilecek ekipmanın veya sistemin basınçlandırıldığı noktaya (su jeti, kompresör, hidrolik krio vs.) yerleştirilmelidir. Bu manometre sisteme basınç verilirken basınç seviyesinin takip edildiği noktalardan biridir. Diğer bir manometre ise sistemin en yüksek noktasına veya sistemin en üst noktasına eşit bir yüksekliğe uygun bir şekilde yerleştirilmelidir. Bu manometrede test basıncına ulaşıp ulaşılmadığının kontrolünde kullanılacaktır. Üst kısımda ve alt kısımda bulunan manometreler arasında test edilen sistemin yüksekliğine göre değişen ciddi derecede basınç farkları okunmaktadır. Alt kısımdaki manometre 15barı gösterirken üst kısımdaki manometre 10bar gibi daha düşük bir basıncı gösterebilir. Eğer 2. manometre test edilecek sistemin en üst noktasına değil daha aşağı bir noktaya yerleştirilir ise test basıncına doğru şekilde ulaşamayacaktır. Buda sistemin doğru şekilde test edilememesi manasına gelir ki sistem devreye alındığında işletme şartlarında kaza riski yaratabilir.



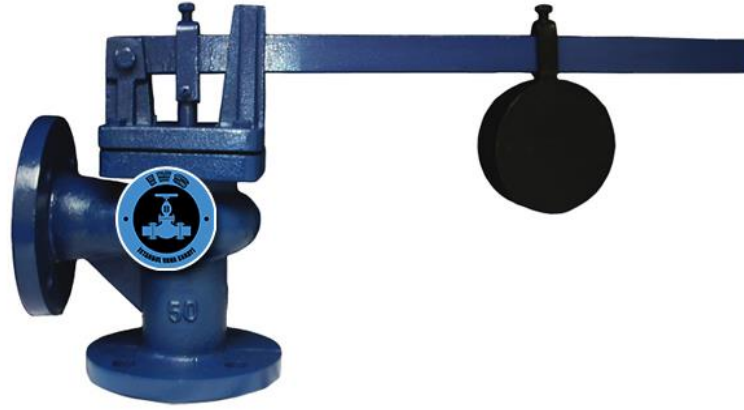
Şekil 4.6: Basınç Testi Şematik Gösterimi

4.4.3 Emniyet valfleri

Basınçlı ekipmanlarda ve sistemlerde Basınçlı Ekipmanlar Yönetmeliğine (PED) (2014/68 / EU) madde 2.1.1’de belirtildiği üzere sistemden bağımsız olarak çalışan emniyet valflerinin konulması zorunludur. Bu emniyet valflerinin 2 tane olması ve birbirinden farklı prensipte çalışan emniyet valfleri olması tavsiye edilir. Örneğin biri şekil 4.7’de gibi yaylı tip emniyet ventili, biri şekil 4.8’de gibi ağırlıklı tip emniyet ventili olması tavsiye edilir.



Şekil 4.7: Yaylı Tip Emniyet Valfi Örneği



Şekil 4.8: Ağırlıklı Tip Emniyet Valfi Örneği

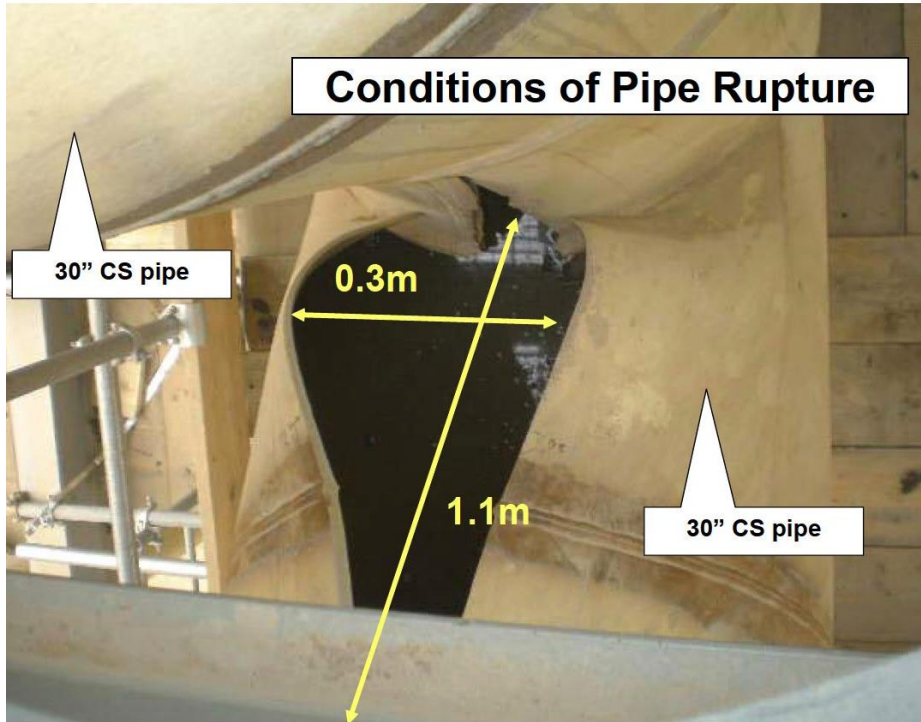
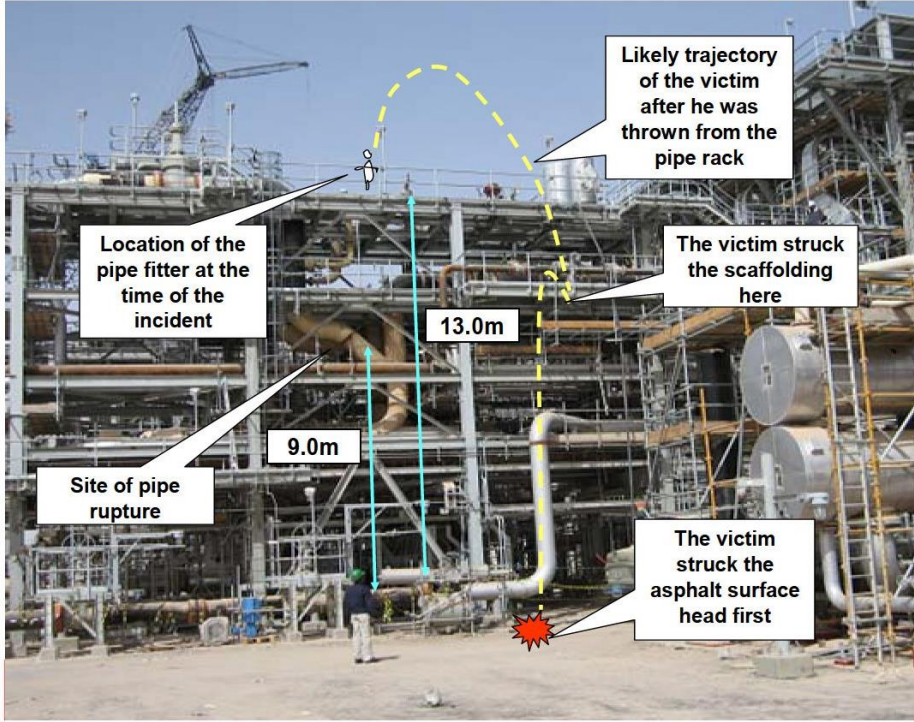
Aynı şekilde basınç testlerinde de istenmeyen basınçlara ulaşılmasını engellemek için emniyet valfi kullanımı önemlidir. ASME B31.3 Standartı madde 345.5’de pnömatik basınç testlerinde test basıncının maximum %10’nunda devreye giren emniyet valfi kullanılması zorunlu kılınmıştır. Sadece pnömatik basınç testlerinde değil bütün basınç testlerinde emniyet valfi kullanılması faydalı olacaktır. Eğer kullanılan emniyet valfi Şekil 4.9’daki gibi basınç ayarlı bir emniyet valfi ise uygun basınca ayarlandıktan sonra kalibrasyona gönderilmeli ve mühürlenmelidir.



Şekil 4.9: Basınç Ayarlı Emniyet Valfi Örneği

4.4.4 Hidrolik testlerde sistemde sıkışan gaz

Hidrostatik testlerde test edilecek sistemin su ile doldurulması esnasında sistemin içerisinde hava kalmadığından emin olunması gerekiyor. Daha öncede bahsettiğimiz üzere gazların depoladığı enerji sıvılara göre çok daha fazladır. Bu yüzden sistem içerisinde gaz birikir ise ciddi bir patlama potansiyeli yaratmaktadır.



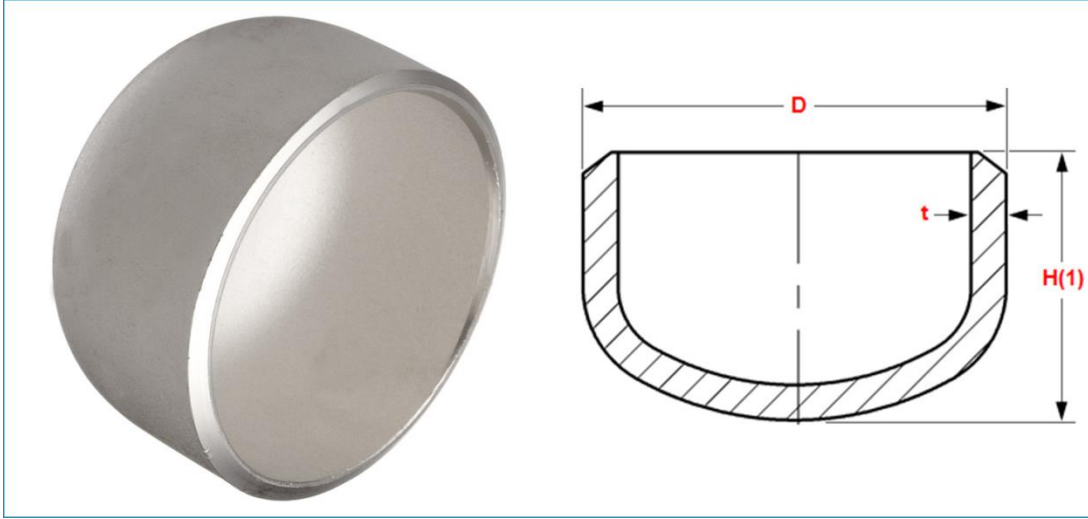
Şekil 4.10: Boru Hattı İçerisinde Sıkışan Havanın Patlaması Sonucu Oluşan Kaza

2008 yılında Suudi Arabistanda meydana şekil 4.10'da fotoğrafları bulunan kazada basınç testi sırasında boru hattına sıkışan hava patlamaya neden oluyor ve o sırada 13m yükseklikte platform üzerinde bulunan boru montaj işçisi 4m aşağısında meydana gelen patlamanın şok dalgasının etkisiyle yüksekten düşerek hayatını kaybediyor. Japon firmasının kaza sonrası yayınlamış olduğu Güvenlik Alarmı broşürünü ekte bulabilirsiniz.

Bu tehlikenin önlenmesi için sistemin su ile doldurulması işlemi sonrası mutlaka sistemin en yüksek noktasından içeride sıkışan havanın tahliye edilmesi gerekmektedir. Bunun için test basıncına dayanacak bir vana yerleştirilebilir. Sistem su ile doldurulduktan sonra en üst noktadaki vana açılarak sisteme bir süre daha su basılmalı ve içerideki hava boşaltılmalıdır. Eğer içeride hava kaldıysa sistem kapatılıp basınç verilmeye başlandığında basıncın belirli bir süre artmadığı fark edilecektir. Çünkü sisteme verilen basınç o sırada havanın sıkışmasını sağlayacak ve test manometresinde artış gözlenmeyecektir veya manometre düzensiz artış ve azalmalar meydana gelecektir. Bu durumun dikkatle takip edilip sistemde hava kaldığının tespit edilmesi mümkündür. Supervizörlerin ve çalışanların bu konuda mutlaka bilgilendirilmesi gerekmektedir.

4.4.5 Test yapılacak sistemin sınırlandırılması

Test yapılacak sistemin belirlenmesi ve test kapsamında olan vana, tank, nozul vb. bağlantı ekipmanlarının ilgili test basıncına dayanıklı olup olmadığının test öncesi kontrol edilmesi gerekmektedir. Test kapsamına girmeyen yerlerin kapatılarak uygulama tabiriyle körlenerek basınçlandırma işlemine geçilmesi gerekmektedir. Özellikle körleme işlemi de hayati önem taşımaktadır. Birçok basınç testi kazasının kök nedeni uygun olmayan körleme işlemi sonucu patlamalardan kaynaklanmaktadır. Boru hatlarında körleme işlemi mutlaka test kepleri ile yapılmalıdır. Bu boru keplerinin ANSI B16.9 Pipe Caps gibi ilgili standartlara uygun olarak üretilmiş olması gerekmektedir.



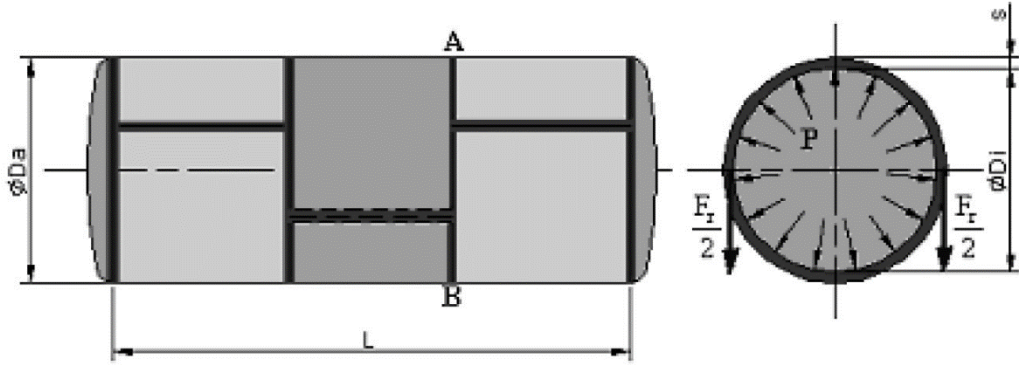
Şekil 4.11: Boruların Körlemesi İçin Uygun Olan Ekipman



Şekil 4.12: Boru hattı için test kepi uygulama örneği

Körleme işleme için düz plaka kullanıldığında düz bir yüzey oluşacağı için oluşan basınç kuvvetleri direk kör plakanın kaynağı üzerine baskı oluşturacağı için kaynağın

bu kuvvetlere dayanamayarak patlama riski bulunmaktadır. Aynı tehlikeden dolayı basınç kapların üst ve alt kısımları düz değil oval olarak üretilmektedir.

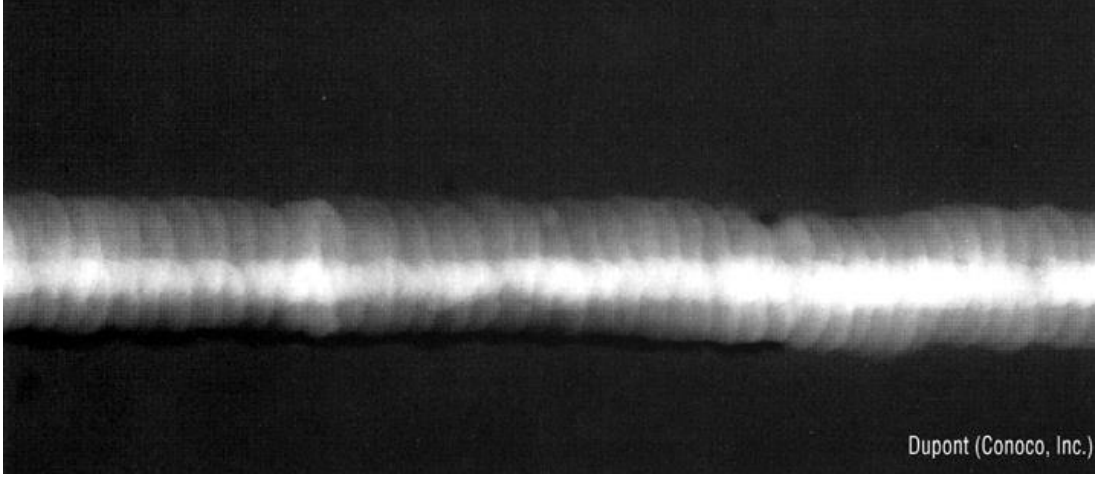


Şekil 4.13: P iç basıncına maruz kalan silindirik bir kap

Körleme işleminde kaynak yapıyor ise kaynaklarında mutlaka ilgili kalite standartlarınınca kontrol edilmesi, gerekli sertlik testi, tahribatsız muayene yöntemleri ile kontrol edilmesi gerekmektedir. Kaynakların sağlamlığından emin olunması yine hayati önem arz etmektedir.



Şekil 4.14: Manyetik penetrant testi örneği



Şekil 4.15: Radyografik Test Sonucu Örneği

Kapatma, körleme işlemi şekil 4.16'daki gibi dişli ekipmanlar ile yapılacak ise ekipmanın uygun değerde sıkıldığından emin olunması için mutlaka tork aleti sıkma işlemi yapılmaktadır. Dişlerin zarar görmesini veya sarmasını engellemek için vida gevşemezlilik veya sızdırmazlık kimyasalları veya salmastralar kullanılabilir.



Şekil 4.16: Körleme ekipmanı (kör tıpa)



Şekil 4.17: Gevşemezlilik Kimyasalı Kullanım Örneği

Körleme işlemi flanş ve cıvata bağlantısı ile yapılmış ise cıvataların sağlam bir şekilde sıkıldığından emin olunması gerekmektedir. Bu işlemde hesaplanan tork değerini karşılayacak şekilde mutlaka tork anahtarı ile yapılmalıdır. Aksi takdirde cıvataların sağlam bir şekilde sıkıldığından emin olunamaz.



Şekil 4.18: Boru Hattı Kör Flanş Uygulaması

Test edilecek boru hatlarının k rlenmesi için Şekil 4.19'daki gibi k rleme aparatları da kullanılmaktadır. Borunun içerisine yerleŐtirilen aparat hava veya su ile ŐiŐirilerek sıkıŐtırılıyor ve hattın k rlenmesi sağlanıyor.



Şekil 4.19: Boru K rleme Aparatları

Bu aparatların seçiminde dikkat edilecek nokta aparatın test basınca uygun değerde ve ilgili boru çapına uygun olduğundan emin olunulmasıdır. Bu yöntem hızlı ve güvenli gibi görünse de ŐiŐirilen aparatın patlama veya fırlama riski her daim mevcuttur. Bu tehlikelerde göz önüne alınarak güvenli mesafe bırakılması veya extra önlemlerin alınmasında fayda vardır.



Şekil 4.20: Boru k rleme aparatının ŐiŐirilmesi

4.4.6 Whip-Check uygulaması

Test yapılacak sistemde veya su jeti, kompresör gibi test basıncı sağlayıcı kaynaklarda elastik hortum vb. ekipmanlar var ise mutlaka sabitlemesi gerekmektedir. Olası bir hatada fırlayan hortumların kırbaçlama etkisi ciddi yaralanmalara hatta ölümlere sebep olabilir. Bunun için İSG literatüründe Whip-Check olarak geçen sabitleme ekipmanları kullanılır.



Şekil 4.21: Doğru Whip-Check Uygulaması Örneği

Whip-Check uygulaması doğru ekipmanlar ile doğru şekilde yapılmalıdır. Aksi takdirde tam manasıyla koruma sağlamayacaktır.



Şekil 4.22: Uygun olmayan hortum sabitleme uygulaması

4.4.7 Basınç hortumlarının güvenliği

Basınç testlerinde kullanılan bütün ekipmanların ilgili standartlarda ve test basıncına dayanacak kapasitede olması gerekmektedir. Aksi takdirde testin güvenliği tehlikeye düşecektir. Örneğin basınç testinde kullanılacak hidrolik hortum ve hortum takımlarının TS EN İSO 18752:2016 standartında ve test basıncının üstünde bir kapasitede olması gerekmektedir. Test öncesi bu ekipmanların standartlarının ve basınç kapasitelerinin mutlaka kontrol edilmesi gerekmektedir. Patlayan hortumlar hep kırbaçlama etkisi ile hem de sıvı fışkırması tehlikesiyle ciddi yaralanmalara neden olabilir.



Şekil 4.23: Standartı olmayan güvenliksiz hidrolik hortum



Şekil 4.24: Standartlara uygun güvenli hidrolik hortum

4.4.8 Basınç üretici kaynakların güvenliği

Basınç testlerinde test basıncına ulaşmak için çeşitli basınç üretici kaynaklar kullanılmaktadır. Bu ekipmanlarında İSG açısından uygun olması gereklidir.

Pnömatik basınç testlerinde çeşitli tip hava kompresörleri kullanılmaktadır. Bu kompresörlerin ilgili standartlara göre üretildiğinin teyit edilmesi ve CE deklarasyon sertifikalarının bulunması gerekmektedir. Ayrıca hava kompresörlerinin tanklarında

yılda 1 kez test edilmesi ve periyodik kontrol raporlarının alınmış olması gereklidir. Hava kompresörlerinin bütün hava hortumlarının Whip-Check ile sabitlenmiş olması gerekmektedir. Kompresörden çıkan ve test sistemine bağlanan hortumlarda ek olmaması, aynı ebatlarda olması ve hortumlarının ilgili basınca dayanıklı ve sertifikalı hortumlar olması gerekmektedir. Kompresör üzerinde bulunan manometrelerin çalışır durumda olduğu ve doğru ölçüm yaptığından emin olunması gerekmektedir. Gerekli durumlarda kalibrasyonundan emin olunan bir manometre ile doğrulama işlemi yapılabilir.



Şekil 4.25: Havalı Kompresör Örneği

Hidrostatik testlerde basınçlandırma kaynağı olarak çeşitli ekipmanlar kullanılmaktadır. Su jeti hidrostatik basınç testlerinde sıkça kullanılmaktadır. Su jetinin ilgili standartlara göre üretildiğinin teyit edilmesi ve CE deklarasyon sertifikalarının bulunması gerekmektedir. Kompresörde olduğu gibi yine aynı şekilde su jetinde bulunan bütün hortumların Whip-Check ile sabitlenmiş olması gerekmektedir. Su jetinin sistem ile bağlantısını sağlayan hortumlarda ek olmamalıdır. Bağlantı hortumlarında ilgili standart ve basınç değerlerine uygun olduğundan emin olunmalıdır.



Şekil 4.26: Hidrostatik basınç testlerinde kullanılan su jeti

Özellikle yüksek basınçlarda olmayan hidrostatik testlerde hidrolik el pompalarına basınçlandırma kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu ekipmanların kullanırken de yine hortum fırlama tehlikesine karşı Whip-Check uygulaması yapılmalıdır. Hidrolik el pompasının manometresinde doğru değeri gösterdiğinden emin olunması ve kalibrasyonunun yapılmış olması gerekmektedir. Ayrıca operatör el ile pompayı kullandığı için test edilecek sistemden mümkün olduğunca uzağa konumlandırılmalıdır.



Şekil 4.27: Hidrolik El Pompası Örneği

4.4.9 Basınç testi öncesinde dikkat edilmesi gereken hususlar

Basınç testlerine başlamadan önce mutlaka test edilecek sistemin kalite kontrol evraklarının ve sertifikalarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Kullanılan ekipmanların sertifikaları, yapılan kaynaklar ile ilgili kalite kontrol dokümanlarının, sistemin dizayn ve test basıncı gibi hesaplamaların yapıldığı dokümanlar gibi bir çok dokümanın kontrol edilmesi ve uygunluğundan emin olunması gerekmektedir. Basınç testleri öncesi test planı hazırlanmalı ve test öncesi, test sırasında, test sonrasında ve acil durumlarda neler yapılacağı planlanmalıdır. Aksi takdirde bir çok komplike değerlendirmeyi gerektiren bu çalışmalarda gözden kaçan noktaları tespit etmek zor olacaktır.

Bu kontrollerin sadece kagıt üzerinde değil sahada da kontrolü önemlidir. Test öncesi mutlaka ilgililer ile birlikte saha yürüyüşleri düzenlenmeli ve kontroller multi-disipliner bir çalışma ile sağlanmalıdır. Ayrıca çalışma alanının uygunluğuda bu yürüyüşler sırasında yapılmalıdır. Yeterli aydınlatmanın olup olmadığı, test sırasında erişim zorluğu yaratacak noktalar bulunup bulunmadığı, var ise kurulan iskelelerin uygunluğu kontrol edilmelidir. Test öncesinde, test alanına yetkisiz personellerin girişini engellemek için fiziki barikatlama ve uyarı levhalarının asılması ile ilgili planlama ve çalışma yapılmalıdır. Mümkün olduğunca fiziki barikatlar ile alan kapatılmalı ve uyarı levhaları açık, net ve anlaşılır olmalıdır. Gerekli durumlarda uyarı levhaları birden fazla dilde hazırlanmalıdır.



Şekil 4.28: Test Alanı Uyarı İşaretleme Örneği

Test öncesinde bütün bağlantı ekipmanlarının üreticinin kullanma talimatına göre takıldığından ve sıkıştırıldığından emin olunması gereklidir. Bütün dişli bağlantılar kontrol edilmelidir. Bütün bağlantı cıvataların uygun tork değerinde sıkıldığından emin olunmalıdır.

Test esnasında personellerin duracağı noktalar net olarak belirlenmelidir. Manometrelerin tehlikeli alandan mümkün olduğunca uzağa konumlandırılmalıdır. Özellikle test esnasında manometreleri kontrol eden personeller test edilen sisteme yakınlıklarından dolayı tehlike altında olurlar. Manometrelerin güvenli alana alınmadığı durumlarda kamera ile basınç kontrolü yapılması için düzenek kurulabilir ve böylece tehlikeli alanda personel bulundurulmaz. Veya manometre kontrolü yapan personeli korumak için bölüm 4.3'de belirtilen hesaplamalar doğrultusunda kalınlığı hesaplanmış olan barikatlamalar yapılabilir. Test esnasında açılması veya kapatılması gereken vanalar var ise uzaktan kumanda edilebilen selenoid vanalar kullanmak personelin test alanına girmesine gereğini ortadan kaldıracığı için riski azaltacaktır.

Basınç testleri öncesinde mutlaka teste katılacak personele hem yapacağı işler ile ilgili hem de İSG konuları ile ilgili detaylı ve teknik eğitimler verilmesi ve personelin basınç testine hazır olması sağlanmalıdır. Basınç testine başlamadan öncede saha içerisinde İSG literatüründe Toolbox eğitimi denen eğitimler ile önemli noktalar hatırlatılmalıdır.

4.4.10 Basınç testi sırasında dikkat edilmesi gerekenler hususlar

Hidrostatik basınç testlerine başlamadan önce mutlaka suyun sıcaklık seviyesi kontrol edilmelidir. Özellikle soğuk havalarda suyun donma riski bulunmaktadır. Sistem içerisinde herhangi bir noktada donan su hem sistemin çalışmasını tıkararak risk oluşturabilir hem de düşük sıcaklıkta sistemin herhangi bir yerinde kırılma meydana getirebilir. Bu yüzden test sıvısının test boyunca 0 0C derecenin altına düşmediğinden emin olunması gereklidir. Hava şartlarına göre sisteme verilen suyun ısıtılması gerekebilir.

Basınç testi başlanılıp test basıncına ulaşılan süreye kadar olan kısım en riskli kısımdır. Sistemin ilk defa test edildiği bu süre boyunca hesaplan güvenli mesafelere kesinlikle uyulması gerekmektedir ve alana girişler engellenmelidir. Test basınca ulaşıldıktan sonra test basıncında kalınarak beklenecek sürenin belirlenmesinde test

edilen sisteme, müşteri beklentilerine veya ilgili standartlara göre değişiklik olabilir. ASME B31.3 Standartında boru hatları için test basıncında beklenmesi gereken süre minimum 10dk olarak belirtilmiştir. Bu sürenin üzerinde bekleme süreleri olabilir. Örneğin yeraltı doğalgaz boru hatların hidrostatik testlerinde, test basıncına ulaşıldıktan sonra 6 saat beklenilmektedir. Burada kritik nokta test basıncında kalındığı süre boyunca test alanına kimsenin girmemesidir. Sistemin gezilmesi ve kaçak vb. aksaklıkların kontrol edilmesi işlemi mutlaka işletme basıncına düşüldükten sonra gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Test basıncı demek sistemin anormal şartlarda denenmesi demektir. Buda sistemde hata, kaçak, patlama vb. tehlikelerin bulunduğu anlamına gelir. Bu durumda iş güvenliği açısından risk yaratmaktadır. İşletme basıncına düşüldükten sonra sistemin gezilmesi güvenli olmaktadır.

Sistemin işletme basıncına düşüldükten sonra gezilmesi sonucu tespit edilen kaçak, hasar, gevşemiş bağlantılar vb. aksaklıklar mutlaka sistemin basıncının sıfırlanmasından sonra tamir, kaynak vb. işlemlere alınması gerekmektedir. Sistem basınçlı iken yapılacak böyle çalışmalar ciddi yaralanma ve hayati tehlike taşımaktadır. Basınç altındaki hiçbir ekipmana kesme, kaynak, sıkma vb. işlemler yapılmamalıdır.

Testin tamamlanıp sistemin basınçsızlaştırma işlemide dikkat edilmesi gereken bir noktadır. Basıncın düşürülmesi ve test sıvısının boşaltılması işlemi kontrollü ve kademeli olarak yapılmalıdır. Basıncın düşürülmesi hızlı bir şekilde yapılırsa sistemin ısısı hızlı bir şekilde düşecek ve ekipmanlarda gerilme, kırılma gibi etkiler yaratacaktır. Test sırasında kullanılan su kontaminasyona uğradığı için direk çevreye bırakılması hem insan hem de çevre sağlığı açısından uygun değildir. Suyun belirli bir yerde toplanıp bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Pnomatik testlerde Azot gibi hava harici bir gaz kullanılıyorsa test sırasındaki olası kaçak ve test sonrası azot gazının boşaltılması işlemlerinde boğulma tehlikesine dikkat edilmelidir. Gazın tahliye edildiği noktanın açık ve gaz birikimi yaratmayacak şekilde olması gerekmektedir. Gaz kapalı alanlara tahliye edilmemelidir.



5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Basınçlı çalışmaların en riskli bölümünü oluşturan basınç testlerinde birçok ciddi ve hayati tehlike yaratabilecek riskler mevcuttur. Çalışma hayatında çok sık olarak karşılaşılmayan veya yapılmayan bu işlerde yapılabilecek en ufak bir hata uzuv kaybıyla veya ölümlle sonuçlanabilir. Basınç testlerinin doğru ve güvenli bir şekilde yapılması hem çalışan güvenliği hem de proses güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Doğru test edilmeyen bir sistem devreye alındıktan sonrada ölümlü kazalara sebebiyet verebilir.

Yerel kaynaklarda basınç testlerindeki güvenlik kuralları ile ilgili yeterli kaynak olmadığı tespit edilmiştir. Direk olarak basınçlı çalışmalarda iş güvenliği ile ilgili bir standart bulunmamakla beraber, uluslararası birçok standart basınç testleri ile ilgili güvenlik bilgileri içermektedir. Ayrıca uluslararası birçok kuruluş ve firma basınç testi güvenliği ile ilgili çalışma yapmaktadır ve rehber niteliğinde dokümanlar hazırlamıştır. Bu tezde de bu bilgilerin bir çatı altında toplanması ve hem tehlikeler hem de dikkat edilmesi gereken konular irdelenmiştir. Çalışmada da görülebileceği gibi basınç testleri birçok teknik bilgi ve detay barındıran sadece iş güvenliği değil birçok konuda uzman bilgisi gerektiren multi-disipliner bir çalışmadır. Mühendislik, kalite, malzeme bilimi, iş güvenliği dallarının birlikte yürütmediği bir basınç testi çalışmasının geriye dönüşü olmayan sonuçlar doğuracağı açık bir şekilde anlaşılmıştır. Hiç bir güvenlik önlemi atlanmamalı veya göz ardı edilmemelidir.

Yeni teknolojiler ve günümüzün bilgi ağı çerçevesinden basınçlı çalışmalardaki kazaların ve ölümlerin önüne geçmek mümkündür. Ülkemizde de sanayileşmenin artarak devam etmesiyle bu tip çalışmalar daha sık yapılmaya başlanmıştır. İş kazalarının hem maddi hem de manevi boyutu düşünülürse basınç testleri ile ilgili rehber niteliği taşıyan çalışmalarda yapılması gerekmektedir. Ayrıca öğrenilmiş derslerin arttırılması ve aynı olayların tekrar edilmemesi adına Amerikan İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresinin (OSHA) yaptığı uygulama gibi yaşanmış iş kazalarının olay inceleme raporlarının firma ismi belirtilmeden yayınlanmasının faydalı olacağı düşüncesindeyim.



KAYNAKLAR

- ASME B31.3 Process Piping Standards.** (2010). *American Society of Mechanical Engineers.* USA
- ASME Repair of Pressure Equipment and Piping Standards PCC-2.** (2015). *American Society of Mechanical Engineers.* USA
- Altintas, A.; Sabuga, W.; Ott, O.; Durgut, Y.; Šetina, J.; Otał, P. ve Medina, N.** (2017). *EURAMET Guidelines on the Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometers.* Germany
- McDonald, A.** (2013). *Hydraulic injection injury.* England
- Somerton, C.W. ve Potter, M.C.** (2013). *Thermodynamics for Engineers.* USA
- Miller, D.; Jallais, S.; Pham-Huy, M. ve Geng, J.** (2018). *New Criteria for Safety Distances during Pneumatic Pressure Testing of Vessels and Pipes.* Florida
- Guide To Pressure Testing Safety.** (2013). *The Mechanical Contractors Association of America.* USA
- İş ekipmanlarının kullanımında sağlık ve güvenlik şartları yönetmeliği,** (2013) 25 Nisan 2013 tarih ve 28628 sayılı *Resmi Gazete*
- Saville, G., Richardson, S.M., Skillerne De Bristowe , B. J.,** (1998). *Hse Books, Pressure Test Safety.* England
- Pressure Equipment Directive 2014/68/EU.** (2014). *European Commission.* Belçika

İnternet Kaynakları:

- [1] **Standard Pneumatic Test Procedure Requirements for Piping Systems.** (2016). ABSA the pressure equipment safety authority, Adres: http://www.absa.ca/wp-content/uploads/2015/04/AB-522_Standard_Pneumatic_Test_Procedure_Requirements.pdf Alındığı Tarih: 31.01.2019
- [2] **Hydrotesting Fatality.** (2019) http://tedpelling.com/news/Hydrotesting_Fatality.pdf Alındığı Tarih: 31.01.2019



EKLER

EK A: Basınç Testi İş Kazası Güvenlik Alarmı



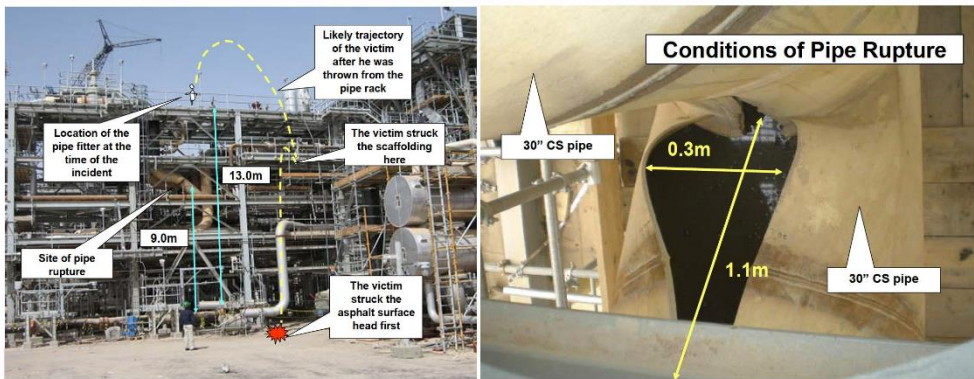


EK A: Basınç Testi İş Kazası Güvenlik Alarmı



LESSONS LEARNED & SAFETY ALERT

On 19 February, 2008 hydrostatic test preparation started in the morning for the test package located at the Train 2 pipe rack. At 16:45, test pressurization started. During the pressurization, 3 crew were on the top of the pipe rack (13m from the ground) checking the conditions, and one foreman was on the ground directing them. At 17:40, before reaching the highest pressure, 30" pipes burst at the 45degree joint located 9m from the ground. The force of the blast threw one pipe fitter 14m from the top of the pipe rack. He hit the scaffolding on the other side and fell 7m to the ground and died as a result of a skull fracture.



| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reference No: | <p>Direct & Contributory Causes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Test pressure was wrongly selected and higher than it should have been ● No depressurizing was performed when the crew found a leakage ● The Pipe fitter was working on top of an unfixed grating ● The Pipe fitter was working at height without tie-off ● Air was likely trapped inside the pipe during the test preparation |
| Issue Date: 2008/3/17 | |
| Country /Location: Saudi Arabia | |
| Date of Incident: 19 Feb 2008 | |
| Type of Incident: Hydro test failure/fall from height | |
| Incident Status: Fatal incident | <p>Root Cause Category:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Procedure not available ● No training objective ● Quality control inspection technique inadequate ● Poor communication system ● Management enforcement system inadequate ● Human engineering complex ● Inappropriate supervision |
| <p>Message from Yokohama :</p> <p>Greater attention needs to be given to minimizing the effects on safety of incidents such as a burst pipe during a hydrostatic test. Particularly in this case, consideration should have been given to the impact of pipe failure when such a large-sized piping system was involved.</p> | |
| <p>Corrective Actions To Be Taken:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Develop new procedure for test pressure determination and implement it ● Conduct risk assessment for hydro-test, and develop new hydro test procedure reflecting the assessment and implement it ● Develop new procedure for working at height associated with grating removal permit system and implement it ● Develop air release control system for hydro-test and implement it ● Develop and use new training materials reflecting all of the above. | |



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Selçuk DURGUT

Adres : Muhittin Mah. Bağlarıçi 4. Sokak No:57
Ertok Aprt. Kat:5 Daire:25 Çorlu\Tekirdağ

Tel (GSM) : (0505) 386 08 26



E-posta Adresi : selcukdurgut@yahoo.com

| Kişisel Bilgilerim | |
|---------------------|-------------------------------|
| Doğum Tarihi - Yeri | 23.07.1982 - İstanbul |
| Uyruk | Türkiye Cumhuriyeti Vatandaşı |
| Medeni Durum | Evli |
| Sürücü Belgesi | Mevcut / B Sınıfı |
| Askerlik Durumu | Yapıldı / 19.05.2008 |

| Eğitim Bilgilerim | | |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 10.06.2018-11.06.2018 | Tüv Süd EN 12100 Makine Risk Değerlendirme Eğitimi | İstanbul, Türkiye |
| 12.05.2018-13.05.2018 | Mess Eğitim Vakfı Language of Effective Presentation | İstanbul, Türkiye |
| 03.04.2018-04.04.2018 | Tüv Süd Atex Eğitimi | İstanbul, Türkiye |
| 08.06.2017-10.07.2017 | SGS 14001:2015 Bilinçlendirme ve İç denetçi eğitimi | İstanbul, Türkiye |
| 19.10.2015-20.10.2015 | Dönüşen Adam Incident Investigation&Root Cause Analysis Kaza araştırma ve Kök Sebep Analizi Eğitimi | Kırıkkale, Türkiye |
| 03.01.2014 | Layher Türkiye Layher İskele Teknik Seminer ve İskele Denetleme Eğitimi | İstanbul, Türkiye |
| 10/2012– 12/2012 | Aydın Üniversitesi C Sınıfı İş sağlığı ve Güvenliği Uzmanlığı Eğitimi | İstanbul, Türkiye |
| 09/2002 – 06/2007 | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Lisans – Kimya Bölümü | Eskişehir, Türkiye |
| 09/1996 – 06/2000 | Orhan Cemal Fersoy Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı) Fen – Fen Bilimleri | İstanbul, Türkiye |

| Deneyimlerim | | |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 04/2017- Halen | DİNEX GROUP EXHAUST SYSTEM Pozisyon: Health and Safety Coordinator İş Tanımı: | Çerkezköy, Tekirdağ |
| 09/2016-12/2016 5ay | TEKNOKON ENDÜSTRİ Pozisyon: HSE Manager İş Tanımı: Samsun C&T Doğal Gaz Çevrim Santrali şantiyesinde mekanik ve boru montajı yapan Teknokon Endüstri bünyesinde HSE Manager olarak görev yaptım. | Kırıkkale, Türkiye |
| 08/2015-07/2016 11ay | TEKNOKON ENDÜSTRİ Pozisyon: HSE Manager İş Tanımı: Gama Doğal Gaz Çevrim Santrali şantiyesinde mekanik ve boru montajı yapan Teknokon Endüstri bünyesinde HSE Manager olarak görev yaptım. | Kırıkkale, Türkiye |
| 04/2014-08/2015 16ay | TEKNOKON ENDÜSTRİ Pozisyon: İş Güvenliği Uzmanı İş Tanımı: Eren Holding Modern Karton PM5 (Void Paper Machine) şantiyesinde Teknokon Endüstri bünyesinde HSE süpervizörü olarak görev yaptım. | Çorlu, Türkiye |
| 06/2013 – 04/2014 9ay | Hekim Sultan OSGB Pozisyon: İş Güvenliği Uzmanı İş Tanımı: İş Güvenliği uzmanı olarak mühendislik hizmetlerinin verilmesi, Risk Analizi, Acil Durum Eylem planlarının hazırlanması, Temel iş sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin verilmesi | İstanbul, Türkiye |
| 10/2009 – 06/2013 32ay | Şehit Binbaşı Bedir Karabıyık Endüstri Meslek Lisesi İmkb Kız Teknik ve Meslek Lisesi Sefaköy Lisesi Pozisyon: Kimya Teknolojisi Öğretmenliği İş Tanımı: Kimya Teknolojisi dersleri ve Laboratuvar derslerini verdim. | İstanbul, Türkiye |
| 06 / 2004 – 09 / 2004 3ay | Tekboy Tekstil San. Tic. A.Ş. Pozisyon: Stajyer Departman: Arge Laboratuvarı İş Tanımı: Pamuk, viskon, polyester, bunların karışımı ve pamuk/akrilik karışimli iplik çeşitlerinin boyandığı işletmede boyama prosesine dair geliştirmelerin yapılması sürecinde yer almak. | İstanbul, Türkiye |

Yetenekler

İşe başlamadan önce ana yüklenici firma tarafıda istenilen ve yasal olarak hazırlanması gereken her işe özgü olarak risk analizlerinin ve acil durum eylem planlarının türkçe/ingilizce olarak hazırlamak. (yüksekte çalışma prosedürü, iskele kurma ve sökme prosedürü, sıcak çalışma prosedürü, kapalı alanda çalışma prosedürü vs.)

Ana yüklenici firmanın düzenlediği haftalık HSE toplantılarına ve saha yürüyüşlerine firma adına katılmak.

Firma içinde haftalık HSE toplantılarının yapılmasını sağlamak ve saha içerisinde testip edilen uygunsuzluklar için termin süresi belirlemek ve aksiyonların takibini yapmak.

Ramak kala ve iş kazası raporlarını hazırlamak, kaza kök sebep analizlerini yapmak ve alınması gereken önlemlerinin belirlemek.

Günlük saha gözlem raporlarını hazırlamak ve uygunsuzlukların giderilmesi için şirket içinde emniyetsiz durum raporlarını yayınlamak

Haftalık ve aylık HSE raporlarını hazırlamak, şirket içinde yayınlamakve HSE koordinatörüne bilgi vermek

Şantiye sahası içerisindeki HSE kurallarına uyulup uyulmadığını gözlemek ve HSE supervizörü personellerini koordine etmek, görev yerlerini belirlemek ve dikkat edilmesi gerekenler hakkında bilgilendirmek

Günlük olarak alınan iş izinlerinin kontrollerini yapmak ve yaptırmak. Belirlenen uygunsuzlukların düzeltilmesi için ilgili mühendis ve HSE personelini yönlendirmek

Bütün firma çalışanlarının HSE kurallarına tam uyumunu sağlamak için gözlemleri yapmak ve gerekli disiplin cezalarını uygulamak (yenileme eğitimi, sahadan uzaklaştırma cezası, iş akdini fesih)

Bütün çalışanları yasal zorunluluk olarak ve ana yüklenici firma tarafından talep edilen eğitimlerinin verilmesi/verilmesinin sağlanması (İşe giriş eğitimleri, Yüksekte çalışmalarda iş güvenliği eğitimi, Sıcak çalışmalarda iş güvenliği eğitimi, Kapalı alanlarda çalışmalarda iş güvenliği eğitimi, Kesme ve taşıma işlerinde iş güvenliği eğitimi)

Hizmet alınan osgb firmasından alınan yasal eğitimlerin yapılmasını sağlamak/koordine etmek ve eğitim loglarını tutmak

NDT çalışmalarında ve Hidrostatik/pnömatik basınç testleri öncesi güvenli mesafeleri hesaplamak, gerekli dökümanları hazırlamak ve diğer yüklenici firmalara duyurulmasını sağlamak

Kurulu olan iskeleleri uygunluğunu denetlemek, iskele süpervizörlerinin kontrolleri yapıp yapmadığını denetlemek

Kaldırma işlemleri öncesi hazırlanan lifting planlarının uygunluğunu denetlemek ve Kaldırma işlemleri sırasında tehlikeli bölgelerin belirlenmesi ve yetkisiz personelin girişinin engellenmesini sağlamak

Saha içerisindeki ekipmanların haftalık ve aylık kontrollerini yapmak/yaptırmak ve kontrol raporlarının hazırlanarak şirket içerisinde yayınlanmasını sağlamak

Firma tarafında kullanılan iş makinalarının periyodik bakım ve kontrol tarihlerini takip etmek ve gerekli bakımların yaptırılmasını sağlamak

| Diğer Bilgilerim | |
|-------------------------|----------------------------------------------------|
| Yabancı dil | İngilizce (İyi) |
| Bilgisayar bilgisi | Microsoft Office Programları (İyi), sap2000 (iyi) |
| İlgi alanları | Müzik, sinema, kitap okumak, internet, e-spor, İsg |

| Referanslar | |
|------------------------------------------------------------------------|---------|
| DİNEX TÜRKİYE GENERAL MANAGER MERYEM ŞEKER | MOBİLE: |
| TEKNOKON ENDÜSTRİ PROJECT MANAGER/MEMBER OF BOARD H.ERÇAĞ BEDERLİ | MOBİLE: |
| TEKNOKON ENDÜSTRİ HSE COORDİNATOR/MEMBER OF BOARD ONUR CEM BİLGİNER | MOBİLE: |
| TEKNOKON ENDÜSTRİ SİTE MANAGER ÖRSAN YAZICIOĞLU | MOBİLE: |
| GAMA ENERGY HSE COORDİNATOR DORUK BİLGE TUNCER | MOBİLE: |
| GAMA POWER SYSTEM HSE MANAGER OĞUZHAN ÖNAL | MOBİLE: |
| EREN HOLDİNG MODERN KARTON HSE MANAGER RESUL OZAN | MOBİLE: |