

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI (DİSİPLİNLERARASI)**

**TAŞINABİLİR ÇELİK TÜP İMALATI İÇİN SIKI GEÇME
KALIP TASARIMININ YAPILMASI VE UYGUN KORDON
BIÇAK AÇISININ BELİRLENMESİ**

Engin ALPER

**Danışman
Doç. Dr. Hatice VAROL ÖZKAVAK**

ISPARTA - 2025



© 2025 [Engin ALPER]

ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezime ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

07/01/2025

Engin ALPER

.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. LPG Nedir?	1
1.2. LPG Tüp İmalatı	3
1.3. LPG İmalatı Sonrası Uygulanan Deneyler.....	14
2. KAYNAK ÖZETLERİ	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM	32
3.1. Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	32
3.2. Uygulanacak Yöntem.....	33
3.3. Deney Numune Hazırlama.....	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
4.1. Gözle Muayene İşlemi	45
4.2. Radyografik (X-Ray) ile Muayene İşlemi.....	45
4.3. Makro Muayene İşlemi	47
4.4. Çekme Deney Sonuçları.....	50
4.5. Eğme Deney Sonuçları.....	52
4.6. Basınçla Yorulma Deney Sonuçları	52
4.7. Patlatma-Genleşme Deney Sonuçları.....	53
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	65

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TAŞINABİLİR ÇELİK TÜP İMALATI İÇİN SIKI GEÇME KALIP TASARIMININ YAPILMASI VE UYGUN KORDON BIÇAK AÇISININ BELİRLENMESİ

Engin ALPER

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İleri Teknolojiler Anabilim Dalı (Disiplinlerarası)

Danışman: Doç. Dr. Hatice VAROL ÖZKAVAK

LPG tüpleri yanıcı ve patlatıcı özelliğe sahip LPG gazının güvenli bir şekilde depolanmasını sağlayan basınçlı kaplardır. LPG tüp imalatı basınçlı halde sıvılaştırılmış petrol gazının depolanmasının sağlanması açısından önemlidir. LPG tüp imalatında en önemli husus alt ve üst kovanların birbirinden ayrılmayacak şekilde birleştirilebilmesi ve iç kısımlarda kaynak dikiş hatasının görülmemesidir. Bunun sağlanabilmesi için doğru kaynaklı birleştirme işlemi yapılma zorunluluğu vardır. Sorunsuz bir kaynak işlemi kaynak işlem parametreleri ve kordon bıçak açısının ayarlanmasına bağlıdır. LPG tüp imalatında kaynak parametreleri standartların izin verdiği şekilde sac kalınlığına bağlı olarak seçilmektedir. Bu nedenle birleştirme işlemi için kordon bıçak açısı önem kazanmaktadır. Bu çalışmada hali hazırda taşınabilir çelik malzemedeki LPG tüp imalatı yapan bir firmaya ait tüpler için uygun sıkı geçme tasarımının yapılması ve buna uygun kordon bıçak açısının belirlenmiştir. Firma hali hazırda tasarımlarında 15° bıçak kordon açısı kullanmakta olup bu tez çalışmasında bu açılara ek olarak 8°, 10° ve 12° bıçak kordon açıları seçilmiş ve seçilen bu açılara sahip LPG tüpleri imal edilerek standartlara uygun deneyler yapılmıştır. Tez çalışmasında LPG çelik tüp imalatında en uygun bıçak kordon açısının 8° olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: LPG silindir, Kordon bıçak açısı, LPG silindir testi, LPG silindir tasarım imalatı

2025, 65 sayfa

ABSTRACT

Master's Thesis

DESIGN OF SHRINK-FIT MOLD FOR PORTABLE STEEL TUBE MANUFACTURING AND DETERMINATION OF SUITABLE CORD BLADE ANGLE

Engin ALPER

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Advanced Technologies (Interdisciplinary)**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hatice VAROL ÖZKAVAK

LPG cylinders are pressurized containers that provide safe storage of flammable and explosive LPG gas. LPG cylinder manufacturing is important in terms of ensuring the storage of pressurized liquefied petroleum gas. The most important issue in LPG cylinder manufacturing is that the lower and upper shells can be joined in a way that they cannot be separated from each other and that no welding seam defects are seen in the inner parts. In order to ensure this, it is necessary to perform the correct welded joint process. A problem-free welding process depends on the welding process parameters and the adjustment of the cord blade angle. In LPG cylinder manufacturing, the welding parameters are selected depending on the sheet thickness as permitted by the standards. For this reason, the cord blade angle becomes important for the joint process. In this study, the appropriate tight fit design for the tubes of a company that currently manufactures LPG cylinders from portable steel material and the appropriate cord knife angle was determined. The company currently uses a 15° blade cord angle in its designs, and in this thesis study, in addition to these angles, 8°, 10° and 12° blade cord angles were selected and LPG cylinders with these selected angles were manufactured and experiments were carried out in accordance with the standards. In the thesis study, it was concluded that the most appropriate blade cord angle in LPG steel cylinder manufacturing is 8°.

Key Words: LPG cylinder, Cord blade angle, LPG cylinder testing, LPG cylinder design and manufacturing

2025, 65 pages

TEŞEKKÜR

Tezimin y¼r¼t¼lmesinde desteğini ve emeğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danıŐmanım sayın Doç. Dr. Hatice VAROL ÖZKAVAK'a teŐekk¼rlerimi sunarım. Tez ęalıŐmamın her aŐamasında bana destek veren baŐta Sayın Sertağ ÖZBEKREM ve Hasan Turgay TEZEL'e teŐekk¼rlerimi sunarım.

Tezimin her aŐamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Engin ALPER
ISPARTA, 2025



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. TS EN 1442 standartlarına uygun tüp şekli ve boyutları.....	4
Şekil 1.2. LPG tüpünü oluşturan parçalar	5
Şekil 1.3. İki silindir ve üç parçalı silindir şeklinde imal edilen LPG tüplerindeki kubbe çeşitleri.....	6
Şekil 1.4. Barınca maruz kalan iç bükey tüp başlarına örnekler.....	8
Şekil 1.5. H/D oranı 0.2-0.25 arasında olması durumunda biçim faktörünün (C) bulunması.....	8
Şekil 1.6. H/D oranı 0.25-0.5 arasında olması durumunda biçim faktörünün (C) bulunması.....	10
Şekil 1.7. LPG tüp imalat aşamaları.....	11
Şekil 1.8. Tipik çevresel bindirmeli alın kaynağı birleştirmesinin gösterimi	12
Şekil 1.9. İki parçalı LPG tüp imalatında eğme ve çekme numunelerinin alınma bölgeleri	15
Şekil 1.10. Üç parçalı LPG tüp imalatında eğme ve çekme numunelerinin alınma bölgeleri	16
Şekil 1.11. Kaynağa dik olarak yapılan çekme deneyi için deney numunesi	17
Şekil 1.12. Eğme deney numuneleri	18
Şekil 3.1. Tez çalışmasının iş akış şeması	33
Şekil 3.2. Ev tipi LPG tüp imalatında hali hazırda kullanılan sıkı geçme tasarımı ...	34
Şekil 3.3. Ev tipi LPG tüp imalatı için yenilenen sıkı geçme tasarımı (a)8° (b)10° (c)12°	34
Şekil 3.4. Bıçak kordon açısının ayarlanması	35
Şekil 3.5. Yeni yapılan tasarıma uygun alt ve üst kovan imalatı	36
Şekil 3.6. Alt ve üst kovanların kaynakla birleştirilmesi	37
Şekil 3.7. Yeni tasarıma uygun birleştirilen LPG tüpleri.....	37
Şekil 3.8. İmalatı yapılan tüplerin X-Ray incelemeleri.....	38
Şekil 3.9. İmalatı yapılan tüplere ısıtma işleminin uygulanması	39
Şekil 3.10. Makro muayene işlem aşamaları	40
Şekil 3.11. Çekme deney numunelerinin hazırlanması.....	41
Şekil 3.12. Çalışmada kullanılan çekme deney cihazı ve numunenin cihaza bağlanması	41
Şekil 3.13. Tez çalışmasında kullanılan eğme deney düzeneği	42
Şekil 3.14. Tez çalışmasında kullanılan patlatma deney düzeneği	43
Şekil 3.15. Tez çalışmasında kullanılan basınçla yorulma deney düzeneği	44
Şekil 4.1. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin radyografi inceleme görüntüleri (a)8° (b)10° (c)12° (d)15°	46
Şekil 4.2. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin makro inceleme görüntüleri (a)8° (b)10° (c)12° (d)15°	48
Şekil 4.3. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin çekme dayanım değerleri	51
Şekil 4.4. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin çekme deney sonrası görüntüleri	51
Şekil 4.5. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin eğme deney sonrası görüntüleri	52
Şekil 4.6. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin basınçla yorulma deney sonrası görüntüleri	53

Şekil 4.7. 8° bıçak kordon açısında imal edilmiş LPG tüpüne ait patlatma- genleşme grafiği	54
Şekil 4.8. 10° bıçak kordon açısında imal edilmiş LPG tüpüne ait patlatma- genleşme grafiği	54
Şekil 4.9. 12° bıçak kordon açısında imal edilmiş LPG tüpüne ait patlatma- genleşme grafiği	55
Şekil 4.10. 15° bıçak kordon açısında imal edilmiş LPG tüpüne ait patlatma- genleşme grafiği.....	55
Şekil 4.11. Farklı bıçak kordon açısında imal edilmiş LPG tüpüne ait patlatma- genleşme deney sonrası görüntüleri.....	57



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. LPG'nin özellikleri	3
Çizelge 1.2. Biçim faktörü (C) ile H/D arasındaki ilişki.....	9
Çizelge 1.3. İki parçalı LPG tüplere uygulanacak deneyler ve deney açıklamaları ..	14
Çizelge 1.4. İki parçalı LPG tüplere uygulanacak deneyler ve deney açıklamaları ..	15
Çizelge 1.5. Mandrel çapı ile deney parçası kalınlığının oran değerleri.....	17
Çizelge 1.6. Kaplanmış tüpler için dış korozyon deneyleri	20
Çizelge 1.7. Çekme deneyine bağlı korozyon deney değerleri.....	21
Çizelge 3.1. LPG tüp imalatında kullanılan malzemenin kimyasal özellikleri.....	32
Çizelge 3.2. LPG tüp imalatında kullanılan malzemenin mekanik özellikleri	33
Çizelge 3.3. Çalışma için belirlenen bıçak kordon açıları	35
Çizelge 3.4. Birleştirme işlemi için kullanılan kaynak işlem parametreleri	37
Çizelge 3.5. Çalışmada numunelere uygulanan yorulma deneyi parametreleri.....	43
Çizelge 4.1. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin çekme deney sonuçları.....	50
Çizelge 4.2. Patlatma-genleşme deney sonuçları.....	56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	Silindirik gövde cidar kalınlığı
b	Bombe baş cidar kalınlığı
c	Bombe başların biçim faktörü
C ₃ H ₈	Propan
C ₄ H ₁₀	Bütan
dk	Dakika
D _p	Mandrel çapı
e	Numune kalınlığı
H	Bombe başın bombeli kısmının yüksekliği
h	Bombe başın silindirik kısmının yüksekliği
LPG	Liquefied petroleum gas
Lt	Litre
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
n	Eğme mandrel çapının, deney numunesi kalınlığına oranı
Pa	Pascal
Pb	Patlatma basıncı
Pc	Hesaplama basıncı
Ph	Deney basıncı
r	Bombe başın iç taraf boğum kısmının yarıçapı
R	Bombe başın iç taraf çanak kısmının yarıçapı
Re	Akma dayanımı
Rm	Çekme dayanımı
S _o	Kesit alanı
SPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
T	Kalınlık
°	Derece

1. GİRİŞ

Kokusuz ve renksiz olan LPG gaz halinde havada daha ağır bir gaz olup likit halde basınçlı kaplar içinde tutulmaktadır (Anonim, 2024). Yanıcı ve patlayıcı halde bulunan LPG gazının güvenli bir şekilde kullanılabilmesi ancak LPG gazına uygun yapılmış LPG tüplerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle LPG tüp imalatı pratik hayatımız için öncelik arz etmektedir. LPG tüpleri 2 veya 3 parçalı bir şekilde imal edilmektedir. LPG tüp imalatının en önemli aşaması alt ve üst kovanların kaynakla birleştirme işlemine hazır hale getirilmesi aşamasıdır, LPG tüplerini meydana getiren alt ve üst kovanlar hidrolik pres yardımıyla derin çekme yöntemi kullanılarak imal edilmektedir. LPG tüp imalatının basınçlı bir şekilde gerçekleşip gerçekleşmediği alt ve üst kovanların birbirinden ayrılmayacak şekilde birleştirilmesi ve iç kısımlarda kaynak dikiş hatasının bulunmamasına bağlıdır. Bu durum için doğru seçilen kaynak işlem parametreleri ile birçok bıçak kordon açısına bağlıdır. Ancak LPG tüp imalatı için seçilen kaynak işlem parametreleri tüp imalatında kullanılacak sac kalınlığına bağlı olarak standartlarda belirtildiği gibi seçilmektedir. Bu nedenle başarılı bir LPG tüp imalatı için doğru bıçak kordon açısına belirlenmesi önem kazanmıştır.

1.1. LPG Nedir?

LPG (Liquefied Petroleum Gas) olarak bilinen Likit petrol gazı (LPG) olarak tanımlanmaktadır. LPG %30 propan ile %70 bütan gazlarının karışımından oluşan renksiz ve kokusuz bir gaz çeşidi olup halk arasında tüp gaz olarak bilinmektedir. Her ne kadar kokusuz özelliğe sahip olsa da kullanıcıların mevcut kaçaklığı algılayabilmesini sağlamak amacı ile LPG kullanımı güvenli etil merkaptan ile kokulu hale getirilmiştir (Yazıcı, 2005). LPG gazı havadan daha yoğun olup sıvı halde depolanabilmesi için gaz hale geçmektedir.

LPG yüksek derecede yanıcı özelliğe sahip bir gaz olup atmosferik koşullara maruz kalması halinde hızla patlamaya neden olan hava-hidrokarbon oluşumunu oluşturmaktadır (Arayıcı vd., 2003). Bunun yanında düşük tutuşma sıcaklığına sahiptir. Bundan dolayı sızıntı halinde yanma tehlikesi oluşmasına ve göz ve deri ile temas halinde soğuk yanıkların oluşmasına neden olmaktadır (Öztop ve Güven, 2000). Temas dışında LPG gazının solunması ile boğaz ve burunda tahriş ve baş ağrısı ile

mide bulantısı, kusma, baş dönmesi ve bayılma veya maruz kalma sürecine bağlı olarak ölüme sebebiyet vermektedir (Yamanlar, 2003). LPG'nin bazı özellikleri Çizelge 1.1'de verilmektedir.

LPG genellikle evlerde mutfak, ısıtma veya soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Bunun yanında otel, lokanta, hastane veya küçük sanayi ticari alanlarda otel, lokanta, hastane veya küçük sanayi gibi ısıtma, sterilizasyon, yemek pişirme gibi alanlarda, motor yakıt olarak ve elektrik santrallerinde kullanım alanı bulmuştur (Arayıcı vd., 2003; Anonim, 2023). LPG dünyanın ihtiyaç duyduğu enerjinin %3'ünü karşılamaktadır (Öztop ve Güven, 2000).

LPG ülkemizde doğalgazın ulaşmadığı her bölgede mutfak ve banyoda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaygın kullanım alanı LPG'nin güvenilir bir şekilde kullanımını önemli kılmaktadır. Resmi Gazete'de 23.12.2000 tarihinde ve 24259 sayı ile yayınlanan "Tüketicilerin can ve mal güvenliği için tüp kullanımında uygulanacak hususlar belirlenmiştir. Belirlenen bu hususlara LPG tüpü kullanıcıların uyması beklenmektedir. Gaz yakan cihazlar pişirme, ısıtma veya aydınlatma amaçlı kullanılan ürünlerdir. Bu cihazlarda LPG veya doğalgaz yakıt olarak kullanılmaktadır. Bir LPG tüpünde bulunan elemanlar basınçlı kap (Tüp); valf; regülatör (dedantör) ve hortum olarak sıralanmaktadır. Bu elemanlardan basınçlı kap kompozit veya çelik saçtan imal edilmekte olup silindirik şekildedir. Tüp içindeki gaz debisini ve gazın açılıp kapanmasını sağlayan elemana valf adı verilir. Valfin iç kısmında yer alan ve valf açık konumda iken tüp iç basını ile akan gazın basıncının değerini ayarlayan elemana regülatör (dedantör) denir. Hortum ise basınçla ayarlanan gazın ilgili yere ulaşmasını sağlayan elemandır (Şaşmaz ve Altıntaş, 2021). LPG tüpleri kullanım alanlarına göre değişik şekil ve boyutlarda imal edilmektedir. Bunlarda 12 kg'lık şişman ve uzun tüp; 2 kg'lık dar ve geniş çemberli piknik tüp; 24 kg'lık ve 45 kg'lık ticari tüp; 45 kg'lık propan tüpü, 12 ve 24 kg'lık forklift tüpü örnek olarak verilebilir (Anonim, 2024).

Çizelge 1.1. LPG'nin özellikleri (Şaşmaz ve Altıntaş, 2021)

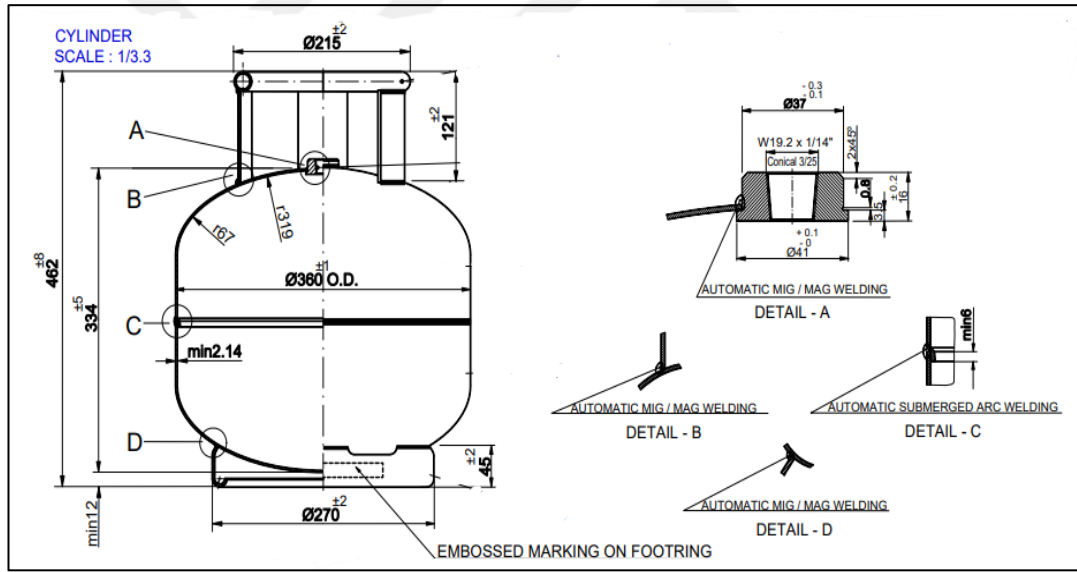
Sıvılaştırılmış Petrol Gazlarının (LPG) Özellikleri				
Genel Özellikler	Birim	Ticari Propan	Ticari Bütan	Karışım LPG
Bileşim		C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	%30 C ₃ H ₈ + %70 C ₄ H ₁₀
		Orjinali kokusuzdur, etil Merkaptan (C ₂ H ₅ SH) ile kokulandırılmıştır	Orjinali kokusuzdur, etil Merkaptan (C ₂ H ₅ SH) ile kokulandırılmıştır	Orjinali kokusuzdur, etil Merkaptan (C ₂ H ₅ SH) ile kokulandırılmıştır
Buhar Basınçları				
20°C	bar	9.2	1	3.5
40°C	bar	15.3	2.8	6.6
Kaynama Sıcaklığı	°C	-42	-9	-18
1m ³	kg	509	582	561
Göreceli Yoğunluğu (Suya Göre)		0.509	0.532	0.561
Molekül Ağırlığı	g/gmol	44.1	58.1	53.5
Gaz Hacmi / Sıvı Hacmi		272	238	248
Alt Isıl Değer	kCal/kg	11 100	10 900	10 960
Tutuşma Sıcaklığı (Havada)	°C	493-549	482-538	482-549
Buharlaştırmadan Sonra				
Toplam Isıtma Değeri	kCal/kg	11 950	11 740	11 800
Maksimum Alev Sıcaklığı	°C	1980	2008	2000
%95'nin Buharlaştırma Sıcaklığı	°C	-38.3	2.2	2.2
Yanma Ürünleri				
CO ₂	%	11.6	12	11.9
N ₂	%	72.9	73.1	73
H ₂ O	%	15.5	15	15.1
Maksimum Kükürt Miktarı	Mg/kg	185	140	140
Hava-gaz karışımında Patlama Sınırları				
Alt	%	2.15		
Üst	%	9.6		

1.2. LPG Tüp İmalatı

LPG sıvı halde basınçlı silindirik kaplarda tutulmaktadır. LPG gazı silindirin alt kısmında bulunan sıvı ve üst kısmında bulunan bütan halinde bulunmaktadır. Oda

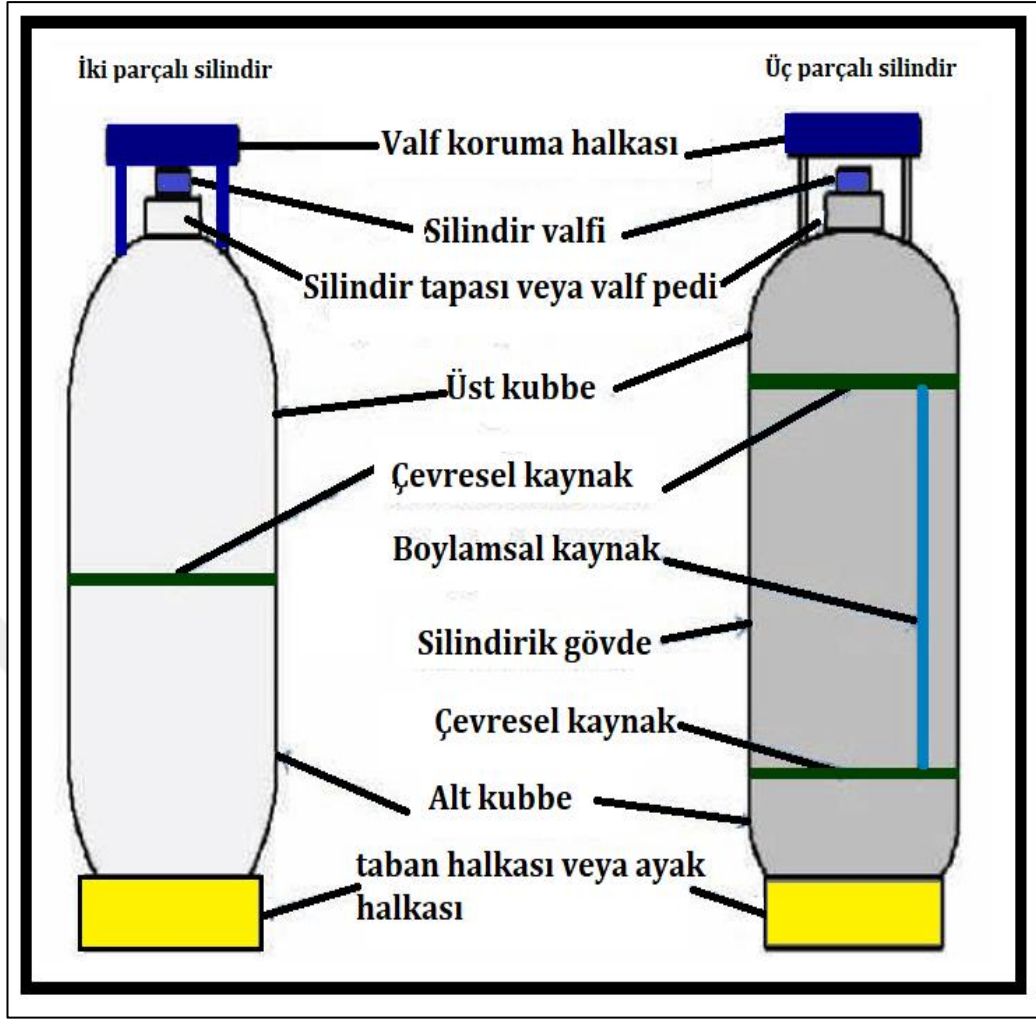
sıcaklığında LPG silindirde bulunan valfin açılması ile silindir içindeki basınç düşer ve sıvı gaz haline dönmektedir. Bu durum LPG gazının depolandığı silindirler sıvının iç basıncına daha fazla dayanması gerekliliğini doğurmuştur.

Sıvı basıncına dayanıklı LPG silindir imalatı için her ülkenin belirlediği standartlara uygun olarak yapılmalıdır. Türkiye’de LPG tüp imalatı için TS EN 1442 (2017) standardı kullanılmaktadır. Bu standart Avrupa standardı olup 0.5 litre-150 litre (150 L dahil) arasında taşınabilir, tekrar doldurulabilir çelik malzemeden imal edilmiş LPG tüplerinin tasarımı, yapımı ve imalatı sırasında deneye tabi tutulması için asgari koşulları içermektedir. Bu standart sadece dairesel en kesitine sahip olan tüpler için geçerlidir. Bunun yanında TS EN 14140 (2015) standardı ilave edilerek alternatif tasarım ve imalat yöntemlerine izin verilmektedir. Şekil 1.1’de TS EN 1442 (2017) standardına uygun LPG tüp şekil ve boyutları verilmektedir.



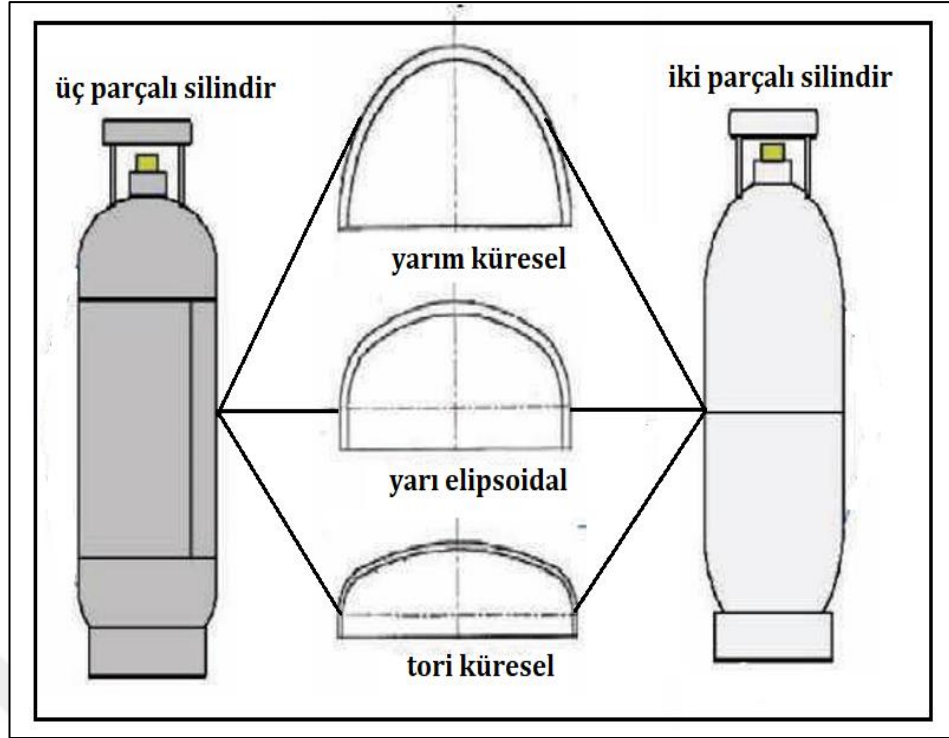
Şekil 1.1. TS EN 1442 standartlarına uygun tüp şekli ve boyutları (TS EN 1442-2017)

2 parçalı ve 3 parçalı LPG tüpünü oluşturan parçalar Şekil 1.2’de verilmektedir. LPG tüpünde kullanılan ana parçalar valf koruma halkası, silindir valfi, silindir tıpası veya valf pedi, üst kubbe, silindirik gövde, alt kubbe ve ayak veya taban halkasıdır (Kiran ve Sruthi, 2018).



Şekil 1.2. LPG tüpünü oluşturan parçalar (Kiran ve Sruthi, 2018)

İki parçalı konstrüksiyon silindirleri iki kubbeli ucun doğrudan birbirine kaynaklanması ile imal edilir. Üç parçalı silindirlerde iki kubbeli ucun silindirik bir gövdeye birleştirilmesi ile oluşur. Kubbeli uçlar yarı küresel, yarı elipsoidal veya yarı küresel olabilir (Tom vd., 2014).



Şekil 1.3. İki silindir ve üç parçalı silindir şeklinde imal edilen LPG tüplerindeki kubbe çeşitleri (Tom vd., 2014)

LPG silindirleri yüksek bir basınca maruz kaldığı için buna uygun malzemeden seçilmesi gerekmektedir. Bu durum dikkate alındığında ömür boyu dayanıklı olan, hafif, güvenli çalışma özellikleri nedeniyle düşük karbonlu çelikler LPG tüp malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında korozyon direnci ve kolay kaynak edilebilirlik özellikleri de düşük karbonlu çeliği imal edilir hale getirmektedir.

Düşük karbonlu çeliğin yanında TS EN 10028-7 (2016)'ye uygun paslanmaz çelik, alüminyum ve kompozit malzemelerden elde edilmiş bir tabaka da LPG tüp imalatında kullanılan malzemelerdendir. LPG tüp imalatında kullanılan malzemelerin kimyasal analizleri ve mekanik özellikleri TS EN 10204 (2007) ile uyumlu olmalıdır. Ayrıca LPG tüp imalatında kullanılan malzemelerin, bileşenlerin çevre politikalarına uygun olması gereklidir.

Basınç altında çalışan silindir imalatında dikkat edilmesi gereken birinci faktör cidar kalınlığıdır. Et kalınlığı silindir deney basıncı, dış çap, silindir kubbe şekli, kullanılan malzemenin akma dayanımı, kaynak birleşme faktörü, çenek yarıçapı, eklem yarıçapı düz flanş uzunluğu gibi faktörlere bağlıdır (Siddiqui vd., 2013).

Silindirik gövde için cidar kalınlığı (a) Denklem (1.1)'de verilen şekilde hesaplanmaktadır.

$$a = \frac{P_c x D}{\frac{20 x R_0 x J}{4/3} + P_c} \quad (1.1)$$

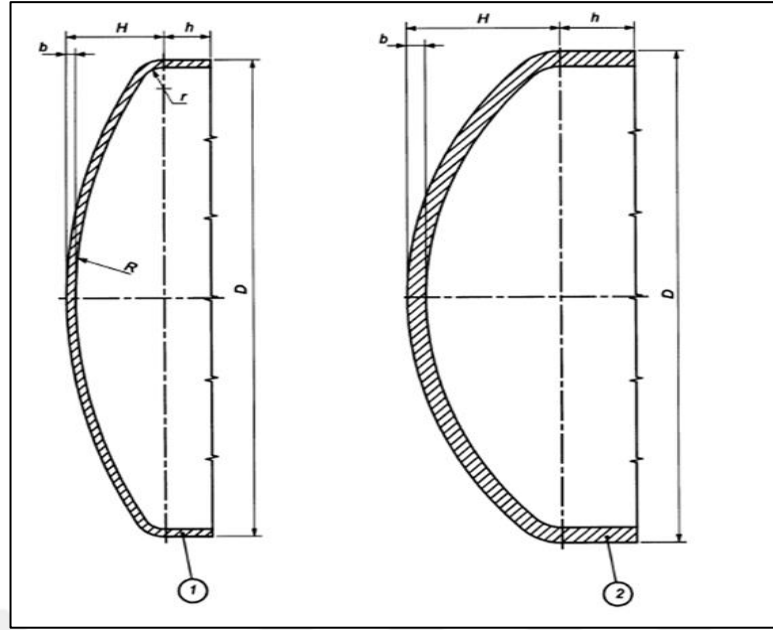
Burada J değeri boylamasına kaynaklı tüplerde J=0.9 alınırken boylamasına kaynaklı olmayan tüpler için J=1 olarak alınmalıdır. Ro malzemenin akma dayanımı, Pc deney basıncı olup (UN1011, UK 1961 A, A01, A02, A0 karışımları ve UN 1969) için bu değer 15 bar iken diğer tüm LPG tüpleri için 30 bar olarak alınmaktadır (Siddiqui vd., 2013). Boylamasına kaynaklı tüpler için: J = 0.9 Boylamasına kaynaklı olmayan tüpler için: J = 1.0 Basınca maruz torisferik ve yarı elipsoidal iç bükey bombe başların tasarımı Bombe başların biçimi, aşağıda belirtilen şartlar karşılanacak şekilde olmalıdır:

- Torisferik bombe başlarda; $R < D$; $r \leq 0,1 D$; $h \leq 4b$ (Şekil 1.4),
- Yarı elipsoidal bombe başlarda; $H \leq 0,192 D$; $h \leq 4b$ (Şekil 1.4).

Cidar kalınlığı (b), aşağıdaki eşitlikle hesaplanan değerden az olmamalıdır:

$$b = \frac{P_c x D x C}{(15 x R_0) + P_c} \quad (1.2)$$

Denklem (1.2)'de "C", H/D oranına bağlı biçim faktörü değeridir. H/D oranı 0.2 ve 0.25 arasında iken "C" değeri; Şekil 1.5'ten elde edilmelidir. H/D oranı 0.25 ve 0.5 arasında iken "C" değeri; Çizelge 1.2 ve Şekil 1.6'dan elde edilmelidir. Çizelgede bulunan ara değerler doğrusal enterpolasyon ile hesaplanabilir.

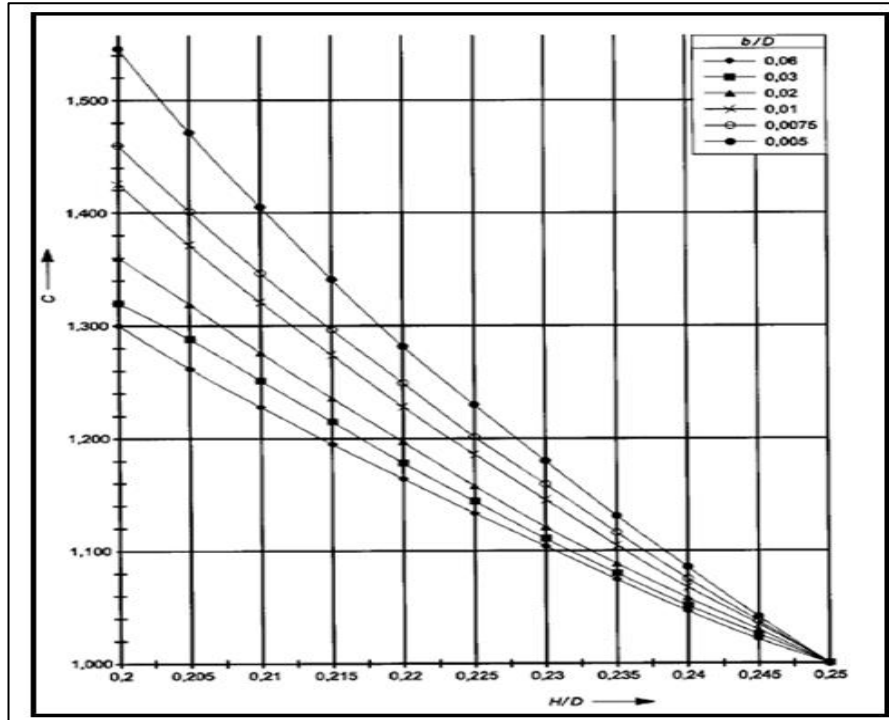


Şekil 1.4. Barınca maruz kalan iç bükey tüp başlarına örnekler (TS EN 1442-2017)

Burada 1 Torisferik bombe baş ve 2 Yarı elipsoidal bombe olarak ifade edilmektedir.

Torisferik bombe başlarda, yükseklik (H), Denklem (1.3) kullanılarak hesaplanabilir:

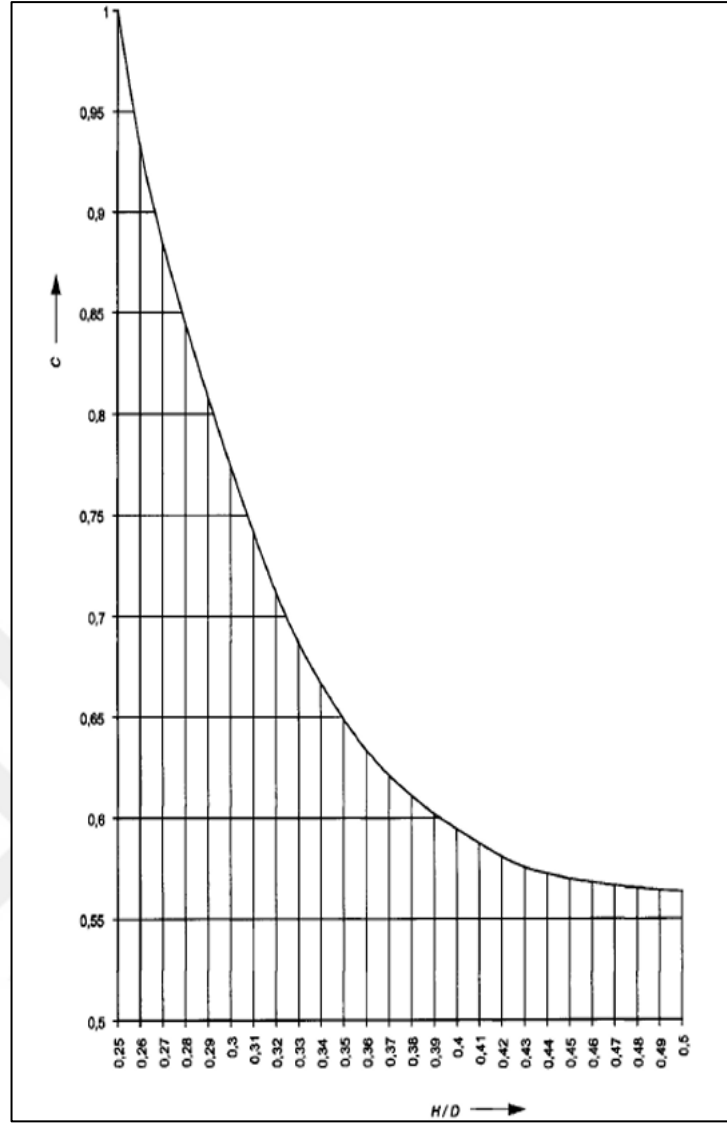
$$H = (R + b) - \sqrt{\left[(R + b) - \frac{D}{2}\right] \times \left[(R + b) + \frac{D}{2} - 2(r + b)\right]} \quad (1.3)$$



Şekil 1.5. H/D oranı 0.2-0.25 arasında olması durumunda biçim faktörünün (C) bulunması (TS EN 1442-2017)

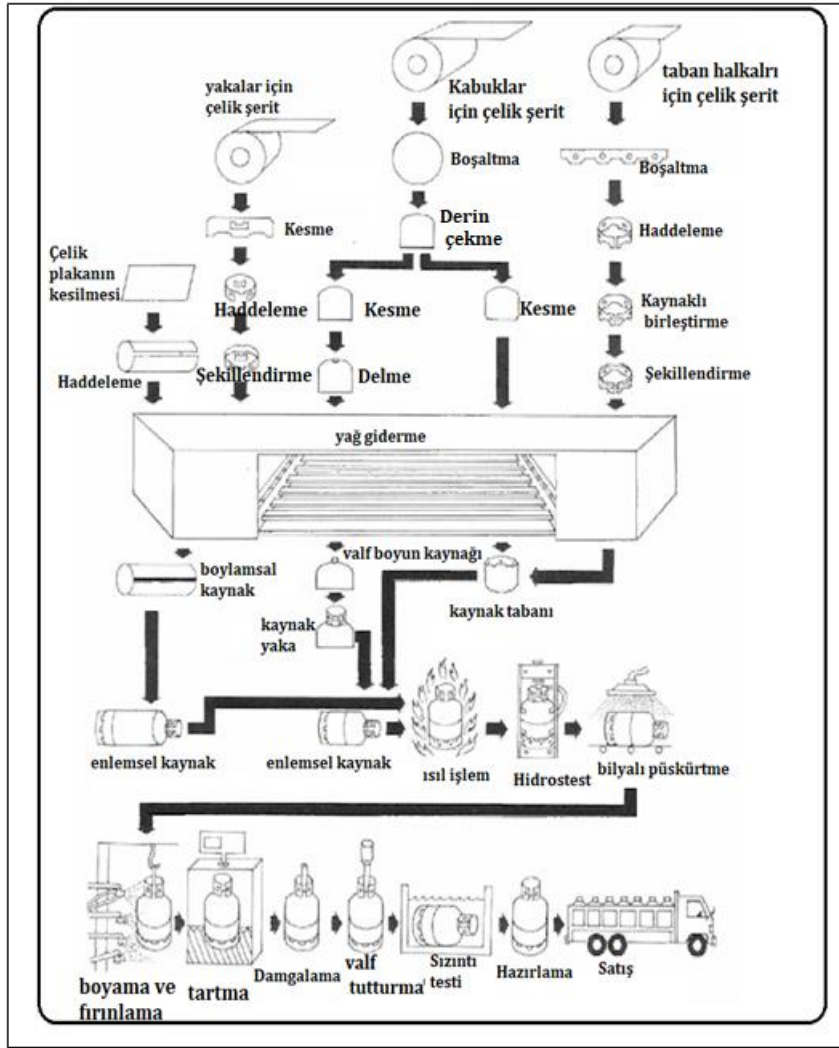
Çizelge 1.2. Biçim faktörü (C) ile H/D arasındaki ilişki (TS EN 1442-2017)

C	H/D	C	H/D
1.000	0.25	0.612	0.38
0.931	0.26	0.604	0.39
0.885	0.27	0.596	0.40
0.845	0.28	0.588	0.41
0.809	0.29	0.581	0.42
0.775	0.30	0.576	0.43
0.743	0.31	0.572	0.44
0.713	0.32	0.570	0.45
0.687	0.33	0.568	0.46
0.667	0.34	0.566	0.47
0.649	0.35	0.565	0.48
0.633	0.36	0.564	0.49
0.621	0.37	0.564	0.50



Şekil 1.6. H/D oranı 0.25-0.5 arasında olması durumunda biçim faktörünün (C) bulunması (TS EN 1442-2017)

Şekil 1.7'de ham malzemeden iki veya üç parçalı silindir LPG tüp haline gelinceye kadarki işlem aşamaları verilmektedir (Siddiqui vd., 2013).

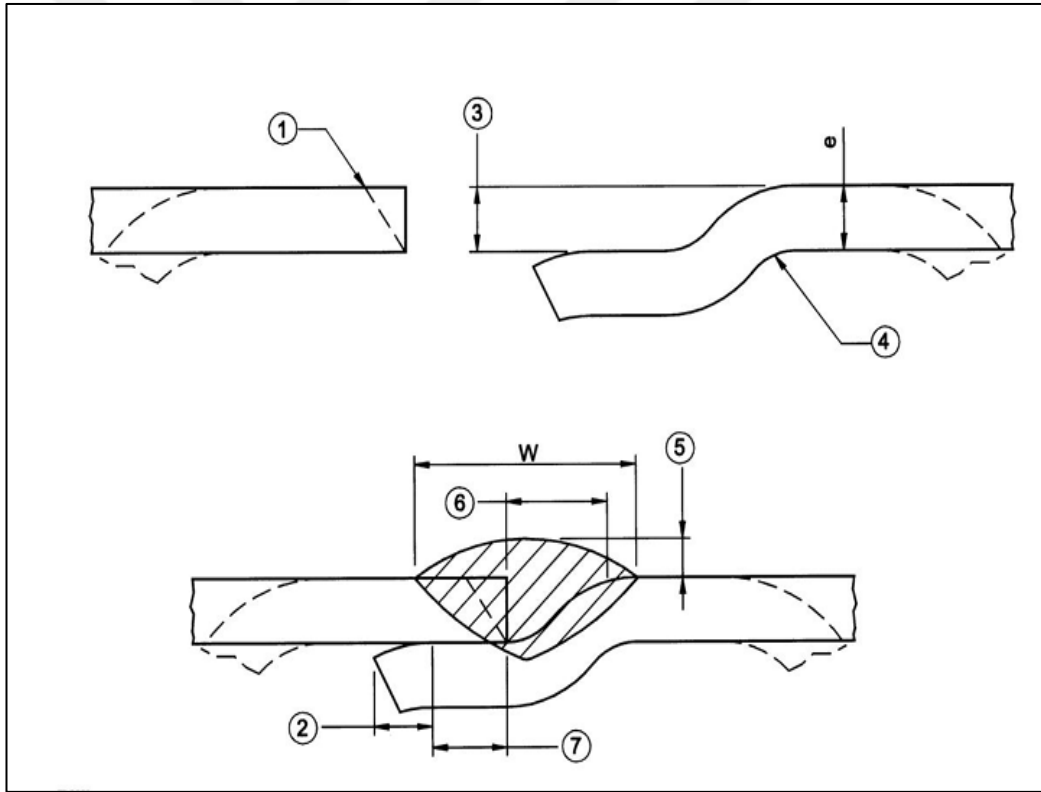


Şekil 1.7. LPG tüp imalat aşamaları (Siddiqui vd., 2013)

İki parçalı silindir imalatında dairesel halkalar alt üst kubbenin oluşturulması amacıyla levhadan kesilerek hazırlanır. Üst kubbe tıpanın yerleştirilebilmesi amacı ile delme işlemine tabii tutulur. Ham malzeme kullanılarak boşaltma, haddeme, birleştirme ve şekillendirme kullanılarak valf koruma halkası imal edilir. Üç parçalı silindir imalatında haddeme işlemi kullanılarak silindir imal edilmektedir. Parçalar imal edildikten sonra kaynak işleminden önce yağdan ve kusurdan arındırılmaktadır. Daha sonra parçaların kaynaklı imalatına geçilmektedir. LPG tüp imalatında tüm kaynaklı birleştirmeler TS EN 15609-1 (2019)'e uygun kaynak prosedürü şartnamesine sahip olmalı ve kaynak işleminin TS EN 130 15613 (2005) ile uygun ölçek belirlenmelidir. LPG tüp imalatında kaynak işlemini yapacak kaynakçı personel standarda TS EN 9606-1 (2017) uygun olmak zorunda olup; yaptığı kaynağın ise standardına göre yapılması gerekmektedir. Kaynak işlemi sırasında malzemenin yapısının neden olduğu

yüksek mukavemeti elde etmek için düşük ısı girdisinin sağlanması gerekmektedir (Nuhoglu vd., 2022).

LPG tüp imalatında çevresel ve boyuna birleştirme işlemleri sürekli ve tekrar edilebilir kaynak kalitesinin elde edilmesi amacı ile tam mekanize veya otomatik sistemler kullanılarak yapılmaktadır. Kaynak yapılan metal ile ana metal birleştirilmesi işlemi pürüzsüz olmalı, boşluk ya da keskin düzensizlikler olmamalıdır. Bunun yanında kaynak bölgesinde veya yakın çevresinde gözenek, çentik veya çatlak olmamalıdır. Düzgün bir kaynak yüzeyi olmalıdır. Kaynak işlemi sonrasında oluşan taşmalar kaynak genişliğinin %25'ini geçmemesi gerekmektedir. Şekil 1.8'de tüp imalatı için TS EN 1442:2017(2017) standardına göre kaynak dikiş şekil ve boyutları verilmektedir.



Şekil 1.8. Tipik çevresel bindirmeli alın kaynağı birleştirmesinin gösterimi (TS EN 1442-2017)

Burada 1 İsteğe bağlı eğimlendirme; 2 İstenildiği gibi; 3 Geçme parçasında sıkı geçme için eksenden kaçıklık derinliği; 4 Tüpün içi – (keskin köşelerden kaçınılır); 5 Kaynak yüksekliği (iç kaynak kaplama bölgesi hariç) $\leq W/4$; 6 Eğim genişliği: $2.5e \geq$ eğim

genişliği $\geq e$; 7 Asgari temas uzunluğu: $1.5e$ (e Eksenden kaçık metalin kalınlığı ve W Kaynak genişliği olup $8e \geq W \geq 3e$ olacak şekilde hesaplanmalıdır.

LPG tüplerinde dairesellikten sapma silindirik gövdenin dairesellikten sapması ve 2 parçalı dairesellikten sapması olarak tanımlanmaktadır. LPG tüpleri için aynı kesitteki en büyük ve en küçük dış çapları arasındaki fark bu çapların ortalamasının %1'ini; 3 parçalı tüplerde ise %1.5'ini geçmemesi şartının sağlanması gerekmektedir. Ayrıca tüp silindirik parçasının düz bir hattan azami sapması silindirik kısmın uzunluğunun %0.3'ünü geçmemesi gereklidir. LPG tüp imalatında önemli olan bir tanım da diklik olup tüp haznesi üzerinde durduğunda silindirik gövde ve üst açıklık eksenini düşeyle en fazla 1.5 açıklık sapma içinde bir dikliğe sahip olması gerekmektedir.

LPG tüp imalatında toz altı kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Toz altı kaynak işleminin yüksek güvenilirlik, duman veya radyasyon oluşturmaması, derin penetrasyon, sıçramanın olmaması ve mükemmel yüzey kalitesi gibi üstün özelliklere sahiptir. Toz altı kaynak yöntemi için voltaj, akım, hareket hızı önemli işlem parametreleridir. Bu yöntemde kaynak akım değeri arttırıldığında derin penetrasyonun elde edilmesini sağlar. Akım değerinin düşük seçilmesi durumunda eksik füzyon ve penetrasyon oluşur. İşlem parametrelerinden olan voltaj ve kaynak dikişi ve görünümünü belirlemektedir. Kaynak hızı ve akım sabit tutulduğunda voltajın artırılması ile daha geniş ve düz bir kaynak dikişi elde edilmektedir (Weisman, 1982). Kaynak işleminden sonra tüpün taşımasını sağlayan ve valfi korumaya yarayan yoka ismi de verilen üst çember imal edilir. Alt çember tüpün gövdesini taşıyan ve gövdeyi ezilmelere karşı koruyan parçadır. Alt çember üretimin diğer aşamasını oluşturmaktadır.

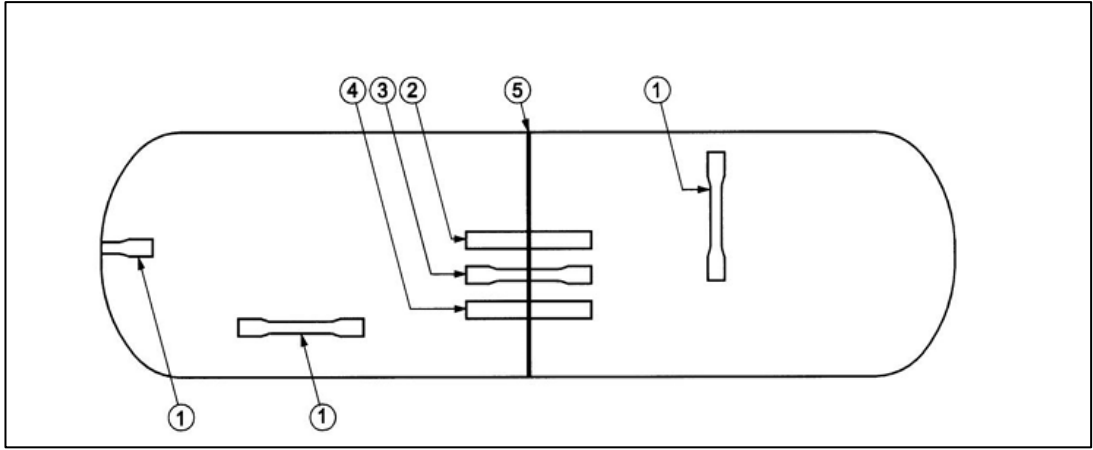
Standartlara uygun çelik malzemeden imal edilen tüplere kaynak işlemi ve üst, alt çember imalatı yapılırken derin çekme ve kaynak işlemi esnasında meydana gelen gerilmeleri gidermek için ve kullanılan sa malzeme yapısının ilk haline getirmek için gerilme giderme ve normalizasyon ısıl işlemlerine tabii tutulmaktadır. Standartlara uygun çelik kullanılarak imal edilen üç parçalı tüplerde olarak imal edilmesi, bombe basların dış bükey küresel veya yarı elips şeklinde olması ve presleme derinliğinin $(H-b)/D \leq 0.26$ ve $h \leq 8b$ şartının sağlanması; teste tabii tutulan tüplerin tane boyutunun azami 8 olan ince çelikten yapılması şartlarının sağlanması durumunda ısıl işleme tabii tutulmasına gerek duyulmamaktadır.

1.3. LPG İmalatı Sonrası Uygulanan Deneyler

LPG tüp imalatında ana metalin ve basınca maruz kalan parçaların kaynak özelliklerinin kontrolünü sağlamak amacı ile imalatı tamamlanan tüpler üzerinden alınan numunelere bazı deneyler uygulanmakta ve makroskobik incelemeler gerekmektedir. 2 parçalı LPG tüpleri için kullanılan deney tipleri Çizelge 1.3'te verilmektedir. İmal edilen tüp üzerinden alınacak numune örneklerinin hangi bölgeden hazırlanması gerektiği Şekil 1.9'da verilmektedir. Yeterince düz olmayan deney parçaları soğuk pres ile düzeltilmelidir. Tüm eğme numuneleri kaynak bindirme malzemesini de içerecek şekilde ana metal yüzeyi ile aynı seviyede olacak şekilde hazırlanmalıdır.

Çizelge 1.3. İki parçalı LPG tüplere uygulanacak deneyler ve deney açıklamaları (TS EN 1442-2017)

Uygulanacak deney	Deneyin bağlı olduğu standart	Deneye ait açıklama
Çekme deneyi (1 kez)	EN ISO 6892-1	Tüpün boyuna geometrik yönünde veya mümkün olmadığında çevresel yönde veya bir bombe başın merkezinden ana metal
Çekme deneyi (1 kez)	EN ISO 4136	Çevresel kaynağa dik olarak
Eğme deneyi (1 kez)	EN ISO 5173	Çevresel kaynağın üst tarafında
Çekme deneyi (1 kez)	EN ISO 5173	Çevresel kaynağın alt tarafında
Makroskobik muayene (1 kez)	EN ISO 17639	Çevresel kaynakta rastgele seçilen bir yerde



Şekil 1.9. İki parçalı LPG tüp imalatında eğme ve çekme numunelerinin alınma bölgeleri (TS EN 1442-2017)

Burada; 1 Çekme deney numunesi için alternatif bölgeler; 2 Eğme deney numunesi (kaynağın üst tarafından); 3 Enlemesine kaynak çekme deney numunesi; 4 Eğme deney numunesi (kaynağın alt tarafından) ve 5 Çevresel kaynak olarak ifade edilmektedir.

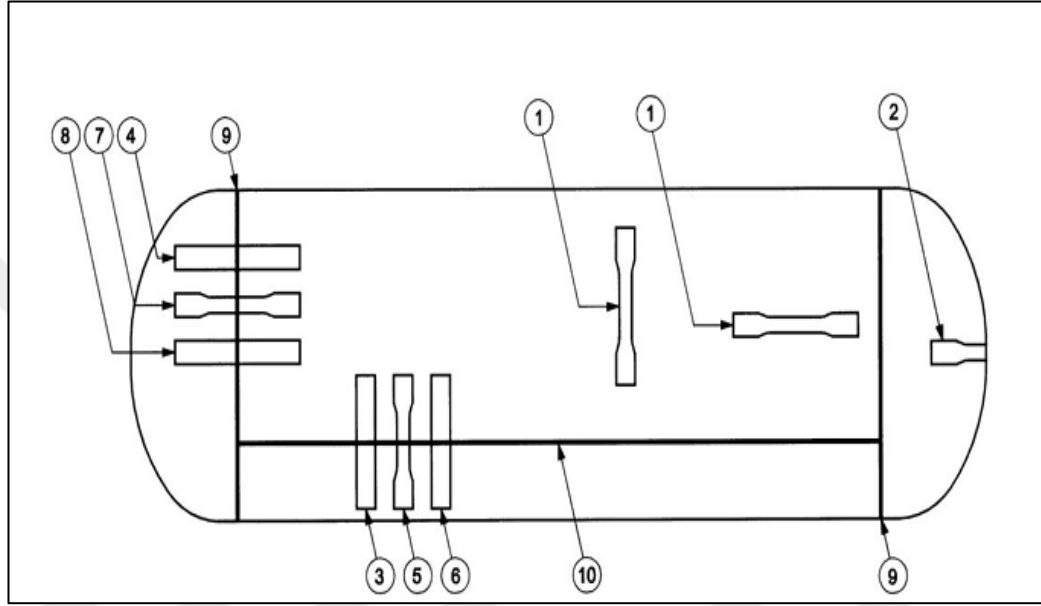
Üç parçalı imal edilen LPG tüpleri için kullanılan deney tüpleri Çizelge 1.4'te; numune örneklerinin alınacağı bölgeleri gösteren Şekil 1.10'da verilmektedir. Yeterince düz olmayan deney parçaları soğuk pres ile düzeltilmelidir. Tüm eğme numuneleri kaynak, bindirme malzemesini de içerecek şekilde ana metal yüzeyi ile aynı seviyede olacak şekilde hazırlanmalıdır.

Çizelge 1.4. İki parçalı LPG tüplere uygulanacak deneyler ve deney açıklamaları (TS EN 1442-2017)

Tip	İlgili Standart	Açıklama (Şekil 1.9)	Ayrıntılı Açıklama
Çekme deneyi (1 kez)	EN ISO 6892-1	1	Tüpün boyuna geometrik yönünde veya mümkün olmadığında çevresel yönünden ana metal
Çekme deneyi (1 kez)	EN ISO 6892-1	2	Bir bombe baştan ana metal
Eğme deneyi (1 kez)	EN ISO 5173	3	Boyuna kaynağın üst tarafında
Eğme deneyi (1 kez)	EN ISO 5173	4	Çevresel kaynağın üst tarafında
Çekme deneyi (1 kez)	EN ISO 4136	5	Boyuna kaynağa dik olarak

Çizelge 1.4. İki parçalı LPG tüplere uygulanacak deneyler ve deney açıklamaları (Devam) (TS EN 1442-2017)

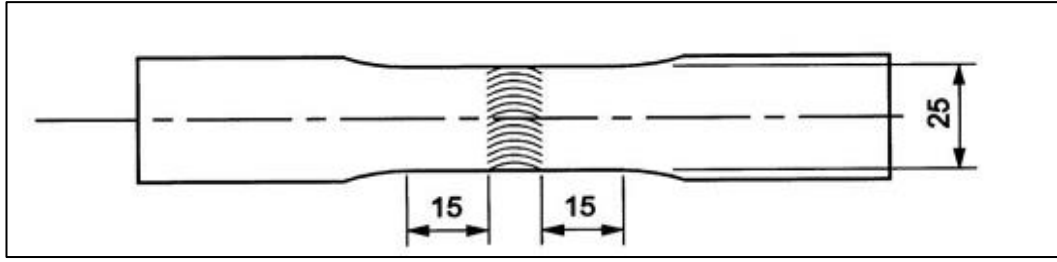
Eğme deneyi (1 kez)	EN ISO 5173	6	Boyuna kaynağın alt tarafında
Çekme deneyi (1 kez)	EN ISO 4136	7	Çevresel kaynağa dik olarak
Eğme deneyi (1 kez)	EN ISO 5173	8	Çevresel kaynağın alt tarafında
Makroskobik muayene (1 kez)	EN ISO 17639		Çevresel kaynakta rastgele seçilen bir yerde



Şekil 1.10. Üç parçalı LPG tüp imalatında eğme ve çekme numunelerinin alınma bölgeleri (TS EN 1442-2017)

Burada 1 Çekme deney numunesi için alternatif bölgeler; 2 Çekme deney numunesi; 3 Eğme deney numunesi (kaynağın üst tarafından); 4 Eğme deney numunesi (kaynağın üst tarafından); 5 Çekme deney numunesi; 6 Eğme deney numunesi (kaynağın alt tarafından); 7 Çekme deney numunesi; 8 Eğme deney numunesi (kaynağın alt tarafından); 9 Çevresel kaynak; 10 Boyuna kaynak olarak ifade edilmektedir.

Çekme deney numune hazırlığı ve çekme deneyleri EN ISO 6892-1'e uygun yapılmalıdır. Tüpün iç ve dış cidarını temsil eden deney numunesinin iki tarafı işlenmemelidir. Kaynağı dik olarak yapılan çekme deneyi kaynak kenarlarından 15 mm ileriye kadar uzanan genişliği 25 mm'ye indirilmiş enine kesite sahip deney numunesi ile EN ISO 4136'ya uygun olarak yapılmalıdır (Şekil 1.11). Bu merkezi bölgenin ötesinde deney numunesinin genişliği devamlı olacak şekilde artırılmalıdır.

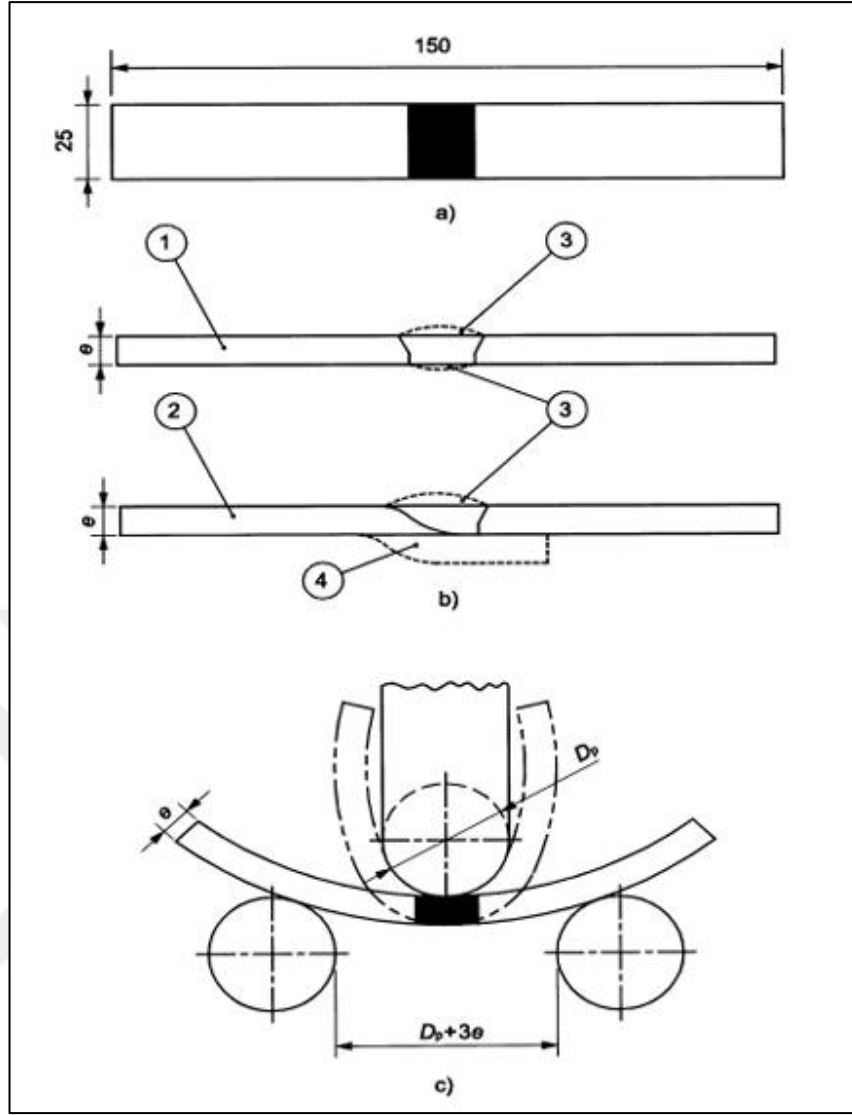


Şekil 1.11. Kaynağa dik olarak yapılan çekme deneyi için deney numunesi (TS EN 1442-2017)

Eğme deney numune hazırlığı ve eğme deneyinin gerçekleşmesi için tüm işlemler EN ISO 5137'ye göre yapılmalıdır. Eğme deney numune şekil ve boyutları Şekil 1.12'de verilmektedir. Deney sırasında numuneler mandrel kaynağın merkezine yerleştirilmeli ve mandrel etrafında 180 derece eğilmelidir. Eğme deneyi için mandrel çapı (D_p) deney parçası kalınlığı (e) oranı (n) Çizelge 1.5'te verilmekte olup bu değerleri geçmemelidir. Eğme deneyi sonrası numunede çatlak oluşmaması deneyden geçme şartıdır.

Çizelge 1.5. Mandrel çapı ile deney parçası kalınlığının oran değerleri (TS EN 1442-2017)

Ölçülen gerçek çekme dayanımı (R_m) N/mm^2	n değeri
440'a kadar (dâhil)	2
440 ila 520 (dâhil)	3
520 ila 600 (dâhil)	4
600 ila 700 (dâhil)	5
700 ila 800 (dâhil)	6
800 ila 900 (dâhil)	7
900 üzeri	8



Şekil 1.12. Eğme deney numuneleri (TS EN 1442-2017)

Burada a) Deney numunesinin boyutları; b) Enlemesine kılavuzlu eğme deney numunesinin hazırlanması; c) Eğme deneyinin gösterilişi; 1 Alın kaynağı numunesi; 2 Bindirmeli kaynak numunesi; 3 Kaynak taşmasının düzeltilmesi; 4 Çıkartılan bindirmeli kısım olarak ifade edilmektedir.

LPG tüplerine uygulanan bir diğer deney basınç patlatma deneyidir. Basınç patlatma deneyi aşağıda belirtilen özelliklere sahip donanımla yapılmalıdır.

- i) Tüp patlayıncaya kadar basının izlenmesi ve tedbirli olarak artırılmasına imkân veren
- ii) Kullanılan deney akışkanlarının hacmini kaydeden
- iii) Tüpün patladığı andaki basıncı kaydeden

Basınç patlatma deneyinde tüp patlayıncaya kadar tüp basınçlandırılmalı ve tüpün hacimsel genişmesi basıncın arttırılmaya başlandığı an ile patlama anı arasında geçen sürede kullanılan akışkan hacmi veya tüpün deney başlangıcında ve sonundaki hacmi arasındaki farkın ölçülmesi ile belirlenmelidir. Tüpün patladıktan sonra yırtılma yüzeyi ve yırtılma şekli için muayene edilmelidir. Patlatma basınç deneyinde ölçülen patlatma basıncı (Pb) hesaplama basıncının (Pc) 2.25 katından daha az ve en az 50 bar olması gerekmektedir. Bunun yanında tüpün hacimsel genişmesinin başlangıçtaki hacme oranı tüpün uzunluğu (muf dahil basınca maruz kalan gövde uzunluğu) çapından (D) büyük ve %20; tüpün uzunluğu (muf dahil uzunluğu) çapından (D) küçük veya çapına eşit ise %17 olmalıdır. Yırtılma tipi patlatma deneyi sonrası yırtık veya gevrek davranış gösteren bir kırılma olmaması, metalin yapısında gözle görülür katmerleşme gibi kusurun olmaması gerekmektedir. LPG tüpleri korozif olmayan akışkan ile doldurulmalıdır. Deneyler üst çevrim basıncının deney basıncının 2/3'ü olacak şekilde ve 80 000 çevrime tabi tutulacak şekilde veya üst çevrim basıncının deney basıncına eşit olacak ve 12 000 çevrime tabi tutulacak şekilde uygulanmalıdır. Alt çevrim basıncı üst çevrim basıncının %10'unu ve basınç çevrim sıklığının 0.25 Hz geçmemesi gereklidir. Ayrıca deney sırasında tüp dış sıcaklığının 50 santigrat dereceyi geçmemesi, tüpte hiçbir sızıntının olmaması gerekmektedir.

LPG tüplerinin korozyon durumlarının belirlenebilmesi için korozyon deneyleri uygulanmaktadır. Korozyon dayanımları için yapılan korozyon deneyleri Çizelge 1.6'da verilmektedir.

Çizelge 1.6. Kaplanmış tüpler için dış korozyon deneyleri (TS EN 1442-2017)

Deney tipi	Deneyle ilgili ayrıntılar	Standard	Kabul değerleri
Yapışma	Yapışkan bantla enlemesine kesme deneyi	EN ISO2409:2013	İklimsel/tuz püskürtme/su deneyinden önce: Çizelge 1-sınıflandırma ≤ 1 İklimsel/tuz püskürtme/su deneyinden sonra: Çizelge 1-sınıflandırma ≤ 13
	Çekme deneyi	EN ISO 4624	Değerler madde 7'de listelenmiştir.
İklimsel deney	Çevrimsel korozyon şartlarına dayanım-nemli (tuz sisi) / kuru / Nemi/ UV ışık, işaretlenen pabeller kullanılır	EN ISO11997-2	<u>Yüzey</u> Su toplama yoğunluğu=0 Paslanma derecesi=Ro Alt katman kırılması, tip (c)=0 Alt katmanın yolunması, tip (b)=0 Çizgiye yakınlık Paslanam genişliği $\leq 3\text{mm}$ Su toplama=boy 4
	Çevresel kabinin maruz bırakılması dahil, SO ₂ ihtiva eden nemli ortama dayanım. 0,2 L SO ₂ , 28 çevrim	EN ISO 3231:1997, Madde9.3(b)	Su toplama=0 Paslanma derecesi=0
Suya dayanım	400 saat maruz bırakma	EN ISO 2812-2	Su toplama=0 Başka bir bozulma işareti görülmemelidir.
Tuz Püskürtmesi	Çizilen yüzeyler üzerine (2 çizik) 720 saat maruz bırakma	EN ISO 9227	<u>Yüzey</u> Su toplama yoğunluğu=0 Paslanma derecesi=Ro Alt katman kırılması, tip (c)=0 Alt katmanın yolunması, tip (b)=0 <u>Çizgiye yakınlık</u> Paslanam genişliği $\leq 3\text{mm}$ Su toplama=büyükölç 4

Bu deneylerden sonra kullanılan deney levhaları enlemesine kesme ve yapısına tayini için çekme deneyine tabi tutulmaktadır. Çizelge 1.7'ye uygulanan çekme deneyleri verilmektedir.

Çizelge 1.7. Çekme deneyine bağlı korozyon deney değerleri (TS EN 1442-2017)

Deney koşulları	Sıcak Çinko püskürtme ile boyama	Alt katmana doğrudan boya uygulama
Yeni boya-Kırılma, Tip A (metal alt tabakaya kadar)	2 MPa	8 MPa
Yeni boya-Kırılma, Tip B (boyalı tabakaya birleşik kırılma)	Gerekli değildir	6 MPa
Yaşlandırma deneyinden sonra-Kırılma, Tip A (metal alt tabakaya kadar)	1 MPa	4 MPa
Yaşlandırma deneyinden sonra-Kırılma, Tip B (boyalı tabakaya birleşik kırılma)	Gerekli değildir	3 MPa

Bu ilave deneyler bir adet tamamlanmış giydirilmiş tüp üzerinde gerçekleştirilir. Deneylerde kullanılan epoksi yapışkanlar uygun bir şekilde depolanmaktadır. Yapısına deney kalıbı alüminyum malzemedен 20mm çapında ve deney için uygun uzunlukta olmalıdır. Deneyde kullanılan giydirilen tüp yapışkanın hazırlanması ve giydirilmesinden önce $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ asgari 24 saat depolanmalıdır. Deney $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de ve %50 bağıl nemde uygulanmalıdır. Giydirilmiş muhafaza üzerinde bulunan herhangi bir boya zımparalanarak çıkarılmalıdır. Yapışma deneyi kalıbı epoksi tipte yapışkan ile giydirilmiş muhafazaya yapıştırılmalı ve epoksinin yapıştırılmasından sonra en az 48 saat imalatının bekletilmesi uygun şartlarda kürlenmelidir.

Kaynaklı bağlantı gözle muayene edilmelidir. Gözle muayene EN ISO 17637'ye uygun olarak yapılmalıdır. Muayene edilen yüzey iyi bir şekilde aydınlatılmalı ve üzerinde cüruf, toz, gres veya herhangi bir çeşit koruyucu kaplama bulunmamalıdır. Gözle muayeneden sonra LPG tüplerine ayrıca radyografik muayene yöntemleri uygulanmaktadır. LPG tüplerinden alınan filmler EN 19232-1 ve EN 19232-2 standartlarına uygun orijinal filmler olmalıdır. İnceleme sonrası EN ISO 6520-1'de belirtilen kusurlara izin verilmeyen kusurlar şu şekildedir:

- Tüp patlayıncaya kadar basıncın izlenmesini ve tedricî olarak artırılabilmesini sağlayan
- Kullanılan deney akışkanının hacmini kayıt altına alan
- Tüpün patladığı andaki basıncı kayıt altına alan.

LPG tüplerine ayrıca EN ISO 17639'a uygun makroskobik muayene yapılmaktadır. Kaynakların tam enine kesitleri tam bir ergime ve nüfuziyet göstermesi gerekmektedir. Şüphe duyulan durumlarda mikroskobik inceleme yapılır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çalışma için literatür taraması yapılırken LPG tüpler üzerine yoğunlaşmıştır.

Mayer vd. (2000) yaptıkları çalışmada, basınçlı kapların yorulma davranışlarını incelemişlerdir. Bu amaçla çalışmada gerilme yoğunluğu oranı ile ana gerilme oranının yorulma davranışına etkisini belirlemek amaçlanmıştır. Çalışma sonunda Gerçek çalışma şartlarının göz önünde tutularak hesaplanmasının önemli olduğu ve sonuçlara etki ettiği belirlenmiştir.

Öztop ve Güven (2000) çalışmalarında, kadınların tüp gazın (LPG) güvenli kullanma ilişkin bilgi düzeylerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Yazarlar çalışmalarında Ankara ilinde yaşayan 560 kadına anket uygulanması ile yapılmıştır. Çalışma sonunda farklı öğrenim düzeyindeki kadınların güvenli bir şekilde LPG tüp kullanımına ilişkin bazı konularda bilgi eksikliklerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Petitpas vd. (2004) çalışmalarında, Giat endüstri tarafından patentli olan ve yeni bir LPG konseptine dayanarak, Ugine&ALZ yüksek mukavemetli paslanmaz çelik kullanımı önerilen LPG tankı konsepti ve başlıca avantajlarını ele almışlardır. Yazarlar sonunda stepne taşıyıcı tipi alanı için depolama kapasitesindeki artış %15'ten az olmadığı; tasarruf, araçta mevcut alanın daha karmaşık bir şekliyle gerçekten daha iyi olabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Yazarlar ayrıca, paslanmaz çelik kullanımı, aynı kapasiteye sahip geleneksel tanklara kıyasla yaklaşık %30'luk bir ağırlık tasarrufu sağladığı ve üretim sürecini optimize etmek ile geleneksel karbon çelik tanklarına benzer bir maliyet elde edildiği sonucuna ulaşmışlardır.

Yazıcı (2005) yaptığı çalışmada, LPG kullanımı ve güvenlik önlemlerini ele almıştır. Yazıcı çalışma sonunda yeni uygulamalar ve çıkarılacak yeni yönetmelikler ile EPDK ve TMMOB'ye bağlı meslek o dallarının birlikte çalışması ile kamu vicdanı yaralayan, maddi ve manevi kayıplara neden olan LPG'li araç ve otogaz yangınlarının, patlamalarının önüne geçileceği sonucuna ulaşmıştır.

Siddiqui vd. (2006) yaptıkları çalışmada, Hindistan'da LPG tüp tasarım ve imalatı konusunu ve kullanılan standartları ele almıştır. Bu amaçla çalışma LPG tüp

imalatında kullanılan malzemeler, imalat aşamaları, imalat sırasında uygulanan testleri içermektedir.

Moketla ve Shukla (2012) yaptıkları çalışmada, E-cam elyaf, vinilester reçine ve Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) plastik kompozitten yapılmış bir LPG silindirinin tasarımını ve sonlu elemanlar analizini (FEA) ele almışlardır. Yazarlar çalışmada silindirin astarını HDPE plastikten (üfleme kalıplama sınıfı) yapılmışlar ve vinilester polimer matrisli sürekli elyaf E-cam kompozitiyle sarmışlardır. Deneysel çalışmalar için silindir kapağı da HDPE plastikten yapılmış ve LPG silindiri 3 MPa patlama basıncı için tasarlanmış ve test edilmiştir. Çalışma sonunda yazarlar silindirin kalınlığını, Abaqus yazılımı tabanlı FEA kullanılarak 3.5 mm (1.5 mm astar ve 2 mm FRP kompozit katman) olarak belirlemişlerdir. Çalışmada çeşitli tasarım konseptleri ve finansal uygulanabilirlik analiziyle birlikte ele alınmıştır. Yazarlar çalışmadan elde edilen FEA sonuçları incelediğinde, kullanılan malzemenin; 1.5 mm kalınlığında HDPE Liner ve 2 mm kalınlığındaki sarma kompozit tabakasının ürünün güvenli davranması için uygun olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca seçilen kalınlıkların dayanabileceği maksimum patlama basıncının, maruz kalınan basınçların oldukça üzerinde olan yaklaşık 28 MPa olduğu sonucuna ulaşmışlardır. FRP LPG silindirinin, ağırlık, maliyet, ergonomi (yarı saydam silindir duvarı), güvenlik, çevre uyumluluğu ve kullanıcı dostu olma açısından mevcut çelik ve alüminyum silindirlere üstün olduğu yazarlar tarafından ifade edilmiştir.

Ashok ve Harikrishna (2013) yaptıkları çalışmada, sıvı petrol gazı silindiri üretiminde alternatif malzemeler belirlenmesini incelemişlerdir. Bu nedenle çalışmada Çelik ve Elyaf Takviyeli Plastik (FRP) kompozitlerinden yapılmış Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG) silindirlerinin sonlu eleman analizi yapılmıştır. Yazarlar çalışmalarında ANSYS (versiyon 11.0)'de bulunan çok yönlü bir FE analiz paketinde kabuğu FRP kompozitleri kullanılmışlardır. Çalışma sonunda LPG tüpünün ağırlığından FRP kompozitleri kullanılarak büyük ölçüde tasarruf edilebilir (ağırlıkta 10.29 kg tasarruf sağlandığı belirlenmiş) ve gerilme değerleri de malzemelerin kapasitesi dahilinde olduğu belirlenmiş olup bundan dolayı ev uygulamalarında kullanımına uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sıvılaştırılmış Petrol Gazı silindirleri, Hindistan standardı IS 3196'ya göre uyumluluk gerekliliklerini sağlamak için üretim yerlerinde çeşitli testlere tabi tutulmaktadır. Teste tutulana metalin kritik parametreleri, yani akma dayanımı, çekme dayanımı ve silindirlerin hem uzunlamasına hem de enine (çevresel olarak da adlandırılır) yönlerinde uzama yüzdesidir. Bu nedenle Ramakrishna vd. (2014) yaptıkları çalışmada, bu önemli değişkenler arasında çeşitli korelasyonlar kurmaya ve bu parametreleri 55 silindir kabul testi verilerini kullanarak tahmin etmek için ampirik formüller geliştirmeyi ele almışlardır. Yazarlar ampirik formüllerden bu kritik parametrelerin tahmini değerleri uygun mantıkla analiz etmişlerdir. Yazarlar çalışma sonunda elde ettikleri deneysel formüller, silindir üzerinde yıkıcı bir test yapmadan, belirleyici ana metalin fiziksel özelliklerini tahmin etmek için kullanılabileceği sonucunu elde etmişlerdir.

Tom vd. (2014) yaptıkları çalışmada, LPG tüp imalatında kullanılan çelik malzemeye alternatif malzeme kullanılması ele alınmıştır. Bu amaçla çalışmada Alüminyum 6061T6 alaşımı, Alüminyum 5052-H38 alaşımından yapılmış Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG) tüplerinin sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada analiz için CATIA V5 R20 ve ANSYS programları kullanılmış; iç basınca maruz kalan silindirin sonlu elemanlar analizi yapılmış ve ANSYS'de yapılan analizler, klasik matematiksel formülasyonlarla karşılaştırılmıştır. Bunun yanında yazarlar tüplerin ağırlığını belirlemek için hesaplamalar yapmış ve yeni LPG tüpü için en az ağırlıklı malzeme seçmiştir. Çalışmada belirlenen yeni LPG tüpünün ekonomik olup olmadığı belirlenmiştir. Yazarlar her iki alüminyum alaşımının da çelik silindirleri değiştirmek için uygun olduğu ve bu silindirlerin çelik silindire kıyasla daha fazla strese dayanacağı ve ömür açısından daha az korozyon oranları nedeniyle çelik silindire kıyasla iki kat daha uzun olacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Arif (2017) çalışmasında, bir kaçak gaz dedektörünü ergonomik, etkili ve verimli bir şekilde tasarlanmasını ele almışlardır. Yazarlar çalışma sonunda TGS2610 sensörünün işlevini mini fan ve küçük içi boş hortum ekleyerek en üst düzeye çıkarılarak alet odada gazın varlığına karşı daha hassas hale gelebileceği; piyasaya sürülen cihazların çoğu yalnızca AC girişlerine sahip olduğu bu nedenle PLN'den gelen AC girişi kapalı olduğunda cihaz çalışmayacağı ve bu durumun otomatik anahtar rölesi ile donatılmış bir aküden gelen DC girişlerinin eklenmesiyle bu kolayca aşılabileceği ve gaz

kaçağının risk altında olduğu bir bölümün yakınına yönlendirilmiş küçük içi boş bir uzatma hortumu ile cihazın çalışma mesafesi daha hızlı tepki verebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Peasura (2017) yaptığı çalışmada, kazanlarda ve basınçlı kap yapı uygulamalarında kullanılan basınçlı kap çeliğinin toz altı kaynak parametrelerinin mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Bu amaçla çalışmada ASTM A283 standardındaki 6mm kalınlığındaki sac malzemeyi kullanmıştır. Bu amaçla çalışmada 3 farklı kaynak akımı (260, 270 ve 280A); 2 farklı (10 ve 11 mm/dk) ve 2 farklı (28 ve 33V) voltaj kullanılarak optimizasyon yapılmıştır. Çalışma sonunda kaynak hızı ve voltajın sertlik ve çekme mukavemetini önemli ölçüde etki ettiği ($P<0.05$) sonucuna ulaşılmıştır. Optimum toz altı kaynak parametrelerinin 270A, 33volt ve 11 mm/dk olduğu belirlenmiştir.

Gould ve Urpelainen (2018) çalışmalarında, Hindistan'da LPG kullanımını ele almışlardır. Yazarlar çalışmada Hindistan halkına yapılan anket ele alınmıştır. Yazarlar çalışma sonunda yakıt maliyetleri yaygın benimsemenin önünde kritik bir engel olduğu; yakıt istifleme, LPG benimserken çok az hane yakacak odun kullanmayı bıraktığı için hâkim norm olduğu ve dur ve hem kullanıcılar hem de kullanıcı olmayanlar LPG'ye uygun ve temiz bir pişirme yakıtı olarak oldukça olumlu baktığını belirlemişlerdir. Bu bulguları değerlendiren yazarlar, LPG kullanımının kırsal Hindistan'da büyük bir vaat sunduğunu, ancak uygun fiyatlı olmasının geleneksel biyokütleden temiz pişirme yakıtlarına tam bir geçişi engellediği sonucuna ulaşmışlardır.

Kiran ve Sruthi (2018) çalışmalarında, sıvıları daha yüksek basınçta depolamak için kullanılabilen ev tipi LPG silindiri tasarlanması ve analizini ele almışlardır. Yazarlar çalışmada LPG silindirini güvenli, kolay kullanımlı ve silindirin toplam deformasyonunu ve von-mises gerilimini inceleyerek patlama basıncına veya farklı yükleme koşullarına dayanabilen şekilde tasarım yapmayı amaçlamışlardır. Çalışmada, sıvıları depolamak için kullanılan bir LPG silindiri SOLIDWORKS ile modellenmiş ve 2.5 Mpa iç basınca sahip bir LPG silindirinin sonlu elemanlar analizi ANSYS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. LPG silindirinin toplam

deformasyonu ve von-mises gerilimi analiz edilmiş ve von-mises ve deformasyon değerleri için ince silindirik basınç denklemleriyle karşılaştırılmıştır.

Shahrier vd. (2020) yaptıkları çalışmada, LPG gazının depolanmasının ve taşınması ele almışlardır. Yazarlar LPG gazının depolanmasının ve taşınmasının kolay olduğu ve LPG'nin yemek pişirme ve ulaştırmada çeşitli kullanım olanaklarına olanak sağladığı ve üstün kimyasal özellikleri nedeniyle ideal bir yakıt seçimi olduğu düşünüldüğünde çok cazip bir yakıt seçeneği olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Sitthipong vd. (2021) çalışmalarında, Tayland Endüstri Standardı TIS 27-254 altında tasarlanmış 48 kg'lık bir LPG tüpünün stres analizini ele almışlardır. Çalışmada yazarlar tasarım için, 3.3 MPa'lık test basıncı ve 2.65 mm'lik tank duvar kalınlığı kullanmışlardır. Bu tasarım sonucu yazarlar 429.3 MPa'lık maksimum çekme dayanımı, 286.2 MPa'lık akma dayanımı ve 5.99 MPa'lık patlama basıncı elde etmişlerdir. Yazarlar Gaz tüpünü üretmek için, tasarım gereksinimlerini karşılayan 300 MPa'lık akma dayanımı ve 440 MPa'lık maksimum çekme dayanımına sahip SG295 sınıf çeliği seçmişlerdir. Çalışma sonunda yazarlar hacminin yüzde 85'inde, 0.54 kg/l'lik gaz yoğunluğunun, 0.9367 m³'lük sıvı yüksekliğinin ve 0.073 psi'lik gösterge basıncının sırasıyla 0.0357 MPa ve 0.0178 MPa'lık çevresel ve uzunlamasına gerilmeler oluşturduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Dey vd. (2021) yaptıkları çalışmada, tüplerin üretiminde kullanılan düşük karbonlu çelik, alüminyum ve cam epoksiyi analiz ederek karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Yazarlar çalışma için Sonlu Elemanlar Analizini (FEA) kullanmışlardır. Yazarlar SOLIDWORKS'te görsel bir model çizmişler ve daha sonra, ANSYS yazılımı bu LPG tüpleri üzerinde FEA gerçekleştirmek ve stres ve deformasyon gibi sonuçları teorik sonuçlarla karşılaştırmak için kullanmışlardır. Yazarlar alüminyum alaşımı ve cam epoksi, çelik silindirlerin yerini almak için ideal olduğu ve bu silindirler çelik silindirlerden daha fazla strese dayandığını ve bu silindirlerin çelik silindirlerden daha düşük bir bozulma riski olduğu için kullanım ömürlerinin iki katına çıktığını belirlemişlerdir.

Şaşmaz ve Altıntaş (2021) yaptıkları çalışmada, LPG tüplerinde kullanılan valfleri ve bu valflerin çalışma sistemini ele almışlardır. Bunun yanında yazarlar çalışmalarında

valf imalatında kullanılan malzemeleri, valf çeşitlerini, gaz Valflerinin üretim, kalite Testleri ve kullanım şartları hakkında belirlenen standartları incelemiştir. Çalışma sonunda valflerin gelişen teknolojiye ayak uydurması gerektiğini belirtmiştir.

Sarker (2021), tez çalışmasında LPG tüp üretim tesisindeki kritik bir makinenin arızasını incelemiştir. Sarker çalışma sonunda büyük arızaların hidrolik pres makinesinde, Trimming ve Jogging makinesinde, SAW kaynak hattında ve MIG MAG kaynak hattında gözlemlendiğini belirlemiştir. Yazar her makinenin arıza geçmişini Ağustos 2019'dan Kasım 2019'a kadar analiz etmiş ve hidrolik pres makinesinin ve trimming ve jogging makinesinin endüstriye büyük zararlar verdiğini fark etmiş, bu nedenle kaybı en aza indirmek için ayrıntılı bir çalışma yapmıştır. Bu amaçla Sarker üretim süreci ve makine arızaları balık kılçığı diyagramı, neden-neden analizi ve makine kullanılabilirliğini belirlemek için karşı önlemler gibi farklı analiz ve muayene araçları kullanmış, makine kullanılabilirliği MTTR ve MTBF ile belirlemiştir.

Nuhoğlu (2022) çalışmasında, LPG tüpünün ağırlığını azaltmak amacıyla, geleneksel LPG tüp çelikleri yerine hammadde olarak S460MC çeliği kullanılmış ve TS EN 14140 (2015)'a göre tasarlanan ve imal edilen iki parçalı LPG tüpünün silindirik gövde cidar kalınlığı 1.50 mm olarak belirlemiştir. Nuhoğlu çalışmasında tüplerin çevresel kaynağında tozaltı ark kaynağı yöntemi kullanmıştır. Yazarın yapmış olduğu tahribatsız ve tahribatlı deneyler sonucunda doğrulanan kaynak parametreleri ile sarf malzeme seçimlerinin kaynak dikişi kalitesine olan etkileri ortaya konulmuş ve kaynak teli içeriğindeki Molibden elementi, kaynak dikişinin çekme dayanımını arttırdığı ve kaynak metalindeki sertlik değerlerini yükselttiği belirlenmiştir. Nuhoğlu çalışmasında mekanik değerlerdeki iyileşmeleri, Mo elementinin mikroyapıdaki tane inceltici etkisine dayandığını belirtmiştir.

Nuhoğlu vd. (2022) yaptıkları çalışmada, kaynak sarf malzemelerinin (tel, toz) seçimi ve kaynak parametrelerinin (akım, gerilim, ilerleme hızı) optimizasyonunu ele almışlardır. Bu amaçla LPG tüpü imalatında kalınlığı 1.50 mm olan S460MC çeliği ve toz altı ark kaynağı yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada Görsel ve radyografik (X-ray) testler ve makroskopik incelemeler yaparak seçilen kaynak parametreleri doğrulanmıştır. Bunun yanında kaynak sarf malzemelerinin mekanik özellikler üzerine

etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda molibden elementinin mekanik dayanımı arttırdığı gözlemlenmiştir.

Fadel ve Yahya (2022) yaptıkları çalışmada, hem deneysel hem de sonlu elemanlar analizi (FEA) yaklaşımlarını kullanarak LPG yakıt tanklarındaki patlama basıncının (BP) ve patlama arıza yerinin belirlenmesi ve tahminini ele almışlardır. Yazarlar hidrostatik patlama testi yöntemi kullanarak silindirin içine su uygulamışlardır. LPG tüplerinin ayrıntılı bir sonlu elemanlar analizi için ABAQUS yazılımını kullanmışlardır. Yazarlar analizler sonucu, LPG tüpüne bir iç yük etki ettiğinde patlama basıncını tahmin etmişlerdir. Yazarların hazırlamış oldukları model ile LPG tüpleri, sıvıların iç basıncına dayanabildikleri için kullanımı güvenli ve uzun bir kullanım ömrüne sahip olduğu belirlenmiştir.

Abhijith ve Anil Rajagopal (2022) çalışmalarında, derin çekme işleminde ham madde tüketiminin nasıl azaltılması gerektiğini incelemişlerdir. Yazarlar çalışmada derin çekme işleminin 3B geometrisi CREO yazılımı kullanılarak çizmişler ve ANSYS yazılımı derin çekme işleminin analizini yapmak için kullanmışlardır. Çalışma sonunda yazarlar 14.2 kg'lık silindirde sabit basınç uygulaması durumunda, kalınlık değişiminin yüksek olduğu ve önerilen parametre değerleri malzemenin aşırı tüketimini azalttığı ve en iyi sonucun 0.02 sürtünme katsayısında ve 12 MPa'da basınçta elde etmişlerdir. Yazarlar 19 kg'lık silindirde için ise sabit basınç uygulaması durumunda, sonuçlar kalınlık değişiminin yüksek olduğu; ancak önerilen parametre değerleri malzemenin aşırı tüketimini azalttığı ve en iyi sonucun sürtünme katsayısı 0.02 ve basınç 13 Mpa'da elde edildiği sonucuna ulaşmışlardır.

Amorin ve Dabo (2022) çalışmalarında, Büyük Accra Bölgesi'ndeki Afienya Kasabası'nın bir banliyösünde kullanılan evsel LPG silindirlerinin güvenlik durumunu incelemişlerdir. Yazarlar anket yöntemini kullanmışlardır. Yazarlar anketten, %59.50'sinin LPG kullanımı hakkında neredeyse hiçbir fikri veya güvenlik bilgisi olmadığı; %48.65'inin LPG tüplerini yatay olarak taşıdığı, dolu tüpleri tutmanın güvenli olmayan bir uygulaması olduğu ve gazın heyecanlanarak patlamaya neden olabileceği ; %81.76'sı sızıntıyı koklayarak tespit ettiği, bu da sızıntıları tespit etmenin güvenli ve etkili bir yolu olmadığı, katılımcıların %19.59'u tüpleri aşırı doldurmayı %53.38'i tüplerini mutfaklarındaki açık alanda tutmayı tercih ettiği ve %75.00'i

danışma yoluyla uygulanan iyi bir sızıntı düzeltme biçimi kullanıldığı sonuçlarını elde etmişlerdir.

Ardayfio vd. (2023) yaptığı çalışmada, yerel kaynaklardan elde edilen sıvılaştırılmış petrol gazı silindirlerinin mekanik ve mikro yapısal özelliklerinin sayısal ve deneysel sonuçlarını incelemiştir. Yazarlar çalışmada ayrıca malzemelerin çekme dayanımı, patlama ve kırılma tokluğunu da incelemiştir. Çalışma sonunda yazarlar tüm numuneler için karbon içeriğinin ortalama $\sim 0.22\%$ ağırlık ve manganez içeriğinin $\sim 0.76\%$ ağırlık olduğunu ve mikro yapının büyük ölçüde perlitik olduğu; LPG-C3'ün ~ 600 MPa'lık optimum çekme dayanımına sahip olduğunu, LPG-C5'in ise alaşım elementi karbon nedeniyle ~ 450 MPa'lık düşük çekme dayanımına sahip olduğu; tüm numunelerin kırılma tokluğu çok yüksek ve silindir malzemelerin kırılma tokluğu için bildirilen maksimum değerin üzerinde, dolayısıyla çatlak yayılmasına karşı yüksek bir esneklik sergilediğini belirlemiştir. Ayrıca yazarlar yapmış oldukları SEM incelemeleri sonunda kırılmalar tespit ettikleri ve bundan dolayı çelikteki alaşım elementlerinin dikkatlice kontrol edilmesinin imalat sırasında mikro yapıları ve mekanik özellikleri etkilediği sonucuna ulaşmışlardır.

Moon ve Khan (2023) yaptıkları çalışmada, SG295 çelik, alüminyum ve epoksi camdan malzemelerden üretilen LPG tüpleri karşılaştırmışlardır. Yazarlar esas olarak LPG tüp imalatı için uygun bir malzeme seçmeyi amaçlamışlardır. Yazarlar çalışmada sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılmıştır. Moon ve Khan çalışmalarında silindir modelini oluşturmak için Solidworks2019 ve gerilme analizleri ANSYS programı kullanmışlar ve teorik sonuçlarla karşılaştırılmışlardır. Çalışmada yazarlar seçilen malzemelerin ağırlık ve özgül dayanıklılıklarına da karşılaştırmış ve alüminyum ile epoksinin çelik malzemeye alternatif kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Özcan vd. (2024) yaptıkları çalışmada, LPG dolun tesislerinde kullanılan LPG tüplerinin yüzeylerinde meydana gelen bozulmaların ve kusurların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada yazarlar gerçek zamanlı çalışma hızına sahip olması amacıyla görüntü işleme ve makine öğrenmesi algoritmaları kullanmışlardır. Çalışma sonunda yazarlar, temiz olarak tanımlanan LPG tüpleri için kirlilik oranı $\%2$ 'den düşük bulunmuştur ve bu tüplerin doğruluk değerlerinin standart sapması ortalama 0.27 elde

edilirken kirli olarak tanımlanan tüplerde ortalama kirlilik oranı %18 olarak tespit edilmiş ve bu tüplerin standart sapması 2.03 olarak hesaplamışlardır.

Yapılan literatür özeti incelendiğinde çalışmaların sıvı petrol gazı silindiri üretiminde alternatif malzeme belirlenmesi optimizasyonu üzerine olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma sıvı petrol gazı silindiri için uygun malzeme seçimi üzerine değil sıkı geçme tasarımının ve kordon bıçak açısının kaynak kalitesine doğal olarak silindir kalitesine etkisi nedir? sorusu üzerinde yoğunlaşacaktır. Buda çalışmayı diğer çalışmalardan özgün ve farklı kılması sağlayacaktır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

LPG normal standartta gaz halinde bulunan ancak tüp ve kaplara sıvılaştırılarak doldurulan; evsel, ticari ve endüstriyel alanda yakıt olarak kullanılmakta olmasından dolayı LPG tüp imalatı önem arz etmektedir. LPG tüp tasarımları yapılırken TS EN 14140 (2015) standardı dikkate alınmaktadır. TS EN 14140 (2015) standardı 0.5-150 litre arasında (150 litre dahil) olan, taşınabilir, ortam sıcaklıklarına maruz kalan, yeniden doldurulabilir, kaynaklı çelik LPG tüplerinin tasarlanmasından imalatına ve imalat sonrası yapılan deneylerin kapsamını içermektedir. LPG tüpleri farklı boyut ve hacimlerde farklı amaçlar için üretilmektedir.

LPG tüpleri hali hazırda ülkemizde evlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu durum göz önüne bulundurularak bu tez çalışması için şişman ev tipi LPG tüpü tasarım ve imalatı göz önünde bulundurulmuştur. Ev tipi tüpü imalatı sıkı geçme ve kaynaklı imalatı kapsamaktadır. Bu nedenle bu aşamalarda oluşacak sorunları en aza indirmek önem arz etmektedir. Bu amaçla bu tez çalışmasında hali hazırda piyasada kullanılan çelik malzemeden imal edilmiş ev tipi şişman LPG tüp imalatında önemli parametrelerden olan imalat ve güvenlik açısından önemli olan en uygun kordon bıçak açısının belirlenmesi amaçlanmıştır.

3.1. Kullanılan Malzeme Özellikleri

Tez çalışmasında tüp imalatı için hali hazırda ev tipi LPG tüp imalatı için TS EN 1442 (1440) tüp imalatında kullandığı P310NB malzemesi kullanılmıştır. Seçilen malzemenin kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.1’de ve mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. LPG tüp imalatında kullanılan malzemenin kimyasal özellikleri

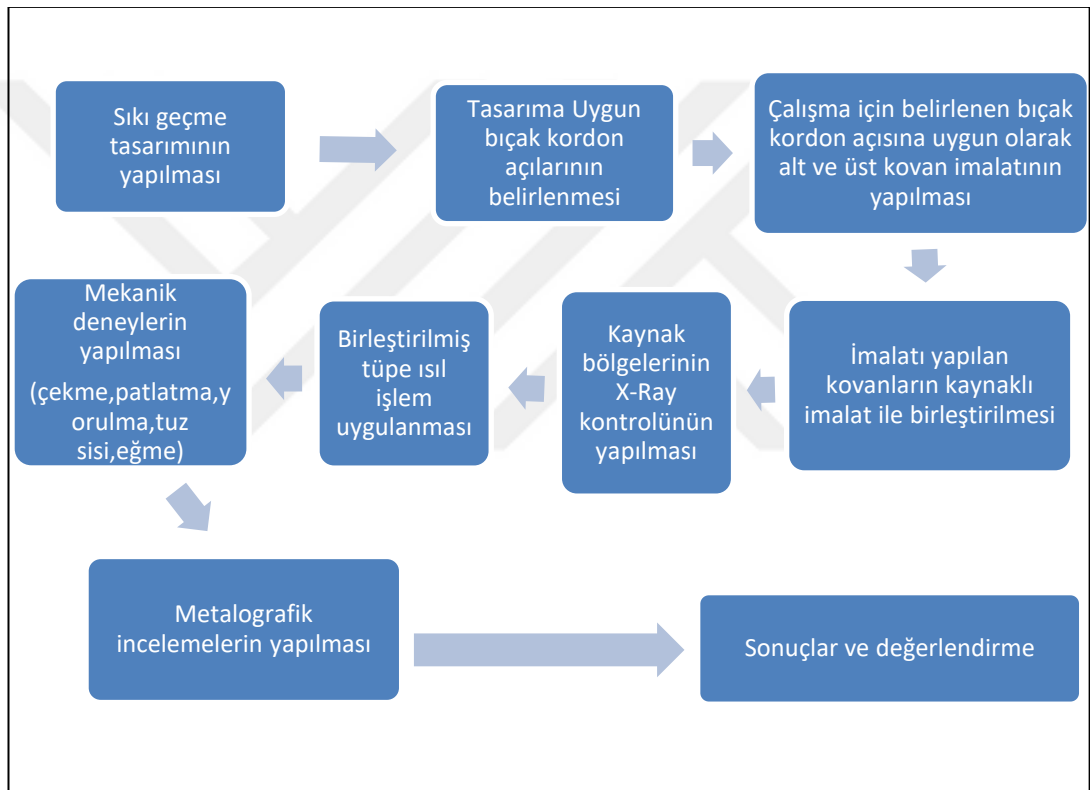
% Ağırlık	C	Si	Mn	P	S
	0.16	0.24	0.7	0.025	0.015

Çizelge 3.2. LPG tüp imalatında kullanılan malzemenin mekanik özellikleri

Çekme Testi	Akma Noktası (MPa)	Çekme Noktası (MPa)	%Uzama	Akma Oranı (Akma Noktası/Kopma Noktası)
	423	522	28.5	0.77

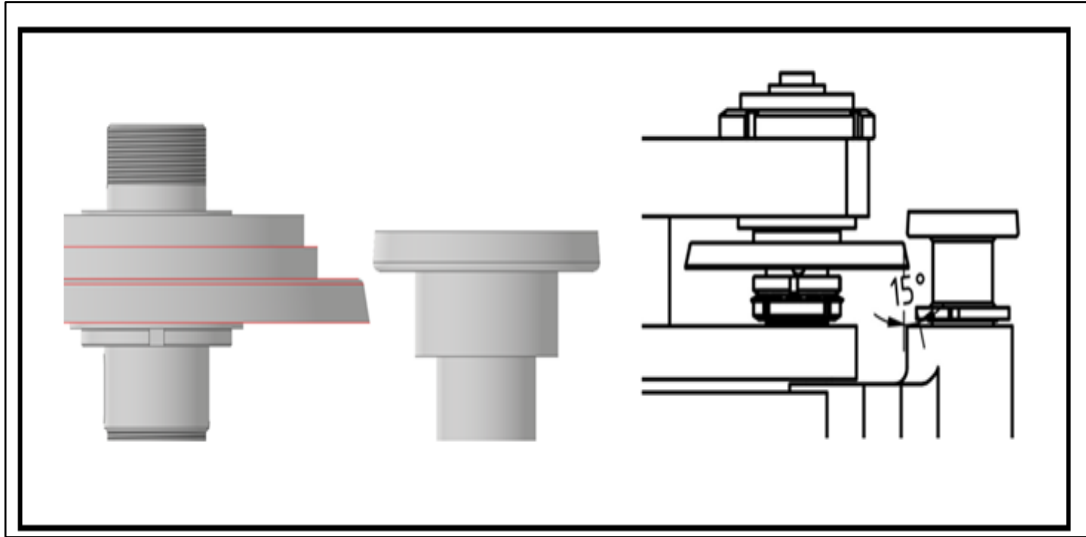
Tez çalışmasına ait iş akış şeması Şekil 3.1’de verilmektedir.

3.2. Uygulanacak Yöntem



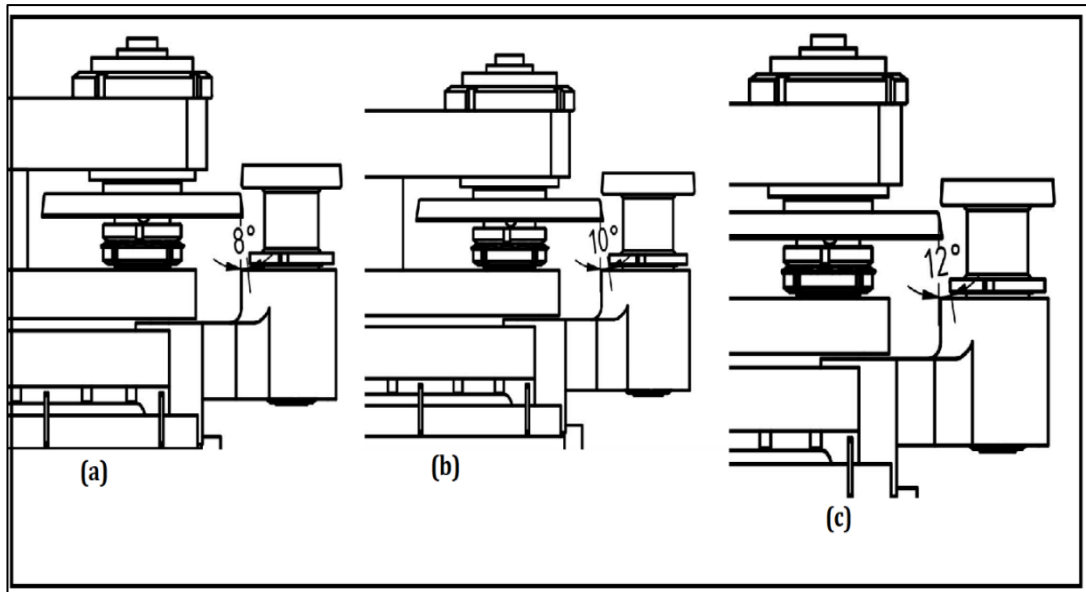
Şekil 3.1. Tez çalışmasının iş akış şeması

Tez çalışmasının ilk aşaması hali hazırda kullanılan sıkı geçme tasarımının yapılmasıdır. Ev tipi LPG tüp imalatında hali hazırda kullanılan sıkı geçme tasarımı Şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.2. Ev tipi LPG tüp imalatında hali hazırda kullanılan sıkı geçme tasarımı

LPG tüp imalatında TS EN 1442(2017) standardında belirtilen kriterlere en yakın olanı yapmak ve sıkı geçme yaparak tüp taşırken ana kaynaklara robotlu besleme prosedürü için uygun taşımayı sağlamak önem arz etmektedir. Standartlarda en önemli nokta kaynaklı bölgede boşluk, birleşmeme gibi hataların bulunmamasıdır. Bu sorunları ortadan kaldırmak için yeniden bir tasarıma gidilmiştir. Şekil 3.3'te ev tipi LPG tüpü için yeniden yapılan tasarım verilmektedir. Tasarım için Autodesk Inventör programı kullanılmıştır.

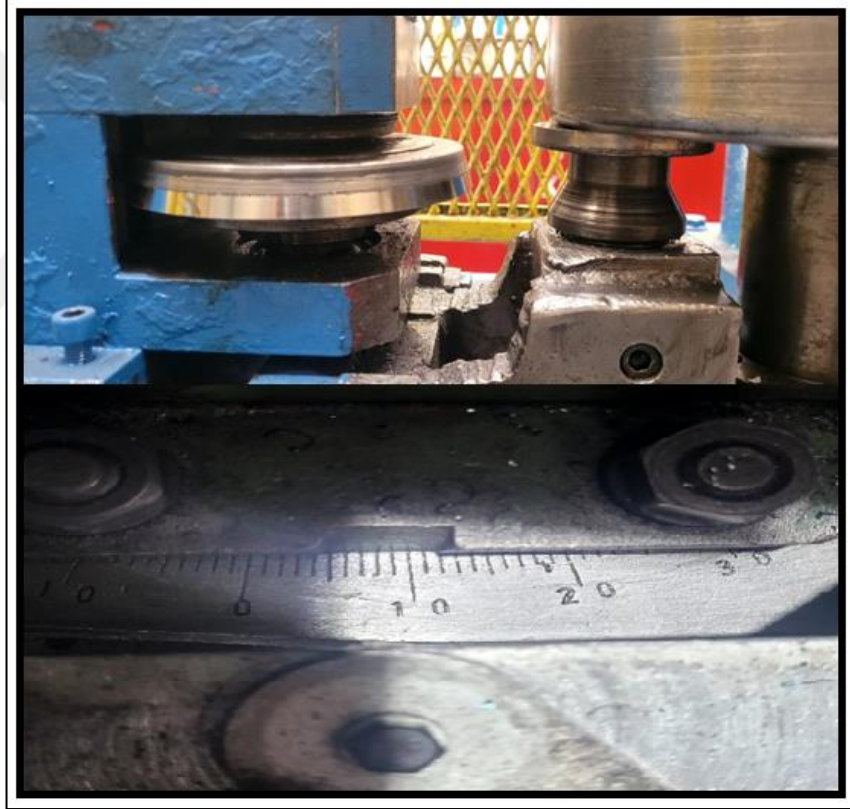


Şekil 3.3. Ev tipi LPG tüp imalatı için yenilenen sıkı geçme tasarımı (a)8° (b)10° (c)12°

LPG tüp imalatında kaynak parametreleri standartlara göre belirlendiği için en önemli ve değiştirilebilir parametre bıçak kordon açısıdır. Tez çalışması için belirlenen bıçak kordon açısı değerleri Çizelge 3.3'te verilmektedir. Şekil 3.4'te bıçak açısının ayarlanması verilmektedir.

Çizelge 3.3. Çalışma için belirlenen bıçak kordon açıları

Tasarımlar	Kordon Açısı (°)
Mevcut tasarım	15
Tasarım 1	8
Tasarım 2	10
Tasarım 3	12



Şekil 3.4. Bıçak kordon açısının ayarlanması

Ev tipi tüp imalatında alt ve üst kovanlar hidrolik pres yardımıyla derin çekme yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Bu tez çalışması için hazırlanan sıkı geçme tasarımı dikkate alınarak alt ve üst kovan imalatı Şekil 3.5'te verilmektedir.



Şekil 3.5. Yeni yapılan tasarıma uygun alt ve üst kovan imalatı

İmalatı yapılan alt ve üst parçaların birleştirme yerleri kaynakla birleştirme işlemine etek kesme ve kordon çekme makinasında hazırlanmaktadır. Derin çekme sonrası imal edilen alt ve üst parçaların yüzeylerinin temizlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla yıkama işlemine tabi tutulmaktadır. Yıkama işlemi kimyasal malzeme kullanılarak yapıldığı için parça yüzeylerinden bu kimyasalların ayrıştırılması gerekmektedir. Bu nedenle damıtma ve kurutma işlemleri uygulanmaktadır. Temizleme işleminden sonraki aşama alt ve üst parçaların birleştirilmesi işlemidir. Birleştirme toz altı kaynak yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Birleştirme işlemleri için işlemi İncan Amerika Üretimi Tozaltı Kaynak Makinası kullanılmaktadır. Olası operatör hatalarını yok etmek amacıyla kaynak işlemi otomatik makinelerde yapılmaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Alt ve üst kovanların kaynakla birleştirilmesi

Kaynak standardına göre hazırlanan alt ve üst parçaların birleştirilmesi için kullanılan kaynak işlem parametreleri Çizelge 3.4'te verilmektedir. Bu parametreler P310NB malzemesi için optimize edilen parametrelerdir.

Çizelge 3.4. Birleştirme işlemi için kullanılan kaynak işlem parametreleri

Akım (A)	Voltaj (V)	Kaynak Hızı (mm/min)	Kaynak Genişliği (mm)	Bindirme Mesafesi (mm)
380	30	68	12	60

Tasarımı yapılan şartlara uygun bir şekilde imal edilen alt ve üst kovanların birleştirme işlemi sonrası görüntüleri Şekil 3.7'de verilmektedir.



Şekil 3.7. Yeni tasarıma uygun birleştirilen LPG tüpleri

3.3. Deney Numune Hazırlama

Kaynakla birleştirme işlemi yapılan tüplere ısıl işlem öncesi X-Ray incelemesi yapılmaktadır. X-Ray incelemesi ile kaynakta herhangi bir boşluk, birleşmeme gibi hataların oluşup oluşmadığı belirlenmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. İmalatı yapılan tüplerin X-Ray incelemeleri

X-ray işlemi sonrası tüpler alt ve üst kovanların imalatı ve kaynakla birleştirme işlemleri sırasında oluşabilecek gerilmeleri gidermek ve malzemeyi ilk haline geri döndürmek amacıyla 930°C’de 10 dakika sürede ısıl işleme tabi tutulmaktadır. Numunelerin ısıl işlem uygulanması işlemi Şekil 3.9’da verilmektedir.



Şekil 3.9. İmalatı yapılan tüplere ısıl işleminin uygulanması

Gözle muayene ve X-Ray işlemleri kaynaklı birleştirmede meydana gelebilecek hataları tam olarak belirlemek mümkün olamamaktadır. Bundan dolayı numunelere makroskobik muayene yapılmıştır. Makroskobik muayene TS EN ISO 17639 (2022) standartlarına göre yapılmıştır. Makroskobik muayene numune hazırlığı Şekil 3.10'da verilmektedir. Makro incelemeler öncesi numuneler incelemeye hazır hale getirilmiştir. Bunun için numuneler öncelikle 30, 180 ve 600 zımpara kullanarak numuneler zımparalanmıştır. Daha sonra numunelere dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlama işlemi için Nital5 (95 ml etanol (C_2H_5OH) karışımı ve 5 ml nitrik asit (HNO_3)) çözeltisi kullanılmıştır. Dağlama işlemi sonrası numuneler mikroskop ile incelenmiştir.



Şekil 3.10. Makro muayene işlem aşamaları

Çalışmanın bir diğer aşamasını farklı kordon açıları kullanılarak imalatı yapılan ve ısıtma işlemi uygulanan LPG tüpleri üzerinden alınan kesitler ile mekanik deneyleri gerçekleştirmek için numuneler hazırlanması oluşturmaktadır. Çalışma için seçilen tasarım ve bıçak kordon açısına bağlı olarak sıkı geçmenin ve sıkı geçme sonrasında yapılan kaynaklı birleştirmenin dayanım ve kalitesini belirlemek amacıyla çekme, eğme, patlatma, bükme, basınç, testi deneyleri yapılmıştır. Yapılacak deneyler için numune hazırlığı imalatı yapılan tüpler üzerinden standartlara uygun şekilde hazırlanmıştır.

Çekme deney numunelerinin hazırlığı doğru bir deney sonucu elde edilebilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında kullanılacak çekme numuneleri hazırlanmıştır. Çekme deney numune hazırlığı Şekil 3.11’de verilmektedir.



Şekil 3.11. Çekme deney numunelerinin hazırlanması

Tez çalışması için çekme deneyleri bulunan 20 ton kapasiteli çekme test cihazında yapılan Şekil 3.12'de deneyler için kullanılan cihaz ve numunelerin cihaza bağlanmış hali verilmektedir. Çekme deney sonrası elde edilen çekme dayanım değerinin tüp imalatçı tarafından garanti edilen değerden az olmaması gerekmektedir.



Şekil 3.12. Çalışmada kullanılan çekme deney cihazı ve numunenin cihaza bağlanması

Ev tipi LPG tp imalatı sonrasında çekme deneylerinin yanında eğme deneyleri de yapılmaktadır. Eğme deneyleri için EN ISO 5173 standardı kullanılmakta olup bu numuneler bu standartlar dikkate alınarak hazırlanmıştır. şekil 3.13'te eğme deneyi verilmektedir.



şekil 3.13. Tez çalışmasında kullanılan eğme deney düzeneği

LPG tp imalatında çekme ve eğme deneylerinin yanı sıra imalatı yapılan tüplere patlatma ve basınç deneyleri uygulanmaktadır. Patlatma deneyleri TS EN 14140 (2015) standardına uygun şekilde gerçekleşmektedir. Tez çalışmasında yeniden tasarlanarak imal edilen LPG tüplerinin patlatma işlemleri için kullanılan deney düzeneği şekil 3.14'te verilmektedir.



Şekil 3.14. Tez çalışmasında kullanılan patlatma deney düzeneği

Tez çalışması için imal edilen tüplere uygulanan basınçla yorulma deneyi parametreleri Çizelge 3.5'te verilmektedir. Basınçla yorulma deneyi sistemi Şekil 3.15'te verilmektedir.

Çizelge 3.5. Çalışmada numunelere uygulanan yorulma deneyi parametreleri

Üst çevrim basıncı (bar) (hesaplama basıncına (Pc) eşit)	35
Alt çevrim basıncı (bar)	13
Çevrim sayısı	12 100



Şekil 3.15. Tez çalışmasında kullanılan basınçla yorulma deney düzeneği

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmasında hali hazırda çelik malzemedeki taşınabilir LPG tüp imalatında kullanılan tüpler için uygun sıkı geçme tasarımı ve buna uygun bıçak kordon açıları belirlenmiş ve belirlenen bu açılar kullanılarak tüpler imal edilmiştir. İmal edilen tüpler tahribatlı ve tahribatsız olarak test edilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve en uygun bıçak kordon açısı optimize edilmiştir.

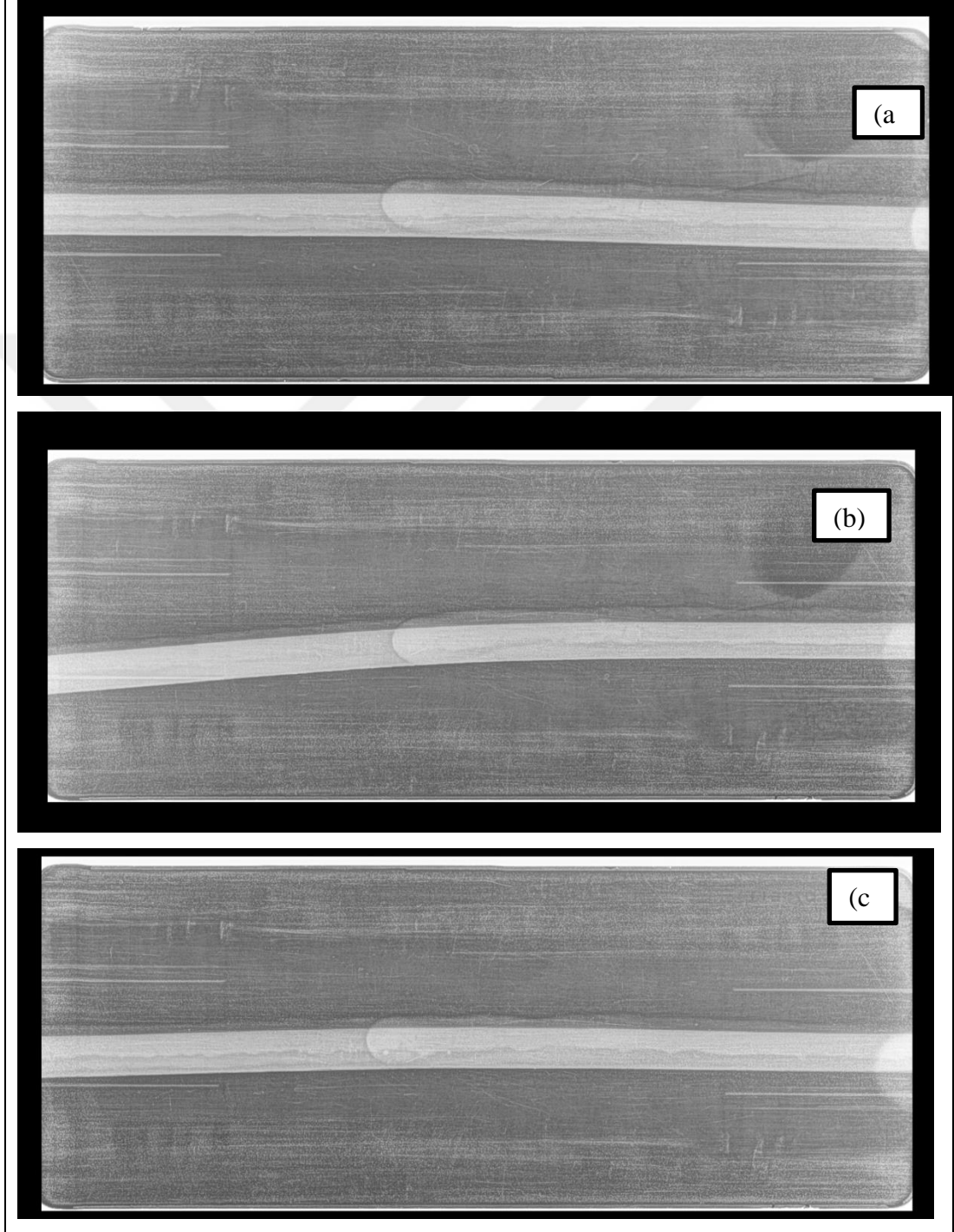
4.1. Gözle Muayene İşlemi

Çalışma için her bir bıçak kordon açısında hazırlanan tüpler üzerinde TS EN ISO 17637 (2017) standartlarına göre gözle muayene işlemi uygulanmıştır. Yapılan muayeneler sonucunda kaynak dikişlerinde standartlara uygun olmayan bir durum gözlemlenmemiştir.

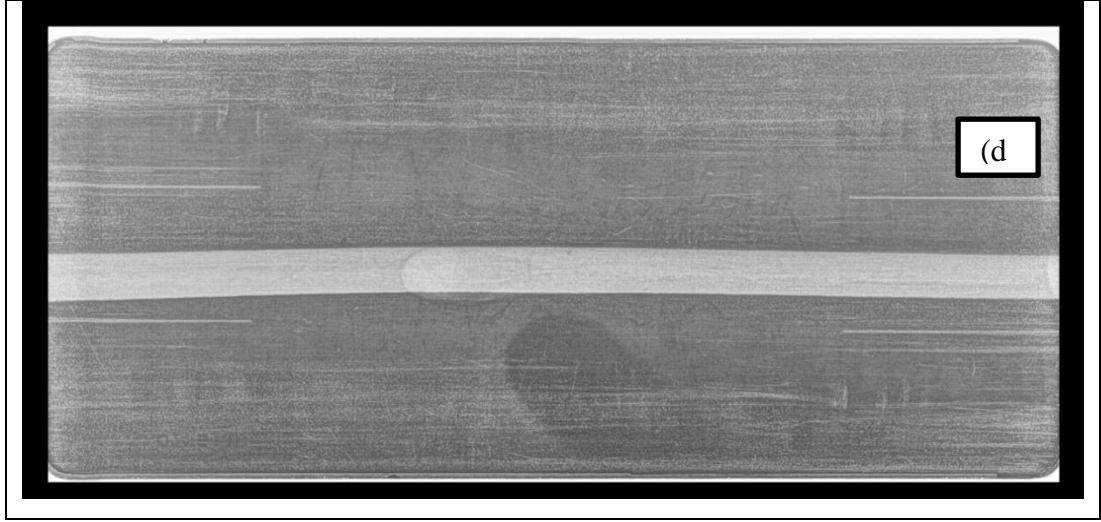
4.2. Radyografik (X-Ray) ile Muayene İşlemi

Gözle muayene işlemine tabi tutulan numunelere daha sonra radyografik (X-Ray) muayene yapılmıştır. Radyografik muayene işlemleri TS EN ISO 17636-1(2022) standartlarına göre yapılmıştır. Kaynak bölgesi muayene standartlarına ek olarak TS EN ISO 1442 (2017) ve TS EN 14140 (2015) standartlarında bulunan şartların sağlanması da önem arz etmekte olup çalışmada bu standartlar da göz önünde bulundurulmuştur. Bu ek standartlarda kaynak bölgesi ele alınmakta olup birleşme bölgesinde üst üste binme, boşluk veya keskin düzensizlik olmaması ve ana metal ile kaynak metalinde pürüzlerin olmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunun yanında kaynak yüksekliği kaynak genişliğinin dörtte birini geçmemesi gerekmektedir. Cidar kalınlığına göre kayan dikiş genişliğinin ayarlanması gerekmekte olup bu değer cidar kalınlığının 3-8 katı arasında ayarlanmalıdır. Tüm bu durumlar dikkate alınarak görsel incelemeleri yapılan tüplerde gözle görünür bir hatanın olmadığı belirlendikten sonra numunelere X-Ray ile radyografik muayene yöntemi kullanılarak incelenmiştir. X-Ray ile muayenede TS EN ISO 17636-1 (2022), TS EN ISO 19232-1 (2013) ve TS EN ISO 19232-3 (2013) standartları göz önünde bulundurulmuştur. X-Ray incelemeleri kaynak dikiş sertifikasına sahip RT-II personeli tarafından yapılmış ve değerlendirilmiştir. Çalışmada incelenen tüp

numunelerine ait radyografi görüntüleri Şekil 4.1’de verilmektedir. Şekil 4.1 incelendiğinde tüm açı değerlerinde herhangi bir gaz boşluğu, başlangıçta eksik nüfuziyet gibi hataların oluşmadığı belirlenmiştir.



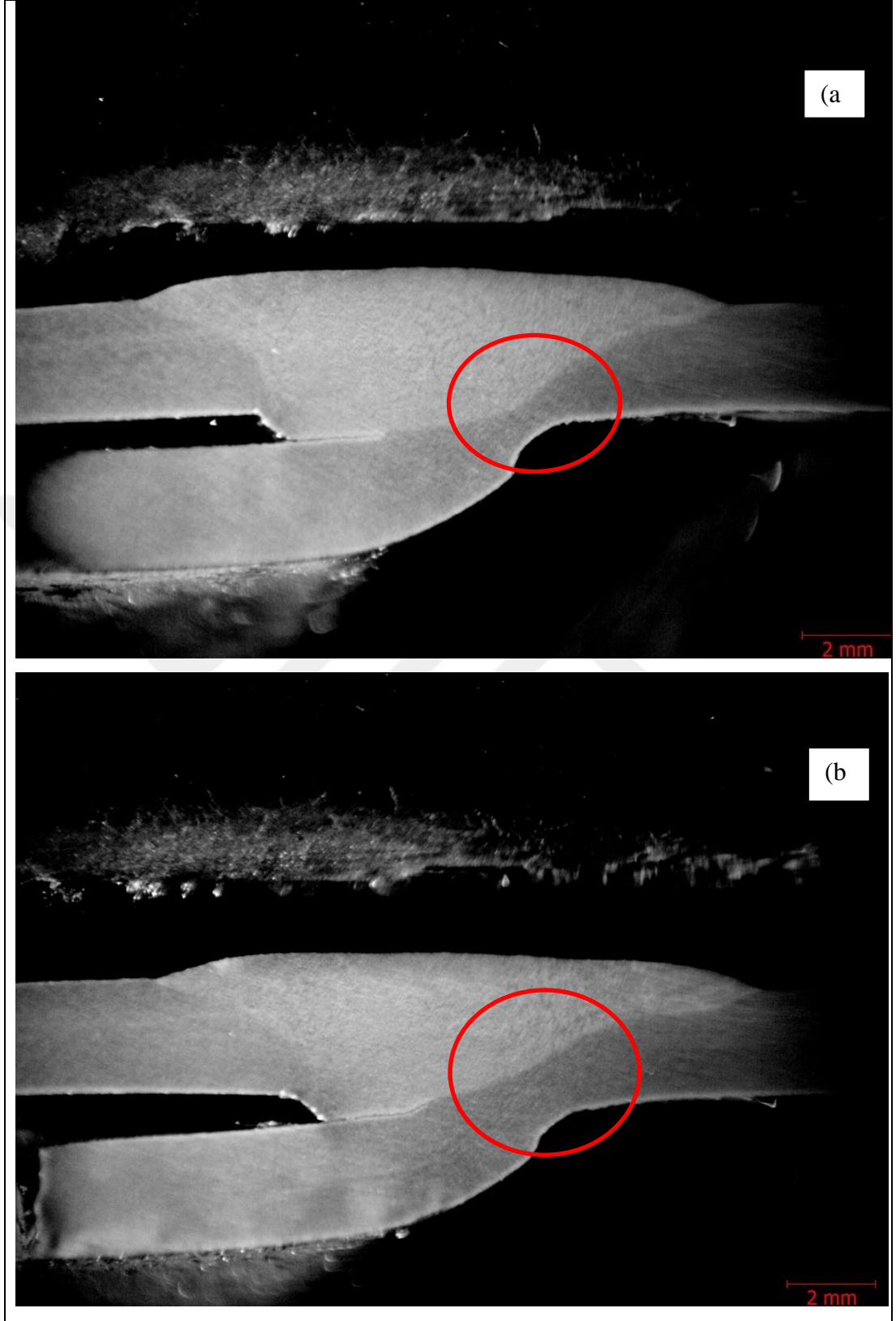
Şekil 4.1. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin radyografi inceleme görüntüleri (a)8° (b)10° (c)12° (d)15°



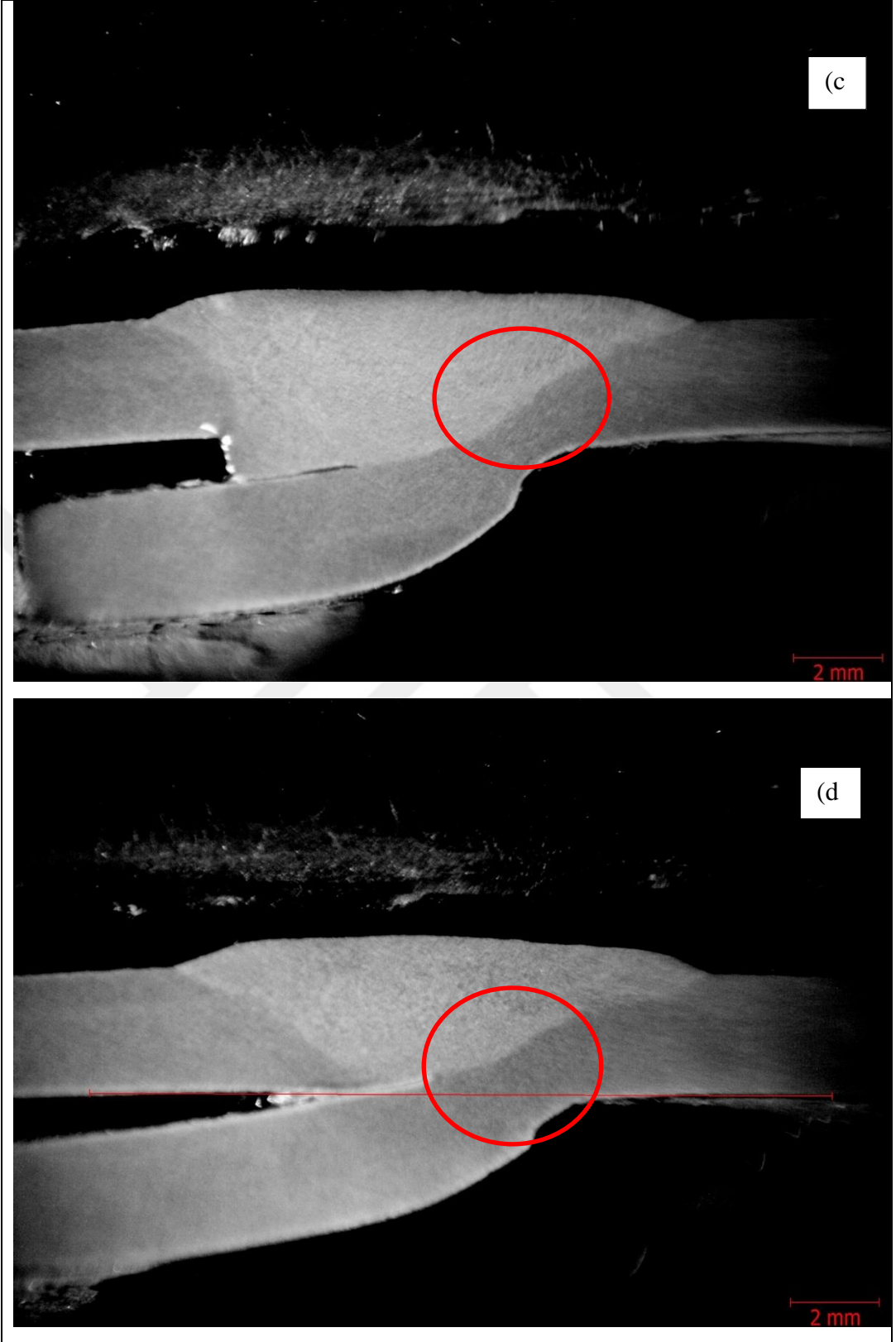
Şekil 4.1. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin radyografi inceleme görüntüleri (a)8° (b)10° (c)12° (d)15° (Devam)

4.3. Makro Muayene İşlemi

LPG tüplerinde kaynak dikiş kontrolü TS EN ISO 6520-1 (2011) standardına göre yapılmaktadır. Bu standart kaynak kökündeki içbükey, kaynak ağzının tam doldurulamaması, kaynakta meydana gelen yetersiz ergime ve nüfuziyet, çatlak oluşumu, üst üste binme, boyutu cidar kalınlığının üçte birinden daha büyük gaz gözeneginin oluşması, bir gaz gözeneginin diğerine 25 mm veya daha az uzaklıkta olması, tüm gaz gözeneklerinin toplam alanının (mm²) cidar kalınlığının iki katından daha fazla olması gibi hataları kabul etmemektedir. Standardın istemiş olduğu bu şartların tam olarak sağlanıp sağlanmadığını belirlemek amacıyla makro incelemeler yapılmıştır. Çalışma için yapılan makro incelemeler Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.2. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin makro inceleme görüntüleri
(a)8° (b)10° (c)12° (d)15°



Şekil 4.2. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin makro inceleme görüntüleri
(a)8° (b)10° (c)12° (d)15° (Devam)

Şekil incelendiğinde her ne kadar tüm numune gruplarında eksik nüfuziyet olmadığı belirlense de en iyi nüfuziyetin 8° bıçak kordon açısında meydana geldiği belirlenmiştir.

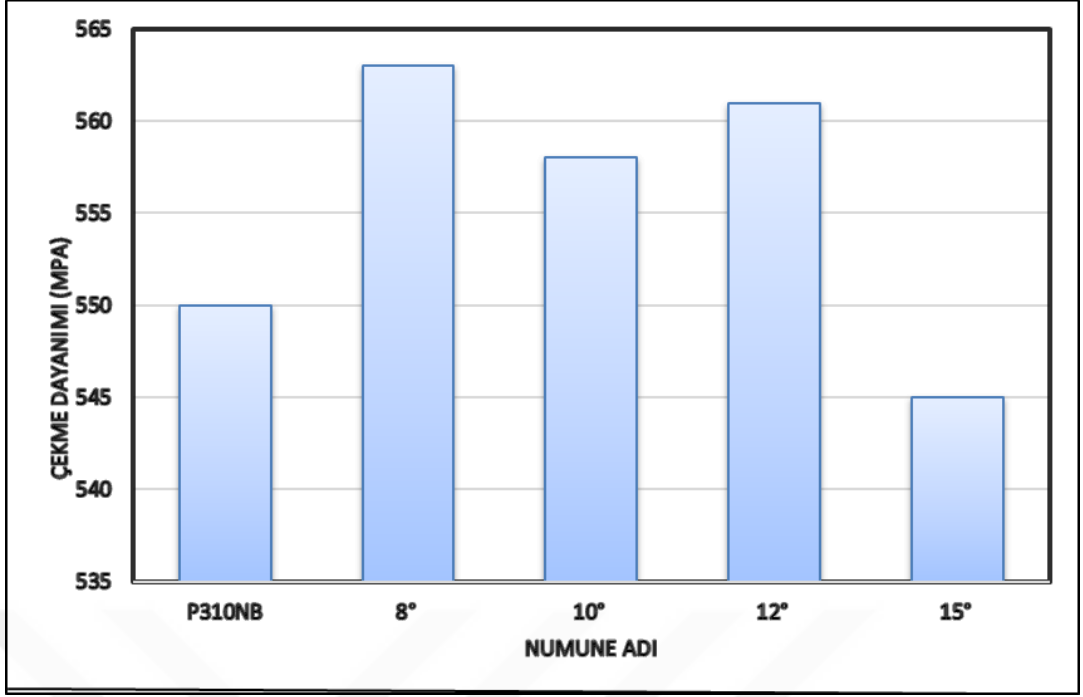
4.4. Çekme Deney Sonuçları

Çalışmada farklı bıçak kordon açısı ile imal edilen tüplerden alınmış numunelere çekme deneyleri uygulanmıştır. Çekme deney sonrası elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmektedir.

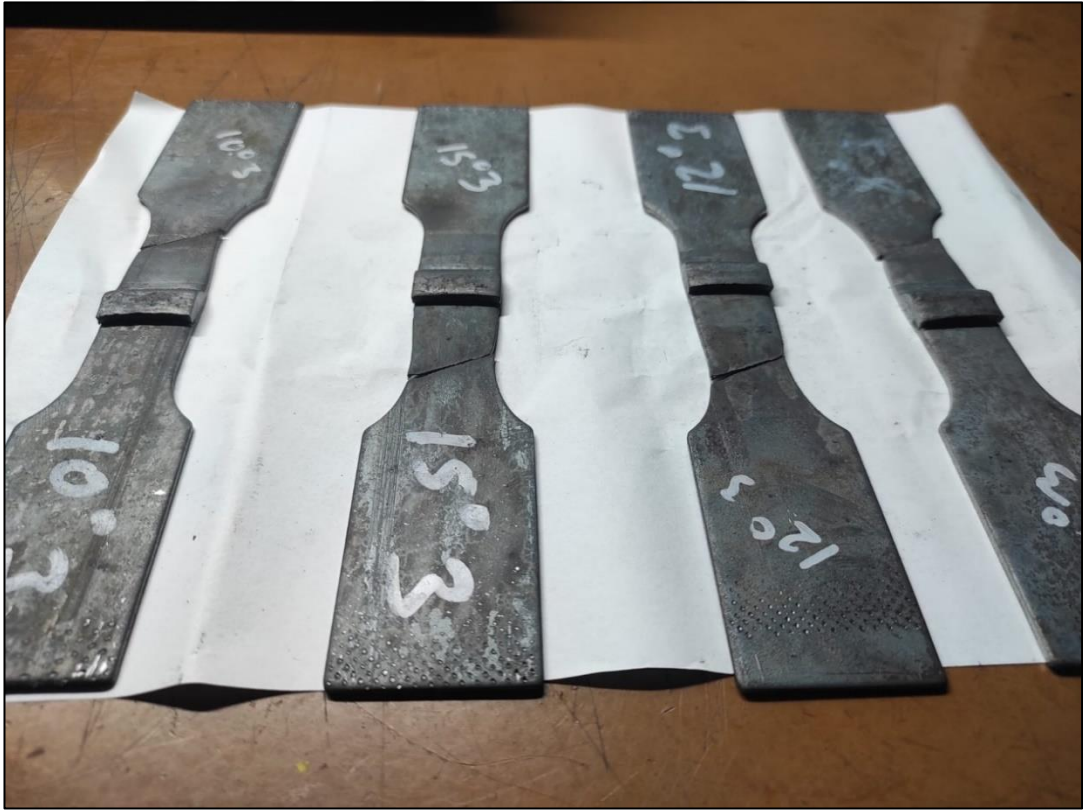
Çizelge 4.1. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin çekme deney sonuçları

Bıçak Kordon Açısı	Genişlik a (mm)	Yükseklik b (mm)	Alan S ₀ (mm ²)	Akma Dayanımı Re (N/mm ²)	Çekme Dayanımı Rm (N/mm ²)	Uzama A (%)
8°	22.80	2.30	52.4	399	563	6,69
10°	22.80	2.28	52.0	387	558	6.41
12°	22.80	2.32	52.9	409	561	6.35
15°	22.80	2.33	53.1	374	545	6.77

Çekme deneyleri genel olarak incelendiğinde hiçbir numune kayan bölgesinden kopmamıştır. P310NB malzeme için çekme dayanım değerleri 460-550 MPa arasındadır. 8°, 10°, 12° ve 15° bıçak kordon açısı seçilen numunelerde çekme dayanımları sırası ile 563MPa, 558MPa, 561 MPa ve 545MPa elde edilmiştir (Şekil 4.3). Çekme dayanım değerleri incelendiğinde 15° bıçak kordon açısında imal edilen tüplerde elde edilen çekme dayanımı malzemenin çekme dayanım sınırları arasında iken; 8°, 10°, 12° olarak belirlenen açılardaki numunelerden elde edilen sonuçların malzemenin çekme dayanım değerinin üzerinde bir değerde elde edilmiştir. 15° bıçak kordon açısına göre daha yüksek çekme dayanımına sahip olması seçilen açılarının uygun olduğunun bir göstergesi olarak belirlenmiştir. Ayrıca çekme deney sonrası numuneler kaynak bölgesinden kopmamıştır (Şekil 4.4). Bu durum seçilen bıçak kordon açılarının kaynak bölgesi mukavemetine önemli ölçüde etki ettiğinin bir sonucudur. Bıçak kordon açısının 8° seçilmesi sonucu elde edilen yüksek çekme dayanımı ana metal ile kaynak metalinin nüfuziyetinin tam sağlandığının bir göstergesi olup elde edilen sonuçlar makro görüntüler ile uyum içindedir.



Şekil 4.3. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin çekme dayanım değerleri



Şekil 4.4. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin çekme deney sonrası görüntüleri

4.5. Eğme Deney Sonuçları

Çalışmada numunelere eğme deneyleri uygulanmıştır. Eğme deneyleri her bir açı kaynak yapılan yönde ve kaynak yapılan yönün tersine şeklinde 2 tip bükme yapılmıştır. Eğme deney sonrası numune şekilleri Şekil 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.5. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin eğme deney sonrası görüntüleri

Şekil 4.5 incelendiğinde eğme numunelerinde deney sonrası herhangi bir çatlak oluşmamıştır. Seçilen kordon açıları yeterli nüfuziyeti sağladığı için eğme deney sonrasında kaynak bölgelerinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Elde edilen sonuçlar AWS standardına uygundur (1998).

4.6. Basınçla Yorulma Deney Sonuçları

Mutfak tüpü imalatında imalat sonrası tüplere uygulanan deneylerden bir tanesi de basınçla yorulma deneyidir. Deney sonrası tüplerin kaynak bölgesinden mi hasar gördüğü veya tüpün dikine mi hasar gördüğü belirlenerek tüpün standartları sağlayıp sağlamadığı belirlenmektedir. Bu amaçla farklı bıçak kordon açıları ile imal edilen tüplere basınçla yorulma testi uygulanmıştır. Test 35 bar basınçta ve 12 100 çevrimde

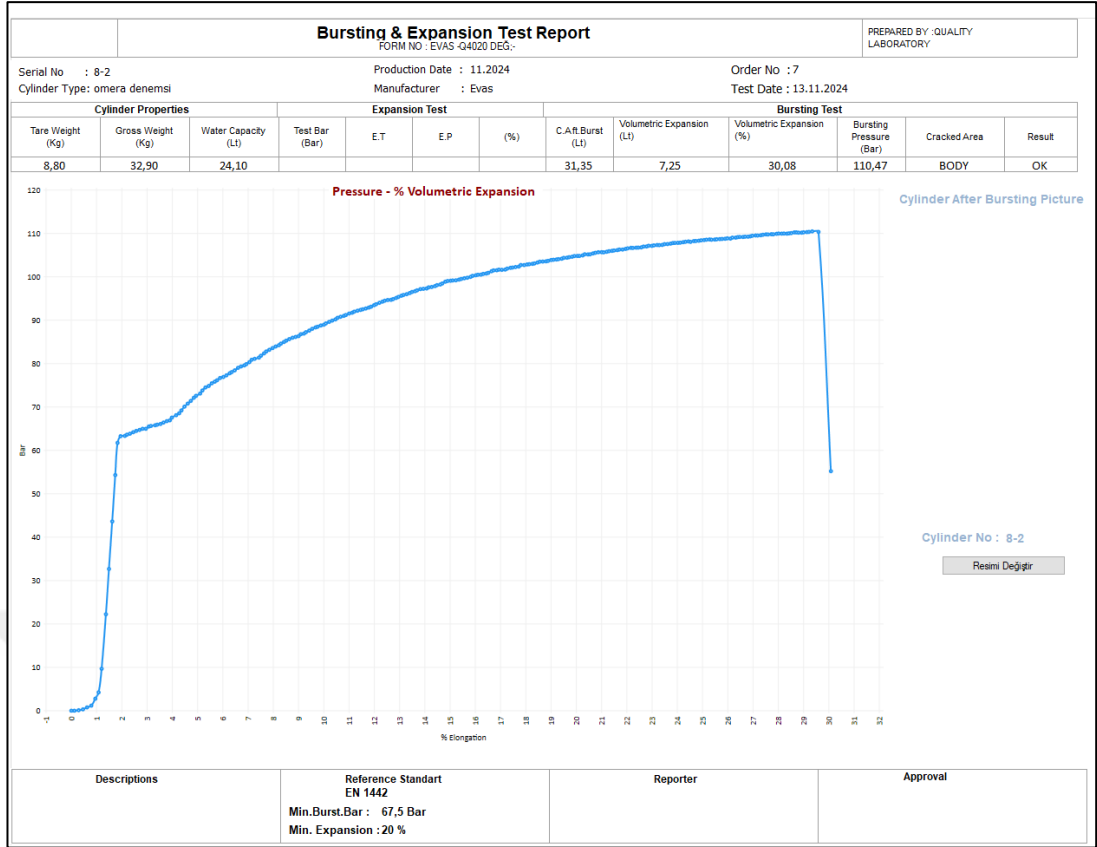
uygulanmıştır. Deneyler sonrası numuneler 35 bar basınçta 12 100 çevrime kadar hasar görmeden dayanım göstermişlerdir. Böylelikle 8°, 10°, 12° ve 15° bıçak kordon açılarının standartlarının gereklerinden olan basınçla yorulma testinden başarılı bir şekilde geçtiği belirlenmiştir. Şekil 4.6'da basınçla yorulma deney sonrası tüp görüntüleri verilmektedir.



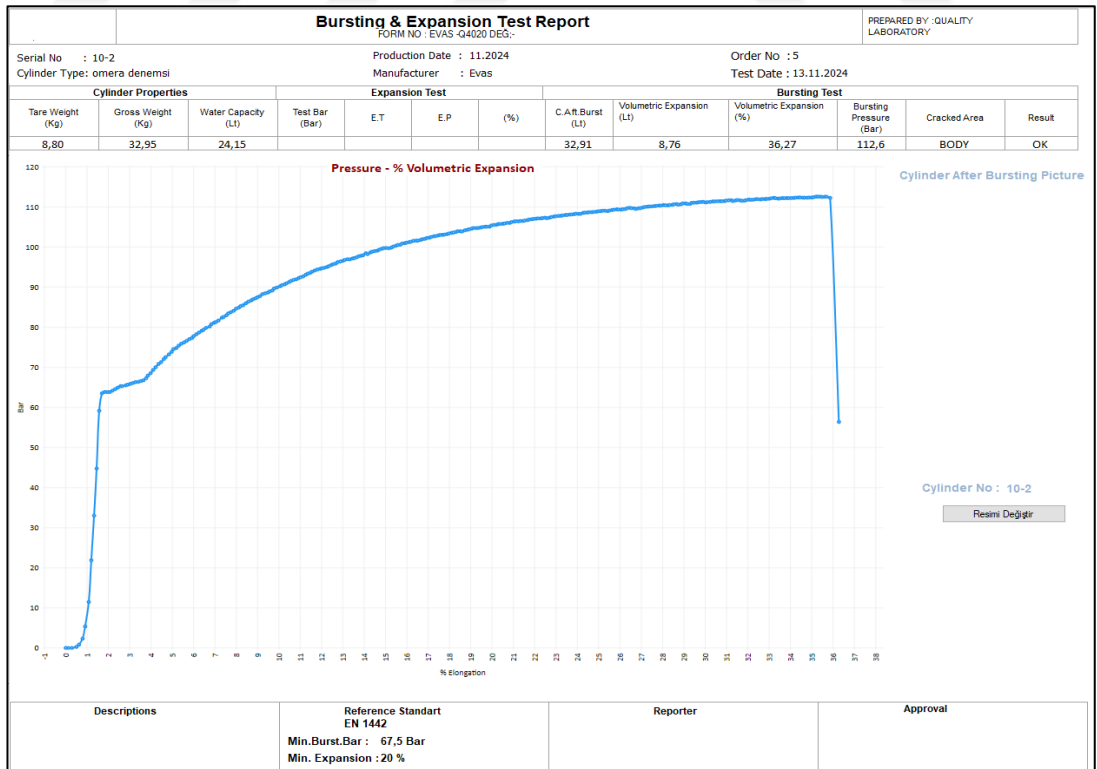
Şekil 4.6. Farklı kordon açılarında imal edilmiş tüplerin basınçla yorulma deney sonrası görüntüleri

4.7. Patlatma-Genleşme Deney Sonuçları

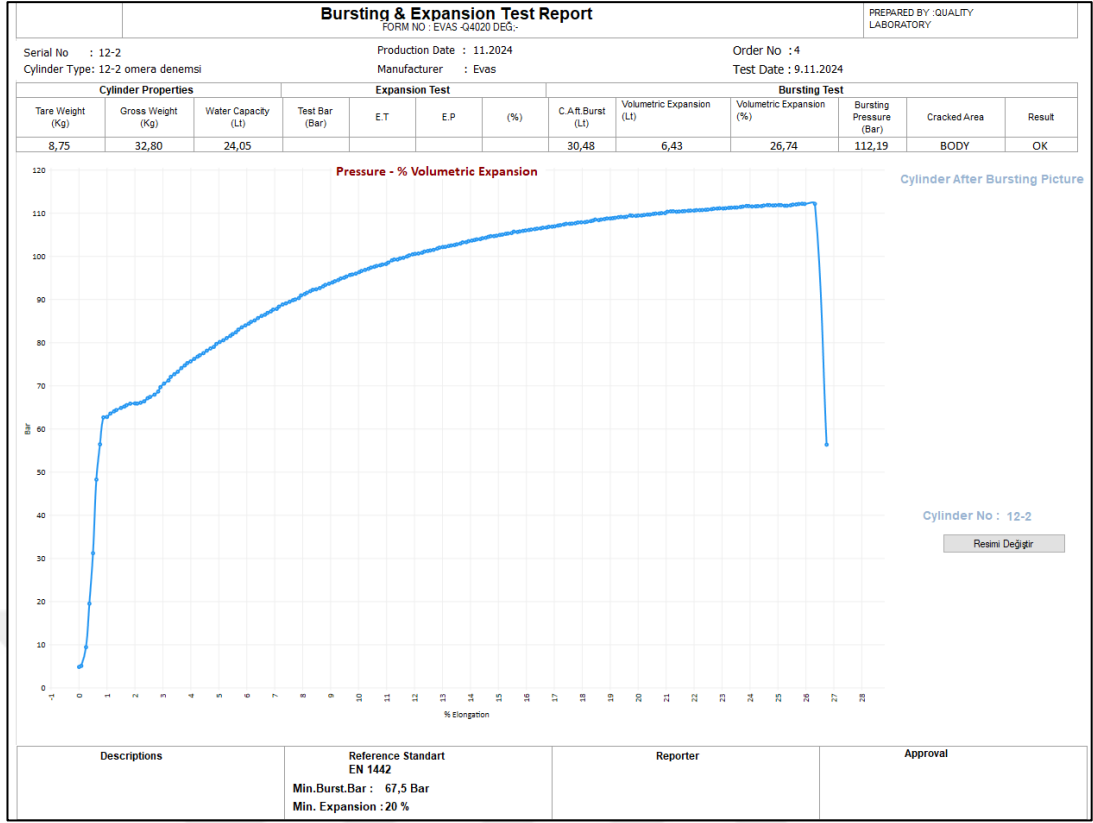
Çalışmada numunelere patlatma-genleşme deneyi uygulanmıştır. Patlatma-genleşme deney sonuçları Çizelge 4.2'de verilmektedir. Deney sonrası patlatma genleşme grafiği elde edilmiştir. 8° bıçak kordon açısında imal edilmiş LPG tüpüne ait patlatma-genleşme grafiği Şekil 4.7'de; 10° bıçak kordon açısında imal edilmiş LPG tüpüne ait patlatma-genleşme grafiği Şekil 4.8'de verilmektedir. 12° bıçak kordon açısında imal edilmiş LPG tüpüne ait patlatma-genleşme grafiği Şekil 4.9'da ve 15° bıçak kordon açısında imal edilmiş LPG tüpüne ait patlatma-genleşme grafiği ise Şekil 4.10'da verilmektedir.



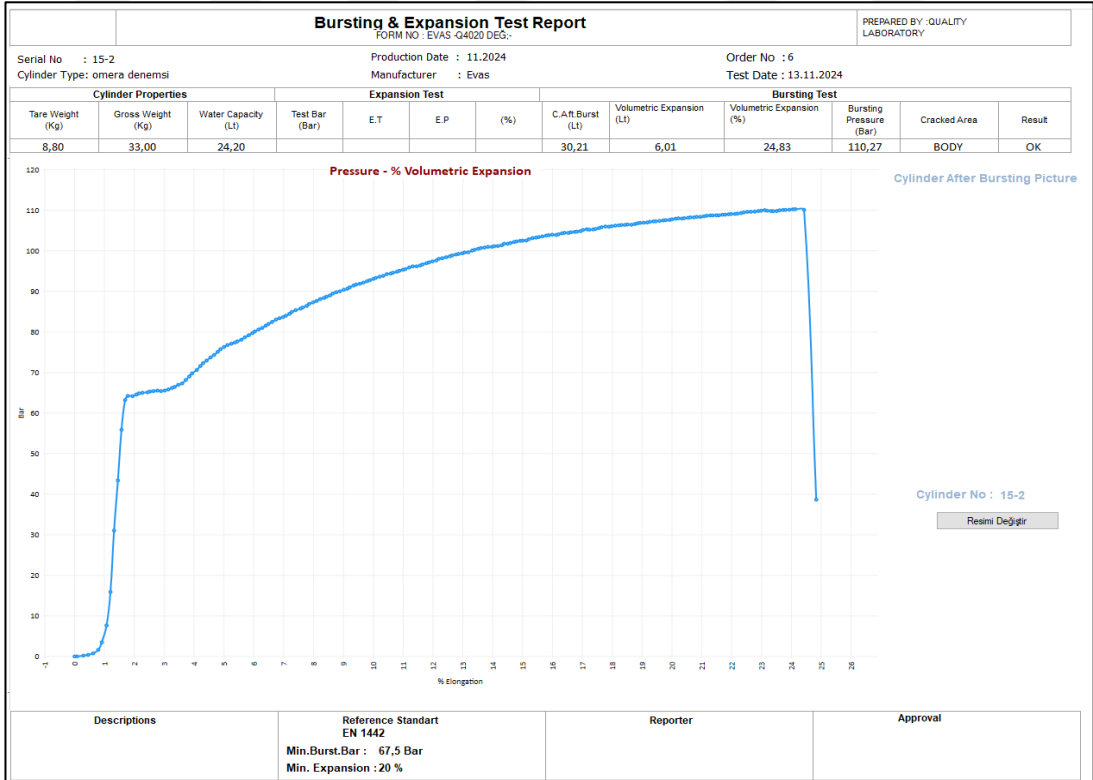
şekil 4.7. 8° bıçak kordon açısında imal edilmiş LPG tüpüne ait patlatma-genleşme grafiği



şekil 4.8. 10° bıçak kordon açısında imal edilmiş LPG tüpüne ait patlatma-genleşme grafiği



Şekil 4.9. 12° bıçak kordon açısında imal edilmiş LPG tüpüne ait patlatma--genleşme grafiği



Şekil 4.10. 15° bıçak kordon açısında imal edilmiş LPG tüpüne ait patlatma--genleşme grafiği

Çizelge 4.2. Patlatma-genleşme deney sonuçları

Numune	Dara (kg)	Su dolu ağırlık (kg)	Su kapasitesi (Lt)	Hacimsel genleşme (Lt)	Hacimsel genleşme (%)	Patlatma basıncı (Bar)	Kırılma Bölgesi
8°	8.80	32.90	24.10	7.25	30.08	110.47	gövde
10°	8.80	32.95	24.15	8.76	36.27	112.6	gövde
12°	8.75	32.80	24.05	6.43	26.74	112.19	gövde
15°	8.80	33.00	24.20	6.01	24.83	110.27	gövde

Patlatma deneyi için EN 12442 standardına göre minimum patlatma basıncı 67.5 bar ve minimum genleşmenin %20 olması gerekmektedir. Ayrıca patlatma deney sonrası elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmektedir. Çizelge 4.2’de verilen sonuçlar incelendiğinde en yüksek patlatma basıncı 12° bıçak kordon açısı kullanılarak imal edilen tüpte 112.19 bar elde edilmiştir. Bu değer incelendiğinde izin verilen değer yaklaşık %60 fazlası civarındadır. Ayrıca elde edilen sonuçlar çalışmada kullanılan LPG tüp malzemesi için yapıma çalışmalarda elde edilen değerden daha yüksektir (Vanrostenberghe vd., 2008). Bu çalışmada elde edilen patlatma basınç değerleri literatür ile uyum içerisindedir (Fadel ve Yahya, 2022; Nuhoğlu vd., 2022). Tüplerde meydana gelen yarılmamın çevresel kaynak bölgesinde olmaması standartlarda ve yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Ardayfio vd., 2023). Patlatma deney sonrası tüplerde meydana gelen yarıma tüplerin çevresel kaynak bölgelerinde oluşmamış olup bu durum tüplerin patlatma testinden başarılı bir şekilde geçtiğinin bir göstergesidir. (Şekil 4.11). Çalışmada belirlenen kordon açıları için hacimsel genleşme oran değerleri yine izin verilen minimum değer olan %20’den daha yüksek elde edilmiştir. Tüm bu sonuçlar dikkate alındığında hali hazırda kullanılan 15° bıçak kordon açısına alternatif olarak seçilen 8°, 10° ve 12° bıçak kordon açılarının oluşturdukları geometriler ile kaynak robotunun beslemesinin kolaylaşmasına imkân sağlamakta ve kaynak nüfuziyetini arttırdığı böylelikle 15° bıçak kordon açısından daha yüksek patlatma basıncı değerlerine ulaşıldığı düşünülmektedir. Bu durum makro görüntüler ile uyum içerisindedir.



Şekil 4.11. Farklı bıçak kordon açısında imal edilmiş LPG tüpüne ait patlatma-genleşme deney sonrası görüntüleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında hali hazırda çelik malzemeden LPG tüp imalatında kullanılan taşınabilir tüpler için uygun sıkı geçme tasarımı ele alınmıştır. Tasarım için önemli olan bıçak kordon açısı değiştirilmiştir. Hali hazırda kullanılan bıçak kordon açısına alternatif olarak 8°, 10° ve 12° bıçak kordon açıları belirlenmiştir. Belirlenen kordon açıları kullanılarak imal edilen tüplere standartların belirlemiş olduğu tahribatlı ve tahribatsız deneyler uygulanmıştır.

Çalışmada numuneler ilk olarak gözle muayene yöntemi ile incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonrası seçilen üç bıçak kordon açısında imal edilen tüplerin kaynak dikişlerinde çatlak, boşluk gibi kusurların meydana gelmediği belirlenmiştir.

Gözle incelemeyi takip eden inceleme X-Ray incelemesi olup yapılan tasarımlarda standartlara uygun olmayan durumların varlığı tespit edilmemiştir.

Daha detaylı inceleme yapmak amacıyla imalatı yapılan tüplerin makro incelemeleri yapılmıştır. Yapılan makro incelemelerde bıçak kordon açısının nüfuziyete olan etkisi üzerinde yoğunlaşmıştır. Makro incelemeler sonunda en iyi nüfuziyetin 8° bıçak kordon açısı seçilen numunelerde elde edildiği belirlenmiştir.

Çalışmada hazırlanan numunelere uygulanan bir diğer deney çekme deneyidir. Çekme deney sonuçlarında çekme dayanımının yanında dikkat edilecek hususlardan birisi de numunenin hangi bölgeden koptuğu olacaktır. Çekme deney sonuçları incelendiğinde en yüksek çekme dayanımının 8° bıçak kordon açısının seçilen numunelerde 563 MPa elde edildiği belirlenmiştir. Bunun yanında çekme deney sonrası kopmanın kaynak bölgesinde oluşmaması da bu açının uygun olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilmiştir.

Kaynak bölgesinden enine ve boyuna alınan numunelere eğme deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucu kaynak bölgelerinden herhangi bir çatlak meydana gelmemiştir.

LPG tüp imalat standartlarına göre yapılan bir diğerk mekanik deney patlatma genleşme deneyidir. Standartlara göre imal edilen tüp malzemesinin dayanması gereken basınç değerinden daha yüksek basınca dayanması ve hasarın kaynak bölgesinde oluşmaması gerekmektedir. Patlatma basınç test sonuçları incelendiğinde elde edilen basınç değerlerinin malzemenin dayanım değerinin oldukça üstünde olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında hasarların kaynak dikişinde meydana gelmemesi ve minimum hacimsel genleşme değerinin %20 sınırının üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Çalışma farklı bıçak kordon açılarında imal edilen tüplere 35 bar basınçta 12 100 çevrim sayısında basınçla yorulma deneyi uygulanmıştır. Çalışma sonunda seçilen tüm açılarn 12 100 çevrim sayısına ulaştığı belirlenmiştir.

Tüm bu sonuçlar dikkate alındığında hali hazırda 15° bıçak kordon açısı kullanılan tasarım standartlarına uygun üretim yapmasına rağmen bu açiya alternatif olarak seçilen 8° bıçak kordon açısının kaynak nüfuziyeti açısından daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abhijith, I. B., & Anil Rajagopal, K. P. (2022). Material savings in the deep drawing process of LPG cylinder manufacturing. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 9(7), 874-879.
- Amorin, R., & Dabo, K. (2022). Assessment of the Safety Handling of Domestic Liquefied Petroleum Gas (LPG) cylinders using a suburb of afienya township as a case study. *European Journal of Technology*, 6(2), 16-31. <https://doi.org/10.47672/ejt.1033>
- Anonim (2003). LPG'nin Doğru Kullanımı. <http://www.ntvmsnbc.com/nevi's/190774.asp?cpl=1> (Son erişim tarihi: 01 Kasım 2024)
- Anonim (2024). LPG'nin Tanımı. <https://www.ipragaz.com.tr> (Son erişim tarihi: 01 Kasım 2024)
- Arayıcı, S., Terzioğlu, G., Babaogul, M., Şafak, 5, Yertutan, C., & Bener, O. (2003). Ev Yaşamında Güvenlik, Ekonomiklik, Pratiklik, TC. MEB. Çıraklık ve Yaygın Eğitim Genel Müdürlüğü ve İpragaz A.Ş. İşbirliği ile Hazırlanmış Bilgilendirme Semineri.
- Ardayfio, B., Ampah-Essel, J. E., Tetteh, W., Tuah, J. A., Agyei-Tuffour, B., Annan, K. A., ... & Dodoo-Arhin, D. (2023). Comparative analyses of the mechanical and microstructural properties of the weld region of LPG cylinder materials. *Cogent Engineering*, 10(1), 2219096. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2219096>
- Arif, M. (2017). Design and manufacturing of LPG gas leak detector in the kitchen. *Journal of Dynamics (International Journal of Dynamics in Engineering and Sciences)*, 2(1), 27-32.
- Ashok, T., & Harikrishna, A. (2013). Analysis of LPG cylinder using composite materials. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 9(2), 33-42.
- AWS (1998). *Welding Handbook-Welding Technology, Eighth Edition*. AWS, American Welding Society.
- Dey, T., Sultan, M. Z. B., Joy, S. F. K., & Hasan, M. M. (2021). Design and Analysis of Domestic Lpg Cylinder. *International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy 2021 (ICMERE 2021)*. 12–14 December 2021, Chattogram, Bangladesh, 1-6.
- EN ISO 14021 (2016). Environmental Labels and Declarations - Self-Declared Environmental Claims (Type II Environmental Labelling). Ankara.
- EN ISO 14024 (2002). Environmental Labels and Declarations - Type I Environmental Labelling - Principles and Procedures (ISO 14024). Ankara.

- EN ISO 14025 (2008). Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures (ISO 14025). Ankara
- Fadel, A., & Yahya, N. (2022). Experimental and finite element analysis of liquefied petroleum gas cylinder. *University Bulletin*, 24(3), 1-17.
- Gould, C. F., & Urpelainen, J. (2018). LPG as a clean cooking fuel: Adoption, use, and impact in rural India. *Energy Policy*, 122, 395-408. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.07.042>
- Indian Standart (2012). Is 3196 (Part 3): 2012. Welded Low Carbon Steel Cylinders Exceeding 5 Litre Water Capacity for Low Pressure Liquefiable Gases Part 3 Methods of Test. New Delhi: Bureau of Indian Standard. https://www.services.bis.gov.in/php/BIS_2.0/bisconnect/standard_review/Standard_review/Isdetails?ID=OTc1OA%3D%3D (Son erişim tarihi: 12 Haziran 2024)
- Kiran, C. S., & Sruthi, J. (2018). Design and finite element analysis of domestic LPG cylinder using ANSYS Workbench. *CVR Journal of Science and Technology*, 14, 97-101. <https://doi.org/10.32377/cvrjst1419>
- Mayer, H., Stark, H. L., & Ambrose, S. (2000). Review of fatigue design procedures for pressure vessels. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 77(13), 775-781. [https://doi.org/10.1016/S0308-0161\(00\)00069-7](https://doi.org/10.1016/S0308-0161(00)00069-7)
- Moketla, M. B., & Shukla, M. (2012). Design and finite element analysis of FRP LPG cylinder. *International Journal of Instrumentation Control and Automation*, 2(1), 121-124.
- Moon, M. H., & Khan, I. M. (2023). Analysis of Different Properties of Lpg Cylinder – A Design Based Approach. *7th International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy 2023 (ICMERE2023)*. 16-18 November, Chattogram, Bangladesh, 1-5.
- Nuhoğlu, U. (2022). *Soğuk Şekillendirmeye Uygun Yüksek Mukavemetli Çelik Malzeme ile LPG Tüpü İmalatında Tozaltı Kaynak Parametrelerinin Dikiş Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Nuhoğlu, U., Mert, T., & Tümer, M. (2022). Investigation of the effect of solid wire and flux combinations used in submerged arc welding of the LPG cylinders on mechanical properties. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(2), 509-518.
- Öztop, H., & Güven, S. (2004). Kadınların tüp gaz kullanımına ilişkin bilgileri. *Kadın/Woman 2000*, 5(1-2), 117-130.
- Petitpas, E., Roulet, N., & Santacreu, P. (2004). Stainless steel in LPG tanks application. *Journal of Materials and Manufacturing*, 113(5), 452-456.

- Ramakrishna, A., Siddiqui, N. A., & Lal, P. (2014). Development of empirical formulas for lpg cylinder acceptance test parameters. *International Journal of Applied Engineering and Technology*, 4(1), 54-61.
- Sarker, M. D. S. (2021). *Optimization of Maintenance Management Framework in LPG Cylinder Manufacturing*. (Master's Thesis Islamic University of Technology Mechanical Engineering)
- Šebestová, H., Horník, P., Mrňa, L., & Doležal, P. (2018). Microstructure and mechanical properties of hybrid LasTIG welds of HSLA steel. *Procedia CIRP*, 74, 743-747. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.019>
- Shahrier, F., Eva, I. J., Mahi, A., Alam, C. S., & Rashid, A. R. M. H. (2020). Literature Review on LCA of LPG as a Transportation and Cooking Fuel. *Proceedings of the International Conference on Industrial & Mechanical Engineering and Operations Management*. December 26-27, Dhaka, Bangladesh, 1-7.
- Siddiqui, N., Ramakrishna, A., & Lal, P.S. (2006). Review on liquefied petroleum gas cylinder design and manufacturing process as per Indian Standart, IS 3196. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 4(2), 1-4.
- Sitthipongi, S., Boonpachr, P., Lohwirakorn, S., Choyrum, S., Techawathakun, S., & Towatana, P. (2021). Stress Analysis of 48 kg LPG Cylinder. *Journal of Physics: Conference Series, Siam Physics Congress (SPC) 2020*. 4-5 June 2020, Online Conference, Thailand, 1-5.
- Şaşmaz, E., & Altıntaş, A. (2021). Gaz ve tüp valflerinin tanıtımı ve çalışma sistemi. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/010_7.pdf (Son erişim tarihi: 08 Mayıs 2024)
- Tom, A., Pius, G. M., Joseph, G., Jose, J., & Joseph, M. J. (2014). Design and analysis of lpg cylinder. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6(2), 17-31. <https://doi.org/10.24107/ijeas.251225>
- TS EN 1442 (2017). LPG Donanım ve Aksesuarları- Taşınabilir, Yeniden Doldurulabilir. Kaynaklı Çelik LPG Tüpleri- Tasarım ve Yapım. Ankara.
- TS EN 14140 (2015). LPG Donanım ve Aksesuarları- Taşınabilir, Yeniden Doldurulabilir. Kaynaklı Çelik LPG Tüpleri- Tasarım ve Yapım. Ankara.
- TS EN ISO 17635 (2010). Kaynakların Tahribatsız Muayenesi Metalik Malzemeler İçin Kurallar. Ankara.
- TS EN ISO 10028-7 (2016). Çelik yassı Mamuller-Basınç Amaçlı-Bölüm 7: Paslanmaz Çelikler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 10204 (2007). Metalik Mamuller - Muayene Dokümanlarının Tipleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN ISO 17636-1 (2022). Kaynak Dikişlerinin Tahribatsız Muayenesi- Radyografik Muayene- Bölüm 1: Filmler X ve Gama Işını Teknikleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 17637 (2017). Ergitme kaynaklarının Tahribatsız Muayenesi-Ergitme Kaynaklı Birleştirmeleri Gözle Muayene. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 17637 (2022). Metalik Malzemelerdeki Kaynaklarda Tahribatlı Muayene - Kaynakların Makroskopik Ve Mikroskopik Muayenesi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 19232-1 (2013). Tahribatsız Muayene-Radyografların Görüntü Kalitesi Kısım 1: Görüntü Kalite Göstergeleri (Tel Tipi) – Görüntü Kalite Değerinin Tespiti. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 19232-3 (2013). Tahribatsız Muayene – Radyografların Görüntü Kalitesi – Bölüm 3: Görüntü Kalite Sınıfları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 3834 (2007). Metalik Malzemelerin Ergitme Kaynağı İçin Kalite Şartları. Ankara.
- TS EN ISO 6520-1 (2011). Kaynak ve İlgili İşlemler – Metalik Malzemelerde Geometrik Kusurların Sınıflandırılması – Bölüm 1: Ergitme Kaynağı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE EN ISO/TR 16060 (2014). Metalik Malzemelerde Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Muayene- Makroskopik ve Mikroskopik İnceleme İçin Dağlayıcılar. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 15609-1 (2019). Metalik Malzemeler İçin Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması- Kaynak Prosedürü Şartnamesi - Bölüm 1: Ark Kaynağı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 15613 (2005). Metalik Malzemeler İçin Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması - İmalât Öncesi Kaynak Deneyini Esas Alan Vasıflandırma. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 9606-1 (2017). Kaynakçıların Yeterlilik Sınavı - Ergitme Kaynağı - Bölüm 1: Çelikler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Weisman, C., & Kearns, W. H. (1978). *Welding Handbook: Welding Processes, Arc and Gas Welding and Cutting, Brazing and Soldering*. American Welding Society.
- Vanrostenberghe, S., Goudemez, J., Chiappini, M., Brun, O., Desplaces, G., & Bregnon, R. (2008). *New steel grades for light weight LPG cylinders*. *Revue de Métallurgie*, 105(4), 218-224. <https://doi.org/10.1051/metal:2008034>
- Yamanlar, Ş. (2003). LPG ve LPG kullanım güvenliği. <http://arias.cc.itu.edu.tr>. (Son erişim tarihi: 14 Mayıs 2024)

Yazıcı, Z. (2005). LPG kullanımını ve güvenlik önlemleri. *TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, 6(23), 43-48.



ÖZGEÇMİŞ

