KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTO SİLİNDİRİK LPG YAKIT TANKLARININ DENEYSEL YORULMA ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fuat KARTAL

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

Danışman: Doç. Dr. Yasin KİŞİOĞLU

KOCAELİ, 2009

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTO SİLİNDİRİK LPG YAKIT TANKLARININ DENEYSEL YORULMA ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fuat KARTAL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih: 26 Haziran 2009

Tez Danışmanı	Üye	Üye
Doç. Dr. Yasin KİŞİOĞLU	Prof. Dr. Faruk MENDİ	Doç. Dr. Mehmet UÇAR
( )	( )	( )

KOCAELİ, 2009

ÖNSÖZ

Ülkemizdeki kullanılan taşıt LPG tankları 17.5–18 bar arasında sürekli basınç altında kalarak taşıt LPG tankının malzemesinde çekme gerilmelerine maruz kalması eksenel ve çevresel gerilmelerin oluşmasına neden olmuştur. Bu gerilmeler malzemede yorulma davranışına sebep olmaktadır. Bu çalışmada, en çok kullanılan 41 lt. hacimlerindeki oto silindirik LPG tanklarının deneysel yorulma analizleri yapılarak LPG tank boyu, çap değişimi, cidar kalınlığı değişimi, malzeme mekanik özelliklerinin değişimi ve yorulma başlangıcı ve yorulma yerinin tespiti yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında geniş zamanını ayırarak her türlü konuda yardımlarını esirgemeyen hoşgörülü ve çok anlayışlı danışmanım Sayın Doç. Dr. Yasin KİŞİOĞLU'na sonsuz şükranlarımı sunarım. Bu çalışma kapsamında, deney tesisatının kurulumu ile silindirik LPG yakıt tank numuneleri desteği STEP ALTERNATİF YAKIT SİST. A.Ş., Konya, tarafından sağlanmıştır. STEP ALTERNATİF YAKIT SİST. A.Ş.Yönetim Kurulu Başkanı sayın Faruk GÜRAKSU beye, Teknik Müdür sayın Aydın KARATEKE beye ve firma çalışanlarına desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca beni destekleyen ve bugünlere getiren babam Abitter Ali KARTAL, annem Sonay KARTAL'a sonsuz minnet duygularımı sunarım. Ayrıca çalışmalarım boyunca benim yanımda olan ve bana her türlü desteğini veren sevgili eşim Emine KARTAL'a sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Ayrıca, çalışmalarımda maddi ve manevi büyük desteği olan Öğretim Görevlisi Mahmut KÜÇÜK beye, lise öğrenimimden bu güne kadar beni her türlü çalışmamda yüreklendiren, saygıdeğer öğretmenim A.Zafer KAYALI'ya ve hayatımın dönüm noktalarında önemli etkisi olan sevgili dayım Raci TORAMAN'a ve bana emeği geçen tüm sevdiklerime minnet duygularımı sunarım. Arif ÖZKAN, Arslan KAPTAN, İbrahim MUTLU ve Makine Eğitimi bölümündeki tüm hocalarıma vermiş oldukları desteklerinden ötürü çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iii
TABLOLAR DİZİNİ v
ÖZET vi
İNGİLİZCE ÖZET vii
BÖLÜM 1. GİRİŞ 1
BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI 4
2.1. Literatür Taraması 4
2.2. Taşıt LPG Tankları 9
2.3. LPG Tank Malzemeleri 10
2.4. Taşıt Silindirik LPG Tanklarının İmalatı 10
2.5. LPG Tank Üretim Süreci 11
2.6. Malzemelerin Yorulma Mukavemeti 12
2.7. Yorulmaya Etki Eden Faktörler 13
2.7.1. Malzeme yapısının etkisi 13
2.7.2. Yüzek kalitesinin etkisi 14
2.7.3. Çentik etkisi 14
2.7.4. Yüklerin etkisi 15
2.7.5. Korozyonun etkisi 15
2.7.6. Sıcaklığın etksi 16
2.7.7. Frekansın etkisi 16
2.8. Tekrarlı Yüklemeler ve Gerilme Tipleri 17
BÖLÜM 3. YORULMA DENEY DÜZENEĞİ 20
3.1. Deney Düzeneği 20
3.2. PLC Kontrollü Servo–Hidrolik Deney Düzeneği 21
BÖLÜM 4. YORULMA DENEYİ ÇIKTILARI 24
4.1. Yorulma Deneyi Yapilan Ölçümler 24
4.2. LPG Tank Boy Uzunluk Ölçümü 24
4.3. LPG Tank Çap Ölçümü 26
4.4. LPG Tank Cidar Kalınlığı Ölçmü 30
4.5. LPG Tank Hacim Değişimi Ölçümü 35
4.6. LPG Tank Malzemesinin Mekanik Özelliklerinin Tespiti 37
4.7. LPG Tank Yorulma Bölgeri ve Yorulma Çevrim Sayıları 40
4.7. LPG Tank Dolum Sayısına Bağlı Olarak Kullanım Ömrü Tayini 43
BÖLÜM 5 SONUÇLAR ve ÖNERİLER 45
KAYNAKLAR 47
ÖZGEÇMİŞ 49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. LPG tank patlatma deney düzeneği ve patlama bölgeleri. 4
Şekil 2.2. LPG tank patlatma deney düzeneği....5
Şekil 2.3. Basınç tankının nozul sonlu elemanlar ağ örgüsü....5
Şekil 2.4. Sıcaklığın ve basıncın taşınabilir gaz silindirlere etkisi. 6
Şekil 2.5. Gaz silindirlerinde patlama sonrası eksenel kırılma ve yırtılmalar....7
Şekil 2.6. Basınç tankı için sonlu elemanlar modeli. 7
Şekil 2.7. Basınç tankının yorulma ve çatlak başlangıcı bölgelerin tespiti....8
Şekil 2.8. Basınç tankı için sonlu elemanlar modeli.....8
Şekil 2.9. DOT-4BA silindirleri ve uç kapağı geometrisi.....9
Şekil 2.10. Silindirik gövdenin imalatı.. 11
Şekil 2.11. Tekrarlı gerilme ve zaman eğrileri.. 17
Şekil 2.12. Sabit genlikli dinamik yükleme durumu. 18
Şekil 2.13. Değişken genlikli dinamik yükleme....19
Şekil 3.1. PLC kontrollü servo-hidrolik deney düzeneği şeması 20
Şekil 3.2. PLC kontrollü servo-hidrolik deney düzeneği....21
Şekil 3.3. PLC kontrol ünitesi 22
Şekil 3.4. Hidrolik ünite ve ekipmanlar 23
Şekil 4.1. Silindirik LPG tank boy uzunluğu ölçümü 25
Şekil 4.2. LPG tank yorulma çevrimi LPG tank boy değişimi 26
Şekil 4.3. LPG tank çap ölçümü. 27
Şekil 4.4. LPG tank çap ölçümü 27
Şekil 4.5. LPG tank yorulma çevrimi çap değişimi 28
Şekil 4.6. LPG tank yorulma sonrası plastik deformasyon ve çap değişimi 29
Şekil 4.7. LPG tankta meydana gelen gerilmeler 29
Şekil 4.8. LPG tankta meydana gelen deformasyon 30
Şekil 4.9. Kesit alınmış silindirik oto LPG tank cidar kalınlığı ölçümü 31
Şekil 4.10. Yorulma sonrası LPG tankın cidar kalınlığı ölçümü 31
Şekil 4.11. Cidar kalınlığı sağ ve sol kapak ölçüm noktaları....32
Şekil 4.12. Silindirik gövde kaynağına uzak olan ölçüm (e) bölgesi 32
Şekil 4.13. Silindirik gövde kaynağına yakın olan ölçüm (d) bölgesi 33
Şekil 4.14. Silindirik gövde (e) ve (d) ölçüm bölgeleri 33
Şekil 4.15. LPG tank silindirik gövde ve kaynak –gövde birleşim bölgeleri cidar kalınlığı değişimi 34
Şekil 4.16. LPG tank sol ve sağ kapak cidar kalınlığı değişimi 35
Şekil 4.17. Deney öncesi (solda), deney sonrası (sağda) LPG tank görünümü 35
Şekil 4.18. LPG tank yorulma çevrimi hacim değişimi 36
Şekil 4.19. Yorulma sonrası LPG tank hacim değişimi 37
Şekil 4.20. LPG tank çekme numune bölgeleri (solda), çekme numuneleri alınan LPG tank (sağda) 38
Şekil 4.21. LPG tank çekme deney numuneleri 38
Şekil 4.22. LPG tank malzemesinin gerilme gerinim değerleri 39

Şekil 4.23. Yorulma deformasyonuna uğramış tank malzemesinin gerilme gerinim değerleri.....39
Şekil 4.24. Yorulma deneyi sayısı yorulma yükü çevrim sayısı 41
Şekil 4.25. Yorulma bölgeleri ve yorulma sayıları 42
Şekil 4.26. LPG tank yorulma hasarı bölgeleri 42
Şekil 4.27. LPG tank kaynak bölgesi yorulma kırılması makro fotoğrafı 43
Şekil 4.28. LPG tank gövde-kaynak sınır bölgesi 40x makro fotoğraf görüntüsü 43

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Erdemir 6842 çeliği mekanik özellikleri. 10
Tablo 2.2. Erdemir 6842 çeliği kimyasal bileşenleri. 10
Tablo 4.1. Yorulma öncesi ve yorulma sonrası LPG tank malzemesine ait mekanik özellikler. 40
Tablo 4.2. LPG tankı yakıt dolum sayısına bağlı emniyet katsayılı kullanım ömrü. . 44

OTO SİLİNDİRİK LPG YAKIT TANKLARININ DENEYSEL YORULMA ANALİZİ

Fuat KARTAL

Anahtar Kelimeler: Taşıt LPG Tankı, Deneysel Yorulma Analizi, Yakıt Tankı, Basınçlı Kaplar.

Özet: Bu çalışmada, binek tipi ve yük taşıyan otomobillerde yakıt tankı olarak kullanılan Oto silindirik LPG tanklarının deneysel yorulma analizleri yapılmıştır. Tankların hızlandırılmış yorulma analizlerini yapmak için PLC kontrollü servo-hidrolik deney düzeneği kurulmuştur. Tanklar, genel olarak 35, 41, 50 ve 60 lt hacimlerinde imal edilir ve kullanılırlar, En çok kullanılan hacim 41 lt için deneysel yorulma testi yapılmıştır. Tanklar, normal çalışma şartlarında ve oda sıcaklığında yorulma testine tabi tutulmuş olup, tanklara yorulma yükü olarak çalışma basıncı (1.75 MPa) değerinde yük uygulanmıştır. Deneysel çalışma sonucu LPG tanklarının dolum sayısına bağlı olarak kullanım ömürleri tayin edilmiştir. Buna ilaveten, tanklara uygulanan çalışma basıncına karşılık, tankların uzunlamasına ve çevresel genleşme miktarlarının ölçümü ve yorulma bölgelerinin belirlenmesi yapılmıştır.

EXPERIMENTAL FATIGUE ANALIYSIS OF CYLINDRICAL AUTO LPG FUEL TANKS

Fuat KARTAL

Keywords: Vehicle LPG Tanks, Experimental Fatigue Analysis, Fuel Tanks, Pressure Vessels.

Abstract: In this study, the fatigue experiments and analysis of the auto cylindrical LPG tank used as a fuel tank in the cars and vehicles were performed. In order to test accelerated fatigue experiment of auto cylindrical LPG tanks, PLC-controlled-servo hydraulic experimental setup was established. Auto cylindrical LPG tanks are commonly manufactured in capacity of 35, 41, 50 and 60 liters. The fatigue experiment was performed for capacity of 41 liters LPG tank which is used mostly. LPG tanks were subjected to fatigue experimental and working (operating) current tank pressure was applied as a 1.75 Mpa value. As a result of experimental study, working life of LPG tank depending on number of filling has been determined. In addition, the measurement of circumferential and longitudinal expansion amount and the determination of fatigue region were performed when applied working pressure to LPG tanks.

1. GİRİŞ

Tanklar genel olarak sıvı veya gaz akışkanların depolanması ve taşınması gibi işlemlerde kullanılır. Tanklar; traş köpüğü, çakmak gazı, mutfak tüpleri, yangın tüpü gibi günlük hayatta, çeşitli alanlarda ısıtma amacıyla kullanılan akışkanın depolanması için endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Sıvı ve gaz akışkanın taşınması için araçların üzerine yerleştirilmiş sabit veya taşınabilir tanklar da endüstriyel uygulamalara verilebilecek örneklerdendir. Bu tip uygulamalardan biri de taşıt motorlarında yakıt olarak kullanılan Sıvılaştırılmış Petrol Gazının (Liquid Petroleum Gas, LPG) depolanması ve taşınması için kullanılan taşıt LPG tanklarıdır [1].

Taşıtlarda LPG'nin alternatif yakıt olarak kullanımı Avrupa'da ve Türkiye'de özellikle binek ve ticari araçlarda çok yaygındır. İçten yanmalı motor yakıtı olarak kullanılan LPG'nin taşıtlarda depolanması ve taşınması amacıyla üretilen taşıt LPG tanklarının; Avrupa'da ECE-R 67, Türkiye'de ise TS 12095–1 Standardı'na göre üretimi yapılmakta ve yine bu standartlarda belirtilen kurallar çerçevesinde çeşitli muayene ve testlere tabi tutulmaktadırlar [1].

Taşıt LPG tankları genel olarak iki tipte üretilmektedir. Bunlar geometrik şekil olarak silindirik ve toroidal (simit) tanklar diye isimlendirilirler. Silindirik ve toroidal (simit) tanklar kendi aralarında valf çeşidine göre A ve B tipleri olmak üzere alt gruplara ayrılırlar. Taşıt LPG tankları, taşıtın ihtiyacına ve yerleştirilmesi istenilen yerin yapısına göre, çeşitli hacimlerde, 35-90 lt, üretimi yapılarak piyasaya sunulmaktadır. LPG'ye dönüşümü sonradan yapılan binek ve ticari taşıtlarda silindirik tanklar bagaj bölmesine, toroidal (simit) tanklar ise yedek lastik (teker) bölmesine yerleştirilmektedir. Günümüzde orijinal imalatında LPG ile çalışabilen

otomobillerin üretimi yapılmakta olup, tanklar otomobillerin daha uygun kısımlarına yerleştirilmektedir [1].

Taşıt LPG yakıt tanklarının, özellikle kullanımı veya ne kadar süre ile kullanımını hem tank montaj firmalarının hem de kullanıcıları için merak konusu olmuştur. Aynı zamanda, bir tankı kaç defa doldurulup boşaltıldıktan sonra, ekonomik ve teknik ömrünü tamamladığı konusunda kullanıcılar ve montaj firmalarının yanında çoğu üretici firmalar bile belli bir bilgiye sahip değildirler. Bunun en büyük nedeni ise, bilimsel bir çalışma veya dikkate değer bir deneysel çalışmanın ve bunların sonuçlarının olmamasıdır. Ayrıca, özellikle yorulma ömrü konusunda belli bir standart bilgisi bulunmamasıdır. TS 12095–1 Standardı sadece tasarım ve üretim ile ilgili belli başlı bilgileri sunmaktadır. Dolayısı ile, tankları kullanıcılar için bir süre sonra kullanımı tehlikeli olabilmektedir. Ancak, bundan kullanıcıların haberi olmamaktadır. Bu çalışmadan elde edilecek bilgi ve bulgular bu tür belirsizlikleri giderecek, imalatçılar ve montajcı firmalara aynı zamanda kullanıcılara faydalı bilgiler sunacaktır.

Bu çalışmada, yorulma deney düzeneği taşıt LPG tankın yapısıyla uygun olacağı ve gerçek yükleme koşulları uygulanması sağlanmıştır. Bu çalışma içersinde sistemin gerçekte tankın maruz kaldığı 1.75 MPa basıncın sağlanması için PLC kontrollü servo-hidrolik sistem tasarlanmıştır. Bu sistem ve devre elemanları ISO1219–1 TS–1306 tanımlandığı gibi kullanılmıştır. Devre elemanları işlevlerine göre sınıflandırılmış ve tam otomatik olarak çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Oto silindirik LPG tank 1.75 MPa basınç etkisi altında bırakılarak tekrarlı yükleme ve boşaltma yapılarak sürekli çevrimin sağlanmasıyla hızlandırılmış yorulma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışması 5 bölümden oluşturulmuştur. 1. bölüm Giriş bölümü olup, LPG tankları hakkında genel bir bilgi sunmaktadır. 2. bölüm Literatür taramasını içermekte olup benzer çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir. 3. bölüm yorulma deney setinin hazırlanmasını, deney düzeneğinin parçalarını ve çalışma mantığını

açıklamıştır. 4. bölüm taşıt silindirik LPG tankın yorulma sonucu elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. 5. bölüm sonuç ve önerileri sunmaktadır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1.Literatür Taraması

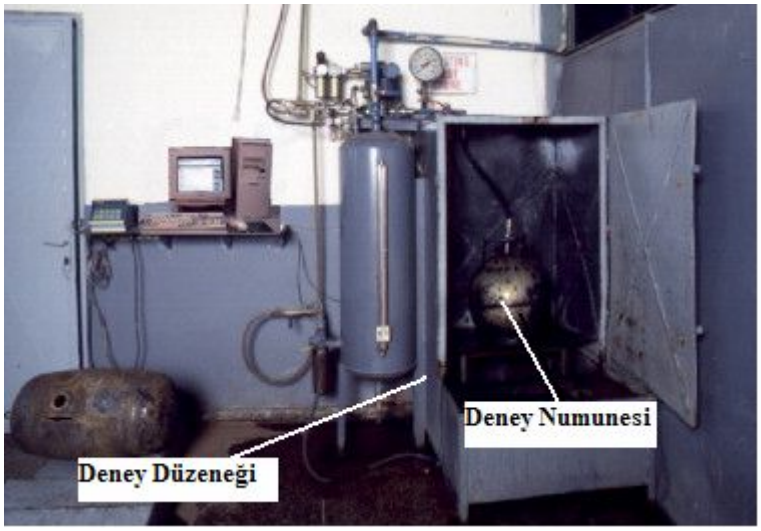
Kaptan ve Kişioğlu (2006), Şekil 2.1'de taşıt patlatma deneysel düzeneğini kullanarak (35, 60 80 lt.) hacimlerindeki LPG tanklarının patlama basınçlarını ve patlama bölgelerini tespit etmişlerdir. Elde edilen sonuçları bilgisayar destekli simülasyon kullanılarak yaptıkları analiz sonuçlarıyla karşılaştırma yapmışlardır. Elde edilen bulgular farklı hacimlerdeki (35, 60 80 lt.) patlama basınçlarını ve patlama noktalarını tespit etmişlerdir. Ayrıca, LPG tanklarında (35, 60 80 lt.) hacimlerindeki kalıcı hacimsel genleşmeleri belirlemişlerdir [1].



Şekil 2.1: LPG tanklarının patlatma deney düzeneği ve LPG tankları patlama bölgeleri [1].

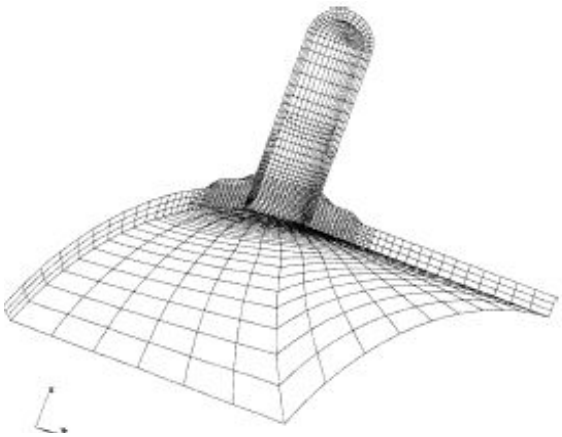
Aksoley ve diğ. (2007), LPG tüplerine uygulanan patlatma deney parametrelerinin incelenmesi için Şekil 2.2'de deney düzeneğini kurmuşlardır. LPG tüplerin imalatında kullanılan malzemeye göre tasarım hesabı yapılmıştır. Hesaplamayla ortaya çıkan minimum sac kalınlığı değeri ele alınıp LPG tüpleri üretilerek çalışma konusunda incelenmiştir. Ø300 mm dış çap ölçüsüne, 26.2 lt minimum su kapasitesine sahip olan LPG tüpleri, 2.8 ve 3 mm sac kalınlığı kullanılarak üretilmiş, ısıl işleminden geçirilerek patlatma deneyine tabi tutulmuştur. Patlatma deney

sonuçları ve LPG tüpündeki yırtılma yerleri incelenmiş, imalat şartlarına göre değişen değerler karşılaştırılmış, teorik ile deney verilerini karşılaştırmışlardır [2].



Şekil 2.2. LPG tank patlatma deney düzeneği [2].

Giglio (2002), basınçlı tank nozulu yapısının güvenlik katsayısıyla tasarlanması, beklenen yorulma ömrü için yerel gerilme ve enerji yaklaşımı kullanılmıştır. Düşük çevrim yorulması altında titreşimli basınç davranışı elde etmek için Şekil 2.3'de sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel analizleri kullanmışlardır. Strain gauage kullanarak iki yapının plastik davranışını hesaplamışlardır. Beklenilen yorulma ömrü için ortak kriterlere bağlı olarak enerji yaklaşımı kullanılmıştır [3].



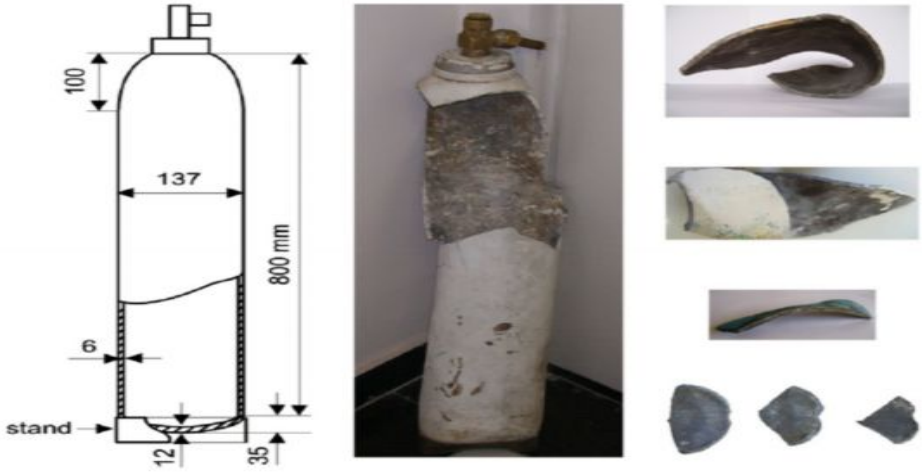
Şekil 2.3: Basınç tankının nozul sonlu elemanlar ağ örgüsü [3].

Davison ve Edwards (2008), küçük taşınabilir gaz silindirlerini 50^{o} C'ye kadar sıcaklıkta sınırlı konumda ateşe maruz bırakmışlardır. Silindirlerin içinde sıkıştırılmış ve basınçlı sıvı bütan- propan karışımı vardır. Bu silindirler sıvı haldeki gazın kaynamasıyla ve genleşmeye maruz bırakılmıştır. Şekil 2.4'de sıvı sıcaklığı 90^{o}C–100^{o}C de iken çember dikişleri deformasyona uğrayarak silindir dikişlerinden gaz kaçağı oluşmuştur. Silindirlerin hidrostatik basınç testinde hasara uğradığını gösterilmiştir. Küresel başlık tabanı 1.8 MPA basınçta, deformasyona uğramıştır. Çember dikişlerinin hasara uğraması ise 2 Mpa basınçta gerçekleşmiştir. Bu basınçlar silindir duvarında boylamasına çatlakları üretmek için gerekli olan basınçtan düşük çıkmıştır [4].



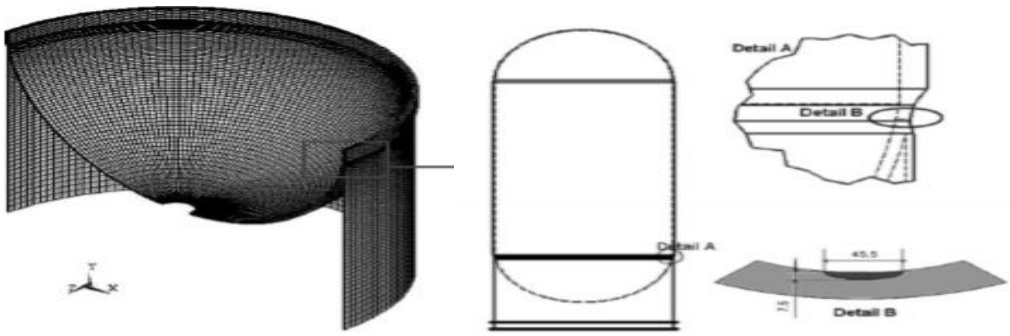
Şekil 2.4: Sıcaklığın ve basıncın taşınabilir gaz silindirlerine etkisi [4].

Mirzaei (2008), hidrojen silindir tankının parçalanma kalıpları, kırılma grafik özellikleri ve gaz patlamasının tümünü gösteren gerilme analizlerini ve sonuçlarını tespit etmiştir. Şekil 2.5'de gösterilen ucu kapalı silindirik tüpün patlama sonrası parçalanma karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Silindirin Dinamik gerilme analizinde analitik model kullanılmıştır. Parçalanma kalıpları, yüzey çatlaklarının detaylı çalışmaları boyunca karakteristik özellikleri analiz edilmiştir. Kesilme ve kopmaların boyutu, çatlak büyüme artışı ve hızı hesaplanmıştır. Sonuç olarak belirli gaz karışımı depolayan silindirik tüpün temel patlama özellikleri tespit edilmiştir. Sonuçlara göre zengin hidrojen ve oksijen karışımı düşük basınçta patlaması göze çarpmıştır. Bu patlamanın sebebi ise hidrojen depolamak için kullanılan tüpün içersine oksijen depolama istenmiştir ve dolayısıyla bu şekilde patlama olmuştur [5].



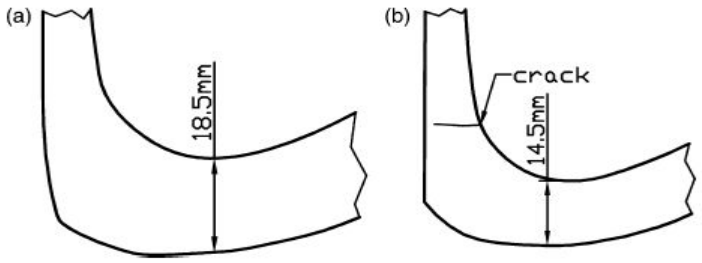
Şekil 2.5: (Solda) silindir tankın şeması. (Ortada) Patlama sonrası görüntüler sağda silindir tankın patlama sonrası parçalar [5].

Guerrero ve diğerleri (2007), Şekil 2.6'da sonlu elemanlar analizini kullanarak yüksek mukavemetli çelikten yapılmış 5 MPa iç basınçlı tankın tasarım yüklemesindeki davranışı hesaplanmıştır. Bu çalışmada, basınçlı kabın cidar kalınlığı büyük ölçüde azaltılarak, kütle ve maliyet azaltılmıştır [6].



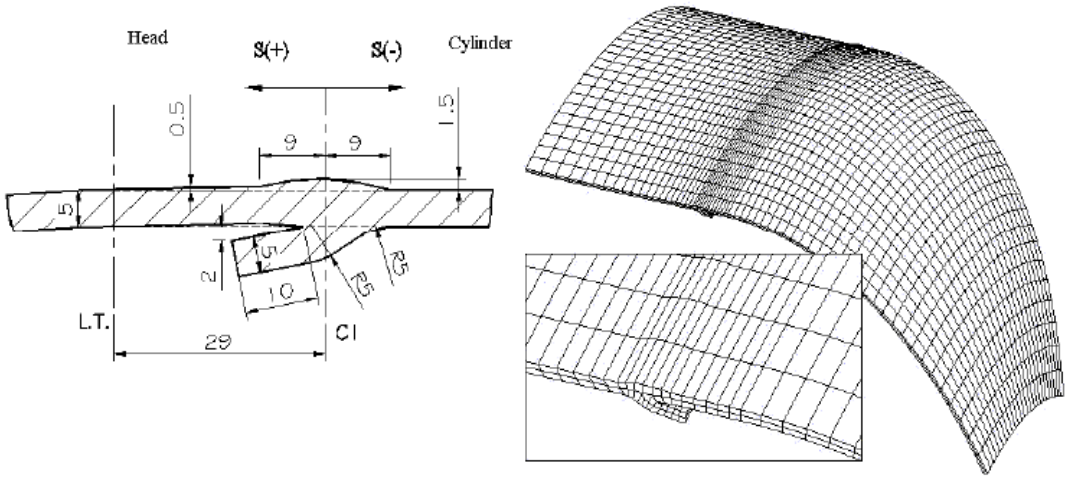
Şekil 2.6: Basınç tankının sonlu elemanlar analizi [6].

Rauscher (2003), basınç tankının farklı kalınlıklarda yorulma çevrimi altında yorulma başlangıcı ve yorulma çatlak ilerleme yönünü tespit etmiştir. Şekil 2.7'de gösterilen kapların yorulma analiz ve testi sonuçları gösterilmiştir. Araştırmaya dayanarak gerilme yığılması faktörü için ve yüzey tesviyesi önerilmiştir [7].



Şekil 2.7: Basınç tankının yorulma ve çatlak başlangıcı tespiti [7].

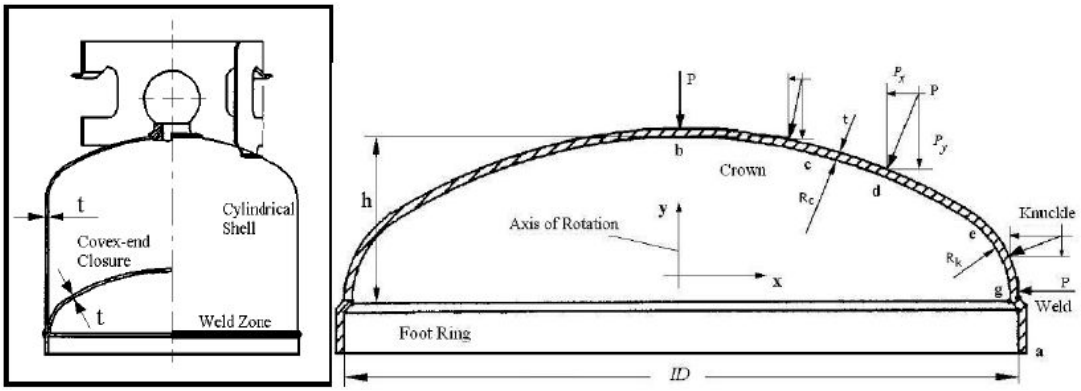
Jesus ve diğ. (2001), basınç tankının iç basınç dalgası etkisi altında yorulma değerlendirilmesi yapılmıştır. Basınç tankının yorulma ömrünün karşılaştırılması elde edilmiştir. Şekil 2.8'de Basınç tankının gerilme noktaları tespit edilmiştir. Yapısal analiz için sonlu elemanlar modeli uygulanarak alt modelleme tekniği kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modeli kullanılarak elde edilen gerilmeler gerçek boyutlu deneysel test ile doğrulanmıştır [8].



Şekil 2.8: Basınç tankı için sonlu elemanlar modeli [8].

Kişioğlu. (2007), Şekil 2.9'da verilen DOT-4BA silindirlerinin uç kapaklarının geometrik tasarımını ve optimizasyonunu yapmıştır. Silindirlerin iç basınçları altında, silindirlerin uç kapaklarında burkulma ve dolayısı ile silindir dengesinin

bozulması problemini gidermek için yeni bir tasarım gerçekleştirmiştir. Bunun içinde sonlu elemanlar destekli nonlineer malzeme ve yükleme şartları altında 3 değişkenli optimizasyon tekniği kullanarak optimum uç kapak tasarımı yapmıştır.



Şekil 2.9: DOT-4BA silindirleri ve uç kapağı geometrisi [9].

2.2. Taşıt LPG Tankları

İçten yanmalı motor yakıtı olarak kullanılan LPG'nin taşıtlarda depolanması ve taşınması amacıyla üretilen taşıt LPG tanklarının; Avrupa ECE-R 67 [10] ve Türkiye TS 12095–1 [11] Standardı'na göre üretilmektedir. Bu standarda göre; tasarım sıcaklığı, -20^{o} C ila 65^{o} C arasında olmalıdır. Tasarım basıncı, 3000 kPa olarak belirtilmiştir. Patlama basıncı ise 6750 kPa'dan az olmamalıdır. LPG yakıt tankları test basınçlarında test edildiği zaman, tanklar hasara uğramadan ilk hacimlerine oranla en az %20 genleşmeye sahip olmalıdır [10-11]. Taşıt LPG tankları genel olarak iki tipte üretilmektedir. Bunlar geometrik şekil olarak silindirik ve simit (torodial) tanklar diye isimlendirilirler. Taşıt LPG tankları, taşıtın ihtiyacına ve yerleştirilmesi istenilen yerin yapısına göre çeşitli hacimlerde, 35~90 *lt*, üretimi yapılarak kullanılmaktadır. Simit ve silindirik tanklar yaygın olarak (35, 41, 45, 50 *lt*) hacimlerinde imalat edilir [10-11].

2.3. LPG Tank Malzemeleri

TSE ECE R 67-1 Standardına göre, tank gövdelerinin imalatı için kullanılan malzeme, (Euronorm EN10120 muadili çelik) imalatçı firma tarafından, ERDEMİR-6842 düşük karbonlu çelik seçilmiştir. Çelik malzeme, yüzeyi asitlenmiş sac olarak tanımlanır. Erdemir 6842 nolu çelik malzemesinin mekanik özelikleri Tablo 2.1'de ve kimyasal bileşenleri Tablo 2.2'de verilmiştir [12].

Tablo 2.1: Erdemir 6842 tank çeliği mekanik özellikleri [12].

Akma Dayanımı [MPa]	Çekme Dayanımı [Mpa]		Uzama [%]	Elastisite Modülü [GPA]
Min.	Min.	Max.		
265	**410**	**500**	**32**	**200**

Tablo 2.2: Erdemir 6842 tank çeliği kimyasal bileşenleri [12].

	C	Mn	P	S	Si	Al	N	Ti	Nb
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
DIN EN 10120	0.19	0.4	0.025	0.015	0.25	0.02	0.009	0.03	0.05
ERDEMİR 6842	0.18	0.5	0.015	0.01	0.1	0.02	0.009	0.03	-

2.4. Taşıt Silindirik LPG Tanklarının İmalatı

Taşıt silindirik LPG tankları, silindirik gövde ve toroidal kapaklar olmak üzere iki ana elemandan oluşur. Silindirik gövde dörtgen sacın kıvrılarak, toroidal kapaklar ise sıvama metodu ile üretilir. Silindirik gövde tank eksenine paralel olarak kaynatılır. Oluşturulan silindirin her iki ucuna kaynak altlığı oluşturacak şekilde uçları büzülen toroidal kapaklar çevresel kaynatılarak, silindirik tank imal edilir. Kapaklar tank gövdesine bindirme kaynağı yöntemi ile tek paso halinde Şekil 2.10'da görüldüğü

gibi tozaltı kaynağı tekniği kullanılarak birleştirilir. İmalatın son aşamasında tanklar, dış etkenlerden korunması için elektrostatik boya ile boyanır [13].



Şekil 2.10: Silindirik gövdenin imalatı [13].

2.5. LPG Tankının Üretim Süreci

LPG tankları imal edildikten sonra, tahribatlı ve tahribatsız testlere tabi tutulmaktadır. Üretilen tüm tanklarda sızdırmazlık testi yapılır. İmalatı tamamlanmış tankın kullanıma uygun olup olmadığını tespit ederek uygunsuz tankların seçilerek ayrılması sağlanır. Testi geçen LPG tankları statik boyama için fırına gönderilir. Ayrıca her partide bir tane patlatma testi yapılır. Sızdırmazlık testi için tankın içerisine su doldurulup basınç (1.75 MPa) işletme basıncına kadar yükseltilir. Basınçta dengesizlik olup olmadığı gözlemlenmelidir. Bu testte iç basınç kaldırıldığında tankta plastik deformasyon olmaması gerekmektedir. Deneyde başarısız olan her tank reddedilir. Her tankın sızdırmazlık testinin ardından her partide rastgele seçilen bir tank üzerinde patlatma testi yapılır. Basınç, tank patlayıncaya kadar düzenli bir şekilde yükseltilerek, bu aşama süresince basınçtaki değişiklik kaydedilir. Teknik resimlere uygun olarak Giyotin Makas, Eksantrik Pres ve Vals bıçaklarda tankların tüm sac parçaları ve orta borularının kesimi yapılır.

Kesimi yapılan parçalar ilgili iş emirleri ve teknik resimlerine uygun olarak Hidrolik preslerde sıvanarak, silindir bükme makinelerinde silindir gövdesi şeklinde bükülerek uygun forma getirilir. Bu süreçlerde yapılan tüm üretim, seri imalat esasına dayalı kalıp ve otomatik/yarı otomatik tezgâhlarda yapılmıştır. Kesimi yapılan ve soğuk şekillendirme sonrası uygun forma getirilen yarı mamul parçalar; İş emirlerine ve teknik resimlerine uygun olarak PLC kontrollü tozaltı kaynak makinelerinde ve gazaltı kaynak makinelerinde kaynatılarak birleştirilir. Sonrasında her bir tankın gerekli tüm bilgilerini içeren metal etiketleri kaynatılarak, kaynakla birleştirme işlemleri tamamlanmış olur. Kaynakla birleştirilmesi yapılan tankların tamamı (% 100) otomatik ve kalibre edilmiş manometrelerle izlenebilen test ünitelerinde 30 bar basınç altında teste tabi tutulur. Bu test sonrasında tanklarda herhangi bir sızıntı olup olmadığı tespit edilir. Hidrotest sonrasında eğer uygunsuzluk tespit edilmişse tank kırmızı çerçeve ile boyalı red bölgesine alınır, tutanakla hidrolik preslerde ezilerek kullanımını tamamen engellemek amacıyla hurdaya ayrılır. Hidrotest sonrasında tanklar öncelikle boya öncesi yüzey hazırlama işleminden geçirilir. Bu işlemin amacı boya öncesinde yüzeylerdeki toz, yağ, su vb maddelerin temizlenip yüzeyin fosfat kaplanarak uygun altyapının sağlanmasıdır. Bu işlem boya kalitesine etki eden en önemli ve temel faktörlerdendir. Boya öncesi yüzeyleri hazır hale getirilen tanklar elektrostatik toz boya ile 200°C de minimum 10 dakika pişirilerek min 90 µ kalınlığında kaplanır [13].

2.6. Malzemelerin Yorulma Mukavemeti

Bazı nokta veya noktalardaki tekrarlı gerilme veya uzama şartlarına maruz malzemelerde görülen, yeterli bir tekrar sayısından sonra çatlakların büyümesine veya tamamen kırılmaya sebep olan, noktasal sürekli gelişen, kalıcı yapı değişikliği olarak tanımlanmaktadır. Zamanla büyüklüğü ve yönü değişen, tekrarlı gerilmelerin ve şekil değişmelerinin etkisi altında malzemede meydana gelen bölgesel, kalıcı yapısal değişiklikler sonucunda yüzey çatlaklarının oluşması ve belirli bir gerilme, şekil değişimi tekrar sayısından sonra bu çatlakların ilerleyerek malzemenin kırılması yorulma hasarı veya yorulma kırılmaları şeklinde tanımlanır [14].

2.7. Yorulmaya Etki Eden Faktörler

Birçok değişken yorulmaya etki eder. Fakat bunların başında gerilme, parçanın geometrisi ile malzeme özellikleri ve dış ortam koşulları gelir. "Parça büyüklüğü arttıkça, yüzey kalitesi bozuldukça, tane boyutu azaldıkça, korozyonlu ortamlarda çalıştığında, oksit gibi metalürjik faktörlerin ve sıcaklığın artmasıyla, artık gerilmelerin, gerilme yığılması artmasıyla yorulma dayanımı azalır [15-16].

2.7.1. Malzeme yapısının etkisi

Genellikle malzemenin statik çekme dayanımı arttıkça, malzemenin yorulma dayanımı sınırı da yükselir. Çeliklerde alaşım elementleri statik çekme dayanımını arttırarak, yorulma dayanımını da arttırırlar. Örneğin demir alaşımları titanyum alaşımlarında ara yer atomu halindeki alaşım elementi miktarı arttıkça malzemelerin statik çekme dayanımı ile birlikte yorulma dayanımı ve yorulma ömrü de artmaktadır. Çekme dayanımını arttırmadan sadece yorulma dayanımını arttıran alaşım elementi yoktur. Alaşım elementlerinin (karbon hariç) çeliklerin yorulma dayanımını arttırması aynı zamanda çeliklerin içyapısını da değiştirmelerine bağlıdır. Özellikle uygun su verme ve ısıl işlemleri ile statik çekme dayanımı ve sertliği arttırılan çeliklerin yorulma dayanımı da artmaktadır. Isıl işlem uygulanacak çelik parçalarda alaşım elementlerinin en önemli rolü, çeliklerin su alma derinliğini artırarak, sertliğin yüzeyden itibaren daha derin kısımlara kadar artmasını sağlamak ve dolayısıyla yorulma dayanımını arttırmaktır. Sünek malzemelere uygulanan son mekanik işlemlerin de yorulma dayanımına etkisi vardır. Soğuk işlem ile sertliği ve yüzey düzgünlüğü arttırılan malzemenin yorulma dayanımı, sıcak işlem görmüş aynı malzemeye oranla daha yüksektir. Malzeme yapısındaki artık malzeme yorulma dayanımı ve yorulma ömrünü azaltmaktadırlar. [15-16].

2.7.2. Yüzey kalitesinin etkisi

Yorulma olaylarında çatlak oluşumu genellikle yüzeyde başlar. Çünkü eğme ve burma gerilmelerinin uygulandığı durumlarda en yüksek gerilme yüzeylerde oluşur.

Yüzeyde başlayan yorulma çatlağının kendisi daha sonra çentik etkisi göstereceğinden gerilme konsantrasyonuna ve dolayısıyla çatlağın hızla ilerlemesine yol açacaktır. Bu nedenle malzemenin yorulma dayanımını arttırmak büyük ölçüde yüzey çatlaklarının oluşumunu engellemekle olur. Çatlağa engel olma yüzey özelliklerinin arttırılması ile mümkündür. Özellikle sert malzemelerde yüzeyin düzgünlüğü yorulma dayanımını büyük ölçüde arttırmaktadır. Örneğin yüzeyi parlatılmış bir numunenin yorulma dayanımı sınırı, tornada kabaca işlenmiş bir numuneye oranla %15 – 40 daha yüksektir. Çünkü yüzeydeki pürüzlülükler çentik etkisi yaratır. Yüzey düzgünlüğü yanında, yüzey sertliğinin arttırılması da çatlamaya karşı direnci arttıracağından, yorulma dayanımının artmasını sağlar. Çeliklerde sementasyon, nitrürasyon ve benzeri yüzey sertleştirme işlemleri yorulma dayanımı açısından oldukça fayda sağlamaktadır. Öte yandan karbon çeliklerinin tavlanması ve sıcak işlenmesi esnasında yüzeyde karbon azalması oluşur. Yüzeydeki 1 mm'lik bir tabakada böyle bir olayın görülmesi yorulma dayanımını düşürür. Karbon azalması ile yüzeyde yumuşak tabaka elde edileceğinden çatlak, küçük gerilmelerde dahi oluşacaktır [15-16].

2.7.3. Çentik etkisi

Parça kesitinde çentik, delik ve ani değişimlerin bulunması yorulma dayanımı ve yorulma ömrünü büyük ölçüde azaltmaktadır. Parça kesitinde görülen bu tür süreksizlikler gerilme konsantrasyonuna ve dolayısıyla çatlak başlangıcına neden olurlar. Çentik etkisi çentiğin şekil ve boyutlarına bağlıdır [15-16].

2.7.4. Yüklerin etkisi

Yorulma deneylerinde gerilme türünün etkisi önemlidir. Genellikle eksenel gerilme ile düzlemsel eğme gerilmelerinin uygulandığı durumlarda sonuçlar birbirine çok yakındır. Burma gerilmelerinin uygulandığı durumlarda sonuçlar çok farklıdır. Uygulamada parçaya gelen gerilmeler deneylerdeki gibi sabit genlikli ve sabit periyotlu değillerdir. Böyle bir durum göz önünde bulundurulursa, zaman zaman aşırı gerilmelerin uygulandığı görülür. Aşırı gerilmeler de yorulma ömrünü kısaltır. Ancak bu konuda karar verebilmek için istatiksel hesaplamadan faydalanılır. Deney öncesinde numunede oluşan kalıcı iç gerilmeler de yorulma olayına etkilerler. Genellikle numune yüzeyinde oluşturulan basma yönünde kalıcı iç gerilmeler yorulma dayanımı sınırı ve yorulma ömrünü arttırırlar. Yüzeyde kalıcı basma gerilmelerini oluşturmada kullanılan ticari yöntemlerden biri de yüzeylerin küçük pasolarla haddelenmesidir. Diğer bir yöntem ise yüzeyin aşırı hıza sahip çok küçük çelik kürelerle dövülmesidir [15-16].

2.7.5. Korozyonun etkisi

Korozyonun kimyasal etkisi ile yorulmanın mekanik etkisinin aynı anda oluşmasına "Korozyonlu Yorulma" olayı denir. Yorulma olayından önce malzemenin korozyona uğraması, yorulma dayanımını azaltır. Burada, korozyonun neden olduğu yüzeydeki çok küçük oyuklar (pürüzler) çentik etkisi yaparak malzemenin yorulma dayanımının düşmesine neden olurlar. Korozyon ve yorulma olayının beraber oluştuğu durumlarda, yorulma dayanımında çok büyük düşüşler görülür. Korozyonun buradaki etkili rolü çatlak teşekkülü ve çatlağın ilerlemesini hızlandırmasıdır. Korozyon, yorulma deneyinde uygulanan frekansın etkisini de değiştirmektedir. Normal deneylerde 10.000 çevrim/dk nın altındaki frekanslarda, deney sonuçları frekanstan etkilenmemektedir. Korozif ortamlarda, frekansın etkisini azaltmak için mümkün olduğu kadar yüksek hızlarda çalışılmalıdır. Küçük hızlarda, deney zamanı

uzayacağından korozyon daha etkili olacak ve frekansın etkisini dolaylı olarak etkileyecektir [15-16].

2.7.6. Sıcaklığın etkisi

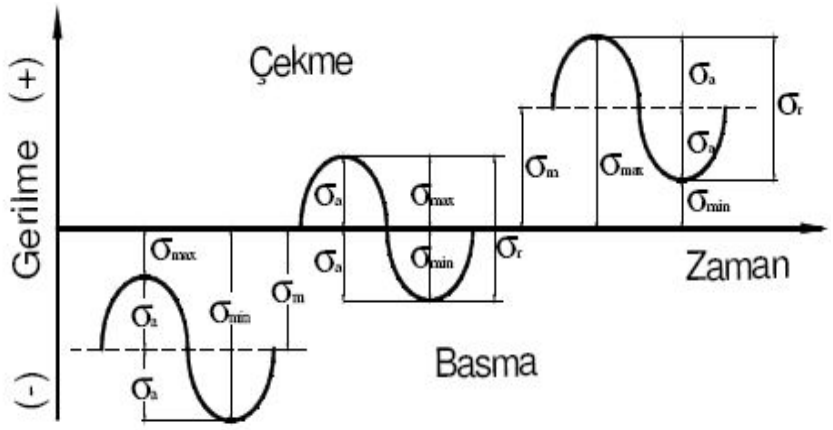
Oda sıcaklığının altında yapılan deneylerde, sıcaklık düştükçe yorulma dayanımı artmaktadır. Ancak sıcaklığın oda sıcaklığının altına inmesi malzemenin çentik hassasiyetini arttırmaktadır. Oda sıcaklığının üzerinde yapılan deneylerde genellikle sıcaklık yükseldikçe, yorulma dayanımı düşmektedir. Sadece düşük karbonlu çeliklerde 200 – 300 °C arasında yorulma dayanımında artış görülür. Bu olay 200 – 300 °C arasında düşük karbonlu çeliklerin deformasyon yaşlanmasına uğrayarak çekme dayanımlarının artmasına bağlıdır. Deney sıcaklığı belirli bir sıcaklığa çıktığında sürünme olayı daha etkili olur. Kopma, yorulmadan çok sürünme sonucunda gerçekleşir. Bu iki olayı birbirinden ayıran, kırılma türüdür. Yorulmada kırılma tane içinde (transgranüler), sürünmede tane sınırında (intergranüler) olmaktadır [15-16].

2.7.7. Frekansın etkisi

Frekansın yorulma deney sonuçlarına etkisi kesinlikle saptanamamıştır. Deney cihazlarının çoğunda uygulanan 200 ile 10.000 çevrim/dakika'lık frekansın deney sonuçlarını pek etkilemediği kabul edilmektedir. Düşük karbonlu çeliklerde, alüminyum alaşımlarında ve bakırda çok yüksek deney hızlarında Yorulma Dayanımı Sınırının da yükseldiği görülmüştür. Çok düşük deney hızlarında da Yorulma Dayanımı Sınırının azaldığı kabul edilmektedir. Öte yandan çok yüksek frekanslarda, malzemede oluşan ısıların, kısa zamanda yayınamaması, yorulma dayanımı sonuçlarını olumsuz yönde etkileyeceği kabul edilmektedir [15-16].

2.8. Tekrarlı Yüklemeler ve Gerilme Tipleri

Mühendislik yapı elemanları üzerindeki yükler belirli zaman aralıklarında ve belirli sürelerde uygulanıyorsa bunlara tekrarlı yükler, oluşan gerilmelere de tekrarlı gerilmeler denir. Örneğin motor şaftları, tren rayları, araba aksları, yaylar, dişliler v.b. gibi makine elemanları üzerine gelen yükler tekrarlı yükler ve gerilmelerdir. Dolayısıyla tekrarlı yükleme ve gerilmenin olduğu yerde de yorulma olayı ortaya çıkar. Tekrarlı tesir altında gerilmenin en büyük ve en küçük değerinin basınç veya çekme olmasına göre Şekil 2.11'de görüldüğü gibi karakter bakımından farklı üç tip çevrim bölgesi düşünülebilir. Bunlardan ilki, kuvvetin negatif değerden başka bir negatif değere değiştiği bölgedir ki buna negatif tekrar bölgesi veya basma tekrar bölgesi denir [15-16].



Şekil 2.11: Tekrarlı gerilme ve zaman eğrileri [15-16].

İkinci bölgede gerilme, çekme ile basma değeri arasında değişir ki buna da alternatif bölge denir. Üçüncü tekrar bölgesinde ise gerilme, pozitif bir değerden yine başka bir pozitif değere değişir ki buna pozitif tekrar bölgesi veya çekme tekrar bölgesi denir. Değişken gerilmelerin etkisiyle malzemenin iç bünyesindeki değişikliklere yorulma, elemanın kopuncaya kadar dayandığı süreye ise yorulma ömrü denir. Denklem (2.1)'de gerilme aralığı σ_r, (2.2)'de ortalama gerilme σ_m, ,(2.3)'de gerilme genliği σ_a, ve (2.4)'de yorulma gerilme oranı R gibi denklemler aşağıda tanımlanmıştır [16].

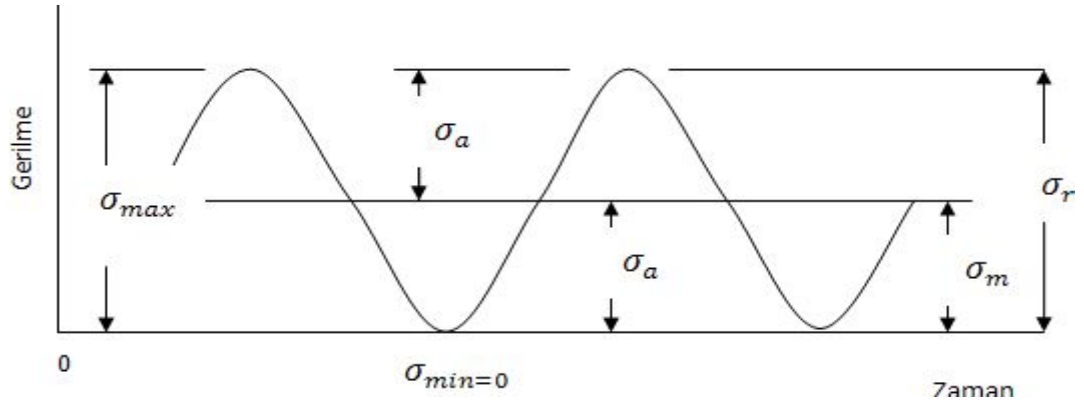
Gerilme aralığı: $\sigma_r = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ (2.1)

Ortalama gerilme: $\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$ (2.2)

Gerilme genliği: $\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$ (2.3)

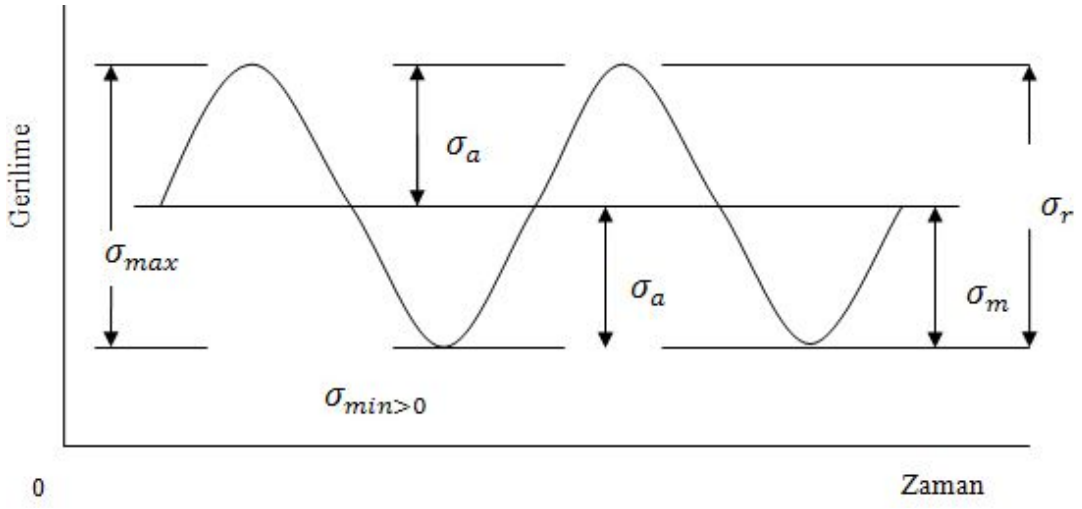
Gerilme oranı: $R = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}}$ (2.4)

Bu çalışmada, kullanılan 41 lt. hacminde ki oto silindirik LPG tankları aynı sabit genlikli dinamik yüklemelere tabi tutulmuşlardır. Yükleme tipi, Şekil 2.12'de görüldüğü gibi, 0~1.75 MPa basınç değerleri arasında tekrarlı sabit genlikli yüklemedir. Bu yükleme tipinin mantığı, Oto silindirik LPG tankı kullanımı sırasında, LPG gazının tamamen kullanılıp bitirildikten sonra, tekrar LPG ile doldurulduğu varsayımı ile yükleme uygulanacaktır.



Şekil 2.12: Sabit genlikli dinamik yükleme durumu [15-16].

Şekil 2.13'de gösterilen değişken genlikli yükleme tipinin mantığı LPG tankında boşa yakın bir miktar yakıt olduğu varsayımını gösterir yükleme tipidir. LPG tankın iç basıncı 0 bar'dan daima büyüktür. LPG tankının sürekli iç basınca maruz kalmasını sağlar. Günümüz taşıtlarında birçok LPG tank kullanıcısı LPG tankında yakıt tamamen tükenmeden dolum yapar.

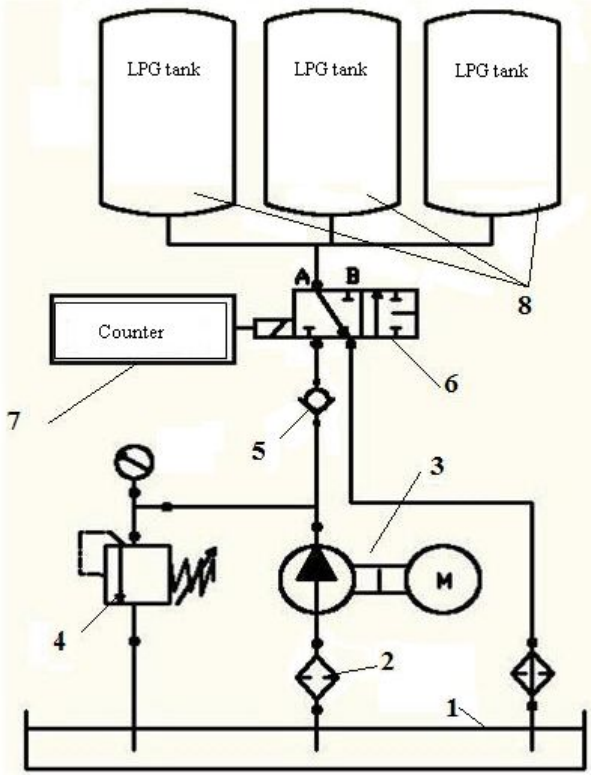


Şekil 2.13: Değişken genlikli dinamik yükleme durumu [13-14].

BÖLÜM 3. YORULMA DENEY DÜZENEĞİ

3.1. Deney Düzeneği

Hızlandırılmış yorulma deneyini yapabilmek için Şekil 3.1'de şeması ve ekipmanları gösterilen deney düzeneği kurulmuştur. Şekil 3.1'de gösterilen PLC kontrollü servo-hidrolik deney düzeneği; yağ deposu, filitre, elektrik motoru ve pompa, basınç kontrol valfi, emniyet valfi, yön kontrol valfi ve LPG tank ekipmanlardan oluşturulmuştur.



Şekil 3.1: PLC kontrollü servo–hidrolik deney düzeneği şeması.

1.Depo
2.Filtre
3.Hidrolik pompa
4.Basınç sınırlama valfi
5. Kontrol valfi
6.Yön kontrol valfi
7.Devir sayacı
8.LPG tankları

3.2. PLC Kontrollü Servo–Hidrolik Deney Düzeneğinin Çalışması

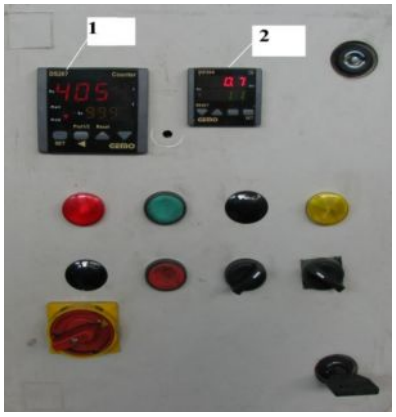
Şekil 3.2'de yorulma deneyi için tasarlanmış PLC kontrollü servo –hidrolik deney düzeneği görülmektedir. Sistem açıldığında basınçlı yağ basınç sınırlama valfine gelir. Basınç sınırlama valfinde basınç sabit olarak 1.75 MPa ya ayarlı olduğundan, sistem test basıncı bu devreden sonrası için sabittir. Basıncın fazlası, basınç sınırlama valfi içinden by-pass yapılarak yağ deposuna gönderilir. Basınçlı hidrolik, açık konumda olan selenoit kumandalı valften geçer ve LPG tank yönünde ilerler. Basınç göstergesindeki değerler okunur, basıncın göstergede (1.75 MPa) olduğu görülür. Zaman rölesi kontak anahtarı açıldığında, sistem çalışır durumdayken geri sayım işlemine başlar. Basınç yükselme ve LPG tanktaki genleşme tamamlandıktan sonra, zaman rölesi selenoit kumandalı akış kontrol valf' ini kumanda ederek sistem deşarj konumuna getirir. Bu süreçte LPG tank içindeki basıncın düşüşü gerçekleşir.



Şekil 3.2: PLC kontrollü servo–hidrolik deney düzeneği.

Deney düzeneğine yorulma testi için bağlanan LPG tankları birbirlerine paralel olarak bağlanmıştır. Tankların kolorete bağlanan basınç borusuna vana bağlantısı yapılarak yorulması tamamlanan LPG tankların sistemden çıkarılması için kullanılmıştır . Böylelikle yorulması tamamlanmamış LPG tankın çalışmasına devam

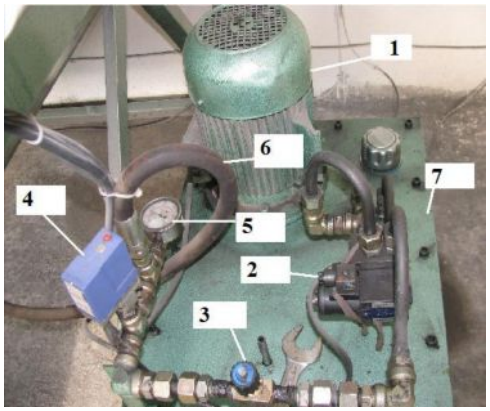
etmesi ve yeni numune LPG tankı bağlanmasına olanak sağlanmıştır. LPG tanklar bazen tek bazen birden fazla deney düzeneğine bağlanmıştır Bu deney düzeneğine maksimum 5 adet LPG tankı aynı anda deneye tabi tutulabilir kapasitede tasarlanmıştır. Deney koşulları oda sıcaklığında 1 atmosfer açık hava basıncı altında gerçekleştirilmiştir. Sistem basıncını oluşturmak için 15 numara hidrolik yağı kullanılmıştır. Viskosizitesi düşük, ısı transferi yüksek yağ seçilmiştir. Böylelikle sistemin soğumasında önemli rol oynamıştır. Ayrıca, sistem basıncı oluşurken direnci düşük olmuştur. Uygulama basıncı 1.75 MPa olarak sabitlenmiştir. PLC kontrollü Servo-hidrolik sistemin basınç yükleme ve boşaltım süresini ayarlayan zaman rölesi kullanılmıştır. Basınç yükleme süresi 2.5 saniyede gerçekleşmiştir. Sistem mutlak basıncının 0 MPa'ya düşme süresi 1.5 saniye olarak sabitlenmiştir. Şekil 3.3'te sistemin basıncını, yükleme ve düşürmesini sağlayan zaman rölesi ve PLC pano görülmektedir. (1) numara ile gösterilen ekipman, çevrim sayacıdır. Sistem bekleme konumuna geldiğinde hafızaya en son çevrim sayısını kaydeder. (2) nolu gösterilen ekipman, LPG tank basınç yükleme ve boşaltım sürelerini gösterir. Yeşil buton sistemin çalışmasını sağlar. Kırmızı buton sistemin hidrolik pompanın ve motorun durdurulması için kullanılır, fakat dijital göstergeler açık konumda kalır.



Şekil 3.3: PLC kontrol ünitesi
1. Devir sayacı
2. Zaman sayacı

Sistem basıncını oluşturan ve sabit olarak 1.75 MPa değerinde kalmasını sağlayan hidrolik ünitesi PLC sistemin kontrolü altında çalışır. Sistem basıncını sağlayan hidrolik akışkan olarak 15 numara hidrolik yağı kullanılmıştır. Sistem basınç hattı boruları 1″ seçilmiştir. Hidrolik pompa 6KW gücünde 1200 devir/dk kapasitesine

sahiptir. Şekil 3.4'de hidrolik üniteye ait; (1) ile gösterilen, elektrik motoru, (2) yön kontrol valfi, (3) debi ayar vanası, (4) basınç sınırlama valfi, (5) manometre göstergesi, (6) basınç boru hattı ve (7) hidrolik depo elemanlardan oluşmuştur.



Şekil 3.4: Hidrolik ünite ve ekipmanları
1. Elektrik motoru
2. Yön kontrol valfi,
3. Debi ayar vanası,
4. Basınç sınırlama valfi,
5. Manometre,
6. Basınç boru hattı,
7. Hidrolik depo

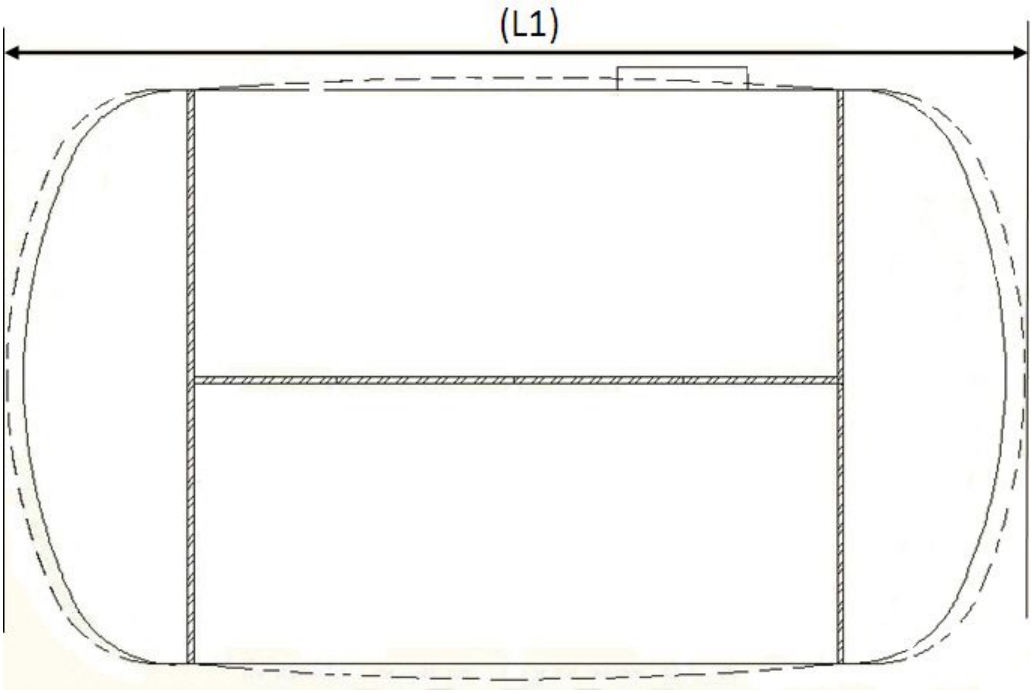
BÖLÜM 4. HIZLANDIRILMIŞ YORULMA DENEYİ

4.1. Yorulma Deneyinde Yapılan Ölçümler

Yorulma deneyinde deney sonuçlarının kararlılığı ve güvenirliliği çok önem arz etmektedir. Yorulma deneyinde deneye başlanıldığı andan itibaren ölçümler ve gözlemler yapılmıştır. Yorulma deneyine tabi tutulmadan önce taşıt silindirik LPG tanklarının boyut ölçüleri elde edilmiştir. Her deney numunesi için ölçüm ve ölçüm değerleri tarih saat olarak başarılı bir şekilde kaydedilmiştir. Yorulma deneyine tabi tutulan LPG tankları yorulmaya maruz kaldıktan sonra deney düzeneğinden bağlantıları sökülüp, deformasyon ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler boyuna uzama, enine uzama, cidar kalınlığı değişimi ve hacimsel değişim ölçümleri yapılmıştır. Yorulma sonrasında LPG tankında meydana gelen kalıcı deformasyon değişimleri sayısal ve gözlemsel olarak başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Yorulma deneyi sonucunda en çok yorulan bölgeler tanımlanmıştır.

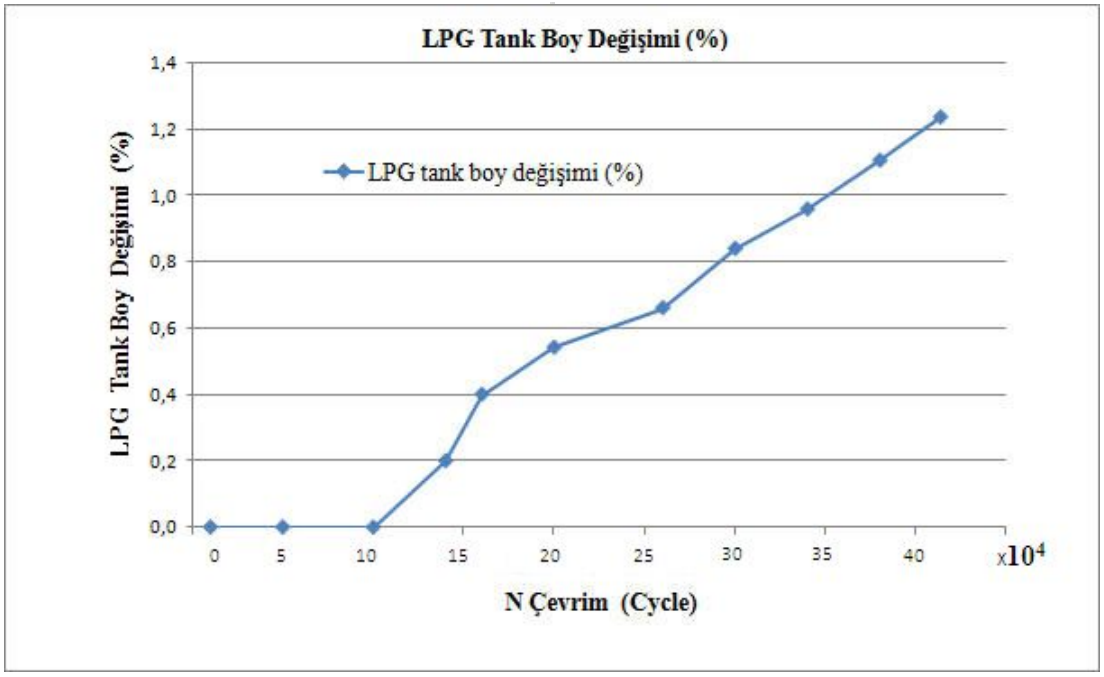
4.2. LPG Tank Boy Uzunluk Ölçümü

Taşıt silindirik LPG tankının yorulma deneyi bittikten sonra toplam LPG tank boyundaki deformasyon değişimini ölçmek amacıyla yapılmıştır. LPG tank boyundaki uzama ve kalıcı deformasyon, ortalama $5x10^4$ çevrimde olmuştur. Bu ölçümü yapabilmek için, büyük boy çift çeneli 0-1000mm ölçüm aralığına ve 0.05mm hassasiyete sahip dijital kumpas ile ölçümü yapılmıştır. Şekil 4.1'de silindirik LPG tankının boy uzunluğu ölçme doğrultusu görülmektedir.



Şekil 4.1: Silindirik LPG tank boy uzunluğu ölçümü.

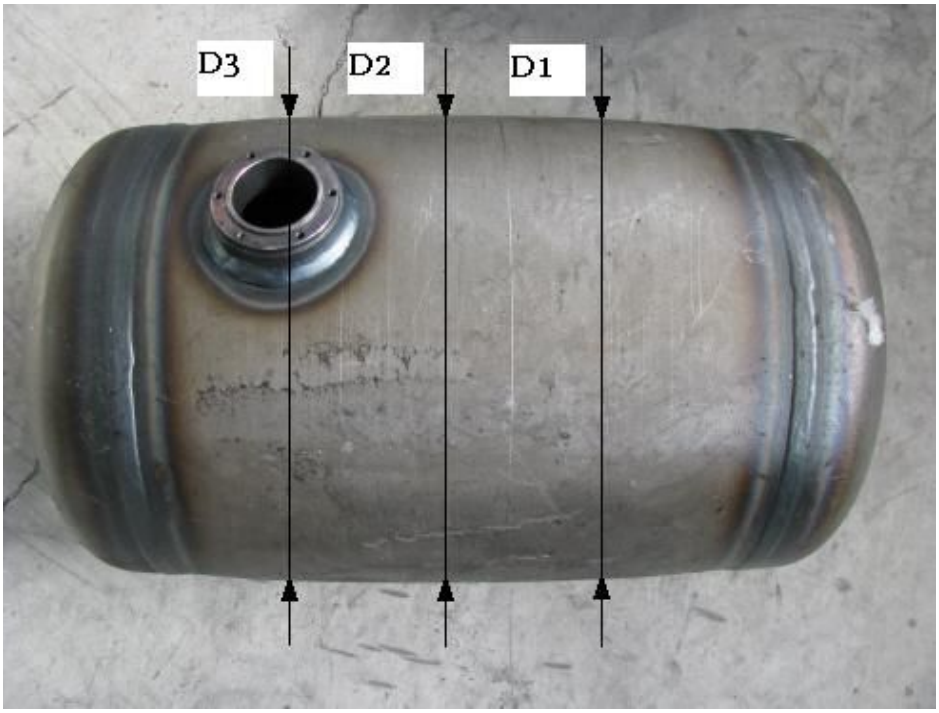
LPG tanklarının yorulma sonrasında oluşan boy ölçülerinde artışlar ölçümler sonucu belirlenmiş. LPG tankında kalıcı deformasyon 10^5 çevrimden sonra ölçümlerle tespit edilmiştir. Şekil 4.2'de verilen grafikte, taşıt LPG tankının hacmindeki değişim yorulma çevriminin bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Tank hacminde oluşan değişime bakıldığında, başlangıçtan 10^5 çevrime kadar hacim değişiminde değişim gözlenmemiştir. Tank hacmindeki % değişim daha çok 10^5 yük çevriminden sonra elde edilmiştir. Bu durum, tank hacmindeki plastik değişim 10^5 yük çevriminden sonra meydana gelmektedir.



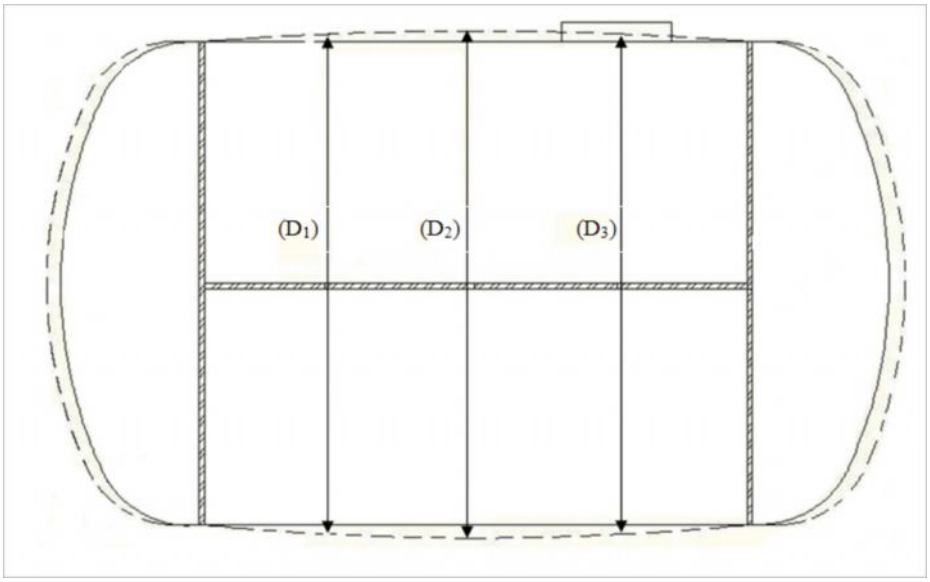
Şekil 4.2: LPG tank yorulma çevrimi- LPG tank boy değişimi.

4.3. LPG Tank Çap ölçümü

LPG tankı 1.75 MPa iç basıncın etkisi altında sürekli tekrarlı çevrim ile yorulana kadar çaptaki değişim her $5x10^4$ çevrimde bir kontrol edilmiştir. LPG tankın yorulması, zamana ve çevrim sayısına bağlı olduğu için LPG tank çapında kalıcı deformasyon 10^5 çevrimde başlamıştır. LPG tankı çapında meydana gelen değişimi büyük boy çift çeneli 0-1000mm ölçüm aralığına ve 0.02mm hassasiyete sahip dijital kumpas ile ölçülmüştür. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de gösterilen silindirik LPG tankına ait çap ölçüm noktaları görülmektedir.



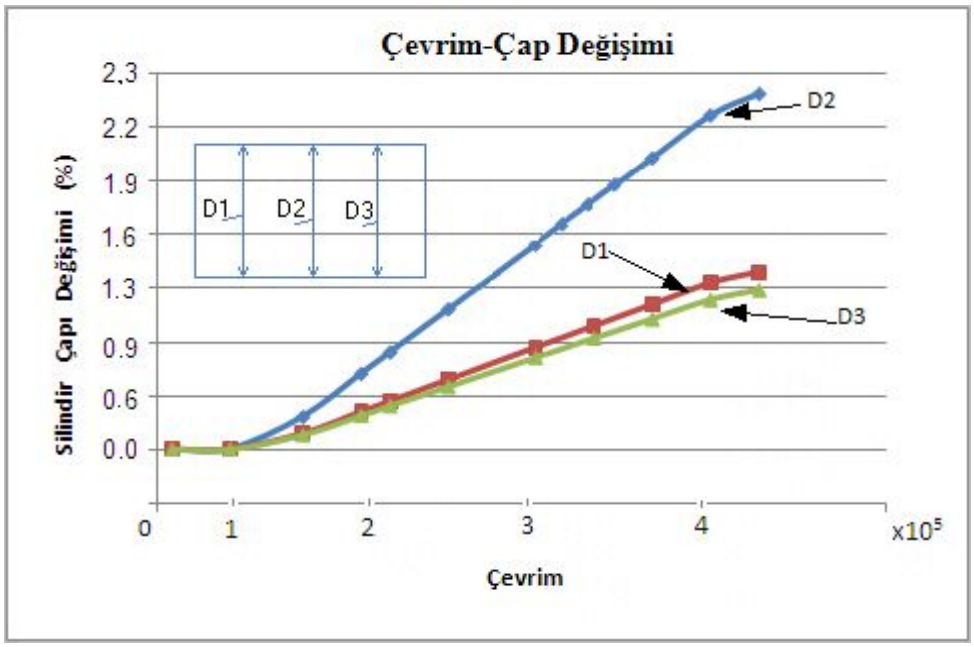
Şekil 4.3: LPG tank çap ölçümü.



Şekil 4.4: LPG tank çap ölçümü.

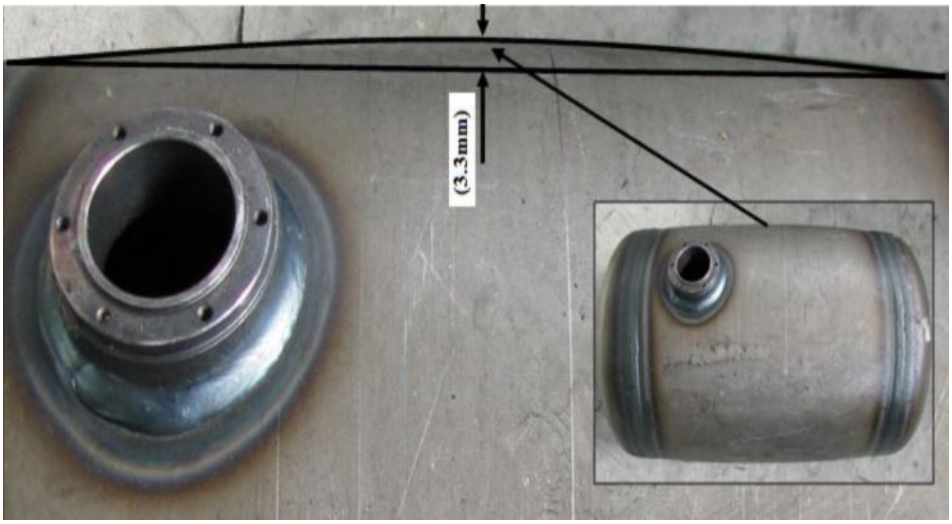
LPG tanklarının yorulma sonrasında oluşan çap ölçülerinde değişiklikler belirlenmiştir. Şekil 4.5'de yorulma çevrimine karşılık gelen LPG tank çapındaki D_1, D_2, ve D_3 çapları değişimi görülmektedir. LPG tank çapı deneye başlamadan önce 315 mm çapında iken yorulma deneyi sonunda $D_{1=}$318.3mm, $D_{2=}$321.6mm ve $D_{3=}$318.0mm olduğu ölçümler sonucu tespit edilmiştir. Ölçüm noktalarında

değişimin en çok olduğu çap D_2 olduğu ve en küçük çap değişimi D_3 çapında olduğu saptanmıştır. Maksimum deformasyon silindirik tankın tam merkezinde D_2 ölçüsünde % 2.25 değişim ölçülmüştür. Şekil 4.6'da silindirik LPG tankın yorulma sonrası ilk çap ile son çap arasındaki % değişim görülmektedir.



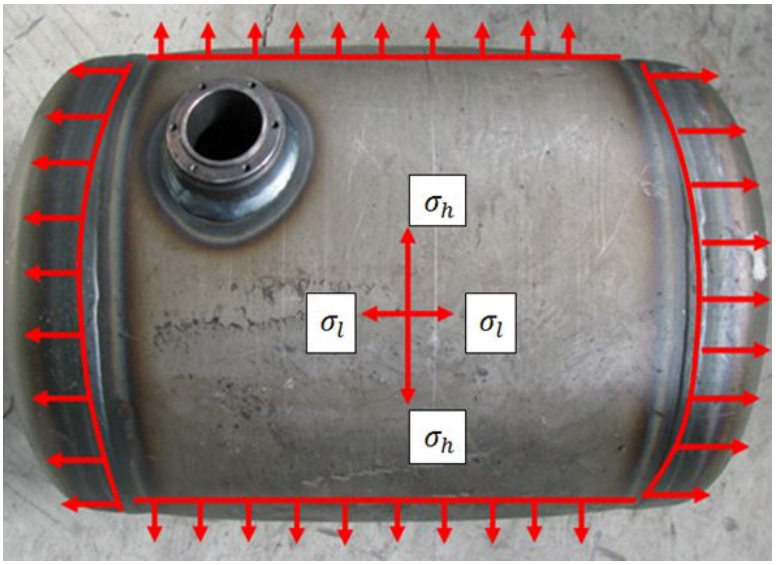
Şekil 4.5: LPG tank, yorulma çevrimi–çap değişimi.

Yorulma yükü çevrim sayısının bir fonksiyonu olarak tank hacminde oluşan % değişime benzer şekilde, tankların gövde çapında da deformasyonlar oluşmuştur. Tankların gövde çapında,(D_1 D_2 ve D_3) Şekil 4.5'de tanımlanmıştır. Bu şekildeki tanımlamaya bakıldığında, tank gövdesinde oluşan deformasyon 10^5'den itibaren belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Yukarda, tank hacmindeki değişimin tanımlanmasına benzer şekilde, tankın çevresel çapında oluşan deformasyon değişimi, 10^5 yük çevriminden itibaren başlıyor, denilebilir.



Şekil 4.6: Yorulma sonrası plastik deformasyon ve çap değişimi.

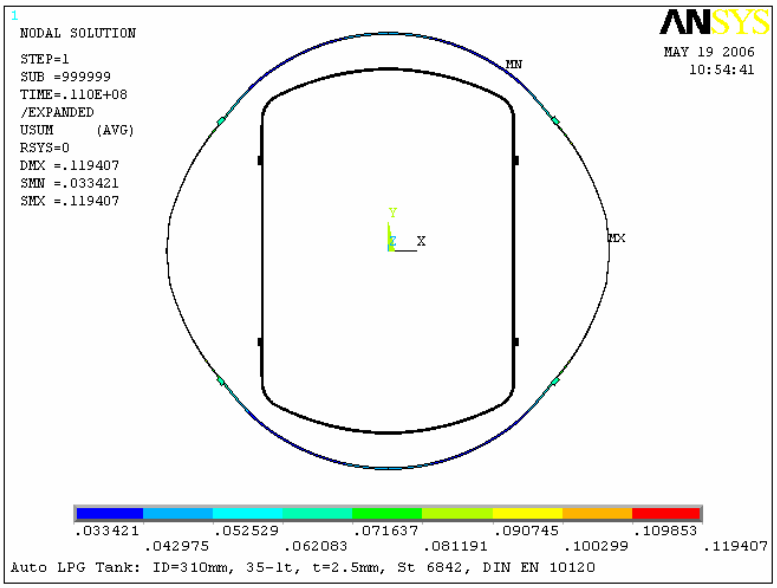
Silindirik LPG tankın geometrik yapısı incelendiğinde, tank gövdesi üzerinde yükleme esnasında genel olarak 2 tür gerilme oluşmaktadır. Bunlar tank silindir eksenine dik ve tank eksenine paralel gerilmelerdir. Şekil 4.7'de silindir eksenine dik gerilmeye çevresel gerilmesi (σ_h) ve silindir ekseni doğrultusunda oluşan gerilmeye ise eksenel gerilme (σ_l) denir. Tank üzerinde oluşan bu iki gerilmeye, tank geometrisi ince cidarlı olması sebebiyle, asal gerilmeler denir [1,2].



Şekil 4.7: Silindirik tankta meydana gelen gerilmeler.

Şekil 4.8'de tankta bilgisayar destekli simülasyon çalışması ile elde edilen deformasyonun maksimum ve minimum noktaları görülmektedir [1]. Silindirik tank

geometrisi üzerinde oluşan çevresel gerilemeye 1. asal ve silindir boylamasına (uzunlamasına) oluşan gerilmeye ise 2. asal gerilme denir. Buna göre, silindirik tankların yorulma deneyi sonucunda oluşan kalıcı çap değişimi sonuçları ve analitik hesaplamalardan da bilindiği gibi, beklenen şekilde silindirik gövdenin tam ortasında max. birinci asal gerilme elde edilmiştir. D_1 çap ölçüsünün D_3 çap ölçüsünden büyük olmasının sebebi D_3 bölgesinin koloret'e yakın olması ile yerel mukavemetin artması sebebi ile D_3 çapında değişim D_1 ve D_2 ye nispeten daha az olmuştur.



Şekil 4.8:LPG tankta meydana gelen deformasyon [1].

4.4. LPG Tankı Cidar Kalınlığı Ölçümü

Silindirik tankın, hızlandırılmış yorulma çevriminin etkisi ile gövdenin et kalınlığında meydana gelen deformasyon ölçülmüştür. Et kalınlığında meydana gelen değişimleri ölçebilmek için, yorulma deneyine tabi tutulmuş bir tankın, Şekil 4.9'da görüldüğü gibi tam kesiti alınmıştır. Tam kesiti alınan tankın gövdesindeki et kalınlığındaki değişim 0.001mm hassasiyetinde bir mikro metre ile ölçülmüştür. Et kalınlığındaki ölçümler, mikro metre ile hem yavaş yavaş kaydırarak hemde nokt nokta ölçülmüştür. Gövde boyunca, Şekil 4.12'de görüldüğü gibi 20 farklı noktada kalınlık değişimleri kaydedilmiştir. Yorulma çevriminin etkisi ile meydana gelen yorulma deformasyonu etkisi ile et kalınlığındaki % değişim miktarı, yorulma çevriminin bir fonkisyonu olarak Şekil 4.15'de verilmiştir. Şekil 4.15'de görüldüğü gibi, et kalınlığındaki en fazla değişimler 5-11. bölgelerde meydana gelmektedir. Bu

deformasyonlar % değişim miktarı, çevrim sayısının bir fonksiyonu olarak şekilde verilmiştir.



Şekil 4.9: Kesit alınmış silindirik LPG tankı cidar kalınlığı ölçümü.

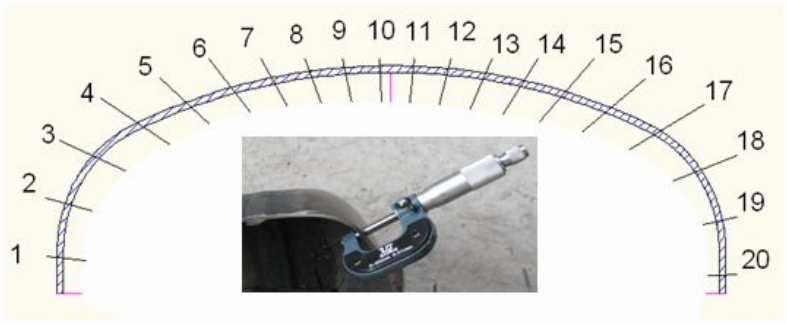
Taşıt silindirik LPG tankların yorulma sonrası silindir kapağında cidar kalınlığında değişimin tespiti için mikrometre ile ölçümü Şekil 4.10'da görülmektedir. Şekil 4.15'de görüldüğü gibi, et kalınlığındaki en fazla değişimler 5-11.bölgelerde meydana gelmiştir. Bu deformasyonlar % değişim miktarı, çevrim sayısının bir fonksiyonu olarak şekilde verilmiştir.



Şekil 4.10: Yorulma sonrası LPG tankın cidar kalınlığı ölçümü.

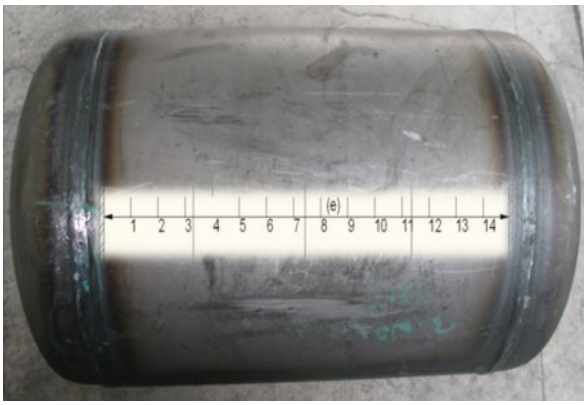
Taşıt silindirik LPG tankın cidar kalınlığı ölçüm noktaları ve bölgeleri kapak ve silindirik bölgeden oluşmaktadır. Cidar kalınlığı ölçümleri sağ ve sol kapak için aşağıdaki Şekil 4.11'de gösterilen 1 den 20 ye kadar olan noktalardan 0.001 mm

hassasiyete sahip mikrometre ile 2-3 cm aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Cidar kalınlığının çok fazla değişim göstermediği bölgelerde ölçüm yoğunlu azaltılmıştır.



Şekil 4.11: Cidar kalınlığı sağ ve sol kapak ölçüm noktaları.

Şekil 4.12'de silindirik LPG tankı üzerinde numaralı noktalardan silindirik gövde kaynak bölgesine en yakın bölgeden (d) bölgesinden alınan ölçümleri göstermektedir. (e) bölgesinden ölçüm alınmasının amacı kaynaklı olmayışı ve silindirik bölgenin genleşmeye en çok maruz kaldığı bölge olmasıdır. Özellikle bu bölgede boyda uzama daha çok olacağından cidar kalınlığındaki değişim maksimum olacaktır.

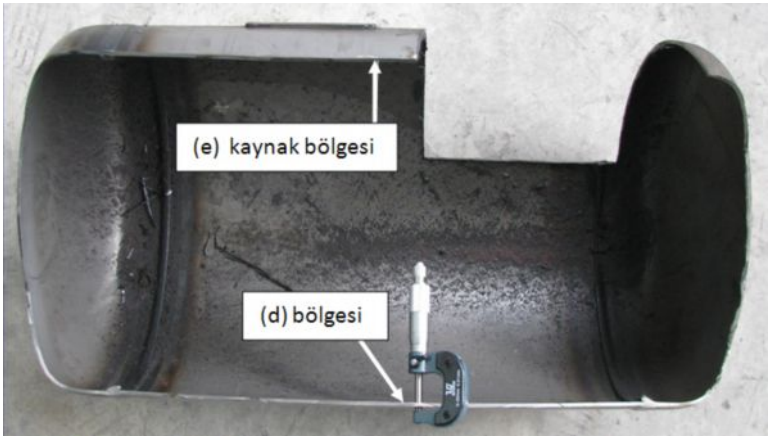


Şekil 4.12.: Silindirik gövde kayanağı simetri bölge (e) bölgesi.

Şekil 4.13'de (e) bölgesi silindirik gövdede kaynaklı bölgenin tam karşısından yani simetri bölgesinden seçilmiştir. Şekil 4.14'de (e) ve (d) bölgeleri birlikte gösterilmiştir.



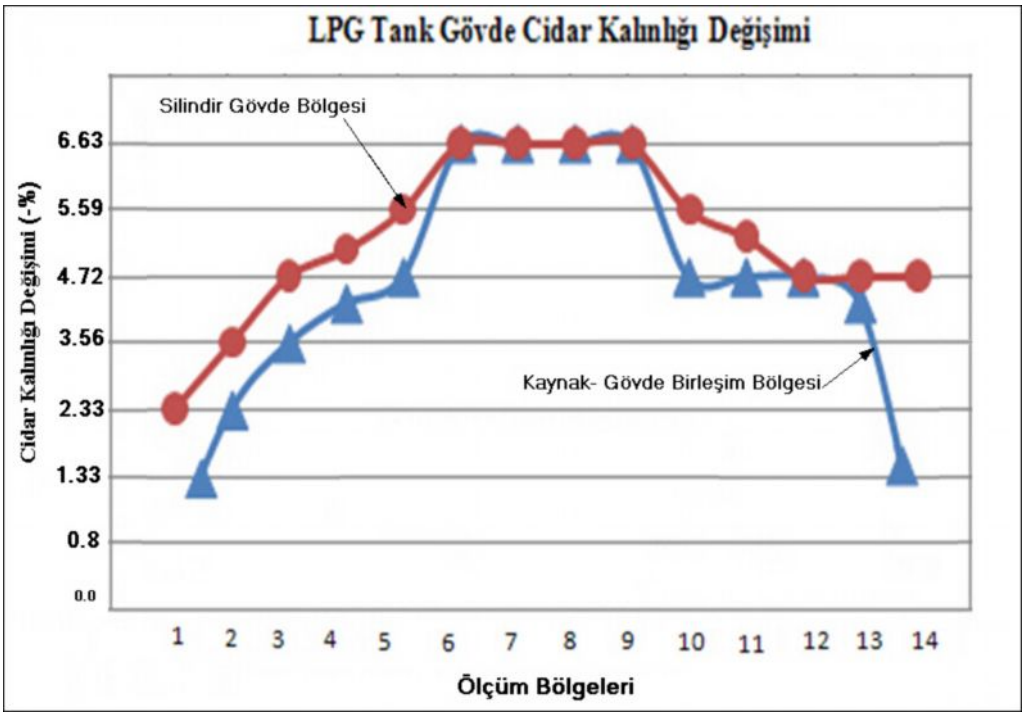
Şekil 4.13: Silindirik gövde kaynağına yakın olan ölçüm (d) bölgesi.



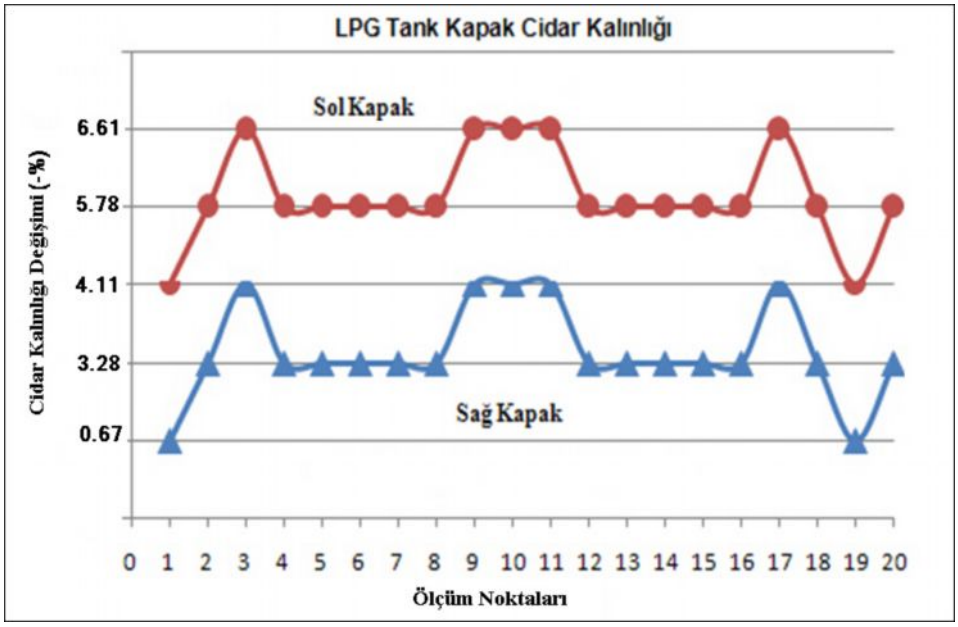
Şekil 4.14: Silindirik gövde (e) ve (d) ölçüm bölgeleri.

LPG tankları deney sırasında Şekil 2.3'te gösterilen yükleme tipi ile 1.75 MPa basınç altında yüklemeye maruz bırakılarak LPG tankın yorulması gerçekleştirilmiştir. LPG tankı yoruluncaya kadar geçen süre içersinde cidar kalınlığında kalıcı değişimler olmuştur. Şekil 4.15'de (e) bölgesinde ve (d) bölgesinde oluşan cidar kalınlığı değişimi görülmektedir. Aynı şekilde silindir tank kapağında meydana gelen cidar kalınlığındaki değişim Şekil 4.16'da sol kapak ve sağ kapak cidar kalınlığında yorulma sonundaki değişim görülmektedir. LPG tank kapaklarında cidar kalınlığı değişimi silindir gövdedeki cidar kalınlığı değişimine göre daha az olmuştur. Bunun iki sebebi vardır. Birincisi LPG tank kapakları LPG tankın boyuna yerleştirilmiş ve kapak kaynağı ile mukavemeti artırılmıştır. İkinci sebebi, kapak imalat işlemi sıvama yöntemi ile olduğu için tank kapaklarında ön gerilmeler mevcut böylelikle silindir gövdesine nazaran daha mukavim bir yapı teşkil etmektedir. 1.75 MPa basınç altında sürekli tekrarlı uygulanması ile LPG tank cidarı çekme gerilmesine maruz kalır. Zaman ve çevrimin etkisi ile 1.75 MPa basınç ile LPG tank malzemesinin akma

gerilmesi 265 MPa akma gerilmesine ulaşır. Bu demektir ki malzemeye tekrarlanan 1.75 MPa basınç etkisi çevrim sayısına bağlı olarak malzemenin akma noktasına yakınlaşır ve kalıcı şekil değişimi olur. Kalıcı şekil değişimi olurken malzemede akma oluşur dolayısı ile malzeme kalınlığı ilk kalınlığa göre daha ince olur. Malzeme kalınlığı azalırken malzeme boyunda uzama olur.



Şekil 4.15: LPG tank silindirik gövde ve kaynak-gövde birleşim bölgeleri cidar kalınlığı değişimi.



Şekil 4.16: LPG tank sol ve sağ kapak cidar kalınlığı değişimi.

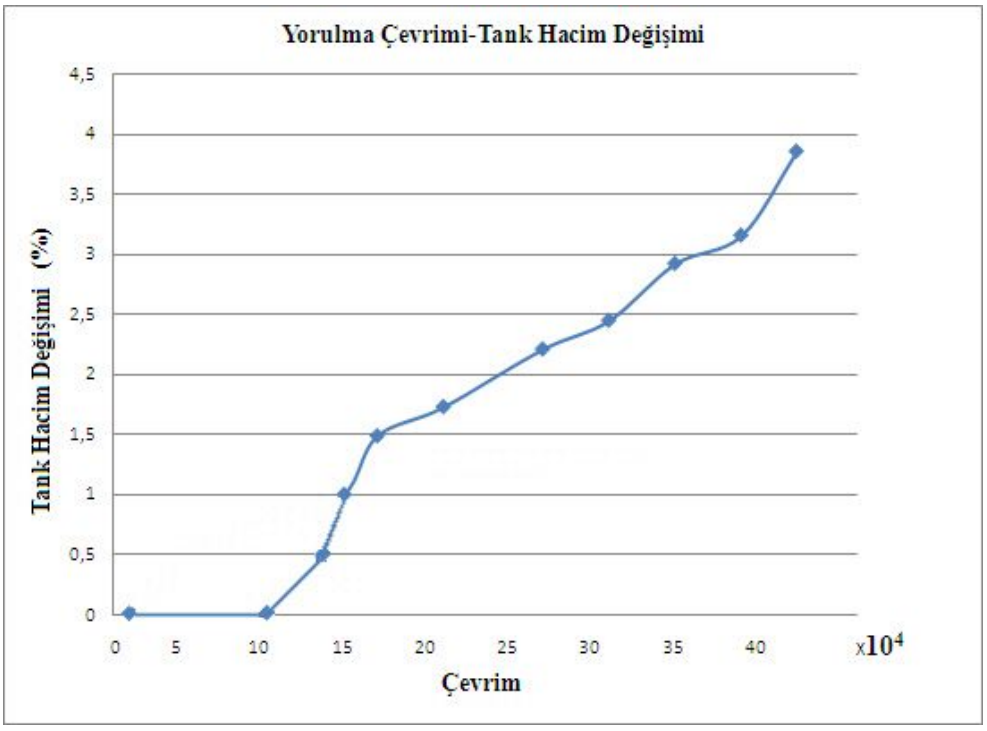
4.5. Hacim Değişimi Ölçümü

Taşıt silindirik LPG tankında deney sonrası toplam hacminde artışın olup olmadığının tespiti için bu ölçüm yapılmıştır. LPG tankının deneyden önceki hacmi ölçüldükten sonra kayıt edilmiştir. Daha sonra deneye başlanıp deney sırasında her 50,000 çevrimde hacimsel değişimi ölçmek için deney durdurulmuştur. Hacim ölçümü için LPG tankının içersinde bulunan hidrolik yağ hacmi litre olarak ölçülmüştür. Ölçüm tamamlandıktan sonra deneye devam edilmiştir. Artış LPG tankın ilk hacmi ile son hacmi arasındaki fark ile tespit edilmiştir. Şekil 4.17'de solda deneye başlamadan önceki silindirik LPG tank görünümü, sağda deney tamamlanmış yorulma sonrası kalıcı hacim değişikliği görülmektedir.



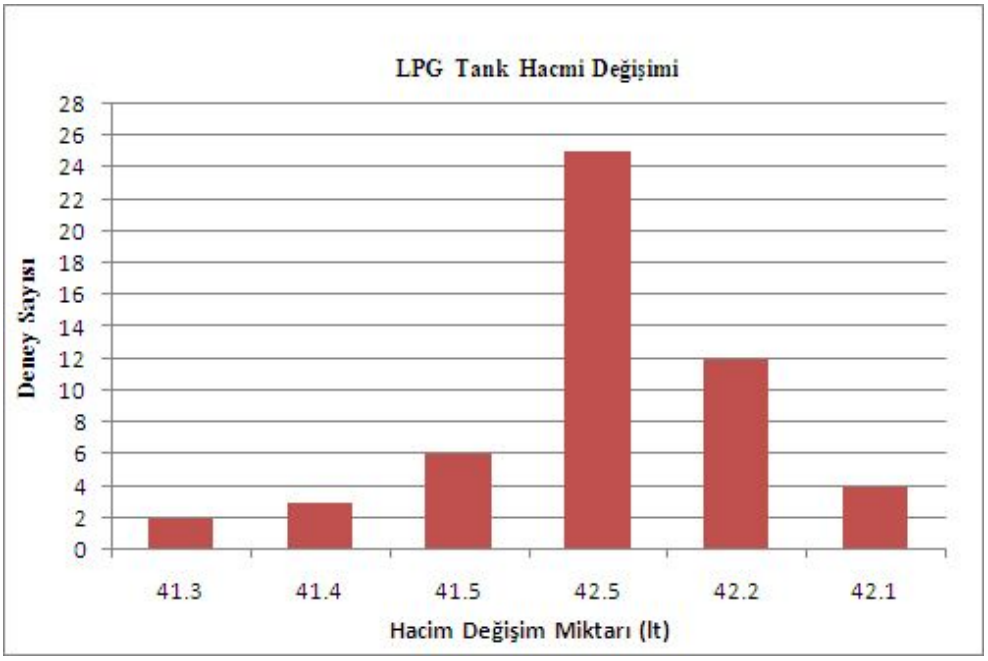
Şekil 4.17: Deney öncesi (solda), deney sonrası (sağda) LPG tank görünümü.

Yorulma deneyi başlangıcından bitimine kadar LPG tankları ilk hacimleri ile son hacimleri arasındaki hacimsel değişimler olmuştur. Yorulma çevrimi boyunca hacim artışı olmuştur. Hacimsel artışa LPG tank boyu ve çapının artması neden olmuştur. Maksimum LPG tank hacmindeki artış 1.5 litre olarak ölçülmüştür. Hacmin artması LPG tankının cidar kalınlığının azalması ile orantılıdır. Yorulma çevrimi tank hacim değişimi Şekil 4.18'de verilmiştir. Yorulma yüküne bağlı olarak Tank hacmindeki % değişim maksimum % 3.8 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.18:Yorulma yükü çevrimi tank hacmi değişimi

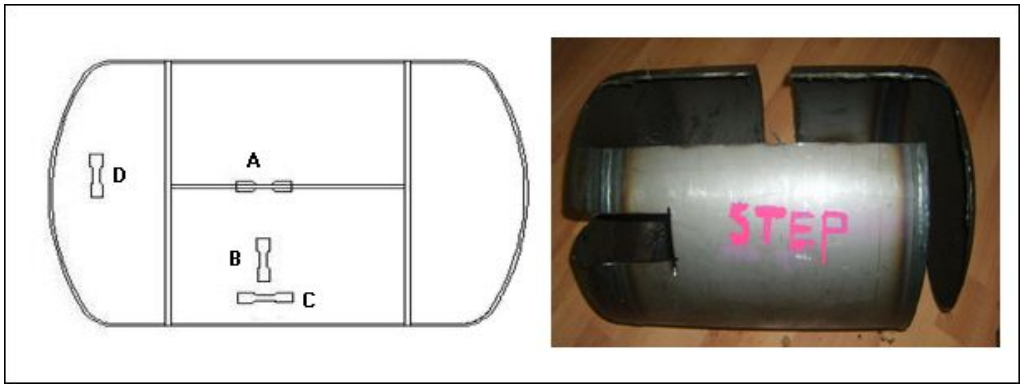
Yorulma deneyinde son hacim miktarının deney sayısına olan ilişkisi Şekil 4.19'da görülmektedir. Toplam 52 adet yorulmuş silindirik LPG tank numunesi içersinden 25 adet tank hacimindeki artış 1.5 litre ve son hacim 42.5 litre olarak başarılı bir şekilde tespit edilmiştir.



Şekil 4.19: Yorulma sonrası LPG tank hacim değişimi

4.6. LPG Tank Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin Tespiti

LPG tank malzemesinin mekanik özelliklerini belirlemedeki amaç LPG tankının imalat edildikten sonraki mekanik özellikleri ile yorulma deformasyonuna uğramış LPG tankın mekanik özelliklerinin karşılaştırılması ve değişimin tespiti için yapılmıştır. LPG tank malzemesinin mekanik özelliklerini belirlemek için yaygın bilinen çekme deneyi metodu kullanılmıştır. Bu uygulama için, Şekil 4.20'de görüldüğü gibi üretimi tamamlanmış olan LPG tankın üzerinden harfle belirtilmiş kritik bölgelerden çekme numuneleri kesilerek alınmıştır. Kesilen çekme deneyi numuneleri Şekil 4.21'de görülmektedir. Numunelerin kesit alanları ve boyları standartlara uygun olarak ölçülerek freze tezgâhında işlenerek hazırlanmıştır.



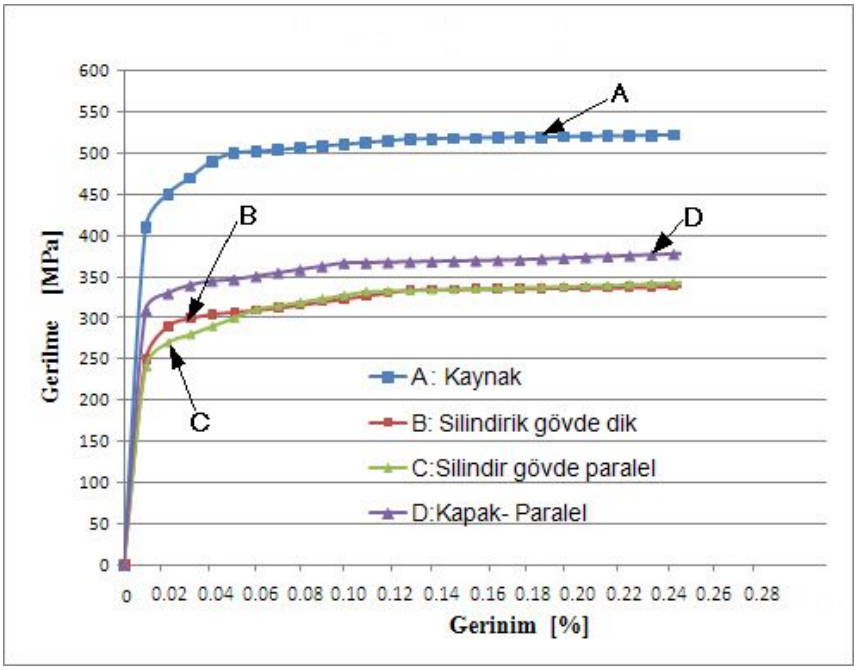
Şekil 4.20: LPG tank çekme numune bölgeleri (solda), çekme numuneleri alınan LPG tank (sağda)



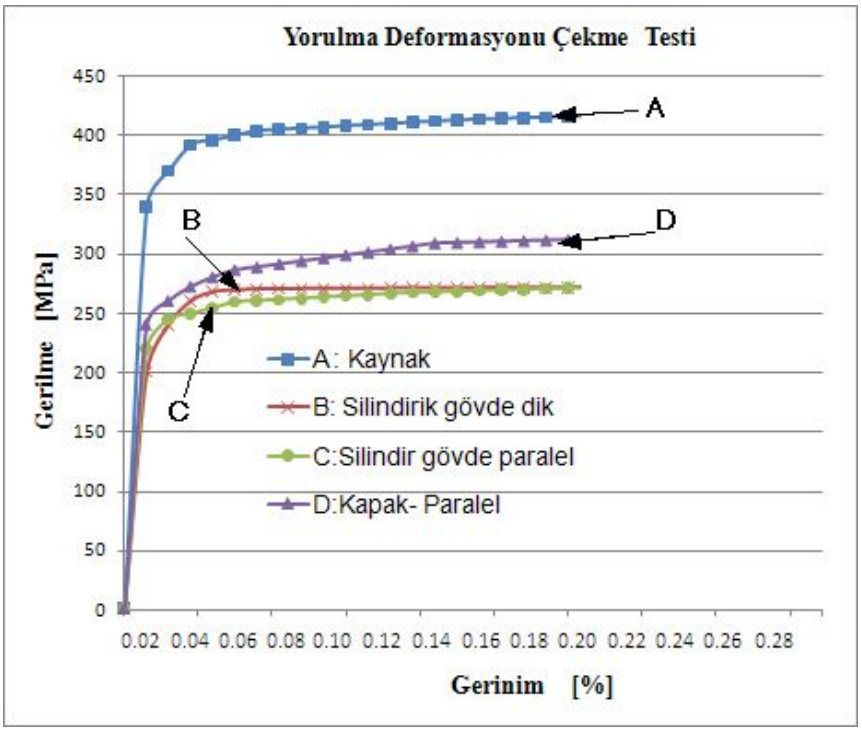
Şekil 4.21: LPG tank çekme deney numuneleri

Silindirik LPG tankı üzerinden alınan A numunesi kaynak özelliklerini belirlemektedir. Gövde üzerinde birbirine dik pozisyonda alınan B ve C numuneleri silindirik gövde malzemesinin özelliklerini belirlemek amacı ile alınmıştır. B ve C numunelerinin birbirine dik alınmasının sebebi, B numunesi silindirik tankta oluşan çevresel gerilmenin etkisi ile, B numunesi yönünde malzeme özelliğinin değişimini belirlemek için alınmıştır. C numunesi, tankta eksenel gerilme sonucu, C numunesi doğrultusunda malzemede özelliklerin değişimini belirlemek için alınmıştır. Benzer şekilde, sıvama yoluyla elde edilen tank kapaklarının malzeme özelliklerinin tanımlanması için D numunesi kesilerek alınmıştır. Kesilen 4 farklı deney numuneleri çekme deneyi testinde çekmeye tabi tutularak Şekil 4.22'de yorulma deneyi öncesi gerilme-gerinim verileri, Şekil 4.23'de yorulma deneyi uygulaması sonrası tank malzemesine ait gerilme-gerinim eğrisi elde edilmiştir. Şekil 4.22 ve

4.23'de verilen mekanik özelliklerin karşılaştırıldığında, tank malzemesinin gerilme-gerinim değerlerinde azalma görülmüştür.



Şekil 4.22: LPG tank malzemesinin gerilme gerinim değerleri



Şekil 4.23: Yorulma deformasyonuna uğramış tank malzemesinin gerilme gerinim değerleri

Şekil 4.21'de gösterilen yorulma deneyi öncesi silindirik LPG tankına ait çekme deney numuneleri için çekme testinden elde edilen mekanik özellikler yorulma deneyi sonucunda LPG tank malzemesine ait mekanik özellikler ile yüzde değişimleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Yorulma öncesi akma ve kopma gerilmeleri yorulma sonrası akma ve kopma gerilmelerinden yüksek olduğu görülmektedir. Yorulma çevrimi sonunda malzeme içersinde mikro çatlakların oluşması nedeniyle metalik bağların zayıflamasına sebep olmuştur. Bu nedenle,malzemenin çekme değerlerinde düşüş olmuştur. Akma gerilmesinde maksimum % 20, kopma gerilmesinde maksimum % 24, birim uzama değerlerinde ise % 15 azalma tespit edilmiştir.

Tank gövdesinden elde edilen B ve C numuneleri (Şekil 4.20) kıyaslandığında, malzemenin σ_{AK} değerlerinde aynı miktarda değişim olurken kopma ve birim uzama değerlerinde farklı değişimler göstermiştir.

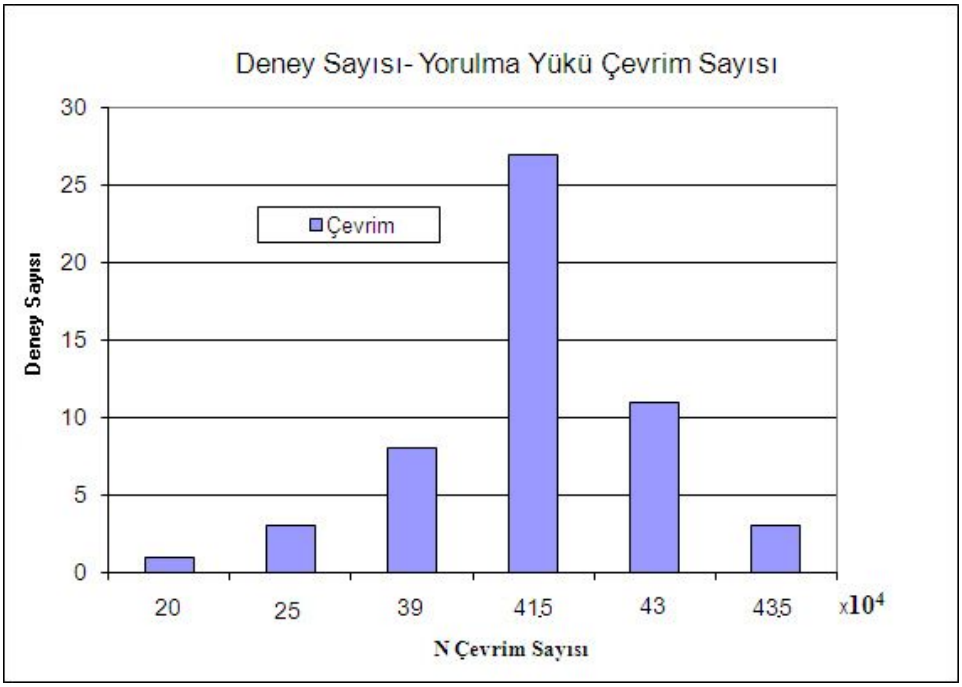
Tablo 4.1: Yorulma öncesi ve sonrası tank malzemesine ait mekanik özelliklerin değişimi.

	Akma Gerilmesi [Mpa]			Kopma Gerilmesi [Mpa]			Birim Uzama [%]		
Numune	Yorulma Öncesi	Yorulma Sonrası	% Değişim	Yorulma Öncesi	Yorulma Sonrası	% Değişim	Yorulma Öncesi	Yorulma Sonrası	% Değişim
A	428	342	-20	533	421	-21	25.36	21.53	-15
B	257	238	-7	345	261	-24	32.28	29.61	-8
C	243	225	-7	325	265	-18	33.07	30.76	-7
D	310	248	-20	362	310	-14	32.75	30	-8

4.7. Yorulma Bölgeleri ve Yorulma Çevrim Sayıları

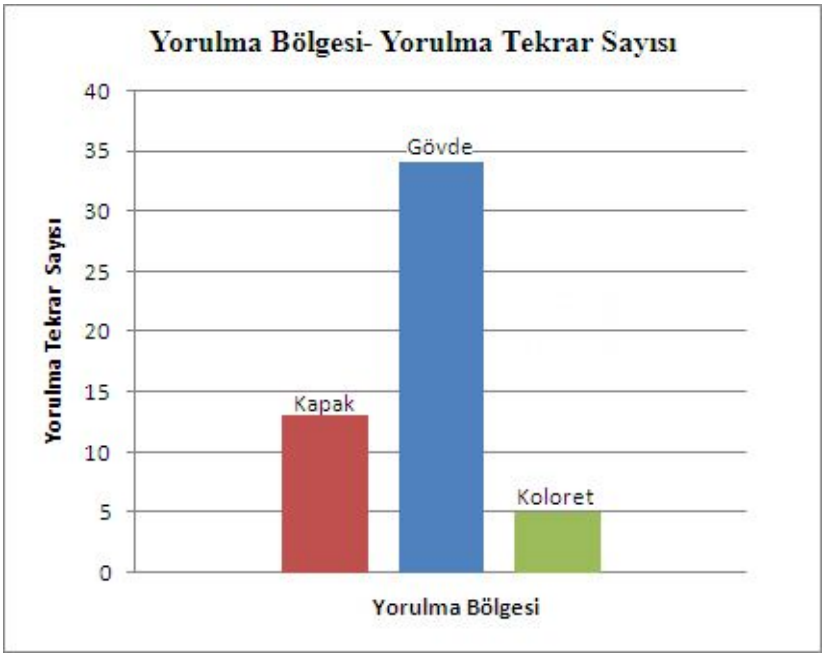
41 litre hacmindeki Oto silindirik LPG tanklarının yorulma deneyi boyunca yorulan her tank için yorulma çevrim kayıtları başarılı bir şekilde alınmıştır. Toplam 52 adet numune için istatistikî yorulma çevrim sayıları Şekil 4.24'te görülmektedir. Yorulma çevrimleri grafik incelendiğinde yığılmanın en çok olduğu çevrim sayısı yaklaşık 415,000 olduğu görülmektedir. Öte yandan yorulma çevriminin en küçük yükleme sayısının 200,000 çevrim olduğu görülmektedir. Yapılan yorulma deneyinde, 52 adet

tankın 27 tanesi ortalama 415,000 çevrime kadar dayanmış olup ve yorulma hasarına uğramıştır.

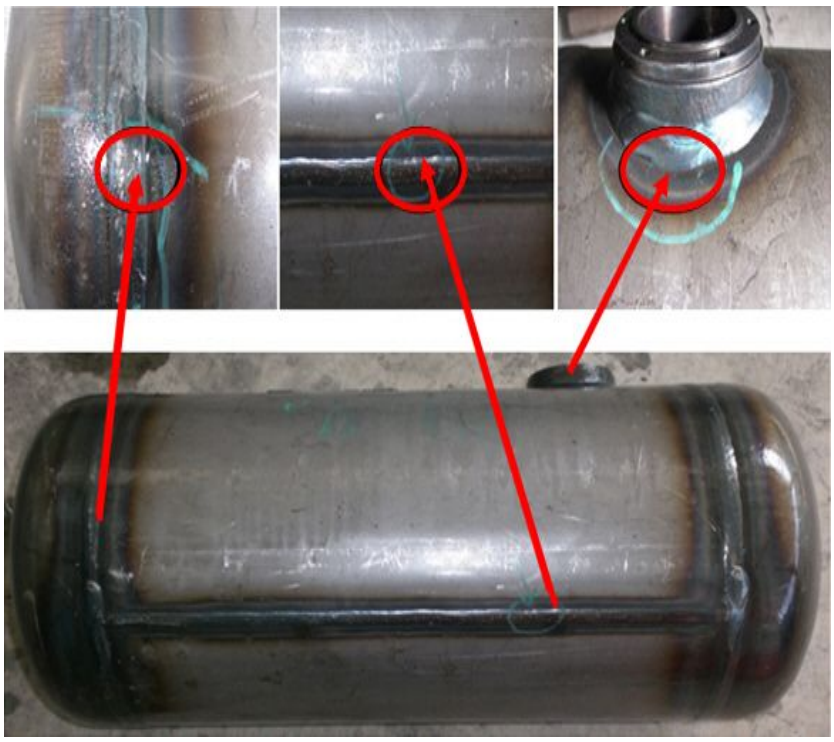


Şekil 4.24: Deney sayısı – çevrim sayısı

Yorulma testinde tanklar hem seri hem de tekil olarak deney düzeneğine bağlanarak test edilmiştir. Yorulma deneyinde yorulma bölgeleri olarak en çok yorulmanın görüldüğü bölge silindirik gövde ve en az yorulma görülen bölge kloret bölgesi Şekil 4.25'de görülmektedir. Şekil 4.26'da yorulma sonrası LPG tankın kapak, gövde ve kloret yorulma bölgeleri görülmektedir. Yorulma hasarı genellikle, kaynak bölgesi ile tank sacı birleşim bölgesinde oluşmuştur. Yani kaynak bölgesinin yanında meydana gelmiştir. Kaynak işlemi yapılırken, tank sacının bir ısıl işleme tabi tutulması ve aynı zamanda bir et kalınlığı azalmasına sebep olan bu bölgelerde yorulma hasarı olmuştur.



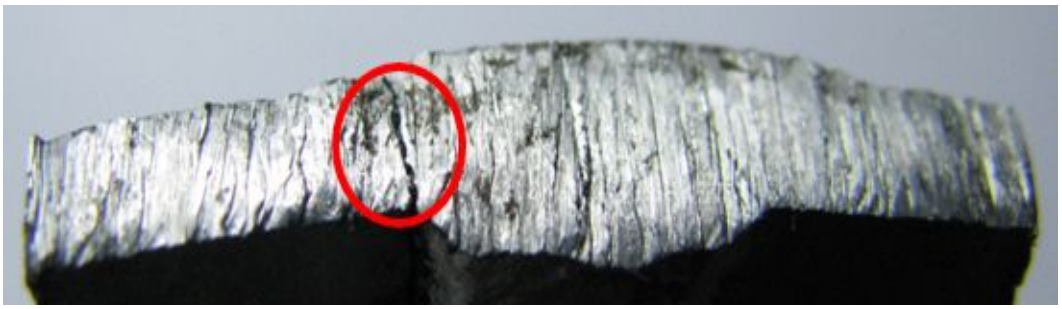
Şekil 4.25: Yorulma bölgeleri - yorulma sayıları.



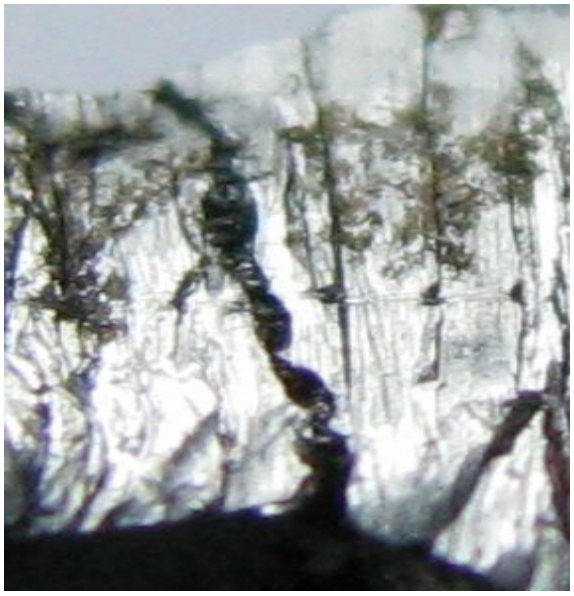
Şekil 4.26: LPG tank yorulma bölgeleri.

Şekil 4.27'de silindir gövde kaynak sınır bölgesinde yorulma sonrası malzemede yırtılma görülmektedir. Dijital fotoğraf makinesi ile makro çekim ile bu bölgedeki kırılma daha detaylı görülmektedir. Şekil 4.28'de Şekil 4.27'de kırmızı halka ile gösterilen bölgenin 40x büyütülerek makro fotoğraf çekimi yapılmıştır. Şekil 4.28'de makro resim incelendiğinde

yorulma yırtılmasının çevresel gerilme yönünde olduğu gövde kaynağına paralel olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tekrarlanan yorulma yükü altında malzemede mikro çatlakların sayısı artması ve çatlağın büyümesi ile yorulma deformasyonu olmuştur. Tank malzemesinde Şekil 4.28 detaylı incelendiğinde yorulma kırılmasının ısı tesiri altındaki bölgede olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.27: Kaynak bölgesi yorulma kırılması makro fotoğrafı



Şekil 2.28: Gövde-kaynak sınır bölgesi 40x makro fotoğraf görüntüsü

4.8. LPG Tank Dolum Sayısına Bağlı Olarak Kullanım Ömrü Tayini

Yapılan hızlandırılmış yorulma performansı sonucu, Şekiller 4.2, 4.5 ve 4.18 gösterdi ki tank malzemesinde oluşan plastik şekil değişimi yaklaşık 100,000 çevrimden sonra meydana gelmektedir. Elastik sınırlar içersinde olması dolayısı ile, tank malzemesine uygulanan 100,000 yük çevrimi mekanik açıdan ömür tayini için

kullanılabilir. Bu nedenle, tank ömrü için maksimum yük 100,000 çevrim olarak kabul edilmiştir. Makine tasarımı teorisi gereği, LPG tanklarının kullanım ömrü için emniyet katsayıları (EKS) dayalı kullanım ömrü günlük dolum sayısına bağlı olarak verilmiştir. LPG tankı kullanan araç sahipleri ile yapılan sözlü mini ankette, LPG tank yakıt kullanıcılarının haftada ortalama 1, 2, 4, 7, 14, ve 21 kez yakıt dolumu yaptığı belirlendi. Taşıtlarda, LPG yakıtı dolum sayısına göre Tablo 4.1 oluşturuldu. Tabloda birinci satır yakıt tanklarının haftalık dolum sayısını, ikinci ise, 100,000 çevrim dikkate alındığında yıllık dolum sayısını vermektedir. Birinci sütun, ikinci sütunda varsayılan EKS değerleri dikkate alındığında çevrim sayısını vermektedir.

Tablo 4.2: LPG tankı yakıt dolum sayısına bağlı emniyet katsayılı kullanım ömrü.

LPG dolum sayısı / Hafta		21	14	7	4	2	1
Yıllık LPG dolum sayısı		1092	728	364	208	104	52
Yük Çevrimi	EKS	Tank Ömrü (yıl)					
50000	2	46	69	137	240	481	962
33000	3	30	45	91	159	317	635
20000	5	18	27	55	96	192	385
14000	7	13	19	38	67	135	269
10000	10	9	14	27	48	96	192

Hızlandırılmış yorulma performansı sonucu tank ömrüne örnek vermek gerekirse; 2 kat emniyetle (EKS=2) kullanılan bir LPG yakıt tankı, haftada 3 kez doldurulup boşaldığı varsayılırsa, Tablo 4.2'de verildiği gibi tank yaklaşık 46 yıl kullanılabilir. Eğer, aynı tank 10 kat emniyetle (EKS=10) kullanılsa idi, tank yaklaşık 9 yıl kullanılabilir. Öte yandan, bir başka örnek verilecek olursa; 5 kat emniyetle (EKS=5) kullanılan bir LPG yakıt tankı, haftada 1 kez doldurulup boşaldığı varsayılırsa, tank yaklaşık 55 yıl veya 10 kat emniyetle (EKS=10) kullanılırsa LPG tankı 27 yıl kullanılabilir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, 52 adet 41 lt hacmindeki taşıt silindirik LPG yakıt tankı, hızlandırılmış yorulma performansına tabi tutulmuştur. Yorulma deneyi sonucunda 41 lt. hacmindeki LPG tankları ortalama 415,000 yük çevrimi sonucu yorulma hasarına uğramıştır. Buna göre, yorulma performansı sonucu, LPG tanklarının elastik şekil değişimi sınırları dâhilinde mekanik tasarım yük çevrimi 100,000 olarak (Şekil 4.2, 4.5 ve 4.18) kararlaştırılmıştır. Yorulma yükü çevrim sayısına bağlı olarak Tablo 4.2'de verildiği gibi, haftalık dolum sayısına göre kullanım ömrü kararlaştırılmıştır.

LPG silindirik tankların uzunluğunda, % 3.8 uzama (Şekil 4.1 ve 4.2), gövde çapında % 2.28 (Şekil 4.4 ve 4.5) ilk boya göre genişleme olduğu ölçülmüştür. Bu değişimler sonucu, 41 lt. LPG tankın toplam hacminde % 3.6 artış (Şekil 4.18 ve 4.19) elde edilmiştir.

Yorulma yükü çevrimine bağlı olarak, tank malzemesinin mekanik özelliklerindeki değişimler ölçülmüştür. Tank malzemesinin, akma dayanımında maksimum % 20, kopma dayanımı maksimum % 24 azalma, birim uzama değerinde ise yaklaşık % 15 azalma (Şekil 4.22, 4.23 ve Tablo 4.1) olduğu ölçülmüştür. Buna ilaveten, yorulma deneyi uygulaması sonucu, tankların yorulma hasarı, genel olarak tankın silindir gövdesinde bölgesinde, tank sacı ile kaynak birleşim bölgesinde (Şekil 4.25) oluşmuştur.

Yorulma deneyleri sonucu elde edilen bilgiler doğrultusunda yorulmanın hep sac-kaynak birleşim bölgesinde oluştuğu tespit edilmiştir. Kaynak bölgesinin tane yapısının tank malzemesinden farklı olması, kaynak işlemi sonrası kaynak bölgesinin soğuma hızı gibi nedenler yorulma hasarına etki etmiştir. Şekil 4.27'de yorulma bölgesinin kesilerek LPG tankından alınmış görüntüsünde LPG tank malzemesinde hasara neden olan çevresel gerilme olduğu görülüyor. Şekil 4.28'de ise Şekil 4.27'de gösterilen bölgenin 40 kat büyütülmüş görüntüsü yorulma deformasyonunu daha detaylı göstermektedir.

Öneriler

- LPG tanklarının malzeme mekanik özellikleri de göz önüne alınarak, LPG tanklarına ait Wöhler yorulma eğrileri çıkartılabilir.
- Bu çalışmada sadece 41 lt tank test edildi, aynı test 45, 60, ve 80 lt. hacimli tanklara da uygulanabilir.
- 52 tank yorulma deneyine tabi tutuldu, deney numunesini çoğaltmak sonuçları daha da hassaslaştırır.

KAYNAKLAR

[1] Kaptan , A., "Taşıt Lpg Tanklarının Bilgisayar Destekli Tasarımı Ve Gerilme Analizi", Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmit 3-16, (2006).

[2] Aksoley M. E., Ozcelik B. ,Bican İ., "Comparison of bursting pressure results of LPG tank using experimental and finite element method", **Journal of Hazardous Materials** 151 699–709, (2008).

[3] Giglio M., "Fatigue analysis of different types of pressure vessel nozzle" **International Journal of Pressure Vessels and Piping**, 1–8, (2003).

[4] Davison N., Edwards M.R. "Effects of fire on small commercial gas cylinders" **Engineering Failure Analysis** 15 (2008), 1000–1008, (2008).

[5] Mirzaei M., "Failure analysis of an exploded gas cylinder" **Engineering Failure Analysis** 15 820–834, (2008).

[6] Guerrero M.A., Betegón C. , Belzunce J. "Fracture analysis of a pressure vessel made of high strength steel" **Engineering Failure Analysis** Volume 15, Issue 3, , Pages, 208-219, (2008).

[7] Rauscher F., "Fatigue of non-welded pressure vessels made of high strength steel" **International Journal of Pressure Vessels and Piping** 80, 197–204, (2003).

[8] Jesus D., Ribeiro A., Fernandes A. S., "Code Based Fatigue Life Prediction of a Pressure Vessel and its Validation" **Proceedings of the Sixth International Conference on Biaxial/Multiaxial Fatigue & Fracture**, Volume 1. 363-370, (2001).

[9] Kisioglu, Y., "A New End-closure Design for DOT-4BA Propane Cylinders," **Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences**, 31, 189-197, (2007).

[10] ECE-R67, Acceptance of Pressurized LP Gas Fuel Supply Apparatus for Automobiles (Translated in Turkish 2001, Ankara, Turkey), **Ministry of International Trade and Industry, Economic Planning Agency**, The Netherlands, March 4, 1999.

[11] Otomotiv-Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG) Sistem Bileşenleri Yakıt Tankları. **Türk Standartları Enstitüsü**, TS 12095–1 EN 12805, (2004).

[12] **Erdemir Ürün Kataloğu**, LPG Tüp Çelikleri Teknik Özellikleri, DIN EN 10120-2008.

[13] Steplpg A.Ş.http://www.steplpg.com/proses.html **(ziyaret tarihi:10 eylül 2008).**

[14] Eskizeybek, V., "Paslanmaz Çelik Elyaf Takviyeli Alüminyum Kompozitlerde Yorulma Çatlak İlerlemesi", Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya 37-38, (2006).

[15] Ünlü, B. S. (2005). Bazı Metal Malzemelerin Yorulma Dayanımlarının Belirlenmesi.C. B. Ü. Müh. Fak. Makina Müh. Böl. **Metal Makina [SAYI 156].**

[16] Pektaş, S.H., "Fren Mekanizması Yorulma Testinin FEA Metoduyla Simulasyonu", Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir 34-42, (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Fuat KARTAL, 1981 yılında Konya'nın Ereğli ilçesinde doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Ereğli'de tamamladı. 2002 yılında Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde lisans öğrenimine başladı, 2006 yılında mezun oldu. 2006 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Makine Eğitimi Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2008 yılında Kastamonu Üniversitesi Kastamonu Meslek Yüksekokulu'nda Makine programına Öğretim Görevlisi olarak atandı. Çalışma alanı, CAD/CAE deneysel yorulma analizi, bilgisayar destekli tasarım ve analiz.