T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEĞİŞKEN BASINÇLARA MARUZ KALAN BİR VİDANJÖR TANKININ GEOMETRİK SÜREKSİZLİKLERİNİN MUKAVEMET ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Emel KESER

Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2022

Bu çalışma,Tarih girmek için burayı tıklatın. tarihinde aşağıdaki jüri tarafındanMakine Mühendisliği Anabilim Dalı,Makine Mühendisliği ProgramındaYüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. M.Hüsnü DİRİKOLUI(Danışman)
İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr.Recep BURKAN
İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr.Adnan TOPUZ
Bülent Ecevit Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin..... numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, ... numaralı ..... projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisansa başladığımdan beri gerek akademik katkıları gerekse hayata karşı duruşu ve önerileri ile hayatımda çok önemli bir yere sahip olan, mesleki gelişimime büyük katkılar sunan, tüm özverisiyle yüksek lisans sürecinin her aşamasında bana destek veren çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU'ya, özverisi ve heyecanıyla kendi çalışması gibi motive eden, titizliğine ve akademik bakış açısına güvendiğim sevgili kardeşim Öğr. Gör. Sibel ÖZDEMİR'e, yardımını ve desteğini yüksek lisans süresince benden esirgemeyen, sevgili arkadaşım Makine Mühendisi Hakan ÖĞÜCE'ye. Ayrıca Akın Export'a katkılarından dolayı teşekkür ederim. Hayatım boyunca beni maddi manevi her yönden destekleyen, bana cesaret veren ve her zaman yanımda olan çok kıymetli babam Erol CANİK'e, bu mesleği seçmemde katkısı büyük olan ve bana daima güç veren güzel kalpli annem Hediye CANİK'e, motivasyonumu her zaman yüksek tutan kardeşim Hüseyin CANİK'e teşekkür ederim. Yüksek lisansa başladığım günden beri desteğini hep hissettiren, beni yüreklendiren, yorulduğum zamanlarda yanımda olan eşim, hayat arkadaşım Fatih KESER'e, son olarak doğduğu günden beri kıymetli vaktinden almak zorunda kaldığım, sabırla beni bekleyen, özleyen kıymetli kızım Ayşe KESER'e ve canım oğlum Ali Poyraz KESER'e.

En içten teşekkürlerimi sunarım.

Tarih girmek için burayı tıklatın. Emel KESER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ..... **iv**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**

TABLO LİSTESİ ..... **ix**

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **x**

ÖZET ..... **xii**

SUMMARY ..... **xiii**

1. GİRİŞ **1**

1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 2

1.2. KONU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 2

2. GENEL KISIMLAR **5**

2.1. TANIMLAR 5

2.1.1. Basınç 5

2.1.2. Kap 5

2.1.3. Basınçlı Kap 5

2.1.4. Basınçlı Ekipman 5

2.1.5. Emniyet Aksesuarları 6

2.1.6. Basınç Düşürme Cihazları 6

2.1.7. İşaretlendirme 6

2.2. BASINÇLI KAP TÜRLERİ 7

2.3. BASINÇLI KAPLARA ETKİYEN YÜKLEMELER 7

2.4. BASINÇLI KAPLARDA İÇ VE DIŞ BASINCIN OLUŞTURDUĞU GERİLMELERİN ANALİZİ 8

2.5. BASINÇLI KAPLARDA MEYDANA GELEN KAZALARIN NEDENLERİ 9

2.5.1. Tasarım Hatası; 9

2.5.2. İşletme Hatası; 9

2.5.3. Emniyet, Kontrol ve Gösterge Cihazlarının Çalışmaması; 9
2.5.4. Korozyon; 9
2.5.5. Hatalı ve Yetersiz Bakım.....9
3. MALZEME VE YÖNTEM 10
3.1. MALZEME TANIMI.....10
3.2. MALZEMENİN SINIFLANDIRILMASI 10
3.3. MALZEME SEÇİMİ 13
3.4. SONLU ELEMANLAR METODU VE ANALİZİ 15
4. BULGULAR 18
4.1. SONLU ELEMAN ANALİZLERİ 20
4.2. ANALİTİK GERİLME HESABI 30
4.2.1. İNCE CİDARLI SİLİNDİRDEKİ GERİLMELER.....30
4.2.1.1. Açık Uçlu Silindir (Tek Eksenli Gerilme Hali) 31
4.2.1.2. Kapalı Uçlu Silindir (İki Eksenli Gerilme Hali) 32
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 35
KAYNAKLAR 38
EKLER ..... Error! Bookmark not defined.
ÖZGEÇMİŞ 41

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Basınç gösterimi…….... 5

Şekil 2.2: İşaretleme örnekleri …… 6

Şekil 3.1: Paslanmaz çelik……..…..... 12

Şekil 3.2: 316 Tipi paslanmaz çelik sac malzemenin gerilme-gerinim eğrisi……..... 15

Şekil 3.3: Von Mises kriteri gösterimi……..…. 18

Şekil 4.4: Vidanjör sistemi tankının katı modeli……..….. 19

Şekil 4.5: Tankın tasarım ve imalata esas Kabuk geometrisi……..…... 20

Şekil 4.6: Karşılaştırma için süreksizlik içermeyen tankın Kabuk geometrisi……..…. 20

Şekil 4.7: Deliksiz Tank Sonlu Eleman Ağları……..…. 21

Şekil 4.8: Delikli Tank Sonlu Eleman Ağları…….… 22

Şekil 4.9: Deliksiz Tanktaki -1 Bar Vakum Yüklemesi ile Simetrik ve Sabit Mesnetler…... 22

Şekil 4.10: Deliksiz Tanktaki +4 Bar İç Basınç Yüklemesi ile Simetrik ve Sabit Mesnetler. 23

Şekil 4.11: Delikli Tanktaki -1 Bar Vakum Yüklemesi ile Simetrik ve Sabit Mesnetler….... 23

Şekil 4.12: Delikli Tanktaki +4 Bar İç Basınç Yüklemesi ile Simetrik ve Sabit Mesnetler... 24

Şekil 4.13: Deliksiz Tank +4 Bar İç Basınç Yüklemesi ile Sonlu Eleman Analizi

(4.13a) Deliksiz Tank Von Mises Eşdeğer Gerilmesi…….… 24

(4.13b) Deliksiz Tank Deformasyonu…….… 25

Şekil 4.14: Deliksiz Tank -1 Bar Vakum Yüklemesi ile Sonlu Eleman Analizi

(4.14a) Deliksiz Tank Von Mises Eşdeğer Gerilmesi…….… 26

(4.14b) Deliksiz Tank Deformasyonu…….… 26

Şekil 4.15: Delikli Tank 4 Bar İç Basınç Yüklemesi ile Sonlu Eleman Analizi

(4.15a) Delikli Tank VonMises Gerilmesi……. 27

(4.15b) Delikli Tank Şekil Değiştirmesi……...… 27

Şekil 4.16: Delikli Tank -1 Bar Vakum Yüklemesi ile Sonlu Eleman Analizi

(4.16a) Delikli Tank Von Mises Eşdeğer Gerilmesi……..…. 28

(4.16b) Delikli Tank Deformasyonu……..…. 29

Şekil 4.17: 4 Bar İç Basınç Yüklemesi ile İç Başlık Nonlineer Plastik Analizi

(4.17a) İç Başlık Plastik Eşdeğer Gerilmesi……..….. 30

(4.17b) İç Başlık Plastik Şekil Değiştirmesi……..….. 30

Şekil 4.18: İç basıncın etkisindeki bir silindirin kesitinde meydana gelen gerilmeler…...… 32

Şekil 4.19: İç basıncın etkisindeki ince cidarlı silindir yüzeyinde meydana gelen düzlem gerilme hali……..... 32

Şekil 4.20: Açık ve kapalı uçlu silindir kesitleri……..…..… 33

(4.20a) Açık Uçlu Silindir **(4.20b)** Kapalı Uçlu Silindir

Şekil 4.21: Takviye halkası etkisinin ihmal edildiği Elastisite teorisine dayanan Analitik gerilme analizi

(4.21a) Deliksiz tank yüzeyindeki gerilme hali …….……..…. 35

(4.21b) Delikli Tank yüzeyindeki şamandıra girişi deliğinin teğetsel ve uzunlamasına doğrultulardaki yoğunlaşmış gerilme hali……..…..… 35

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Sanayide yaygın olarak bulunan basınçlı kaplar…….…….. 7

Tablo 3.1: Östenitik paslanmaz çelikler……..……...… 13

Tablo 3.2: Malzeme seçimine genel yaklaşım……...… 14

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
F	: Kuvvet
A	: Alan
P	: Basınç
t	: Cidar (et) kalınlığı
r	: Üçüncü eksen
d	: Çap
C	: Karbon
Ni	: Nikel
Al	: Alüminyum
σ_{mak}	: Maksimum Gerilme
$\sigma_{eş}$	: Eşdeğer Gerilmesi
σ_{ak}	: Akma Gerilmesi
σ_{E}	: Eksenel Gerilme
σ_{T}	: Teğetsel Gerime
σ_{n}	: Nominal Gerilme
β_{k}	: Çentik Faktörü

Kısaltmalar	Açıklama
SEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
SEA	: Sonlu Elemanlar Analizi
FEM	: Finite Element Analysis
ASME	: American Society of Mechanical Engineering
CE	: European Conformity
Pa	: Pascal
ADR	: Accord Dangereux Routier / European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road / Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşması

ASTM : American Society for Testing and Materials

3D : Üç boyut

2D : İki boyut

CAD : Computer Aided Design

CAM : Computer Aided Manufacturing

TSE : Türk Standartları Enstitüsü

ÖZET

DEĞİŞKEN BASINÇLARA MARUZ KALAN BİR VİDANJÖR TANKININ GEOMETRİK SÜREKSİZLİKLERİNİN MUKAVEMET ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emel KESER

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman :Prof. Dr.M. Hüsnü DİRİKOLU

Vidanjör sistemi denen bir kamyon üstü atık bertaraf tankının üzerinde nozul, şamandıra girişi, vana bağlantı delikleri, adam girişi vb. konstrüksiyon süreksizlikleri bulunur. Bu süreksizlikler gerilme yoğunlaşmalarına sebebiyet vererek tankın yapısal performansına menfi etkide bulunur. Bu tez çalışmasında, söz konusu menfi etkilerin düzeyini ortaya çıkarmak ve böylece bu geometrik süreksizlikleri içeren ve -1 Bar ve +4 Bar basınç aralığında çalışacak bir sistemin, Avrupa ADR standardının mukavemet isterlerini karşılayacak nitelikteki tasarım iyileştirmelerinin yapılması hedeflenmektedir.

Tarih girmek için burayı tıklatın., ...sayfa.

Anahtar kelimeler: Vidanjör Sistemi, ADR, Gerilme Yoğunlaşması, Basınçlı Tank.

SUMMARY

EFFECTS OF GEOMETRIC DISCONTINUITIES ON THE STRENGTH OF A SEWAGE TANKER EXPOSED TO VARIABLE PRESSURES

M.Sc. THESIS

Emel KESER

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Mechanical Engineering

Supervisor :Prof. Dr.M.Hüsnü DİRİKOLU

There are construction discontinuities such as nozzles, float inlets, valve connection holes, man inlet, etc. on a truck-mounted waste disposal tank called a vacuum system. These discontinuities cause stress concentrations, which adversely affect the structural performance of the tank. In this thesis, it is aimed to reveal the level of negative effects in question and thus to make design improvements to meet the strength requirements of the European ADR standard of this system, which includes these geometric discontinuities and will operate in the pressure range of -1 Bar and +4 Bar.

Tarih girmek için burayı tıklatın.,.....pages.

Keywords: Sewage Disposal, ADR, Stress Concentration, Pressure Vessel

1. GİRİŞ

Vidanjör, emme borusu ile santrifüj pompadan oluşan ve şehirlerdeki atık su tıkanıklarını açan veya foseptik kuyularda biriken atıkların bertarafını sağlayan araç üstü sistemlerdir. Vidanjör tankı basınçlı kap olarak değerlendirilir. TSE'ye göre, "Basınçlı kap, 101.325 Pa (≈1 atü ≈ 1,03 Bar) ve daha yüksek üst basınçlı sıvı ve gazların üretiminde, taşınmasında ya da depolanmasında kullanılan küre, silindir biçimli veya küre, silindir ya da koni biçimli hacimlerin birleştirilmesinden oluşan atmosfere kapalı kaplardır"[1-3].

Basınçlı kaplar, kullanımları sırasında insan sağlığını ve güvenliğini tehlikeye atacak bazı sorunlara sebep olabilirler. Bu yüzden olabilecek sorunlar kullanımdan önce belirlenip giderilmelidir. Bu sebeple, basınçlı kap tasarımında detaylı ve dikkatli bir analiz yapılmalıdır. Sisteme etki edebilecek tüm yükler doğru bir şekilde tespit edilmeli ve hesaplamalar yapılırken dikkate alınmalıdır.

İçsel ve dışsal basınçlı kaba etki eden bütün kuvvetler "tasarım yükü" diye adlandırılır. Tasarım işlemine başlamadan önce, basınçlı kabın gerçek tasarım yükleri bilinmelidir. Belirlenen yüklerle sistemdeki etkisine bakılmalıdır. Bu araştırmalar yapılırken deneysel sonuçlar, teorik yaklaşımlar ve geliştirilmiş standartlar dikkate alınmalıdır.

Tehlikeli madde taşıma sektöründeki araç üstü depolama grubuna dâhildir basınçlı kaplar. Bu tez kapsamında, araç üstü depolama, kontrol ekipmanları üreten ve bu işleri tehlikeli madde taşıma sektörüne yönelik yapan firmalar, bazı geometrik sınırlandırmalarla ortaya çıkan sistemin ilk katı modelinin belirli standartlara uygun olup olmadığını doğrulamak durumundadır. Bunun için ise, sistem ile ilgilenen firmalar standartlara uygun hesaplama tabloları kullanmakta ve sonra imalatı yapılan sistemin gerçek çalışma koşullarındaki testlerine başvurmaktadır. Eğer testler başarısız olursa, elde bulunan prototip ıskartaya çıkmakta ve sonuçta takip edilen tasarım aşaması fazla maliyet çıkarmaktadır. Bu yüzden bu tez çalışmasında yeni bir tasarım stratejisi araştırılmıştır. Bu strateji tasarım maliyetlerini düşürmeli ve ADR standardının son versiyonların da depolama sistemlerine akuple edilmesi istenen ilave kaynaklı parçalar, fittings ve valfleri de hesaba katarak mekanik tasarımı yapmalıdır. Tankın üzerindeki süreksizlikler ve çentiklerin mukavemete etkisi araştırılacak ve aşamalı şekilde analizleri yapılacaktır. Güncel ADR standardı, mevcut bilimsel literatür ve tez

kapsamında yapılacak araştırmalar neticesinde geliştirilecek SEM modeline dayalı yeni bir Ar-Ge tasarım ve imalat yaklaşımı üzerinde çalışmalar yapılacaktır.

1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde kayıtlı ilk basınçlı makine çalışması Ebû'l İz İsmail İbni Rezzaz El Cezerî (d. 1136-ö. 1206. Cizre) tarafından yapılmış ve Cezeri'den etkilenen Leonardo da Vinci de 1495 yılında bir basınçlı kap geliştirmiştir. Basınçlı kapların kullanımı 1800'lü yıllarda sanayi devrimi zamanında yaygın bir hal almıştır.

1.2. KONU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Basınçlı kaplarla ilgili olarak, literatür de birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlar arasında, A. Balcı, basınçlı kabın kullanılacağı ortama bakarak en iyi malzeme ve yer seçimini kararlaştırabilecek MATSEL adlı bir karar destek sistemi geliştirmiştir [4].

Sancaklı ve Azeloğlu ise, ASME 8-2 (2015) ve EN 13445 (2002) standartlarına bakılarak iç basıncın etkisindeki başlık, gövde, nozul ve açıklıkların tasarımlarıyla ilgili bilgi vermiş ve bir hava tankının tasarımı bu standartlara göre yapmıştır[5].

F. Babaoğlu'nun çalışmasında, üretim standartları, tanklarda üretim yöntemleri, tasarım hesaplamaları, tasarım kriterleri, standart basınç testlerinin teorik ve bilgisayar ortamında analizi işlenmiştir. Yani bu çalışmada; silindirik tankların nasıl aşamalardan sonra üretildiği, standartta belirtilen testlerin kapsamı ve tasarımın ne şekilde yapıldığı, test sonuçları ile ortaya çıkan değerlerin bilgisayardaki analizler ile kıyaslanarak prototip üretimi oldukça zor ve yüksek maliyete sahip tankların hangi kriterlerle üretildiği hususlarında bilgiler sunmaktadır [6].

M.Q. Naser ve K.S. Gupta, contalı bir basınçlı kaptaki yapısal ve termal gerilmeleri ANSYS programıyla hesaplanmıştır [7].

F. Mestan tarafından yapılan çalışmada, iç basınca ilave olarak eksenel simetrik yüklemeye maruz silindirik bir basınçlı kabın tasarımı gerçekleştirilmiştir [8].

Preiss ve Zemanise, aynı girdi verilerine dayanarak bir basınçlı kabın ASME 8-1, ASME 8-2, EN 13445'e dayalı tasarımlarını karşılaştırmıştır [9].

O. Tekik'in çalışmasında basınçlı kaplardan, basınçlı kapların sebep olabileceği iş sağlığı ve güvenliği tehlikelerinden, kapların çeşitlerinden, basınçlı kapların periyodik kontrollerinden ve özellikle basınçlı kapların kontrol teknikleri üzerinde durmuştur [10].

H.Barthélémy makalesinde, kompozit tank uygulamalarındaki gelişmelere ve kompozit basınçlı kapların sınıflandırmasına değinmiştir [11].

İsmail Sancaklı çalışmasında, basınçlı kapların güvenlik kriterlerine yoğunlaşmıştır [12].

S. Bozkurt'un çalışmasında, cam elyaf/epoksi, karbon elyaf/epoksi ve kevlar elyaf/epoksi farklı kompozit malzemeleri, basınçlı kap analizi ve Filament Sarım ile Santrafüj ile üretimine odaklanmıştır. Solidworks program yardımıyla katı modelleme ve Ansys Workbench 14.0 programı aracılığıyla, sonlu elemanlar analizi gerçekleştirmiştir [13].

Guruchannabasavaiah N G, P. Shanmugam ve Arun L R' nin çalışmalarında basınçlı kapta farklı conta geometrilerinin lineer olmayan şekil değişimlerini analiz etmişlerdir [14].

D.R.Moss'un Basınçlı Kap Tasarımı El Kitabı adlı çalışmasında, basınçlı kapların tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar ve tasarım için kullanılan hesaplar anlatılmıştır [15].

Altınbalık ve Kabak, çalışmalarında, maliyet ve ağırlık analiziyle basınçlı kap çeliği olan P275 GH yerine paslanmaz çelik kullanımını hakkında bilgiler vermişlerdir. Çalışmada AD 2000 basınçlı kaplar standardına göre tabaka kalınlığı bulunmuştur16].

H. E. Uztuğ, basınçlı kaplardan kazanlar hakkında detaylı bilgiler vermiştir [17].

Geren ve Tunç çalışmalarında basınçlı kaplarda kırılma mekaniği analizleri gerçekleştirmişlerdir [18].

R. Mukherjee çalışmasında basınçlı kaplarda kompozit kullanımı hakkında bilgiler vermiştir [19].

Sayılgan [20] ve Sancaklı [21] ayrı ayrı çalışmalarında çeşitli standartlara göre basınçlı kapların tasarımını karşılaştırmıştır.

Bu tez çalışmasında ise AD 2000 W2-W10, EN 10028-7:2016 ve ASTM A240/A240M standartlarını karşılayan Vidanjör sisteminin süreksizlikler içeren çift bölmeli bir basınçlı tankın tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarım da X5CrNiMo17-12-2 / 1.4401 / 316 tipi Östenitik paslanmaz çelik sac kullanılmış olup, basınç yüklemesi -1 Bar ve +4 Bar aralığında tutulmuştur. Analizler Mukavemet ve SEM yaklaşımlarına göre Doğrusal Elastik malzeme modeli kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra bu iki yaklaşımın sağladığı basınçlı kap Gerilme, Gerinim ve Şekil Değiştirme değerleri süreksizlik içeren ve içermeyen haller için karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde genel bilgiler, üçüncü bölümde malzeme ve yöntem, dördüncü bölümde bulgular ve son olarak beşinci bölümde ise tartışma ve sonuç kısımları yer almaktadır.

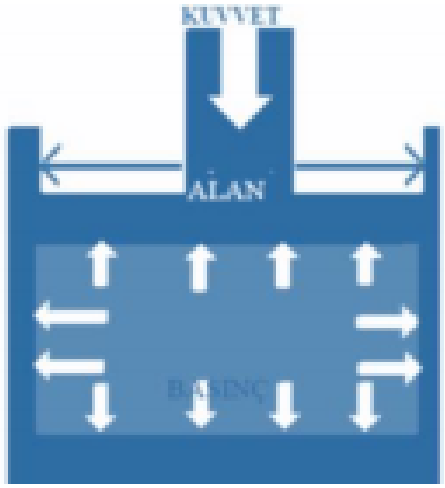
2. GENEL KISIMLAR

2.1. TANIMLAR

Basınçlı kaplarla ilgili kavramların tanımları aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır.

2.1.1. Basınç

Basınç, Şekil 2.1' de gösterildiği üzere birim yüzeye etkiyen dik kuvvetin oranı şeklinde tanımlanabilir ve birimi Pascal (Pa), Atmosfer (Atm, Atü), Bar, Torr veya Milimetre Cıva Yüksekliği (mm.Hg) cinsinden verilebilir.



Şekil 2.1: Basınç gösterimi [22].

2.1.2. Kap

Akışkanla doldurulmak amacıyla tasarlanıp, imal edilmiş haznelere denmektedir ve birden fazla hazneye sahip olabilir bir kap.

2.1.3. Basınçlı Kap

İç veya dış basınç değeri 1Bar'dan büyük olan bütün kapları kapsamaktadır.

2.1.4. Basınçlı Ekipman

Her çeşit basınçlı kapla ilgili nozul, kaplin, desteklemeler, flanş, kaldırma mapası vb. emniyet donanımları, dolum donanımı ve basınçlı aksesuarları içerir.

2.1.5. Emniyet Aksesuarları

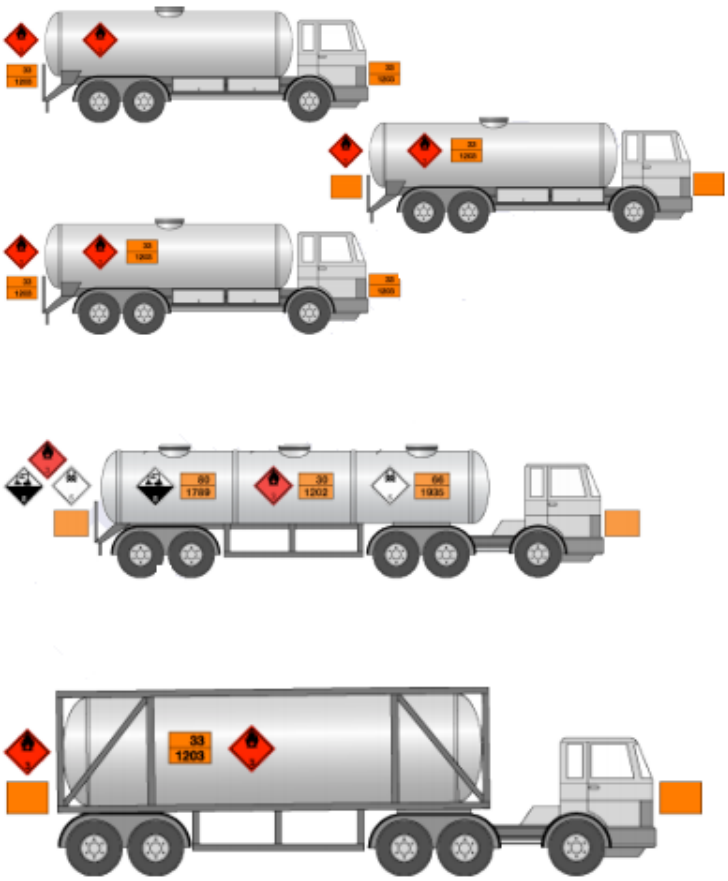
İşletilmesini emniyetle sağlamak için basınçlı kaplarda kullanılan cihazlardır.

2.1.6. Basınç Düşürme Cihazları

Belirlenen basınç sınırı geçildiğinde aktif duruma geçerek basıncı limitin altında kalacak şekilde veya tamamen düşürmeye yarayan Emniyet valfleri ve Bel verme çubukları gibi cihazlardır[23, 24].

2.1.7. İşaretlendirme

Tehlikeli madde taşımacılığında kullanılan bütün araçlarda, tehlike durumunu gösteren turuncu renginde reflektörlü levhalar bulunması gerekmektedir.



Şekil 2.2: İşaretleme örnekleri

2.2. BASINÇLI KAP TÜRLERİ

Sanayide kullanılması yaygın olan basınçlı kaplar Tablo 2.1' de gösterilmiştir [23].

Tablo 2.1: Sanayide yaygın olarak bulunan basınçlı kaplar

Kazan	Kompresör	Hidrofor
"Pnömatik Akışkan Devreleri"	"Hidrolik Akışkan Devreleri"	"Otoklavlar"
"Gaz Tüpleri"	"Sinai Gaz Tankları"	"Boru Hatları"
"LPG Tankları"	"Kriyojenik Tanklar"	"Hava Tankları"

2.3. BASINÇLI KAPLARA ETKİYEN YÜKLEMELER

2.3.1. Tasarım Basıncı, basınçlı kapların tasarımındaki esas öğelerdendir. Sadece iç basıncın etkisinde olan basınçlı kapların tasarımında tasarımın basıncı sadece iç basınç, sadece dış basınç etkisinde olan basınçlı kapların tasarımında tasarımın basıncı sadece dış basınç, iç ile dış basınçların etkisinde olan basınçlı kapların tasarımında ise iki basınç farkı tasarım basıncına denktir.

2.3.2. Rüzgâr, değişik hızlarda meydana gelen çok türbülanslı bir akış olayıdır. Yatay yön (yeryüzüne paralel) şeklinde dikkate alınır. Yükseklere çıktıkça artmaktadır ve yer yüzeyindeki sürtünme rüzgâr hızını etkiler[25].

2.3.3. Tasarım Sıcaklığı, doğrudan bir tasarım yükü olarak değerlendirilmez. Genelde çevrenin sisteme etkilerinin incelenmesinde dikkate alınan bir durumdur. Yüksek değerdeki sıcaklıklarda kullanılan kaplardaki sıcaklık farkı, kabın üstünde sıcaklık değişimine sebep olur. Bundan dolayı da ısıl gerilmeler meydana gelmektedir. Tasarıma daha uygun olan malzemeleri (termal genleşmesi düşük) kullanarak ısıl gerilmeleri minimuma indirmek mümkündür. Fakat her şekilde termal gerilmeler değerlendirilerek toplam gerilmelere eklenmelidir.

2.3.4. Statik veya Dinamik Yükleme, basınçlı kap sisteminde olan yüklerden farklı olarak, harici statik veya dinamik yüklemeler söz konusu ise, bunlarda toplam tasarım yüküne eklenmelidir. Basınçlı kapların taşınması durumunda, yani bir yerden başka yere taşıma

durumunda kısa süreli ya da uzun süreli, statik ya da dinamik hareketlenmelerin sebep olacağı yüklerde dikkate alınmalıdır.

2.3.5. Ağırlık (Ölü yükler), bağlantı elemanları ve basınç kabının sahip olduğu ağırlıkların sebep olduğu yüklerdir. Basınçlı kaplara bir yükleme olmadan ve bağlantı elemanı takılmadan oluşan yüke boş ölü yük değeri denilmektedir. Basınçlı kap yüklenme durumundaysa eğer, yük değerine operasyonel ölü yük değeri denilmektedir[2].

2.3.6. Titreşimler, rüzgârdan dolayı basınçlı kaplarda meydana gelen doğal titreşimler malzemenin yorulmasına sebep olacağından, titreşim belirli bir sınır aralığında olmalıdır.

2.4. BASINÇLI KAPLARDA İÇ VE DIŞ BASINCIN OLUŞTURDUĞU GERİLMELERİN ANALİZİ

Basınçlı kap tasarımında kullanılan standart esaslı hesaplamalardan bazıları: Lame bağıntıları; Amerikan ASME Kısım VIII, Bölüm 1, 2 veya 3; Alman AD Merkblatt; Fransız CODAP; TSE şeklinde sıralanabilir.

Belirlenen kodlarla tasarım ve imalatı yapılan basınçlı kaplardaki iş paylaşımı şu şekildedir:

• İlave sıcaklık, ortam şartları ve statik veya dinamik yüklemeler gibi tasarıma uygun olmayan kullanım şekillerinin sebep olacağı zararlar kullanıcının sorumluluğundadır.

• Basınçlı kabın mukavemeti, bütün tasarım sınırlarını belirleyen, tüm zorunlu hesaplamaları gerçekleştiren tasarımcının sorumluluğu altındadır.

• Son olarak gereken ultrasonik, çarpma ile kaynak muayenesi gibi sağlamlık denetlemeleri imalatı gerçekleştirenlerin yükümlülüğündedir.

Sonuç olarak tasarımcı tasarlayacağı basınçlı kabın tasarımındaki yüklerinin hesaplarını yaptıktan sonra ve bu tasarım yüklerin sebep olacağı tasarım gerilmelerini hesapladıktan sonra, gerilmeleri türlerine göre sınıflandırmalıdır. Sınıflandırma yapılırken mekanik yüklerin sebep olduğu gerilmeler birincil gerilmeler diye, diğer yüklemelerin sebep olduğu gerilmelere ise ikincil gerilmeler olarak sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırmanın bu şekilde olması hesaplama işlemlerini kolaylaştırmaktadır.

2.5. BASINÇLI KAPLARDA MEYDANA GELEN KAZALARIN NEDENLERİ

2.5.1. Tasarım Hatası; tasarlanacak basınçlı kaplar daha önce belirtilen bu konudaki yönetmelik, standart ile tasarım kodlarına göre imalatının gerçekleşmesi gerekmektedir.

2.5.2. İşletme Hatası; imalat amacı için kullanılmaması, çalışması için müsait olmayan yerde olması ve uygun olmayan şekilde kullanılması, eğitimi olmayan ya da yetkisi olmayan kişiler tarafından kullanılması kaza sebeplerinden biridir.

2.5.3. Emniyet, Kontrol ve Gösterge Cihazlarının Çalışmaması; kapların kullanımı için standartlarda belirtilen gerekli olan emniyet, gösterge ve kontrol cihazları ile donatılmalıdır ve bu cihazlar basınçlı kaba uygun boyutta olmalı ve montajının da uygun yapılması gerekmektedir[26].

2.5.4. Korozyon; tanklar, kullanma amaçları dikkate alınarak, korozyona karşı gerekli şekilde korunmuş olmalıdır. Alüminyum tankların bu gibi bir duruma yani korozyon ve korozyon payına karşı korunmasına gerek olmaz fakat çeliklerin korozyona karşı korumak gereklidir bu yüzden güvenilir ve dayanıklı olan bir iç kaplama gerekmektedir ya da tankın ömrü boyunca korozyon olma durumunun beklenmediği durumlar hariç 0.5 mm' den az olmaması gereken bir korozyon payı belirlenmek durumundadır[27].

2.5.5. Hatalı ve Yetersiz Bakım; gerekli olduğu durumlarda ekipmanlara yapılan tadilat, bakım, revizyon, vs. gibi durumlar üretim sürecini aksatmamalıdır bu yüzden en kısa sürede halledilmelidir. Bu gibi durumlar genellikle standarda ve projeye uyulmadan gerçekleşen üretimden dolayı olur ve bu da hatalı bir işlemdir. Bakımlar düzenli olarak gerçekleştirilmelidir ve bakımlar eğitimli kişiler tarafından yapılmalıdır[26].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MALZEME TANIMI

Genel olarak kendisine özgünlük kazandıran niteliklere sahip olan ve ona göre kategorize edilebilen madde malzeme olarak adlandırılır. Teknik olarak da malzeme, mühendislik tasarımlarının somutlaştırılması için gerekli olan maddelerdir. Malzemelerin oluşma şekli farklı düzenlerdeki atomların birleşmesiyle meydana gelir. Malzemeler bu birleşme şekillerine göre sınıflandırılırlar. Örneğin; metaller, seramikler, polimerler ya da yarı iletkenler gibi. Malzemelerin mekanik, ısıl, akış, manyetik, yalıtkanlık, optik vb. davranışları atom yapısına ve atomik bağlarına göre belirlenmektedir [28].

3.2. MALZEMENİN SINIFLANDIRILMASI

Sınıflandırılma çeşitli şekillerde yapılabilir. Mühendislik açısından en uygunu aşağıdaki gibidir.

1) “Metaller”
2) “Seramikler”
3) “Polimerler”
4) “Kompozitler”
5) “Yarı iletkenler”
6) “Akıllı ve Zeki”

Bu tez çalışması kapsamında seçilecek malzeme türü metal ve alaşımlarını kapsamaktadır.

Metaller ve Alaşımları

Mühendislikte en çok kullanılan malzemeler metaller ve alaşımlardır. Türk standartlarına göre seçilecek malzememiz ise demir esaslı alaşımlardır.

Demir Esaslı Mühendislik Malzemeleri

Demir esaslı malzemeler de kendi içerisinde çelik ve dökme demir olarak sınıflandırılır ve bu demir esaslı alaşımların en az %70 'i demir içermektedir.

Çeliklerin karbon içeriği, %C→0,1 – 2,0
Dökme demirlerin karbon içeriği, %C→2,2–3,5 değerlerine sahiptir.

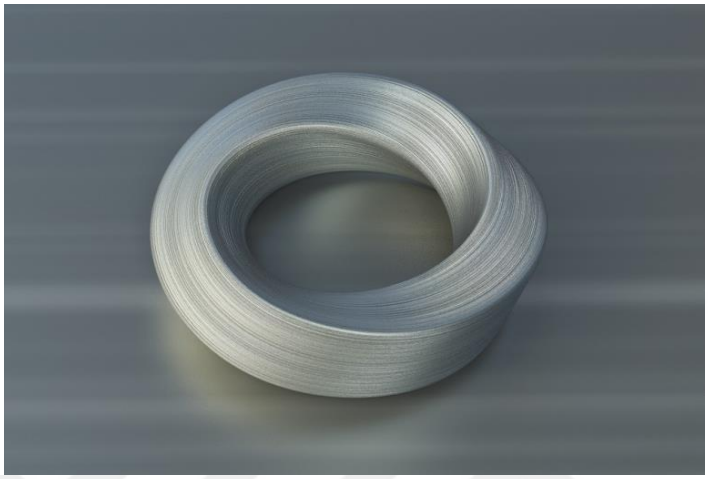
Çelikler

Fe – C alaşımlarıdır. Çelik türleri şunlardır:

- "Yapı Çelikleri"
- "Islah Çelikleri"
- "Sementasyon Çelikleri"
- "Nitrürasyon Çelikleri"
- "Otomat Çelikleri"
- "Paslanmaz Çelikler"
- "Yay Çelikleri"
- "Cıvata Çelikleri"
- "Yüksek Sıcaklık Çelikleri"
- "Düşük Sıcaklık Çelikleri"
- "Supap Çelikleri"
- "Takım Çelikleri"
- "Rulman Çelikleri"
- "Elektrik Çelikleri"
- "Ostenitik Çelikler"
- "Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşımlı Çelikler"
- "Mararing Çelikleri"
- "Süperalaşımlar"
- "Dökme Çelikler"

Paslanmaz Çelikler: Cr ve Ni içeren çeliklerdir. Paslanmaya, yıpranmaya ve lekelenme gibi durumlar dirençli olan tür paslanmaz çeliklerdir. Bu özelliği malzemeye kazandıran ise en az %10 oranındaki Krom ilavesidir. Krom-Oksit tabakası Krom'un yeterli olduğu durumlarda

oluşur ve gözle görülemeyecek kadar ince bir tabakadır bunun sayesinde de hava malzemeye ulaşamaz ve yıpranma olayının içe ulaşması engellenir. Bu tabaka çizilse dahi kolay bir şekilde yeniden oluşturulabilir bu da uzun ömürlü bir malzeme sağlar ve geri dönüştürülebilir olur paslanmaz çelik [30].



Şekil 3.1: Paslanmaz çelik

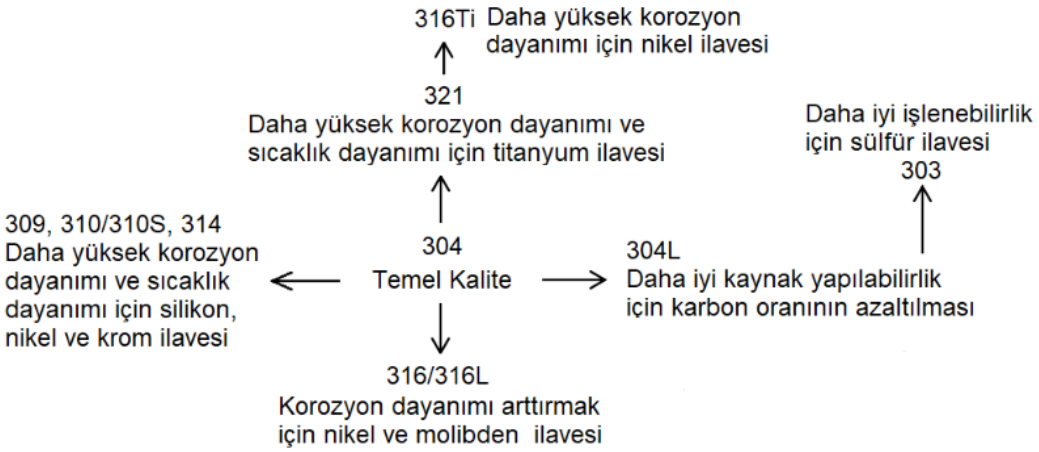
Paslanmaz çelik kendi arasında sınıflara ayrılır. Bunlar: Ferritik, Östenitik, Martenzitik Dubleks ve Çökelme Sertleşmeli paslanmaz çeliklerdir.

Östenitik Paslanmaz Çelikler: En yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelik türüdür. Bu türün kullanım alanı diğer iki türün kullanım alanlarının toplamından daha fazladır. Bu östenitik yapıdaki çelikler ısıl işlemlerle sertleştirilmeyi önler. Bu östenitik yapı; mangan, nikel, nitrojen(azot) gibi elementler sayesinde korunur.

Östenitik paslanmaz çeliklerin içerdiği karbon oranı düşük olduğundan dolayı ısıl işlem almazlar. Esnek yapıya sahiptirler, teoride mıknatıslanma olmaz yani manyetik değillerdir ama pratik olarak az da olsa malzemeleri çeker. Şekillendirilebilmeleri iyidir ve korozyona dayanımları da aynı şekilde iyidir.

300 serisi ve 200 serisi diye adlandırılan kalitelere ayrılır.300 serisinden yaygın olarak kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerden bazıları şunlardır; 304, 304L, 316, 316L ve 303. Kalite isimlendirilmesinde yanında bulunan ‘L’ harfi İngilizce “Low” yani “Low Carbon” kısaltılmasıdır yani malzemenin düşük karbonlu olduğunu belirtir.
Aşağıdaki tabloda farklı kalitelere sahip malzemelere, hangi elementlerin eklenerek, hangi özelliklerinin geliştirildiği, değiştirildiği hakkında bilgi verilmiştir[31].

Tablo 3.1: Östenitik paslanmaz çelikler



3.3. MALZEME SEÇİMİ

Malzemeye karar verirken dikkat edilecek unsurlar Tablo 3.2' de gösterilmiştir. Bu kriterler genel bir değerlendirmedir ve her malzeme için bu unsurların hepsi teker teker incelenmez, hangisi malzeme için gerekliyse o incelenmektedir[32].

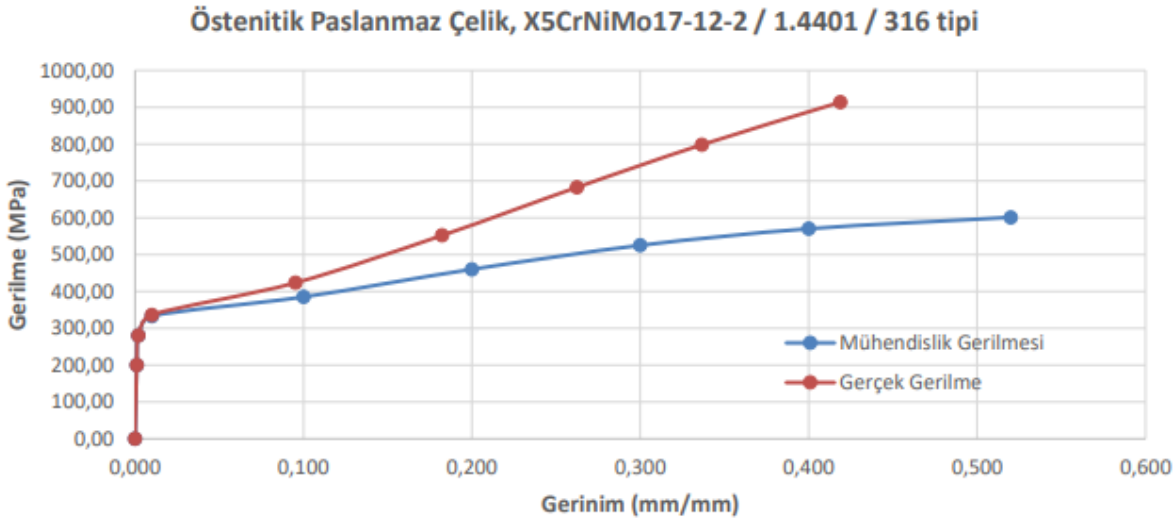
Tablo 3.2: Malzeme seçimine genel yaklaşım

Sıra	Kriterler
1	"Mukavemet"
2	"Süneklik"
3	"Kararlılık"
4	"İmal edilebilirlik"
5	"Elde edilebilirlik"
6	"Korozyon direnci"
7	"Yorulma Ömrü"
8	"Maliyet"

Basınçlı kaplar da en çok kullanılan malzeme çeşidi karbonlu çeliklerdir. Karbonlu çelikler dışında özel durumlarda demir dışı malzemeler (Ni, Al, v.b.), östenitik çelikler ile ferritik çelikler de tercih edilmektedir [33].

Vidanjör tankımız da (basınçlı kap) malzememizi seçerken AD 2000 W2, W10 & EN 10028-7:2016 ASTM A240/A240M standartlarını karşılayan X5CrNiMo17-12-2 / 1.4401 / 316 tipi Östenitik paslanmaz çelik sactır. Bizde analizlerimizde tank geometrimize standartlara göre seçilen malzememizi uygulayarak analiz sonuçlarımızı inceledik.

Bu malzemenin mühendislik ve gerçek gerilme-şekil değiştirme davranışı Şekil 6'daki grafikte gösterilmektedir. Malzemenin %0,2 akma mukavemeti 280 MPa, %1 pekleşme geçiş mukavemeti 333 MPa, Çekme Mukavemeti 601 MPa, Elastisite Modülü 200 GPa, Poisson Oranı 0,28, % Uzaması %52 ve % Alan Daralması %51 olarak verilmiştir. Bu verilere bakarak, seçilen düşük karbonlu-yüksek alaşımlı paslanmaz çelik malzemenin oldukça sünek olduğu anlaşılmaktadır. Vidanjör tankının tasarımında temel alınan kriter, ADR standartlarının gerektirdiği basınç yüklemeleri etkisinde seçilen malzemenin pekleşme civarı bölgeye kadar zorlanması şeklinde alınmıştır.



Şekil 3.2: 316 Tipi paslanmaz çelik sac malzemenin gerilme-gerinim eğrisi

3.4. SONLU ELEMANLAR METODU VE ANALİZİ

Bir makine elemanı için mukavemet analizi yapılırken, makine elemanına yük etki ettiğinde gösterdiği performansa bakılır. İstenen performansın olması için de gerekli tasarım boyutu ve malzeme seçiminin uygunluğu kontrol edilir. Analiz sonucunda ise boyutlandırılmış bir tasarım makine elemanında meydana gelebilecek gerilmeler ve yer değiştirmeleri hesaplayıp tasarım uygunluğuna bakılır. Bu işlemler için, gelişen sonlu elemanlar metodu kullanılarak analizler yapılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanan yazılımlar sayesinde karmaşık geometrilere sahip olan parçaların mukavemet analizleri nümerik olarak yapılabilmektedir.

Sonlu elemanlar analizi (SEA) uygulamak için kullanılan metot, sonlu elemanlar metodu (SEM) olarak adlandırılan sayısal yöntemdir. Çözümü karmaşık olan problemlerin sonlu sayıda basite indirgeyerek alt tabakalara ayıran teker teker çözüp daha sonra toplayarak hesaplayan bir analiz sistemi olarak bilinir. Bu analiz sayesinde, ısı transferi analizleri, akışkanlar mekaniği analizleri, yapısal analizleri ve daha birçok mühendislikte karşılaştığımız birçok problemi çözüme ulaştırırız. Gelişen teknolojiyle birlikte hayatımızdaki bilgisayarın kullanımı daha da yaygınlaştığı için bu sonlu elemanlar metodu yöntemiyle analiz yapan program sayısı artmaktadır. Birçok bilim insanları ve mühendisler bu analiz programlarını çoğunlukla kullanmaktadırlar. Bu programlar sayesinde 3 boyutlu olarak tasarlanan parçalar üretime geçmeden önce gerekli olan analizler yapılarak olabilecek problemler tespit edilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu analizde ise, süreksizlik içeren ve içermeyen vidanjördeki farklı basınç durumlarındaki toplam deformasyon, Von Mises eşdeğer gerilme, maksimum gerilme, iç başlık plastik eşdeğer gerilmesi ve iç başlık plastik şekil değiştirme değerleri için yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kullandığımız yazılımın adı Solidworks Simulation Premium® paket programıdır.

SolidWorks; basit, hızlı, aktif bir şekilde 2D ile 3D katı modelleri oluşturmak için kullanılan CAD yazılım programıdır. Kendine özgü bir yapı oluşturarak, özgün olarak hedeflerine ulaşmak amaçlanmıştır. Windows işletim sistemiyle çalışan ilk 3D programı olarak anılmaktadır. Solidworks Simulation Premium ile analiz yapılırken ise, analiz olacak parçaların programdaki gerekli veriler girilerek statik analizi yapılabilmektedir. Analiz sonucundaki parça üzerinde oluşan renk skalaları belli ifadeleri anlatmaktadır. Von Mises e

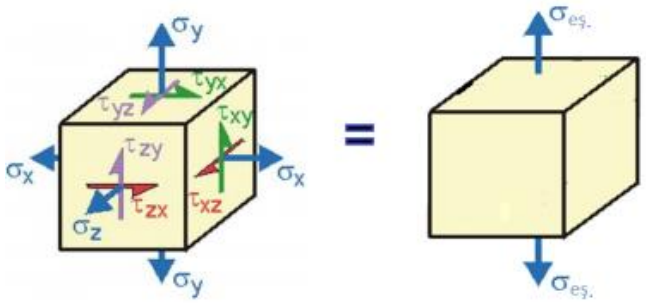
göre kırmızı renk, parçaya uygulanmış olan kuvvet, basınç vs. gibi yüklerin sebep olduğu maksimum gerilmelerin nereye etki ettiğini göstermektedir. Mavi renk en düşük gerilmeleri gösterirken, turkuazdan başlayarak, yeşil ve sarı renkler de gerilmenin kademeli arttığını işaret eder. Bizde analizimizi bu bilgilere göre yorumlamaktayız.

Analiz sonuçlarında;

- Toplam deformasyon
- Von Mises eşdeğer gerilme
- Von Mises eşdeğer elastik şekil değiştirme

gibi analizler sonuç kısmına eklenir. Bunların haricinde daha birçok sonuç SEA ile analiz edilip sonuç kısmında görüntülenebilir. Analiz edilecek olan mekanik özelliklerin eklenmesi iki yöntemle yapılabilir. Önce SEA yapılır ve istenen sonuçlar daha sonra da eklenip görüntülenebilir. Ayrıca tüm bu analizler çözüme başlanmadan eklenebilir ve çözüm bu şekilde yaptırılır. Bazı tanımlardan bahsedecek olursak;

Von-mises kriteri, bu kriter çok eksenli gerilme olaylarını tek eksenli gerilme durumuna maksimum şekil değiştirme enerjisine dayalı olarak indirger ve böylece tüm gerilmeleri kullanmak yerine sadece eşdeğer gerilme ($\sigma_{eş}$) işleme alınır. Eğer ki bu eşdeğer gerilme akma gerilmesini aşarsa o durumda akma olayı meydana gelir.



Şekil 3.3: Von-Mises kriteri gösterimi

$$\text{“}\sigma_{eş} = \sigma_{vm} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{y-}\sigma_{z})^2 + (\sigma_{x-}\sigma_{z})^2 + (\sigma_{x-}\sigma_{y})^2 + 6(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{xy}^2)]}\text{”}$$

Asal gerilmeler cinsinde eşdeğer gerilme:

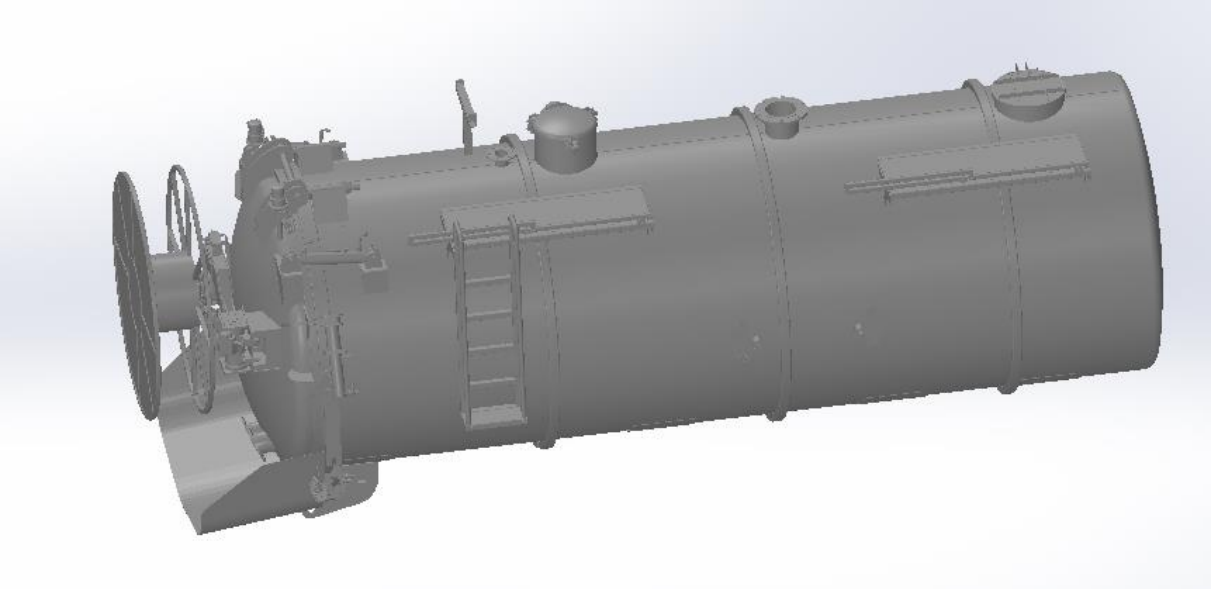
"$\sigma_{eş} = \sigma_{vm} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{1-}\ \sigma_2\ )^2 + (\sigma_{1-}\ \sigma_3\ )^2\ +\ (\sigma_{2-}\ \sigma_3\ )^2]}$"

Akma şartı : $\sigma_{eş} \geq \sigma_{ak}$

Bu kriter sünek malzemelerdeki akma olayı için istenilen tasarım sonucunu verir[38].

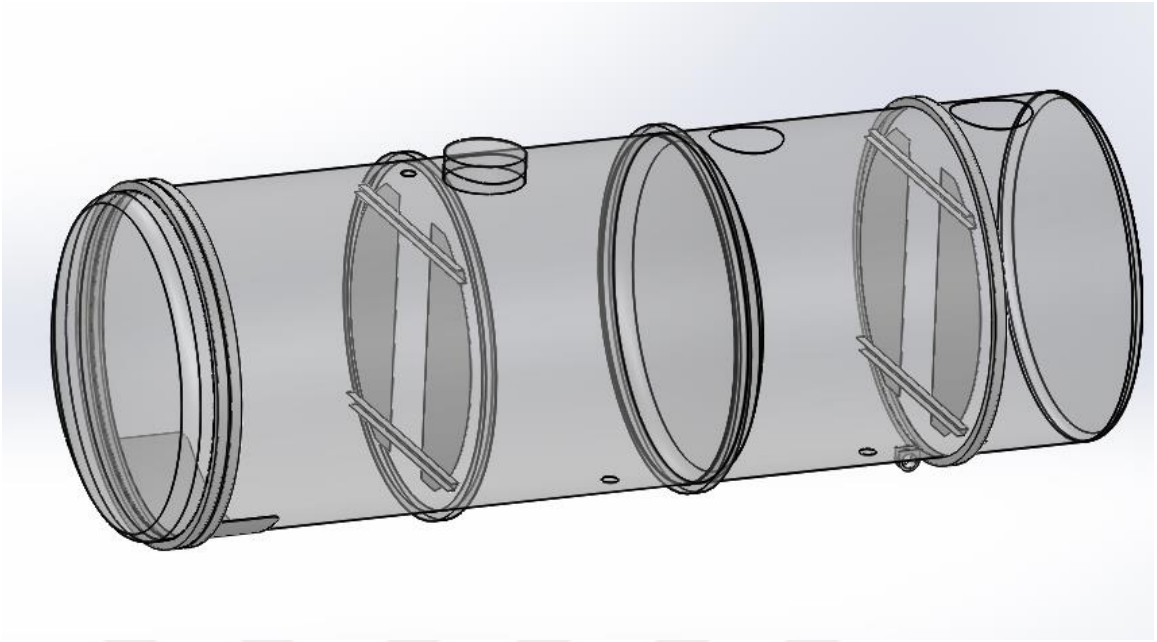
4. BULGULAR

Analizlerin yapılacağı vidanjör sisteminin tank çizimi Solidworks® Simulation Premium üzerindeki katı model konstrüksiyonu Şekil 4.4'te gösterilmektedir.

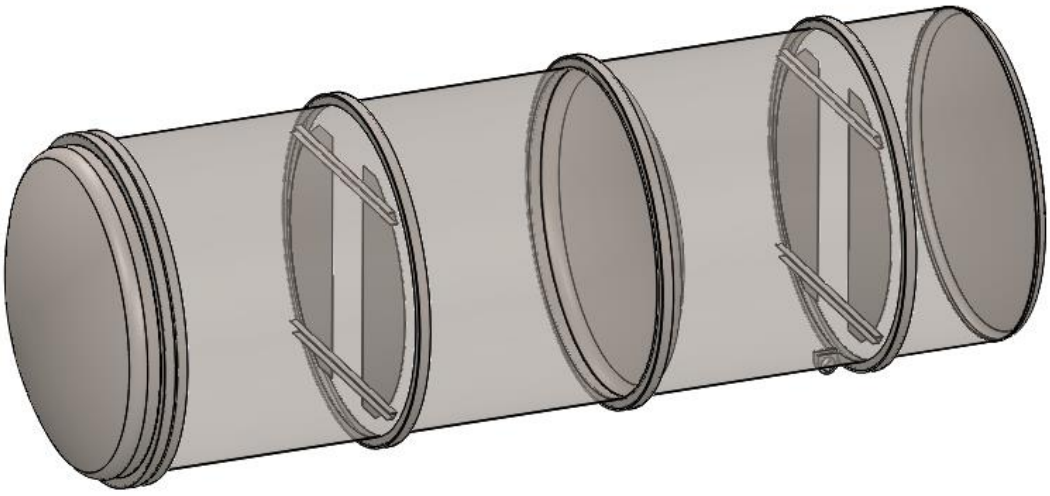


Şekil 4.4: Vidanjör sistemi tankının katı modeli

Bu tankın mukavemet hesabı için, tüm geometriye dayalı SEA ile malzemenin mekanik özellikleri ve sınır şartları verilip, istenilen basınç altındaki analizi gerçekleştirilir ve sonuçları elde edilir. Daha sonra bölgesel olarak gerilme yoğunlaşması analizi için pratik sonuçlar sağlayan elastisite teorisi yaklaşımları kullanılabilir. Elastisite teorisi ise şekil değiştirmenin olduğu katı cisimlerin mekanik deformasyon analizlerinde aktif olarak kullanılan güvenilir bir yaklaşımdır. Bu analizlerin gerçekleştirilebilmesi için Solidworks programıyla elde ettiğimiz Şekil 4.4' teki katı modelin nozul, fitting, adam girişi, şamandıra vb. elemanların montajı için açılan deliklerin bulunduğu tasarım ve imalata öncelik eden geometriyle; karşılaştırmak yapmak için süreksizlik içermeyen durumlardaki geometriye indirgenmiştir. İndirgeme olayı tank katı modelinin Kabuk (Shell) geometrisine dönüştürülmesidir. Kabuk geometrisine dönüştürülmüş geometriler Şekil 4.5 ve Şekil 4.6' da gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Tankın tasarım ve imalata esas Kabuk geometrisi



Şekil 4.6: Karşılaştırma için süreksizlik içermeyen tankın Kabuk geometrisi

Özellikle ince yassı yapı elemanlarının yüklemeler etkisinde düzlem gerilme haline uygun olarak deformasyona uğraması, bu dönüşümün yapılmasına imkân sağlamıştır. Analiz

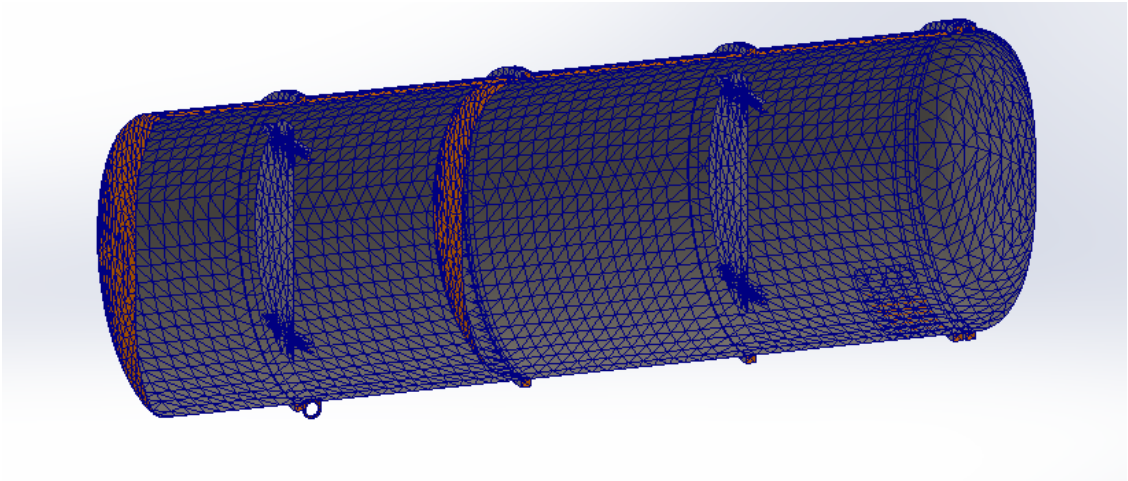
sonrasında, Kabuk geometrisine tanımlanan kalınlık yardımıyla katı modele tekrar dönüşüm sağlanır. Böylece mukavemete ve şekil değiştirmeye yönelik sağlıklı incelemeler ve değerlendirmeler yapılabilmektedir.

Şekil 4.5 'te görülebilen vakum ve yüksek basınç etkisindeki tank bölmesinde yer alan "Şamandıra Girişi" 'ne ait delik en büyük olup, bu durumda gerilme yoğunlaşması riski taşıyan en kritik süreksizlik burası olarak değerlendirilmiştir.

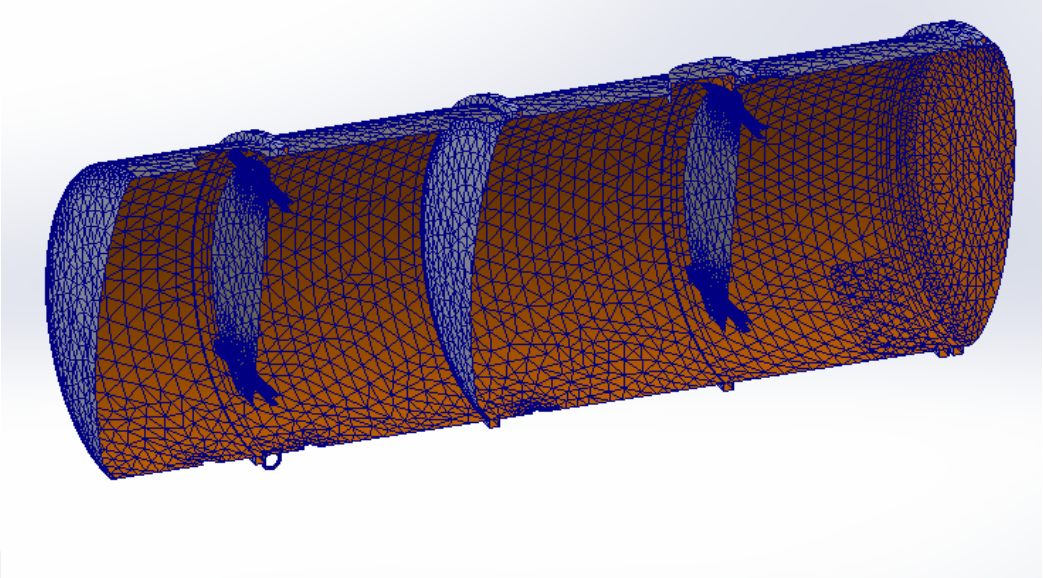
4.1. SONLU ELEMAN ANALİZLERİ

Şekil 4.5 ve 4.6 'da ki tank geometrilerine ADR standartlarının gerektirdiği -1 Bar vakum ve +4 Bar basınç dayanım analizleri uygulanmıştır. Burada kullanılan malzeme daha önce de belirtildiği gibi, AD 2000 W2, W10 & EN 10028-7:2016 ASTM A240/A240M standartlarını karşılayan X5CrNiMo17-12-2 / 1.4401 / 316 tipi Östenitik paslanmaz çelik sactır.

Şekil 4.5 ve 4.6'da gösterilen ve sırasıyla süreksizlik içeren ve içermeyen tankın geometrisi Şekil 4.7 ve 4.8'de olduğu gibi sonlu eleman ağlarına bölünmüş olup, detay gerektiren analiz bölgeleri için söz konusu ağlar daha da yoğun hale getirilmiştir. SEA çalışmasında işlemci yükünü hafifletmek ve çözüm süresini düşürmek için incelenmekte olan vidanjör tankının simetrik yapısından yararlanılmıştır. Toplam uzunluğu 6 m'yi ve Çapı 2 m'yi bulan simetrik yarım tankın SEA modellenmesinde en fazla 68302 düğüm ve 33518 kabuk tipinde sonlu eleman kullanılmıştır.



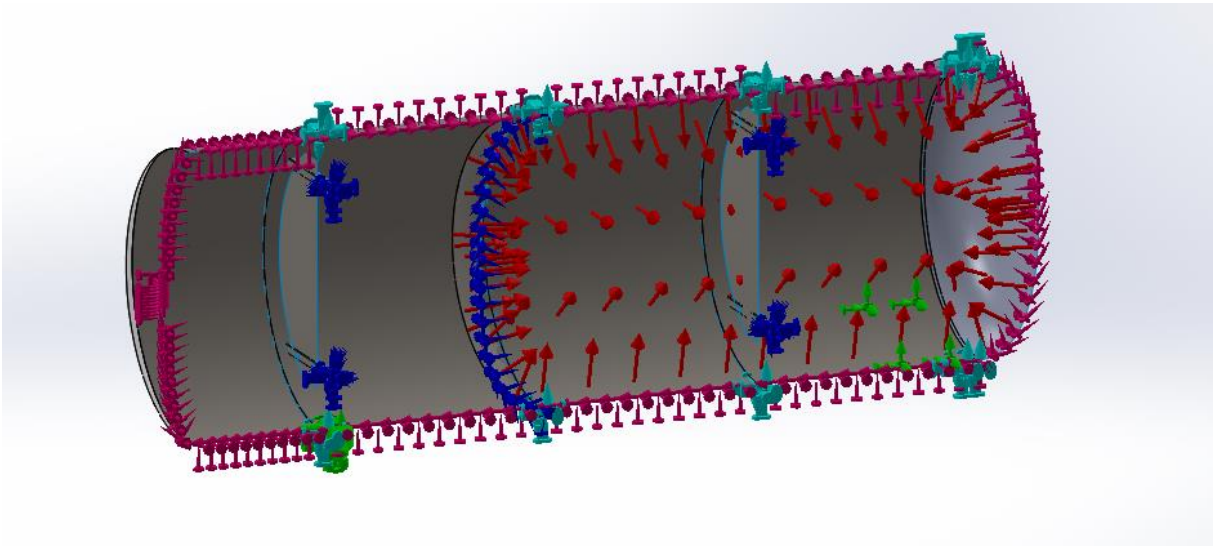
Şekil 4.7: Deliksiz Tank Sonlu Eleman Ağları



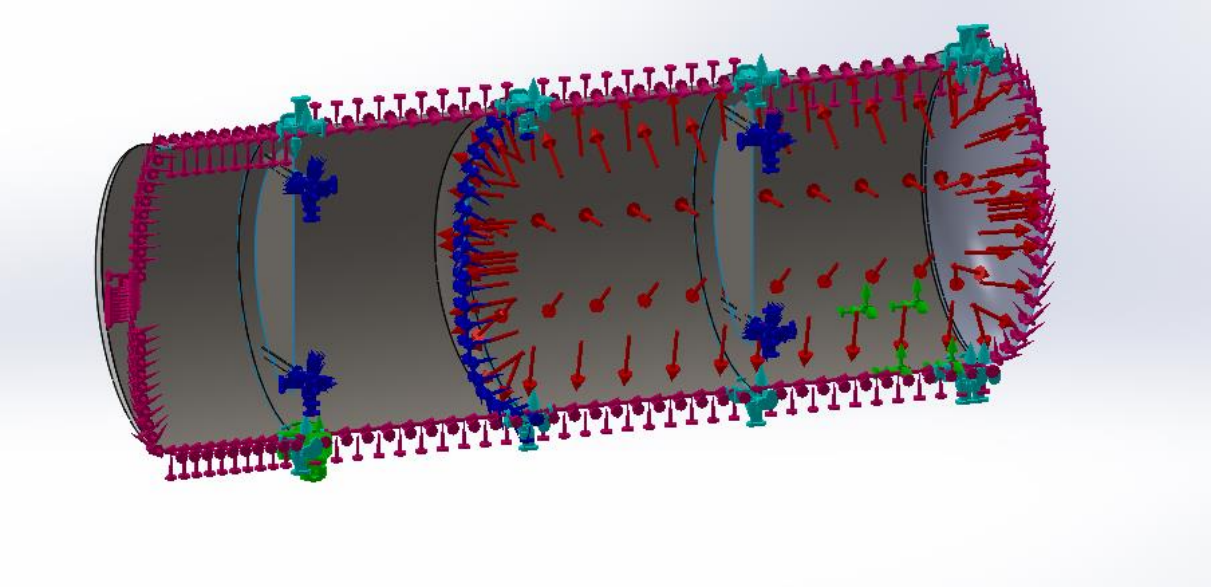
Şekil 4.8: Delikli Tank Sonlu Eleman Ağları

Şekil 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12'de olduğu gibi tank için sınır şartları ve atmosferik şartlara göre -1 Bar vakum, +4 Bar iç basınç yüklemesi ile simetri ve sabit mesnetler uygulanmıştır.

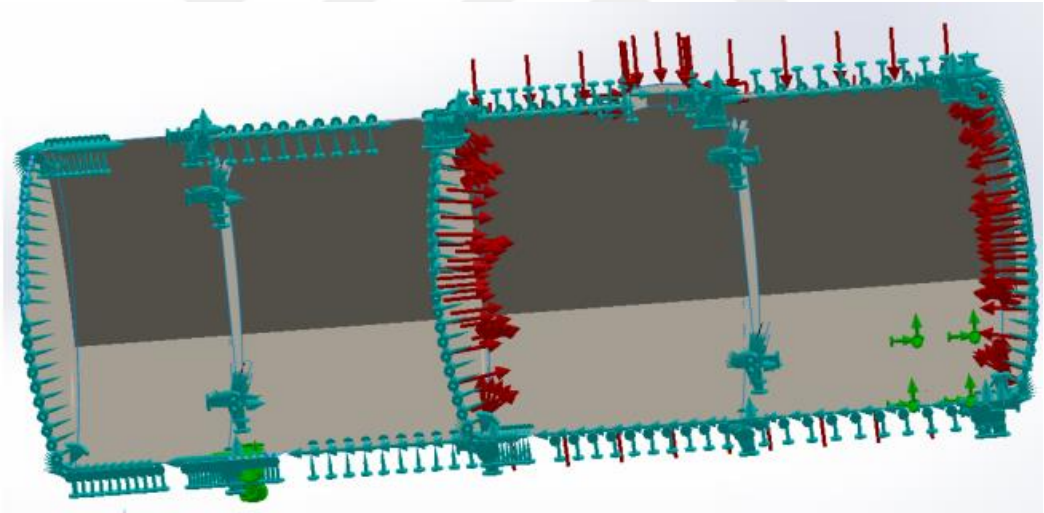
-1 Bar Vakum ve 4 Bar İç Basınç Yüklemeleri ile Simetrik ve Sabit Mesnetler: (4.9, 4.10) Deliksiz Tank ve (4.11, 4.12) Delikli Tank.



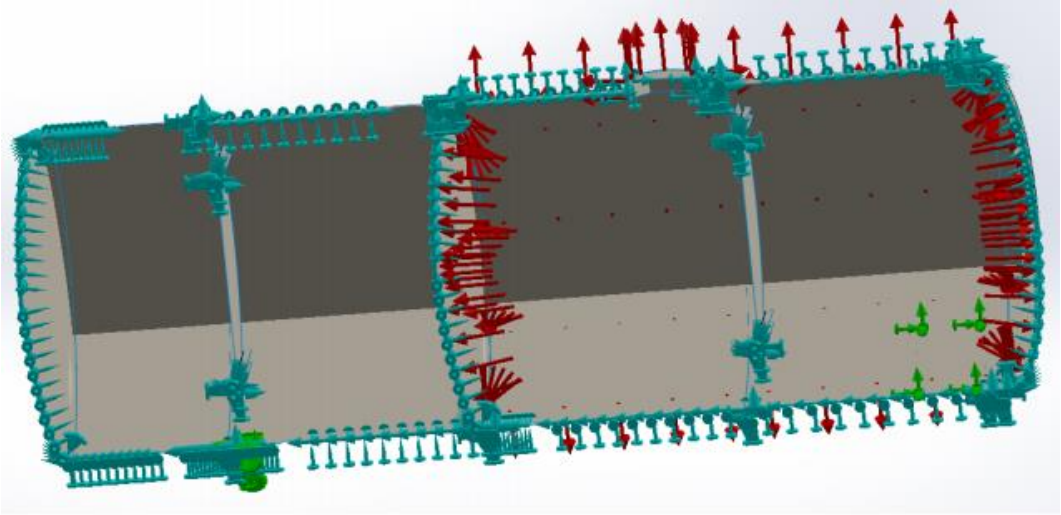
Şekil 4.9: Deliksiz Tanktaki -1 Bar Vakum Yüklemesi ile Simetrik ve Sabit Mesnetler



Şekil 4.10: Deliksiz Tanktaki +4 Bar İç Basınç Yüklemesi ile Simetrik ve Sabit Mesnetler

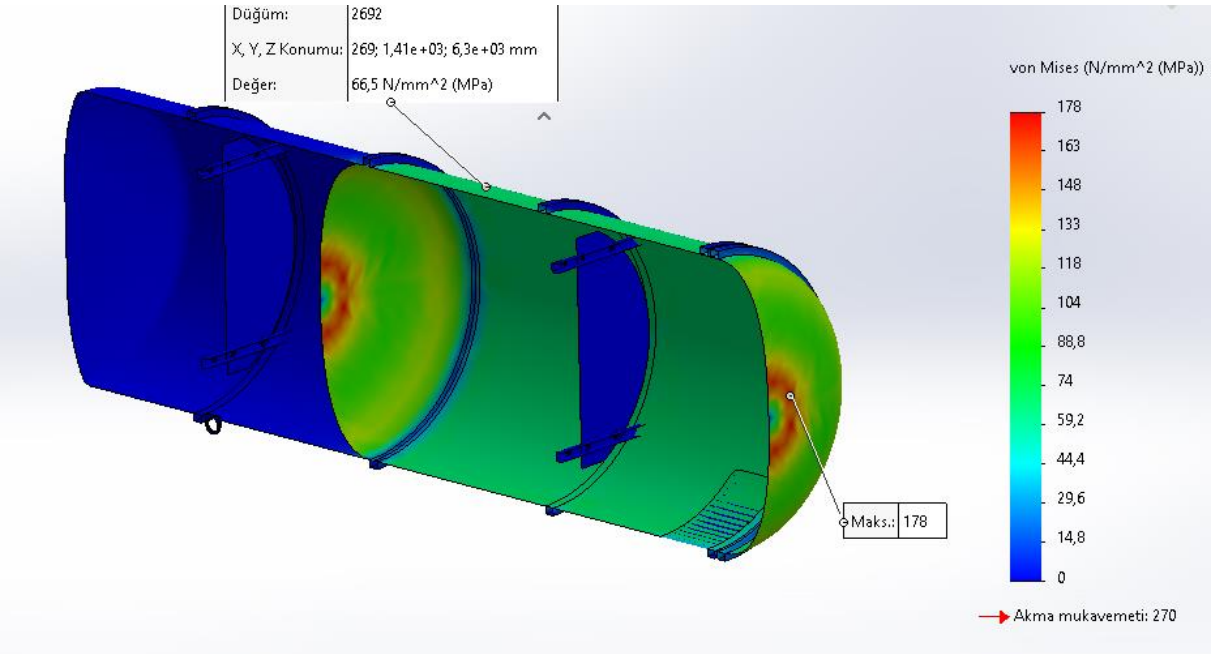


Şekil 4.11: Delikli Tanktaki -1 Bar Vakum Yüklemesi ile Simetrik ve Sabit Mesnetler

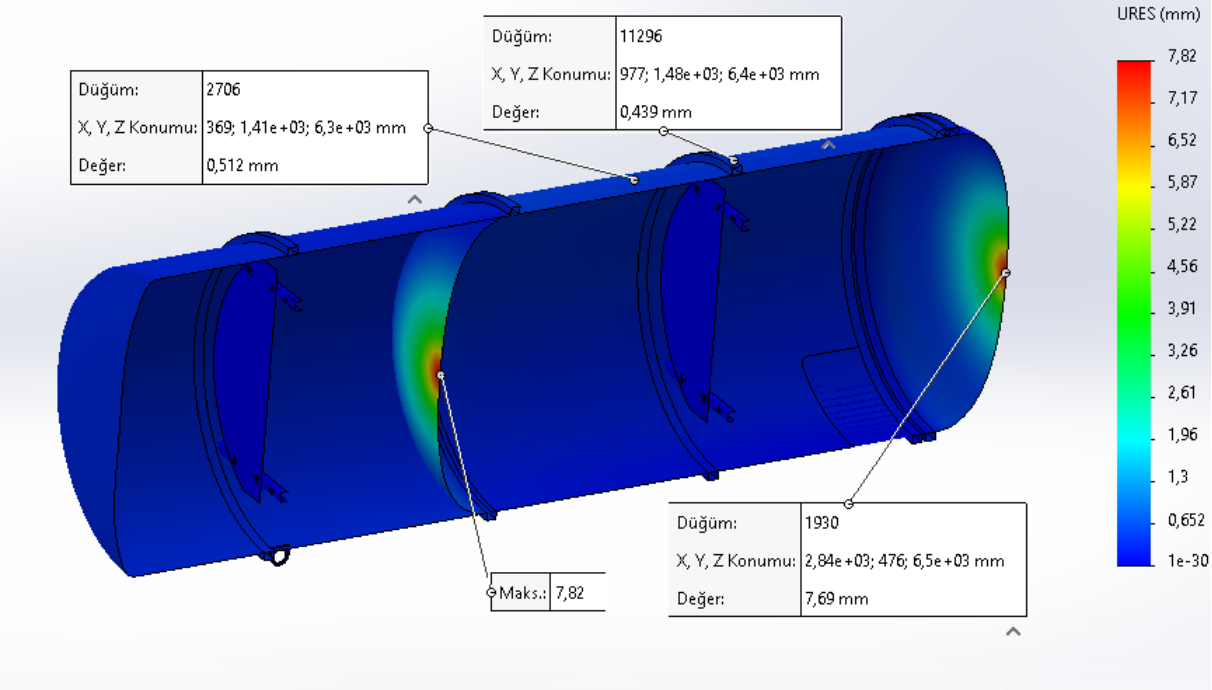


Şekil 4.12: Delikli Tanktaki +4 Bar İç Basınç Yüklemesi ile Simetrik ve Sabit Mesnetler

+4 Bar İç Basınç etkisinde ve süreksizlik içermeyen tank bölmesinin kayda değer konumlarında oluşan Von Mises eşdeğer gerilmeleri ve deformasyonları ise Şekil 4.13a ve 4.13b'de verilmiştir.



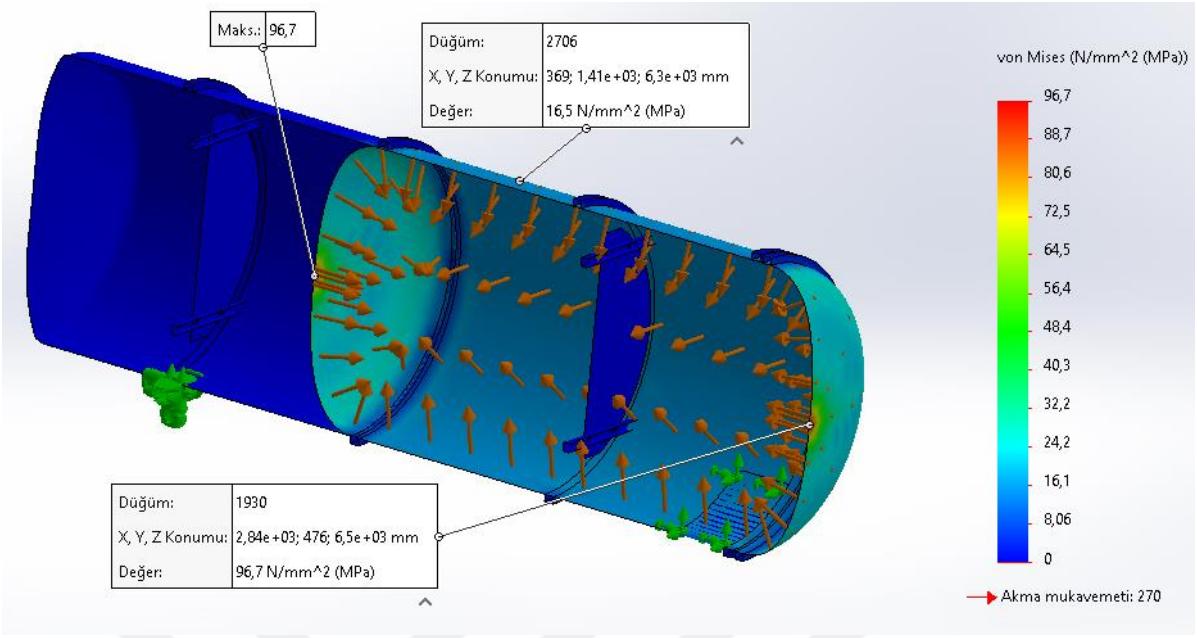
(4.13a)



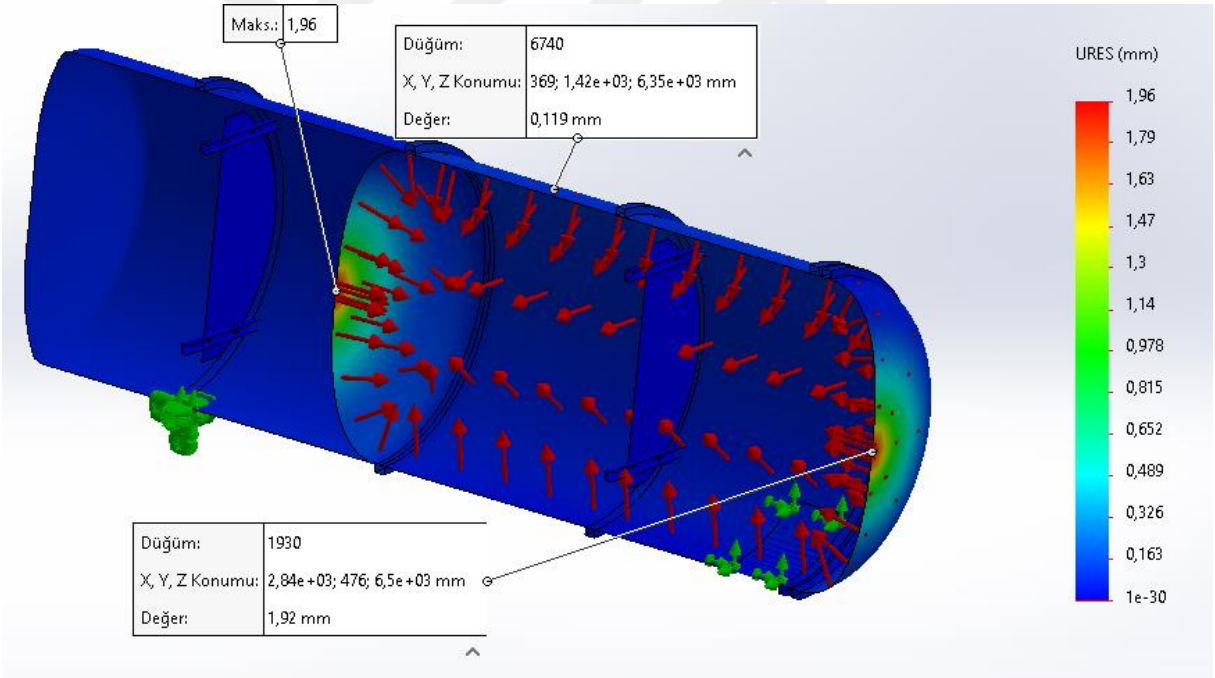
(4.13b)

Şekil 4.13: Deliksiz Tank +4 Bar İç Basınç Yüklemesi ile Sonlu Eleman Analizi: **(4.13a)** Deliksiz Tank Von Mises Eşdeğer Gerilmesi ve **(4.13b)** Deliksiz Tank Deformasyonu

Şekil 4.14a ve 4.14b'de vakum etkisinde ve süreksizlik içermeyen tank bölmesinin kayda değer konumlarında oluşan Von Mises eşdeğer gerilmeleri ve deformasyonları gösterilmektedir.



(4.14a)

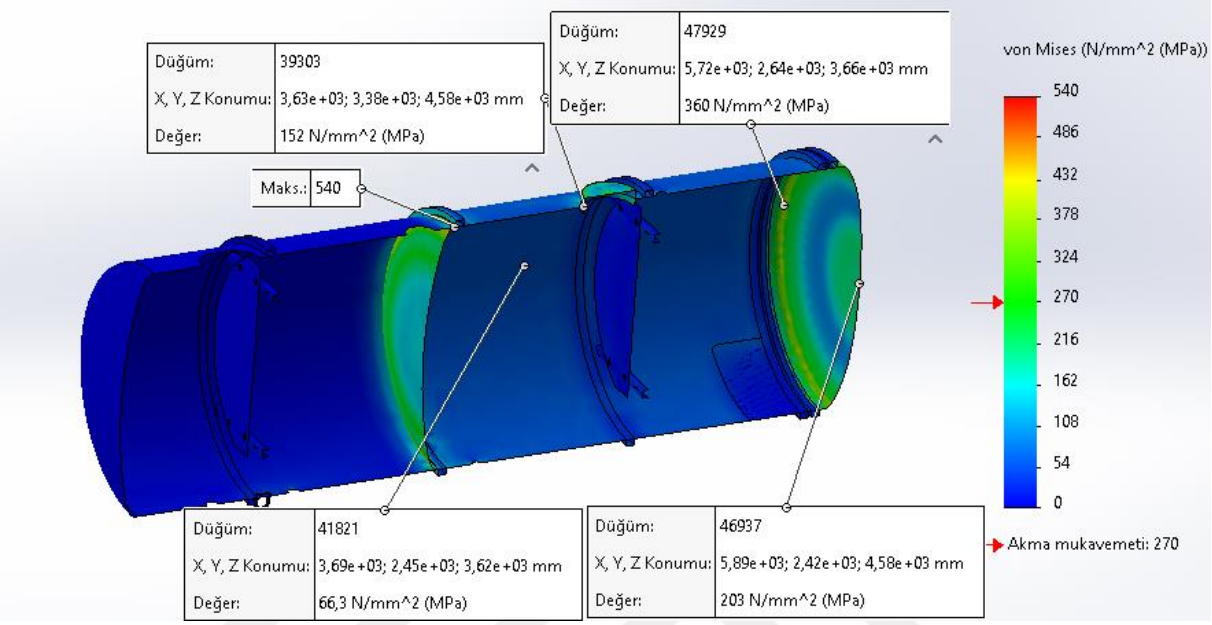


(4.14b)

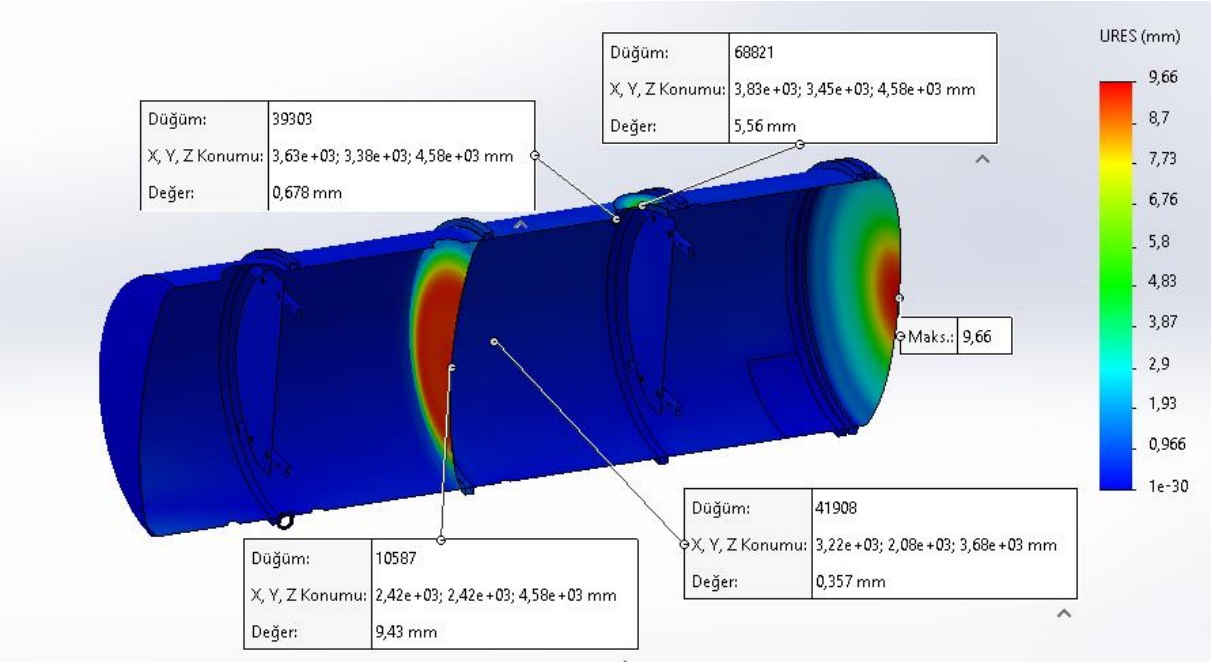
Şekil 4.14: Deliksiz Tank -1 Bar Vakum Yüklemesi ile Sonlu Eleman Analizi:

(4.14a) Deliksiz Tank Von Mises Eşdeğer Gerilmesi ve **(4.14b)** Deliksiz Tank Deformasyonu.

+4 Bar İç Basınç etkisinde ve şamandıra girişi, nozul, fittings delikleri vb. süreksizlik içeren tank bölmesinin kayda değer konumlarında oluşan Von Mises eşdeğer gerilmeleri ve deformasyonlar ise Şekil 4.15a ve 4.15b'de verilmiştir.



(4.15a)

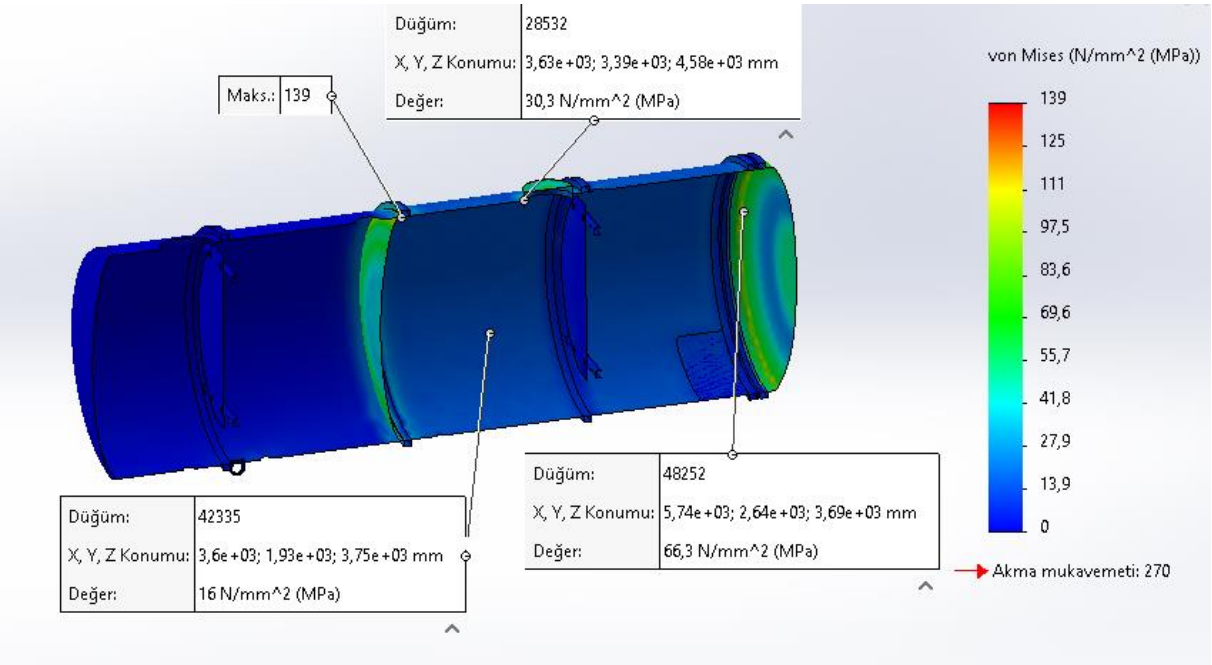


(4.15b)

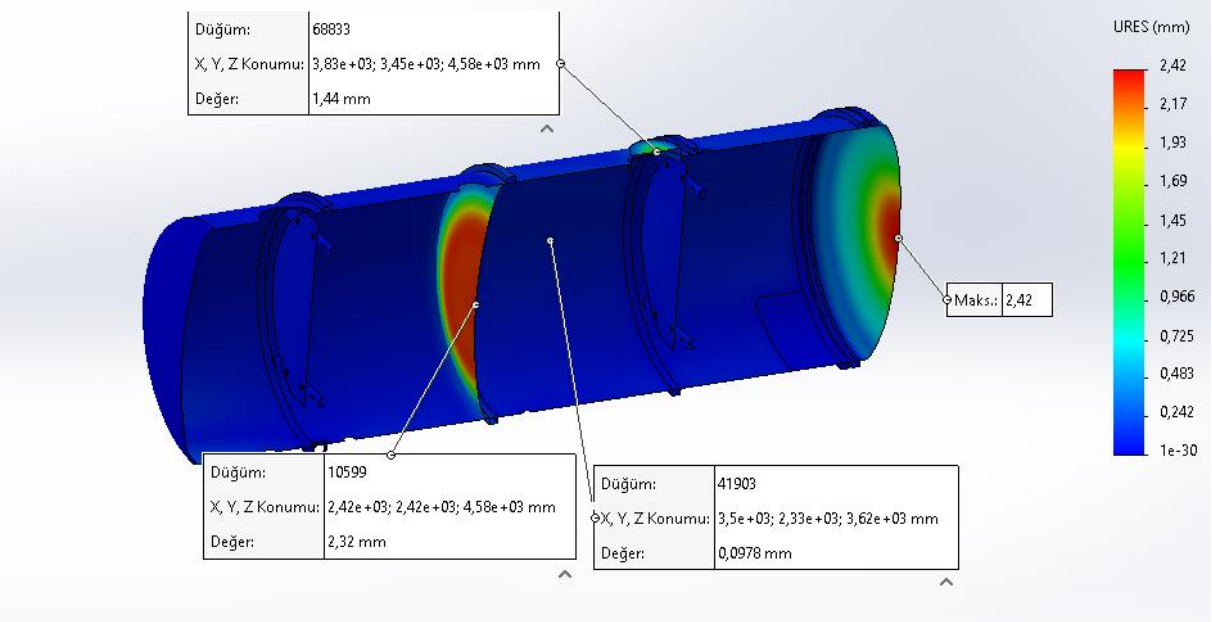
Şekil 4.15: Delikli Tank 4 Bar İç Basınç Yüklemesi ile Sonlu Eleman Analizi:

(4.15a) Delikli Tank Von Mises Gerilmesi ve **(4.15b)** Delikli Tank Şekil Değiştirmesi.

Şekil 4.16a 4.16b‘ de vakum etkisinde ve şamandıra girişi, nozul, fittings delikleri vb. süreksizlik içeren tank bölmesinin kayda değer konumlarında oluşan Von Mises eşdeğer gerilmeleri ve deformasyonlar gösterilmektedir.



(4.16a)

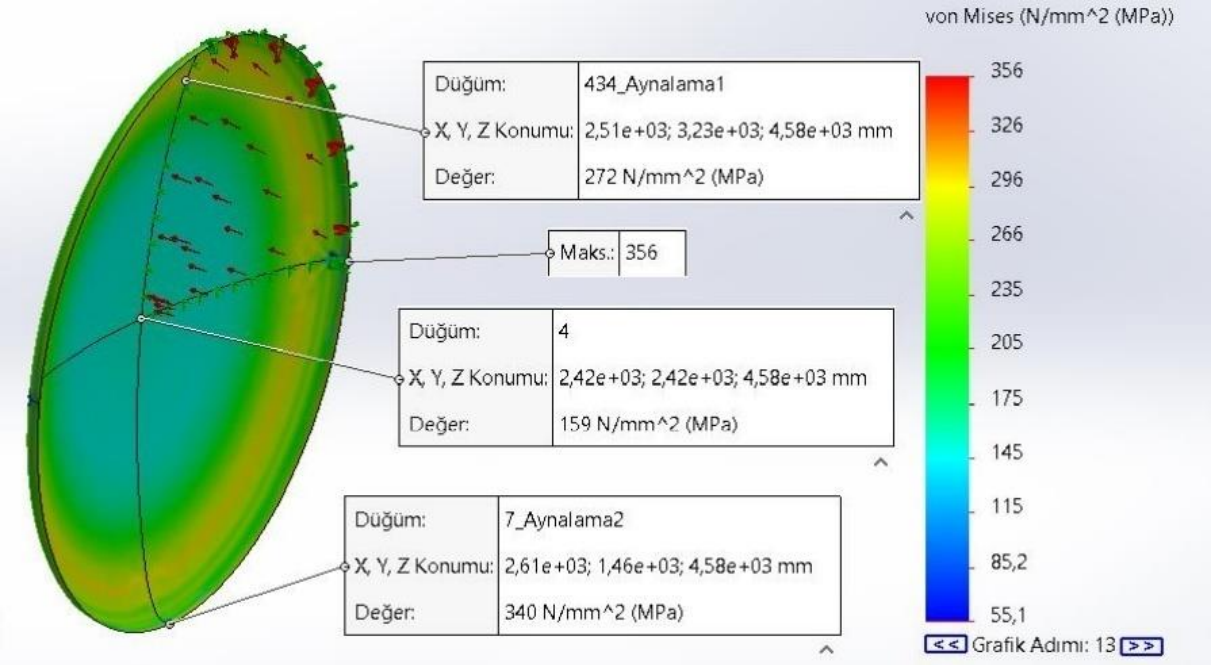


(4.16b)

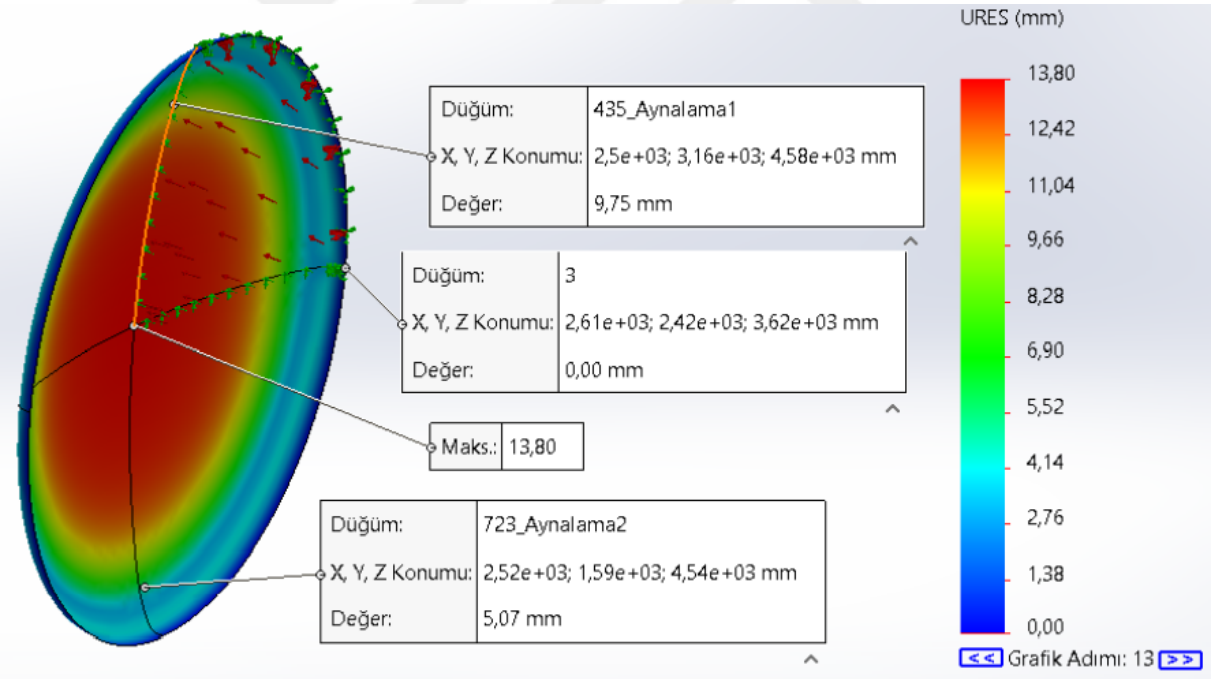
Şekil 4.16: Delikli Tank -1 Bar Vakum Yüklemesi ile Sonlu Eleman Analizi:

(4.16a) Delikli Tank Von Mises Eşdeğer Gerilmesi ve **(4.16b)** Delikli Tank Deformasyonu

Şekil 4.15a'da gösterilen iç başlık üzerindeki elastik analizle elde edilen 540 MPa değerindeki maksimum Von Mises gerilmesine karşılık, elde edilen gerinim değerinin düşük olmasından dolayı, iç başlık üzerinde Şekil 4.17'de gösterildiği gibi plastik deformasyon analizinin yapılması gerekli görülmüştür.



(4.17a)



(4.17b)

Şekil 4.17: 4 Bar İç Basınç Yüklemesi ile İç Başlık Nonlineer Plastik Analizi:

(4.17a) İç Başlık Plastik Eşdeğer Gerilmesi ve **(4.17b)** İç Başlık Plastik Şekil Değiştirmesi.

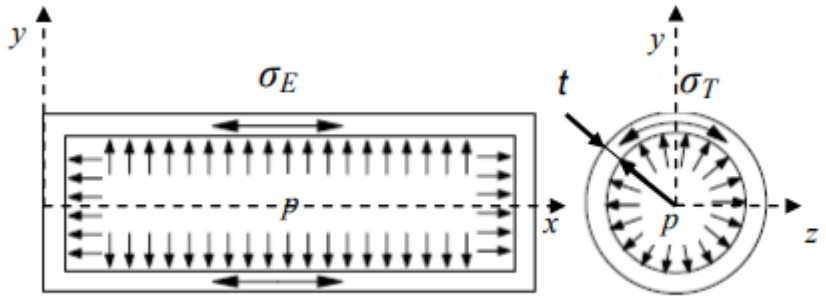
4.2. ANALİTİK GERİLME HESABI

Analitik hesaplama, ampirik formüller yardımıyla fizik olaylarını açıklar. Örnek verecek olursak, mukavemet problemi olarak gerilmenin hesaplamasında Ortalama Gerilme=Kuvvet/Alan formülüyle hesaplanmaktadır. Formüllerin elde edilmesi, deneysel çalışma sonucunda elde edilir [39].

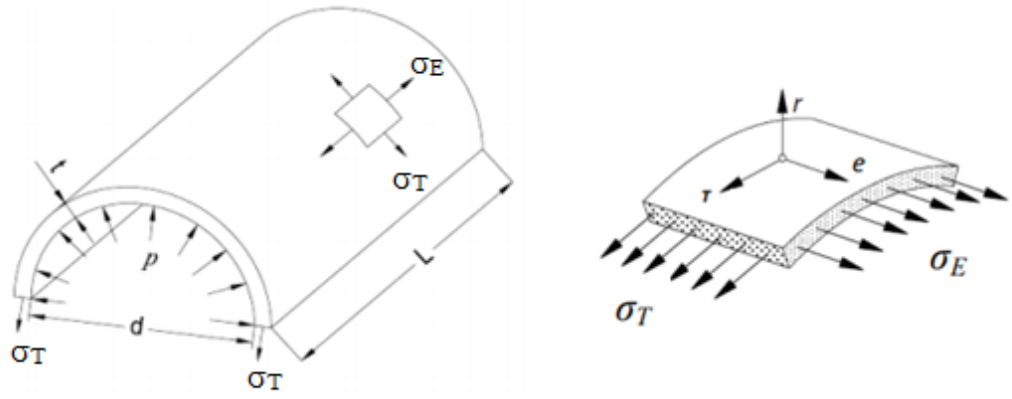
4.2.1. İNCE CİDARLI SİLİNDİRDEKİ GERİLMELER

Gerilme hesabı yapılırken silindirler sınıflandırılır. Sınıflandırırken cidar (et) kalınlığının iç çapa oranı dikkate alınır. Eğer ki bu oran 1/20'den daha küçükse bu silindirler *İnce Cidarlı Silindir* sınıfına girmektedir. Tez çalışmasındaki Vidanjör tankı da ince cidarlı silindir sınıfına girmektedir.

İki ucu kapalı ince cidarlı silindir Şekil 4.18 'deki gibidir. İç basıncın (p) etkisiyle, eksenel, teğetsel ve radyal yönlerde gerilmeler meydana gelir. Silindir, ifade edilirken üç eksen (xyz) kullanılır. Yüzey boyutları radyal yöndeki (yarıçap doğrultusunda) boyutla karşılaştırıldığında, fazlasıyla büyük olduğu saptanır. Mukavemetteki gerilme olayının tanımlanması için de üç eksen kullanılır. Bu üç eksen şu şekilde tanımlanır; eksenlerin ikisi cismin serbest yüzeyinde meydana gelen gerilmeler olarak tanımlanırken, son eksen ise üçüncü eksen doğrultusundaki meydana gelebilecek gerilmelerin sıfır kabul edilmesi şeklinde tanımlanır. İç basınca maruz kalan ince cidarlı bir silindirde meydana gelen radyal gerilmeler, yüzey kısmında meydana gelen oluşumun, gerilmelere kıyasla daha küçük olduklarından dolayı ihmal edilmektedir. Fakat, düzlem gerilme hali, Şekil 4.19 'da ki olduğu, üniform iç basınca maruz t cidar kalınlığında d çapında ve L boyundaki bir silindirin yüzeyinde seçilen birim elemana uygulanırsa, yüzeyde, T ve E doğrultularında yatan gerilmeler; sırasıyla teğetsel gerilme (σ_T) ve eksenel gerilme (σ_E) olarak tanımlanır. Birim elemanın normali doğrultusundaki gerilme, yani üçüncü eksen (r) doğrultusunda oluşacak radyal gerilmeler sıfır kabul edilmektedir. Silindirin, aksi-simetrik geometrisi nedeniyle kayma gerilmeleri oluşmamaktadır. Bu sebeple, σ_T ve σ_E asal gerilmeler kapsamına girmektedir. Vidanjör tankı da bu şekilde değerlendirilir.



Şekil 4.18: İç basıncın etkisindeki bir silindirin kesitinde meydana gelen gerilmeler



Şekil 4.19: İç basıncın etkisindeki ince cidarlı silindir yüzeyinde meydana gelen düzlem gerilme hali

4.2.1.1. Açık Uçlu Silindir (Tek Eksenli Gerilme Hali)

Boyutun birinin, diğer boyutlara oranla çok büyük olması durumunda bir yada tek eksenli gerilme durumu mevcuttur. Şekil 4.20a'daki gibi silindirin hareket eden uç kısımlarında bir sınırlandırma olmadığından, eksenel yönde mevcut durumdaki basınç yükleri F toplamı sıfır olur. Bundan dolayı gerilme durumunu tek eksenli olarak adlandırırız. Bu durumda da silindir de sadece teğetsel gerilme (σ_T) oluşur. Eksenel gerilme (σ_E) durumu ise sıfırdır. Fakat Poisson etkisi nedeniyle, silindirde meydan gelen teğetsel gerilmeden dolayı, teğetsel ve eksenel şekil değişimi oluşur. Poisson etkisi ise, gerilme durumunda kalan esnek bir malzemenin gerilme yönüne dik doğrultuda biçim değiştirmesidir.

Teğetsel gerilme şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\sigma_T = \frac{p.d}{2.t} \qquad (4.1)$$

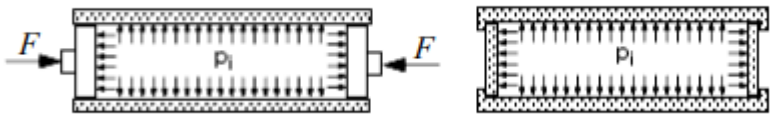
Burada t cidar kalınlığı, p uniform iç basınç ve d ortalama çap değeridir.

4.2.1.2. Kapalı Uçlu Silindir (İki Eksenli Gerilme Hali)

İnce plakalarda (kalınlığı az olan) veya düzlemsel levhalarda meydana gelen gerilmeler bu gerilme üçüncü boyutuna oranla daha büyük olan gerilmelere iki eksenli gerilmeler denilmektedir. Her iki ucundan da sınırlandırıldığı Şekil 4.20.b'deki gibi gösterilen silindir de hem teğetsel (σ_T) hem de eksenel gerilme (σ_E) etkisinde kalmaktadır[40].

Silindirde oluşan eksenel gerilme şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\sigma_E = \frac{p.d}{4t} \qquad (4.2)$$



(4.20a) **(4.20b)**

Şekil 4.20: Açık ve kapalı uçlu silindir kesitleri.

(4.20a) Açık Uçlu Silindir ve **(4.20b)** Kapalı Uçlu Silindir

Belirtilen formüller dikkate alındığında diyebiliriz ki, $\sigma_T = 2\sigma_E$ dir.

Bu bilgileri verildikten sonra, basınç yüklemeleri etkisindeki tank bölmesinin 405 mm çapındaki şamandıra girişi deliğinde meydana gelen gerilme yoğunlaşması hesaplanır. Bu şekilde oluşan yoğunlaşmalar malzemede çentik etkisini meydana getirir [41].

Çentik etkisi; mukavemeti etkileyen, düşüren bir etkiye sahiptir. Makine elemanında bulunan fatura, diş açılan bölgeler, kaynak ve kama ağızları vb. gibi durumların sebep olduğu mukavemet etkisi, çentik katsayısıyla(β_k) hesaba katılır.

β_k bulunurken; çentikli bölgedeki maksimum gerilmenin, çentiksiz olan bölgedeki nominal gerilmeye oranıdır.

$$\beta_k = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n} \qquad (4.2)$$

Hesaplayacak olursak, $\beta_k = \frac{152}{66,5} = 2,29$

Bu durumda Şekil 4.21'de gösterildiği gibi bu girişin A noktası konumundaki gerilme, çentik etkisinden dolayı 2,29 kat artmaktadır.

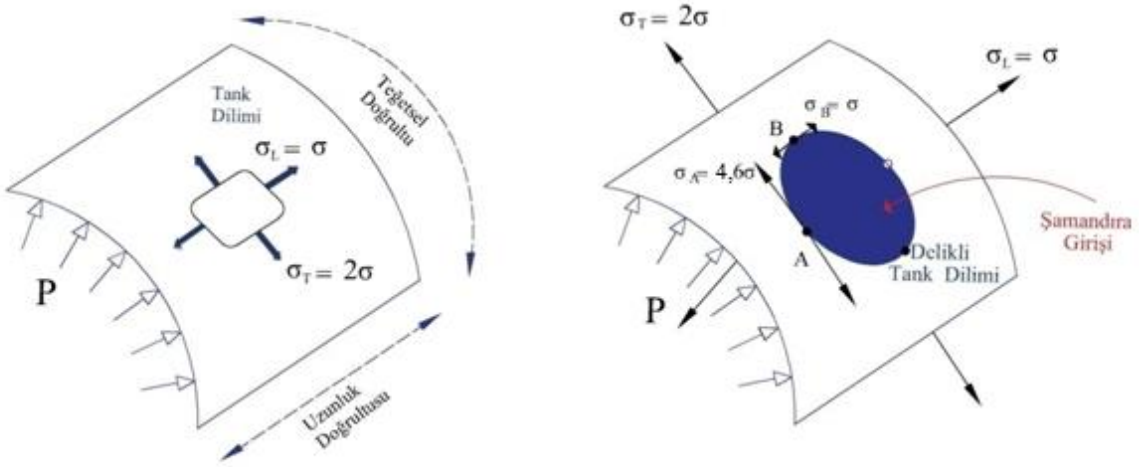
Böylece +4 Bar değerindeki iç basınçtan dolayı teğetsel doğrultuda meydana gelen teğetsel gerilmeyi hesaplarız ve çentik etkisiyle oluşan gerilmeyi buluruz.

$\sigma_T = \frac{p.d}{2t}$ ve P = 4 bar = 0.4 MPa; d = 1913 mm ve t = 5 mm için :

$$\sigma_T = \frac{0.4 * 1918}{2 * 5} = 76,52\ MPa$$

Çentik etkisindeki sonucu hesaplarsak,

76,72 x 2,29 = 176 MPa



(4.21a) **(4.21b)**

Şekil 4.21: Takviye halkası etkisinin ihmal edildiği Elastisite teorisine dayanan Analitik gerilme analizi:**(4.21a)** Deliksiz tank yüzeyindeki gerilme hali ve **(4.21b)** Delikli Tank yüzeyindeki şamandıra girişi deliğinin teğetsel ve uzunlamasına doğrultulardaki yoğunlaşmış gerilme hali

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, Vidanjör Sistemi tankının süreksizlik içermeyen ve imalata esas geometrileri üzerinde öncelikle SEA hesaplamasına ve ardından Analitik yaklaşıma dayanan gerilme analizleri gerçekleştirilmiştir.

Söz konusu tankın sadece fosseptik atıklar depolanan kısmında (Bkz. Şekil 4.5 ve 4.6) vakum veya iç basınç yüklemeleri oluşmaktadır. 5400 mm'lik silindirik tank uzunluğunun 2400 mm'lik kısmında ise temiz su depolanmaktadır.

Tankın süreksizlik içermeyen ve imalata esas hallerinin SEA'leri için sınır şartları ve yüklemeler Şekil 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12'de detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Vakum yüklemeleri dış basınç olarak uygulanmıştır.

Analizlerde katı model kabuk yapıya dönüştürülmüş ve her kabuk parçasına kalınlıklar ile Gerilme - Şekil Değiştirme davranışı Şekil 4.2'de gösterilen ve AD 2000 W2, W10 & EN 10028-7:2016 ASTM A240/A240M standartlarını karşılayan X5CrNiMo17-12-2 / 1.4401 / 316 tipi Östenitik paslanmaz çelik sac malzeme özellikleri uygulanmıştır.

Bunun neticesinde süreksizlik içermeyen ve imalata esas tank geometrilerinin gerilme analizleri sonuçları elde edilebilmiş ve sonuçların karşılaştırmalarından, şamandıra girişi, fittings ve valf deliklerinin tank mukavemetine olan etkileri gözlemlenebilmiştir.

Sonuçları sırasıyla Şekil 4.14a ve Şekil 4.16a'da gösterilen tankın imalata esas delikli tankın ve süreksizlik içermeyen deliksiz vakum etkisindeki analizlerinden, silindir yüzeyinde teğetsel yönde oluşan 16.5 MPa'lık gerilme değerinin, şamandıra girişi deliğinin kenarında hesaplanan 30.3 MPa değerine kadar yükseldiği görülmektedir. Bu da şamandıra deliğindeki gerilmelerin 1.83 kat arttığını göstermektedir.

Vakum yüklemesi ile süreksizlik içermeyen ve delikli tanklarda oluşan azami şekil değiştirmelerin ise eliptik başların ortasında yer aldığı ve sırasıyla 1.96 mm ve 2.42 mm değerlerinde olduğu Şekil 4.14b ve Şekil 4.16b' den görülmektedir. Silindirik yüzeydeki 0.119 mm'lik deformasyonun, şamandıra girişi deliğinin kenarında oluşan gerilme yoğunlaşması etkisiyle 1.44 mm'ye kadar yükseldiği belirlenmiştir.

Benzer bir yaklaşımla süreksizlik içermeyen tankın ve imalata esas delikli tankın +4 Bar İç Basınç etkisindeki analizleri Şekil 4.13a ve Şekil 4.15a'da gösterilmektedir. Şekil 4.13a ve 4.15a'dan da görülebileceği üzere, silindirik yüzeydeki gerilmeler 66,5 MPa'dan delik kenarındaki 152 MPa'a yükselmektedir. Bu değerler Şekil 4.21'deki analitik yaklaşımla hesaplanan 76,52 MPa ve 176 MPa değerlerine yakın olduğunu göstermekte ve böylece sonlu eleman hesaplamasının uygun olduğunu teyit etmektedir.

+4 Bar iç basınç etkisindeki imalata esas delikli tankın maksimum gerilmesinin eliptik iç ve dış başlıkların kaynaklarında ve 540 MPa ile 360 MPa değerlerinde olduğu hesaplanmıştır. +4 Bar iç basınç etkisiyle oluşan maksimum deformasyon 9,66 mm'dir.

Atmosferik şartlara göre -1 Bar vakum basıncı etkisindeki imalata esas delikli tankın üzerinde hesaplanan gerilme ve deformasyon değerlerinin, seçilen paslanmaz çelik malzemenin 333 MPa'lık tasarım mukavemetinin altında olduğu ve böylece tank tasarımında istenen konstrüksiyonun elastik halinin korunduğu anlaşılmaktadır.

+4 Bar iç basınç etkisindeki söz konusu tankta kritik gerilmeler Şekil 4.15a'daki 540 MPa ile 360MPa değerlerinden de anlaşılabileceği üzere plastik bölgeye geçmiş olup, bunlar iç başlıkta ve tank kapağında oluşmuştur. Şekil 4.15a'daki şekil değiştirmelerin düşüklüğü nedeniyle de iç başlık üzerinde sonuçları Şekil 4.17a ve 4.17b'de gösterilen doğrusal olmayan elastik-plastik analizin yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bunun sonucunda iç başlık üzerinde hesaplanan gerilme değeri maksimumda 356 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değerin, seçilen 316 paslanmaz çelik sacın 601 MPa olan çekme mukavemetinin altında olduğu görülmüş olup, iç başlığın bir miktar pekleşme ile +4 Bar iç basınca dayanım gösterebileceği anlaşılmaktadır.

Araştırma ve analizler sonucunda, Vidanjör Sistemi tankının -1 Bar dış basınç şeklinde uygulanan vakum etkisinde mukavemet şartları açısından yapısal kararlılığını koruduğu tespit edilmiştir. +4 Bar iç basınç etkisinde ise tankın iç başlığında ve kapakta plastik şekil değişimin olacağı hesaplanmış olup, bu durumda da yapısal kararlılığın bir miktar plastik şekil değişimiyle birlikte korunacağı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, söz konusu tankın yüzeyinde olması kaçınılmaz olan nozul, şamandıra girişi, fittings, vana bağlantı delikleri vb. yapısal süreksizliklerin Avrupa ADR (Accord Dangereux

Routier veya European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road) standardının isterlerini karşıladığı kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

[1]. http://www.eskisehirvidanjor.com/?sec=1&menuid=1231(Ziyaret tarihi: Aralık 2020)

[2]. Geren, N. ve Tunç T.,1999Basınçlı kap tasarım kodları ve çatlak analizi, *Mühendis ve Makine*, Cilt :40 Sayı : 479, 15-22

[3]. TSE Standardı, TS 3362/Nisan 1979, Ankara

[4]. Balcı, A., 2014,*basınçlı kaplarda malzeme seçimi için karar destek sistemi geliştirilmesi*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[5]. Sancaklı, İ. ve Azeloğlu, C., O., 2017, Basınçlı kapların asme section vıı division 2 ve en 13445 kodlarına göre tasarımı ve karşılaştırılması, *International Conference on Advanced Engineering Technologies*, 21-23 Eylül 2017, Bayburt.

[6]. Babaoğlu, F., 2008, *Yüksek basınçlı silindirik tankların tasarımı*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[7]. Mohammed Qazam Naser, A.V.S.S. Kumara Swami GUPTA., 2013, Structural&thermal analysis of pressure vessel by using ansys, *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, Cilt no: 02, Ağustos-2013, 740-744

[8]. Mestan, F.,2010,*Basınçlı kapların deneysel ve teorik olarak incelenmesi*, Yüksek Lisans, Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü.

[9].Preiss, R. ve Zeman, J., 2004, Comparative Study EN 13445/ASME Section VIII Div. 1 and 2, ASME PVP Conference, 25-29 July 2004, San Diego.

[10]. Tetik, O.,2011,Basınçlı kapların kontrol metotları, *İzmir: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı,* İş Müfettişi Yardımcılığı Etüdü.

[11]. Barthélémy, H., 2013,Hydrogen Storage – Recent improvements and industrial prospectives. *Paper presented at the Fifth International Conference on Hydrogen Safety, Brussels*, September Belgium

[12]. İsmail Sancaklı. ,2017, *Basınçlı kap konstrüksiyonlarına etki eden parametrelerin incelenmesi ve tasarımı*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[13]. Bozkurt, S., 2018, *2014/29/AB Standartlarına uygun içten basınca maruz kompozit basınçlı kap tasarımı ve analizi*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[14]. Guruchannabasavaiah, N G. ve Prof. Shanmugam, Arun L R.2013, Effect Of Temperature And Associated Deformations On The Gasket Seal Compression İn A Pressure Vessel, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Cilt no:4,s. 74-80.

[15]. Moss, D.R., 2004,*Pressure vessel design manual (third edition)*, Burlington: Gulf Professional Publishing.

[16]. Altınbalık, M.T.ve Kabak T., 2015, *Strength and cost analysis of stainless steel uses in the multiplace hyperbaric chambers,* In Proceedings of the UNITECH2015 International Scientific Conference, Gabrovo: Unitechs. 137-143

[17]. Uztuğ, H. E., 1987, *Basınçlı kaplar el kitabı,* Ankara, TMMOB Makine Mühendisleri Odası.

[18]. Geren, N. ve Tunç, T., 1999, Basınçlı kap tasarım kodları ve çatlak analizi, *Mühendis ve Makina,* Cilt no: 40, 15-22.

[19]. Mukherjee, R.,2019, Reimagining pressure vessels in the 21st century. *Reinforced Plastics,* Cilt no: 63, 143-145.

[20]. Sayılgan, U., 1993, Basınçlı kapların tanımı, tasarımı, standartları, *Basınçlı Kaplar Tasarım ve İmalatı Semineri,* 10 Şubat 1993, İstanbul.

[21]. Sancaklı, İ.,2017, Basınçlı kap konstrüksiyonlarına etki eden parametrelerin incelenmesi ve tasarımı, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[22]. Akçar, E., 1980,*Basınçlı kaplar: dizayn, imalat, montaj, test, işletme ve kazanlardan korunma talimatı,* Ankara: Büro Aşama IBM Dizgi ve Ofset Baskı Tesisleri.

[23]. Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı Basınçlı kapların kontrol metotları

[24]. İmmb iş makinaları mühendisleri birliği -Yazan : Kamil Sami EKEMEN - Sayı : Ağustos - 2005 - Yayın Tarihi : 23.12.2010

[25]. Bednar H. H., 1981, *Pressure vessel design handbook,* Van Nostrand Reinhold Company, New York

[26].https://www.taksimosgb.net/basincli-kaplarda-is-guvenligi-kontrolleri/ (Ziyaret tarihi: Ocak 2021)

[27]. İş Ekipmanları Yönetmeliği - Basınçlı Hava Tankları

[28]. Uzun, H., Fındık, F. ve Salman, S., 2008, *Malzeme Biliminin Temelleri,* Değişim Yayınları.

[29]. Aran, Malzeme Bilgisi, 2008 Ders Notları

[30].https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/paslanmaz-celik-neden-paslanmaz(Ziyaret tarihi: Ocak 2021)

[31]. https://bircelik.com/tr/kategori/ostenitik-paslanmaz-celik(Ziyaret tarihi: Şubat 2021)

[32]. Smith, O., 1969, *The science of engineering materials*, Prentice Hail Inc, London.

[33]. Anık, S., Ceyhun, V. ve Vural, M., 1993, Silindirik lpg tanklarının değişik standartlara göre bilgisayar yardımıyla tasarımı, *4. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu*.

[34]. http://www.ndt-ed.org (Ziyaret tarihi: Şubat 2021)

[35].https://muhendisgelisim.com/dislokasyon nedir/(Ziyaret tarihi: Şubat 2021)

[36]. https://www.nedir.com/deformasyon(Ziyaret tarihi: Şubat 2021)

[37]. Çayıroğlu, İ., 2021, *Makine elemanları,*http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/MakineElemanları, [Ziyaret tarihi: 15 Şubat 2021].

[38].Uğur, L.,2020, *Mukavemet akma ve kırılma kriterleri*, https://www.scribd.com/document/398293663/Mukavemet-Konu-7-Akma-Ve-Kirilma-Kriterleri.html,[Ziyaret tarihi: 20 Aralık 2020].

[39].https://marsisinovasyon.com/analitik-hesaplamalar(Ziyaret tarihi: Mart 2021)

[40].Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü İnce Cidarlı Silindirde Gerilme ve Şekil Değiştirme Analizi Deneyi

[41]. 15. Can. A. Ç..“Makine Elemanları Tasarımı”. Birsen Yayın Evi. İstanbul 43 (2006).