



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

Emel KESER^{1*}, M. Hüsnu DİRİKOLU², Gence AKIN³

¹İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, İstanbul
ORCID: 0000-0001-7524-215X

²İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, İstanbul
ORCID: ORCID:0000-0001-6279-2283

³AKIN Export Makine İth. Ihr. Ltd. Sti., Ankara, ORCID: 0000-0001-8414-5669

Anahtar kelimeler

Öz

Vidanjör; AD 2000 (basınçlı kaplar çalışma grubu), ADR (tehlikeli malların karayolu ile uluslararası taşımacılığına ilişkin avrupa anlaşması), gerilme yığılması, basınçlı tank

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 yığılmalarına sebebiyet vererek tankın yapısal performansına menfi etkide bulunur. Araç üstü depolama ve 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, vidanjör sistemiyle ilgili 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 nedenle bu araştırma çalışmasında yeni bir tasarım stratejisi geliştirilmiştir. Bu strateji, tasarım maliyetlerini düşürme ve Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşması metni de denilen ADR standardının son versiyonların da depolama sistemlerine akuple edilmesi istenen ilave kaynaklı parçalar, bağlantı parçaları ve valfleri de hesaba katarak mekanik tasarımı yapma kabiliyetlerine sahip olma hedefindedir. Söz konusu stratejinin uygulamasını göstermek üzere, geometrik süreksizlikler içeren ve ilgili standardın -1 Bar vakum ve +4 Bar basınç aralığında çalışma gerekliliğini sağlayan bir sistemin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Böylece geometrik süreksizliklerin vidanjör sisteminin mukavemeti üzerindeki oransal etkileri ortaya konmuştur.

* Sorumlu yazar; e-posta: emel.keser@ogr.iuc.edu.tr
doi : 10.46399/muhendismakina.1212313

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

Keywords

Sewage disposal, AD 2000 (arbeitsgemeinschaft druckbehälter), ADR (accord dangereux routier / european agreement concerning the International carriage of dangerous goods by road), stress concentration, pressure vessel

Abstract

There are construction discontinuities such as nozzle, float inlet, valve connection holes, man inlet etc. on a truck-mounted waste disposal tank called a vacuum system. These discontinuities cause stress concentrations and adversely affect the structural performance of the tank. Companies that produce on-board storage and control equipment and carry out these works for the dangerous goods transport sector have to verify whether the first solid model of the system, which has emerged with some geometric limitations, complies with certain standards. For this, companies related to the vacuum system use calculation tables in accordance with the standards and then apply to the tests of the manufactured system under real working conditions. If the tests fail, the prototype in hand is scrapped and the resulting design phase is too costly. Therefore, a new design strategy was developed in this research study. This strategy aims to reduce design costs and to have mechanical design capabilities by taking into account the additional welded parts, fittings and valves required to be coupled to the storage systems of the latest versions of the ADR standard, also called the text of the European Agreement on the International Carriage of Dangerous Goods by Road. In order to demonstrate the implementation of the strategy in question, a system with geometric discontinuities has been designed to meet the requirements of the relevant standard to operate in the -1 Bar vacuum and +4 Bar pressure range. Thus, the proportional effects of geometric discontinuities on the strength of the vacuum truck system have been demonstrated.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 03.01.2023

Kabul Tarihi : 28.04.2023

Research Article

Submission Date : 03.01.2023

Accepted Date : 28.04.2023

Extended Abstract

Introduction

In this study, the design of a double-chambered pressure tank with discontinuities in a truck-mounted waste disposal Vacuum Tanker based on AD 2000 W2-W10, ADR, EN 10028-7:2016 and ASTM A240/A240M standards was carried out. The material chosen for the design is X5CrNiMo17-12-2 / 1.4401 / 316 type Austenitic stainless steel sheet. The so called vacuum system has inevitable construction discontinuities. These discontinuities cause stress concentrations and adversely affect the structural performance of the system. For this reason, a detailed and careful analysis should be done for a pressure applied waste disposal system. All loads that may affect the system must be determined correctly and must be taken into account when making calculations.

In this article, it is aimed to reveal the level of negative effects in question and thus to make design improvements to meet the pressure range requirements of the European ADR standard, i.e. from -1 Bar to +4 Bar, for a system that includes these geometric discontinuities.

Methodology and Analysis

When performing a strength analysis for a mechanical system, its performance under applied loads is checked. In order to achieve the desired performance, the required sizes and the suitability of the material selected are checked. For these processes, analyzes are done using the finite element method. Thanks to the software based on the finite element method, the strength analysis of systems with complex geometries can be done numerically.

In this study, the total deformation, von Mises stress, maximum stress, inner cap plastic equivalent stress and inner cap plastic deformation values under the aforementioned pressure conditions with and without discontinuities were made and the results were compared.

The software used is Solidworks Simulation Premium® package (Solidworks, 2021).

Results and Discussions

In the analysis, the solid model was converted into a shell structure, and the thicknesses and X5CrNiMo17-12-2 / 1.4401 / 316 type Austenitic stainless steel sheet material properties were applied to each shell part.

As a result of the +4 Bar pressures applied analyses, the tangential stress at the largest discontinuity, namely, the Float-hole inlet on the cylinder surface of the perforated tank increases by 1.83 times causing a strength issue compared to an unperforated tank.

1. Giriş

Vidanjör, Şekil 1’de gösterildiği üzere 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 $\approx 1,03$ 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" (Solidworks, 2021; Geren ve Tunç, 1999).



Şekil 1. AKN_VAC 18000 LT kodlu ADR Vakum Tankeri

Basınçlı kaplarla ilgili olarak, literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlar arasında, Balcı (2014), basınçlı kabın kullanılacağı ortama bakarak en iyi malzeme ve yer seçimini kararlaştırabilecek MATSEL adlı bir karar destek sistemi geliştirmiştir.

Sancaklı ve Azeloğlu (2017) ise, ASME VIII-2 (2015) ve EN 13445 (2002) standartlarına bakılarak iç basıncın etkisindeki başlık, gövde, nozul ve açıklıkların tasarımlarıyla ilgili bilgi vermiş ve bir hava tankının tasarımını bu standartlara göre yapmıştır.

Babaoğlu (2008) 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.

Mestan (2010) tarafından yapılan çalışmada, iç basınca ilave olarak aksel simetrik yüklemeye maruz silindirik bir basınçlı kabın tasarımını gerçekleştirilmiştir.

Preiss ve Zemanise (2004), aynı girdi verilerine dayanarak bir basınçlı kabın ASME VIII-1, ASME VIII-2 ve EN 13445'e dayalı tasarımlarını karşılaştırmıştır.

Tekik (2011)'in çalışmasında [9] 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.

Barthélémy (2013) makalesinde, kompozit tank uygulamalarındaki gelişmelere ve kompozit basınçlı kapların sınıflandırmasına değinmiştir.

Moss(2004)'un Basınçlı Kap Tasarımı El Kitabı adlı çalışmasında, basınçlı kapların tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar ve tasarım için kullanılan hesaplar anlatılmıştır.

Altınbalık ve Kabak (2015), 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 hesaplanmıştır.

Bozkurt, Nash ve Uzzaman (2019)'da ise çalışmalarında tekli ve çoklu nozul bağlantıları içeren silindirik kaplar üzerinde yüksek duyarlılıklı bir model geliştirmişlerdir. Bu model lineer elastik gerilme analizleri, limit yükleme durumları ve döngüsel yüklemeler ve plastik bozulmalar hakkında bilgiler içermektedir [Bozkurt ve diğ, 2019; Bozkurt, Nash ve Uzzaman, 2020] Ayrıca yine farklı bir çalışmada lineer elastik kırılma mekaniği hakkında yürüttükleri çalışmalarında nozul birleşim bölgelerinde kırılma durumlarını incelemişlerdir (Bozkurt, Nash ve Uzzaman, 2021). Son olarak endüstriye yönelik bir parametre çalışması yürüten yazarlar, gerilme şiddeti faktörlerini önerdikleri bir parametre ile iç basınç ve dış yüklemeler açısından tasarım eğrileri oluşturmuşlardır (Bozkurt, 2022).

Bu çalışmada ADR (ADR Book) ve AD 2000 W2-W10 (AD-2000-merkblatt-technical-rules-for-pressure-vessels, Alman Standardı) ile EN 10028-7:2016 (TS EN 10028-7:2016 Çelik yassı mamuller-Basınç amaçlı-Bölüm 7: Paslanmaz çelikler) standartlarını karşılaması beklenen bir Vidanjör sistemi için süreksizlikler içeren çift bölmeli bir basınçlı tankın tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımda bir ön gereklilik olarak X5CrNiMo17-12-2 / 1.4401 / 316 tipi Östenitik paslanmaz çelik sac seçilmiş olup, basınç yüklemesi -1 Bar ve +4 Bar şeklinde tutulmuştur. Bu tankın mukavemet hesabı için, tüm geometriye dayalı SEM (Sonlu Elemanlar Metodu) ile malzemenin mekanik özellikleri ve sınır şartları kullanılmıştır. Daha sonra bölgesel olarak gerilme yoğunlaşması analizi için pratik sonuçlar sağlayan Elastisite teorisi yaklaşımları gösterilmiştir.

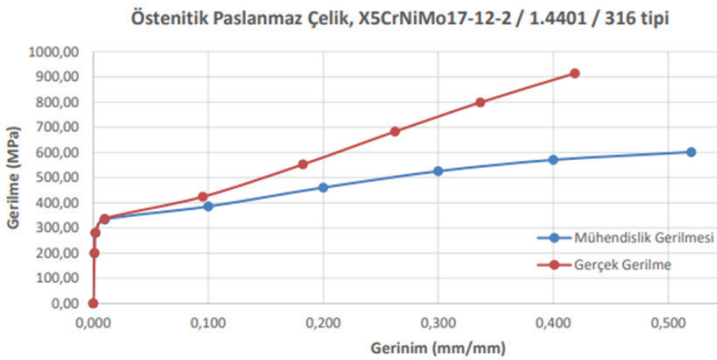
2. Materyal ve Metot

Vidanjör tankında kullanılan ve EN 10028-7:2016 standartlarını karşılayan X5CrNiMo17-12-2 / 1.4401 / 316 tipi Östenitik paslanmaz çelik malzemenin üretici tarafından sağlanan mühendislik gerilme-şekil değiştirme davranışı Şekil 2’de gösterilmektedir. Buradan elde edilen Gerçek Gerilme-Gerçek Gerinim davranışı aynı grafik üzerinde gösterilmektedir. Bu grafiklerden, söz konusu çeliğin %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 elde edilmiştir. Bu verilere bakarak, seçilen düşük karbonlu-yüksek alaşımlı paslanmaz çelik malzemenin oldukça sünek olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 1. Östenitik Paslanmaz Çelik Özellikleri

| | |
|-------------------------------|---------|
| % 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 |
| % Alan Daralması | % 51 |

Vidanjör tankının tasarımında temel alınan kriter, ADR standardının gerektirdiği ve AD 2000 metodolojisinin sağladığı -1 Bar - +4 Bar basınç yüklemeleri etkisinde seçilen malzemenin pekleşme başlangıcına kadar zorlanması şeklinde alınmıştır.

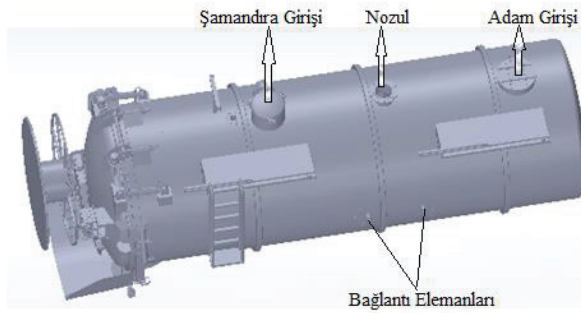


Şekil 2. 316 Paslanmaz Çelik Sac Malzemenin Gerilme-Gerinim Eğrisi

Bu çalışmada çoğu Kobi firmasında çeşitli versiyonları bulunan SolidWorks® paket programı; basit ve hızlı bir şekilde katı modelleri oluşturmak için programın CAD modülü ve mühendislik tasarım inceleme senaryoları için ise doğrusal olmayan düzeye kadar analiz gerçekleştirebilen Simulation Premium modülü kullanılmıştır.

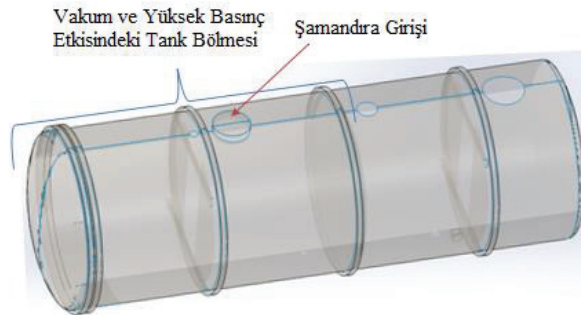
3. Solidworks Analiz

Analizlerin yapılacağı vidanjör sisteminin katı model konstrüksiyonu Şekil 3' te gösterilmektedir.

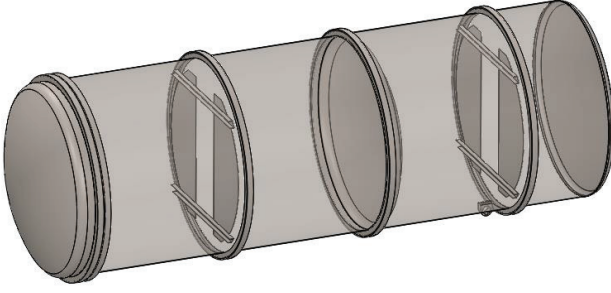


Şekil 3. Vidanjör Sistemi Tankının Katı Modeli

Şekil 3'teki katı modelin nozul, bağlantı parçaları, adam girişi, şamandıra vb. elemanların montajı için açılan deliklerin bulunduğu tasarım ve imalata öncülük eden geometri, karşılaştırma yapmak için süreksizlik içermeyen durumlardaki geometriye indirgenmiştir. Bu yaklaşımla elde edilen kabuk geometriler Şekil 4 ve Şekil 5' te gösterilmiştir.



Şekil 4. Tankın Tasarım ve İmalata Esas Kabuk Geometrisi

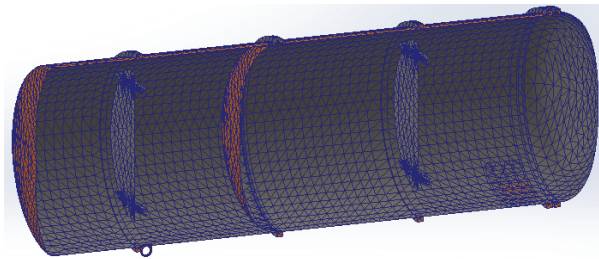


Şekil 5. Karşılaştırma İçin Süreksizlik İçermeyen Tankın Kabuk Geometrisi

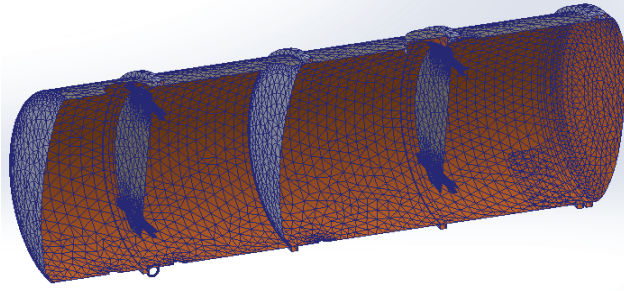
Özellikle ince yassı yapı elemanlarının yüklemeler etkisinde düzlem gerilme haline uygun olarak deformasyona uğraması, kabuk eleman dönüşümünün yapılmasına imkân sağlamıştır. Analiz sonrasında, kabuk geometrisine tanımlanan kalınlık yardımıyla katı modele tekrar dönüşüm sağlanır. Böylece gerilmelere ve şekil değiştirmeye yönelik sağlıklı incelemeler ve değerlendirmeler yapılabilmektedir.

Şekil 4 '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.

Şekil 4 ve 5 'teki tank geometrilerine ADR standardının gerektirdiği -1 Bar vakum ve +4 Bar basınç dayanım analizleri uygulanmıştır. Sırasıyla süreksizlik içeren ve içermeyen tankın geometrisi Şekil 6 ve 7' de olduğu gibi sonlu eleman ağlarına bölünmüş olup, detay gerektiren analiz bölgeleri için söz konusu ağlar daha da yoğun hale getirilmiştir. SEM 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 SEM modellenmesinde en fazla 68302 düğüm ve 33518 kabuk tipinde sonlu eleman kullanılmıştır.

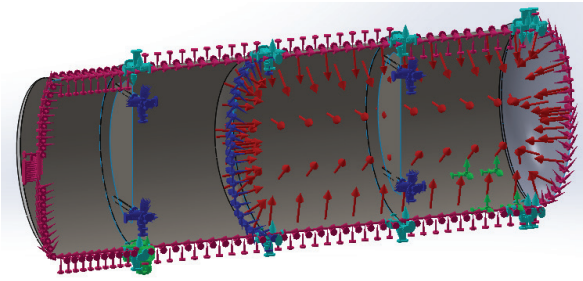


Şekil 6. Deliksiz Tank Sonlu Eleman Ağları

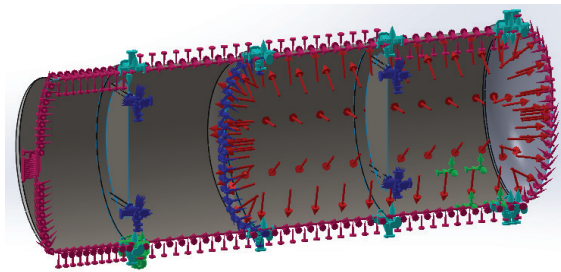


Şekil 7. Delikli Tank Sonlu Eleman Ağları

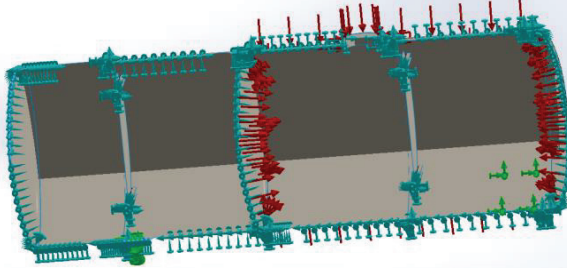
Şekil 8, 9, 10 ve 11’de olduğu gibi tank için sınır şartları ve atmosferik şartlara göre -1 Bar vakum, +4 Bar iç basınç yüklemesi ile simetri ve sabit mesnetler uygulanmıştır. Bu Şekillerde Kırmızı Oklar Vakum Yüklemesini, Yeşiller Sabit Mesnetleri ve Maviler Simetrik Mesnetleri göstermektedir.



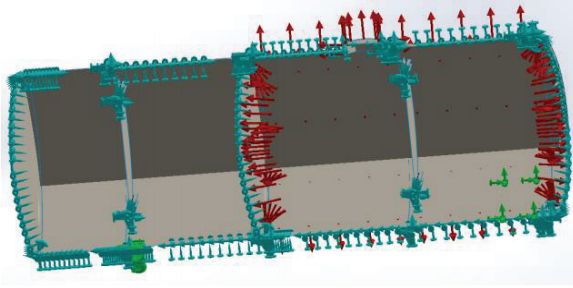
Şekil 8. Deliksiz Tanktaki -1 Bar Vakum Yüklemesi ile Simetrik ve Sabit Mesnetler.



Şekil 9. Deliksiz Tanktaki +4 Bar İç Basınç Yüklemesi ile Simetrik ve Sabit Mesnetler.



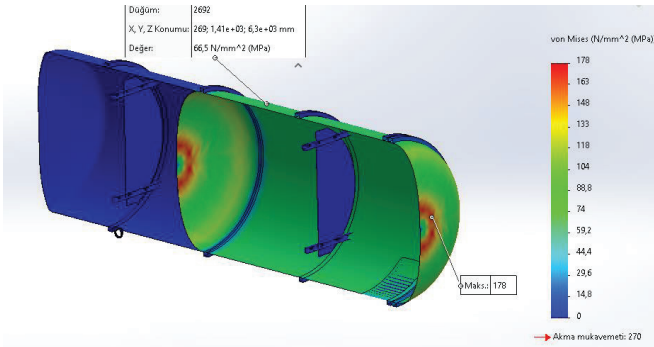
Şekil 10. Delikli Tanktaki -1 Bar Vakum Yükleme ile Simetrik ve Sabit Mesnetler



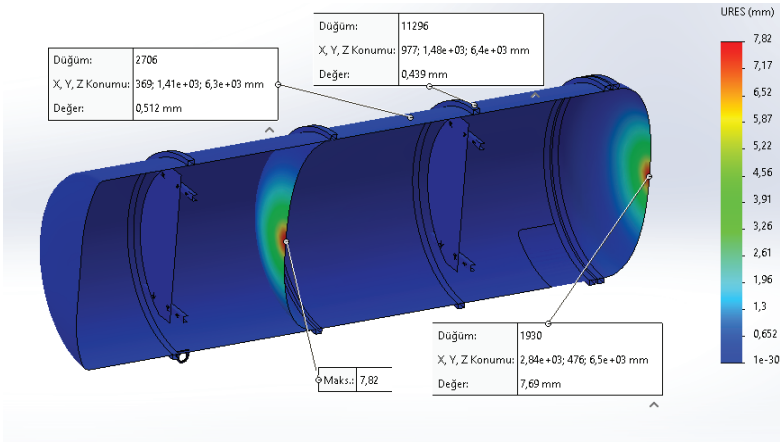
Şekil 11. Delikli Tanktaki +4 Bar İç Basınç Yükleme ile Simetrik ve Sabit Mesnetler

4. Bulgular

+4 Bar İç Basınç etkisinde ve süreksizlik içermeyen tank bölmesinin kritik konumlarında oluşan Von Mises gerilmeleri ve deformasyonlar Şekil 12 ve 13'te verilmiştir.

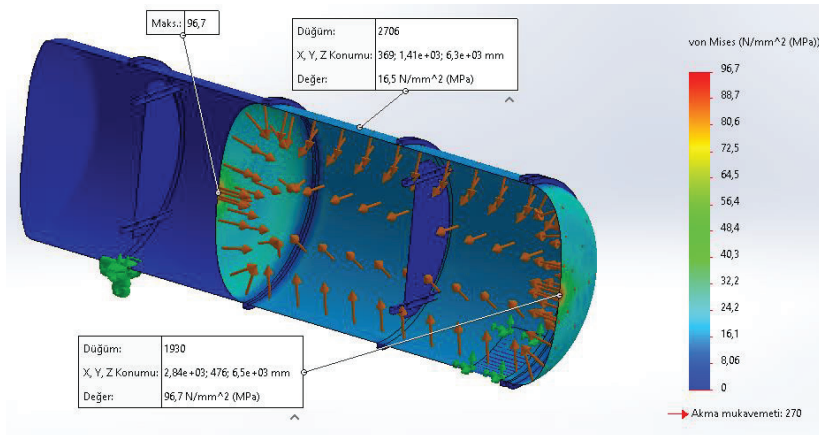


Şekil 12. Deliksiz Tank +4 Bar İç Basınç Yükleme ile von Mises Gerilmesi

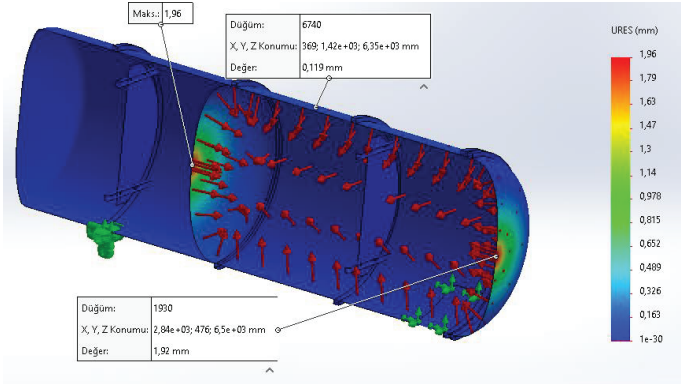


Şekil 13. Deliksiz Tank +4 Bar İç Basıncı Yüklemesi ile Deliksiz Tank Deformasyonu

Şekil 14 ve 15'te vakum etkisinde ve süreksizlik içermeyen tank bölmesinin kritik konumlarında oluşan von Mises gerilmeleri ve deformasyonları gösterilmektedir.

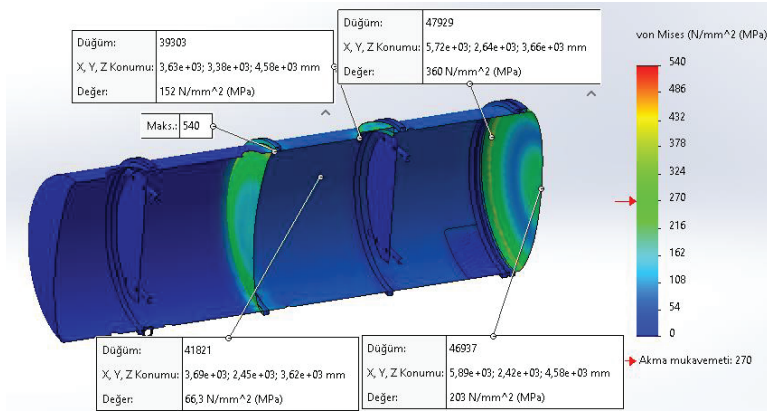


Şekil 14. Deliksiz Tank -1 Bar Vakum Yüklemesiyle Deliksiz Tank von Mises Gerilmeleri

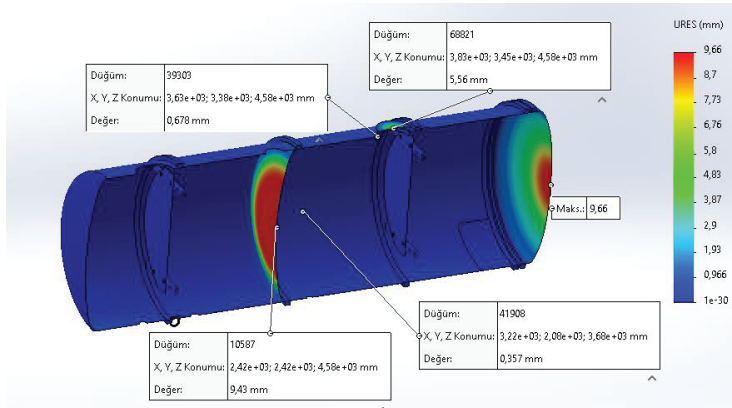


Şekil 15. Deliksiz Tank -1 Bar Vakum Yüklemeyle Deliksiz Tank Deformasyonu

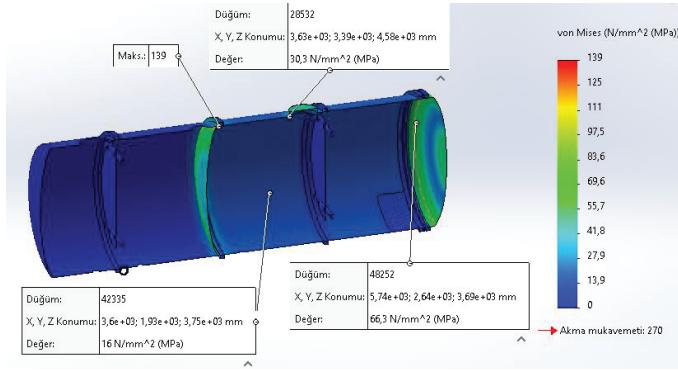
+4 Bar İç Basınç etkisinde ve şamandıra girişi, nozul, bağlantı parçaları delikleri vb. süreksizlik içeren tank bölmesinde oluşan Von Mises gerilmeleri ve deformasyonlar ise Şekil 16 ve 17'de verilmiştir.



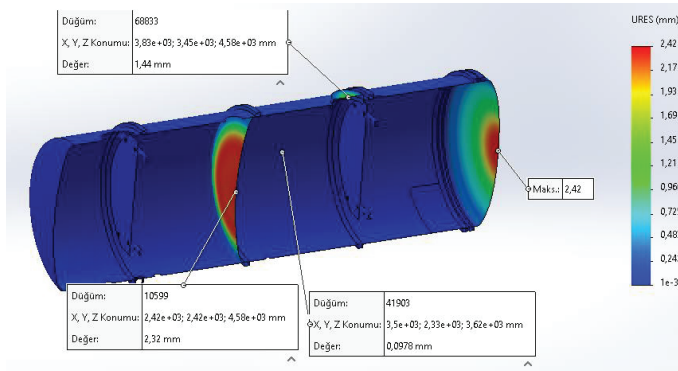
Şekil 16. Delikli Tank +4 Bar İç Basınç Yüklemeyle Delikli Tank von Mises Gerilmeleri



Şekil 17. Delikli Tank +4 Bar İç Basınç Yüklemeyle Delikli Tank Deformasyonu

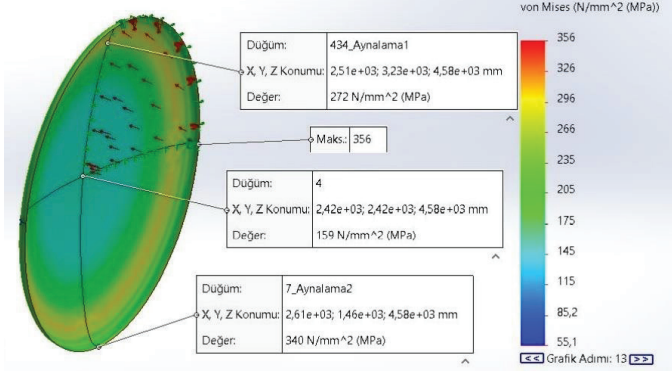


Şekil 18. Delikli Tank -1 Bar Vakum Yüklemeyle Delikli Tank von Mises Gerilmeleri

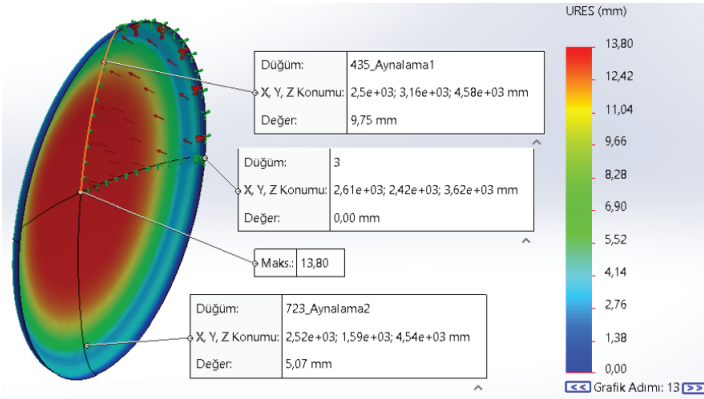


Şekil 19. Delikli Tank -1 Bar Vakum Yüklemeyle Delikli Tank Deformasyonu

Şekil 16'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 20 ve 21'de gösterildiği gibi plastik deformasyon analizinin yapılması gerekli görülmüştür.



Şekil 20. 4 Bar İç Basınç Yükleme ile İç Başlık doğrusal olmayan Plastik Analizi -İç Başlık Plastik Gerilmeleri



Şekil 21. 4 Bar İç Basınç Yükleme ile İç Başlık doğrusal olmayan Plastik Analizi İç Başlık Plastik Deformasyonu.

5. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, Vidanjör Sistemi tankının süreksizlik içermeyen ve imalata esas geometrileri üzerinde sonlu elemanlar metodu kullanılarak elastik ve plastik analizler gerçekleştirilmiştir.

Söz konusu tankın sadece fosseptik atıklar depolanan kısmında (Bkz. Şekil 4 ve 5) vakum veya iç basınç yüklemeleri uygulanmaktadır. 5400 mm'lik silindirik tank uzunluğunun 2400 mm'lik kısmında ise temiz su depolanmaktadır.

Tankın süreksizlik içermeyen ve imalata esas hallerinin SEM analizleri için sınır şartları ve yüklemeler Şekil 6, 7, 8, 9, 10 ve 11'de detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Vakum yüklemeleri dış basınç olarak uygulanmıştır.

Bunun neticesinde süreksizlik içermeyen ve imalata esas tank geometrilerinin gerilme analizleri sonuçları elde edilebilmiş ve sonuçların karşılaştırmalarından, şamandıra girişi, bağlantı parçaları ve valf deliklerinin tankta oluşan gerilmelere etkileri gözlemlenebilmiştir.

Sonuçları sırasıyla Şekil 14 ve Şekil 18'de gösterilen tankın imalata esas delikli ve süreksizlik içermeyen deliksiz hallerinin 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 deformasyonların ise eliptik başların ortasında yer aldığı ve sırasıyla 1.96 mm ve 2.42 mm değerlerinde olduğu Şekil 15 ve Şekil 19'dan 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 12 ve Şekil 16'da gösterilmektedir. Buradan silindirik yüzeydeki gerilmeler 66.5 MPa'dan delik kenarına doğru 152 MPa'a yükselmektedir.

+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 16'daki 540 MPa ile 360MPa değerlerinden de anlaşılabilceği üzere plastik bölgeye geçmiş olup, bunlar iç başlıkta ve tank kapağında oluşmuştur. Şekil 16'daki şekil değişik-

tirmelerin düşüklüğü nedeniyle de iç başlık üzerinde sonuçları Şekil 20 ve 21'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 korunabileceği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, söz konusu tankın yüzeyinde olması kaçınılmaz olan nozul, şamandıra girişi, bağlantı parçaları, vana bağlantı delikleri vb. yapısal süreksizliklerin Avrupa ADR standardının -1 Bar vakum ve +4 Bar iç basınç yüklemeleri isterlerini sınırdan karşılayabileceği kanaatine varılmıştır.

Simge ve Kısaltma Listesi

| Simgeler | Açıklama |
|----------|-------------|
| Cr | : Karbon |
| Ni | : Nikel |
| Mo | : Molibden |
| Al | : Alüminyum |

Kısaltmalar Açıklama

| | |
|-----|--|
| SEM | : Sonlu Elemanlar Metodu |
| Pa | : Pascal |
| ADR | : Accord DangereuxRoutier / European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road / Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşması |
| CAD | : Computer Aided Design |
| TSE | : Türk Standartları Enstitüsü |

Kaynakça

ADR Book, Karayolunda Tehlikeli Madde, <https://adrbook.com/tr/ADR>: Accord

Dangereux Routier / European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road / Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşması.

AD-2000-merklblatt-technical-rules-for-pressure-vessels, Alman Standardı

Altınbalık, M. T., & Kabak, T. (2015). Strength and cost analysis of stainless steel uses in the multiplametallic chambers. *In Proceedings of the UNITECH2015 International Scientific Conference* (pp. 137-143).

Babaoğlu, F. (2008). *Yüksek Basıncılı Silindirik Tankların Tasarımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

Balcı, A. (2014). *Basıncılı Kaplarda Malzeme Seçimi İçin Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi*, (Yüksek Lisans). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Barthélémy, H. (2013). Hydrogen Storage – Recent improvements and industrial perspectives. *Paper presented at the Fifth International Conference on Hydrogen Safety, Brussels, September Belgium*

Bozkurt, M. (2022). Towards a unified design-by-analysis solution to pressure vessel nozzle-shell junction under combined loading, Ph.D. Thesis, University of Strathclyde. doi: <https://doi.org/10.48730/f85m-ee53>

Bozkurt, M., Nash, D., & Uzzaman, A. (2019). Investigation of the stresses and interaction effects of nozzle-cylinder joint sections when subject to multiple external loads. *In Pressure Vessels and Piping Conference* (Vol. 58943, p. V003T03A028). *American Society of Mechanical Engineers*. doi:<https://doi.org/10.1115/PVP2019-93306>

Bozkurt, M., Nash, D., & Uzzaman, A. (2020). Effect of the internal pressure and external loads on nozzles in cylindrical vessel. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 938, No. 1, p. 012007). *IOP Publishing*. doi:<https://doi.org/10.1088/1757-899X/938/1/012007>

Bozkurt, M., Nash, D., and Uzzaman, A. (2021). Calculation of outer crack stress intensity factors for nozzle junctions in cylindrical pressure vessels using FCPAS. *In Pressure Vessels and Piping Conference* (Vol. 85321, p. 1-10). *American Society of Mechanical Engineers*. doi:<https://doi.org/10.1115/PVP2021-64385>

Geren, N., Tunç, T. (1999). Basıncılı kap tasarım kodları ve çatlak analizi. *Mühendis ve Makina*, Cilt :40 Sayı : 479, 15-22, 1999

Mestan, F. (2010). *Basıncılı Kapların Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü

- Moss, D. R. (2004). *Pressure Vessel Design Manual (Third Edition)*. Burlington: Gulf Professional Publishing
- PreissveJ, Zeman (2004). ComparativeStudy EN 13445/ASME Section VIII Div. 1 and 2, ASME PVP Conference, San Diego.
- Sancaklı, İ. ve Azeloğlu, C.O. (2017) Basınçlı kapların asme section viii division 2 ve en 13445 kodlarına göre tasarımı ve karşılaştırılması. *International Conference on Advanced Engineering Technologies*, 21-23 Eylül 2017, Bayburt.
- SOLIDWORKS Simulation Premium: Description of Modules. . (2020). Erişim adresi: <https://www.solidworks.com/tr/media/solidworks-simulation-premium-description-modules>
- Tetik, O. (2011). Basınçlı Kapların Kontrol Metotları. ÇSGB İş Teftiş Kurul. Başkanlığı İş Müfettişi Yardımcılığı Etüdü. İzmir.
- TSE Standardı (1979), TS 3362, Ankara
- TS EN 10028-7:2016 Çelik yassı mamuller-Basınç amaçlı-Bölüm 7: Paslanmaz çelikler