

# Yüksek Basınçlı Küresel Tank Sistemlerinde Geometri Tabanlı Uygun Basınç Dağılımlarının Belirlenmesi

Dr. Harun Gokce\*

TÜBİTAK – SAGE Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü Ankara/Türkiye

## Özet

Mühimmat projelerinde en önemli faaliyetlerden biri arayıcı başlık geliştirme çalışmalarıdır. Günümüz ulusal mühimmat geliştirme çalışmalarında bu sistemler ağırlıklı olarak dış kaynaklı tedarik edilmektedir. Bu sistemlerin en önemli alt parçalarından biri Soğutucu Gaz Tankı'dır. Soğutucu Gaz Tankı, görüntüleme faaliyetlerinin yapıldığı hacim için ihtiyaç duyulan gazın sisteme kısa sürede dolmasını sağlayarak işlenebilir net görüntünün elde edilmesini sağlamaktadır. Kısa bir süre içerisinde gaz transferini gerçekleştirilmesi gereken bu ürünün yüksek basınç ile basınçlandırılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, arayıcı başlık içerisinde kullanılan yüksek basınçlı gaz tankının tasarımında dikkat edilmesi gereken geometrik gereksinimler ortaya konacaktır. Kavramsal bir tasarım üzerinde MIL-STD-8591 standartlarına uygun olarak yapısal analizler yapılacak, küre bileşimi ve nozul yapısındaki geometrik farklılıkların malzeme üzerinde oluşan gerinimleri nasıl etkilediği belirlenecektir. Son olarak, küresel tankların bileşim ve nozul tasarımları hakkında önerilerde bulunulacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Arayıcı başlık, Gaz tankı, Yapısal tasarım

## Abstract

One of the most important studies in munition projects is the study of seeker. This system is supplied by external search in the studies of today's national munition developments. One of the most important sub system is refrigerator gas tank. The gas tank supplies machinable clear picture by supplying filling the gas, needed for the capacity in that images are produced in a short time. In a short time this product of which gas transfer being materialized have to be pressure in a high pressure. In this study the geometrical needings that have to be noticed in the design for high pressure gas tank which is used in the finder heading will be exposed. In a conceptual design the structural analysis which is appropriate for MIL-STD-8591 will be done, the lower values of the flowing resistance of the material will be determined.

**Key words:** Seeker, Gas tank, Structural design

## 1. Giriş

Güdümlü mühimmatlarda hedefin takibi ve pozisyon belirleme faaliyetlerini yerine getiren sistemlere arayıcı başlık adı verilmektedir. Mevcut füze sistemlerinde yaygın olarak kızılötesi ve lazer olmak üzere iki farklı arayıcı teknolojisi proje isterlerine göre kullanılmaktadır. Bu seçeneklerden kızılötesi görüntüleyici arayıcı başlık sisteminde, kızılötesi dedektör bütününe soğutulması için kullanılacak olan yüksek saflıkta kuru havayı, projenin ihtiyaçlara uygun olarak saklayıp istenildiği zaman dedektöre ulaştırma gereksinimi mevcuttur. Kuru havanın kısa bir süre içerisinde görüntüleyici içerisine transferinin sağlanması için yüksek basınçlı saklama tanklarına

\*Corresponding author: Address: TÜBİTAK Defence Industry Research Development Institution, 06261, Ankara TURKEY. E-mail address: hgokce@yahoo.ca, Phone: +90312 590 9025 Fax: +90312 590 9148

ihtiyaç vardır. Bu gereksinimlerden dolayı ihtiyaç duyulan basınçlı tankın küresel bir yapıda tasarlanması gerekmektedir. Basınçlı tanklar gereksinimleri gereği farklı tasarım kurallarına uyularak üretilmektedir. Bu da gerek imalat gerekse montaj aşamasında zorlukların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu kurallar arasında temel fark kullanılan malzeme için öngörülen tasarım gerilmeleridir. Aşağıda basınçlı tanklar için endüstride yaygın olarak kullanılan standartlar belirtilmiştir.

- AD Merkblätter (Basınçlı tanklar için teknik kurallar)
- ASME VIII (Basınçlı kapların yapımı için kurallar)
- EN 13445 vs. (Alevsiz basınçlı kaplar standartları)
- MIL-STD-8591 (Askeri basınçlı tank standartları)

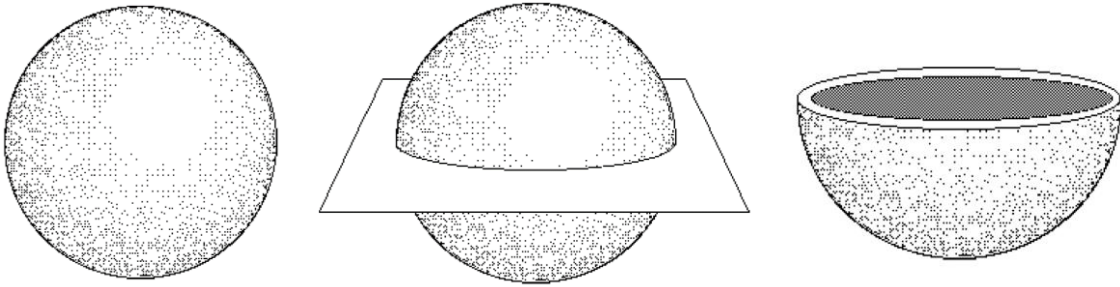
Bu çalışma kapsamında, arayıcı başlık içerisinde kullanılan yüksek basınçlı kuru hava tankının tasarımında dikkat edilmesi gereken geometrik gereksinimler ortaya konacaktır. İlk olarak, küresel tanklarda tasarım parametreleri anlatılacak, ardından küresel yarım kürelerin kaynakla birleştirme metodolojilerine değinilecektir. Son olarak, askeri standartlar göz önüne alınarak (MIL-STD-8591) kavramsal bir küresel gaz tankı tasarımının güvenilirliği, sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelenecektir.

## 2. Küresel Tank ve Yapısal Değerlendirmeler

Küresel basınçlı tanklar büyük iç basınçlar karşısında yüksek sızdırmazlık ve mukavemet özelliği gösteren tanklardır. Bu tanklar sıvı veya gaz depolamada kullanılabilir. Gaz depolanmasında kullanılan tankların iç basınçları çok yüksek mertebelerde olabilir. Bu tanklar endüstride bir çok farklı alanda kullanılmaktadır. Bu nedenle insan sağlığı ve can güvenliği önemli bir parametredir. Bundan dolayı üretilen tankların tasarımının amacına uygun olmasının yanı sıra, analizinin doğru yapılarak emniyetli kullanım şartlarının oluşturulması gerekir. Bunun sağlanması için tank üzerindeki yüklerin doğru belirlenerek testlerinin ve yapısal analizlerinin yapılması gerekir [1].

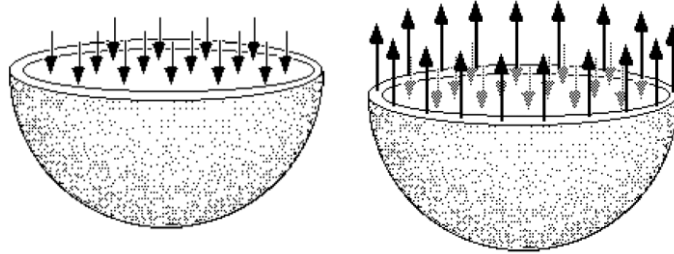
Bir basınçlı tank tasarımı yapılacağı zaman, tasarım metodu, tasarım basıncı, işletme basıncı, tasarım sıcaklığı ve işletme sıcaklığı gibi şartların belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, malzeme temini, malzemenin üretimi, işlenebilirliği, kaynak kabiliyeti de göz önüne alınır. Malzeme seçimi esnasında; malzeme özellikleri, korozyon faktörü, işletme sıcaklığı ve basıncı, çekme mukavemeti, akma gerilmesi, emniyet katsayısı, aşınma katsayısı, kırılma analizi, ticari inceleme faktörlerinin göz önüne alınması gerekmektedir. Sonraki başlıklarda küresel tanklar için tank tasarımı ile ilgili genel bilgiler verilecektir.

Basınçlı tanklar düzlem gerilme analizinin önemli bir uygulama alanını teşkil eder. İç çapı  $r$ , cidar kalınlığı  $t$  ve içinde taşınan akışkanın basıncı  $P$  olan basınçlı bir tankta, analizi sadeleştirmek için kabı ikiye keserek, statik dengede olan basınçlı kabın, (Newton'un birinci kanunu) simetri nedeni ile cidar elemanının tüm yüzeyine tesir eden gerilmelerin eşit olduğu görülür (Şekil 1).



Şekil 1. Küresel bir tankın kesit görünüşü [2]

Diğer bir ifadeyle, kabın cidarındaki gerilimlerin toplamı kesit alana etkiyen iç basınca bağlı kuvvetlerin bileşkesini dengeler. Bu durum;  $\sigma \cdot t \cdot 2\pi \cdot r = p \cdot \pi \cdot r^2$  ise  $\sigma = \frac{p \cdot r}{2 \cdot t}$  fomülü ile izah edilebilir [3,4,5].



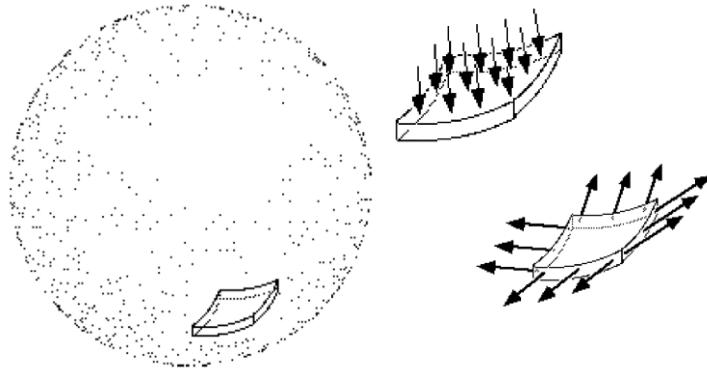
Şekil 2. Küresel basınçlı bir tank üzerindeki dikey kuvvetlerin dengesi [2]

Küresel basınçlı tankın birim yüzeyine etkiye basınç yüklerinin denge durumu dikkate alındığında hesaplamalar şu şekilde gerçekleşir:

- Tüm bileşke kuvvetler sıfırdır.  $\tau_{r\phi} = \tau_{\phi r} = 0$ ,  $\tau_{r\theta} = \tau_{\theta r} = 0$  ve  $\tau_{\theta\phi} = \tau_{\phi\theta} = 0$ ,
- İç yüzeydeki  $p$  basınç değerinin negatifi ile dışardaki serbest yüzey üzerindeki  $\sigma_{rr}$  normal gerilimi eşit değildir.
- Normal gerilim  $\sigma_{\theta\theta}$  ve  $\sigma_{\phi\phi}$ , tüm kap üzerinde eşit ve sabittir. Eşitliği basitleştirmek için kısaltma kullanılabilir.  $\sigma = \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\phi\phi}$ .

Çıkan gerilim matrisinin kolaylaştırmak için aksenal sadeleştirme kullanabiliriz. Bu sadeleşmiş eşitlikte tüm duvarlardaki gerilim aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi belirlenir [6].

$$\begin{bmatrix} \sigma_{\theta\theta} & \tau_{\theta\phi} & \tau_{\theta r} \\ \tau_{\phi\theta} & \sigma_{\phi\phi} & \tau_{\phi r} \\ \tau_{r\theta} & \tau_{r\phi} & \sigma_{rr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma & 0 & 0 \\ 0 & \sigma & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$



Şekil 3. Küresel Basıncı tanktaki birim alana gelen yükler [6]

Denge durumundaki basınçlı kaplarda kabul edilebilir maksimum basınç değeri aşağıda belirtilen denklemdeki formül ile belirlenebilir [7].

$$P_{maks.} = \frac{2fze_a}{D_m} \quad (2.2)$$

Burada  $f$  nominal tasarım gerilmesini (MPa),  $z$  kaynak katsayısını,  $e_a$  cidar kalınlığını (mm),  $D_m$  ortalama basınçlı kap çapını (mm) göstermektedir.

Türk Standartları Enstitüsüne (TSE) göre silindirik ince cidarlı basınçlı kaplarda kabul edilebilir en yüksek basınç aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi hesaplanır:

$$P_{maks.} = \frac{\left(\frac{t_0 20K}{D}\right)}{\left(1 - \frac{t_0}{D}\right)} [bar] \quad (2.3)$$

$$t = \frac{t_0 + b + c}{1 - \frac{a}{100}} [mm] \quad (2.4)$$

$$t_0 = \frac{pD}{20Ke + p} [mm] \quad (2.5)$$

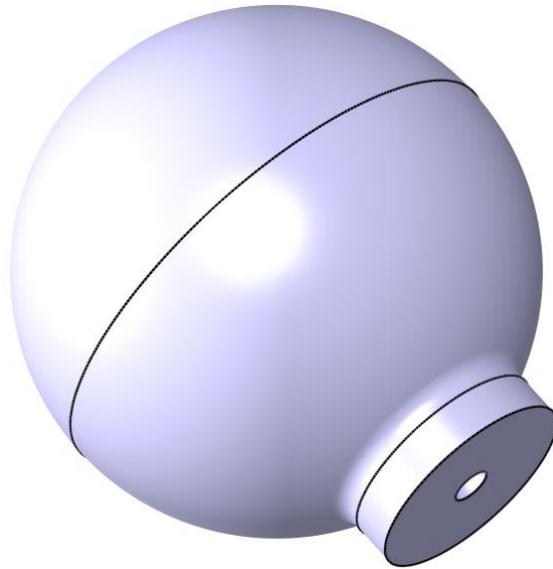
$$K = \frac{Re}{1,8} \quad (2.6)$$

Burada  $t$  minimum kalınlığı (mm),  $t_0$  teorik kalınlığı (mm),  $p$  dizayn basıncını (bar),  $D$  dış çapı (mm),  $K$  müsaade edilen gerilme (MPa),  $e$  kaynaklı borular için verim katsayısı,  $b$  eğim toleransı (mm),  $c$  korozyon toleransı (mm),  $a$  et kalınlığı imalat toleransı (%),  $Re$  Minimum akma sınırını göstermektedir [8].

### 3. Yapısal Analiz Değerlendirmesi

Bu tasarım hesabında, kızılötesi görüntüleyici arayıcı başlık sistemlerindeki soğutma gaz tankı'nın en kritik basınç yüklerine göre, gövde parçaları için gerçekleştirilen yapısal analizler anlatılmaktadır. Tasarım hesabı için belirlenen basınç yükleri MIL-STD-8591 standardı ve diğer proje gereksinimleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Yapısal analizler sonucunda, test basınç yükü üzerinde gaz tankını oluşturan tüm alt parçaların gerilme değerleri elde edilmiştir. Bu gerilme değerleri dikkate alınarak, kaynak operasyonu ve nozul yapısı değerlendirilmiş, sistemde kullanılabilecek ham malzeme gereksinimleri ortaya konmuştur.

Çalışma basıncı yaklaşık 400 bar olan Soğutucu Gaz Tankı (SGT), 800 bar test basıncı ile basınçlandırılmaktadır. Bundan dolayı etkileyecek en yüksek basınç miktarına göre sistemin sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve von Misses gerilme dağılımları belirlenmiştir. Yapılan analizlerde SGT'nda test basıncı için herhangi bir kalıcı deformasyon olmayacağı görülmüştür. Yapısal analizler için hazırlanan üç boyutlu (3B) model aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 4).

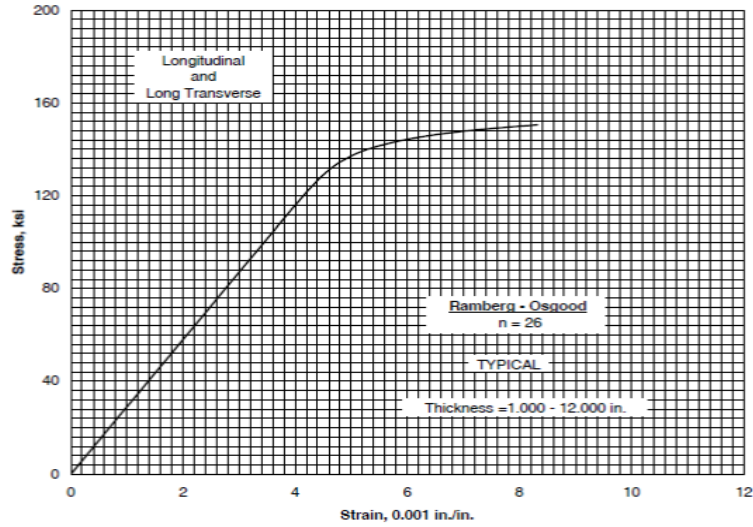


Şekil 4. Yapısal analiz için hazırlanan 3B model

MIL-DTL-23659E'de belirtilen basınç yükleri kullanılarak SGT ve alt parçalarının sonlu elemanlar analizi yöntemi ile yapılan yapısal analiz incelemelerinde, analiz modelleri Msc.Patran yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Sonlu elemanlar çözücüsü olarak Msc.Nastran yazılımı kullanılmıştır. Standartta belirtilen yükler Msc.Nastran çözücüsü için belirtildiği şekilde tanımlanarak modele uygulanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan koordinat sisteminde x eksenine öne doğru ve yuvarlanma, y eksenine sağa doğru ve yunuslama, z eksenine aşağıya doğru ve yana dönme eksenine olarak seçilmiştir. Hesaplamalarda gövde parça malzemeleri AISI 304L paslanmaz çelik olarak kabul edilmiş ve lineer elastik olarak modellenmiştir. Yapısal analiz çalışmalarında belirlenen malzeme özellikleri Tablo 1'de belirtilmiştir.

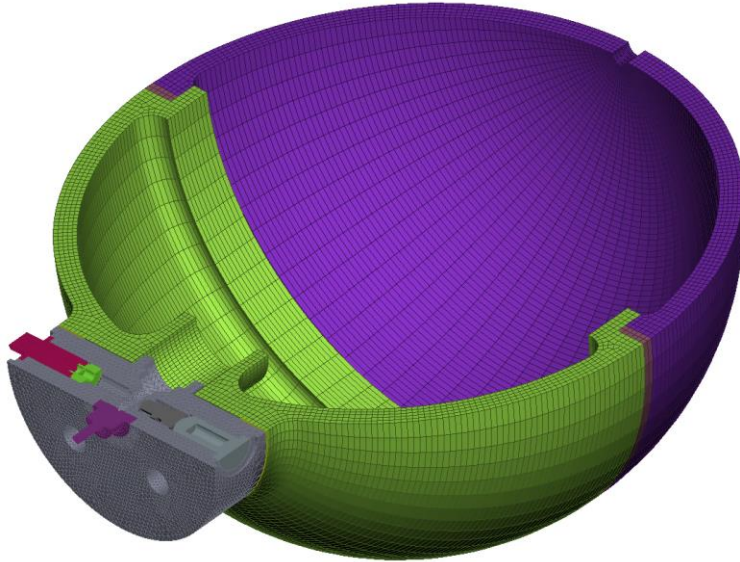
Tablo 1. AISI 304L paslanmaz çelik malzeme özellikleri

| Elastisite Modülü<br>GPa | Poisson<br>Oranı | Yoğunluğu<br>kg/m <sup>3</sup> | Akma dayanımı<br>MPa |
|--------------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|
| 190 – 203                | 0.265 – 0.275    | 7850 – 8060                    | 515 – 690            |



Şekil 5. Oda sıcaklığındaki AISI 304L Paslanmaz Çelik Çubuk için tanımlanan akma eğrisi

Gövdenin tamamı aynı ısı genleşme katsayısına sahip malzemeden üretilmiş olduğu için analizlerde ısı yüklerinin yaratacağı gerinim ve gerilmelerin küçük olacağı düşünülmüş ve ısı yükleri göz ardı edilmiştir. SGT sonlu eleman analiz modeli ağ yapısı Şekil 6'da gösterilmiştir.

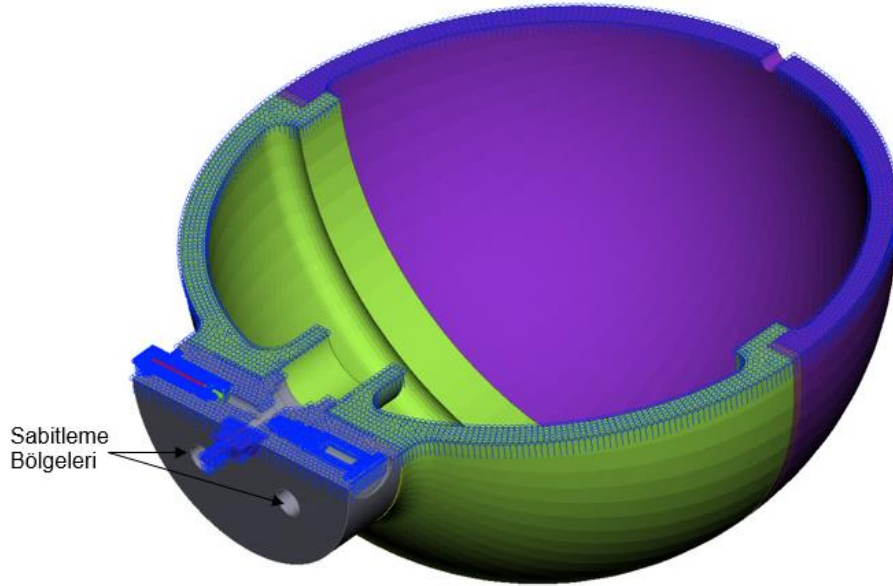


Şekil 6. Sonlu eleman analiz modeli ağ yapısı

Analizler 3B model geometrisi üzerinden ele alınmıştır. Kürenin alt bölgesinde nozula dişliler ile bağlanan Basınçlandırma Hattı parçası yükler ve geometri eksenel simetrik olmadığından dolayı analizler 2B kesit model ile gerçekleştirilememiştir. Tüm elemanların toplam ağ yapısı 57.232 adet 8 düğüm noktalı heksagonal (CHEXA) elemandan oluşmuştur. Toplam düğüm noktası sayısı 771.108'dir.

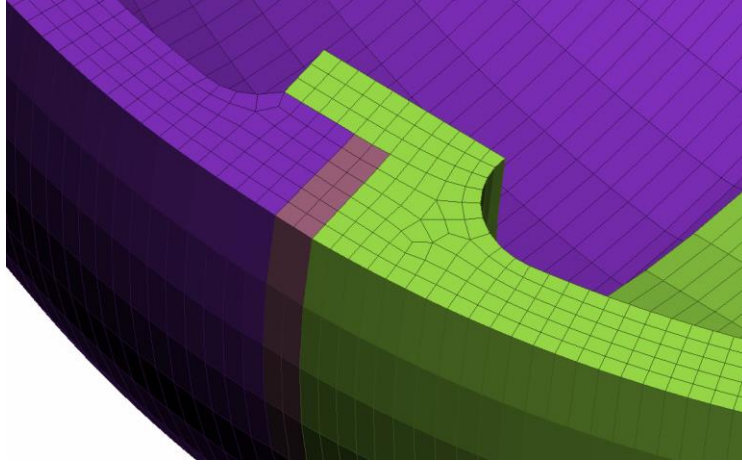
Analiz Modeli, bütünü oluşturan her alt parçanın ayrı ayrı ağ yapısının oluşturulması, ardından bu parçaların bağlantı ara yüzlerinin birbirlerine Msc. Patran yazılımında "RBE2" olarak adlandırılan MPC'lerle (MPC: "Multi-Point Constraint", Çok Nokta Kısıtı) bağlanması ile oluşturulmuştur. Bu yöntemde gövde parçaları arasındaki yük aktarımının gerçek yapıda olduğundan farklı olarak sadece bağlantı arayüzleri üzerinden olması sağlanmıştır. Gerçek yapıda gövde parçaları arası yük aktarımı cıvata ve gövde parçaları arasındaki kaynak bölgeleri yoluyla olmaktadır. Bu yöntemle sonlu eleman analizi sonucunda gövde parçalarındaki gerilme ve gerinim dağılımlarının daha korunumlu şekilde hesaplanabileceği değerlendirilmektedir. Bu yöntem ayrıca gerçekleştirilmesi planlanan cıvata bağlantı hesaplarında kullanılacak olan cıvata bağlantıları yüklerinin belirlenmesini de mümkün kılmaktadır.

SGT modelinde sınır koşulları küre bütünü ve basınçlandırma hattı parçası yüzeylerine uygulanmıştır. Buna göre basınçlandırma hattı parçası, gaz tankı üzerine 4 adet cıvata ile şekilde gösterildiği gibi sabitlenmiş olarak kabul edilmiştir. Bağlantı pozisyonlarının sınır koşulları, düğüm noktalarının gerçek konumu gibi, x,y ve z yönündeki doğrusal deplasmanları kısıtlanmış belli bir mesafedeki düğüm noktasına MPC'ler ile bağlanmasıyla uygulanmıştır. Kaynak bölgeleri hariç tüm alt parçalar bu prensibe uygun olarak birleştirilmiştir.



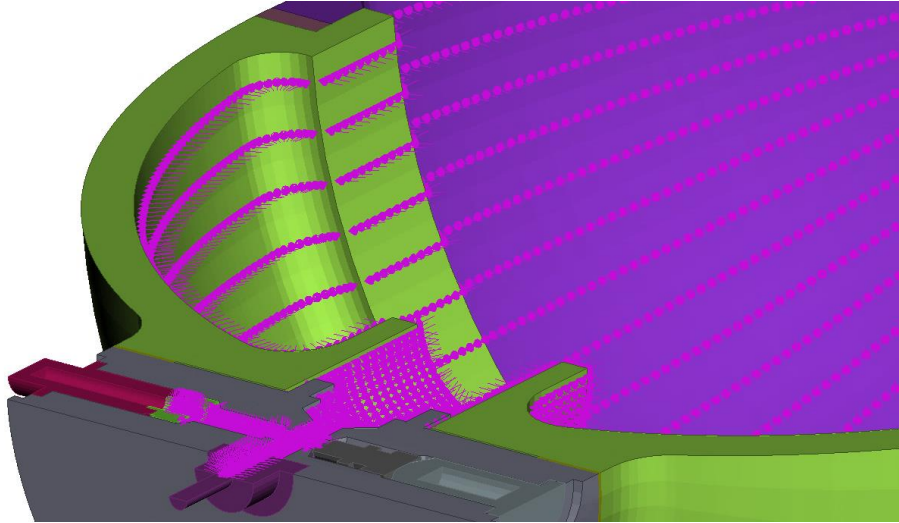
Şekil 7. Sınır koşullarının model üzerine tanımlanması

Bütündeki tüm kaynak bölgeleri CHEXA elemanlar ile düğüm noktası eşleştirme yöntemiyle tanımlanmıştır. Küre, Üst ve Küre, Alt parçaları arasındaki eleman boyutları 1.0mm olarak hazırlanmıştır. Diğer kaynak bölgeleri için bu değer 0.5mm olarak düzenlenmiştir. Bu bölgelerdeki stresler için ayrıca yapısal olarak kaynak analizi yapılacak ve olması gereken kaynak parametreleri belirlenmeye çalışılacaktır. Şekil 8’de kaynak bölgesindeki eleman yapıları gösterilmiştir.



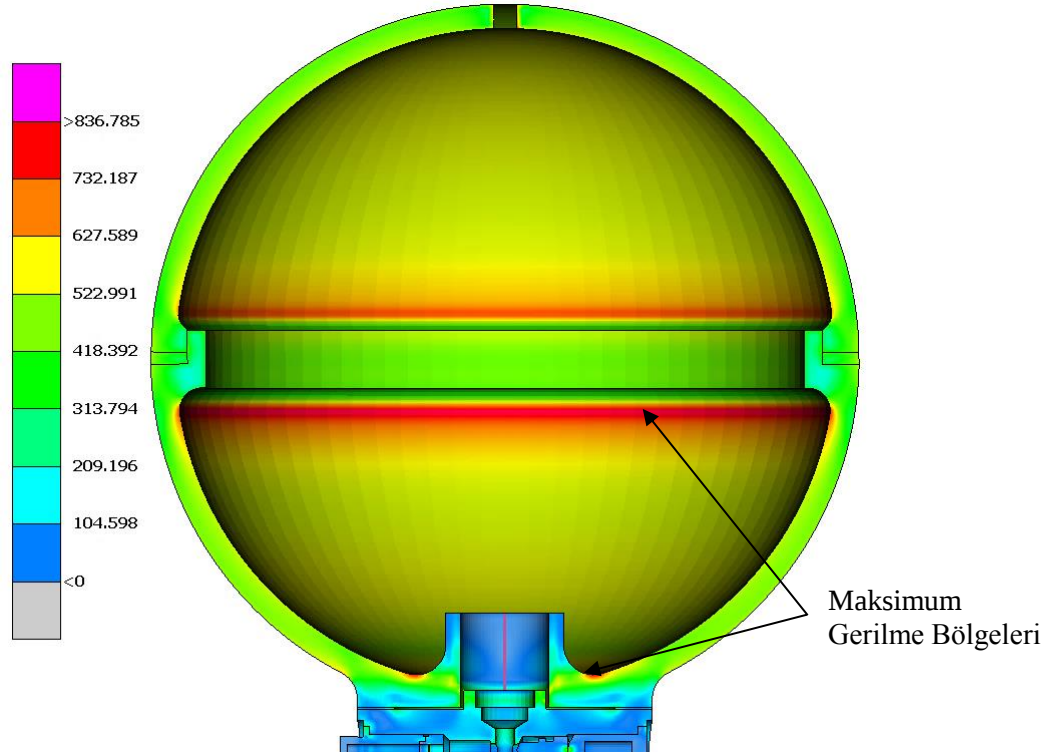
Şekil 8. Kaynak bölgelerindeki eleman yapıları

Yapılan analizlerde MIL-DTL-23659E’de belirlenen basınç değerleri kullanılmıştır. 800 bar olarak belirlenen basınç değeri küre bütünü ve basınçlandırma hattı iç hacmine uygulanmıştır. Şekil 9’da basınç uygulanmış bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 9. İç yüzeyde basınç uygulaması gösterimi

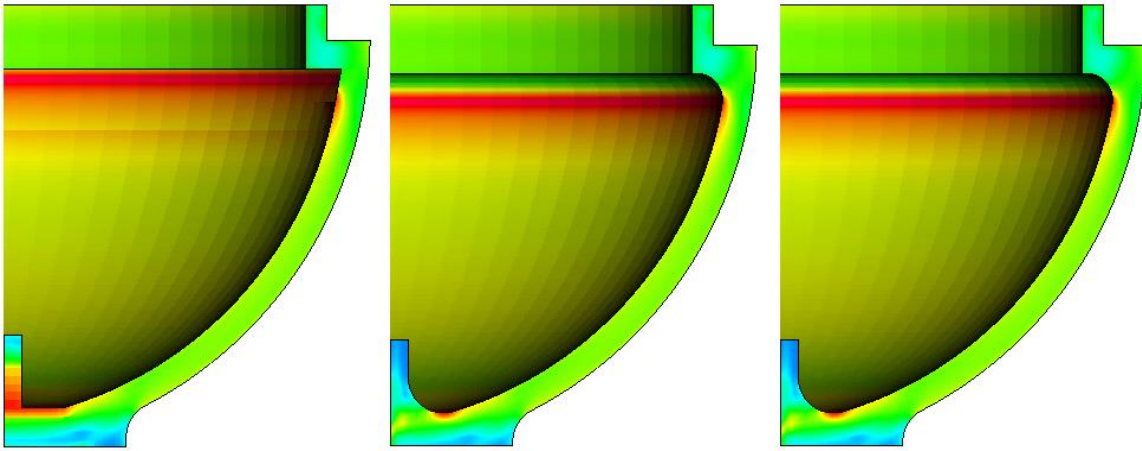
SGT'nın tasarım yükleri altındaki sonlu eleman yapısal analiz modeli kurulmuştur. Çalışma basıncı yaklaşık 400 bar olacak olan Soğutucu Gaz Tankı'nda 800 bar test basıncı uygulanması ile oluşan von Mises gerilmeleri dağılımı sonlu eleman analizi sonucu Şekilde verilmiştir. Buna göre Soğutucu Gaz Tankı'nda test basıncı için herhangi bir kalıcı deformasyon olmayacağı görülmüştür. Şekil 10'da Gaz Tankı'nda oluşan Von Misses gerilme dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 10. 800 bar iç basınçta Soğutucu Gaz Tankı Von Misses gerilme dağılımı (MPa)

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Belirtilen basınç yükleri ve sınır koşulları için sonlu eleman yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde SGT'nda oluşacak en yüksek basınç yükü altında tüm alt parçaların yapısal değerlendirmeleri yapılmıştır. Buna göre sistemde oluşan Von Mises gerilme dağılımları belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Gaz Tankı gövdesinde belirlenen en yüksek Von Mises gerilmesi değeri 836 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu gerilmeler, kürenin nozul eğrisi ve kaynakla birleşim radyüslerinde meydana gelmiştir. Oluşan gerilme değerlerinin AISI 304L akma dayanımının üzerinde olduğu görülmektedir. Bu nedenle, yüksek gerilme bölgelerinde geometriksel değişikliklerin yapılması ve/veya malzemenin değiştirilmesi uygun olacaktır. Yüksek mukavemetli malzemelerin işlenebilirliği ve kaynak operasyonları zorluklar içerdiğinden dolayı genellikle geometrik değişiklikler gerilmelerin azaltılması için faydalı olacaktır. Şekil 11'de 3 farklı kesit geometrisi verilmiştir.



Şekil 11. Farklı küre kesitlerinde oluşan gerilme dağılımı (MPa)

Şekil 11’de görüldüğü gibi küçük eğrisel geçişlerin olduğu dar bölgelerde gerilmeler yüksek çıkmaktadır. Ancak, büyük eğrisel geçişler gerilmeleri rahatça tüm geometri üzerine dağıtarak, oluşabilecek yük yığılmalarını engellemektedir. Küresel tank tasarımı en kritik gereksinim, içerdiği gaz hacminin miktarıdır. Büyük eğrisel geçişler iç hacmin azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, küçük yarıçaplardan her zaman kaçmak mümkün değildir. Sadece, yapısal olarak gerektiği şartlarda, belirtilen yapısal değişikliklerin yapılması, bununla beraber hacimsel gereksinimlerin dikkate alınması gerekmektedir.

### Kaynaklar

- [1] M.Ç. Tüzemen. İçten Basınca Maruz Çelik ve Kompozit Tank Tasarımı, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendisliği Fakültesi, Lisans Tezi, 2012.
- [2] Türkel V., Oğur A., Anık S. Küresel Tankların Dizayn ve İmalatının Bilgisayar Yardımıyla İncelenmesi. Mühendis ve Makina, Cilt:49 Sayı: 579, 2008.
- [3] “Initiators, Electrics, General Design Specification Procedures”, MIL-DTL-23659E.
- [4] NASA. A Manual for Pyrotechnic Design, Development and Qualification. Technical Notes, 1995.
- [5] ASME. Rules for Contruction of Pressure Vessels. , Sec. VIII, Div.1, 1995.
- [6] EN 13445. Unfired Pressure Vessels. Mayıs 2002.
- [7] Milekovskii, I.E., Trustin, S.I. Analysis of This Walled Structures. Brookfield, 1994.
- [8] Murroy, W. Introduction to the Theory of Thin Walled Structures. Oxford, 1986.