

Basıncı Kaplarda Eksenel (Axial) ve Teğetsel (Hoop) Gerilim Hesaplamaları

Hazırlayan
Betül ABLAY Yapısal Analiz Mühendisi

Tarih: 07/06/2024

Bu çalışmada ince cidarlı basınçlı tüpün, basınç etkisi altında eksenel ve teğetsel gerilme analizi yapılmıştır. İki boyutlu sonlu elemanlar modeli MSC Apex 2024.1 oluşturulup, Nastran 2023.4 yardımıyla sonuçlar incelenilmiştir. Analiz ortamında elde edilen eksenel ve teğetsel gerilme sonuçları ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan el hesabındaki sonuçlar karşılaştırılmıştır.

1. Basıncı Kaplar

Basıncı kaplar; içlerinde akışkan taşıyan ya da depolayan, içsel ve dışsal basınçlara maruz kalan yüksek sızdırmazlık özelliği istenen depolar ve tanklar olarak tanımlanabilir. Endüstriyel alanlarda, petrokimya, enerji, gıda, ilaç ve su arıtma gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Basıncı kapların emniyetle görevini yerine getirebilmesi için belirli aralıklarda kontrolden geçmesi gerekmektedir. Bu sebeple basınçlı kaplar tasarım, imalat ve kontrolleri ilgili standartlara uygun olarak yapılmalıdır.

Basıncı tanklar, güvenli ve verimli depolama için ideal bir çözümdür. Güçlü, sızdırmaz ve dayanıklı yapısı ile birçok sektörde kritik bir rol oynar. Küre, silindir biçimli küre, silindir ya da koni biçimli hacimlerin birleştirilmesinden oluşan atmosfere kapalı basınçlı kaplar bulunmaktadır.

Silindirik basınçlı kaplar, endüstride basınç altındaki sıvı ve gazların taşınmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstride kullanılan basınçlı kaplar kompleks yüklere maruz kalabilmektedir (iç basınç, Dış basınç, Termal yükler).



Şekil 1. Silindirik Basıncı Kap

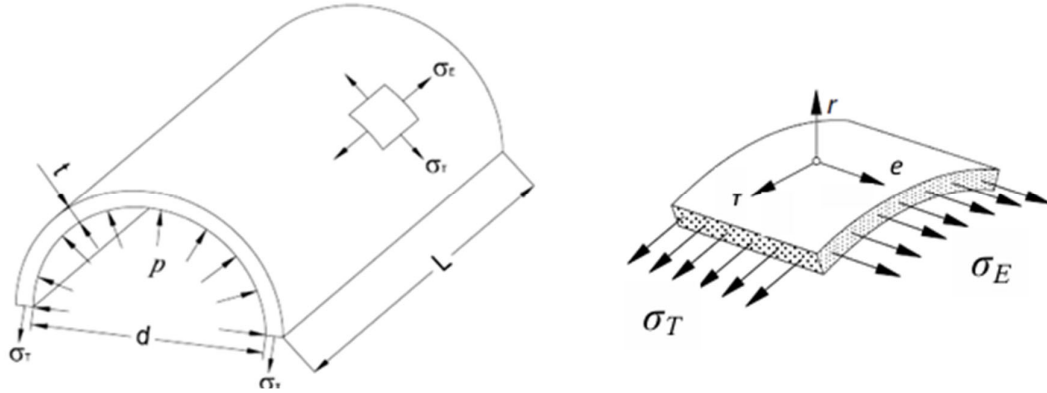
1.1. Basıncı Kaplara Etkiyen Yükler

Basıncı kaplar sıklıkla yüksek basınç altında çalıştığından kullanımları hayati tehlikelere yol açabilir. Bu risklerin en aza indirilmesi ve basınçlı kapların bu çalışma koşullarında güvenli bir şekilde görevlerini yerine getirebilmelerinin sağlanması insan hayatı açısından önemlidir. Bu nedenle basınçlı kap tasarlanırken ona etki eden tüm kuvvetlerin belirlenmesi ve bu kuvvetlerin kap üzerindeki etkisinin önceden hesaplanması gerekir. İmalat aşamasından sonra tüm güvenlik kontrollerinin ilgili standartlara göre yapılması gerekmektedir. Basıncı kaplara etki eden kuvvetler aşağıda listelenmiştir;

- İçsel ve dışsal basınç
- Statik ve Dinamik yükleme
- Sıcaklık,
- Rüzgar,
- Ağırlık (ölü yükler),
- Titreşimler

1.2. İnce Cidarlı Silindirik Basıncı Kaplar

İnce cidarlı ($r/t \geq 10$) yarıçapın duvar kalınlığına oranı 10 veya daha fazla olan silindirler için geçerlidir. Basınca maruz ince cidarlı silindirik basınçlı kaplarda yüzeylerinde üç tip gerilme (eksenel, teğetsel, kayma) oluşabilmektedir.

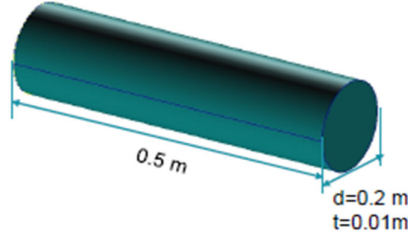


Şekil 2. İç Basınç Etkisindeki İnce Cidarlı Silindirik Basıncı Kapın Yüzeyindeki Gerilme

Şekil 3'te silindirik şekle sahip ince cidarlı yani t/r oranı 1'den oldukça küçük bir değer olan, yarıçapına oranla kalınlığı oldukça küçük ince et kalınlığına sahip silindirik yapı gösterilmektedir. İçi gaz basıncı ya da sıvı basıncı olabilir. İç yüzey boyunca basınç yüklemesine maruz kalmaktadır. Dairesel uç noktalarda kapaklar bulunmaktadır. Basınç kap yüzeylerine de etki etmektedir. Dolayısıyla bu kabı ekstenel yönde σ_2 gerilmesine maruz kalacaktır. Aynı zamanda teğetsel (hoop stress) bileşeni oluşacağı için σ_1 gerilmeye sahip olacaktır.

Herhangi bir kayma gerilmesi oluşturacak yüklememiz bulunmamaktadır. Çünkü iç basıncımız 0.1 metre radyal olarak iç yüzeylere etkiliyor ve teğetsel gerilme oluşturmaktadır. Ek olarak bu basınç kapakları zorlayacağı için eksenel yönde basınç kabımızı uzatmaya çalışacaktır.

Sonlu elemanlar yöntemiyle axial ve hoop stress aşağıdaki denklemlerle aşamalı olarak sonuçlar elde edilebilmektedir.



$$\sum F_x = 0 \rightarrow \sigma_1 \times 2(t \times \Delta z) = q \times (2r \times \Delta z)$$

$$\text{Hoop Stress} = \sigma_1 = \frac{qr}{t}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow q \times (\pi r^2) = \sigma_1 \times 2\pi r t$$

$$\text{Axial Stress} = \sigma_2 = \frac{qr}{2t}$$

$$\text{Area}_{ring} \neq \text{Outer} - \text{Inner}$$

$$\neq \pi(R_o^2 - R_i^2)$$

$$= 2\pi r t$$

Young Modülü, E = 6.9e10 Pa

Poisson Oranı, ν = 0.3

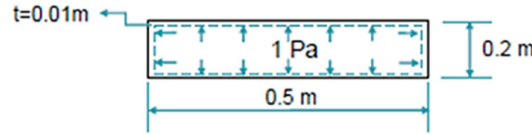
σ_1 (**sigma1**) = Teğetsel (Hoop) stress

σ_2 (**sigma2**) = Eksenel (Axial) stress

r = Silindirik Basıncılı Kabın Yarıçapı

t = Silindirik Basıncılı Kabın Kalınlığı

q = İç Yüzey Boyunca Basınç



Axial Stress

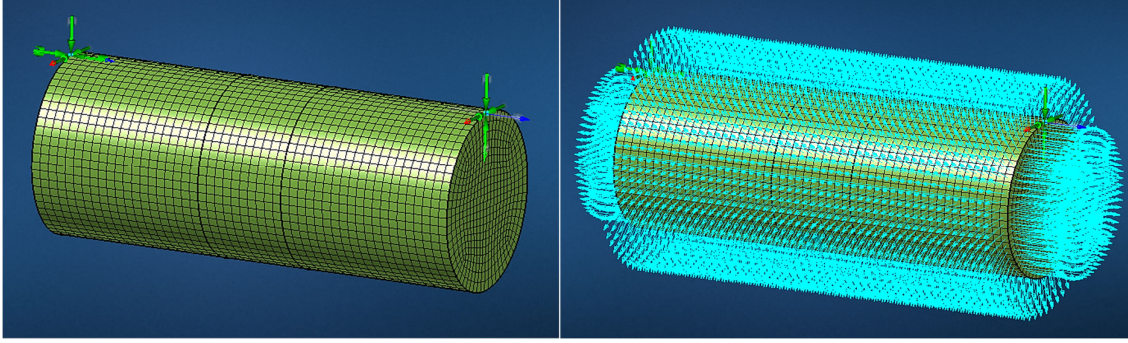
$$\sigma_2 = \frac{qr}{2t} = \frac{1.0 \times 0.1}{2 \times 0.01} = 5.0 \text{ Pa}$$

Hoop Stress

$$\sigma_1 = \frac{qr}{t} = \frac{1.0 \times 0.1}{0.01} = 10.0 \text{ Pa}$$

2. Analiz Modeli

Bahsedilen ince cidarlı silindirik basınçlı kaplar örneği , MSC Apex'te aynı koşullarda analiz modeli oluşturulmuştur. MSC Apex'te gömülü olan Nastran da ise çözdürülüp, MSC Apex ara yüzünde sonuçlar incelenmiştir.



Şekil 3. MSC Apex'te Modellenen İç Basınç Etkisindeki İnce Cidarlı Silindirik Basınçlı Kap

Çözücü Ayarları:

- Analiz tipi : Statik Analiz
- Analiz çıktıları: Deplasman ve stress

Malzeme Özellikleri:

- Alüminyum; Elastik Modülü = 69000 MPa
Poisson Oranı = 0.3

Başlangıç Koşulları:

- Basınç (İç yüzey Boyunca) = 1E-6 MPa

Çözüm Ağı:

- Toplam Eleman : 4096

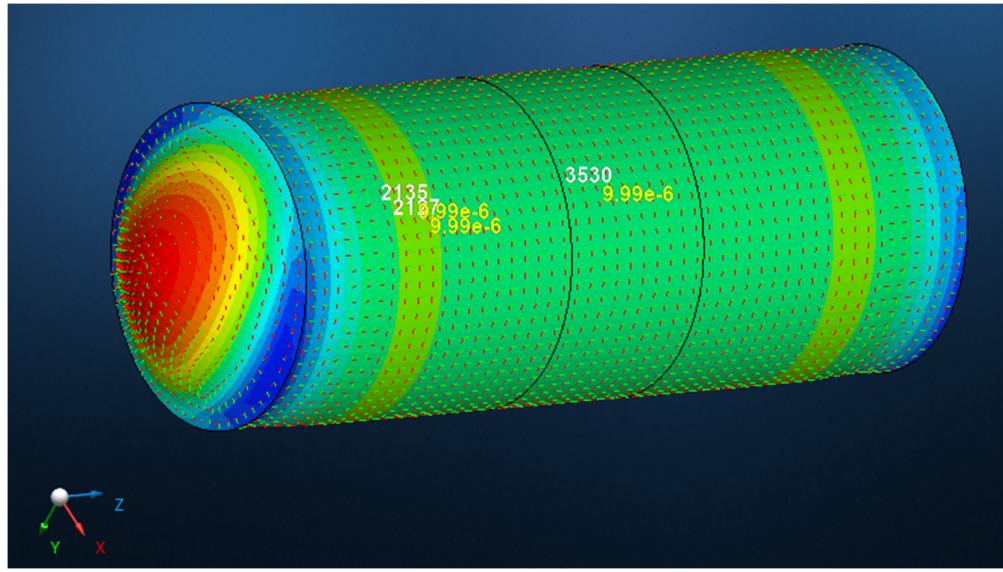
Analiz Sonucu:

- MSC Apex'te yapılan analize göre sonuçlar;

$$\sigma_1 \cong 9.99E - 06 \text{ MPa} = 9.99 \text{ Pa} \text{ (Hoop Stress)}$$

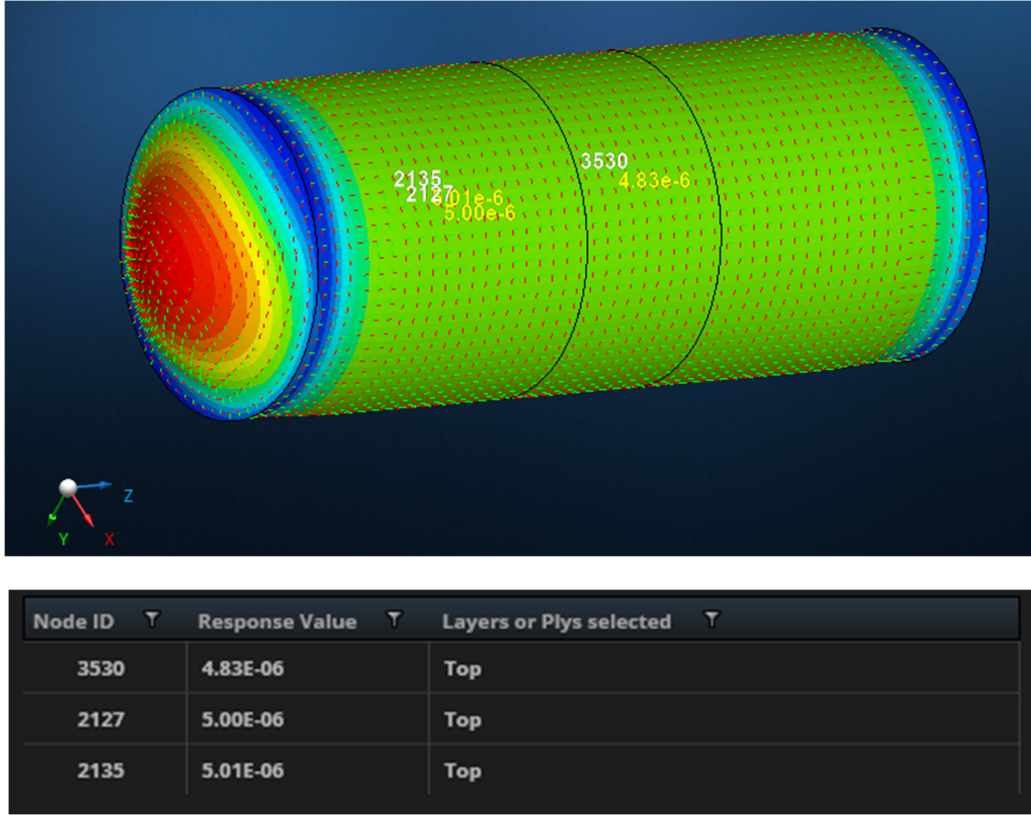
$$\sigma_2 \cong 5.00E - 06 \text{ MPa} = 5.0 \text{ Pa} \text{ (Axial Stress)}$$

Analiz ortamında elde edilen eksenel ve teğetsel gerilme sonuçları ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan el hesabındaki sonuçlar birbirini doğrulamaktadır.



Node ID	Response Value	Layers or Plys selected
3530	9.99E-06	Top
2127	9.99E-06	Top
2135	9.99E-06	Top

Şekil 4. MSC Apex'te Post Processes Ara Yüzünde İncelenen İnce Cidarlı Silindirik Basıncılı Kabin Hoop Stress Sonucu



Şekil 5. MSC Apex'te Post Processes Ara Yüzünde İncelenen İnce Cidarlı Silindirik Basınçlı Kabın Axial Stress Sonucu

3. REFERANSLAR

- MSC Nastran 2023.4 Quick Referans Guide