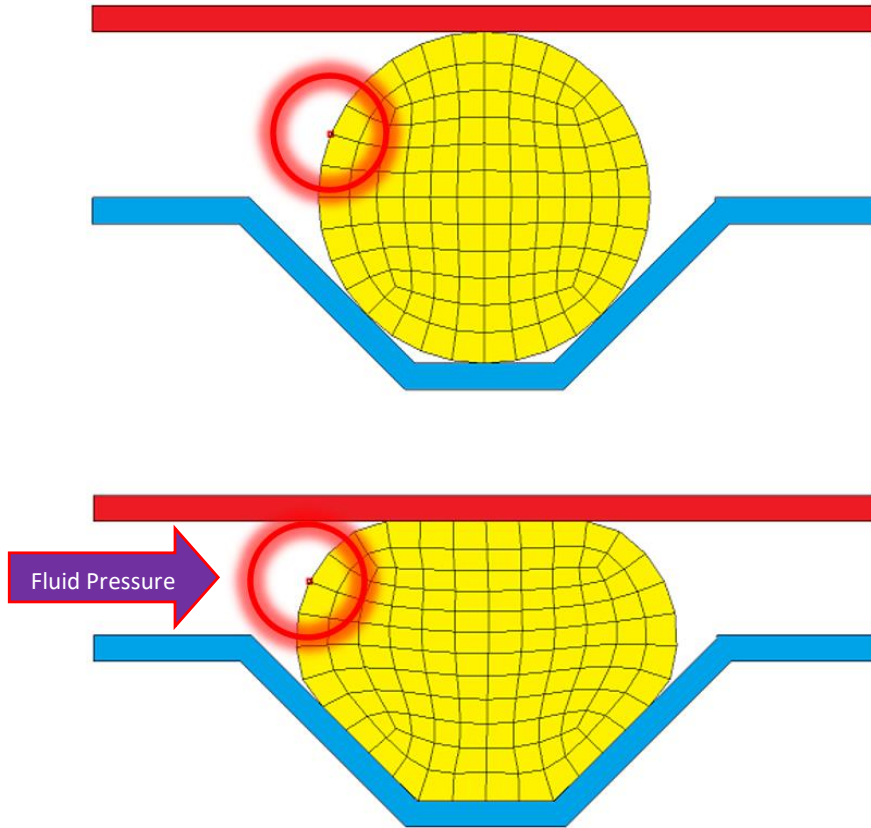


TEKNİK DOKÜMAN



Marc / Mentat



BIAS
MÜHENDİSLİK

+



HEXAGON

Authorised Hexagon reseller

Akışkan Basıncının Sızdırmazlık Elemanlarına Etkisi

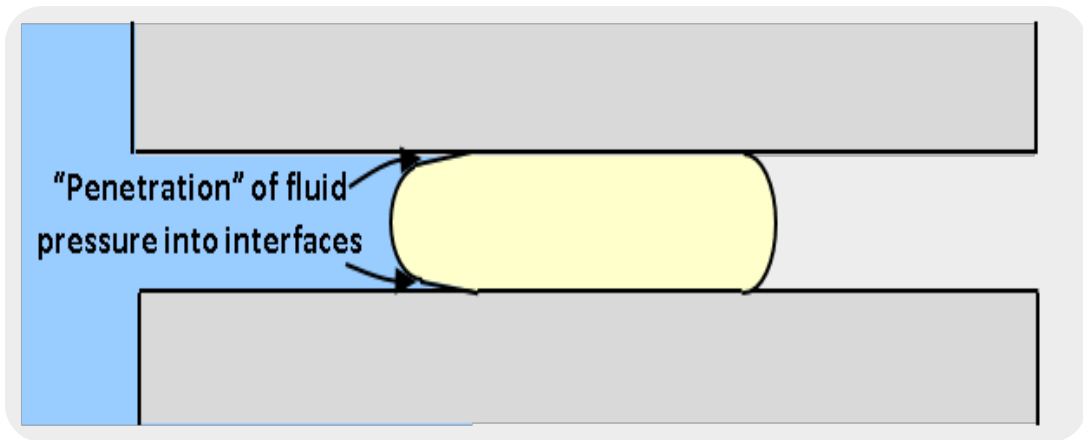
HAZIRLAYAN
Doğukan Alkan Kıdemli Yapısal Analiz Mühendisi

Tarih: 24.04.2025

Bu teknik yazı, Marc yazılımının kullanımı aracılığıyla, Fluid Pressure Penetration özelliğinin kullanımı, modellenmesi ve analizlerinin yürütülmesini kapsamaktadır. Sızdırmazlık elemanı içeren analizlerin simüle edilmesiyle, bu analizlerde akışkan sızması durumunun çeşitli değişkenler ile sonuçlarının aktarılması hedeflenmektedir.

1. Giriş

Fluid Pressure Penetration (Akışkan Basıncı Nüfuz Etmesi), sonlu elemanlar analizlerinde (FEA) kullanılan ve özellikle sızdırmazlık elemanlarının performansını değerlendirmek için kritik öneme sahip bir özelliktir. Bu özellik, akışkan basıncının bir bölgeden diğerine sızmasını ve basıncın dağılımını simüle eder. Tipik olarak sızdırmazlık elemanları ile temas eden yüzeylerde, akışkan basıncının nüfuz etmesini modellemek amacıyla kullanılmaktadır. Fluid Pressure Penetration, yapısal analizlerde dinamik veya statik basınç koşullarında basınç altındaki akışkannın, sızdırmazlık elemanlarının esnekliği, sıkışma durumu ve temas yüzeyindeki basınç profili ile nasıl etkileşime girdiğini gösterir. Bu sayede, sızdırmazlık performansını, akışkan kaçacağı risklerini ve uzun vadeli dayanıklılığı değerlendirmek mümkün olmaktadır.



Figür 1 – Akışkan Basıncı Penetrasyonu Dağılımının Gösterimi

2. Sızdırmazlık Elemanı Nedir?

Endüstriyel uygulamalarda yağlayıcı akışkanın veya sistemde mevcut basınçlı akışkanın çalışma sırasında sistemden istenmeyen bir şekilde sızmasının önlenmesi istenir. Bu görevi yerine getirecek şekilde geliştirilmiş elemanlara sızdırmazlık elemanları denir. Yataklarda sızdırmazlık elemanlarının, akışkan maddenin yatak dışına çıkmasını (sızmasını) önlemek ve dışarıdan yatağa toz, nem ve kirletici maddelerin girmesine engel olmak gibi görevleri bulunmaktadır.



Figür 2 – Endüstride Kullanılan Sızdırmazlık Elemanlarından Örnekler

2.1. Sızdırmazlık Elemanı Türleri

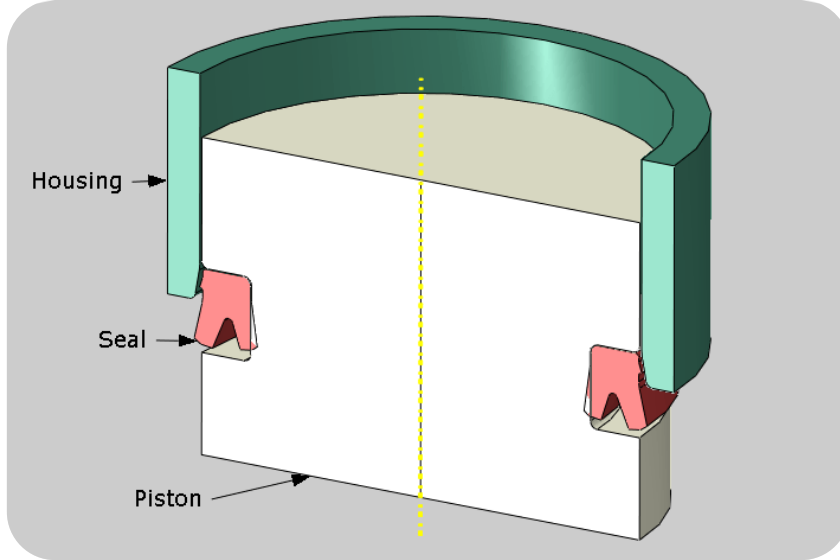
Konstrüksiyon şekli; sızdırmazlığın sağlanacağı yer, çalışma koşulları, sızması istenmeyen akışkan, çeşitli sınırlamalar ve çevre koşulları gibi çeşitli parametrelere bağlı olup uygulamada çok çeşitli sızdırmazlık elemanları kullanılmaktadır. Sızdırmazlık elemanları statik ve dinamik sızdırmazlık elemanları olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Statik sızdırmazlık elemanları, iki hareketsiz eleman arasında sızmayı önlemek amacıyla kullanılır. Sızdırmazlık bileşeni ile yüzey arasında hareket olmayan uygulamalarda kullanılır. Burada, statik eksenel contalar (sızdırmazlık, contanın merkez çizgisine paralel şekilde gerçekleşir) ve statik radyal contalar (contanın merkez çizgisi radyal yönde konumlanır) olarak iki tür arasında ayrım yapılır. Bu tür uygulamalarda en sık kullanılan contalar, boyut ve toleransları standartlaştırılmış “O-ring”lerdir.



Figür 3 – Statik Sızdırmazlık Elemanı Örneği (Flanş Bağlantılarında Kullanılan Contalar)

Dinamik sızdırmazlık elemanları ise birbirine göre relatif olarak hareket eden elemanlar arasındaki sızdırmazlığı sağlamaktadır. Dinamik sızdırmazlık elemanlarında, dönme hareketinde sızdırmazlık ve öteleme hareketinde sızdırmazlık olmak üzere iki tür sızdırmazlık fonksiyonu söz konusu olabilmektedir. Bu hareket; dönme, öteleme, ileri-geri (piston hareketi) veya salınım şeklinde olabilir. Bazı sızdırmazlık elemanları hem statik hem de dinamik karakterli olabilmektedir. Verimli çalışan dinamik contalar, sızdırmazlık kuvvetini korurken sürtünmeyi minimize etmeli ve aynı zamanda sızıntıyı önlemelidir.



Figür 4 – Dinamik Sızdırmazlık Elemanı Piston Örneği (Piston Keçelerinde Kullanılan Contalar)

2.2. Sızdırmazlık Elemanlarında Basınç ve Hareket İlişkisi

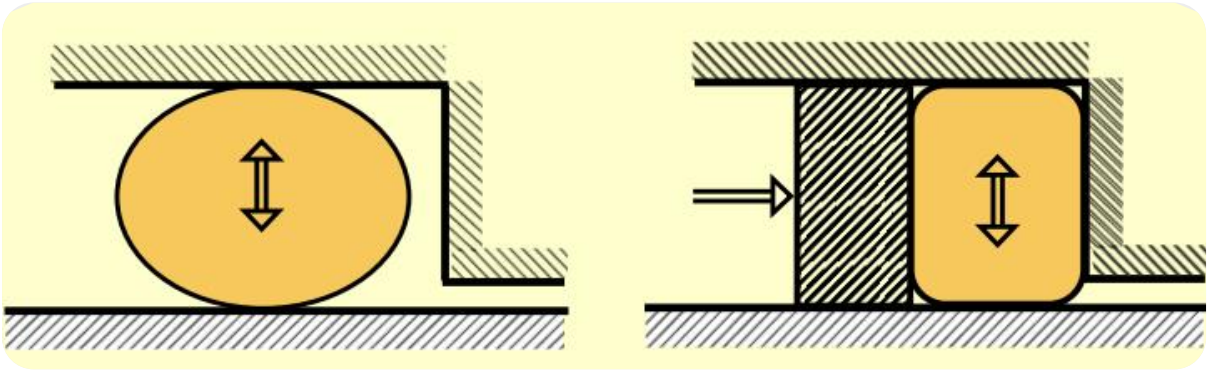
Sızdırmazlık elemanlarının performansı, hem sıkıştırma kuvveti hem de akışkan basıncının birleşik etkisiyle belirlenmektedir. Sızdırmazlık elemanlarında basınç ve hareket ilişkisi, malzeme seçimi, sıkıştırma miktarı ve uygulanan akışkan basıncı ile doğrudan ilişkilidir. Uygun sıkıştırma ve uygun malzeme seçimi ile hem statik hem de dinamik uygulamalarda uzun ömürlü ve güvenilir sızdırmazlık sağlanabilir.

2.2.1. İlk Sıkıştırma / Ön Yükleme (Preload) Aşaması

Figür 5'in sol tarafında görüldüğü gibi, sızdırmazlık elemanı ilk yerleştirildiğinde bir ön sıkıştırma uygulanır. Bu sıkıştırma; elastik deformasyon yaratarak sızdırmazlık elemanının yüzeylere tam temasını sağlar ve elastomer malzemelerde gerilim ön yükü oluşturarak, ileride gelecek akışkan basıncına karşı direnç göstermektedir. Bu aşamada, sıkıştırma miktarı sızdırmazlık elemanının tasarımına ve malzeme özelliklerine göre belirlenir. Çok düşük sıkıştırma, sızıntıya neden olabilirken, aşırı sıkıştırma ise malzemenin hasar görmesine yol açabilir.

2.2.2. Akışkan Basıncının Uygulanması

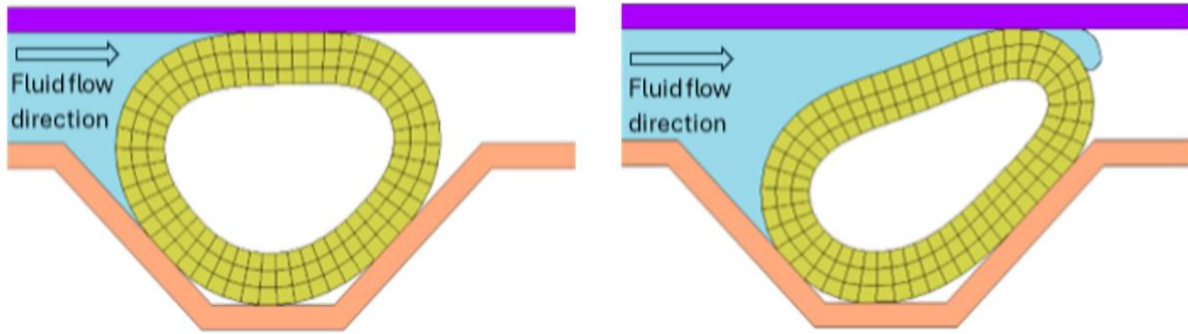
Figür 5'in sağ tarafında gösterildiği gibi, akışkan basıncı uygulandığında, sızdırmazlık elemanı, basıncın yönüne doğru hareket eder ve daha da sıkışır. Bu durum, sızdırmazlık elemanının temas yüzeylerindeki basıncı artırır ve dinamik sızdırmazlık sağlar. Özellikle hidrolik silindirlerde ve hareketli sistemlerde bu sıkışma, hem basınç dayanımı hem de hareketli parçalarda kaçakların engellenmesi açısından önemli olmaktadır.



Figür 5 – Sızdırmazlık Elamanına Uygulanan Sıkıştırma Kuvveti Neticesinde Şekil Değişiminin Gözlenmesi

3. Akışkan Basıncı Nüfuziyeti (Fluid Pressure Penetration)

Akışkan Basıncı Nüfuziyeti (Fluid Pressure Penetration), Marc yazılımının bir özelliği olup, akışkanın kendisi modellenmeden, akışkan basıncının maruz kalan yüzeyler üzerindeki akışkan basıncı etkilerini simüle eden bir özelliktir. Bu özelliğin tipik bir kullanımı, iki cisim arasında basınçlı akışkan içeren bir contanın modellenmesidir. Bu özellik, kullanıcının akışkan basıncının büyüklüğünü yani uygulanacak akışkanın ne kadarlık bir basınç ile geldiğini ve akışkana maruz kalma ihtimali olan yüzeyi bilmesini gerektirir. Akışkan basıncı değiştikçe ve sızdırmazlık elemanı hareket ettikçe, Marc; uygulanan basınç yükünün büyüklüğünü ve yüke maruz kalan bölgeyi otomatik olarak güncelleyecektir.



Figür 6 – “Fluid Pressure Penetration” Özelliğinin Çalışma Prensiplerinin Temsili

3.1. “Fluid Pressure Penetration” Tanımlamaları

Marc’ta “Fluid Pressure Penetration” özelliğini kullanırken 3 farklı parametre ile girdiler sağlanmaktadır. Bunlar; Temas basınç eşik değeri (Contact Pressure Threshold), Yük Daralma Mesafesi (Load Tapering Distance) ve Initially-Wetted Entities’dir (analizin başlangıcındaki ıslak bölgenin seçimi). Bu girdiler sırasıyla aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

3.1.1. “Contact Pressure Threshold” (Temas Basınç Eşik Değeri)

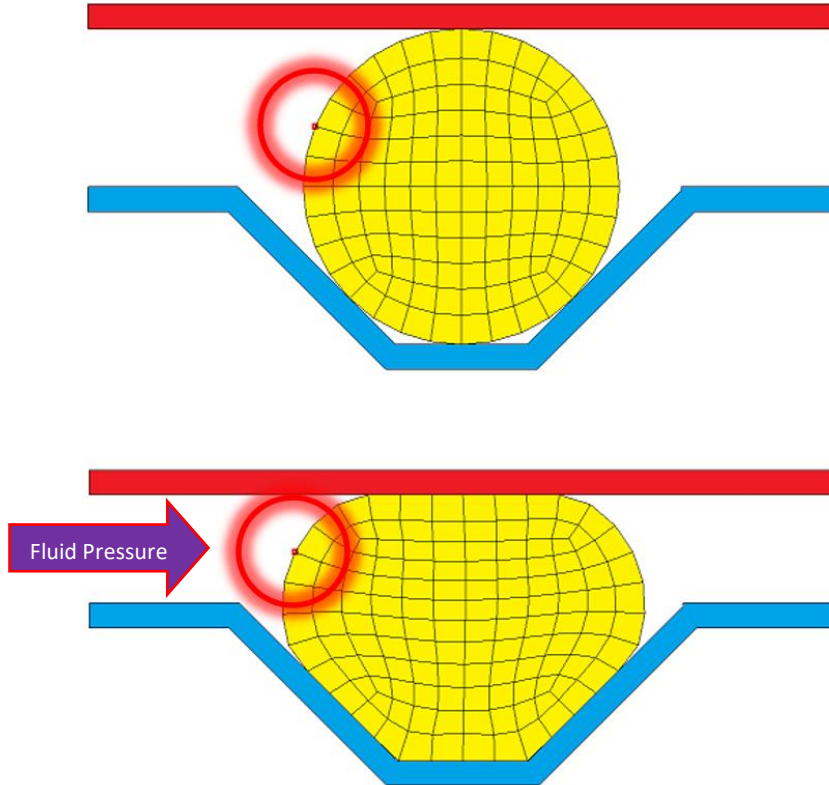
Burada girilen eşik değerden, temas basıncının düşük kaldığı durumda önceki paragrafta tarif edilen başlangıçta ıslanacak unsurdan itibaren akışkan basıncı, tanımlanan olası ıslak bölgeye etki etmeye başlamaktadır. Yine bu akışkan ilerlemesi, kontak basıncının, eşik altında kalma durumuna bağlı olarak devam etmektedir. Bu seçenek, yüzeyler hâlâ temas halindeyken akışkan penetrasyonuna izin veren contaları simüle etmek için kullanılır.

3.1.2. “Load Tapering Distance” (Yük Daralma Mesafesi)

Akışkanın, temas halindeki bölgenin altına sızmasına ait etkiyi modellemede kullanılmaktadır. Girilen bu değer (yük daralma mesafesi) veya mesafe boyunca, daralan bölgedeki basınç değeri lineer olarak düşecek bir eğilime sahip olacaktır. Kauçuk modellemede kullanılan ağ yapının genelde iki kenarının toplam mesafesi kullanılır. Örneğin, ağ yapıdan gelen eleman büyüklüğü (kenar olarak) 0.5 mm ise 1 mm “Load Tapering Distance” kullanılması gibi ($2 \times 0.5 \text{ mm} = 1 \text{ mm}$ boyunca basıncın azaldığı gösterilecektir).

3.1.3. “Initially-Wetted Entities” (Başlangıçta Islanan Unsurlar)

Bu noktanın anlamı, temas basıncı eşik değerinin altına düştüğünde, sızıntı yapacak akışkanın belirtilen bu noktadan itibaren tanımlanan tüm olası ıslak çevrede etkili olmasıdır. Akışkana maruz kaldığı bilinen yüzeydeki düğüm (node) seçimi yapılarak ilgili unsur tanımlanmaktadır. Marc, kontak halindeki cisimler arasında akışkanın penetrasyonunu, yani sızmanın gerçekleşip gerçekleşmediğini ve bu sızıntıya bağlı olarak ıslanmanın olup olmadığını simüle etmek için bir yayılım algoritması kullanır. Bu nedenle, kullanıcının başlangıçta ıslak olan bileşenleri tanımlaması gerekir; bu bileşenlerdeki seçim düğüm (node) belirtilerek yapılmaktadır. Bu başlangıç bileşenleri, ilk yük adımıyla akışkana maruz kaldığı kabul edilmekte ve akışkan yayılımının başlangıç noktalarını oluşturmaktadır.



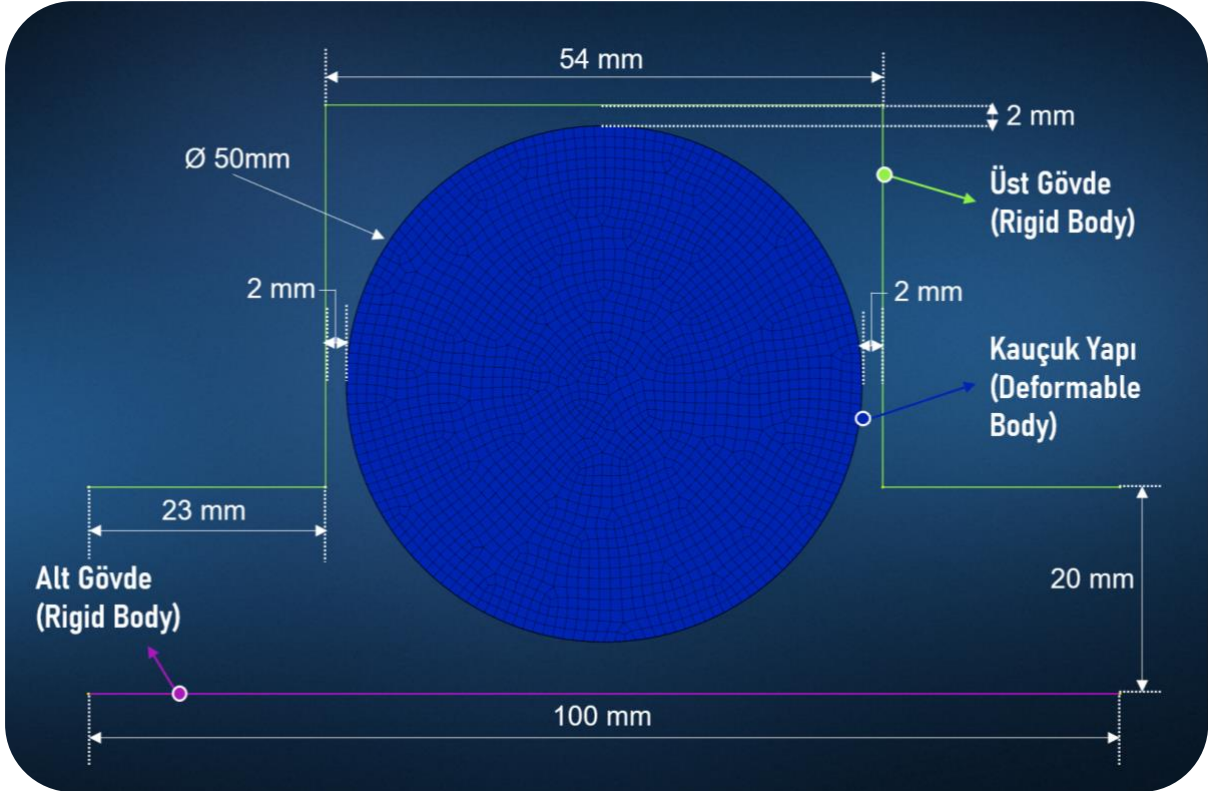
Figür 7 – Kauçuk Yapının Sol Tarafından Akışkanın Geldiği Durumda İlk Islanan Unsurun Seçimi

4. Marc'ta "Fluid Pressure Penetration" Kullanımı

4.1. Modelin Kurulması ve Parametrelerin Eklenmesi

"Fluid Pressure Penetration" özelliğinin bu çalışma kapsamında oluşturulan model üzerinde, farklı temas basıncı eşik değerleri (contact pressure threshold) ve yük daralma mesafesi (load tapering distance) gibi girdiler kullanılarak sonuçlara etkisi incelenecektir.

Tüm analizlerde, analizler iki aşamalı olarak gerçekleştirilecektir. Birinci aşamada kauçuk malzemeli bileşen rijit yapılar ile sıkıştırıldıktan sonra, ikinci aşamada akışkan basıncı etki edecektir. Akışkan, rijit yapıların kauçuk bileşeni sıkıştırmasından sonra, iki rijit yapı arasında kalan bölgeden ve sol taraftan geldiği varsayılmaktadır. Yine iki rijit arasında kalan sağ taraftaki bölgeye akışkan sızıntısının olup olmayacağı incelenecektir.



Figür 8 – Sızdırmazlık Elemanı ve Rijit Parçaların Model Ölçüleri

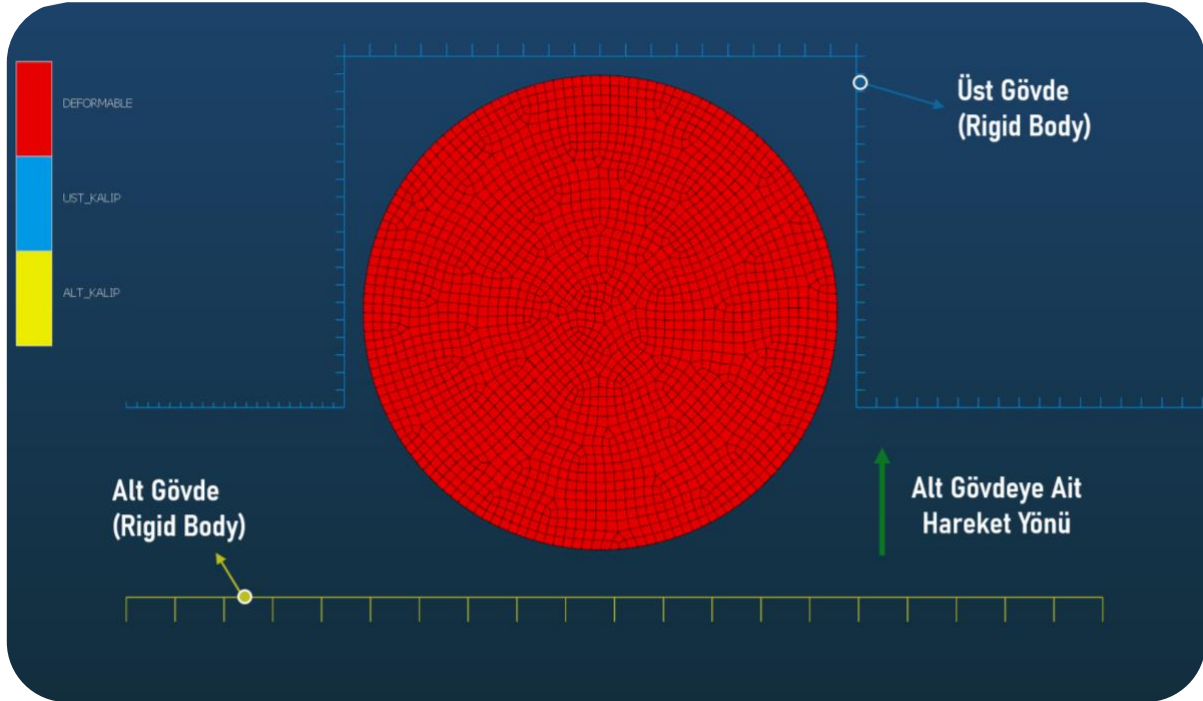
Analizde Mooney 3 ifadeli malzeme kullanılmıştır. C Katsayıları (Strain Energy Potential) Figür 9'da belirtilmiştir. C katsayılarında önceki benchmark çalışmalarındaki değerler kullanılmıştır.

C10	1.61278	MPa	Table	
C01	0.416178	MPa	Table	
C11	0.0894581	MPa	Table	
C20	0	MPa	Table	
C30	0	MPa	Table	

Figür 9 – Sızdırmazlık Elemanının Malzeme Özelliklerini Gösteren Tablo

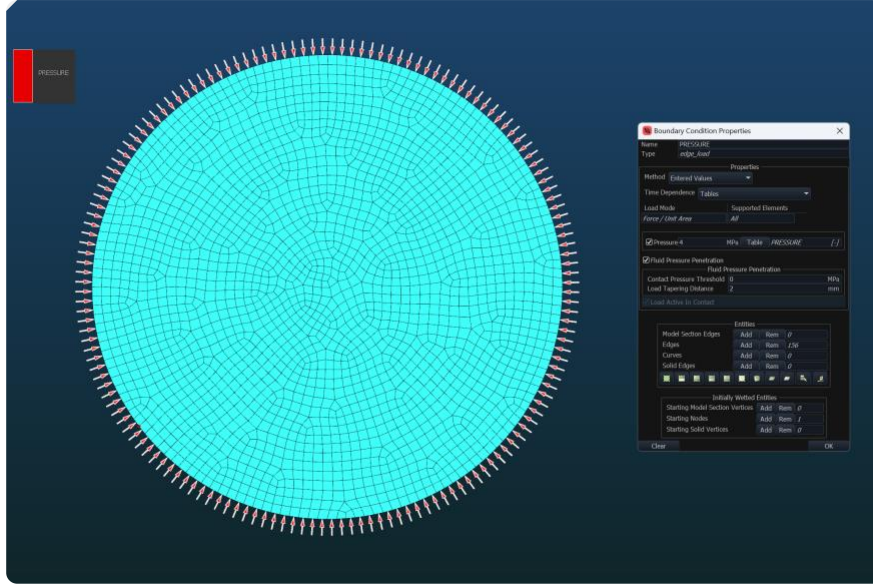
Oluşturulan modelde, ilk sıkıştırma adımını sağlamak amacıyla, Figür 10'da gösterilen bileşenler üzerinden değerler girilecektir. Modeldeki sınır şartları temas edecek bileşenler üzerinden verilmektedir. Analizde kullanılacak gövdelerden, ALT_KALIP (Alt Gövde) ve UST_KALIP (Üst Gövde) rijit, kauçuk ise deforme olabilen yapı olarak tanımlanmıştır.

Birinci aşamada, üst gövde sabit olup, alt gövde pozitif Y ekseninde (+Y) 18 mm hareket ederek yapıyı sıkıştırmaktadır.



Figür 10 – Modeldeki Bileşenlerin ve Hareketin Yönünün Tanımlanması

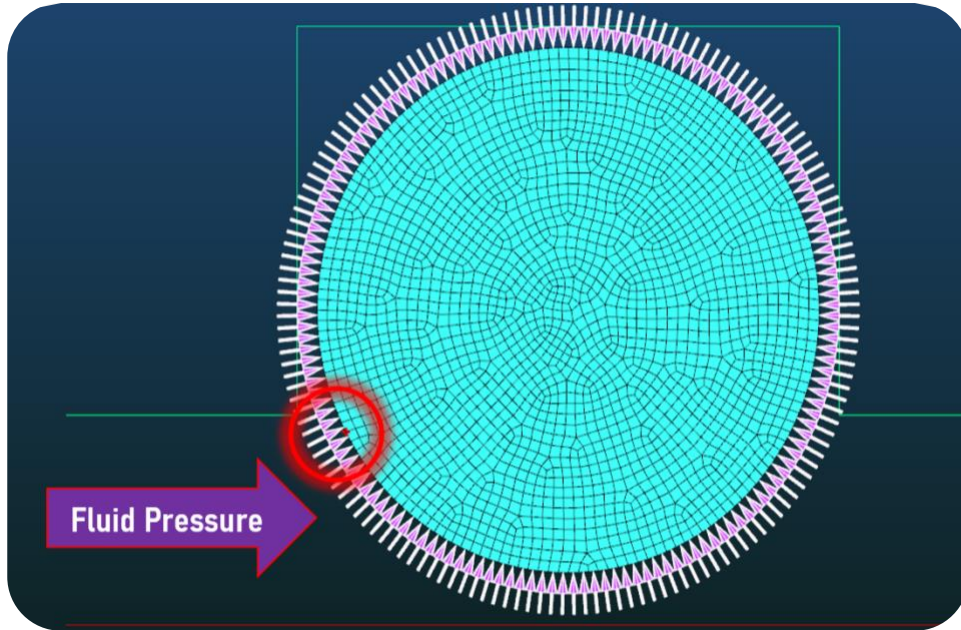
Modeldeki kauçuğun çevre elemanlarının, dış kenarlarının tamamına akışkan basıncı uygulanmıştır. Bu tanımlamanın amacı, olası akışkan sızıntısı neticesinde ıslanacak olan ve dolayısıyla akışkan basıncına maruz kalacak tüm bölgelerin belirtilmesidir. 4 MPa büyüklüğünde akışkan basıncı sol taraftan etki etmektedir.



Figür 11 – Modeldeki Olası Islak Bölgenin Tanımlandığı Çevre

Bu şekilde tanımlama yapılmasının amacı, gelen akışkan basıncına göre kauçuk yapının, akışkan geçişine izin verip vermeyeceğinin bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Tüm olası çevreye denk gelecek şekilde girdi yapılır, ancak akışkan sızmasının olmadığı durumlarda sağ taraftaki seçimlerde ıslanma gözlenmeyecektir.

Figür 12’de model için, Initially Wetted Entities (Başlangıçta Islanacak Unsurlar) seçilmektedir. Sol taraftan gelen akışkan neticesinde, ilk temasının olduğu düğümlerden biri veya birkaçı (öngörüye dayalı olarak) seçilebilir.



Figür 12 – Modeldeki İlk Islanacak Bölgenin Seçimi (1 node)

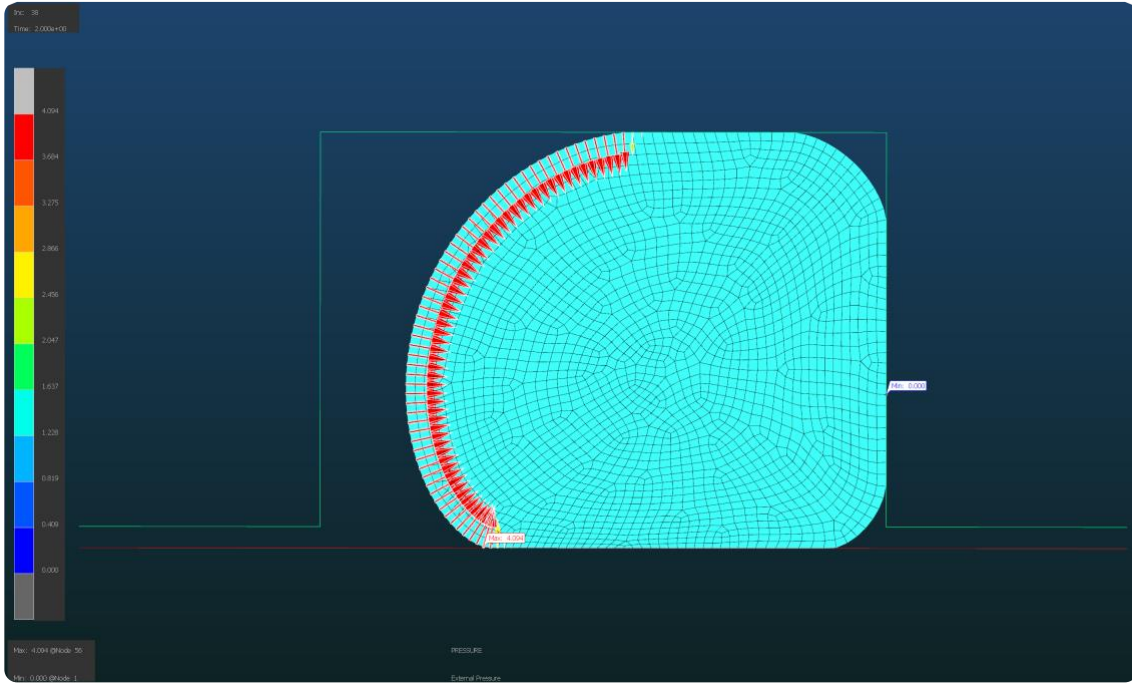
4.2. Modelin Koşturulması ve Sonuçların İncelenmesi

Modelde 4 farklı varyasyon üzerinden analizler gerçekleştirilip, analiz sonuçları üzerinden yorumlama yapılacaktır. Farklı varyasyona sahip analizlerde; gelen akışkan basıncının büyüklüğü sabit tutularak, “Contact Pressure Threshold” (Temas Basınç Eşik Değeri) ve “Load Tapering Distance” (Yük Daralma Mesafesi) parametreleri üzerinden farklı değerler verilecektir.

4.2.1. Birinci Varyasyon ve Sonuçları

Birinci varyasyonda, akışkan basıncı sabit **4 MPa** olarak sol taraftan gelmektedir. “Contact Pressure Threshold” (Temas Basınç Eşik Değeri) : **0 MPa** ve “Load Tapering Distance” (Yük Daralma Mesafesi) : **2 mm** (2x1mm yaklaşımından dolayı 2mm ile başlanmıştır) olarak verilmiştir.

Analiz sonucuna göre, dış basınç, belirtilen yük daralma mesafesi boyunca vektörler ile gösterilmiş ve kauçuk yapının sağ tarafına herhangi bir akışkan sızıntısının olmadığı gözlenmiştir. Uygulanan basınç neticesinde kauçuk yapı sağ tarafa doğru sıkışma hareketi göstermiştir.

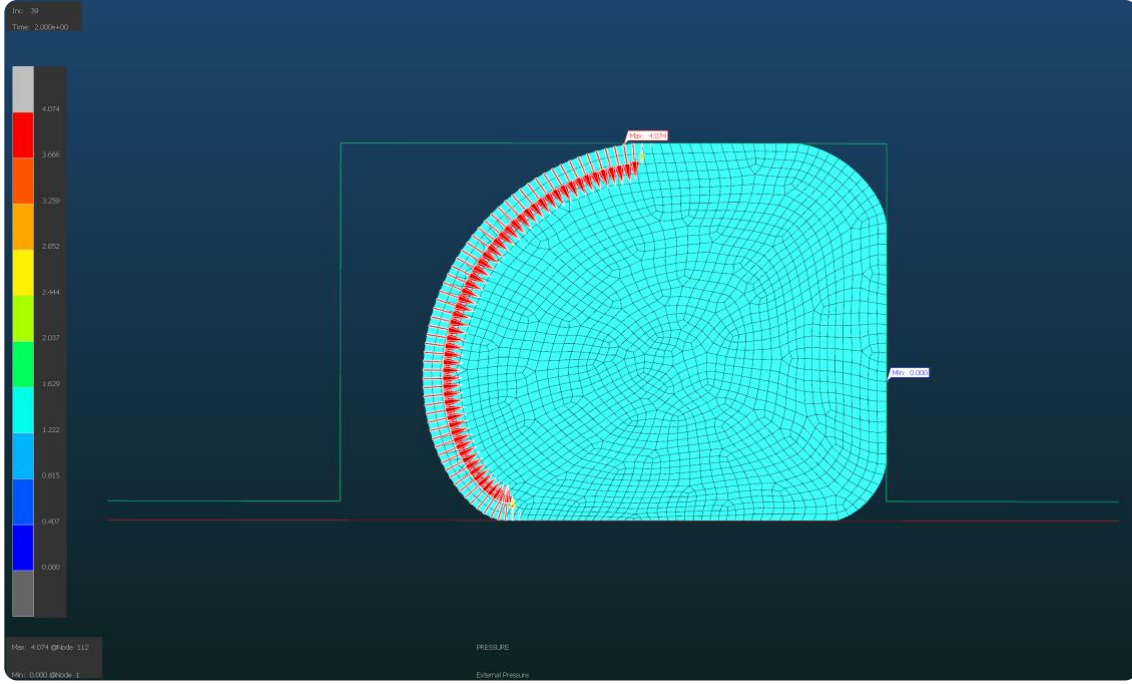


Figür 13 – Birinci Varyasyonun Analiz Sonucu “External Pressure” Vektörleri (Uygulanan Dış Basınç)

4.2.2. İkinci Varyasyon ve Sonuçları

İkinci varyasyonda, akışkan basıncı sabit **4 MPa** olarak sol taraftan gelmektedir. “Contact Pressure Threshold” (Temas Basınç Eşik Değeri) : **1 MPa** ve “Load Tapering Distance” (Yük Daralma Mesafesi) : **2 mm** (2x1mm yaklaşımından dolayı 2mm ile başlanmıştır) olarak verilmiştir.

Analiz sonucuna göre, dış basınç, belirtilen yük daralma mesafesi boyunca vektörler ile gösterilmiş ve kauçuk yapının sağ tarafına herhangi bir akışkan sızıntısının olmadığı gözlenmiştir. Uygulanan basınç neticesinde kauçuk yapı sağ tarafa doğru sıkışma hareketi göstermiştir.

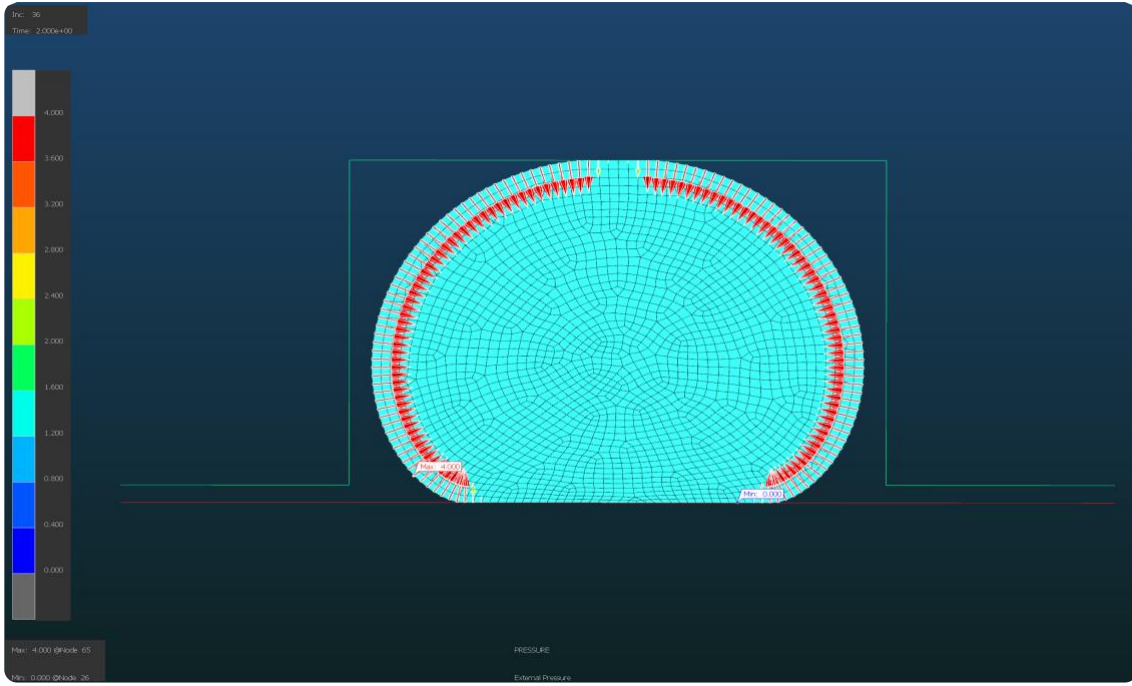


Figür 14 – İkinci Varyasyonun Analiz Sonucu “External Pressure” Vektörleri (Uygulanan Dış Basınç)

4.2.3. Üçüncü Varyasyon ve Sonuçları

Üçüncü varyasyonda, akışkan basıncı sabit **4 MPa** olarak sol taraftan gelmektedir. “Contact Pressure Threshold” (Temas Basınç Eşik Değeri) : **2 MPa** ve “Load Tapering Distance” (Yük Daralma Mesafesi) : **2 mm** (2x1mm yaklaşımından dolayı 2mm ile başlanmıştır) olarak verilmiştir.

Analiz sonucuna göre, dış basınç, belirtilen yük daralma mesafesi boyunca vektörler ile gösterilmiş ve kauçuk yapının sağ tarafında, sol tarafında olduğu gibi dış basınç vektörleri gözlenmiştir. Bu durum akışkan sızıntısının olduğunu göstermektedir. Uygulanan basınç neticesinde kauçuk yapı sağ tarafa doğru hareket etmeden, üst tarafından sağa doğru sıvı sızarak, kauçuk yapı bulunduğu pozisyonda bulunmaktadır.

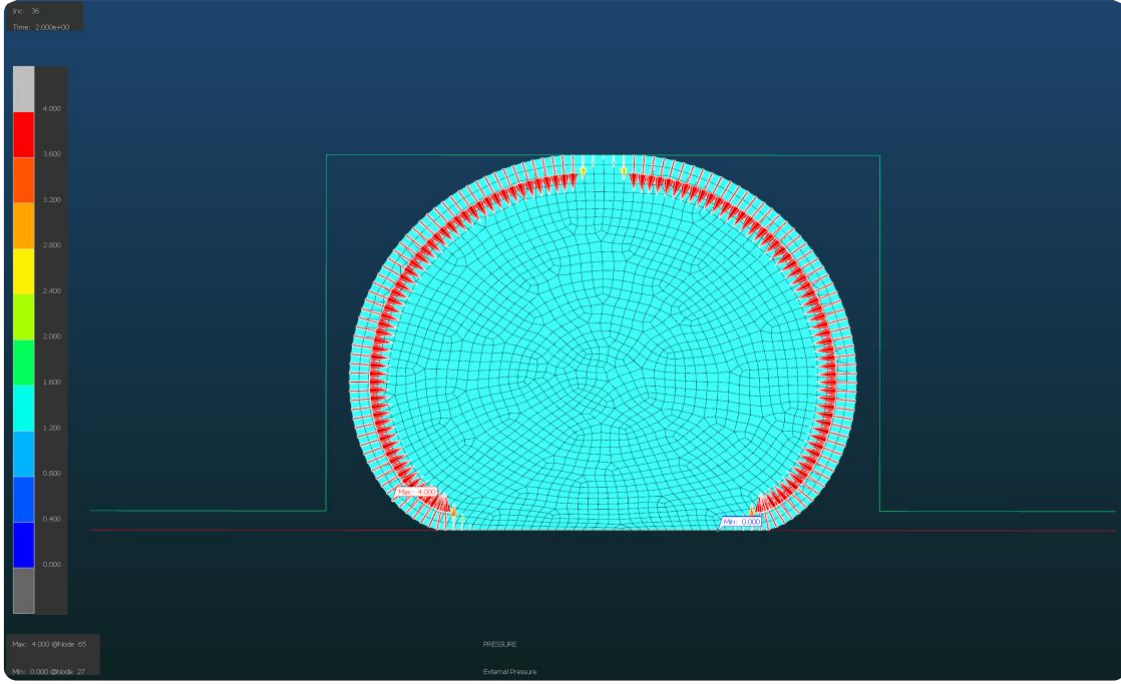


Figür 15 – Üçüncü Varyasyonun Analiz Sonucu “External Pressure” Vektörleri (Uygulanan Dış Basınç)

4.2.4. Dördüncü Varyasyon ve Sonuçları

Dördüncü varyasyonda, akışkan basıncı sabit **4 MPa** olarak sol taraftan gelmektedir. “Contact Pressure Threshold” (Temas Basınç Eşik Değeri) : **2 MPa** ve “Load Tapering Distance” (Yük Daralma Mesafesi) : **3 mm** (2x1mm yaklaşımından dolayı 2mm ile başlanmıştır) olarak verilmiştir.

Analiz sonucuna göre, dış basınç, belirtilen yük daralma mesafesi boyunca vektörler ile gösterilmiş ve kauçuk yapının sağ tarafında, sol tarafında olduğu gibi dış basınç vektörleri gözlenmiştir. Bu durum akışkan sızıntısının olduğunu göstermektedir. Uygulanan basınç neticesinde kauçuk yapı sağ tarafa doğru hareket etmeden, üst tarafından sağa doğru sıvı sızarak, kauçuk yapı bulunduğu pozisyonda bulunmaktadır. Yük Daralma Mesafesi’nin etkisi Figür 15 ve Figür 16 arasında, kauçuk yapının en üst konumundaki vektörlerle gözlenmektedir.



Figür 16 – Dördüncü Varyasyonun Analiz Sonucu “External Pressure” Vektörleri (Uygulanan Dış Basınç)

5. Kaynaklar

- I. Marc 2024.2 User’s Guide
- II. Marc 2024.2 Release Guide
- III. Marc 2024.2 Volume A to E
- IV. Bias Webinar | Sızdırmazlık Elemanlarının Akışkan Basıncı Altındaki Performanslarının İncelenmesi