



MOBİL HİDROLİKTE KULLANILAN SİLİNDİRLERİN BOĞAZ SIZDIRMAZLIK ELEMANLARININ SONLU ELEMANLAR METODU İLE GELİŞTİRİLMESİ

Arsen Taylan YILDIRIM
Cem TANYERİ

ÖZET

Mobil hidrolik sistemlerde kullanılan boğaz sızdırmazlık elemanları değişken basınç ve hızlara, yüksek sıcaklıklara, uygun olmayan çalışma yüzeyleri vb. zorlu koşullarda çalışmaktadırlar. Bu çalışmada belirtilen zorlu koşullarda performansından bir şey kaybetmeden çalışabilecek bir boğaz sızdırmazlık elemanının tasarlanması ve bu tasarım çalışması sırasında ileri sonlu elemanlar yöntemi ile optimizasyonunu sağlayarak, tasarım süresinin kısaltılması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sonlu Elemanlar Yöntemi, Mobil Hidrolik Sistemler, Mobil Hidrolik Silindirler, Boğaz Sızdırmazlık Elemanları, Değişken Basınçlar, Değişken Hızlar.

ABSTRACT

Rod seals used in mobile hydraulic systems are exposed to variable pressures and speeds, high temperatures, poor operating conditions on unsuitable working surfaces etc. In this study, it is aimed to design a rod sealing element which can work without losing something of its performance under the specified harsh conditions and to shorten the design time by providing optimization by means of advanced finite elements during this design work.

Key Words: Rod Seals; Finite Elements, Mobile Hydraulic Systems, Shock Pressures.

1. GİRİŞ

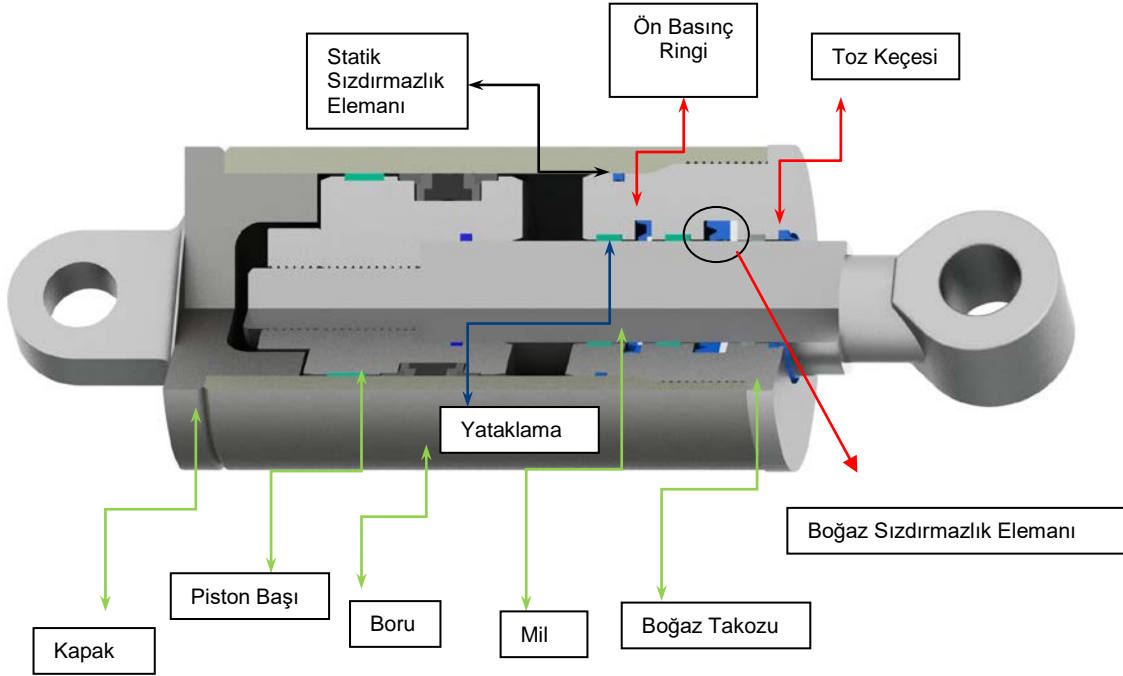
Doğada karşılaşılan her olay, matematik diliyle anlaşılmaya çalışılır. Bu olayların biyolojik, jeolojik veya mekanik olması durumu değiştirmez. Her olay kendine ait büyüklükler yardımıyla cebirsel, diferansiyel veya integral denklemler yardımıyla büyük oranda ifade edilebilir. Pratikte karşılaşılan problemler ne kadar karmaşık olursa olsun tarihin her devrinde o devrin ihtiyaçlarına cevap verecek derecede modellenmeye çalışılmış ve her devirde alınan örnekler yardımıyla insanın kullanımına arz edilmiştir.

Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Bu metot bilgisayarlar çağının bir ürünüdür. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte veri iletim hızlarının sürekli olarak artmasına bağlı olarak bu metotla çözüm yapan paket programların sayısı gittikçe artmaktadır.

Sonlu elemanlar metodunun kullanılması ve bilgisayarların sanayiye girmesiyle, bugüne kadar ancak pahalı deneysel yöntemlerle incelenebilen birçok makine elemanının (motor blokları, pistonlar vs.) kolayca incelenebilmesi, hatta çizim esnasında mukavemet analizlerinin kısa bir sürede yapılarak optimum dizaynın gerçekleştirilmesi mümkün olabilmektedir. [1]:

2. MOBİL HİDROLİK SİLİNDİRLERDE KULLANILAN BOĞAZ SIZDIRMAZLIK ELEMANLARININ DİZAYNINDA SONLU ELEMANLARIN KULLANIMI

2.1. Boğaz Sızdırmazlık Elemanının Tanımı ve Kullanımı



Şekil 1. Hidrolik Silindir Parçaları ve Sızdırmazlık Elemanları.

Hidrolik silindirler, Şekil 1'deki gibi, mil, boru, kapak, piston başı ve boğaz takozu gibi parçalardan oluşmaktadır. Boğaz takozu, boğazda bulunan sızdırmazlık elemanlarına üstündeki kanallar sebebi ile yerleşim sağlamaktadır. Sızdırmazlık elemanlarının tipine bağlı olarak parçalı veya tek parça şeklinde boğaz takozları mevcuttur.

Boğaz sızdırmazlık elemanları teflon sızdırmazlık elemanları (Şekil 2), packing tipli sızdırmazlık elemanları (Şekil 3) ve nutring tipli sızdırmazlık elemanları (Şekil 4) gibi çeşitli geometrilere sahip olabilirler.



Şekil 2. Teflonlu Sızdırmazlık Elemanları



Şekil 3. Packing Tipli Sızdırmazlık Elemanları



Şekil 4. Nutring Tipli Sızdırmazlık Elemanları

Bu çalışmada, mobil hidrolikte boğaz sızdırmazlık elemanı olarak sık sık kullanılan Nutring tipli sızdırmazlık elemanına göre çalışmalar yapılmıştır.

Mobil uygulamalarda kullanılan hidrolik silindirlerde, her geçen gün, , yüksek akma dayanımı olan, düşük sızıntı miktarına ve uzun ömre sahip boğaz sızdırmazlık elemanı ihtiyacı artmaktadır. Bu ihtiyaca cevap verebilecek özel bir geometriye sahip, nutring tipli boğaz sızdırmazlık elemanının tasarım basamakları aşağıda belirtilmiştir.

2.2. Boğaz Sızdırmazlık Elemanının Tasarım Hedefleri ve Basamakları

Mobil hidrolik uygulamalarda çalışacak sızdırmazlık elemanı tasarımı için aşağıda açıkladığımız başlıklarda avantaj sağlanması için çalışmalar başlamıştır.

Akma Miktarı: Boğaz sızdırmazlık elemanının uygulama sırasında çalışma ömrü boyunca takılmış olduğu kanal ile mil arasındaki boşluğa kalıcı olarak girerek orijinal formunda yaşadığı değişiklik.

Montaj Kolaylığı: Silindir montajı sırasında kataloglara göre açılmış yuvalara montajı için harcanan kuvvet miktarının azlığı.

Sızıntı Miktarı: Sızdırmazlık elemanının çalışma ömrü sırasında dış ortama bıraktığı akışkan miktarı.

- Akma Miktarı: Rakip ürünlerden ortalama %20 daha yüksek
- Montaj Kolaylığı: Rakip ürünlerden %5 daha düşük
- Sızıntı Miktarı: Rakip ürünlerden %30 daha düşük

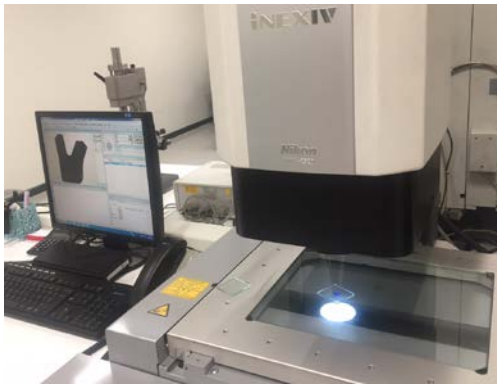
olacak şekilde tasarımın gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu hedefler doğrultusunda;

Mobil uygulamalarda kullanılan hidrolik silindirlere çalışacak olan boğaz sızdırmazlık elemanı tasarımı için sızdırmazlık elemanının çalışma şartları ve rakip ürün performansları incelenmiştir.

2.2.1 Rakip Ürün İncelenmesi ve Modellenmesi

Tedarik edilen rakip ürünlerin 2 boyutlu ölçüm cihazıyla (Resim 1) kesitleri incelenmiş ve ölçüleri belirlenmiş (Resim 2) olup, 3 boyutlu çizimleri yapılmıştır. (Şekil 5-Şekil 6)

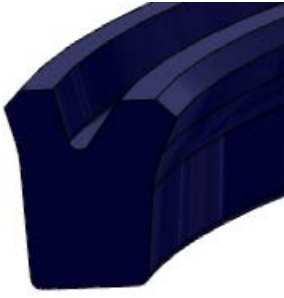


Resim 1. Ölçüm Cihazı

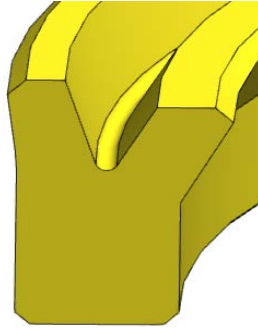


ÖLÇÜM NOKTASI VE DETAYLARI	ÖLÇÜLEN DEĞER	
8 Circle	D	61,53
8 Circle (Point to Plane)	D1_F_1	1,98
8 Circle (Point to Plane)	D1_F_1	1,82
12 Circle (Point to Plane)	D1_F_1	6,22
12 Circle	R	0,28
14 Circle	R	0,42
17 Circle (Point to Plane)	D1_F_1	0,47
20 Circle (Point to Plane)	D1_F_1	4,28
20 Circle (Point to Plane)	D1_F_1	6,75
20 Circle (Point to Plane)	D1_F_1	7,21
20 Circle (Point to Plane)	D1_F_1	3,24
22 Circle (Point to Plane)	D1_F_1	4,28
24 Circle (Point to Plane)	D1_F_1	4,81

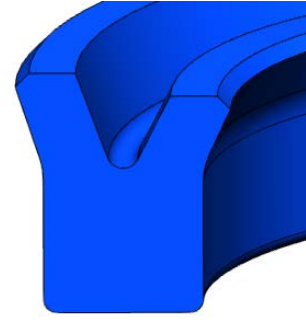
Resim 2. Rakip Ürün Ölçüm Sonuçları



Şekil 5. 3B Rakip Model 1.



Şekil 6. 3B Rakip Model 2.

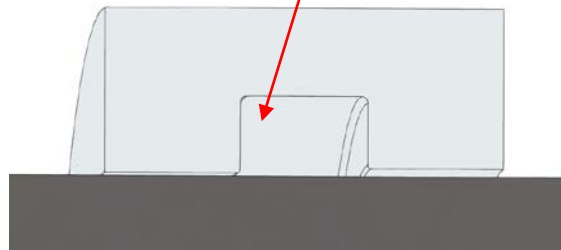
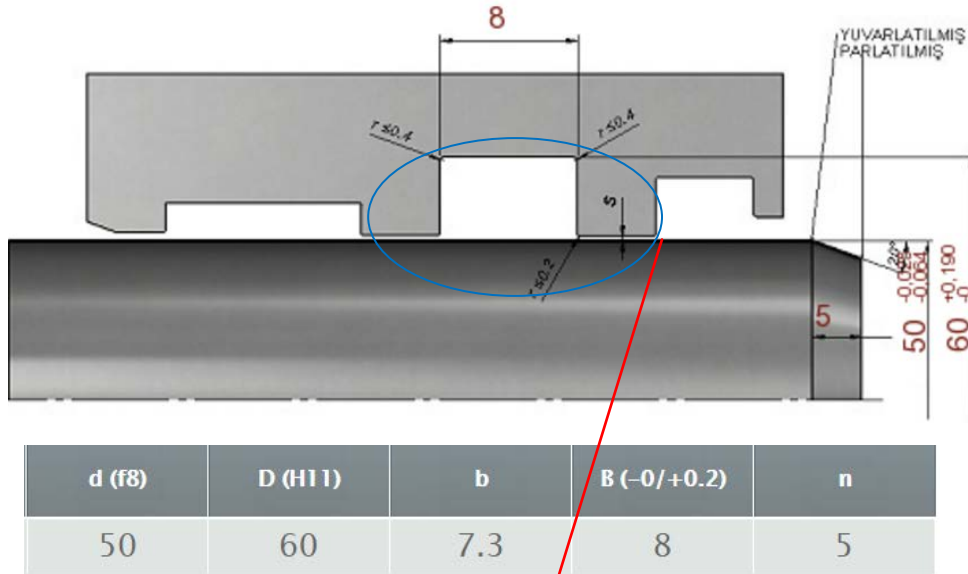


Şekil 7. 3B Referans Model.

Rakip ürün performans bilgilerinin anlaşılabilmesi için yine aynı kanalda çalışabilecek referans bir ürün için de analizler yapılmıştır. (Şekil 7)

2.2.2 Sızdırmazlık Elemanının Kullanım Yerinin (Kanalının) Modellenmesi

Sızdırmazlık elemanının kullanılacağı kanal için seçilen ISO-5597 kanal ölçüsü: 50x60x8 mm'dir. (Şekil 8)



Şekil 8. Sızdırmazlık Elemanı Kullanım Yeri.

2.2.3 Sızdırmazlık Elemanı için Sonlu Elemanlar Analizleri

2.2.3.1 Sızdırmazlık Elemanı için Sonlu Elemanlar Analizler Koşullarının Belirlenmesi

Sonlu elemanlar analizleri için malzeme özelliklerinin, sınır koşullarının (çalışma basıncı, kanal ölçüleri, mil pah açısı ve ölçüleri vb.), temas gruplarının (deforme olabilen parçalar, deforme olmayan parçalar) belirlenmesi büyük önem içermektedir.

Analizler için belirlenen özellikler aşağıdaki gibidir.

Sınır Koşulları:

- 0-200 bar
- 0-400 bar
- $\mu=0,016$: Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan malzeme modeli verileri 3. parti akredite laboratuvar verileri olup; analiz sonuçlarının laboratuvar test sonuçları ile tutarlılığını sağlayacak olan değer μ sürtünme katsayısıdır. Bu durumu sağlayan sürtünme katsayısı 0.016'dır.
- Kanal Ölçüleri: d: 50, D: 60, B: 8

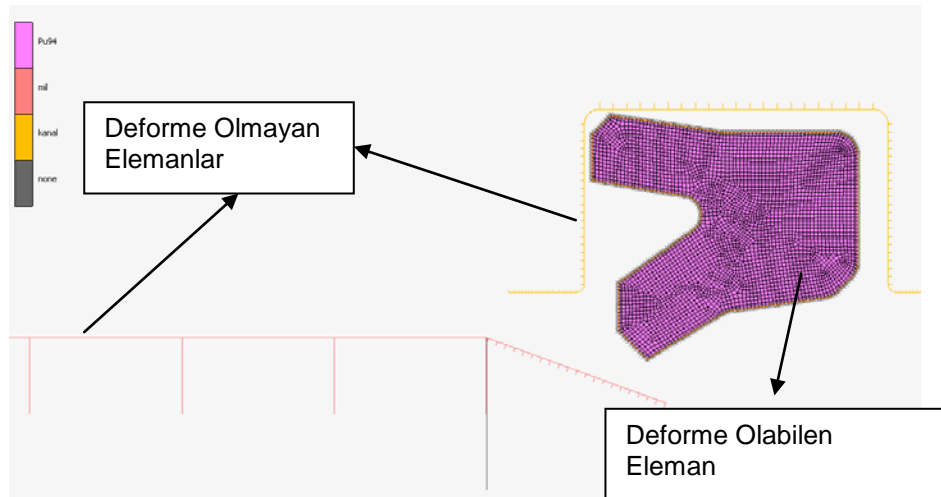
Temas Grupları:

- Deforme Olabilen Elemanlar → Sızdırmazlık Elemanı
- Deforme Olmayan Elemanlar → Mil ve Kanal

Malzeme Özellikleri:

- 94 Shore A Poliüretan

Not: Poliüretan malzeme modeli için plaka şeklinde numuneler üretilmiş, 3.parti akredite laboratuvarlarda teste gönderilmiş, aksiyal ve radyal tüm testler yapılmış olup, çekme kopma uzaması, mooney katsayısı gibi özellikler malzeme kütüphanesine tanımlanmıştır.



Şekil 9. Sonlu Eleman Analizleri için Modellenen Sızdırmazlık Elemanı Kullanım Yeri

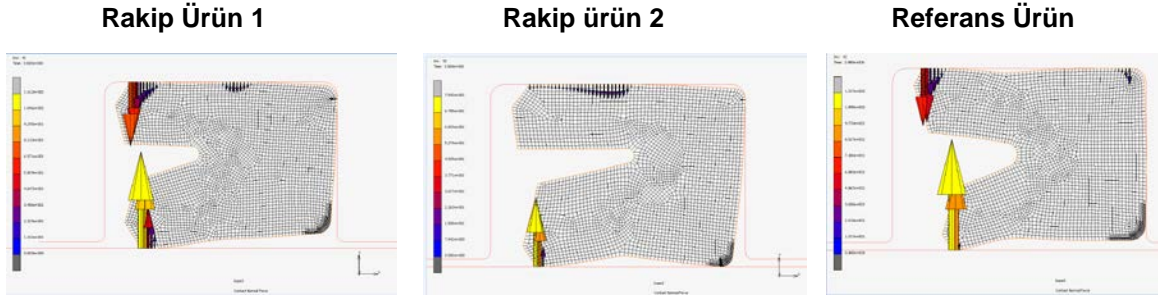
Not 2: 3 boyutlu çizilen bu modeller sonlu elemanlar analizleri sırasında 2 boyutta incelenmiştir. Bunun sebebi ise çalışılan modellerin kesitlerinin tüm ekseninde simetrik (axisymmetric) olmasıdır. (Şekil 9)

2.2.3.2 Rakip ve Referans Sızdırmazlık Elemanları için İncelemeler

Düşük sızıntı miktarı, yüksek akma dayanımı ve uzun ömre sahip boğaz sızdırmazlık elemanı için sonlu elemanlar analizlerinde incelenecek durumlar aşağıdaki gibidir.

- Montaj Sırasında Nutring Dudak Temas Kuvvetleri (Şekil 10) - (Şekil 13)
- 0-200 bar Basınç Altında Akma Miktarı ve İç Gerilimler (Şekil 11) - (Şekil 14)
- 0-400 bar Basınç Altında Akma Miktarı ve İç Gerilimler (Şekil 12) - (Şekil 15)

Montaj Temas Kuvvetleri:



Montaj Temas
Kuvvetleri:

116.2 N

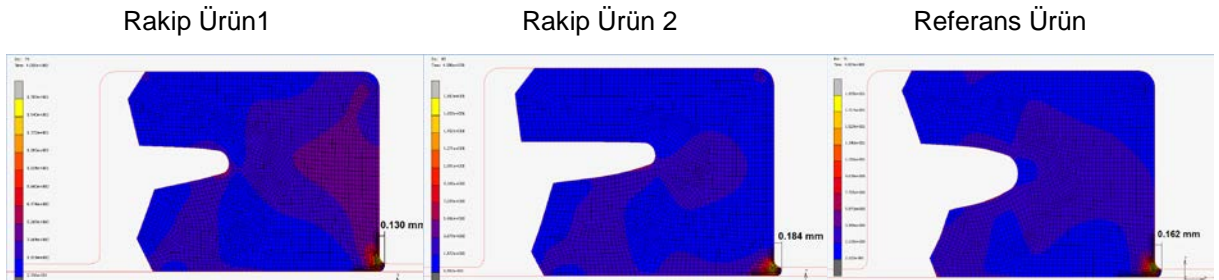
75.4 N

121.7 N

Şekil 10. Rakip Ürün / Referans Ürün Montaj Temas Kuvvetleri

Akma Miktarları ve İç Gerilimler:

i. 200 bar Basınç Altında Akma Miktarları ve İç Gerilimler



Şekil 11. Rakip Ürün / Referans Ürün 200 bar Basınç Altındaki Akma Miktarları ve İç Gerilim Değerleri

Akma Miktarı : 0,130 mm
İç Gerilimler : 17,09 N/mm²

0,180 mm
18,13 N/mm²

0,162mm
19,05 N/mm²

ii. 400 bar Basınç Altında Akma Miktarları ve İç Gerilimler



Şekil 12. Rakip Ürün / Referans Ürün 400 bar Basınç Altındaki Akma Miktarları ve İç Gerilim Değerleri

Akma Miktarı : 0,239 mm
İç Gerilimler : 38,18 N/mm²

0,270 mm
41,63 N/mm²

0,251mm
42,40 N/mm²

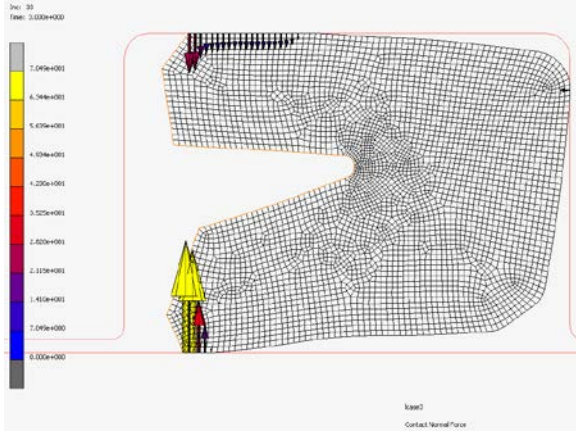
2.2.4 Prototip Ürün Kesitine Karar Verilmesi

Analizlere ve hedeflere uygun olarak kesit çalışmaları yapılmıştır.

İdeal kesit için farklı havuz, dudak, sırt geometrileri, sırt ve sıkma çapları, vb. temel kıstaslar denenmiş olup hedeflere en uygun kesit seçilmiştir.

Aşağıda seçilen kesitle ilgili analiz sonuçları gösterilmiştir.

Montaj Temas Kuvveti:



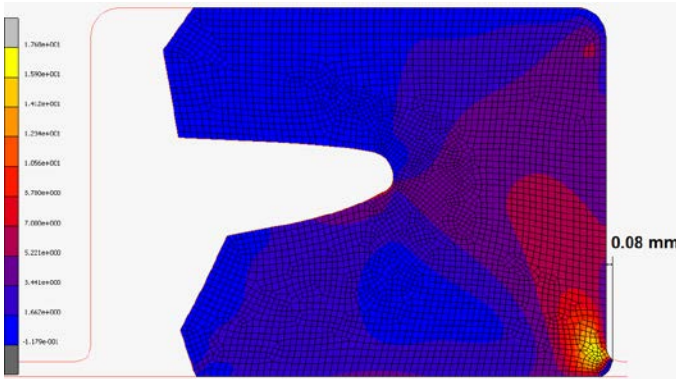
Montaj Temas
Kuvveti: 70 N

Şekil 13. Prototip Ürün Montaj Temas Kuvveti

Sonlu elemanlar analizlerine göre,
Seçilen kesitin montaj temas kuvvet değerleri;
Rakip Ürün 1 den → %39
Rakip Ürün 2 den → %7
daha düşük olarak öngörülmüştür.

Akma Miktarları ve İç Gerilimler:

i. 200 bar Basınç Altında Akma Miktarları ve İç Gerilimler



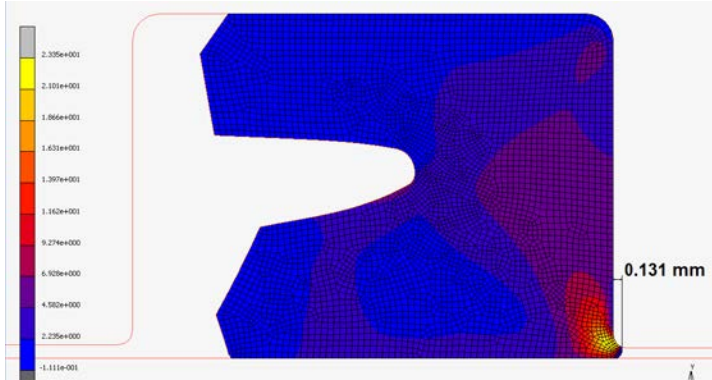
Akma Miktarı : 0,08 mm

İç Gerilimler : 12,52 N/ mm²

Şekil 14. Prototip Ürün için 200 bar Basınç Altındaki Akma Miktarı ve İç Gerilim Değeri

Sonlu elemanlar analizlerine göre,
Seçilen kesitin 200 bar basınç altında Akma Miktarları ve İç Gerilim değerleri;
Akma Miktarları:
Rakip Ürün 1 den → %38
Rakip Ürün 2 den → %55
İç Gerilimler:
Rakip Ürün 1 den → %27
Rakip Ürün 2 den → %31
daha düşük olarak öngörülmüştür.

ii. 400 bar Basınç Altında Akma Miktarları ve İç Gerilimler



Akma Miktarı : 0,130 mm
İç Gerilimler : 23,33 N/ mm²

Sonlu elemanlar analizlerine göre,

Seçilen kesitin 400 bar basınç altında Akma Miktarları ve İç Gerilim değerleri;

Akma Miktarları:

Rakip Ürün 1 den → %46

Rakip Ürün 2 den → %52

İç Gerilimler:

Rakip Ürün 1 den → %32

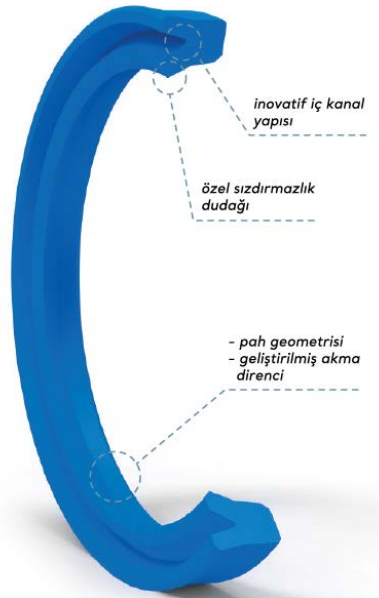
Rakip Ürün 2 den → %44

daha düşük olarak öngörülmüştür.

Şekil 15. Prototip Ürün için 400 bar Basınç Altındaki Akma Miktarı ve İç Gerilim Değeri

2.2.4 Prototip Ürün Tasarım Özellikleri

Sonlu elemanlar analiz sonuçlarına göre tasarlanan sızdırmazlık elemanı avantajları aşağıda belirtilmiştir. (Şekil 16)



Şekil 16. Prototip Ürün Tasarım Avantajları

Tüm bu analizlerden sonra prototip ürün üretilmesine karar verilmiştir. (Resim 3- Resim 4)



Resim 3. Prototip Ürün Kesit Resmi



Resim 4. Prototip Ürün Resmi

3.1. Laboratuvar Testleri

3.1.1 Test Cihazı Özellikleri ve Test Koşulları



Resim 5. Hidrolik Rod Test Ünitesi – TR012013

Sonlu elemanlar analizlerine göre tasarlanan Prototip Ürünümüzün, dışarıdan tedarik edilen Rakip Ürün 1 ve Rakip Ürün 2 ile karşılaştırılmalı Laboratuvar Testleri TR12013 kodlu Hidrolik Rod Test Ünitesinde gerçekleştirilmiştir. (Resim 5)

TR012013 Test ünitemizin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Çalışma Basıncı : 0-450 bar
Çalışma Hızı : 0,4m/sn
Test Sıcaklık Aralığı : 10°C-150°C
Test Silindir Sayısı : 3

Test ünitemizde 3 adet silindir bulunmaktadır. Teste başlamadan önce, test silindirinde bulunan tüm mil ve boru parçalarının yüzey pürüzlülük değerleri, çap ölçüleri ve akma boşluğu gibi değerler ölçülmüş olup tolerans dışı bir durumla karşılaşmamıştır.

Test ünitemizdeki 1. Silindire Prototip Ürün

Test ünitemizdeki 2. Silindire Rakip Ürün 1

Test ünitemizdeki 3. Silindire Rakip Ürün 2 montaj edilmiştir.

Test senaryomuz tarafımızdan belirlenmiş olup aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

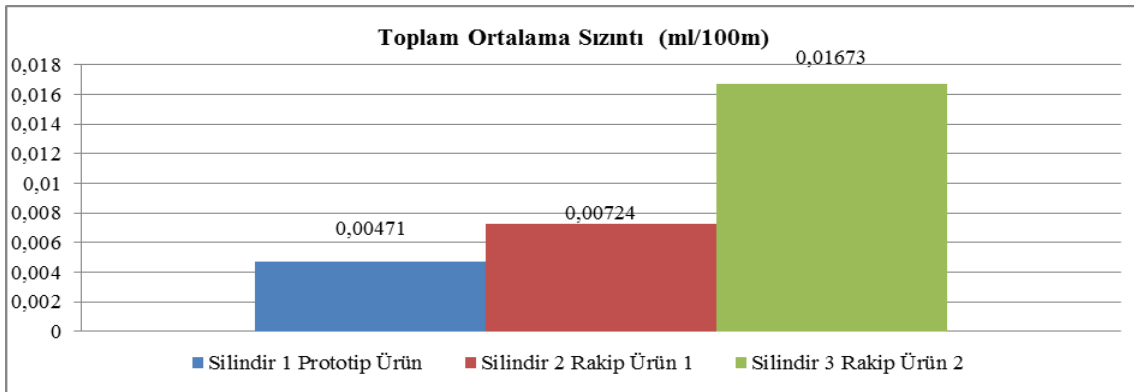
Test Koşulları				
	1.Periyot	2.Periyot	3.Periyot	4.Periyot
Basınç (Bar) :	50	250	400	120
Hız (m/s):	0.25	0.10	0.10	0,20
Hedef Mesafe (km):	10	40	40	10
Sıcaklık (°C):	70	70	70	70
Akma Boşluğu (mm):	0.15			
Medya:	Vg 46 Hidrolik Yağ			

Tablo 1. Test Koşulları Tablosu

3.1.2 Test Sonuçları

3.1.2.1 Sızıntı Miktarları

i. Test Sonrası Ortalama Sızıntı Miktarları



Grafik 1. Ortalama Sızıntı Miktarları

3.1.2.2 Akma Miktarları

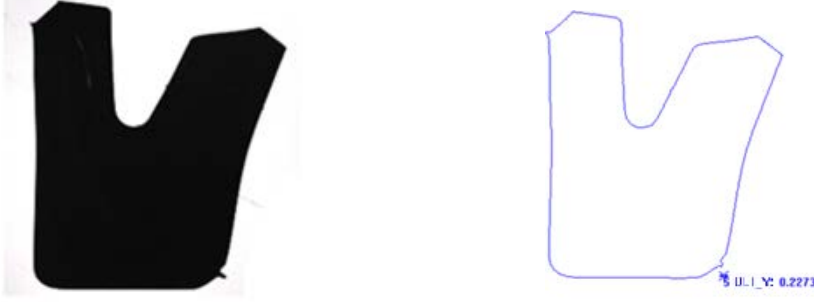
Test sonrası tüm sızdırmazlık elemanlar silindirlere demonte edilmiştir. (Resim 6)

Tüm ürün kesitleri için ölçüm cihazında ölçümler yapılmıştır.(Resim 7-8-9)

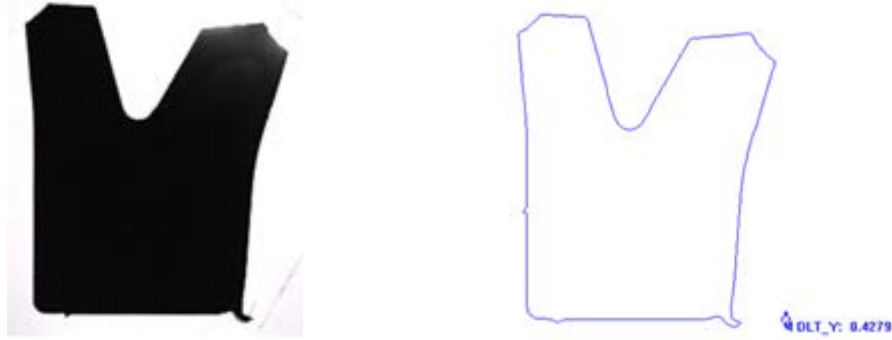


Sızdırmazlık Elemanında Akma

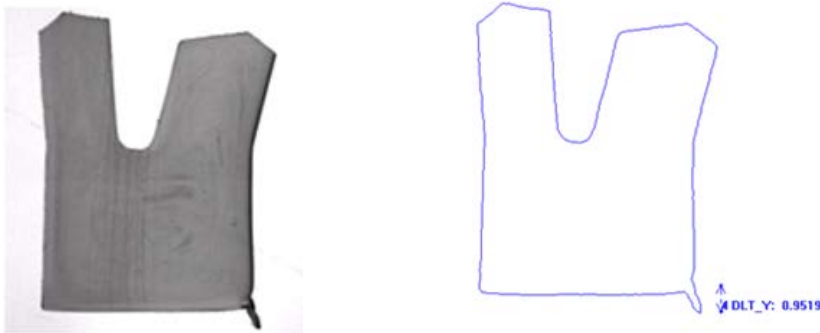
Resim 6. Test Sonrası Demonte Edilmiş Ürün

i. Prototip Ürün**Resim 7. Prototip Ürün Akma Miktarı**

Prototip ürün için; akma miktarı 0,23 mm olarak gerçekleşmiştir.

ii. Rakip Ürün 1**Resim 8. Rakip Ürün 1 Akma Miktarı**

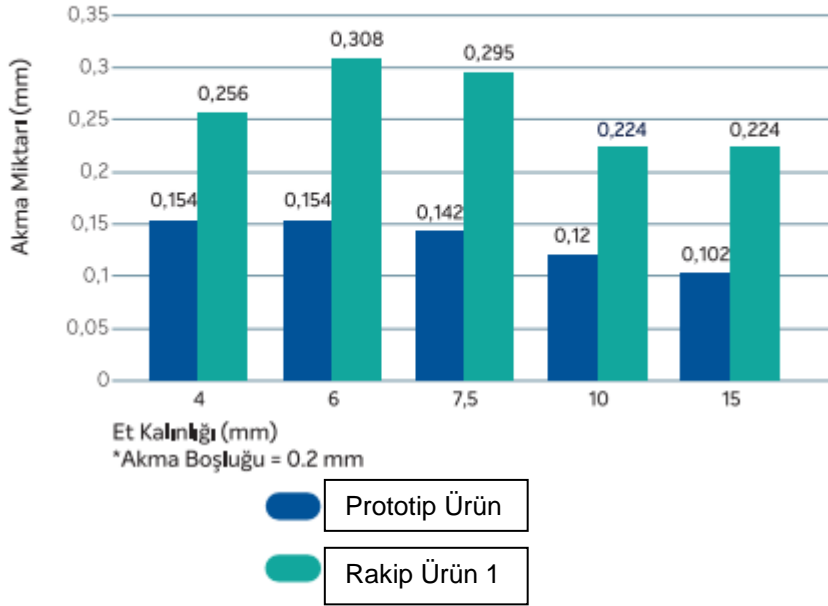
Rakip Ürün 1 için; akma miktarı 0,43 mm olarak gerçekleşmiştir.

iii. Rakip Ürün 2**Resim 9. Rakip Ürün 2 Akma Miktarı**

Rakip Ürün 2 için; akma miktarı 0,95 mm olarak gerçekleşmiştir.

Farklı et kalınlıkları için yapılan sonlu elemanlar analizleri de laboratuvar sonuçlarını desteklemektedir. (Grafik 2)

Akma Dayanımı 400 bar



Grafik 2. Farklı Et Kalınlıkları için Akma Miktarları Grafiği

SONUÇ

Sonlu Elemanlar Analiz sonuçları ve Laboratuvar Test sonuçları incelenmiş;

i. Sızıntı Miktarları

Prototip Ürün için Laboratuvar Testlerine göre;

Rakip Ürün 1 den → %35 oranında

Rakip Ürün 2 den → %72 oranında daha düşük değerlerde sızıntı miktarları ölçülmüştür.

ii. Akma Miktarları

Prototip ürün için akma miktarları Sonlu Elemanlar Analizlerine göre;

Rakip Ürün 1 den → %46 oranında

Rakip Ürün 2 den → %52 oranında

Laboratuvar Testlerinde göre;

Rakip Ürün 1 den → %46 oranında

Rakip Ürün 2 den → %76 oranında daha az akmaya uğradığı tespit edilmiştir.

Sonlu Elemanlar Analizleri ve Laboratuvar Test sonuçları karşılaştırılmış olup modelin doğruluğu kanıtlanmıştır.

Tüm bu bilgiler doğrultusunda sonlu elemanlar analizleri sayesinde doğru tasarım ve geliştirme süreçleri kısalmış, imalat süresinin yanı sıra deneme yanılma sonucunda oluşabilecek malzeme kaybını da önlemiştir.



KAYNAKLAR

[1] Onur KIRLI 2002, Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi

ÖZGEÇMİŞ

Arsen Taylan YILDIRIM

1986 yılı İzmir doğumludur. 2009 yılında Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. 2010 yılından beri Kastaş Sızdırmazlık Teknolojileri A.Ş.'de çalışmakta ve Tasarım ve Proje yöneticisi pozisyonunda görev yapmaktadır.

Cem TANYERİ

1986 yılı İzmir doğumludur. Lise öğrenimini İzmir Konak Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. 2009 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiş olup, 2011 yılında Ege Üniversitesi İşletme Yüksek Lisansını tamamlamıştır. 2013 yılından bu yana Kastaş Sızdırmazlık Teknolojileri A.Ş.'de çalışmakta ve Ar-Ge Yöneticisi olarak görev yapmaktadır.