

Oval (Yassı) Pnömatik Silindir Geliştirme Süreci

Mustafa KARATAŞ¹, Kadir ÇAVDAR^{2*}

¹Hid-Tek Ltd. Şti., Ar-Ge Merkezi, 16110, Bursa

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

YAYIN BİLGİSİ

Tarihçe:

Alınış: Ekim 2019
Kabul: Aralık 2019
Online Yayınlanma: Aralık 2019

Anahtar Kelimeler:

Pnömatik Silindir
Oval Silindir
Analiz
Geliştirme

ÖZET

Endüstriyel pnömatik tahrik uygulamalarında daha kompakt ve daha stabil bir yapı her zaman tercih sebebidir. Standart pnömatik silindirlere göre daha dar alanlarda çalışma imkânı sağlayan ve millerinde dönme davranışı görülmeyen oval silindirler robotik uygulamalarda tercih edilmeye başlanmıştır. Bu yayında, öncelikle oval silindirin tasarım ve geliştirme çalışmaları özetlenmiş ve imalat sürecinde kazanılan tecrübeler aktarılmıştır.

The Development Process of a Flat Pneumatic Cylinder

ARTICLE INFO

History:

Received: October 2019
Accept: December 2019
Available online: December 2019

Keywords:

Pneumatic cylinder
Oval cylinder
Analysis
Development

ABSTRACT

In industrial pneumatic drive applications, more compact and more stable structures are always preferred. Flat cylinders, which allow to work in narrower areas than standard pneumatic cylinders and do not have rotational behaviour on their shafts, have started to be preferred in robotic applications. In this paper, firstly the design and development process of the oval cylinder are introduced and the experiences gained during the mass production process are explained.

1. GİRİŞ

Pnömatik silindirler, endüstriyel sistemlerde hareket aktarımı görevinde güvenilir ve uygun maliyetli alternatiflerin başında gelirler. Gelişen teknoloji ile aynı işi daha hızlı, daha verimli ve daha kompakt ürünler ile yapmak endüstriyel uygulamalarda birincil istektir. Makale konusu oval silindirler de standart pnömatik silindirlere alternatif olarak, aynı kuvveti çok daha kompakt yapıda mil üzerinde kullanıcıya sunabilen formda tasarlanmıştır.

Mühendislik ürünlerinin tasarım süreci oldukça karmaşık ve zaman alıcıdır. Bu süreç için çeşitli yöntemler farklı yayınlarda ortaya konarak açıklanmıştır (Börklü ve diğ. (2019), Çavdar ve

diğ. (2019), Pahl ve Beitz (1997), Roth (2000)). Bu çalışmada da Çavdar (2000) tarafından özetlenen metodik konstrüksiyon öğretisine uygun süreç kullanılmıştır.

Başta kaynak makineleri ve fikstürleri olmak üzere, pnömatik silindir milinin dönmesinin istenmediği tüm sektörlerde kullanılan, mili dönmez özellikte kompakt düz silindirlerin tasarım ve imalat süreci bu yayında açıklanmaktadır. Bu tür silindirler, pistonun lineer ileri-geri hareketlerinde oluşabilen mil dönme probleminin önlenmesi ve az yer kaplaması sebebiyle endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedir. Oval silindirin genel görünümü Şekil 1’de standart bir silindirin kesit görünümü de Şekil 2’de verilmiştir.

Grigorenko ve Rozhok (2006) yayınlarında, karmaşık eliptik kesitli elastik-içi boş silindirlerin üç boyutlu sınır değer gerilme problemine yönelik bir yaklaşım önermiştir. Çalışmada adi diferansiyel denklem sistemi için türetilen sınır değer problemi, silindir kalınlığı üzerinden ayrık dikgenleştirmeye dayalı kararlı sayısal metotla çözülmüştür. Eliptik silindirlerde maksimum gerilmenin homojen silindirlere göre bazı bölgelerde 1,7 kata kadar daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Tornabene ve diğ. (2015) çalışmalarında, kompozit silindirlerin oval ve eliptik kesitlerinin serbest titreşimlerini incelemek için genelleştirilmiş dördüncü dereceden diferansiyel yöntemi (GDQ) ve kabuk teorileri kullanmıştır. Bu yolla hesaplanan frekansların, silindirin orta yüzeyinin enine kesitini tanımlayan oval veya eliptik çevre boyunca kafes noktalarının sayısındaki bir artış ile hızla yakınsadığı bulunmuştur.

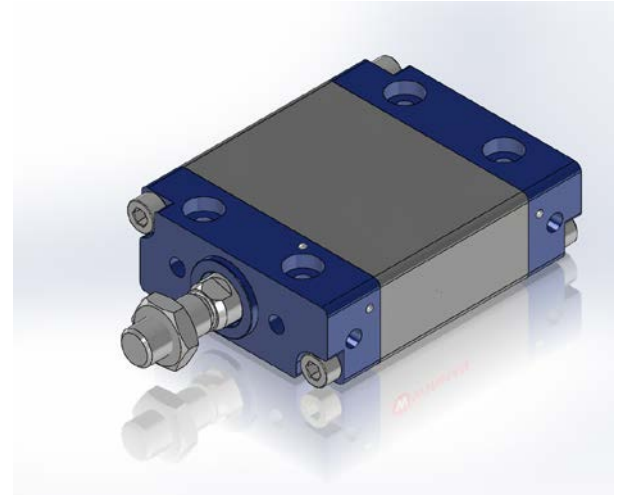
Usman ve Park (2017) yayınlarında, dairesel olmayan bir silindir deliğiyle birlikte dokulu piston gömlek halkasının türbülanslı yağlama durumundaki tribolojik performansını sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada simetrik eksenli olmayan bir dokuya sahip piston gömlek halkası ara yüzünün tribolojik performansının incelenmesinde; eksenel halka dinamiği, değişken halka uyumluluğu ve gerçek motor yağı reolojisi dikkate alınmıştır. Bu bilgiler makale konusu yassı silindirin tasarımında sınırları oluştururken kullanılmıştır.

Akkaya ve diğ. (2005), Simulink programı yardımıyla pnömatik silindirin simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. MATLAB-Simulink programında sistem elemanlarının her birinin modelleri oluşturulmuş ve bu modeller birleştirilerek sistemin toplam modeli ortaya konmuştur. Ardından toplam model kullanılarak sistemin ileri ve geri hareketi için simülasyonlar yapılmıştır. Sistem parametrelerindeki değişimlerin sistem üzerindeki etkileri de konum bode diyagramı üzerinde incelenmiştir.

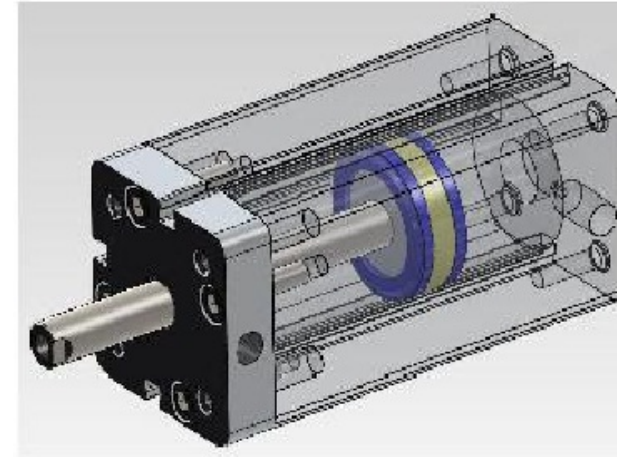
Dindar (2014) tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında, pnömatik yastıklı silindir tasarımı ve ömür testleri konusu incelenmiş ve pnömatik yastıklı silindir imalatında yüksek ömür elde etmek için dikkat edilmesi gereken konular açıklanmıştır. Optimum silindir boyutları hesaplanıp, silindirin sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçek kullanım koşullarındaki dayanımı görmek için ayrıca bir Pnömatik silindir test cihazı tasarlanıp imal

edilmiş, ömür denemeleri bu cihaz üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Standart pnömatik silindirlerde kuvvet; silindirin kesit alanı ile hava basıncının çarpımına eşittir. Oval silindirlerdeki kuvvet hesabında kullanılan alan ise yassı şekli ile çok daha kompakt yapı ortaya koyar. Oval silindirler, ISO 15552 serisi standart silindirlere göre daha dar alanlarda kullanılabilirler. Tablo 1'de aynı piston çapına sahip oval silindir ile standart silindirin genişlik ölçüsündeki fark açıklanmaktadır. Buna göre; oval silindirin yüzey alanı (yani kapladığı alan) %26,5 oranında standart silindire göre daha az iken hacim değerlerinde bu fark yaklaşık %5'tir.



Şekil 1. Oval pnömatik silindir



Şekil 2. Standart kompakt silindir

Standart pnömatik silindirlerde kuvvet değeri silindirin kesit alanı ile hava basıncının çarpımı ile hesaplanır, Tablo 2.

Tablo 3 ve Şekil 3'te oval silindirlerin basınç değerlerine karşılık itme ve çekme kuvvetleri belirtilmiştir.

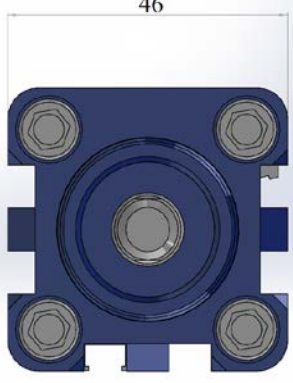

Kaynak makineleri gibi bazı uygulamalarda pnömatik silindir milinin dönmesi istenilen bir durum değildir. Oval silindir tasarım çalışmaları esnasında, özel şekilli bir oval keçe tasarlanmış ve böylece milin dönmezliği sağlanmıştır. Ayrıca bu formla daha mukavim bir yapı ortaya konmuştur.

Standart pnömatik silindirlerde milin dönmemesi kare ya da altıgen formunda mil kullanımı ile

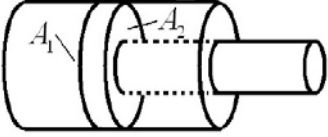
sağlanmaktadır. Ancak bu tür uygulamalarda yük altında boğaz yataklaması zayıf kaldığından kare ve altıgen kesitli miller burkulma dayanımı açısından dezavantajlı olabilmektedir. Miller burkulma açısından kontrol edilmelidir.

Oval silindirlerde yataklama işlemi keçe yapısı ile gövde boyunca (Şekil 4) sağlandığı için burkulmaya karşı dayanım da oldukça yüksektir.

Tablo 1. Standart ve oval silindirin karşılaştırılması

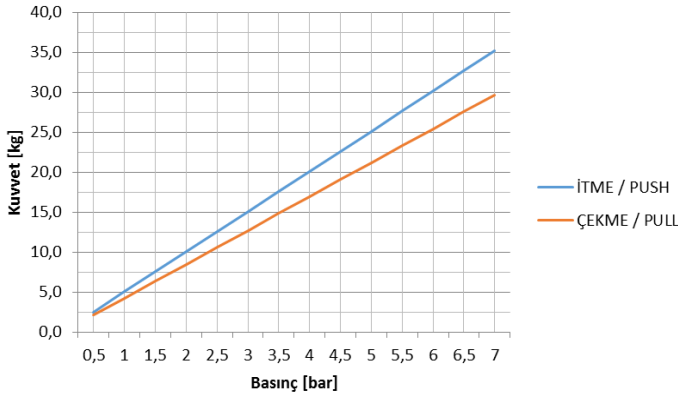
| | Silindir Tipi | |
|--------------------------------|--|--|
| | Standart (ISO 15552) | Oval |
| | 46 | 24 |
| |  |  |
| Yüzey Alanı (mm ²) | 2026,73 | 1487,63 |
| Hacim (mm ³) | 130.450 | 124.735 |

Tablo 2. Pnömatik silindirlerde itme ve çekme kuvveti hesabı

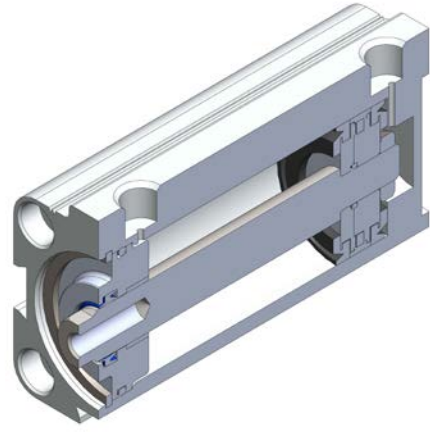
| |
|---|
|  |
| Fitme = p . A ₁ Fçekme = p . A ₂ |
| p: Basınç (bar, N/mm ²), A ₁ , A ₂ : Yüzey alanı (mm ²) |

Tablo 3. Oval silindirlerin basınç değerlerine göre itme ve çekme kuvvetleri [4]

| | BASINÇ (bar) | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 | 7 |
|-----|---------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 025 | İtme (kg) | 2,5 | 5,0 | 7,5 | 10,0 | 12,6 | 15,1 | 17,6 | 20,1 | 22,6 | 25,1 | 27,6 | 30,1 | 32,7 | 35,2 |
| | Çekme (kg) | 2,1 | 4,2 | 6,4 | 8,5 | 10,6 | 12,7 | 14,8 | 17,0 | 19,1 | 21,2 | 23,3 | 25,4 | 27,5 | 29,7 |
| 032 | İtme (kg) | 4,1 | 8,1 | 12,2 | 16,2 | 20,3 | 24,4 | 28,4 | 32,5 | 36,6 | 40,6 | 44,7 | 48,7 | 52,8 | 56,9 |
| | Çekme (kg) | 3,5 | 7,0 | 10,5 | 14,0 | 17,5 | 21,0 | 24,5 | 28,0 | 31,5 | 35,0 | 38,5 | 42,0 | 45,5 | 49,0 |
| 040 | İtme (kg) | 6,4 | 12,7 | 19,1 | 25,5 | 31,9 | 38,2 | 44,6 | 51,0 | 57,4 | 63,7 | 70,1 | 76,5 | 82,8 | 89,2 |
| | Çekme (kg) | 5,4 | 10,7 | 16,1 | 21,5 | 26,8 | 32,2 | 37,6 | 42,9 | 48,3 | 53,7 | 59,0 | 64,4 | 69,8 | 75,1 |



Şekil 3. 25'lik oval silindir basınç – kuvvet diyagramı



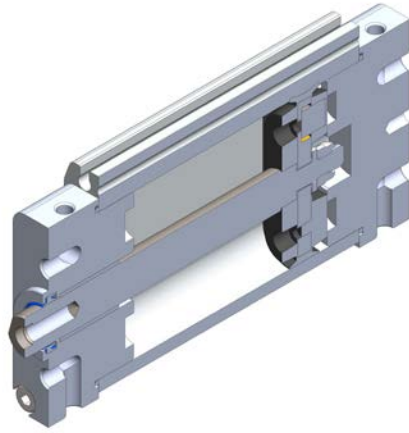
2. Oval (Yassı) Silindir Tasarımı

Yukarıda tanımlanan şartlar altında, sistematik tasarım adımları sonunda kesiti oval bir silindirin tasarımı ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Tasarım aşamalarında kullanılan, oval silindire ait pnömatik akış analizleri ve sonuçların değerlendirilmesi bu bölümde açıklanmaktadır. Analiz işlemlerinde kullanılan silindirin genel görünüşü Şekil 5'de verilmiştir.

Çalışma CFD (Computational Fluid Dynamics) analizi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz işlemleri sonucunda, analizi yapılan model için basınç dağılımları ve akış hızı çıktıları incelenmiştir.

2.1. Silindirin Modellenmesi

Kapalı durumdaki pnömatik silindir çalışmaya başladığı anda, hava girişinin olduğu bölümden basınçlandırılan sistem için egzozdan çıkacak havanın bulunduğu odanın analizi gerçekleştirilmiştir. Akışı incelenecek havanın bulunduğu oda ile boşalma durumunda izleyeceği yollar renklendirilmiştir. Analiz modelinin kurulması işleminde, ilk olarak örgü (mesh) yapısı oluşturulmuş ve optimize edilmiştir. Ardından hava giriş-çıkış bölgeleri, giriş basıncı ve çıkış basıncı gibi sınır şartları belirlenerek katı model analiz edilmiştir.

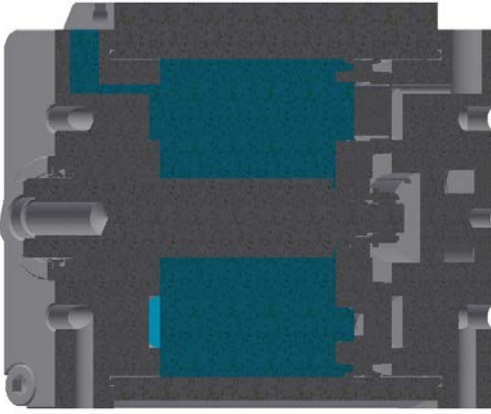
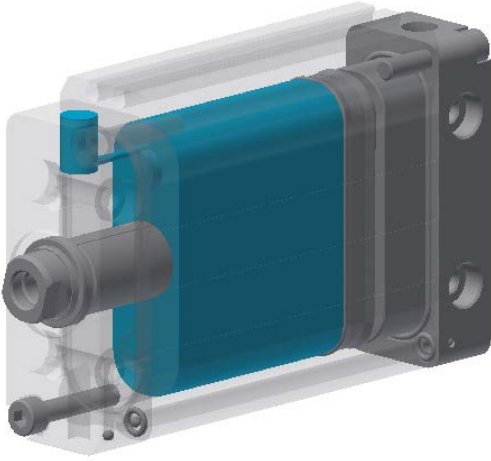


Şekil 4. Oval silindir kesiti ile normal silindirin kesiti karşılaştırması

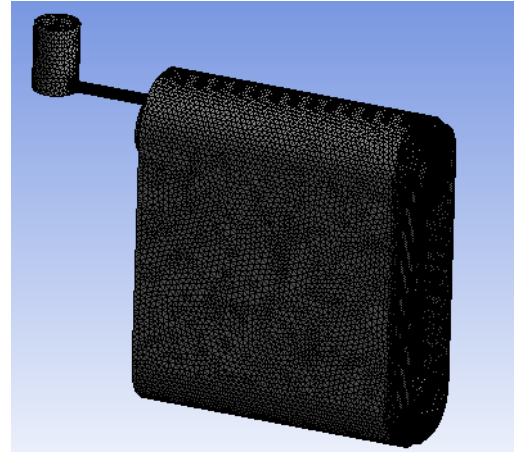
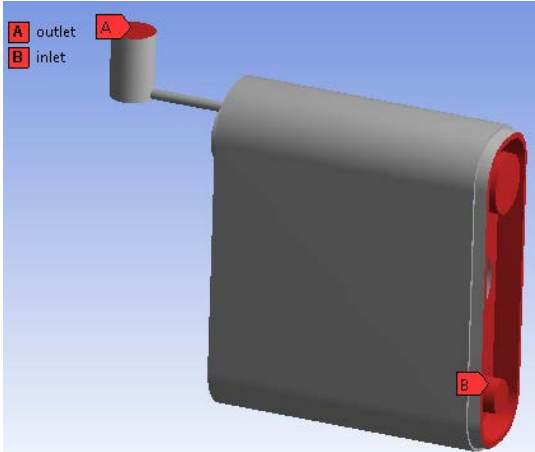
Silindirin konumu sebebiyle havanın izleyeceği yol belirlenmiştir ve bu hatta ait görsel Şekil 6'da verilmiştir. Silindirin bu analiz modeli için sınır şartları ve örgü yapısı detayları Şekil 7'de görülmektedir. Analiz işlemi için gerekli olan örgü (mesh) değerleri Tablo 4'te, modelin sınır şartları da Tablo 5'te özetlenmiştir.



Şekil 5. Oval silindir genel görünümü



Şekil 6. Silindir hava akış yolu



Şekil 7. Silindir hava giriş- çıkış bölgeleri (A: giriş, B: çıkış)

Tablo 4. Silindir model örgüsü (mesh) özellikleri

| Özellik | Değer |
|----------------------|-------------|
| Örgü tipi | Tetrahedron |
| Eleman sayısı | 487550 adet |
| Düğüm noktası sayısı | 96490 adet |
| En/boy oranı | 9,226 |

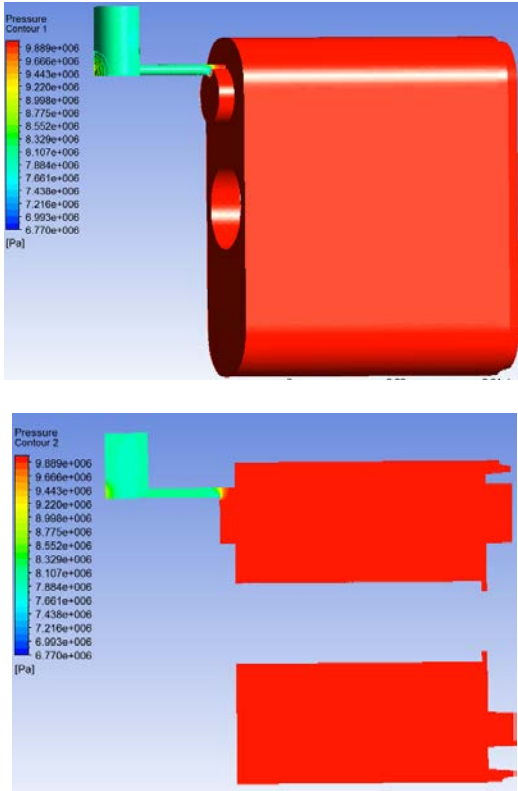
Tablo 5. Silindir modeli sınır şartları

| Özellik | Değer |
|----------------|-----------|
| Model | k-epsilon |
| Valf Malzemesi | Alüminyum |
| Akışkan | Hava |
| Giriş Basıncı | 10 bar |
| Çıkış Basıncı | 8 bar |

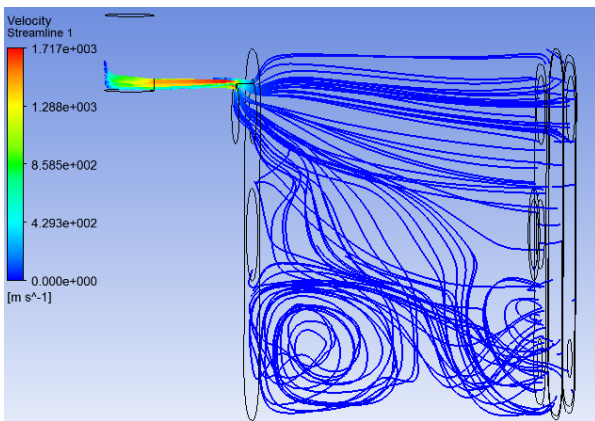
2.2. Analiz Sonuçları

Oval silindir analiz işlemleri için hazırlanan modelin çözüm sonrasında elde edilen sonuçlar ve yorumlar aşağıdaki sıralanmıştır. Analiz sonuçları ile elde edilen basınç ve akış hızı değişimleri değerlerine göre, aşağıdaki şekillerde verilen dağılımlarda kırmızı olan kısımlar basıncın veya hızın diğer bölgelere nazaran daha fazla olduğu bölümlerdir. Bununla birlikte basıncın veya hızın en düşük olduğu bölgeler koyu mavilerdir. Yapılan analiz, havanın ilerlediği hat boyunca hiçbir hatanın bulunmadığı ve ideal olduğu şartlardaki sonuçları vermektedir.

Pnömatik silindir için giriş basıncı 10 bar, çıkış basıncı ise 8 bar olarak programa girilmiştir. Bu analiz sonucunda basınç yükselmeleri ve düşüşlerinin olduğu bölgeler belirlenmektedir. Basınç değişimleri değerleri için yüksekte alçağa doğru renk cetveli ve sonuçlara bakıldığında, 10 bar olarak silindire giren havanın basıncı minimum 6,77 bara düşmüştür (Şekil 8). Analizi yapılan valf için havanın akış hızına bakıldığında havanın hızı maksimum 1717 m/s olmuştur. Bunlara ek olarak Şekil 9'da türbülans oluşan bölgeler görülmektedir.



Şekil 8. Silindir hava giriş- çıkış bölgeleri
(A: giriş, B: çıkış)



Şekil 9. Silindir akış analizi hız değişimleri

Oval silindirlerin tasarım ve analiz çalışmalarının ardından prototip imatları gerçekleştirilmiştir. Prototip silindirler test standına bağlanmış, burada ömür ve yük testlerine tabi tutulmuşlardır. Bu testler sonucunda ulaşılan değerler; yaklaşık 11 milyon çevrimde test edilen numuneler arasında en fazla kaçak dikkate alındığında, testin sonlandırılması için ISO 19973-3 ve ISO 10099 normlarına göre belirlenen kaçak limit değerlerinin %17'sine ulaştığı gözlemlenmiştir. Seri üretime geçiş kriteri 10 milyon çevrim olduğundan geliştirilen prototipin başarılı olduğu var sayılıp standartlaştırma sürecine geçilmiştir. Ömür testlerine, test edilen prototiplerin %70'inin başarısız olmasına kadar (kaçak limit değerlerine ulaşılması) devam edilecektir.



Şekil 7. Test standına bağlı örnek oval silindirler

3. Sonuç

Oval silindirler ile standart silindirlere göre aynı itme kuvvetini çok daha küçük hacimde elde etmek mümkündür. Oval silindirlerin standart pnömatik silindirlere göre bir üstünlüğü de millerinin dönmezlik özelliğinin kare mil kullanılarak sağlanmasıdır. Oval silindirler için tasarlanan özel oval keçe yapısı ile dönmezliğe karşı yataklama tüm gövde boyunca yapıldığı için burkulmaya karşı daha yüksek direnç de sağlanmaktadır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen akış analizleri ile akış açısından da oval silindirlerin avantajlı olup olmadığı araştırılmıştır. İlk analiz sonuçlarına göre belirgin bir üstünlük görülmemektedir. Gelecekte yapılacak daha kapsamlı analiz ve deneysel çalışmaların ardından bu alanda daha kesin hükümler verilebilir. Özellikle oval silindirin simetrik olmayan iç hacminde türbülans oluşumunun etkilerinin incelenmesine de ihtiyaç duyulmaktadır.

Teşekkür

Bu makalede adı geçen oval silindirlerin geliştirilmesi çalışması 3170441 nolu “Kaynak makineleri için mili dönmez özellikte kompakt düz silindir geliştirilmesi” TÜBİTAK-TEYDEB projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1] Börklü H.R., Yüksel N., Çavdar K., Sezer H.K. (2019), A practical application for machine design education, *Journal of Advanced Mechanical Design Systems and Manufacturing* 12(2), DOI: 10.1299/jamdsm.2018jamdsm0036.
- [2] Çavdar, Fatma Y.; Börklü, Hüseyin R.; Çavdar, Kadir; Sezer, H. Kürşad (2019), The design process of the complex Special Utility Vehicle using the methodical design approach, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, vol. 13, issue 4, doi: 10.1299/jamdsm.2019jamdsm0070.
- [3] Pahl, G., and Beitz, W. (1997) *Engineering Design (in German)*, Berlin: Springer.
- [4] Koller, R. (1985), *Design theory for mechanical engineering (in German)*, Berlin: Springer.
- [5] Roth, K., (2000) *Construction with design catalogs Volume 1: Design theory (in German)*, Heidelberg: Springer.
- [6] Çavdar K. (2000), *Gürültüsü Az Konstrüksiyonlar*, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [7] Grigorenko Y.M ve Rozhok L.S. (2006), Equilibrium of elastic hollow inhomogeneous cylinders of corrugated elliptic crosssection *Journal of Engineering Mathematics* 54(2):145-157, doi.org/10.1007/s10665-005-5572-5
- [8] Tornabene F., Fantuzzi N., Baccocchi M. ve Dimitri R. (2015), Free vibrations of composite oval and elliptic cylinders by the generalized differential quadrature, *Thin-Walled Structures* 97(1):114-129, doi.org/10.1016/j.tws.2015.08.023
- [9] Usman A. ve Park C.W. (2017), Numerical investigation of tribological performance in mixed lubrication of textured piston ring-liner conjunction with a non-circular cylinder bore, *Tribology International*, vol.105: 148-157, doi.org/10.1016/j.triboint.2016.09.043
- [10] Hid-Tek Firmasına ait Silindir Kataloğu (www.hid-tek.com.tr).
- [11] Akkaya A.V., Sevilgen S.H., Erdem H.H. ve Çetin B. (2005), Simulink Kullanarak Bir Pnömatik Sistemin Simülasyonu, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 6 (2): 155-162.
- [12] Dindar, Y. (2014), Pnömatik yastıklı silindir tasarımı ve ömür testleri. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.