



YENİ TOZ KEÇESİ TEST CİHAZININ TASARIMI VE TOZ KEÇESİ PERFORMANSININ DOĞRULANMASI

DEVELOPMENT OF A NOVEL WIPER SEAL TEST RIG AND VALIDATION OF WIPER SEAL PERFORMANCES

Cem Tanyeri
Seçkin Semiz

ÖZET

Uygulamalarda toz keçesi seçimine dikkat edilmese de hidrolik veya pnömatik sistemi dış ortamdan izole eden sistemin en önemli unsurlarından biridir. Hidrolik ve pnömatik sistemlerdeki kontaminasyon, silindirin metal parçalarına, sızdırmazlık elemanlarına ve sistemin diğer tüm bileşenlerine önemli ölçüde zarar verebilir. Sektörde sık kullanılan toz keçelerinin sızdırmazlık performans testlerini gerçekleştirmek için yeni bir test cihazı geliştirmesinin nedeni budur. Bu makale, toz keçesi üzerindeki çevresel etkilere göre test cihaz ve ekipmanlarının tasarımına ve performans analizine genel teknik bir bakış sağlar.

Anahtar Kelimeler: Toz Keçesi, Hidrolik, Pnömatik, Test Cihazı.

ABSTRACT

Although the choice of wiper seal is not paid attention to in applications, the wiper seal is one of the most important elements of the system which isolates the hydraulic or pneumatic system from the external environment. Contamination in hydraulic and pneumatic systems can cause significant damage to metal parts of the cylinder, sealing elements, and other components of the whole system. This is the reason why Kastan Sealing Technologies develops a new test bench to perform wiper seal performance tests. This paper provides us with a technical overview of the design of the wiper seal test rig and performance analysis according to environmental effects on the wiper seal.

Key Words: Wiper, Hydraulic, Pneumatic, Test Ring.

1. GİRİŞ

Sızdırmazlık elemanları sistemlerin sağlıklı çalışmasını sağlayan en önemli makine elemanlarından biridir. Gelişen teknolojinin getirdiği birçok farklı sistem, sızdırmazlık elemanları için yeni problemler ve çözümler getirmiştir. Hidrolik silindirlerin sızdırmazlığında en çok sorun yaratan konu, çalışma ortamındaki akışkanın içindeki yabancı partiküllerin sisteme kaçarak sızdırmazlığın sağlanamamasına neden olmasıdır. Bu soruna bir çözüm olarak 1958'de Sneed John, O-ring'e zarar gelmesini önleyen bir sızdırmazlık seti geliştirdi [1]. Daha sonra 1997 yılında tek parça dudaklı sızdırmazlık elemanları geliştirildi [2]. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan toz keçesi tasarımı 2000 yılında Uwe Siegrist ve Otmar Braun tarafından kurulmuştur [3]. 2003 yılında Nick Peppiatt tarafından standart tipte bir sıyrıcı conta üzerinde yapılan bir test, tek dudaklı toz keçesinin çift dudaklı toz keçesinden daha fazla sızdırdığını kanıtladı [4,5]. 2018 yılında toz keçeleri üzerinde yapılan bir başka çalışmada da sürekli gelişen hidrolik silindirlerde sürtünme kuvvetinin belirlenmesi için test çalışmaları yapılmıştır [6]. Toz keçeleri üzerinde yapılan bu testler, toz keçesinin silindire takıldıktan sonra basınç uygulayarak sızıntı

miktarının ölçülmesi ve ölçülen bu miktarın standartlara ve müşteri taleplerine uygun olup olmadığının belirlenmesi ile gerçekleştirilir [7-9].

Yabancı maddelerin sayımı ile ilgili ISO 4406.2 standardında hidrolik ve yağlama sistemleri için sıvı kirlilik kodu ve ölçek numaraları belirtilmiştir. Ayrıca, NAS 1638 sıvı sistemlerinin bileşenlerinin (parçalar, hatlar ve bağlantı parçaları gibi) kirlilik seviyesi NAS 1638 standardında sınıflandırılmıştır [10,11]. ISO 4406 standardının kullanımında ise farklı bir test tozu olarak ACFTD (Air Cleaner Fine Test Dust) kullanılmakta ve partiküllerin değeri verilmektedir [10]. Ancak ISO 4406.2, NAS 1638 ve ISO 4406 standartları genel sınıflandırma belirlenmesine rağmen sızdırmazlık elemanlarına özel bir standardizasyon yoktur [10,11].

Literatür incelemelerinde toz keçeleri üzerinde yapılan testlerin sadece sızıntı miktarını belirlemek için yapıldığı, partikül sayısının belirlenmediği görülmüştür. Bu nedenle, sızdırmazlık elemanları pazarının ihtiyaçlarına yönelik olarak toz keçelerinin partikül mukavemetini belirlemek ve optimize etmek için kullanılacak test cihazının tasarlanması ve üretilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla üretilen test cihazı, toz keçelerini aşırıp sisteme geçen partikülleri sayarak, toz keçelerinin sürekli geliştirilmesini sağlayacak ve standart hale getirilmesi için çalışmalar yapılacaktır.

2. HİDROLİK SİLİDİRLERİN SIZDIRMAZLIK SİSTEMLERİ

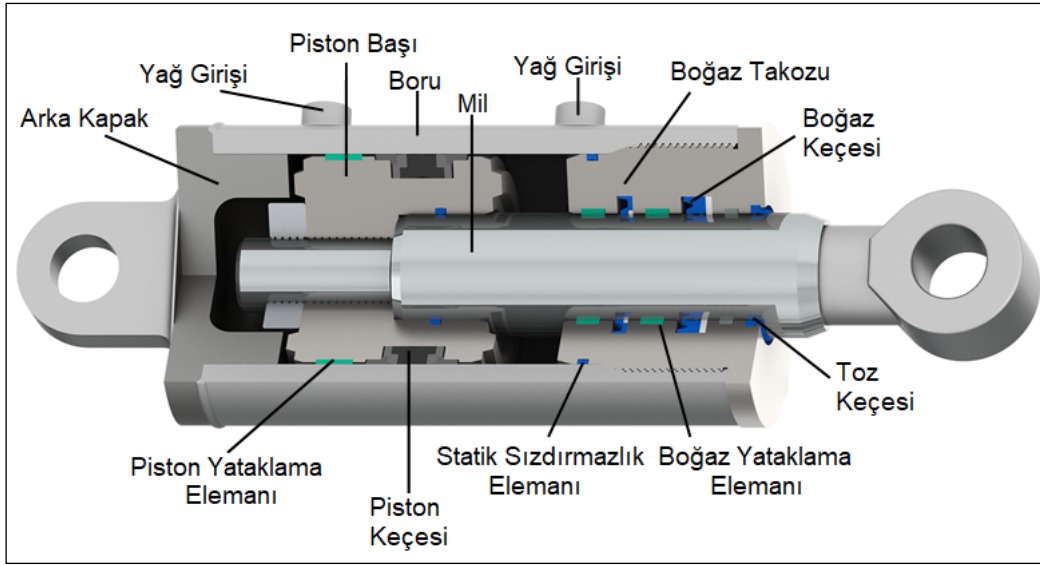
Hidrolik silindir, hidrolik enerjiyi mekanik enerjiye çeviren bir devre elemanı olup, doğrusal ve dönme hareketi elde etmek için kullanılır. Pompanın ürettiği hidrolik enerji bir silindir yardımıyla doğrusal veya açısal harekete dönüştürülür. Bu sistemlerdeki silindirler, uygulama alanına bağlı olarak çeşitli yapı, çap ve stroklarda yapılabilmektedir. Genellikle aşırı kuvvet gerektiren sistemlerde kullanılan makine elemanlarıdır [12].

Tablo 1. Hidrolik silindir sınıfları [12].

Uygulama Parametreleri	Hafif Hizmet	Orta Hizmet	Ağır Hizmet
Basınç Aralığı	<100 bar	<250 bar	>250 bar
Basınç Spikeleri	Yok veya Düşük	Maksimum sistem basıncının iki katına kadar.	Sistem basıncının birkaç katına kadar çıkabilir ve uzun zaman alır.
Sıcaklık Aralığı	-20/+70 °C	-30/+100 °C	-40/+110 °C
Kirlilik	Yok veya Düşük	Orta kontaminasyonlu ortamlarda	Yüksek düzeyde kirlenme ortamlarda

Hidrolik silindirlerde farklı tasarım ve malzemelerden üretilen farklı işlevlere sahip sızdırmazlık elemanları kullanılmaktadır. Dinamik ve statik sızdırmazlık elemanları, üzerinde belirli bir miktar ön yük kuvveti kalacak şekilde sisteme monte edilir.

Hidrolik silindirlerde kullanılan sızdırmazlık elemanlarının çalışma şekilleri aşağıdaki resimde gösterilmiştir. Sızdırmazlık elemanları seçiminde uygulama alanı dikkate alınarak en uygun sızdırmazlık konfigürasyonu seçilmelidir. Aksi takdirde toz keçeleri ve yataklama elemanları gibi elemanların yanlış seçilmesi sistemdeki ana sızdırmazlık elemanlarının performansını etkileyerek metal yüzeylerde (delik, çubuk) hasara ve sızıntıya neden olabilir.



Şekil 1. Hidrolik silindir gösterimi

Toz, çamur, su vb. yabancı maddelerin silindire dışarıdan girmesini önlemek için kullanılan toz keçelerinin farklı malzeme ve tasarımlardan yapılmış birçok çeşidi bulunmaktadır.



Şekil 2. Toz keçesi kesiti

3. HİDROLİK AKIŞKANLARIN KİRLİLİK STANDARTLARI

Titreşim, hareketli parçalara sahip makinaların ve bu makinalara bağlı yapıların içindeki dinamik kuvvetlerin etkisi sonucu referans bir konum etrafında ortaya çıkan mekanik bir salınım hareketidir. Bazen belirli bir görevin yerine getirilmesi için titreşimlerden yararlanılabilir. Genellikle yararlı bir proses gerçekleşirken ortaya çıkan titreşimler, yıkıcı ve zararlı bir etki oluşturabilirler. Makinadaki farklı parçalar farklı frekanslarda ve genliklerde titreşim yaparlar ve bu aşınma ve metal yorulması gibi istenmeyen sonuçlar ortaya çıkarır.

3.1 ISO 4406

Parçacık boyutunu ölçmek için en yaygın olarak kabul edilen standart, belirli bir hacimde 4, 6 ve 14 mikrondan büyük parçacıkların sayısını bildiren üç basamaklı bir format sağlayan ISO 4406'dır.

Tablo 2. ISO 4406'ya göre tahsis ölçeği numaraları [10].

Milimetre başına düşen parçacık sayısı		
>	≥	Ölçek Numarası
2.500.000	-	>28
1.300.000	2.500.000	28
640.000	1.300.000	27
320.000	640.000	26
160.000	320.000	25
80.000	160.000	24
40.000	80.000	23
20.000	40.000	22
10.000	20.000	21
5.000	10.000	20
2.500	5.000	19
1.300	2.500	18
640	1.300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8
0,64	1,30	7
0,32	0,64	6
0,16	0,32	5
0,08	0,16	4
0,04	0,08	3
0,02	0,04	2
0,01	0,02	1
0,00	0,01	0

Sonuçlar, 22/18/12 gibi eğik çizgilerle ayrılmış üç sayı olarak sunulmalıdır. Bu sonuç şunları ifade eder:

- 20.000'den fazla ve 4 µm'ye eşit veya daha büyük 40 000'e kadar parçacık dahil
- 1300'den fazla ve 6 µm'ye eşit veya daha büyük 2500'e kadar partikül dahil
- 20'den fazla ve 14 µm'ye eşit veya daha büyük 40 partikül dahil

**Şekil 3.** Farklı ISO 4406 hidrolik sıvı sınıflarının görselleri [10]

3.2 NAS 1638

NAS1638, havacılıkta kullanılan hidrolik bileşenler için kirlilik seviyelerinin sınıflandırılması olarak tanımlanır. Tablo 3, NAS standartlarının değerlerini gösterir [11]. 100 ml sıvı içerisindeki maksimum partikül sayısı, ilgili partikül boyut sınıfına göre belirlenir.

Tablo 3: NAS1638E göre ölçek numaraları [11]

Belirtilen aralıktaki (μm) maksimum partikül sayısı / 100 ml'de	NAS Sınıfı	5-15 μm	15-25 μm	25-50 μm	50-100 μm	>100 μm
	00	125	22	4	1	0
	0	250	44	8	2	0
	1	500	89	16	3	1
	2	1.000	178	32	6	1
	3	2.000	356	63	11	2
	4	4.000	712	126	22	4
	5	8.000	1.425	253	45	8
	6	16.000	2.850	506	90	16
	7	32.000	5.700	1.012	180	32
	8	64.000	11.400	2.025	360	64
	9	128.000	22.800	4.050	720	128
	10	256.000	45.600	8.100	1.440	256
	11	512.000	91.000	16.200	2.880	512
	12	1.024.000	182.400	32.400	5.760	1.024

Çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük partiküller bile hidrolik sisteme zarar verebileceğinden görsel muayene yeterli değildir. Akışkanı analiz etmek için kullanılan geleneksel yöntemler, gravimetrik, laboratuvar analizi ve hat içi partikül sayacıları içerir.

Gravimetrik: Gravimetrik yöntem, sıvının bir örneğini parçacıkları yakalayan bir yamadan geçirmeyi, ardından tartmayı ve bir mikroskopla incelemeyi içerir. Bu yöntem zaman alıcıdır ve yüksek bir hata oranı marjına sahiptir.

Laboratuvar Analizi: Analiz yöntemi, bir şişe numune alıp partikül sayısını, viskoziteyi, su içeriğini, kontaminasyonun bileşimini ve diğer birkaç faktörü kontrol edebilen bir laboratuvara göndermektir. Muayene sonuçları kapsamlı ve doğrudur, ancak sonuçların gelmesi birkaç gün sürebilir. Örneğin, bir numune alınır ve iki gün sonra rapor sıvıyla ilgili bir sorun gösterirse, tüm silindirler bu tüpler içinde test edilir ve silindir iki gün kontaminasyon riski altındadır.

Hat İçi Partikül Sayacıları: Hat içi partikül sayacı, lazeri sıvı akışı boyunca yönlendirir ve sensörler partikül boyutunu ve sayısını algılayarak sürekli ve anında ayrıntılı partikül sayım raporları ve ISO temizlik kodları sağlar. Bu gerçek zamanlı bilgi, örneğin sıvı kalitesi iyileşene kadar test etmeyi beklemek gibi eylem planları almak için kullanılabilir. Silindir içindeki sıvının temizlik seviyesini belirlemek için belirli bir silindirin testi de kullanılabilir. Veriler, temizliği iyileştirmeye yönelik sürekli iyileştirme girişimlerinin etkinliğini değerlendirmeye yardımcı olabilir.

Bu çalışmada, hidrolik sıvının temizlik seviyesini belirlemek için ISO 4406 ve toz keçesini aşarak test düzeneği sistemine giren partikülleri saymak için hat içi partikül sayacı kullanılmıştır.

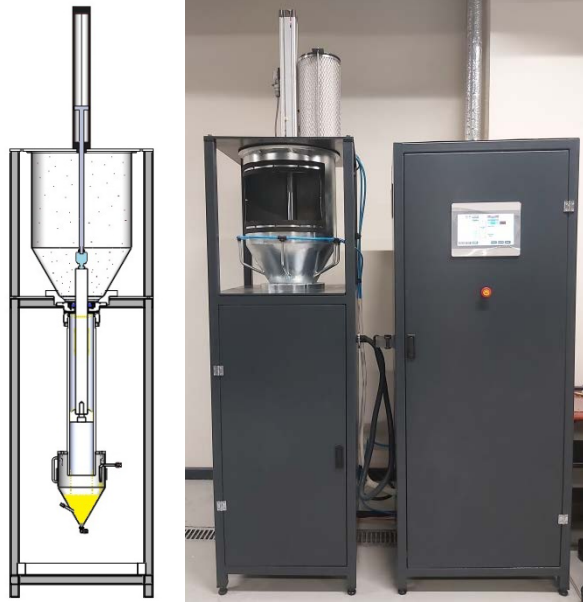
4. Toz Keçesi Test Donanımına Yeni Bir Yaklaşım

Yeni bir test cihazı tasarlamak, belirli bir çalışma prensibinin belirlenmesini gerektirir. Standart bir toz keçesi çalışma koşulunu simüle etmek için şematik tasarımı aşağıda örneklenen mekanik tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu tasarım sırasında aşağıdaki sınır koşulları belirlenmiştir.

- Çubuk Çapı: 50 mm
- Çalışma Stroku: 15 – 600 mm
- Akışkan: HLP46

- Doğrusal Hız: 0 – 0,5 m/s,
- Çalışma Sıcaklığı: 20 – 60 °C,

Test aparatına uygun ölçülerde seçilen test numunesi, çalışma şartlarına göre oluğa monte edilir. Test için kullanılacak standartlaştırılmış tozlar ve önceden tanımlanmış parçacık oranı dağılımına sahip kumlar kirletici madde odasına doldurulur. Test parametreleri belirlendikten sonra gerekli tüm ayarlar HMI üzerinden test cihazına özel tasarlanmış PLC'deki yazılıma yüklenir.



Şekil 4. Test cihazının şematik ve gerçek gösterimi

Testi çalıştırmadan önce sistem, mevcut sıcaklık ayar noktasına ulaşana kadar hidrolik sıvısını ısıtmaya başlar. Özel olarak tasarlanmış toz haznesine filtrelenmiş basınçlı hava üflenerek haznede bir toz bulutu oluşturulur. Mekanik hareket gerçekleştirilmeden önce, partikül sayacı tarafından hidrolik sıvının bir ön test partikül ölçümü yapılır. Doğrusal tahrik silindiri sayesinde dikey olarak konumlandırılan test mili döngüsel hareket etmeye başlar. Özel tasarlanmış hidrolik ekipmanlarla oluşturulan hidrolik şema, PLC tarafından verilen komutlara göre yağ akışını otomatik olarak yönetir. Toz keçelerinin performansını ölçmek için, özel olarak tasarlanmış bir aparata yerleştirilen test numunesinin etrafına yağ dökülür. Bu şekilde, test numunesinin performansı, belirtilen test süresi boyunca kümülatif olarak ölçülür. Yazılım tarafından belirlenen mesafeye göre sistem periyodik olarak partikülleri ölçer. Parçacık ölçümleri, doğrusal hız, yağ akış hızı ve test sırasında toplanan sıcaklık verileri mesafeye göre kaydedilir ve raporlanır. Test sonunda test cihazından boşalan yağ, hidrolik sıvının boşa gitmemesi için gerekli filtreler ile süzöldükten sonra diğer hidrolik makinelerde kullanılır.



Şekil 5. Test teçhizatında kullanılan partikül ölçüm cihazı

Testleri bu zorlu koşullarda gerçekleştirmek için üstün bir partikül sayma cihazı kullanıldı. Aşağıda listelenen sekiz boyutlu kanalda partikül ölçümü mümkündür:

- 4 $\mu\text{m(c)}$,
- > 6 $\mu\text{m(c)}$,
- 10 $\mu\text{m(c)}$,
- >14 $\mu\text{m(c)}$,
- 21 $\mu\text{m(c)}$,
- > 25 $\mu\text{m(c)}$,
- 38 $\mu\text{m(c)}$ ve
- > 70 $\mu\text{m(c)}$

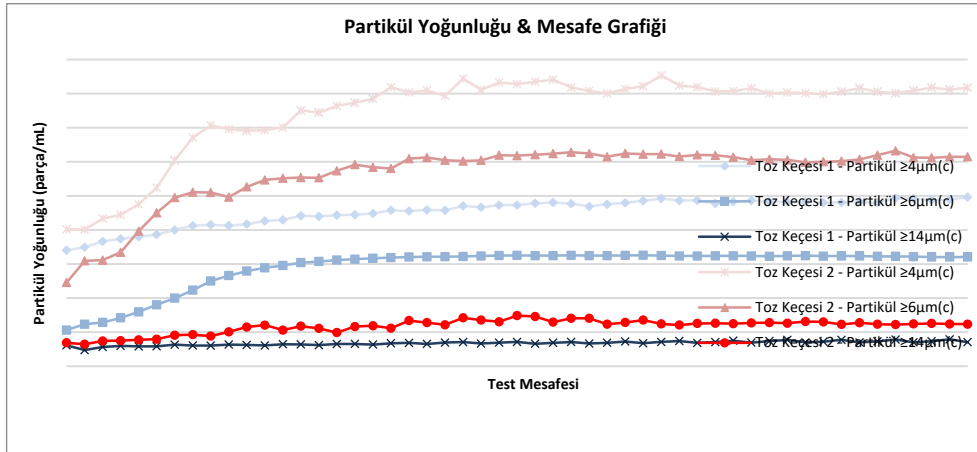
Partikül ölçüm cihazı ile PLC arasında hızlı ve kayıpsız veri akışı sağlamak için RS485 haberleşme yöntemi seçilmiştir. Bu şekilde, hacimsel akış değeri ve partikül ölçümlerinin sonuçları verimli bir şekilde işlenir.

SONUÇ

Toz Keçelerin Karşılaştırmalı Test Sonuçları

Piyasada yaygın olarak kullanılan iki toz keçesi, kirlilik miktarını karşılaştırmak için test edildi. Aynı boyutlardaki her bir test numunesi, uygun aparata yerleştirildi ve aynı test koşulları altında hassas bir şekilde test edildi. Hidrolik sıvıyı 60°C'ye ısıttıktan sonra boğaz dögüsel hareket etmeye başladı. Test çubuğunun lineer hızı 0,4 m/s olarak ayarlandı. 25 km'lik test mesafesinin sonunda tüm test verileri incelendi. Test sırasında test sıcaklığının 55- 60°C aralığında olduğu gözlemlendi.

Test her iki ürün için 3 kez tekrarlanmıştır. Tüm testler sonunda ortalama değerler dikkate alınır. Bu sonuçlar ışığında aşağıdaki grafikte gösterilen veriler elde edilmiştir.



Şekil 6. Test sonuçları

Önceden tanımlanmış parçacık hızı dağılımına sahip standartlaştırılmış tozlar ve kumlar sayesinde, parçacık aralığı ne kadar geniş olursa, sayısal olarak ölçüğün o kadar yüksek olacağını tahmin etmek mümkündür. Bu tahmin ile $\geq 4\mu\text{m}$ sonucunun $\geq 14\mu\text{m}$ sonucunun üzerinde olması test sonuçlarının güvenilir olduğunu gösterir.

Yukarıdaki grafik üç farklı değerde incelendiğinde sıyrıcı conta, yüksek sıcaklığa ve yoğun kirlenmiş ortama rağmen kirlenmiş partiküllerin hidrolik sisteme daha az girmesine izin vererek üstün performans göstermiştir.



DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, önceden tanımlanmış parçacık hızı dağılımına sahip standartlaştırılmış toz ve kumlara karşı toz keçelerinin performanslarını karşılaştırmak için toplamda altı adet numune test edilmiştir. Özdeş test numuneleri arasındaki sonuçların benzerliği, test donanımına ve tekrarlanabilirliğine güven vermektedir. Malzeme özellikleri ve tasarımında iyileştirme yapılan toz keçesi, muadil ürüne göre üstün performans göstermiştir. Bu sayede uzun çalışma ömrü sunarken tüm sistemi güvende tutar.

Hidrolik ve pnömatik silindirlere kullanılan toz keçeleri hayati önem taşıdığı madencilik, inşaat ve tarım gibi çevresel kirleticilerin daha agresif olduğu sektörlerde sisteme girebilecek partikülleri silindire ve hidrolik ekipmanların geri kalanına zarar vermesinin önüne geçmektedir. Mevcut toz keçelerinin performansları değerlendirilmek, sürekli geliştirme ve iyileştirme çalışmaları yapmak amacıyla üretilen yeni test düzeneği ile yeni ürün geliştirmeleri araştırılmaktadır.

Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde toz keçelerinin performansları farklı test koşulları altında ölçülecek ve farklı çalışma koşullarının ürün performansına etkileri incelenecektir. Bu sayede ürün üzerinde zorlu çalışma koşullarının yarattığı tasarım gereksinimleri belirlenecek ve yeni nesil ürün geliştirmelerinin önü açılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] John, S. (1958). Seal. Patent No. US3057630
- [2] <https://hallite.com/us/our-company/hallite-heritage/>. Date of access: 04.12.2021
- [3] Siegrist, U. and Braun, O. (2000). Wiper with integrated seal. Patent No.US6722658B2
- [4] Peppiatt, N. (2003) The influence of the rod wiper on the leakage from a hydraulic cylinder gland. Sealing Technology Volume 2003, Issue 12, December 2003, Pages 5-8
- [5] Peppiatt, N. and Flitney, B. (2004) International standards for reciprocating seals used in hydraulic applications. Sealing Technology. Volume 2004, Issue 7, Pages 7-10.
- [6] Ma, K., Wang, J. and Gu, L (2018) Experimental Study on Friction of Hydraulic Cylinder in Different Sealing Systems. MATEC Web of Conferences 153, 06012
- [7] Berner, W. E. (1983) Evaluation of Sealing Systems For Nonflammable Aircraft Hydraulic Fluids. J. of Lubrication Tech., 105(1): 153-158 (6 pages).
- [8] Flitney, R.K. (1986). The reciprocating seal test procedure, report of round-robin tests. BHR Group Report DCR 2666.
- [9] Flitney, R.K., Hansford, I. and Nau, B.S. (1989) The effect of surface texture on reciprocating seal performance. BHR Group Reports CR 3068 and 3069.
- [10] ISO 4406.2, "Hydraulic fluid power - Fluids - Code for defining the level of contamination of solid particles," 1999.
- [11] NAS 1638, "Cleanliness Requirements of Parts Used in Hydraulics Systems," 1992.
- [12] <https://www.kastas.com.tr/bilgi-bankasi/hidrolik-teknik-bilgiler>. Date of access: 24.05.2022

ÖZGEÇMİŞ

Cem Tanyeri

1986 yılı İzmir doğumludur. 2009 yılında SDÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2012 yılında Ege Üniversite Sosyal Bilimler Enstitüsünde İşletme yönetimi yüksek lisansını tamamlamıştır. 2022 yılında İKÇÜ Fen Bilimleri Fakültesi Malzeme Bölümünde Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. KLS Klima şirketinde üretim ve proje mühendisi olarak; Emas şirketinde satınalma mühendisi olarak çalışmıştır. 2013 yılından bu yana Kastaş Sızdırmazlık Teknolojilerinde çalışmakta ve Ar-Ge Kıdemli Yöneticisi görevini yerine getirmektedir.

Seçkin Semiz

1989 yılı İzmir doğumludur. 2012 yılında Pamukkale Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2015 yılında İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Malzeme Mühendisliği yüksek lisansını tamamlamıştır. 2012 yılından bu yana Kastaş Sızdırmazlık Teknolojilerinde çalışmakta ve Sistem Teknolojileri Kıdemli Yöneticisi görevini yerine getirmektedir.