

# HİDROLİK SİLİNDİRLERDE FARKLI PİSTON SIZDIRMAZLIK ELEMANI PROFİLLERİNİN İÇ KAÇAK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

K. Berke DEMİRALP  
Egemen ŞENTÜRK

## ÖZET

Hidrolik silindirlerde meydana gelen iç kaçaklar, sistem verimliliğini düşürmekte ve enerji kayıplarına yol açmaktadır. Ayrıca yük altında pozisyon hassasiyetine ihtiyaç duyulan uygulamalarda iç kaçakların minimize edilmesine ihtiyaç vardır. Bu nedenle, iç kaçakların tespiti ve kontrolü, güvenilir ve uzun ömürlü sistemler tasarlamak açısından kritik öneme sahiptir.

Gerçekleştirilen testlerde, farklı basınç seviyelerinde çeşitli piston sızdırmazlık elemanı profillerinin iç kaçak seviyeleri incelenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, farklı profillerin kaçak performansı karşılaştırılmış ve sızdırmazlık verimliliği analiz edilmiştir. Bu kapsamda, her profilin hidrolik sistem üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve tasarım parametrelerinin kritik olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma, hidrolik silindir üreticileri ve kullanıcıları için önemli çıkarımlar sunarak, iç kaçakları minimize etmeye yönelik en uygun piston sızdırmazlık elemanı profillerinin belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrolik silindir, iç kaçak, piston sızdırmazlık elemanı, sızdırmazlık, performans testi

## ABSTRACT

Internal leakages occurring in hydraulic cylinders reduce system efficiency and lead to energy losses. Furthermore, in applications requiring positional accuracy under load, minimizing internal leakage becomes essential. Therefore, the detection and control of internal leakage are critically important for designing reliable and long-lasting systems.

In the tests conducted, internal leakage levels of various piston sealing element profiles were examined at different pressure levels. Based on the data obtained, the leakage performance of different profiles was compared, and sealing efficiency was analyzed. Within this scope, the impact of each profile on the hydraulic system was evaluated, and it was determined that design parameters play a critical role.

This study provides significant insights for hydraulic cylinder manufacturers and users by contributing to the identification of the most suitable piston sealing element profiles aimed at minimizing internal leakages.

**Key Words:** Hydraulic cylinder, internal leakage, piston seal, sealing, performance test

## 1. GİRİŞ

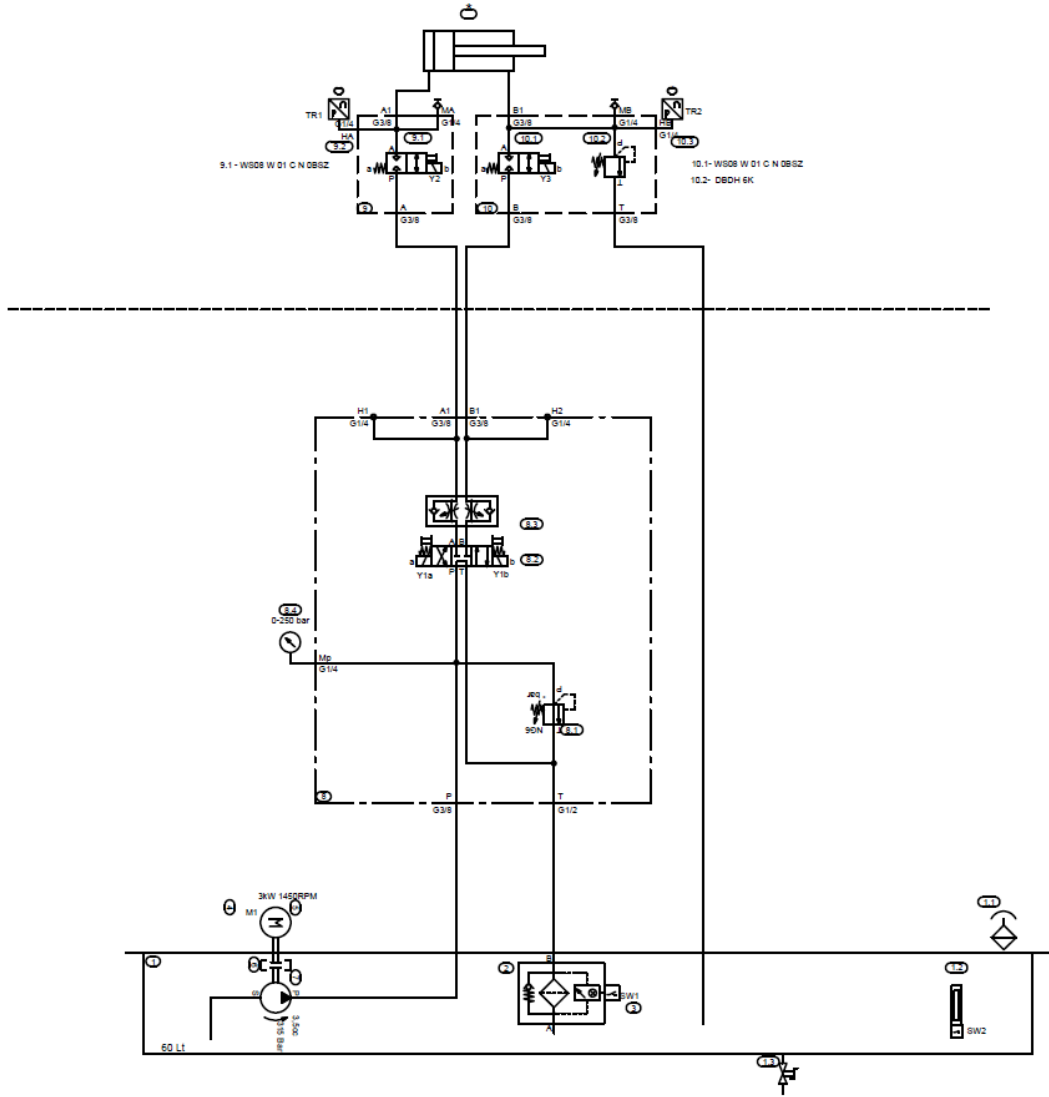
Hidrolik silindirlerde sızdırmazlık elemanı kaynaklı iç kaçak, piston sızdırmazlık elemanının görevini tam olarak yerine getirememesi sonucu, pistonun iki tarafını arasında kontrolsüz akışkan geçişinin meydana gelmesi durumudur. Bu tür bir kaçak, sistem dışına değil, doğrudan silindirin içinde yer alan basınç bölgeleri arasında gerçekleştiği için "iç kaçak" olarak tanımlanır ve genellikle dış ortamdaki gözlemlenemez. İç kaçak; sızdırmazlık elemanının aşınması, hatalı profil seçimi, hatalı boru tercihi, hatalı kanal ölçüleri, uygun olmayan malzeme kullanımı, eksenel kaçıklık, düşük yüzey kalitesi ya da yanlış montaj uygulamaları gibi nedenlerle ortaya çıkabilir. Oluşan kaçak, silindirin hedef konumda sabit kalamamasına, enerji verimliliğinin düşmesine ve sistemin sürekli yeniden basınçlandırılmasına neden olur. Bu durum, hem performans kaybı hem de sistem elemanlarının erken yıpranması açısından kritik öneme sahiptir.

Hidrolik sistemler, endüstride yaygın olarak kullanılan ve yüksek kuvvet iletimi sağlayan kapalı devre sistemlerdir. Bu sistemlerin güvenli ve verimli çalışabilmesi, sızdırmazlık elemanlarının performansına doğrudan bağlıdır. Piston sızdırmazlık elemanları, hidrolik silindirlerde sızdırmazlığı sağlayan en kritik bileşenlerdendir. Tasarımı, malzeme yapısı ve uygulama koşullarına uygunluğu, sistemin toplam verimliliği ve çalışma ömrü açısından belirleyicidir.

Geleneksel sızdırmazlık elemanlarının uygun olmayan kullanımı, zamanla sistem içi kaçaklara, basınç düşümüne ve enerji kaybına sebep olmaktadır. Bu sebeple piston sızdırmazlık elemanı profil seçimi ve performans analizi, modern hidrolik sistemlerde dikkatle ele alınmalıdır.

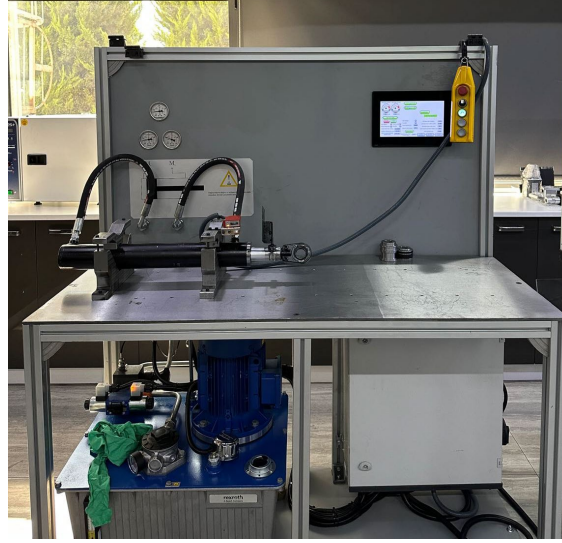
## 2. DENEY DÜZENEGİ VE METOT

Testlerde kullanılan sistem Şekil 2 de gösterildiği gibi tasarlanmış özel bir hidrolik test düzeneğidir. Bu düzeneğe; bir hidrolik güç ünitesi, yön denetim valfleri, kilitleme valfleri, basınç sensörleri ve bir optik mesafe sensörü ile donatılmıştır. Deneylerde 63 mm iç çapa sahip standart bir silindiri kullanılmıştır.



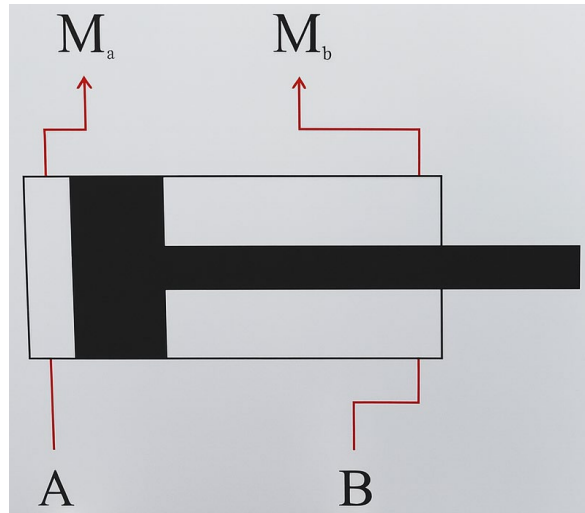
Şekil 1. Piston İç Kaçak Test Düzeneği Hidrolik Şeması

Deneylerde Shell Tellus S2 M68 hidrolik yağı kullanılmıştır. Kullanılan deney düzeneği, herhangi bir hidrolik silindiri teste tabi tutmak ve iç kaçak oranını tespit etmek üzere kullanılabilir. Bu sonuçlar değerlendirilerek silindir tasarımı, ölçüleri ve malzemeleri incelenerek kaynağı araştırılabilir olup, yapılan iyileştirmeler de ölçümlenebilir.



Şekil 2. Piston İç Kaçak Test Düzeneği

Hidrolik silindirler, bir sıvı basıncı yardımıyla doğrusal hareket sağlayan mekanik elemanlardır. İçerdiği piston ve piston başı, hareket yönünü ve sızdırmazlığı belirler. Piston sızdırmazlık elemanları bu yapının en kritik bileşenlerinden biridir. Hareketli parçalar arasında hem kaçakları önler hem de basınca karşı direnç gösterir. Piston başına uygun sızdırmazlık elemanı seçimi, sistemin verimliliği ve ömrü açısından belirleyicidir. PU (poliüretan), NBR (nitril kauçuk), PTFE (teflon) gibi malzemeler farklı uygulama koşulları için tercih edilir.



Şekil 3. Test Silindiri Bağlantı Şeması

Test prosedüründe piston mili tamamen içeri alınarak başlangıç konumuna ulaşmış olması sağlanır. Daha sonra pompa yardımı ile silindir mili dışarı hareket ettirilir. Strok sonuna ulaştıktan sonra, mil geri yönde harekete başlatılır. Önceden belirlenmiş konumda A hattı(Şekil 3) kapatılır ve B hattı(Şekil 3) basınçlandırılmaya devam edilir. Alan farkından dolayı piston sızdırmazlık elemanının iki tarafı da eşit yüke maruz kalacak şekilde basınç farkı yaratılır. Bu pozisyonda belirli bir süre sistemin dengeye gelmesi 30 sn süre ile beklenir ve ardından 120 sn boyunca silindir milinin hareketi optik mesafe sensörü yardımı ile ölçümlenir. Bu şekilde B hattından basınçlanan silindirin, silindir milinin dışarı doğru hareketi direkt olarak piston sızdırmazlık elemanlarındaki kaçak ifade etmektedir.

Kaçak miktarının hassas bir şekilde hesaplanması için piston ucuna 0,01 mm çözünürlüklü, %0,5 doğrulukta bir optik mesafe sensörü(Şekil 4) monte edilmiştir. Bu cihazla milin dışa doğru hareketi milimetre cinsinden ölçülmekte ve aşağıdaki formülle kaçak hacmi hesaplanmaktadır:

$$Q = A * \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1)$$

Q: Kaçak Debisi (ml/dk)  
A: Silindir Boru Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)  
 $\Delta x$ : Hareket Mesafesi (mm)  
 $\Delta t$ : Test Süresi (sn)



Şekil 4. Optik Mesafe Sensörü

Her piston sızdırmazlık elemanı için 9 bar, 100 bar ve 200 bar olmak üzere üç farklı basınç seviyesinde test gerçekleştirilmiştir. Her basınç seviyesi için üç tekrar yapılmakta ve bu üç testin ortalaması alınarak değerlendirme yapılmaktadır. Toplamda 11 farklı piston sızdırmazlık elemanı profili bu yöntemle test edilmiştir.

Ayrıca her sızdırmazlık elemanı, 100 bar basınç altında 2000 çevrim boyunca çalıştırılmakta ve bu koşullandırma işlemi sonrasında tekrar 100 bar'da iç kaçak testi uygulanarak sızdırmazlık elemanının yorulma sonrası iç kaçak performansı da analiz edilmektedir.



**Şekil 5.** Piston İç Kaçak Test Düzeneği Ekranı

#### 4. TESTLERDE KULLANILAN SIZDIRMAZLIK ELEMANLARI

Testlerde kullanılan 11 farklı piston sızdırmazlık elemanı Tablo 1’de gösterildiği gibi, üç grup altında toplanmıştır. Bu sızdırmazlık elemanları malzeme, profil tipi ve geometrik ölçülere göre farklılık göstermektedir. Her bir profil için uygun piston yataklaması ile birlikte test düzeneğinde kullanılmıştır.

Her grup için aynı piston başı ve aynı test silindiri kullanılmış olup değişkenlerin azaltılması hedeflenmiştir. Eksen kaçıklığı kaynaklı hataları minimize etmek için, her piston başı ayrıca bir yataklama elemanı içermektedir. Bu piston başlarının ölçülerinin katalog değerlerine uygunluğu kontrol edilmiştir. [1]

**Tablo 1.** Test Edilen Piston Sızdırmazlık Elemanları

GRUP	PİSTON SIZDIRMAZLIK ELEMANI	ÖLÇÜ	PROFİL
1	Piston Sızdırmazlık Elemanı-1	63X51X20,5	
1	Piston Sızdırmazlık Elemanı-2	63X51X20,5	
2	Piston Sızdırmazlık Elemanı-3	63X47,5X6,3	

2	Piston Sızdırmazlık Elemanı-4	63X47,5X6,3	
2	Piston Sızdırmazlık Elemanı-5		
2	Piston Sızdırmazlık Elemanı-6	63X47,5X6,3	
2	Piston Sızdırmazlık Elemanı-7	63X47,5X6,3	
3	Piston Sızdırmazlık Elemanı-8	63X53X6	
3	Piston Sızdırmazlık Elemanı-9	63X53X6	
3	Piston Sızdırmazlık Elemanı-10	63X53X6	
3	Piston Sızdırmazlık Elemanı-11	63X53X6	

### PİSTON SIZDIRMAZLIK ELEMANI-1



Şekil 6. Piston Sızdırmazlık Elemanı-1 Kesiti

Yüksek mukavemetli bez desteği sayesinde, yüksek sürtünme dayanımına sahip bir sızdırmazlık elemanıdır. Malzemeleri NBR BEZ, NBR ve POM olarak 3 parçadan oluşmakta olan bu ürün uzun süreli statik beklemlerde yüzeye yapışmama özelliği ön plandadır. İmalatçılar tarafından ağırlıklı olarak pozisyon hassasiyeti beklenen uygulamalarda tercih edilen bir profildir.

### PİSTON SIZDIRMAZLIK ELEMANI-2



Şekil 7. Piston Sızdırmazlık Elemanı-2 Kesiti

Çok yaygın bir kullanıma sahip olan sızdırmazlık, hidrolik silindirlere piston uygulamalarında çift tesirli sızdırmazlık elemanı olarak kullanılmaktadır. Malzemeleri NBR, POM ve TPE olarak 5 parçalı dizaynı sayesinde kolaylıkla montajı yapılabilmektedir. Daha modern bir sızdırmazlık elemanı olarak öne çıkmaktadır.

### PİSTON SIZDIRMAZLIK ELEMANI-3



Şekil 8. Piston Sızdırmazlık Elemanı-3 Kesiti

Bu sızdırmazlık elemanı, bir adet PU ring ve bir adet NBR ringden oluşmaktadır. Çift tesirli sızdırmazlık elemanı olarak kullanılmaktadır. Yaygın kullanılan bir sızdırmazlık elemanı profili olup ISO 7425-1 kanallara uygundur. Bir yataklama elemanı ile kullanılması zorunluluğu vardır.

#### PİSTON SIZDIRMAZLIK ELEMANI-4



Şekil 9. Piston Sızdırmazlık Elemanı-4 Kesiti

Çift tesirli piston keçesi olan bu sızdırmazlık elemanı, özel forma sahip PU ring ve itici ring olarak kullanılan O-ring den oluşmaktadır. Yaygın kullanılan bir sızdırmazlık elemanı profili olup ISO 7425-1 kanallara uygundur. Hafif hizmet tipi silindirlerde sahip olduğu fiyat-performans avantajı sayesinde tercih edilmektedir. Zorunluluk durumunda Pnömatik uygulamalarda da piston keçesi olarak kullanılabilir.

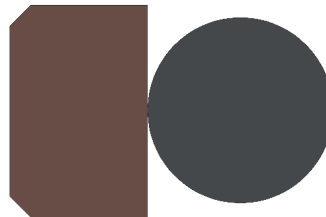
#### PİSTON SIZDIRMAZLIK ELEMANI-5



Şekil 10. Piston Sızdırmazlık Elemanı-5 Kesiti

Ağır hizmet uygulamalarında Piston keçesi olarak dizayn edilen bu sızdırmazlık elemanı çift tesirli olarak çalışmaktadır. "Z" kesimli sızdırmazlık ringi sayesinde çok kolay montaj yapılır. Çalışma anındaki hidrolik şok yüklerine karşı çok dayanıklı olup, yüksek performanslı özel malzemesi sayesinde akmaya karşı yüksek mukavemet gösterir.

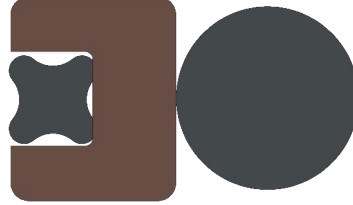
#### PİSTON SIZDIRMAZLIK ELEMANI-6



Şekil 11. Piston Sızdırmazlık Elemanı-6 Kesiti

Özel karışım bronzlu PTFE malzemenin talaşlı imalat yapılması ve itici ring olarak kullanılan o-ring

kombinasyonu ile oluşmaktadır. PTFE malzemenin üstün özelliklerinden olan düşük sürtünme kuvveti nedeni ile yüksek kayma hızlarında emniyetle kullanılırlar. Ayrıca O-ring malzemesini değiştirerek mineral yağlar dışındaki akışkanlarda da oldukça verimli çalışır.



**Şekil 12.** Piston Sızdırmazlık Elemanı-7 Kesiti

Farklı iki akışkanın kullanıldığı durumlara özel tasarlanan bu dizayn, benzer diğer PTFE ve O-ring takımlanarak oluşturulan sızdırmazlık elemanlarından farklı olarak dinamik çalışma sırasında oluşacak yağ filmine engel olmak amacıyla X-ring ile birlikte kullanılmaktadır.



**Şekil 13.** Piston Sızdırmazlık Elemanı-8 ve Piston Sızdırmazlık Elemanı-9 Kesiti

Dış sızdırmazlık dudağı daha düşük olarak dizayn edilen Nutringler sadece piston uygulamalarında kullanılmak üzere üretilmektedir. Hem NBR hem de PU olarak üretilir.

#### **PİSTON SIZDIRMAZLIK ELEMANI-10**



**Şekil 14.** Piston Sızdırmazlık Elemanı-10 Kesiti

Piston Sızdırmazlık Elemanı-9 ile aynı dizayna sahip olan bu Piston Nutringleri, özel PU malzemesi sayesinde ağır hizmet uygulamalarında emniyetle kullanılabilir.



**Şekil 14.** Piston Sızdırmazlık Elemanı-11 Kesiti

Dış sızdırmazlık dudağı düşük olarak dizayn edilen bu nutringler piston uygulamalarında kullanılmak üzere üretilmektedir. Özel hidrostatik basınç engelleyici kanalları ve akma mukavemetini arttıran POM destek ringi ile yüksek performans ve uzun çalışma ömrü gibi avantajlara sahiptir.

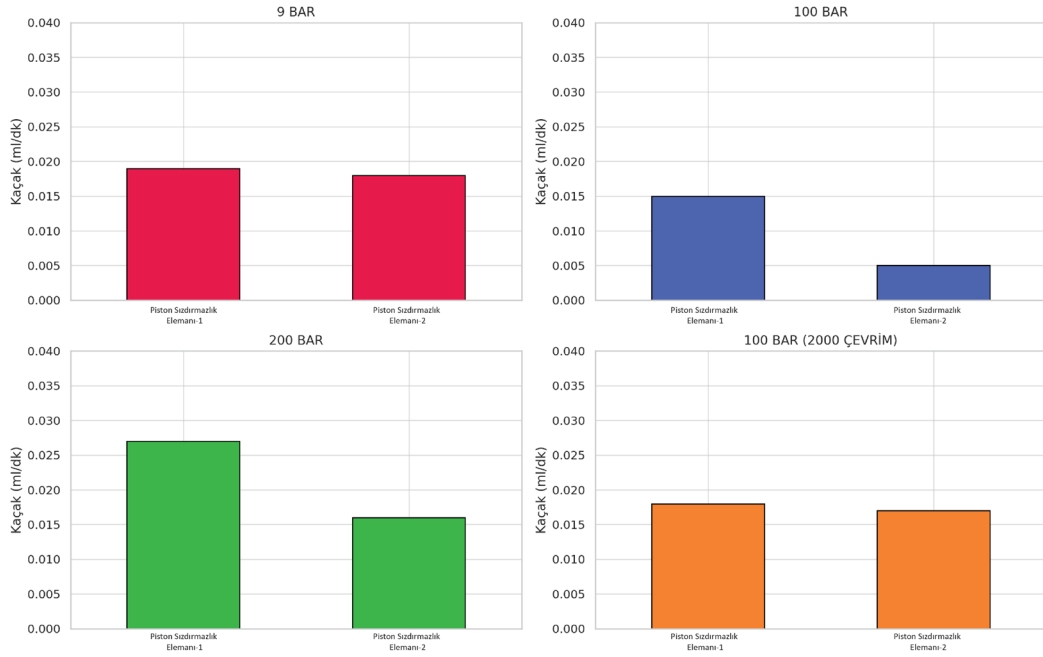
## 5. DENEY SONUÇLARI

**Tablo 2.** Deney Sonunda Oluşan Ortalama Kaçak Miktarları

GRUP	PİSTON SIZDIRMAZLIK ELEMANI	9 BAR (ml/dk)	100 BAR (ml/dk)	200 BAR (ml/dk)	100 BAR (2000 ÇEVİRİM) (ml/dk)
1	Piston Sızdırmazlık Elemanı-1	0,019	0,015	0,027	0,018
1	Piston Sızdırmazlık Elemanı-2	0,018	0,005	0,016	0,017

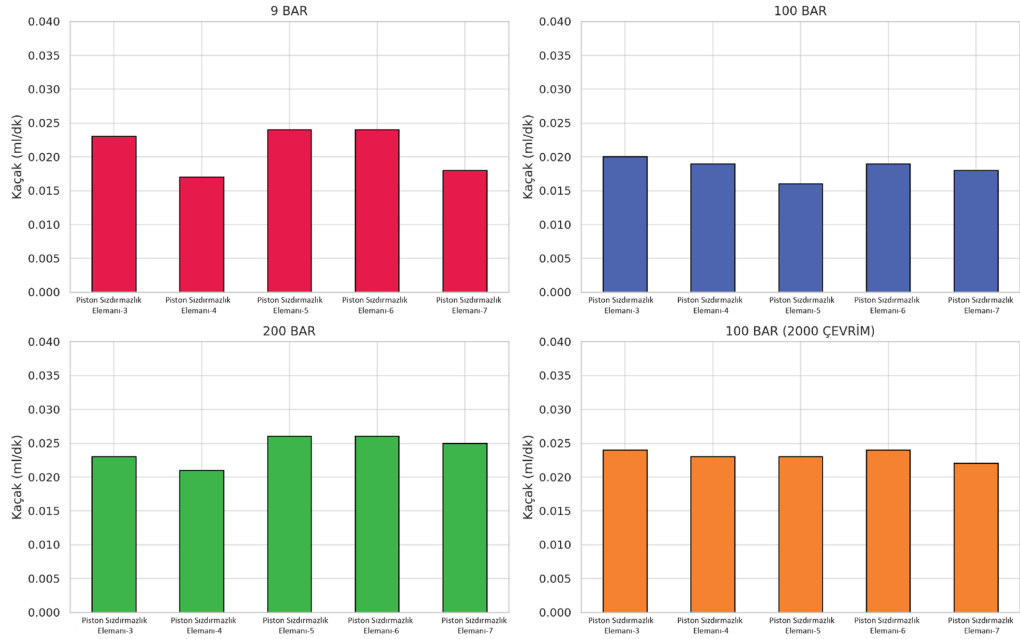
2	Piston Sızdırmazlık Elemanı-3	0,023	0,020	0,023	0,024
2	Piston Sızdırmazlık Elemanı-4	0,017	0,019	0,021	0,023
2	Piston Sızdırmazlık Elemanı-5	0,024	0,016	0,026	0,023
2	Piston Sızdırmazlık Elemanı-6	0,024	0,019	0,026	0,024
2	Piston Sızdırmazlık Elemanı-7	0,018	0,018	0,025	0,022
3	Piston Sızdırmazlık Elemanı-8	0,029	0,020	0,021	0,021
3	Piston Sızdırmazlık Elemanı-9	0,016	0,016	0,023	0,018
3	Piston Sızdırmazlık Elemanı-10	0,028	0,012	0,025	0,025
3	Piston Sızdırmazlık Elemanı-11	0,023	0,012	0,025	0,014

GRUP 1



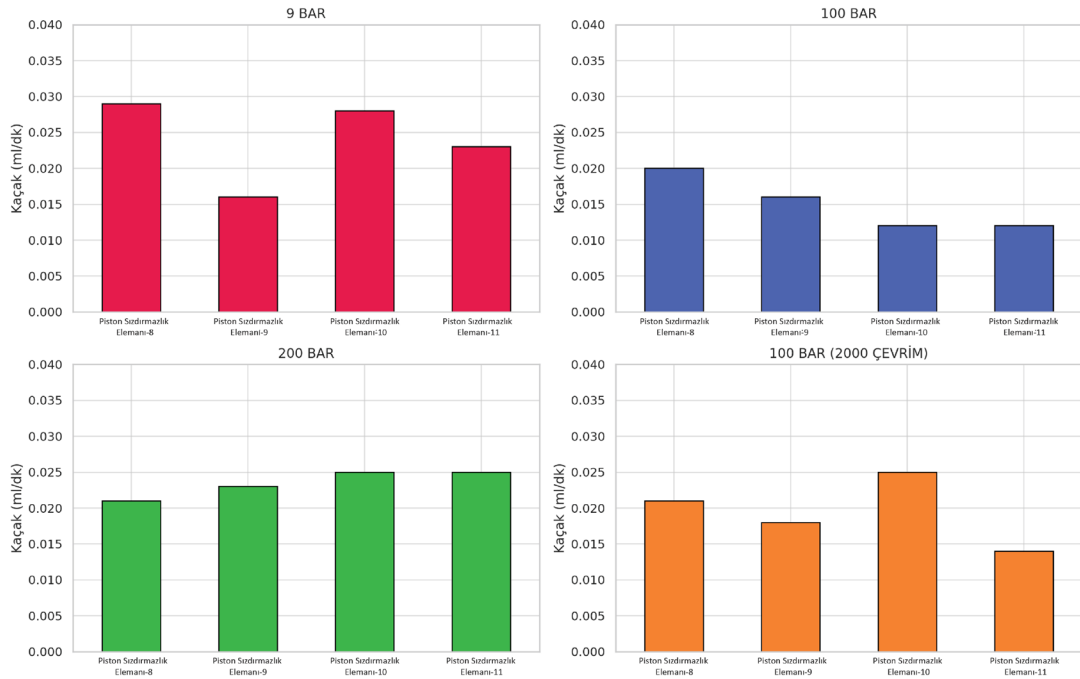
Şekil 15. Grup 1 Deney Sonuçları

GRUP 2

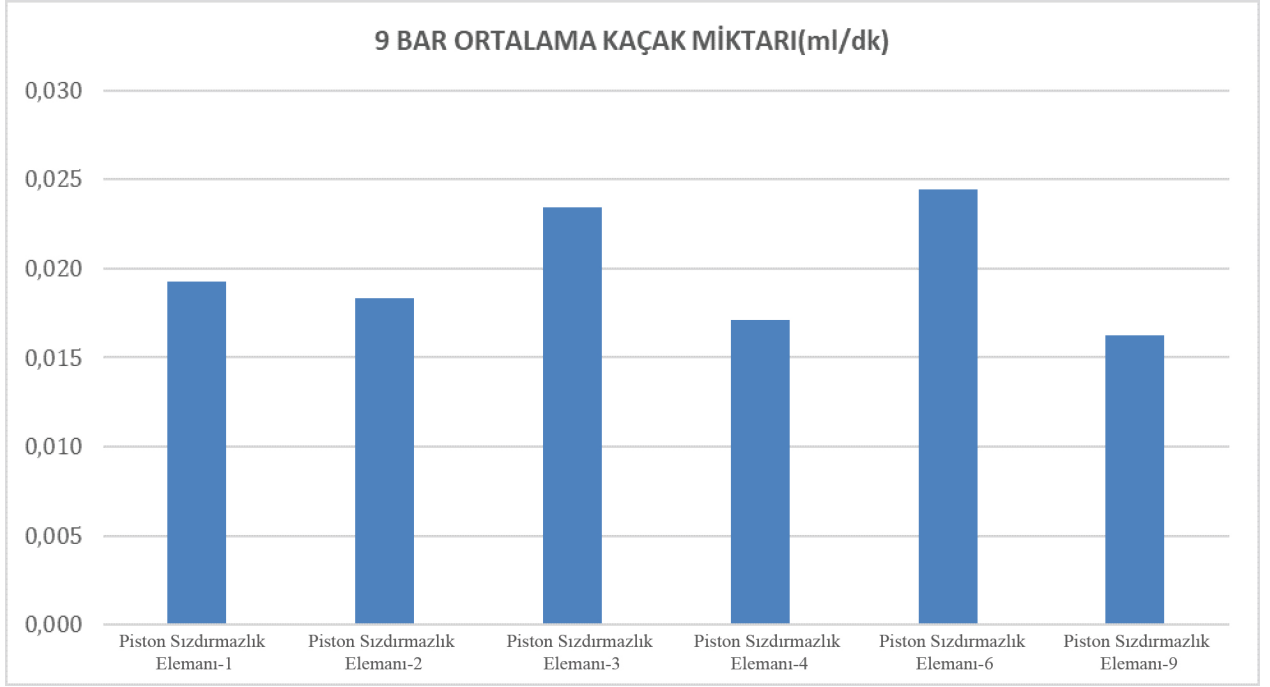


Şekil 16. Grup 2 Deney Sonuçları

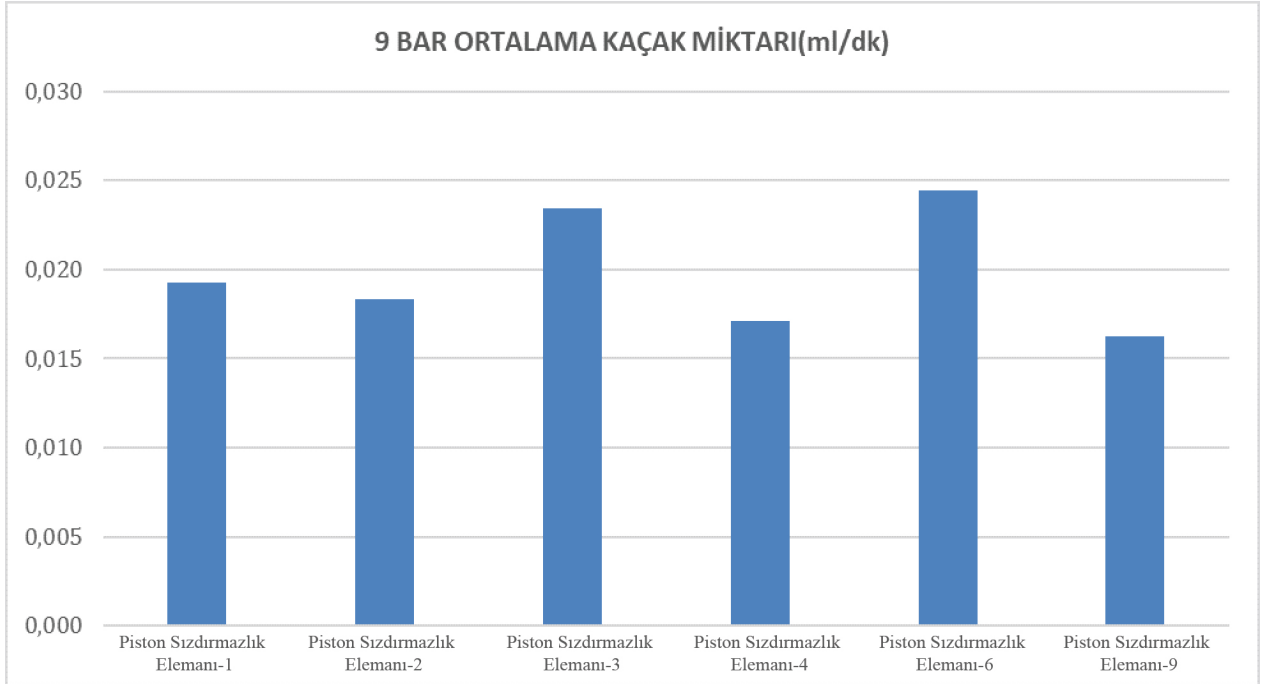
GRUP 3



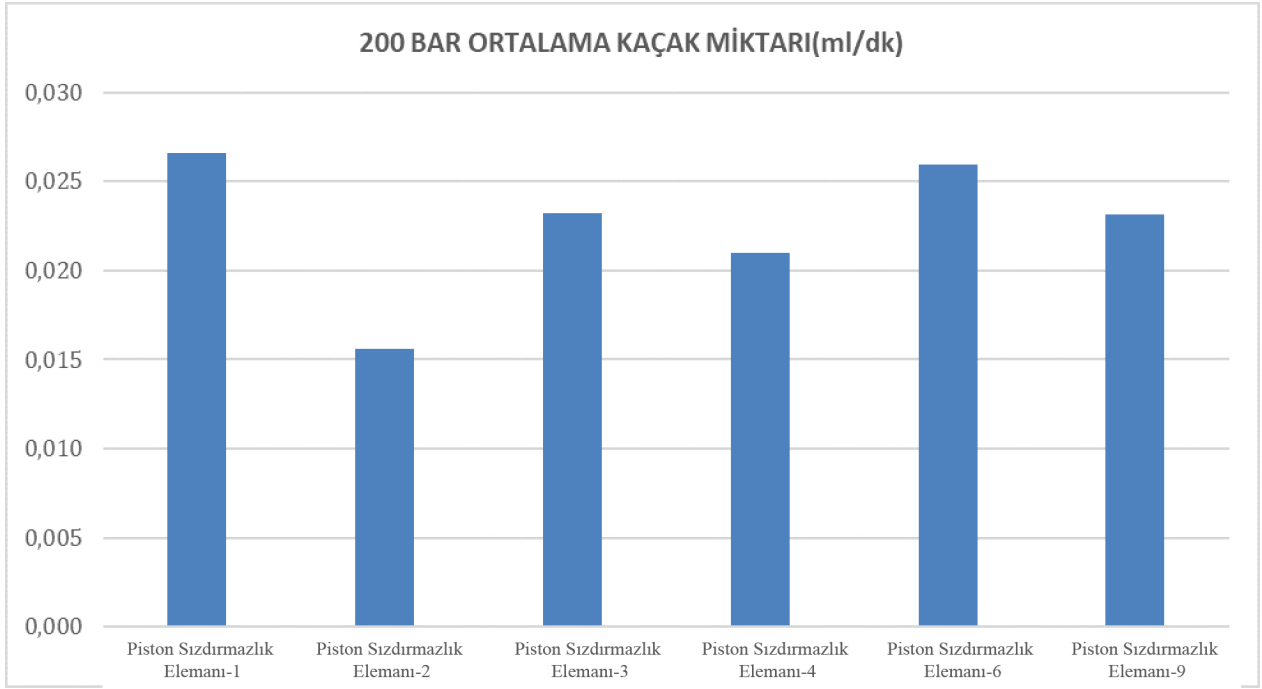
Şekil 17. Grup 3 Deney Sonuçları



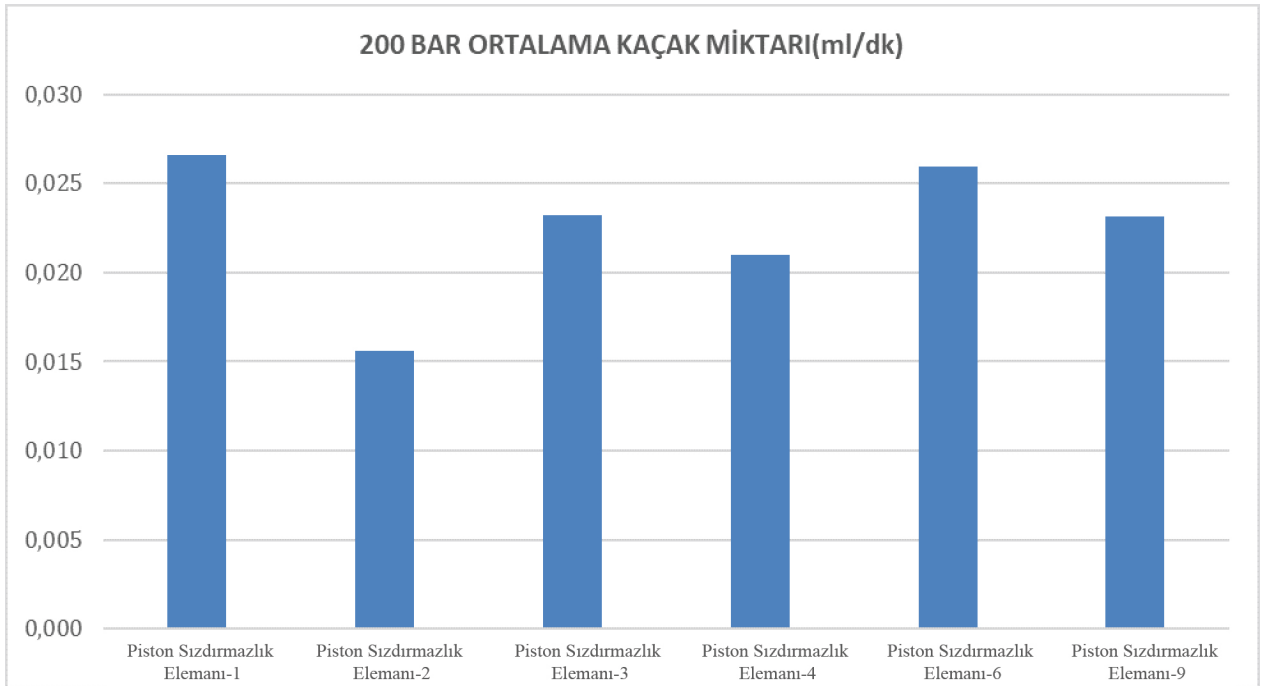
**Şekil 18.** Yaygın kullanılan Piston Sızdırmazlık Elemanları için 9 Bar Ortalama Kaçak Miktarları



**Şekil 19.** Yaygın kullanılan Piston Sızdırmazlık Elemanları için 100 Bar Ortalama Kaçak Miktarları



**Şekil 20.** Yaygın kullanılan Piston Sızdırmazlık Elemanları için 200 Bar Ortalama Kaçak Miktarları



**Şekil 21.** Yaygın kullanılan Piston Sızdırmazlık Elemanları için 100 Bar (2000 çevrim) Ortalama Kaçak Miktarları

## 6. GENEL SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Gerçekleştirilen testler sonucunda, üç farklı grupta yer alan piston sızdırmazlık elemanlarının iç kaçak performansları detaylı biçimde analiz edilmiştir. Her grup, farklı malzeme ve tasarım özelliklerine sahip olup, 9 Bar, 100 Bar, 200 Bar basınç altında ve 2000 çevrim sonrası 100 Bar basınç altında iç kaçak sonuçları açısından değerlendirilmiştir.

Grup 1'de yer alan kompakt set tipindeki piston sızdırmazlık elemanları, genel olarak en düşük kaçak oranlarını sağlamış ve yüksek basınç altında da kararlı bir performans göstermiştir. Özellikle Piston Sızdırmazlık Elemanı-2 profili, tüm basınç seviyelerinde gösterdiği istikrarlı sızdırmazlık başarısı ile öne çıkmıştır. 2000 çevrim sonrası testte de performansını büyük ölçüde korumuştur. Sızdırmazlık Elemanı-1 ise başarılı bir profil olmakla birlikte, yaşlandırma sonrası testte Sızdırmazlık Elemanı-2 'ye kıyasla daha fazla kaçak göstermiştir.

Grup 2'de yer alan PU ve PTFE esaslı sızdırmazlık elemanları arasında Sızdırmazlık Elemanı-4 ve Sızdırmazlık Elemanı-7 profilleri, her basınç seviyesinde dengeli ve kabul edilebilir sonuçlar vermiştir. Sızdırmazlık Elemanı-7, yaşlandırma testinde 0,022 ml/dk ile dayanımını korurken, Sızdırmazlık Elemanı-4 ve Sızdırmazlık Elemanı-5 gibi profillerde çevrim sonrası kaçak değerlerinde belirgin artış gözlemlenmiştir. Bu durum, malzeme yapısının ve geometrisinin sızdırmazlık performansına olan etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

Grup 3'te yer alan nutring tipi sızdırmazlık elemanları, bazı modellerde beklenenden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle Sızdırmazlık Elemanı-11, 2000 çevrim sonrası testte 0,014 ml/dk kaçak ile dikkat çekici bir değer üretmiştir. Ancak grup genelinde, 9 Bar gibi düşük basınç testlerinde dahi yüksek kaçak değerleri gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, kompakt set profilleri hem kısa vadeli hem de uzun çevrimli testlerde en kararlı ve düşük kaçaklı sızdırmazlık performansını göstermiştir. Tek parça profiller montaj kolaylığı sunsa da, aşınmaya karşı sınırlı direnç gösterebilmekte; nutring tipi profiller ise yalnızca belirli durumlarda etkili olabilmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışma, piston sızdırmazlık elemanı seçiminde, iç kaçak performansı göz önüne alınacak olduğunda, yalnızca malzeme türünün değil; profil, çalışma şartları, çalışma ömrü gibi parametrelerin birlikte değerlendirilmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur.

## KAYNAKLAR

[1] ALP KAÜÇÜK, "Alp Hidrolik-Pnömatik Sızdırmazlık Elemanları Teknik Katalog", 2020.

[2] Parker Hannifin Fluid Power Seal Design Guide (Catalog EPS 5370) (2008)

[3] S. Bhaumika, A. Kumaraswamyb, S. Guruprasada, P. Bhandaria., Tribology in Industry Vol. 37, No. 2 (2015)

## ÖZGEÇMİŞ

### K. Berke DEMİRALP

1998 yılı İzmir doğumlu olan K. Berke Demiralp, lise öğrenimini İzmir Karşıyaka Lisesi'nde tamamlamıştır. 2021 yılında Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 2021 yılından bu yana ALP Kauçuk San. ve Tic. A.Ş. firmasında çeşitli pozisyonlarda görev almıştır.

### Egemen ŞENTÜRK

1989 yılı İzmir doğumlu olan Egemen ŞENTÜRK, lise öğrenimini İzmir Atatürk Lisesi'nde tamamlamıştır. 2013 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuş, ardından Yaşar Üniversitesi'nde İşletme Yönetimi (MBA) alanında yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2013 yılından bu yana ALP Kauçuk San. ve Tic. A.Ş. firmasında hidrolik ve pnömatik sızdırmazlık elemanları alanında faaliyet göstermektedir.