

HİDROLİK SİLİNDİRLERDE SIZDIRMAZLIK ELAMANLARININ ÖNEMİ VE SEÇİM KRİTERLERİ

Sezen AKSAKALLI
Fatma ÖZ
Abdullah Çömek

ÖZET

Bu çalışmada, hidrolik silindirlerde sızdırmazlık elemanlarının önemi ve seçim kriterleri incelenmiştir. Hidrolik sistemlerde sızdırmazlık elemanları, basınçlı akışkanın kontrolünü sağlayarak sistemin verimli çalışmasını, performansın korunmasını ve bileşenlerin ömrünün uzatılmasını sağlamaktadır. Yanlış seçilen veya uygun olmayan sızdırmazlık elemanları, akışkan kaçaklarına, performans kaybına ve sistemin arızalanmasına yol açabilmektedir. Çalışmada, sızdırmazlık elemanlarının seçiminde dikkate alınması gereken temel kriterler ele alınmıştır. Bunlar arasında çalışma basıncı, sıcaklık aralığı, akışkan tipi, hareket türü (dönel veya doğrusal), malzeme uyumluluğu ve çevresel faktörler yer almaktadır. Ayrıca, sürtünme katsayısı, aşınma direnci ve bakım gereksinimleri de seçim sürecinde önemli rol oynamaktadır. Analizler sonucunda, doğru sızdırmazlık elemanı seçiminin, sistemin güvenilirliğini artırdığı, enerji kayıplarını azalttığı ve bakım maliyetlerini düşürdüğü belirlenmiştir. Sonuç olarak, hidrolik silindirlerin etkin ve uzun ömürlü çalışabilmesi için sızdırmazlık elemanlarının doğru seçilmesi ve uygun tasarımın yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kazıcı Yükleyici, Sızdırmazlık Elemanları, Hidrolik Silindirler, Çalışma Koşulları, Malzeme Uyumu.

ABSTRACT

In this study, the importance of sealing elements and the criteria for their selection in hydraulic cylinders are examined. In hydraulic systems, sealing elements ensure the control of pressurized fluid, thereby enabling efficient operation, maintaining performance, and extending the service life of system components. Incorrectly selected or inappropriate sealing elements can lead to fluid leakage, performance loss, and system failure. This study discusses the fundamental criteria that must be considered when selecting sealing elements, including working pressure, temperature range, fluid type, motion type (rotary or linear), material compatibility, and environmental conditions. Additionally, friction coefficient, wear resistance, and maintenance requirements play a significant role in the selection process. As a result of the analyses, it was determined that the proper selection of sealing elements increases system reliability, reduces energy losses, and lowers maintenance costs. In conclusion, for hydraulic cylinders to operate efficiently and with long service life, it is essential to select appropriate sealing elements and implement proper design practices.

Key Words: Backhoe Loader, Sealing Elements, Hydraulic Cylinders, Operating Conditions, Material Compatibility.

1. GİRİŞ

Hidrolik sistemler, günümüz endüstriyel uygulamalarında yüksek kuvvet gereksinimlerini karşılamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle ağır iş makinelerinde, hidrolik silindirler vasıtasıyla doğrusal hareketler elde edilirken, sistemin verimliliğini ve güvenliğini etkileyen en kritik unsurlardan biri sızdırmazlık elemanlarıdır. Bu elemanlar, hidrolik akışkanın sistem dışına kaçmasını önlemekle kalmaz; aynı zamanda dış ortamdan gelen toz, çamur, nem ve diğer zararlı maddelerin sistem içine girişini de engeller. Sızdırmazlık elemanlarının performansı doğrudan, sistemin dayanıklılığına, bakım sıklığına, enerji verimliliğine ve bileşen ömrüne yansır. Uygun seçilmeyen veya doğru şekilde tasarlanmayan sızdırmazlık elemanları; kaçaklara, piston-mil aşınmalarına, conta deformasyonlarına ve hatta ani sistem arızalarına neden olabilir. Bu durum, hem iş güvenliği açısından risk yaratmakta hem de operasyon maliyetlerini artırmaktadır. Bu çalışmada, 250 bar maksimum çalışma basıncına ve -20°C ile +90°C sıcaklık aralığında görev yapan bir hidrolik silindir sisteminde kullanılacak sızdırmazlık elemanlarının seçim kriterleri detaylı olarak incelenecektir. Seçim sürecinde; basınç, sıcaklık, akışkan türü, hareket şekli, sürtünme, malzeme uyumluluğu, yüzey pürüzlülüğü gibi çok sayıda parametre dikkate alınmıştır. Ayrıca, yapılan analiz ve değerlendirmeler sonucunda elde edilen veriler grafikler ve tablolar aracılığıyla sunulmuş, uygulayıcılar ve tasarım mühendisleri için pratik bir rehber oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışmanın sonunda, doğru sızdırmazlık elemanı seçiminin sistem performansına olan etkisi değerlendirilerek, hidrolik silindirlerin güvenilir, uzun ömürlü ve verimli çalışmasını sağlayacak tasarım önerileri sunulmuştur.

2. HİDROLİK SİLİNDİRLERDE SIZDIRMAZLIK ELEMANLARI

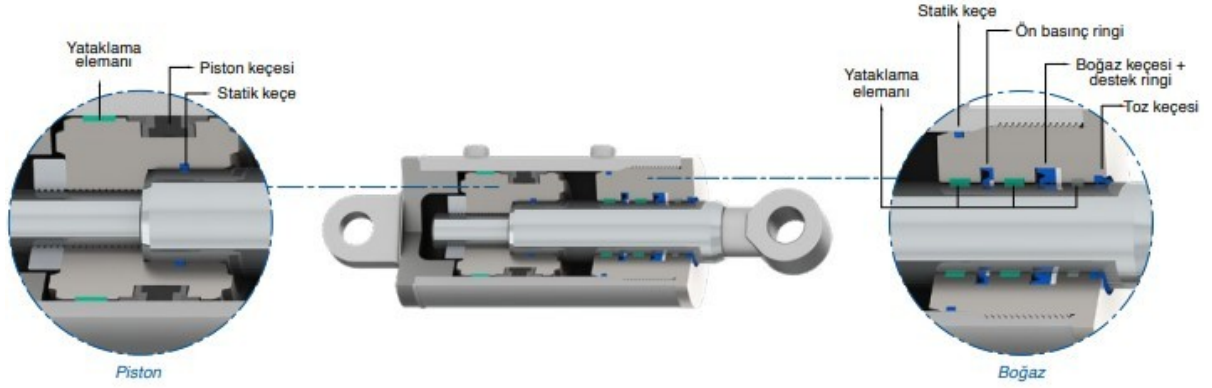
Hidrolik silindirler, mekanik enerjiyi doğrusal harekete çeviren sistem bileşenleridir ve bu hareketin sürekliliği, verimliliği ve güvenliği, büyük ölçüde sızdırmazlık elemanlarının etkinliğine bağlıdır. Silindirlerdeki sızdırmazlık sistemi hem iç basınçlı akışkanın kontrolünü hem de dış etkenlerin (toz, çamur, nem vb.) sisteme girişini engellemekle görevlidir. Bu doğrultuda, silindirin farklı bölgelerinde farklı tipte sızdırmazlık elemanları kullanılır. Hidrolik silindirlerde sızdırmazlık elemanlarının seçimi ve doğru konumlandırılması, sistemin tüm işlevselliğini etkileyen hayati bir unsurdur. Piston, boğaz ve toz keçelerinin hem profil hem de malzeme olarak doğru belirlenmesi, sistemin verimli çalışması, uzun ömürlü olması ve bakım maliyetlerinin düşürülmesi açısından kritik öneme sahiptir.

2.1 Sızdırmazlık Elemanlarının Temel Görevleri

- Hidrolik yağın sistem dışına kaçmasını engellemek,
- Silindir içinde basınç farkı olan bölgeler arasında sızıntıyı önlemek,
- Toz, çamur ve benzeri dış etkenlerin silindir içine girmesini engellemek,
- Silindir bileşenlerinin kontrollü hareketini sağlamak (özellikle yataklama ile birlikte).

2.2 Sızdırmazlık Elemanları Tipleri ve Kullanım Yerleri

Aşağıda tipik bir çift etkili hidrolik silindirin kesit şeması verilmiştir ve elemanların konumları gösterilmiştir.



Şekil 1. Hidrolik silindir kesiti ve sızdırmazlık elemanlarının

Tablo 1. Sızdırmazlık elemanları türü ve açıklamaları

Eleman Adı	Açıklama
Piston Keçesi	Pistonun her iki tarafı arasındaki basıncı ayırır, sızıntıyı önler.
Boğaz Keçesi	Milin silindirden çıkış yaptığı noktada sızdırmazlık sağlar.
Toz Keçesi	Milin dış ortamla temas ettiği noktada dış kirletici maddeleri tutar.
Yataklama Bandı	Piston veya milin eksensel yükler altında düzgün hareket etmesini sağlar.
O-Ring & Destek halkası	Statik sızdırmazlık sağlar, yüksek basınçlarda deformasyonu önler.

2.3 Uygulamalarda Kullanılan Başlıca Sızdırmazlık Elemanları

i. Piston Keçeleri

- Pistonun iki tarafında oluşan basınç farkını dengeleyerek kaçak oluşumunu önler.
- Genellikle U-cup, kompakt keçe, PTFE profilli piston ring gibi profiller tercih edilir.
- Malzeme: PU, PTFE+elastomer, NBR

ii. Boğaz Keçeleri

- Silindir milinin dışarı çıkarken geçtiği bölgede en kritik sızdırmazlık görevidir.
- Genellikle çok kademeli profiller kullanılır.

iii. Toz Keçeleri

- Çalışma ortamı tozlu, çamurlu, nemli veya partiküllü ise zorunludur.
- Mil hareketi sırasında silindir içine girebilecek zararlı partikülleri dışarıda tutar.
- Malzeme: PU, NBR, bazen metal gövdeli yapı

iv. Yataklama Bantları

- Piston ve milin düzgün hareket etmesini sağlar; yan yükleri alır.
- Sızdırmazlıktan çok mekanik dengeleme sağlar.
- Malzeme: Fiber-güçlendirilmiş polyester, PTFE-kompozit

v. Statik Sızdırmazlık Elemanları

- O-ring, X-ring gibi elemanlar contalı bağlantı yüzeylerinde kullanılır.
- Gerekli durumlarda destek halkası ile desteklenir (özellikle yüksek basınçta).

2.4 Uygulama Tipine Göre Keçe Seçimi Tablosu

Tablo 2 .Uygulama Tipine Göre Keçe Seçim Tablosu

Uygulama Türü	Tavsiye Edilen Keçe Tipi	Tavsiye Malzeme	Basınç Aralığı (bar)
Ağır iş makinesi silindiri	U-cup + Boğaz + Toz keçesi	PU / PTFE	160–320+
Mobil vinç uygulamaları	Kompakt piston + Boğaz keçesi	PTFE + elastomer	250–400
Hafif endüstriyel sistem	O-ring + U-keçe	NBR	<160
Yüksek sıcaklık uygulama	PTFE piston / boğaz	PTFE + FKM	200–300

3. MALZEME SEÇİM KRİTERLERİ

Hidrolik silindirlerde kullanılan sızdırmazlık elemanlarının verimliliği, büyük ölçüde seçilen malzemenin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine bağlıdır. Yüksek çalışma basıncında ve değişken sıcaklık aralığında görev yapan sistemlerde, contaların sadece sızdırmazlık görevini yerine getirmesi değil, aynı zamanda uzun süreli stabilize ve aşınma direnci göstermesi de beklenir. Bu nedenle, malzeme seçimi yapılırken hem çevresel koşullar hem de sistem dinamikleri birlikte değerlendirilmelidir.

3.1 Malzeme Seçiminde Etkili Parametreler

Tablo 3. Malzeme Seçim Parametreleri ve Açıklamaları

Kriter	Açıklama
Çalışma Sıcaklığı	Elastomerin yumuşama, sertleşme ve çatlama eğilimi göz önünde bulundurulmalıdır.
Basınç Dayanımı	Malzemenin şekil değiştirmeden yüksek basınca dayanabilmesi gerekir.
Aşınma ve Yırtılma Direnci	Sürtünmeli yüzeylerle temas eden malzeme, uzun ömürlü olmalıdır.
Kimyasal Uyum	Hidrolik yağ ve dış ortam kimyasallarıyla reaksiyona girmemelidir.
Sürtünme Katsayısı	Düşük sürtünme, enerji kaybını ve ısınmayı azaltır.
Esneklik ve Geri Kazanım	Malzeme sıkışma-sonrası şekline dönebilmelidir.
Maliyet ve Tedarik Kolaylığı	Performans kadar ekonomik sürdürülebilirlik de göz önüne alınmalıdır.

3.2 Yaygın Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Aşağıda en yaygın kullanılan sızdırmazlık malzemeleri ile çalışma aralıkları ve performans özellikleri sunulmuştur:

Tablo 4. Farklı piston keçe tiplerinin basınç, sıcaklığa ve kimyasallara karşı davranışları

Malzeme	Sıcaklık Aralığı (°C)	Basınç Dayanımı	Kimyasal Uyum	Aşınma Direnci	Kullanım Notu
NBR	-30 ~ +100	Orta (200 bar'a kadar)	Orta	Orta	Genel amaçlıdır, düşük sıcaklıklarda elastiktir
PU	-20 ~ +120	Yüksek (250-400 bar)	Orta-İyi	Çok İyi	Yüksek aşınma direnci ve geri esneme kabiliyeti
PTFE	-200 ~ +260	Çok Yüksek (>400 bar, destekli)	Mükemmel	Yüksek	Kimyasal direnç ve düşük sürtünme için idealdir
FKM (Viton)	-15 ~ +200	Orta	Mükemmel	Orta-İyi	Yüksek sıcaklık ve agresif yağ ortamları için uygundur
EPDM	-40 ~ +140	Düşük	Suya ve buhara dayanıklıdır	Orta	Mineral yağlara karşı dayanıksızdır
H-NBR	-30 ~ +140	Orta-Yüksek	İyi	İyi	Yüksek sıcaklıkta, NBR'nin geliştirilmiş versiyonudur

3.3 Uygulama Koşuluna Göre Malzeme Seçimi Önerisi

Şartlar:

- **Basınç:** 250 bar
- **Sıcaklık:** -20°C ~ +90°C
- **Akışkan:** Mineral bazlı hidrolik yağ (HLP)
- **Ortam:** Dış mekân, tozlu/çamurlu/yoğun kullanım
- **Hareket:** Doğrusal, çift etkili pistonlu sistem

Tablo 5 – Uygulama Koşuluna Göre Malzeme Seçimi Tablosu

Eleman Türü	Önerilen Malzeme	Neden Tercih Edilmeli
Piston Keçesi	PU + NBR destek	Yüksek basınç ve aşınma direnci, elastikiyet dengesi
Boğaz Keçesi	PTFE + elastomer	Düşük sürtünme, geri çekilmede akışkan birikmesini önler
Toz Keçesi	PU	Çevresel kirleticilere karşı yüksek dayanım
Yataklama Bandı	PTFE Kompozit	Yan yükleri alır, sürtünmeyi azaltır
Statik Sızdırmazlık	NBR + Destek halkası	Kanal deformasyonuna karşı güvenli çözüm

3.4 Malzeme Yaşlanma ve Dayanıklılık Faktörleri

Elastomerik malzemelerde termal yaşlanma, conta performansında ciddi düşümlere neden olabilir. Uzun süreli yüksek sıcaklık (>85°C) ve basınç (>200 bar) altında çalışan contalar için PTFE veya Viton bazlı çözümler daha uzun ömürlüdür. Özellikle PU ve PTFE bazlı malzemeler, bu koşullar altında mükemmel geri esneme, minimum kalıcı deformasyon ve düşük sızdırmazlık kaybı gösterir. Malzeme seçimi, yalnızca kısa vadeli işlevsellik değil, aynı zamanda sistem ömrü, enerji verimliliği ve bakım sıklığı açısından da belirleyicidir. Yüksek basınca ve geniş sıcaklık aralığına sahip uygulamalarda, PU ve PTFE gibi gelişmiş polimerler, geleneksel elastomer malzemelere kıyasla daha yüksek performans sergilemektedir. Ayrıca, kullanılan akışkanla kimyasal uyumun sağlanması, contanın bozulmadan uzun süre çalışabilmesi için vazgeçilmez bir koşuldur.

4. ÇALIŞMA KOŞULLARINA GÖRE SEÇİM KRİTERLERİ

Hidrolik silindirlerde sızdırmazlık elemanlarının uzun ömürlü ve etkili çalışabilmesi için yalnızca malzeme değil, bu malzemelerin görev yaptığı çalışma koşullarının da dikkatle analiz edilmesi gerekir. Seçim kriterleri; sıcaklık, basınç, hız, hareket tipi, ortam etkileri ve akışkanın türü gibi çok sayıda parametreyle şekillenir. Bu bölümde, 250 bar basınç ve -20°C ile +90°C sıcaklık aralığında çalışan ağır hizmet tipi bir sistem için bu parametreler detaylı olarak ele alınmıştır.

4.1 Basınç (250 Bar)

Yüksek basınç, contaların şekil değiştirmesine, sızıntıya ve yırtılmaya neden olabilir. 255 bar gibi yüksek basınçlı uygulamalarda PU (poliüretan) veya PTFE destekli keçeler kullanılmalıdır. Back-up ring destekli O-ring gibi yüksek deformasyon dayanımı olan çözümler tercih edilmelidir. Aşağıda, tipik conta malzemelerinin basınca göre tavsiye aralıkları verilmiştir:

Tablo 6. Malzeme Seçimine göre Basınç Tablosu

Malzeme	Tavsiye Edilen Basınç Aralığı
NBR	0–160 bar
PU	60–400 bar
PTFE	200–600 bar (desteklenmiş)
FKM	<250 bar

4.2 Sıcaklık Aralığı

Düşük sıcaklıkta sızdırmazlık elemanları sertleşerek çatlamaya meyilli olabilir. Bu yüzden soğuk ortamda bile elastik kalabilen PU veya NBR gibi malzemeler öne çıkar. Yüksek sıcaklıkta malzemenin termal yaşlanmaya karşı direnci önemlidir. Viton (FKM) veya ısı kararlı PU versiyonları kullanılabilir.

Tablo 7. Sıcaklık Aralığı Tablosu

Sıcaklık (°C)	Risk Oluşan Durumlar	Öneri
< -20°C	Elastomer kırılması, sızdırmazlık kaybı	Düşük sıcaklık PU/NBR
85–90°C	Termal yumuşama, boyutsal değişim	Isıl dayanımı yüksek PU/PTFE

4.3 Hidrolik Akışkan Türü

Sistemlerde genellikle mineral bazlı hidrolik yağlar (HLP, HVLP) kullanılmaktadır. Bu tip yağlara karşı PU, NBR, PTFE ve FKM malzemeler yüksek kimyasal uyumluluk gösterir. Ancak su glikollü veya biyolojik yağlar kullanılıyorsa, EPDM veya özel FKM türevleri tercih edilmelidir.

Tablo 8. Akışkan Türleri ve Malzemeler

Akışkan Türü	Tavsiye Edilen Malzeme
Mineral yağ (HLP)	PU, NBR, PTFE, FKM
Su glikol bazlı	EPDM, özel FKM
Biyo yağ (HEES, HETG)	FKM, PTFE

4.4 Hareket Tipi ve Hızı

Çalışma doğrusal hareketli, çift etkili piston sistemidir. Sızdırmazlık elemanı, piston ve milin ileri-geri hareketinde sürekli olarak çalışır. Bu yüzden dinamik sürtünmeye dayanıklı olmalı, geri esneme kabiliyeti yüksek olmalı, yüzeyle uyumlu bir temas basıncı sağlamalıdır.

Tablo 9. Hız Tablosu

Hız Aralığı	Tavsiye Sızdırmazlık Tipi	Açıklama
0.01 – 0.5 m/s	U-Cup, Kompakt Piston Keçesi	Normal hız, düşük sürtünme önemli
> 0.5 m/s	PTFE Profilli Keçeler	Yüksek hız, ısınma ve yıpranma riski

4.5 Ortam Koşulları

Ağır hizmet tipi makineler, açık hava koşullarında, çamur, toz, su ve kimyasal buharların yoğun olduğu ortamlarda çalışır. Bu nedenle toz keçesi kesinlikle kullanılmalıdır. Keçelerin dış ortamla teması olan kısımları UV ve ozon dayanımlı olmalıdır. Çalışma koşulları, sızdırmazlık elemanlarının malzeme, profil ve yerleşim biçimi üzerinde doğrudan belirleyici rol oynar. 250 bar basınç ve -20°C ile +90°C sıcaklık aralığında çalışan bir sistemde, sadece yüksek performanslı malzeme seçimi değil, aynı

zamanda çevresel etkilerle uyumlu, mekanik olarak dengeli ve termal olarak stabil bir sızdırmazlık tasarımı yapılmalıdır. Doğru analiz edilen koşullar, conta ömrünü en az %30–50 oranında artırabilir ve bakım sıklığını azaltır.

Tablo 10. Ortam Koşulları

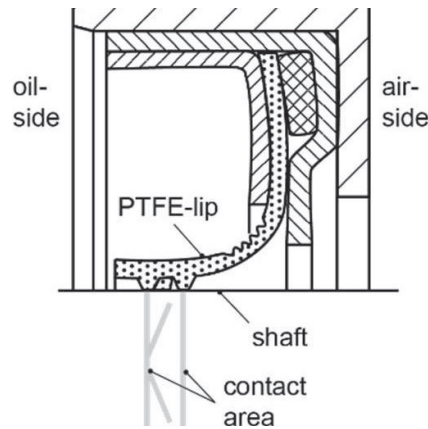
Ortam Etkisi	Risk	Çözüm
Toz / çamur	Conta aşınması, sızıntı	Metal destekli toz keçesi (PU / NBR)
Nem / su	Şişme, yumuşama	Suya dayanıklı elastomer (PU / PTFE)
Güneş ışığı	UV yaşlanması	UV dayanımlı PU / FKM

5. GEOMETRİK VE MEKANİK TASARIM ETKİLERİ

Sızdırmazlık elemanlarının yalnızca malzeme ve çevresel uyumu değil, aynı zamanda doğru geometrik tasarımı ve mekanik yerleşimi de sistem performansı açısından kritik rol oynar. Özellikle yüksek basınç altında çalışan silindirlerde, conta kanalı boyutları, yüzey pürüzlülüğü, montaj toleransları ve sızdırmazlık kuvveti gibi geometrik-mekanik parametreler, contanın işlevini doğrudan etkiler. Bu bölümde, 255 bar basınçta çalışan bir hidrolik sistem için gerekli olan tasarım kriterleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

5.1 Kanal Tasarımı ve Toleranslar

Sızdırmazlık elemanlarının yerleştiği kanallar belirli standartlara göre tasarlanmalı ve çalışma koşullarına uygun toleranslara sahip olmalıdır. Hatalı kanal tasarımı: conta sıkışmasına, eksik sızdırmazlık basıncına, erken deformasyonlara neden olur.



Şekil 2. U- tipi piston keçesinin kanal yerleşimi ve basma açısı

Tavsiye Edilen Kanal Özellikleri:

Tablo 11. Kanal Özellikleri

Parametre	Tavsiye Değer (PU Keçe için)	Açıklama
Kanal genişliği	Conta yüksekliğinin 1.1–1.2 katı	Yeterli oturma payı sağlar.
Kanal derinliği	Conta kalınlığı – %5	Sıkma payı ile yüzey teması sağlanır.
Radius değeri	0.2 – 0.4 mm	Conta kenarlarında kesilme önlenir.
Kanal toleransı	H8/f8	Mil ve kanal eşleşmesi.

5.2 Yüzey Pürüzlülüğü (Ra Değeri)

Sızdırmazlık elemanının çalıştığı yüzeylerin mikro düzeyde pürüzlülüğü, contanın sızdırmazlık kalitesi ve ömrü üzerinde doğrudan etkilidir. Çok pürüzlü yüzeyler contayı aşındırır, çok düzgün yüzeyler ise yeterli yağ filmi oluşumunu engeller.

Tavsiye Yüzey Pürüzlülük Değerleri:

Tablo 12. Yüzey Pürüzlülüğü Tablosu

Yüzey Alanı	Ra (µm) Tavsiye Aralığı
Mil yüzeyi	0.2 – 0.4
Kanal tabanı	0.4 – 0.8
Piston çapı	0.2 – 0.4

Not: Aşırı pürüzsüz yüzeylerde ($Ra < 0.1 \mu m$) sızdırmazlık performansı düşebilir çünkü yağ filmi oluşmaz.

5.3 Eksantriklik ve Yan Yükler

Silindir içerisindeki piston veya milin merkezden kaçık hareketi (eksantriklik), conta üzerinde düzensiz yük dağılımına sebep olur. Bu durum: conta kenarında fazla aşınma, eksik sızdırmazlık hattı, conta kenarlarının yırtılması gibi hasarlar doğurur.

Önlem:

- Yataklama bandı mutlaka kullanılmalı,
- Piston ve silindir eksenleri düzgün hizalanmalıdır.

5.4 Montaj Geometrisi

Montaj sırasında contaların zarar görmemesi için kanal ve geçiş yüzeyleri uygun şekilde pahlandırılmalı ve çapaklardan arındırılmalıdır. Aşağıdaki geometrik kurallar önemlidir:

Tablo 13. Tasarım Tavsiyesi Tablosu

Tasarım Unsuru	Tavsiye	Açıklama
Kenar pahlı	15° – 30° arası	Conta geçişinde keskin kenarlar önlenir.
Geçiş radius	min. R0.3 – R0.5 mm	Sürtünme ve kesilme riski azaltılır.
Yüzey işleme	Parlatılmış, çiziksiz	Conta yüzeyle tam temas sağlar.

5.5 Conta Sıkma Yüzdesi

Sızdırmazlık sağlanabilmesi için conta kanala %5–15 oranında sıkıştırılmalıdır. Bu sıkışma, contanın elastik deformasyonla yüzeye yapışmasını ve sızdırmazlık oluşturmasını sağlar. Ancak aşırı sıkma: ısınmaya, enerji kaybına, conta deformasyonuna yol açabilir.

$$\text{Conta Sıkma Yüzdesi} = \left(\frac{H_0 - H_c}{H_0} \right) \times 100$$

H₀: Conta'nın **serbest (sıkılmamış)** yüksekliği [mm]

H_c: Conta'nın **sıkılmış (montaj sonrası)** yüksekliği [mm]

Örnek:

- Conta yüksekliği: 6.0 mm
- Kanal derinliği: 5.5 mm

$$\text{Conta Sıkma Yüzdesi} = \left(\frac{6 - 5.5}{6} \right) \times 100 = \%8,3$$

Geometrik ve mekanik faktörler, sızdırmazlık elemanlarının işlevselliğini doğrudan etkileyen parametrelerdir. Kanal tasarımı, yüzey pürüzlülüğü, toleranslar ve montaj geometrisi doğru şekilde optimize edilmediğinde, en iyi malzeme bile başarısız olabilir. Yüksek basınçlı bir sistemde, toleranslar milimetrenin yüzde biri mertebesinde hassasiyetle uygulanmalı ve montaj sırasında tüm geçiş bölgeleri dikkatle hazırlanmalıdır.

6. SÜRTÜNME, AŞINMA VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Hidrolik silindirlerde sızdırmazlık elemanları yalnızca kaçakları önlemekle kalmaz, aynı zamanda piston ve mil hareketi sırasında sürtünmeye doğrudan katkı sağlar. Bu sürtünme, sistemin toplam enerji verimliliğini etkileyen önemli bir faktördür. Uygun olmayan keçe profili, malzeme veya yüzey eşleşmesi; aşırı sürtünmeye, contada aşınmaya ve sistemin daha fazla güç tüketmesine yol açar.

6.1 Sürtünmenin Tanımı ve Etkileri

Sızdırmazlık elemanı ile mil/piston yüzeyi arasında oluşan sürtünme:

- **Dinamik sürtünme** (hareket sırasında),
- **Statik sürtünme** (ilk hareket anında),

olarak iki şekilde incelenir. Bu sürtünme kuvveti, contanın:

- Profil yapısı,

- Malzemesi,
 - Yağlama koşulları,
 - Yüzey pürüzlülüğü,
- gibi faktörlere bağlı olarak değişir.

6.2 Sürtünme Katsayısı Karşılaştırma Tablosu

Tablo 14 . Sürtünme Katsayısı Karşılaştırma Tablosu

Malzeme	Sürtünme Katsayısı (μ)	Dinamik Sürtünme Notu
NBR	0.5 – 0.7	Orta, düzgün yüzeyde iyidir
PU	0.4 – 0.6	Yüksek basınçta denge sağlar
PTFE	0.1 – 0.2	Çok düşük sürtünme, yüksek hız için ideal
PTFE + elastomer	0.2 – 0.3	Düşük sürtünme, iyi geri esneme
FKM (Viton)	0.4 – 0.6	Kimyasala dayanıklı, sürtünme orta

6.3 Aşınma Mekanizması

Sürtünme nedeniyle sızdırmazlık elemanlarında oluşabilecek aşınmalar:

- **Yüzey aşınması:** Mil yüzeyindeki pürüzler veya dış partiküller (toz, çamur)
- **Adezyon aşınması:** Yüzeyler arasında mikro yapışmalar
- **Kimyasal aşınma:** Akışkanla reaksiyona giren malzeme

Özellikle toz keçesi olmayan uygulamalarda dış ortamdan gelen kirleticiler, piston keçesi ve boğaz keçelerinde hızla deformasyona neden olabilir.

6.4 Enerji Verimliliğine Etkisi

Sürtünme, sistemin daha fazla güç tüketmesine ve sıcaklık artışına neden olur. Özellikle mobil iş makinelerinde bu durum; pompa yükünün artmasına, yakıt tüketiminin yükselmesine, contanın ısınarak deformasyonuna sebep olur. Enerji kaybı, özellikle yüksek strok sayısı olan uygulamalarda toplam sistem verimliliğini %5–15 oranında etkileyebilir.

6.5 Verimliliği Artırmak İçin Öneriler

Tablo 15. Problem ve Çözüm Önerileri

Problem	Çözüm Yöntemi
Yüksek sürtünme	PTFE profilli keçe kullanımı, yüzey pürüzlülüğü optimizasyonu
Aşırı aşınma	Toz keçesi kullanımı, uygun yağlama, mil sertliği kontrolü

Problem	Çözüm Yöntemi
Enerji kaybı	Düşük sürtünmeli profiller, yağ viskozitesinin kontrolü
Termal deformasyon riski	Isıl dayanımı yüksek malzeme (PU, FKM) seçimi

Sürtünme, bir sızdırmazlık sisteminin gözle fark edilmeyen ancak performansa doğrudan etki eden en önemli unsurlarından biridir. 250 bar basınç altında çalışan bir sistemde, uygun sızdırmazlık malzemesi ve profil seçimi ile sürtünme kaybı azaltılarak:

- Enerji verimliliği artırılır,
- Conta ömrü uzatılır,
- Sıcaklık kaynaklı deformasyon riski düşürülür.

Bu nedenle sızdırmazlık elemanlarının sadece sızdırma kapasitesi değil, aynı zamanda sistemle olan etkileşimindeki enerji davranışı da analiz edilmelidir.

7. BAKIM VE ARIZA SENARYOLARI

Hidrolik silindirlerdeki sızdırmazlık elemanlarının görevlerini sağlıklı biçimde yerine getirebilmesi, yalnızca doğru seçimle değil, aynı zamanda düzenli bakım ve zamanında müdahale ile mümkündür. Sızdırmazlık elemanları zamanla çeşitli nedenlerle yıpranabilir, deformasyona uğrayabilir veya görevini yerine getiremez hâle gelebilir. Bu durumda sistemde kaçaklar, performans kaybı ve hatta ani arızalar meydana gelebilir.

7.1 Tipik Arıza Türleri

Tablo 16. Arıza Türleri

Arıza Türü	Belirtiler	Nedenleri
Akışkan Kaçağı	Hidrolik yağ sızıntısı, piston yavaş hareketi	Keçe deformasyonu, yetersiz sıkma, yüzey hasarı
Aşırı Aşınma	Conta kenarlarında yıpranma, sızdırmazlık kaybı	Yüzey pürüzlülüğü hatası, toz keçesi eksikliği
Sürtünme Artışı	Silindirin zor hareket etmesi, sesli çalışması	Uygun olmayan malzeme, yanlış yağ viskozitesi
Conta Ekstrüzyonu	Contanın kanal dışına çıkması	Yüksek basınç, hatalı kanal toleransı, destek halkası eksikliği
Termal Hasar	Conta renginde koyulaşma, yüzey çatlakları	Yüksek sıcaklık, yetersiz malzeme dayanımı
Şişme / Yumuşama	Conta elastikiyetini kaybeder, akışkan tutar	Yanlış akışkan tipi, kimyasal uyumsuzluk

7.2 Arıza Örnek Görselleri (İsteğe bağlı üretilebilir)

- Şişmiş NBR conta (su glikollü akışkanda)
- Yırtılmış PU keçe (kenar aşınması + yüksek basınç)
- PTFE conta sıyrılması (yüzeyde çapak varlığı)
- Termal olarak sertleşmiş Viton conta (90°C üzeri sürekli çalışmada)

7.3 Koruyucu Bakım Stratejileri

Tablo 17. Bakım Uygulamaları

Bakım Uygulaması	Açıklama	Periyot
Görsel kontrol	Contalarda çatlak, renk değişimi, yağ izi kontrolü	Haftalık
Silindir mil temizliği	Mil üzerindeki kir, toz, pas temizliği	Günlük
Yağ kalitesi kontrolü	Akışkanın viskozitesi, partikül seviyesi, su oranı	Aylık
Keçe ve toz sıyrıcı değişimi	Belirli çalışma saati sonrası önleyici değişim	1000–2000 saat
Tork ve bağlantı kontrolü	Statik sızdırmazlık için kelepçe/vida sıkılığı kontrolü	6 ay

7.4 Bakım Kayıtlarının Tutulması

- Bakım faaliyetlerinin dijital olarak takip edilmesi, sistem arızalarını öngörmeye oldukça faydalıdır.
- Aşağıdaki gibi takibinin kolaylıkla yapılabileceği bir form önerilir:

Tablo 18 .Örnek Bakım Tablosu

Tarih	Uygulama	Parça Değişimi	Gözlem	Uygulayan
2025-06-10	Toz keçe kontrolü	Hayır	Hafif yüzey kirliliği	Müh. A. Yılmaz
2025-06-15	Yağ analizi	Hayır	Viskozite düşük	Teknisyen E. Ak

Sızdırmazlık elemanlarında karşılaşılan arızaların büyük kısmı, yanlış tasarım, hatalı montaj veya yetersiz bakım kaynaklıdır. Özellikle yüksek basınçlı sistemlerde, küçük bir kaçak bile zamanla ciddi enerji kaybına ve ekipman arızasına dönüşebilir. Bu nedenle düzenli bakım takvimi, uygun yedekleme politikası ve erken arıza tespiti için durumsal farkındalık mekanizmalarının kullanılması önerilir. Böylece sistem ömrü uzatılır, arıza sıklığı azalır ve maliyetler kontrol altında tutulur.

8. UYGULAMA ÖRNEKLERİ VE KARŞILAŞTIRMALI TABLO

Hidrolik silindirlerde sızdırmazlık elemanlarının seçimi, yalnızca teknik katalog bilgileriyle değil, aynı zamanda saha uygulamalarından elde edilen gerçek verilerle desteklenmelidir. Bu bölümde, farklı profil ve malzeme kombinasyonlarının 255 bar çalışma basıncına sahip ağır hizmet tipi uygulamalarda nasıl performans gösterdiği değerlendirilecektir.

8.1 Performans Karşılaştırma Tablosu

Tablo 19. Bakım Uygulamaları

Kriterler	PU Keçe	PTFE + NBR Keçe	FKM Keçe
Aşınma Direnci	Yüksek	Orta-Yüksek	Yüksek
Sıcaklık Direnci	Orta (+85°C)	İyi (+120°C)	Mükemmel (+200°C)
Kimyasal Uyum	Orta	Yüksek	Mükemmel
Geri Esneme	Çok İyi	İyi	Orta
Maliyet	Düşük-Orta	Orta	Yüksek
Ömür (saha verisi)	~1600 saat	~2200 saat	~2800+ saat
Uygulama Uyumu	Standart	Yüksek performans	Zorlu ortamlar

PU bazlı keçeler, ekonomik olması ve kolay tedarik edilebilirliği ile tercih edilse de, yüksek sıcaklıklarda performans kaybı yaşanabilir. PTFE destekli kombinasyonlar, düşük sürtünme ve yüksek hız için uygundur ancak mekanik dayanımı düşüktür. FKM bazlı sistemler, ağır kimyasal, ısı ve dış ortam koşulları için idealdir fakat yüksek maliyetli ve ithal bazlıdır.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan analizler ve saha örnekleri, sızdırmazlık elemanlarının sistem performansı üzerinde doğrudan etkili olduğunu açıkça göstermektedir.

9.1 Temel Bulgular

- Doğru malzeme seçimi, yalnızca sızdırmazlık sağlamakla kalmaz; aynı zamanda sistemin enerji verimliliğini artırır ve bakım periyotlarını uzatır.
- Çalışma koşulları (basınç, sıcaklık, akışkan tipi, hareket şekli, dış ortam etkileri) sızdırmazlık elemanlarının hem profil hem de malzeme açısından optimize edilmesini zorunlu kılar.
- ANSYS deformasyon analizleri, contaların kanal içindeki davranışlarını öngörme açısından tasarımcıya büyük avantaj sağlar. Bu sayede fazla deformasyon, ekstrüzyon ya da temas kaybı gibi sorunlar erken aşamada belirlenebilir.
- Sürtünme–aşınma–verimlilik üçgeni, sistemin hem ekonomik hem de işlevsel performansının temel belirleyicisidir. Düşük sürtünmeli, yüksek esnekliğe sahip sızdırmazlık elemanları tercih edilmelidir.
- Düzenli bakım ve doğru montaj, sızdırmazlık sistemlerinin ömrünü doğrudan uzatır. Arıza senaryoları incelenerek uygun bakım stratejileri geliştirilmelidir.

- Saha uygulamaları, katalog verilerinin ötesinde, gerçek çalışma koşullarının değerlendirilmesi açısından kritik rol oynar.

9.2 Öneriler

a) Tasarım Aşamasında:

- Kanal ölçüleri mutlaka ISO/DIN standartlarına uygun olarak belirlenmelidir.
- Yüzey pürüzlülüğü, conta-mil uyumunu bozmayacak seviyede kontrollü tutulmalıdır (Ra: 0.2–0.4 µm).

b) Malzeme Seçiminde:

- 250 bar çalışma basıncı için PU ve PTFE destekli elastomer kombinasyonları önerilir.
- Geniş sıcaklık aralığında termal kararlılık için FKM veya yüksek ısıl dayanımlı PU tercih edilmelidir.

c) ANSYS ve FEA Kullanımı:

- Tasarım validasyonu için FEM tabanlı deformasyon analizleri yapılmalıdır.
- Özellikle dudaklı contalarda, temas basıncı ve gerilme dağılımı detaylı olarak analiz edilmelidir.

d) Bakım ve İşletme Sürecinde:

- Haftalık ve aylık bakım çizelgeleri uygulanmalı, görsel kontrol ve yağ analizleri aksatılmamalıdır.
- Keçe, toz sıyrıcı ve yataklama elemanları belirli saatlik periyotlarda önleyici olarak değiştirilmelidir.

e) Sistem Verimliliği İçin:

- Düşük sürtünme katsayılı malzeme seçimiyle pompa yükü azaltılarak enerji tüketimi düşürülebilir.
- Aşınmayı azaltacak yüzey kaplamaları ve yüksek sertlikte mil yüzeyleri tercih edilmelidir (55–60 HRC).

9.3 Son Değerlendirme

Bu çalışmada, hidrolik silindirlere kullanılan sızdırmazlık elemanlarının önemi ve seçim kriterleri kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Hidrolik sistemlerin güvenilir, verimli ve uzun ömürlü çalışabilmesi için sızdırmazlık elemanlarının doğru şekilde seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Yanlış seçilen veya sistem koşullarına uygun olmayan sızdırmazlık elemanları, akışkan kaçaklarına, performans düşüşüne ve ciddi sistem arızalarına yol açabilmektedir. Çalışma süresince; çalışma basıncı, sıcaklık aralığı, kullanılan akışkan tipi, hareket türü, malzeme uyumluluğu, çevresel etkenler, sürtünme, aşınma ve bakım gereksinimleri gibi birçok parametrenin sızdırmazlık elemanı seçiminde dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır. Özellikle 250 bar gibi yüksek basınçlarda ve geniş sıcaklık aralıklarında çalışan sistemler için keçe malzemesinin termal-kararlı ve aşınmaya dayanıklı olması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca, conta tipine uygun kanal tasarımı, montaj toleransları ve yüzey kalitesi gibi geometrik faktörlerin de sızdırmazlık performansını doğrudan etkilediği görülmüştür. Uygun tasarım yapılmadan seçilen bir keçe, en iyi malzeme özelliklerine sahip olsa dahi istenen sızdırmazlığı sağlayamayabilir. Sonuç olarak, iş makinelerinde kullanılan hidrolik silindirlere yüksek performans ve düşük bakım maliyeti sağlamak için, sızdırmazlık elemanlarının sadece standartlara göre değil; sistemin özel koşullarına göre teknik analiz ve mühendislik bakış açısıyla seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın, uygulayıcı mühendislere ve tasarımcılara yol gösterici olması hedeflenmiştir.

10. KAYNAKÇA

- [1] ISO 5597:2010. *Fluid power systems — O-rings — Housing dimensions for general applications*. International Organization for Standardization.
- [2] ISO 7425-1:2014. *Hydraulic fluid power — Sealing devices — Part 1: Piston seal housings*. International Organization for Standardization.
- [3] Trelleborg Sealing Solutions. (2023). *Hydraulic Seals Catalogue*. <https://www.tss.trelleborg.com>
- [4] Freudenberg Sealing Technologies. (2022). *Technical Handbook – Sealing Materials and Profiles*.
- [5] Hall, A. S., Holowenko, A. R., & Laughlin, H. G. (2013). *Theory and Problems of Machine Design*. McGraw-Hill.
- [6] Totten, G. E. (2006). *Handbook of Hydraulic Fluid Technology*. CRC Press.
- [7] Wills, H., & Murrenhoff, H. (2010). *Hydraulics and Pneumatics: A Technician's and Engineer's Guide*. Butterworth-Heinemann.
- [8] Parker Hannifin Corporation. (2021). *Sealing Solutions Technical Guide*.
- [9] Eryıldız, B., & Sarıkaya, M. (2018). "Hidrolik sistemlerde sızdırmazlık elemanlarının seçimi ve performans değerlendirmesi." *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 16(2), 92–99.
- [10] ANSYS Inc. (2022). *ANSYS Mechanical User's Guide*.
- [11] Rynkowski, J. (2019). "Friction and wear of seals in hydraulic cylinders." *Tribology International*, 135, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.01.007>

ÖZGEÇMİŞ

Sezen AKSAKALLI

1996 yılı Erzincan Doğumludur. 2018 yılında İstanbul Aydın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2019 Nisan-Kasım ayları arasında İngiltere-Oxford şehrinde EF Education First dil okullarında dil eğitimini tamamlamıştır. 2020 yılından itibaren iş makineleri sektöründe faaliyet gösteren HİDROMEK şirketinde yedek parça katalog tasarımı ve yapısal tasarım alanlarında çeşit pozisyonlarda görev almıştır. Halen Kazıcı Yükleyici Mühendislik Müdürlüğü Gövde, Ataçman-Kabin Kaporta Takım Liderliğinde Tasarım Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

Fatma ÖZ

1974 yılı Ankara Doğumludur. 1998 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 2002 yılında Yüksek Mühendis unvanı almıştır. 1998 yılından itibaren iş makineleri sektöründe faaliyet gösteren HİDROMEK şirketinde makine tasarımı ve konfigürasyon sistem tasarımı alanında çeşit pozisyonlarda görev almıştır. Halen Kazıcı Yükleyici ve Telehandler Mühendislik müdürü olarak görev yapmaktadır. Evli ve 2 çocuk annesidir.

Abdullah ÇÖMEK

1984 yılı Adana Doğumludur. 2007 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümünü bitirmiştir. 2020 yılında Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümünü bitirmiştir. 2007 yılından itibaren iş makineleri sektöründe faaliyet gösteren Firmalarda ve 2010 yılından itibaren HİDROMEK şirketinde makine tasarımı alanında çeşit pozisyonlarda görev almıştır. Halen Telehandler Mühendislik Yöneticisi olarak görev yapmaktadır.