

# PTFE ÜRÜNLERDE GELİŞMELER VE SIZDIRMAZLIK TEKNOLOJİSİNDE KULLANIM ALANLARI

**Ozan DEVLEN**  
**Kubilay SAKARYA**

## ÖZET

Günümüzde sızdırmazlık elemanlarından hız, sıcaklık, çeşitli ortamlara dayanım ve çevre dostu çözümler için gerekli yüksek verimliliği sağlayacak düşük sürtünme değerleri talep edilmektedir. Bu talepleri karşılama noktasında PTFE ürünler başarılarını kanıtlamışlardır. Bu bildiriye, PTFE sızdırmazlık elemanlarının gelişimi, avantajları, kullanım alanları, elde edilen test sonuçları ve bu sonuçların değerlendirilmeleri verilmiş, PTFE ürünlerin, boğaz, piston, yataklama ve toz keçesi sızdırmazlık elemanı olarak avantajları sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** PTFE, Katkı malzemeleri, Sızdırmazlık elemanları, PTFE boğaz keçesi, PTFE piston keçesi, PTFE yataklama, PTFE toz keçesi.

## ABSTRACT

Ever increasing demand in sealing solutions require seals to perform higher speeds, higher temperatures, various media and with low friction which would allow environmental friendly solutions. PTFE products have proven success at meeting these demands. In this paper, the development of PTFE seals, benefits, area of usage, test results and evaluation of these results are given and the advantages of PTFE products as rod and piston seals, guide element and wipers are presented.

**Key Words:** PTFE, Fillers, Sealing elements, PTFE rod seal, PTFE piston seal, PTFE guide ring, PTFE wiper.

## 1. GİRİŞ

1840'larda, Charles Goodyear kauçuğu kürlemek için sülfür kullanmış ve bunun patentini almıştır. 1858'e kadar kauçuk, gıda sektöründeki kavanozlarda statik sızdırmazlık elemanı olarak kullanılmıştır. Fakat dinamik sızdırmazlık elemanları olarak hala yağ emdirilmiş deri kullanılmıştır.

Kauçuk keçelerin genel hizmette kullanılmaya başlandığı 1920'li yılların sonunda pistonlar için sentetik kauçuk keçeler kullanılmıştır. Aynı zamanda kauçuk, yağ keçelerinde de kabul görmüştür.

1937 yılında halka şeklinde olan ve kauçuktan imal edilen, kanallara tam ölçüsünde oturan O-ringler üretilmiştir. Bununla bir silindir içinde kayan pistonun sızdırmazlığı sıkı ve güvenilir bir şekilde sağlanmıştır. O-ringin patenti 1939 yılında alınmıştır. Lakin ikinci dünya savaşı sırasında ki mekanik gelişimle birlikte O-ringler de yetersiz kalmıştır.

O-ringlerle aynı zamanda PTFE (Polytetrafluoroethylene) keşfedilmiştir. Manhattan Projesinde valflerin kaplamasında ve yüksek derecede reaktif olan uranyum hekza florid taşıyan boruların sızdırmazlığında kullanılmıştır.

Yüksek erime sıcaklığı (327°C) ve morfolojik karakteristiği sayesinde reçine bazlı katkı maddelerinin 260°C sıcaklığa kadar çalışmasını sağlar. Sıcaklık çevrimi süresince malzeme çökmesine, ısıl yaşlanmaya ve fiziksel özelliklerindeki değişime karşı direnç gösteren PTFE, sıvı nitrojen (-196°C), sıvı hidrojen (-253°C) ve sıvı helyum (-269°C) gibi kriyojenik sıcaklıklarda kritik ortamların sızdırmazlığında da kullanılmıştır.

PTFE bilinen tüm katılar arasında en düşük sürtünme katsayısına sahip olanlardandır. Kendi kendini yağlama özelliğiyle dinamik sızdırmazlık uygulamalarında devamlı kuru çalışma imkânı sağlar.

Kimyasal özelliklerinden dolayı elastomerler gibi çapraz bağ kuramaz. Bu nedenle elastomerler gibi akıllı malzeme olarak adlandırılmaz ve sürünme (creep) davranışı gösterir. Ancak, sızdırmazlık elemanının sürünmesini azaltmak için dolgu malzemeleri kullanılır. Böylece aşınma direnci artırılır ve sürünme düşürülür.

1950'li yıllarda ise sızdırmazlık elemanlarına olan ihtiyacın artmasıyla aşınma direncinin iyileştirilmesi için çeşitli katkı maddeleri geliştirilmiştir. Cam elyaf ve karbonla birlikte renk katkıları da yapılmıştır. Geliştirilen ürünler hızla büyüyen havacılık ve uzay endüstrisine sunulmuştur.

1970'lerde Avrupa'da yapılan çalışmalar sonucunda ilk defa yağlama gerektirmeyen boğaz keçeleri üretilmiştir. Eş zamanlı olarak katkılı PTFE'ler yağ keçesi olarak da kullanılmaya başlanmıştır. İlk tasarımlar; saf deriden olan yağ keçelerinin yapısında, PTFE rondelâ bükülerek veya metal bir yatağa mühürlenerek üretilmiştir. Bu yöntemle üretilen sızdırmazlık elemanları hala geniş alanda kullanılmaktadır ve az sayıda keçe üretimi için bu yöntem uygundur.

Elastomer, PUR, bez malzemeler ve bunun gibi birçok diğer malzemedan yapılan keçelerin, sıcaklık, kimyasal direnç veya sürtünme ve aşınma ihtiyaçlarının karşılanamadığı yerlerde PTFE'den imal edilen keçeler kullanılır.

## 2. KATKILI PTFE TÜRLERİ

Bu bölümde PTFE ürünler katkı malzemelerine göre sınıflandırılmıştır. Bu ürünlerin mekanik özellikleri karşılaştırılmış, avantajlarına ve dezavantajlarına göre kullanım alanlarında yarattıkları farklar gösterilmiştir.

Düşük sürtünme katsayısı, yapışmama özelliği, kimyasallara ve çeşitli yağlara karşı yüksek direnç gösterme gibi özelliklerinden dolayı mükemmel bir keçe ve conta malzemesi olan PTFE'nin, sızdırmazlık uygulamalarındaki dezavantajı iki tanedir. Bunlar; yük altında deformasyon (soğuk plastik şekil değiştirme) ve yumuşaklıktır. Soğuk plastik şekil değiştirme, statik keçelerde kritik bir sorun iken dinamik keçelerde de yumuşaklık büyük aşınmalara sebep olabilir. Bu sorunları aşmak için PTFE matrisine modifikasyon (TFM PTFE) ve dolgu ilavesi yapılır. Bu dolgu malzemeleri organik veya inorganik olabilir. Tablo 1'de tipik inorganik dolgu malzemelerinin türleri, kodları ve sertlik değerleri verilmiştir.

PT6004 kodlu cam elyaf, pigment ve MoS<sub>2</sub> katkılı PTFE içerdiği MoS<sub>2</sub>'in özellikle yüksek sıcaklıklarda yağlayıcı özelliğinden ötürü genellikle kuru çalışan yataklama, yastık ve takım tezgâhlarında kayar yüzey olarak kullanılır. Aşınmaya ve abrazyona karşı direnciyle ve yüksek sıkışma özellikleriyle sert yüzeylerde iyi sonuçlar verir. Genellikle; kompresörlerde, pompalarda, otomotiv sektöründe, yalıtkan malzeme olarak elektrik sektöründe ve lineer kızaklarda kullanılır.

Polyamid katkılı PTFE kuru uygulamalardaki en düşük sürtünme katsayısına sahip dolgulu malzemedir. PT5502 kodlu bu malzeme yataklamalarda ve gıda sektöründeki kayar parçalarda veya alüminyum, bakır alaşımları ve polimerik yüzeyler gibi yumuşak malzemelerle temas halinde olan uygulamalarda da kullanılabilir. Hava kompresörlerinde, yataklamada, otomotivde, yalıtkan malzeme olarak, lineer kızaklarda ve tekstil makinelerinde tercih edilir.

PT5503 kodlu mineral katkılı PTFE'leri ön plana çıkaran en önemli özelliği geniş sıcaklık aralığında çalışabilirken, mükemmel yük ve aşınma karakteristiği göstermesidir. Hemen hemen her asit, baz ve çözücüye dirençlidir. Bu özelliğiyle gıda ve eczacılık sektöründe yataklama malzemesi olarak kullanılır. Ayrıca kompresörlerde, pompalarda, otomotiv sektöründe çalıştığı yüzeyle büyük bir uyum gösterdiği için tercih edilir.

**Tablo 1.** Katkılı PTFE'lerin İçeriği, Ürün Kodları ve Sertlik Değerleri.

Malzeme Tanımı	Kodu	Sertliği
Saf PTFE	PT5501	55 Shore D
Karbon + PTFE	PT6002	63 Shore D
Bronz + MoS <sub>2</sub> + PTFE	PT6003	58 Shore D
Cam Elyaf + MoS <sub>2</sub> + Pigment PTFE	PT6004	60 Shore D
Polyamid + PTFE	PT5502	55 Shore D
Mineral Dolgu + PTFE	PT5503	55 Shore D
Karbografit + PTFE	PT6005	60 Shore D
Grafit + PTFE	PT5504	55 Shore D
Cam Elyaf + MoS <sub>2</sub> + PTFE	PT5505	55 Shore D
LCP + PTFE	PT5506	55 Shore D
PTFE + %40 Bronz + %2 Karbon	PT6006	58 Shore D
PTFE + %50 Bronz + %3 MoS <sub>2</sub>	PT6007	60 Shore D
PTFE + %60 Bronz + %2 Karbon	PT6008	62 Shore D
PTFE TFM	PT6009	60 Shore D

Karbografit katkılı olan PT6005 kodlu malzeme yataklama ve kayar parçalarla otomotiv uygulamalarında ve yağlama olmadan git-gel hareketinin olduğu kompresörlerde pistonu taşıyan halka malzemesi olarak kullanılır. Bunun nedeni çok iyi yük taşıma özelliğinin yanı sıra düşük sürtünme karakteristiği ile yüksek aşınma direncidir. Bu özelliklerine ilave olarak termal ve elektrostatik dağılımının iyi olması, ıslak çalışma şartlarında ve kimyasal aşındırıcılarla uyumlu çalışabilmesi verilebilir.

Hassas çalışan paslanmaz çelik gibi yüzeyler için abrasif etkisi olmayan PT5504 kodlu grafit katkılı PTFE uygundur. Deformasyona karşı yüksek direnci, çok düşük sürtünme katsayısı ile termal ve elektrostatik karakteristikleri avantaj gibi görünmesine rağmen çok kuru ortamlarla, elektriksel yalıtımın istenildiği uygulamalarda kullanılması önerilmez.

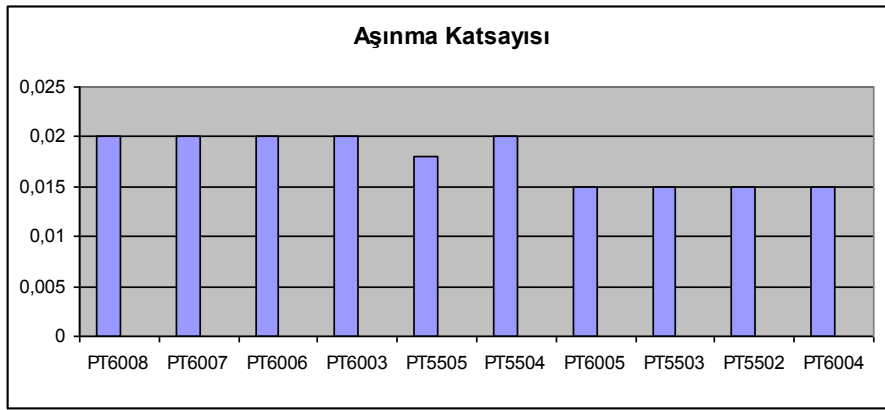
PT5505 kodlu, cam elyaf ve MoS<sub>2</sub> katkılı PTFE, çok kuru ortamlarda mükemmel aşınma direnci sayesinde, hidrojen ve doğal gaz kompresörlerinde kullanılmasıyla özelleşmiştir. Hemen hemen tüm kimyasallara karşı dirençli olmasından dolayı koroziflerin ve asitlerin bulunduğu ortamlara bazen iz bıraksa da dayanım gösterir. Bu özellikleriyle kompresörlerde, pompalarda, yataklarda, otomotiv sektöründe lineer kızaklarda ve yalıtkanlarda kullanılır.

Katkılı PTFE'ler arasında bronzun yeri diğerlerinden çok farklıdır. İhtiyaçlar doğrultusunda çok değişik oranlarda ve yapıda piyasada bulunur. Mesela %60 bronz katkısı, saf PTFE'nin gösterdiği aşınmanın yalnızca %0.25'ini göstermektedir ki bu muazzam bir iyileştirmedir. Mükemmel mekanik özellikleri takım tezgâhlarında işlenirken avantaj sağlar. Kendini yağlaması, aşınmaya olan direnci, tekrarlanabilirliği, ölçüsel kararlılığı, titreşim sönmüleyebilmesi ve aşınma konusunda uzun ömürlü olması diğer katkılı maddelere göre fark yaratan özellikleridir. Aynı zamanda bakım gerektirmeyecek

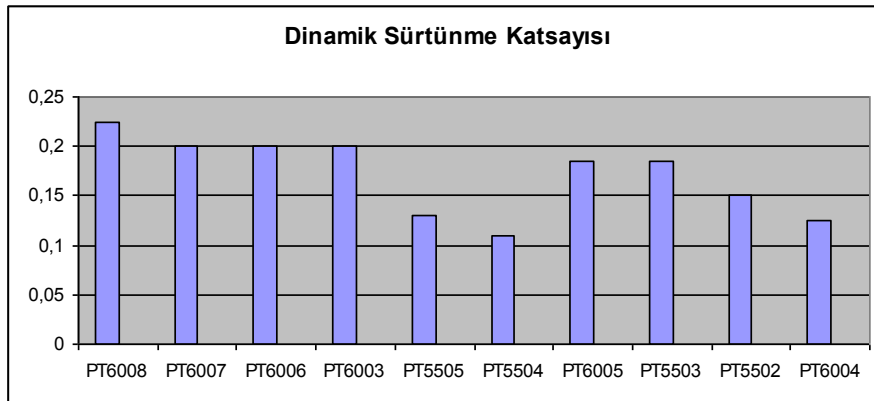
şekilde yağlı veya yağsız ortamlarda da çalışabilirler. Yüksek sıcaklıklarda kuru koşullarda sürtünmeye ve aşınmaya karşı dirençleri zayıftır. Bronz katkılı PTFE malzemeler yüksek ekstrüzyon ve aşınma dayanımı gösterdiğinden sızdırmazlık elemanlarında aktif olarak kullanılsa da çok kritik uygulamalarda tercih edilmemelidir. Çünkü bronz görece yumuşak bir malzeme olduğu ve zorlu uygulamalarda örneğin yüksek temas sıcaklıkları oluştuğunda tribo-oksidasyon sonucu sert partiküller (sülfidler ve oksitler) oluşabilir ve bronz parçacıkları, sert partiküllerin tutunması için iyi bir alt tabaka teşkil ederek sert parçacıkların aşındırıcılığını arttırabilir [1].

%40 bronz katkısıyla PT6003 ürünlerinde piyasa ihtiyacına göre farklı pigmentler de eklenmektedir. Mükemmel mekanik özellikleriyle takım tezgâhlarında işlenmeye uygundur. Kendinden yağlama özelliği ve aşınmaya olan direnci sayesinde daha iyi pozisyon kesinliği, tekrarlanabilirlik, titreşim sönmüleme minimum aşınmayla uzun ömür sağlar. Boyutlarının kararlı olmasından dolayı bakım gerektirmez ve bu haliyle yağlı veya kuru ortamlarda çalışabilir. Kompresörler, pompalar, otomotiv sektörü, lineer kızaklar, yalıtkanlık malzemeleri ve takım tezgâhları başlıca kullanım alanlarıdır. PT6006, PT6007 ve PT6008 kodlu malzemeler sırasıyla %40 bronz + %2 Karbon, %50 bronz + %3 MoS<sub>2</sub>, %60 bronz + % 2 karbon katkılıdır ve 58 shore D, 60 shore D ve 62 shore D sertliğindedir.

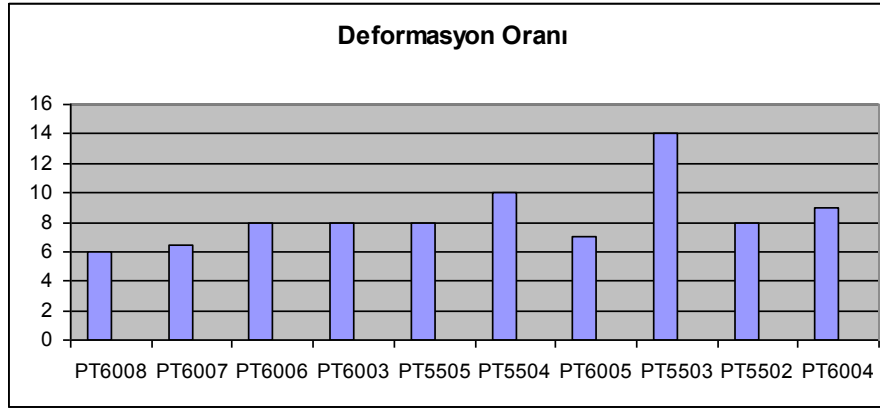
Katkılı PTFE'ler aşağıda verilen Grafik 1, Grafik 2, Grafik 3 ve Grafik 4'deki mekanik özellikleri doğrultusunda farklılık gösterir. Değişik uygulamalar için geliştirilen bu ürünler takım tezgâhlarında işlemek için mükemmeldir.



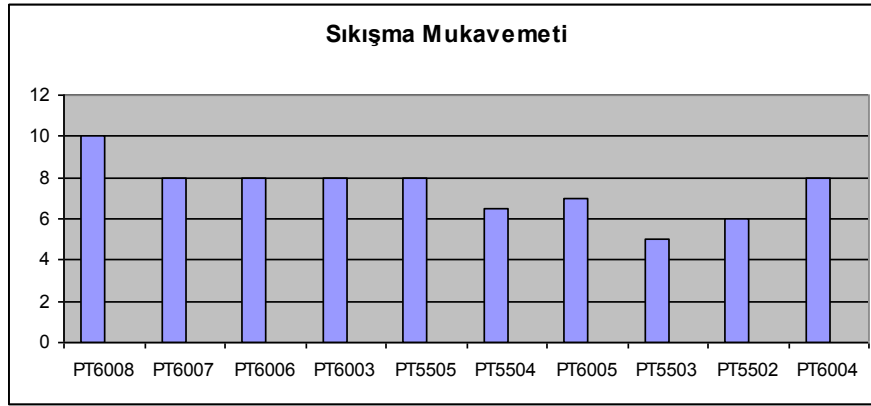
**Grafik 1.** Aşınma Katsayıları ( $PV = 0,7 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{m/s}$ ) Karşılaştırma Grafiği.



**Grafik 2.** Dinamik Sürtünme Katsayıları ( $PV = 0,7 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{m/s}$ ) Karşılaştırma Grafiği.



**Grafik 3.** 13,7 N/mm<sup>2</sup> Basınç Altında 24 Saat Süresince ve Oda Sıcaklığında Deformasyon Oranı Karşılaştırma Grafiği.



**Grafik 4.** %1 Deformasyonda Sıkışma Mukavemeti Karşılaştırma Grafiği.

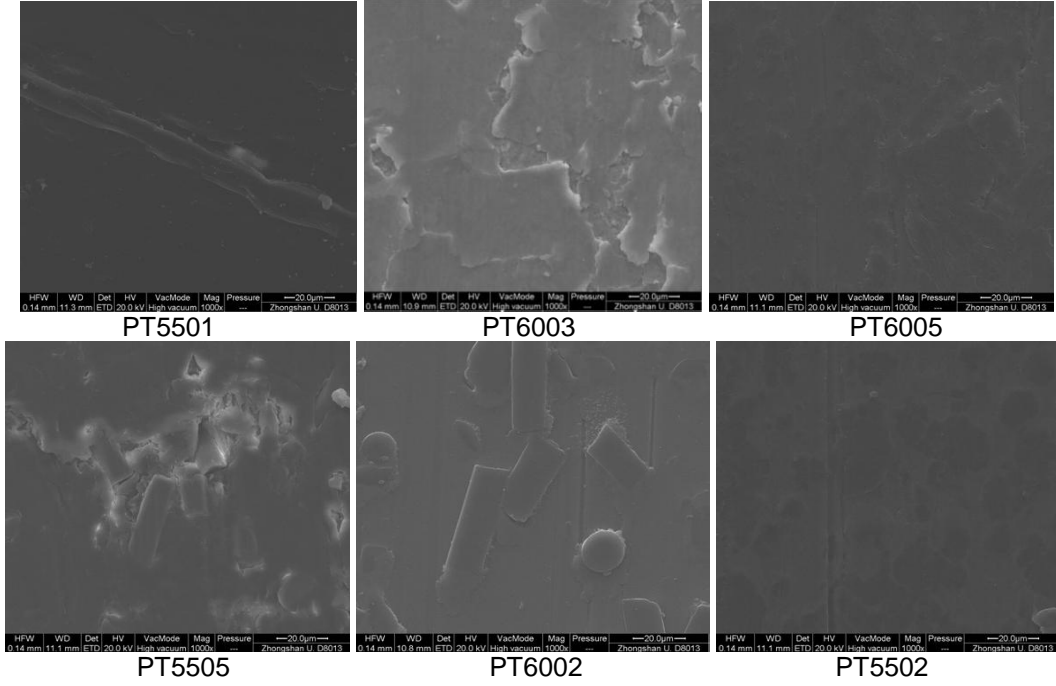
Bu malzemelerin keçe endüstrisinde kullanımının sonuçlarının görülebilmesi için sürtünme ve aşınma testleri oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda yapılmıştır[2].

Oda sıcaklığında elde edilen sonuçlara göre ilk hareket anında ve sonrasında katkısız PTFE'nin en düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Bunun en büyük nedeni katkı malzemelerinin sert olan yapısıdır. Fakat aynı şeyi aşınmanın derinliği için söylememiz mümkün değildir. Tüm katkı maddeli PTFE'lerin aşınma derinliği saf PTFE'den daha düşüktür. Karbon katkısından ötürü PT6002 malzemesi en düşük aşınma derinliğine sahiptir. Tablo 2'de sürtünme katsayıları ve aşınma derinlikleri görülmektedir.

**Tablo 2.** Oda Sıcaklığında Malzemelerin Aşınma Derinliği ve Sürtünme Katsayısı Değerleri [2].

Malzeme	Aşınma Derinliği (mm)	Sürtünme Katsayısı
PT5501	17,4	0,16
PT6003	5,7	0,21
PT6005	6	0,17
PT5505	6,5	0,22
PT6002	5,8	0,2
PT5502	7,2	0,18

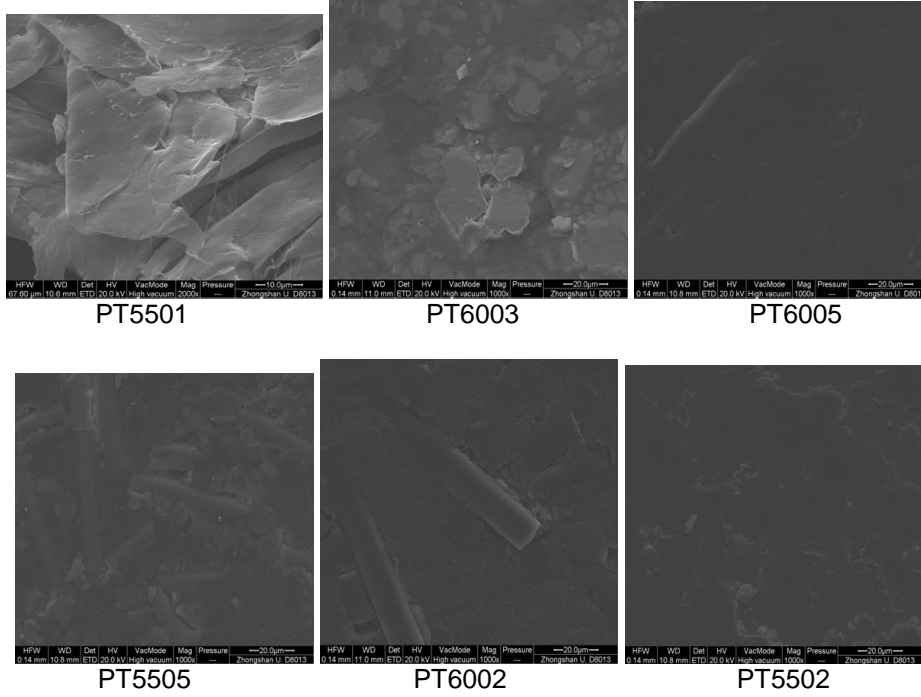
Aşınan yüzeylerin SEM (taramalı elektron mikroskobu) sonuçları Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Saf ve Katkılı PTFE'lerin Oda Sıcaklığında Çalıştırılması Sonucunda Aşınmış Yüzeylerinin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Mikrografları [2].

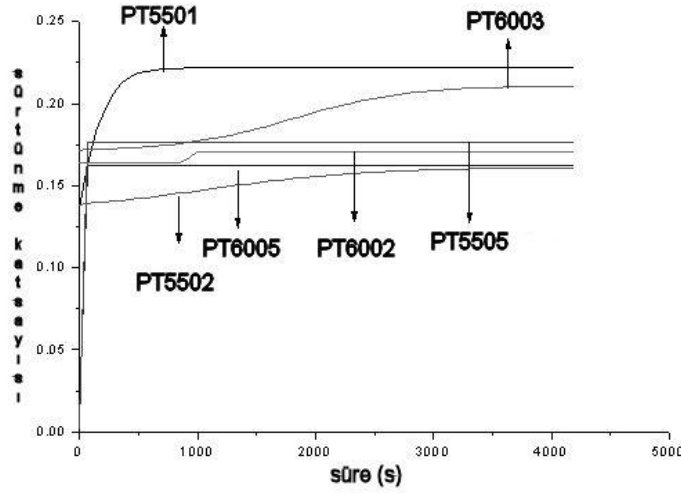
Şekil 1.'de kolaylıkla görülebilir ki en az aşınan yüzeyler grafit ve karbon katkılı PTFE'lerdir. Ayrıca cam elyaf ve karbon katkılı PTFE'lerdeki katkı malzemeleri mikrografta görülmektedir.

Şekil 2.'de ise yüksek sıcaklık altında yapılan çalışma sonrasında yüzeylerde oluşan aşınmalar gösterilmiştir.



**Şekil 2.** Saf ve Katkılı PTFE'lerin Yüksek Sıcaklıklarda Çalıştırılması Sonucunda Aşınmış Yüzeylerinin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Mikrografları[2].

Bu sonuçlarda saf PTFE olan PT5501in yüzeyinde oluşan geniş aşınmalar gözlemlenebilmektedir. PT6003ün yüzeyi pürüzlüdür ve bunun sonucunda artıklar oluşmuştur. En pürüzsüz yüzeyi ise karbon ve grafit katkı PTFE'lerdedir.



Şekil 3. Yüksek Sıcaklıkta Saf PTFE ve Katkılı PTFE'lerin Sürtünme Katsayısı.

Şekil 3'ten anlaşıldığı üzere sürtünme özellikleri oda sıcaklığıyla yüksek sıcaklık arasında farklıdır. Saf PTFE'nin sürtünme katsayısı yüksek sıcaklıkta katkı PTFE'lerin hepsinden yüksektir. Fakat oda sıcaklığında en düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda saf PTFE yumuşar, viskoelastik davranışı değişir, sürünme dayanımı zayıflar ve böylece sürtünme katsayısı artar. Bu durum bronz katkı PTFE olan PT6003 içinde böyledir. Karbon ve grafit, cam elyaf, karbon fiber ve polimer katkı PTFE'lerin sürtünme katsayıları düşüktür, sıcaklık yükseldikçe, transfer filmi daha kalın bir biçim alır. Karbon ve grafit katkı PTFE'ler diğerlerinden daha düşük sürtünme katsayısına sahipken polimer katkı PTFE'ninki en düşüktür.

Sonuç olarak katkı maddeleri genel anlamda sertlik ve aşınma direncini artırırken sürtünme katsayısının çok az değişmesini fakat buna rağmen düşük değerlerde kalmasını sağlar. Göze çarpan diğer bir özellik ise Saf PTFE'nin oda şartlarında en düşük sürtünme katsayısına sahipken yüksek sıcaklıklarda en yüksek sürtünme katsayısında sahip olmasıdır. Karbon ve grafit katkı PTFE ise yüksek sıcaklıklarda en iyi aşınma özelliğine sahiptir ve oda şartlarında da diğerlerine göre daha iyi aşınma özellikleri vardır.

### 3. PTFE SIZDIRMAZLIK ELEMANLARI

PTFE katkı malzemeler sektörde ihtiyaçlar doğrultusunda sıklıkla kullanılmaktadır. Temel olarak boğaz, piston ve toz keçeleri ayrıca yataklama elemanı olarak bulunurlar. Bu bölümde kullanıldıkları yerler üzerinden gruplandırma yapılmıştır.

#### 3.1 Boğaz Keçeleri

Hidrolik silindirlerdeki keçeler arasında en önemli keçelerden biri de boğaz keçeleridir. Bu keçelerde oluşacak bir sızıntı en ağır sonuçlara sebep olur, bu nedenle doğru keçe seçimi çok önemlidir. PTFE boğaz keçeleri yüksek ve alçak basıncın bir arada olduğu ve sıklıkla sıcaklığın yüksek ve düşük olarak değişim gösterdiği durumlarda sızdırmazlığı sağlamaktadır. Diğer birçok boğaz keçasinden farklı olarak PTFE boğaz keçeleri en zor şartlara dayanıklıdır.

### O-ring Destekli PTFE Boğaz Keçesi

Bu boğaz keçeleri, bronz katkılı bir sızdırmazlık ringi ve itici ring olarak kullanılan kauçuk O-ringden oluşan iki parçalı tek etkili boğaz sızdırmazlık elemanlarıdır.

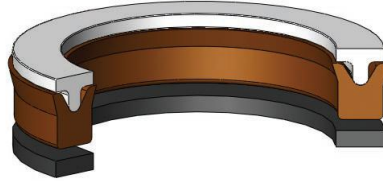


Şekil 4. K35 Boğaz Keçesi.

Bu boğaz keçeleri uzun statik duruşlarda yapışmama özelliği, özel formu nedeniyle çift veya nutring önünde kullanılabilmesi, uzun kullanım süresi, yüksek hız dayanımı, seçilen O-ring malzemesine bağlı olarak çeşitli kimyasallarla ve geniş sıcaklık aralığında çalışabilmesi, düşük sürtünme katsayısı ile statik ve dinamik durumlarda yüksek sızdırmazlık sağlamasıyla avantaj sağlar. Bu özelliklerinden ötürü özellikle endüstriyel makineler, enjeksiyon tezgahları, mobil araçlar, otomotiv sektör, sac işleme makineleri, hidrolik kırıcılar ve servo silindirlere kullanılır.

### Yüksek Basınç Sızdırmazlık Elemanı Seti

Şekil 5'de görülen yüksek basınç sızdırmazlık elemanı seti, ön adaptör, su ve su- yağ karışımlarında kullanılmak için özel karışım bezli kauçuktan imal edilen V manşet ve destek ringi ile üç parçadan oluşan boğaz sızdırmazlık elemanıdır.



Şekil 5. K151 Yüksek Basınç Sızdırmazlık Elemanı Seti

Böyle bir tasarımın yüksek hızlarda kullanılabilme, suda ve su-yağ karışımlarında çalışabilmesi, uzun ömürlü olması ve kolay monte edilebilmesi gibi avantajları sayesinde yüksek basınçlı yıkama makinelerinde kullanılması uygundur.

### İtici Yaylı PTFE Boğaz Keçesi

Karbon katkılı PTFE'den oluşan bu boğaz keçeleri sızdırmazlık görevini yapan PTFE ring ve itici yaydan oluşan iki parçalı tek etkili sızdırmazlık elemanlarıdır.



Şekil 6. K701 Boğaz Keçesi.

Yay sayesinde üstün statik ve dinamik sızdırmazlık özelliği, kimyasallar karşı dayanımının yüksek olması, uzun duruşlarda dahi mükemmel yapışmazlık özelliği, zor şartlarda çalışabilmesi, uzun kullanım süresi, sıcaklık değişimlerine mükemmel uyum sağlayabilmesi, steril edilebilme özelliği ve statik ve dinamik sürtünme kuvvetlerinin düşük olması nedeniyle hidrolik ve pnömatik silindirlere, sıcak su vanalarında, valflerde, pompalarda kullanılır. Kimya ve sağlık sektöründe kullanımı uygundur.



### O-ring Destekli Döner Boğaz Keçesi

Şekil 7'da görülen bronz katkılı PTFE'den imal edilen bu boğaz keçeleri, özel formulu PTFE sızdırmazlık ringi ve kauçuk O-ringden oluşan, iki parçalı çift etkili sızdırmazlık elemanıdır.



Şekil 7. K702 Boğaz Keçesi.

Doğrusal ve çevresel yüksek hız dayanımı, uzun statik duruşlarda yapışmama özelliği, dar kanallarda kullanılabilmesi, uzun kullanım süresi, seçilen O-ring malzemesine bağlı olarak çeşitli kimyasallarla ve geniş sıcaklık aralığında çalışabilmesi, düşük sürtünme katsayısı ile statik ve dinamik durumlarda yüksek sızdırmazlık sağlaması büyük avantaj oluşturur. Bu avantajlar göz önüne alındığında döner kule tasarımları, araç üstü ve mobil hidrolik uygulamalarda kullanılması uygundur.

### Kare-ring Destekli PTFE Boğaz Keçesi

Şekil 8'de gösterilen K704 boğaz keçesi bir itici elastomer ring ve özel karışım PTFE sızdırmazlık ringinden oluşan iki parçalı tek etkili boğaz sızdırmazlık elemanıdır. Özel tasarımı sayesinde kanal içinde dönmez. Düşük sürtünme katsayısı ve yapışmama özelliği vardır. Malzemesi PT6003 olduğu için yüksek aşınma dayanımı gösterir. Özel profilli elastomer ring nedeniyle yüksek kontak basıncı oluşturur. Büyük çaplı silindirelerde ve yüksek performans gerektiren ağır hizmet uygulamalarında tercih edilir. Bu avantajlarıyla enjeksiyon makinelerinde, preslerde ve demir çelik endüstrisinde kullanılır.



Şekil 8. K704 Boğaz Keçesi.

### 3.2. Piston Keçeleri

Piston Keçeleri, boğaz keçeleri gibi sızıntıya bağlı olarak basınç düşümü, aşırı sürtünme, erken aşınma gibi istenmeyen etkilerden sakınmak için teknik ihtiyaçlara uygun olarak üretilmelidir. Genel olarak yüksek elastisite modülü, abrazyona karşı direnç, düşük sürtünme katsayısı ve akışkanlara iyi direnç gösterme gibi kendine özgü özellikleri olmalıdır. Ayrıca sınırlandırılmış radyus, kolay ve erişilebilir yivler imalatı ve montajı kolaylaştırır.

### O-ring Destekli PTFE Piston Keçesi

Şekil 9'da görülen bronz katkılı PTFE piston keçeleri, PTFE sızdırmazlık ringi ve itici ring olarak kullanılan O-ringden oluşan iki parçalı çift etkili piston sızdırmazlık elemanlarıdır.



Şekil 9. K17 Piston Keçesi.

Uzun statik duruşlarda yapışmama özelliği, piston başının tek parça ve küçük olması, uzun kullanım süresi, yüksek kayma hız değerleri, seçilen O-ring malzemesine bağlı olarak çeşitli kimyasallarla ve geniş sıcaklık aralığında çalışabilmesi, düşük sürtünme katsayısı, statik ve dinamik durumlarda yüksek sızdırmazlık sağlamasıyla fark yaratan bu piston keçesinin enjeksiyon makinelerinde, preslerde, ekskavatörlerde, fork-liftlerde, kaldırma platformlarında, tarım silindirlerinde, hidrolik ve pnömatik valf sistemlerinde kullanıma uygundur.

### İtici Ring Destekli Kompakt Piston Keçesi

Bir adet PTFE sızdırmazlık ringi, bir adet kauçuk itici ring ve iki adet PTFE destek ringinden oluşan çift etkili piston sızdırmazlık elemanı olan ve Şekil 10'da görülen bu piston keçesi bronz katkılı PTFE'den üretilmiştir.



Şekil 10. K19 Ağır Hizmet Piston Keçesi.

Yüksek kayma hızlarına çıkabilmesi, uzun statik durumlarda yapışmaması, basit kanal dizaynı, sürtünme direncinin düşük olması, uzun süre kullanılabilmesi ile değişken ve yüksek basınçlarda son derece iyi sızdırmazlık sağlaması gibi olumlu özellikleriyle maden makinelerinde, ağır hizmet silindirlerinde ve iş makinelerinde kullanılır.

### O-ring Destekli PTFE Piston Keçesi

Özel karışimli PTFE ring ve itici ring olarak kullanılan O-ringden oluşan iki parçalı tek etkili piston sızdırmazlık elemanı olan bu tasarım da bronz katkılı PTFE'den üretilmiştir.



Şekil 11. K41 Piston Keçesi.

Uzun statik duruşlarda yapışmama özelliği, piston başının tek parça ve küçük olması, uzun kullanım süresi, yüksek hız dayanımı, seçilen O-ring malzemesine bağlı olarak çeşitli kimyasallarla ve geniş sıcaklık aralığında çalışabilmesi, düşük sürtünme katsayısı, statik ve dinamik durumlarda yüksek sızdırmazlık sağlaması sebebiyle enjeksiyon makinelerinde, preslerde, ekskavatörlerde, fork-liftlerde, kaldırma platformlarında, tarım silindirlerinde, hidrolik ve pnömatik valf sistemlerinde kullanıma uygundur.

### İtici Yaylı PTFE Piston Keçesi

Şekil 12'de görülen ve sızdırmazlık görevini yapan PTFE ring ve itici yaydan oluşan iki parçalı tek etkili sızdırmazlık elemanı olarak; yay sayesinde üstün statik ve dinamik sızdırmazlık, kimyasallara karşı dayanımın yüksek olması, uzun duruşlarda mükemmel yapışmazlık, zor şartlarda çalışabilme, uzun kullanım süresi, sıcaklık değişikliklerine mükemmel uyum sağlayabilmesi, sterilize edilebilmesi, statik ve dinamik sürtünme kuvvetlerinin düşük olması gibi özellikleriyle avantaj sağlayan bu model karbon katkılı PTFE'den üretilmiştir. Hidrolik ve pnömatik silindirler, sıcak su vanaları, valfler, pompalarda ve gıda, kimya, sağlık sektörlerinde kullanılır.



**Şekil 12.** K751 Piston Keçesi.

### O-ring Destekli PTFE Döner Piston Keçesi

Şekil 13’de gösterilen bu piston keçeleri, özel formlu PTFE sızdırmazlık ringi ve kauçuk O-ringden oluşan, iki parçalı çift etkili sızdırmazlık elemanlarıdır.



**Şekil 13.** K752 Piston Keçesi.

Doğrusal ve çevresel yüksek hız dayanımı, uzun statik duruşlarda yapışmama, dar kanallarda kullanılabilmesi, uzun kullanım süresi, seçilen O-ring malzemesine bağlı olarak çeşitli kimyasallarla ve geniş sıcaklık aralığında çalışabilmesi, düşük sürtünme katsayısı, statik ve dinamik durumlarda yüksek sızdırmazlık sağlaması gibi avantajları vardır. Bu avantajları sayesinde dönen kule tasarımları, araç üstü ve mobil hidrolik uygulamalarında kullanıma uygundur.

### O-ring Destekli X-ring Sızdırmazlık Ringli PTFE Piston Keçesi

Özel tasarımı PTFE ring, dinamik sızdırmazlık görevini gören X-ring ve itici ring olarak kullanılan O-ringden oluşan üç parçalı çift tesirli hidrolik piston sızdırmazlık elemanıdır.



**Şekil 14.** K753 Piston Keçesi.

Şekil 14’de gösterilen bu piston keçesinin seçilen O-ring ve X-ring malzemesine bağlı olarak çeşitli kimyasallarla ve geniş sıcaklık aralığında çalışabilmesi, düşük sürtünme katsayısı, statik ve dinamik durumlarda yüksek sızdırmazlık, Akışkan/akışkan, akışkan/gaz gibi farklı ortamlarda sızdırmazlığı sağlaması, uzun statik duruşlarda yapışmama özelliği ve piston başının tek parça ve küçük olmasından dolayı; akümülatör silindiri, ağır hizmet süspansiyon silindirleri ve özel presler için kullanılır.

### Kare-ring Destekli PTFE Piston Keçesi

Şekil 15’de görülen piston keçesi bir itici elastomer ring ve özel karışimli PTFE sızdırmazlık ringinden oluşan iki parçalı çift etkili piston sızdırmazlık elemanıdır. Özel dizaynı sayesinde kanal içinde dönmez. Malzemesi PT6003 olduğu için düşük sürtünme, yapışmama özelliğine, yüksek aşınma dayanımına sahiptir. Özel profilli elastomer ring nedeni ile yüksek kontak basıncına dayanabilir. Bu özelliklerinden ötürü enjeksiyon makinelerinde, preslerde, geniş çaplı silindirlere ve demir çelik endüstrisinde kullanılır.



**Şekil 15.** K755 Piston Keçesi.

### 3.3. Toz Keçeleri

Çok çeşitli şartlarda yüksek performans beklenen hidrolik silindirler için bir önemli eleman da toz keçeleridir.

Harici abrasif toz boğaz keçesinin aşınmasına yol açar. Bu ciddi dezavantaj yüzünden sentetik kauçuktan yapılan toz keçeleri yerini daha uzun süre dayanımlı, kirlı ve kumlu ortamlarda daha iyi aşınma direnci gösteren poliüretanlara bırakmıştır. Daha sona toz tutma özellikleri ve düşük sürtünme katsayıları ile PTFE toz keçeleri kullanılmaya başlanmıştır.

Sisteme girebilecek partiküller boğazda olduğu gibi toz keçesini de statik olarak etkiler. Toz keçesinin dış yüzeyi gerçekçi bir sızdırmazlık için büyük önem taşır.

#### O-ring Destekli PTFE Toz Keçesi

Bronz katkılı PTFE'den üretilen toz keçeleri, dış ortamdan gelebilecek zararlı partiküllerin silindir içine girmesini önleyen dudağı ve mil üstündeki yağ filmini sıyıran özel formulu PTFE ring ve kauçuk itici O-ring'den oluşan iki parçalı sızdırmazlık elemanlarıdır.



**Şekil 16.** K703 Toz Keçesi.

Şekil 16'da görülen toz keçesi uzun kullanım süresiyle, yüksek hız dayanımı, seçilen O-ring malzemesine göre bağılı olarak çeşitli kimyasallarla ve geniş sıcaklık aralığında çalışabilmesi, düşük sürtünme katsayısı, uzun statik duruşlarda yapışmama özelliğı, ikinci dudağı sayesinde mil üzerindeki yağ filmi kalınlığının minimum seviyeye indirilmesi, geniş ölçü aralığı gibi avantajlarıyla endüstriyel makineler, alüminyum enjeksiyon tezgahları ve araç üstü sektöründe kullanıma uygundur.

#### Çift O-ring Destekli PTFE Toz Keçesi

Şekil 17'de görülen K705 toz keçeleri, dış ortamdan gelebilecek zararlı partiküllerin silindir içine girmesini engelleyen dudağı ve mil üstündeki yağ filmini sıyıran özel formulu PTFE ring ve kauçuk iki adet itici O-ringden oluşan üç parçalı sızdırmazlık elemanlarıdır. Malzemesi PT6003 olduğu için düşük sürtünme, yapışmama ve yüksek aşınma dayanımı gibi özelliklere sahiptir. Kısa stroklu ve yüksek çalışma frekansına sahip silindirlerde yüksek performans gösterir. Bundan dolayı enjeksiyon makineleri, presler, geniş çaplı silindirler ve tarım makineleri başlıca kullanım alanlarıdır.



**Şekil 17.** K705 Toz Keçesi.

### 3.4. Yataklama Elemanı

Hidrolik ve pnömatik sistemlerin uzun süre sorunsuz çalışmalarında, kullanılan yataklama elemanlarının önemli etkileri bulunmaktadır. Hidrolik ve pnömatik silindirlerde eksene dik gelen kuvvetler, sistem üzerinde bir takım momentler yaratacaktır. Sistemde oluşan bu momenti karşılayacak, onların zararlı etkilerini yok edecek yataklama elemanlarına ihtiyaç vardır. Yataklama elemanları, piston başı ile boru veya mil ile boğaz takozu arasında metal yüzeylerin birbirlerine temas ederek zarar görmelerini engeller.

Günümüz silindirlerinin birçoğunda metal yataklama elemanları yerine metal olmayan yataklama elemanları kullanılmaktadır. Metal olmayan yataklama elemanları çok düşük sürtünme katsayısı, mükemmel yastıklama yapabilmeleri, vibrasyonlu sistemlere uyumları, kanala montaj kolaylıkları, dizel etkisi ve hidrodinamik basınç yaratmama özellikleri, talaşlı imalattan gelebilecek aksel kaçıklıkları absorbe edebilme özellikleri ve uygun fiyatlarıyla yoğun olarak uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

#### Bronzlu PTFE Bant Yataklama

Şekil 18'de görülen bronz katkılı PTFE bant yataklamalar, hidrolik ve pnömatik sistemlerde orta hizmet boğaz ve piston uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanmış bant yataklamalardır.



Şekil 18. KBT Yataklama Elemanı.

Kolay monte edilebilmesi, orta kuvvette radyal yüklere karşı yataklama yapabilmesi, şerit olduğu için her çap ölçüsünde kullanılabilmesi, yüzeye yapışmama, yük yastıklama, çok düşük sürtünme katsayısı, kuru çalışabilme özelliği, sistemden gelen küçük partiküllerin batarak bünyesine alabilme özelliği sayesinde iş makineleri, vinçler, enjeksiyon tezgahları, tarım makineleri, standart silindirler, otomasyon uygulamaları ve kimya sektörlerinde kullanılmaktadır.

#### Karbonlu PTFE Bant Yataklama

Şekil 18'deki karbon katkılı PTFE bant yataklamaları, hidrolik ve pnömatik sistemlerde hafif ve orta hizmet boğaz ve piston uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanmış bant yataklamalardır.



Şekil 19. KKT Yataklama Elemanı.

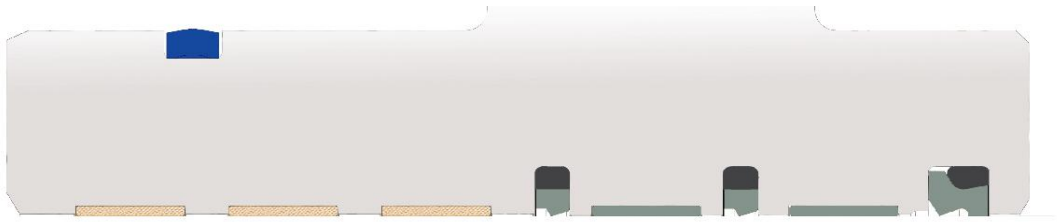
Kolay monte edilebilmesi, orta kuvvette radyal yüklere karşı yataklama yapabilmesi, şerit olduğu için her çap ölçüsünde kullanılabilmesi, yüzeye yapışmama özelliği, yük yastıklama özelliği, çok düşük sürtünme katsayısı, kuru çalışabilme özelliği, sistemden gelen küçük partiküllerin batarak bünyesine

alabilme özelliği sayesinde iş makinelerinde, vinçlerde, enjeksiyon tezgahlarında, tarım makinelerinde, standart silindirlere, otomasyon uygulamalarında ve kimya sektöründe kullanılır.

#### 4. HİDROLİK SİLİNDİRLERDE PTFE SIZDIRMAZLIK UYGULAMALARI

PTFE malzemeli sızdırmazlık elemanlarını diğerlerinden ayrılmasını sağlayan özellikleri arasında imalat kolaylığı büyük yer tutar. Büyük çaplarda talaşlı imalat yöntemleriyle üretilmesi kalıp maliyetlerinin olmamasını ve bekleme sürelerinin minimum olmasını sağlar. Bu durum için şöyle bir örnek verilebilir. Toz keçesinden sızan partiküller herhangi bir yataklama elemanı kullanılmayan konfigürasyonlarda doğrudan ana sızdırmazlık elemanına temas eder. Bir süre sonra partiküller silindir içine girer. Bununla birlikte yüzey pürüzlülüğü artan silindirin honlanması gerekir. Honlama sonrası iç çap değişir ve akma boşluğunun artmasıyla sızdırmazlık elemanı etkisiz hale gelir. Yeni sisteme uygun sızdırmazlık elemanları tasarlanması, kalıbın işlenip hazırlanması ve ardından tasarlanan elemanın üretilmesi gerekir. Bu süreç hem uzun hem de maliyetlidir. Sızdırmazlık elemanının PTFE olması durumunda ise talaşlı imalatla çok kısa sürede imalatının gerçekleştirilmesinin yanında kalıp maliyetinden de kaçılacaktır. Kısa süre içerisinde sisteme monte edilmesiyle de bekleme süresi önemli ölçüde kısalmaktadır.

Statik durumlarda yapışmama PTFE esaslı malzemelerin belirgin bir özelliği olduğu için özellikle hidrolik preslerde büyük avantaj sağlar. Şekil 20'de görülen konfigürasyon, hidrolik abkant preslerin silindirlerinde boğaz sızdırmazlığını sağlamada kullanılmaktadır.



**Şekil 20.** Hidrolik Abkant Preslerde Boğaz Sızdırmazlık Konfigürasyonu.

Bu konfigürasyonda yataklama elemanı olarak K75, ön basınç ringi ve ana sızdırmazlık elemanı olarak K35, destekleme elemanı olarak KBT ve toz keçesi olarak da K703 kullanılmıştır.

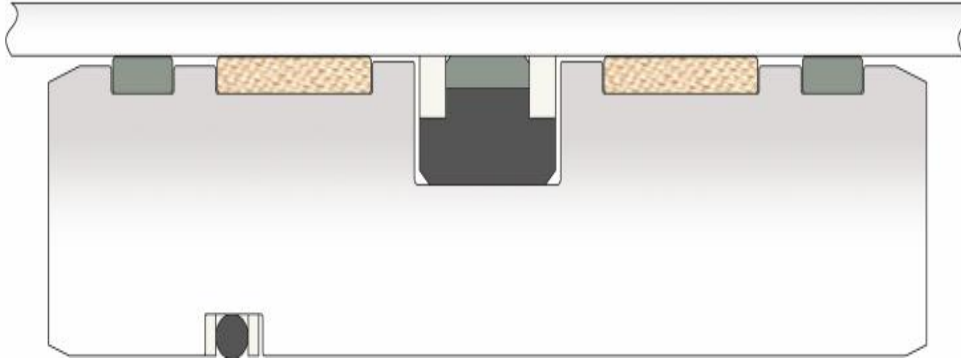
Sentetik fiber katkılı PTFE malzemeli olan K75,  $320 \text{ N/mm}^2$  olan statik temas basıncıyla bu uygulamada tercih edilmiştir.

Ön basınç ringi ve ana sızdırmazlık elemanı olarak kullanılan K35 boğaz keçesi, bu uygulamada yüksek basınca dayanımı ve lineer hareketteki statik durumlarda yapışmama özelliğinden dolayı uygulamada yer almıştır. Ön basınç ringinin, birçok nedenden dolayı oluşabilecek pik basınçlarının sönümlenmesinden sorumludur. Ana sızdırmazlık elemanı ise sistemin sızdırmazlığını sağlamaktadır. Profil tasarımdan ötürü noktasal temas sağlayarak statik durumlarda yapışmayı engeller. Aynı zamanda uygulamadaki hedef lineer hareket olduğu için oluşabilecek titreşimler olumsuz etki yaratır. Bu durumun engellenmesi K35 tarafından desteklenmektedir.

K703 statik duruşlarda yapışmamasından dolayı tercih edilmiştir. Üzerindeki NBR malzemeli ringin elastikiyeti sayesinde milin üzerine baskı yapmasıyla bronz katkılı teflonun sıyırma özelliğini aktif hale getirir. Dış ortamdan gelen partiküllerin iç ortama girmesinin engellenmesini sağlar.

Yataklamaya destek olan KBT, moment oluşabilecek durumlarda milin iç yüzeye temasını engeller. Düşük sürtünme katsayısıyla sistem üzerinde kendisinden kaynaklanacak enerji kaybını minimum seviyelerde tutar. Aynı zamandan, uzun kullanım süresiyle aşınması muhtemel toz keçesinden kaçarak silindire girebilecek partikülleri engeller.

İş makineleri yüksek basınç ve yüksek hızlarda çalışmayı gerektirir. Şekil 21'de görülen bu konfigürasyonda bu ihtiyaçları sağlayacak KBT ve K75 yataklamalar ile K19 ağır hizmet piston keçesi kullanılmıştır.



**Şekil 21.** K19 – K75 – KBT – K81 Konfigürasyonu.

Ana yataklama elemanı olarak K75'in seçilmesinin nedeni 0,8 m/s ye varan hızlarda çalışabilmesi, 320 N/mm<sup>2</sup> statik ve 120 N/mm<sup>2</sup> dinamik basınç dayanımı ile düşük sürtünme katsayısına sahip olmasıdır. Aynı zamanda aksel kaçıklıkların minimuma indirilmesini böylece milin iç yüzeye temas etmemesini sağlar.

KBT yataklamanın yanı sıra silindirin içine giren partiküllerin ana sızdırmazlık elemanına ulaşmasını engeller. Bu şekilde K19'un zarar görmesiyle oluşacak sorunlar ortadan kaldırılmıştır.

Sızdırmazlık elemanı olarak K19'un çok büyük avantajları vardır. Bu tip uygulamalar için 1,5 m/s'ye kadar yüksek hızlarda, 400 Bara kadar yüksek basınçlarda çalışabilmesinden dolayı tercih edilir. Ağır iş makinelerinde ani pik basınç oluşması karşılaşılan bir durumdur. K19'da bulunan destek ringleri sayesinde bu tip anlık yüksek basınçlarda akma meydana gelmez. Dikdörtgen profilinden dolayı basit kanal dizaynına izin verir. Yüksek aşınma mukavemeti ile uzun ömürlü olması da bu uygulamada avantaj sağlar.

## 5. TEST SONUÇLARI

"Boğaz Sızdırmazlık Elemanlarında Performans Kriterlerinin Çalışma Koşullarıyla Değerlendirilmesi" konulu bildiri için yapılan sızdırmazlık elemanları testlerinde tahrik silindiri olarak kullanılan silindirde K35-25 PTFE Boğaz sızdırmazlık elemanı kullanılmıştır.

Ekim 2010 tarihinden Temmuz 2011 tarihine kadar yapılan testler için test cihazının tahrik kısmında, kullanılan boğaz sızdırmazlık elemanı, 3.300 km boyunca 0,05 m/sn, 0,15 m/sn, 0,30 m/sn ve 0,5 m/sn hızlarında 30 – 100 bar aralığında basınçlara maruz kalarak çalıştırılmıştır.

3.300 km testi örnek bir Abkant Pres için 20 yıllık çalışma ömrüne (Dakikada 2 çevrim, günde 10 saat ve yılda 240 gün çalışma) denk gelmektedir. Test edilen keçeler incelendiğinde ölçüsel olarak değişimleri performans kriterlerini etkilemeyecek şekilde olduğu görülmüştür.

**Tablo 3.** 3.300 km Testi Değerlendirmeleri.

K35-025 Test Öncesi ve Sonrası Ölçüler				
	İç Çap	Sıkma	Yükseklik	Yuvarlaklık
Önce	24,41	2,73	3,97	0,1088
Sonra	24,86	2,58	3,99	0,4201

## SONUÇ

PTFE ürünler uzun yıllardan beri sızdırmazlık elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda uygulama sahasında başarılarını kanıtlamışlardır. Günümüzde her ne kadar Bronz katkılı ve Karbon Katkılı PTFE ürünler pazarda ağırlıklarını hissettirseler de her uygulama için kullanılabilecek genel geçer bir katkının varlığından söz edilemez. Her katkı malzemesi PTFE ürüne kendine has özellikler katarken bazı konularda da geri götürür. Doğru dolgunun seçimi, testlere, deneylere ve saha tecrübesine dayanmalıdır.

Tüm PTFE türleri göz önüne alındığında, her türlü katkının oda sıcaklığında Saf PTFE'ye göre daha yüksek sürtünmeye neden olduğu görülmektedir. Ancak yüksek sıcaklıklarda durum tersine dönmektedir bu nedenle uygulama sıcaklığı, kullanılan akışkan, karşıt yüzey ve yağlama durumu doğru PTFE'nin seçiminde çok kritiktir. Test sonuçlarından da görüldüğü gibi PTFE ürünler diğer malzemelere (NBR, PU vb.) kıyasla daha düşük sürtünmeler ve daha uzun ömür avantajları sunmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] ROEPSTORFF, S., LARSEN, T., JORDAN, H., "New PTFE-based Material for Hydraulic Seal Applications", 16th International Sealing Conference, 2010.
- [2] YE SUJUAN, PENG BING, WU WENTAO, TAN FENG., "The friction and wear properties of the PTFE composites for seal", 16th International Sealing Conference Yayın No: A 09, 2010.

## ÖZGEÇMİŞ

### Ozan DEVLEN

1982 yılı İzmir doğumlu Ozan Devlen lise öğrenimi İzmir Özel Türk Kolejinde tamamlamıştır. 2005 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Çeşitli firmalarda çalıştıktan sonra, 2008 yılında Ingolstadt University of Applied Sciences'tan Otomotiv Mühendisliği Yüksek Lisans (M.Eng.) derecesini almıştır. Almanya'da ITD ve IAF enstitülerinde çeşitli projelerde çalıştıktan sonra Kastaş Kauçuk A.Ş.'de görev almıştır.

Ozan Devlen, 2009 yılından beri Kastaş Kauçuk A.Ş.'de çalışmakta ve Ar-Ge Müdürü olarak görev yapmaktadır.

### Kubilay SAKARYA

1985 yılı İstanbul doğumludur. Orta öğrenimini İzmir Çiğli Milli Piyango Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. 2007 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Halen Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimi devam etmektedir. Çeşitli firmalarda AR-Ge mühendisi olarak mekanik tasarım ve yapısal analiz üzerine çalıştıktan sonra Kastaş Kauçuk A.Ş.'de Ar-Ge Mühendisi olarak görev almaktadır.