



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK BASINÇ ALTINDA ÇALIŞAN
SIZDIRMAZLIK ELEMANLARININ
ÖMÜRLERİNİN BELİRLENMESİ

Dede Can EVCEN

YÜKSEK LİSANS

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Dede Can EVCEN

Tarih: 02.02.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK BASINÇ ALTINDA ÇALIŞAN SIZDIRMAZLIK ELEMANLARININ ÖMÜRLERİNİN BELİRLENMESİ

Dede Can EVCEN

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ

2022, 50 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Hüseyin Selçuk HALKACI
Doç. Dr. Murat DİLMEÇ
Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ

Sanayide yoğun olarak kullanılan sızdırmazlık elemanlarının çoğu 250 bar basınç değerine kadar olan düşük basınçlar altında çalışmaktadır. Düşük basınç altında çalışan sızdırmazlık elemanları üreticiler tarafından verilen toleranslar içinde imal edilen konstrüksiyonlara montaj edildiğinde istenilen ömürler elde edilmektedir. Ancak ultra yüksek basınç altında çalışan sızdırmazlık elemanlarının sanayi şartlarında uzun süreli çalışma ömürleri hakkında yeterli veri yoktur. Yüksek basınçların elde edilmesinde kullanılan pompalara basınç yükseltici ismi verilmektedir. Basınç yükselticilerin görevini sağlıklı olarak yerine getirmesinde en önemli bileşen sızdırmazlık elemanlarıdır. Basınç yükselticilerin hedeflenen süre ve çevrimlerde sağlıklı olarak çalışabilmesi için sızdırmazlık elemanı ömrüne etki eden parametrelerin belirlenmesi ve buna göre sızdırmazlık sisteminin tasarlanması gerekmektedir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında basınç yükselticilerde 4500 bar sıvı basıncı altında sızdırmazlık ömrüne etki eden parametreler araştırılmıştır. Bu kapsamda sızdırmazlık elemanının malzemesi, geometrisi, sayısı ile mil malzemesi, yüzey pürüzlülüğü ve akma boşluğunun sızdırmazlık ömrüne etkileri belirlenmiştir. Her bir parametrede iki düzeye sahip olacak şekilde ömür test sistemi kurulmuş ve iki adet 4500 bar kapasiteli basınç yükseltici karşılıklı olarak çalıştırılarak ömür deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Taguchi L8 deney tasarım matrisi kullanılmış ve sızdırmazlık elemanları hasarlanıncaya kadarki çevrim sayısı ölçülmüştür. Deney sonuçlarına Minitab 19 yazılımında ANOVA (varyans analizi) uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sızdırmazlık ömrü üzerinde en etkili parametre akma boşluğu olmuş, ardından milin yüzey pürüzlülüğü gelmiştir. Diğer parametrelerin sızdırmazlık ömrü üzerine etkilerinin daha sınırlı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınç Yükseltici, Sızdırmazlık Elemanı, Yüksek Basınç, Taguchi L9

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF THE LIFETIME OF SEALINGS WORKING UNDER HIGH PRESSURE

Dede Can EVCEN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ

2022, 50 Pages

Jury

**Prof. Dr. Hüseyin Selçuk HALKACI
Assoc. Prof. Dr. Murat DİLMEÇ
Asst. Prof. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ**

Most of the sealing elements used extensively in the industry operate under low pressure like up to 250 bars. When the sealing elements operating under low pressure are mounted on the constructions manufactured within the tolerances given by the manufacturers, the desired lifetimes are obtained. However, there is not enough data on the long-term working life of sealing elements operating under ultra-high pressure in industrial conditions. Pumps used to achieve high pressures are called pressure intensifiers. The most important component for the pressure intensifiers to fulfill their duties in a healthy way is the sealing elements. In order for the pressure intensifiers to operate in the targeted time and cycles, the parameters affecting the sealing element life must be determined and the sealing system must be designed accordingly. In this master thesis, the parameters affecting the sealing life under a liquid pressure of 4500 bar were investigated. In this context, the effects of the material, geometry, number of the sealing element and the shaft material, surface roughness and interference on the service life of sealing were determined. A life test system was established with two levels for each parameter, and life tests were carried out by operating two pressure boosters with a capacity of 4500 bar mutually. Taguchi L8 experimental design matrix was used in the experiments and the number of cycles until the sealings were damaged was measured. ANOVA (analysis of variance) was applied to the experimental results in Minitab 19 software. According to the results obtained, the most effective parameter on the sealing life was the interference, followed by the surface roughness of the shaft. It has been determined that the effects of other parameters on the sealing life are more limited.

Keywords: Pressure Intensifier, Sealings, High Pressure, Taguchi L9

ÖNSÖZ

Ultra yüksek basınçların elde edilmesinde kullanılan basınç yükselticiler ve basınç yükselticilerde kullanılan kullanılan sızdırmazlık elemanları konusunda ülkemizde ne yazık ki yeterli bilgi bulunmamaktadır. Yine ultra yüksek basınçlarda sızdırmazlık elemanı ömrüne etki eden parametreler konusunda ulusal ve uluslararası literatürde çalışmalara rastlanmamıştır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında literatürdeki bu boşluğu doldurmak için sızdırmazlık elemanı ömürlerine etki eden parametreler araştırılmıştır. Böylece hem literatüre hem de ülke sanayisine katkıda bulunulmuştur.

Bu yüksek lisans tez çalışmasına, Konya Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'nün 201010048 Nolu BAP tez projesi ile verdiği destek için teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının yapılmasında alt yapı desteği sunan Türkav Ar.Ge. Firmasına ve firma ortakları Öğr. Gör. Mehmet HALKACI'ya, Doç. Dr. Murat DİLMEÇ'e, Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI'ya; yine bana destek olan Arş. Gör. Mevlüt AYDIN'a ve Arş. Gör. Yusuf Furkan YAPAN'a, beni akademik olarak her zaman yönlendiren saygıdeğer danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gösterdikleri sabır, anlayış ve destekle beni her zaman motive eden Babam Sefa Evcen, Annem Nevriye EVCEN, kardeşlerim ve sevgili Merve Çil'e çok teşekkür ederim.

Dede Can EVCEN
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
1. GİRİŞ	9
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	1
2.1. Basınç Yükselticiler ve Çeşitleri.....	1
2.2. Sızdırmazlık Elemanları.....	4
2.2.1. Temaslı sızdırmazlık elemanları	9
2.2.2. Dinamik sızdırmazlık elemanları	14
2.2.3. Temassız sızdırmazlık elemanları	18
2.3. Sızdırmazlık Elemanları Malzemeleri.....	19
2.4. Sızdırmazlık elemanlarında görülen problemler.....	20
2.5. Sızdırmazlık Ömrüne Etki Eden Parametrelerin Araştırılması.....	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Deneylerde Kullanılan Basınç Yükselticiler.....	25
3.2. Deney Tasarımı	29
3.2.1. Ömür deney ünitesinin kurulması	32
3.2.2. Deneylerin gerçekleştirilmesi	36
3.2.3. İstatistiksel analizlerin yapılması	40
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	42

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
5.1 Sonuçlar	47
5.2 Öneriler	48
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ.....	51



1. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde basınç yükselticiler ve çeşitleri, sızdırmazlık elemanları ve yüksek basınçtaki sızdırmazlık sistemlerini inceleyen, çalışmalar taranmıştır.

1.1. Basınç Yükselticiler ve Çeşitleri

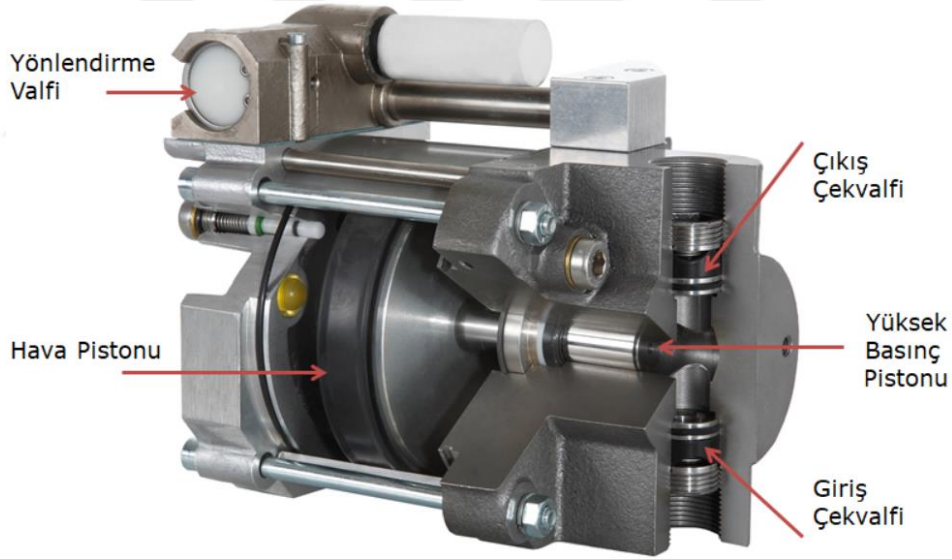
Yüksek basınçlar endüstride birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda gıda ve temizlik endüstrisinde yüksek basınçlardan faydalanılmaktadır. Gıda sektöründe, muhafaza işlemleri için ısı işlemler yerine yüksek basınçların kullanılması uzun zamandır kullanılan ve halen geliştirilen bir yöntemdir (Mañas and Mackey, 2004). Ultra yüksek basıncın başlıca kullanım yerleri aşağıda listelenmiştir (Woma Group).

- Hidroşekillendirme ve su jeti kesme gibi imalat yöntemleri,
- Kalın cidarlı silindirelerin otofretaj işlemleri,
- Makine parçalarının, valflerin veya konteynerlerin temizliği,
- Paslanmış çelik yüzeylerin pas tabakasından arındırılması,
- Malzemeler üzerindeki kaplamaların veya boyaların çıkarılması,
- Çeliklerde dövme, haddeleme veya ekstrüzyon gibi proseslerden sonra oluşan oksit tabakasının temizliği,
- Eşanjör, basınç tankları veya filtrelerin temizliği,
- Beton yenilenmesinde (beton yapı içindeki demire zarar vermeden hasarlanmış bölgeyi kaldırma işlemi),
- Dekontaminasyon işlemlerinde (Bir bölgede bulunan enfeksiyon etkeni mikroorganizmalardan arındırılma işlemi),
- Gıda sektöründe dezenfeksiyon ve pastörizasyon işlemlerinde kullanılmaktadır.

Yüksek basınçlar yukarıda da görüldüğü üzere endüstride çok farklı alanlarda kullanılmakta ve halen farklı uygulamalar üzerinde çalışılmaktadır. Yüksek basınçların araştırılması ilk defa Roger tarafından 1895 yılında mikroorganizmaların inaktive

edilmesiyle başlanmıştır (Filtney, 2014). Yüksek basınçlar üretim sektöründe de hidroşekillendirme imalat yöntemiyle sacların şekillendirmesinde ve su jeti ile kesme işlemlerinde sıkça kullanılmaktadır. Belirtilen sektörlerde, istenilen yüksek basınçların elde edilmesinde hidrolik basınç yükselticilerden (hydraulic pressure intensifier) yararlanılmaktadır. Basınç yükselticiler hidrolik, pnömatik ve motor tahrikli olmak üzere üç tahrik tipinde üretilmekte olup su emülsiyonlarını genel olarak basınçlandırmaktadır.

Şekil 1.1’de görülen pnömatik tahrikli basınç yükselticilerle 7000 barı bulan basınçlar elde edilebilmektedir. Hidrolik tahrikli basınç yükselticiler ise (Şekil 1.2) 6000 bar basınç ve 5000 cm³ hacim kapasitelerine ulaşabilmektedirler. Hidrolik tahrikli basınç yükselticiler, su jeti ile kesme ve hidroşekillendirme gibi imalat yöntemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 1.1. Hava tahrikli basınç yükselticinin kesit görünümü (Anonim,2021b)

Tripleks pompa olarak da bilinen ve aynı anda üç pistonu krank biyel mekanizması ile tahrik eden basınç yükselticiler (Şekil 1.3) 250-300 lt/dk gibi çok yüksek debilerde ve 2800 bar gibi basınçlarda çalışabilmekte ve genellikle endüstriyel temizlik alanında kullanılmaktadır.



Şekil 1.2. Hidrolik tahrikli tek etkili basınç yükseltici



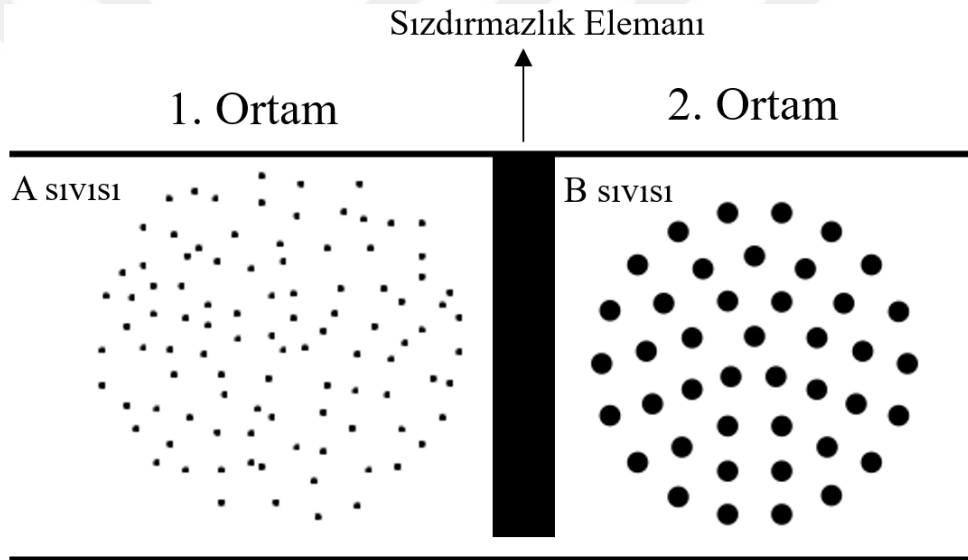
Şekil 1.3. Tripleks basınç yükseltici (Anonymous ,2021a)

Tahrik tipi ve çalışma prensibi ne olursa olsun basınç yükselticilerde sızdırmazlığın hedeflenen ömürler boyunca sağlanması en önemli konudur. Keçe ve salmastra tipinde kullanılan sızdırmazlık elemanları belirli bir süre çalıştıktan sonra deforme olmakta ve değiştirilmesi gerekmektedir. Bu süre çift etkili ve yüksek

çevrimsel yüklemelerde çalışan basınç yükselticilerde 250 saat kadar olmakta, tek etkililerde ise 1000-2000 saat düzeyi genel olarak hedeflenmektedir. Sızdırmazlık elemanlarının bu süreler boyunca sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için sızdırmazlık ömrüne erki eden parametrelerin belirlenmesi ve etki derecelerinin ortaya konulması önem arz etmektedir.

1.2. Sızdırmazlık Elemanları

Sızdırmazlık, ortak bir alanda sınırları olan iki bölge arasındaki sıvı alışverişinin kontrolüne denilir. Şekil 1.4'te ortak sınırlara sahip iki bölgenin ve sıvı alışverişini kontrol eden sızdırmazlık elemanının şematik görüntüsü verilmiştir.

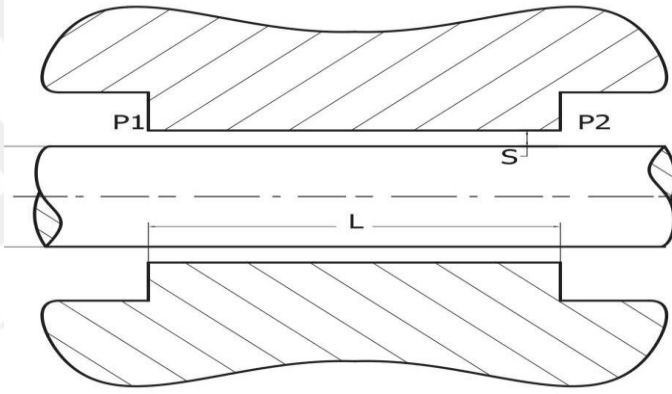


Şekil 1.4. Ortak sınırlara sahip iki bölgenin şematik gösterimi

İki ortam arasındaki kontrol sızdırmazlık elemanları ile sağlansa da molekül boyutlarda bile akışkanın geçişi gerçekleşebilmektedir. Bu yüzden sızdırmazlığın önemli olduğu sistemlerde iki sınır arasındaki sıvı geçiş kontrolünün yüksek oranlarda sağlanması gerekmektedir. Sızdırmazlık elemanları sadece sıvı geçiş kontrolü yapmamakla birlikte dış ortamdan sızdırmazlık ortamlarına gelebilecek nem, toz, pislik vb. yabancı partiküllerin girişine de engel olmaktadır. Örneğin hidrolik sistemlerdeki millerin geçiş bölgelerinde, milin ilerleyeceği delik toleransları, ölçü olarak küçük gözükse de sıvının sızması açısından büyük boşluklardır. Bu boşlukların küçültülmesi, böylece çok küçük toleranslarda imalat, zaman ve maliyet açısından da istenilmeyen bir husustur. Bu boşluklardan sızdırmazlık elemanları kullanılmadan sıvıların kontrollerinin

yapılması imkansızdır. Sızdırmazlık elemanları kullanılarak bu göreceli boşluklar en az seviyeye düşürülmektedir ve ortamlar arası sıvı kontrolü başarılı bir şekilde yapılmaktadır.

Yüksek basınçların elde edilmesinde kullanılan basınç yükselticilerde en büyük problemlerden biri olan sızdırmazlık konusuyla ilgili endüstriyel çözümler yapılmakla birlikte, konuyla ilgili bilimsel çalışmaların çok sınırlı olduğu görülmüştür. Bu sistemlerde iki sınır bölge arasında basınç farkı Şekil 1.5'te görüldüğü gibi mil ile boşluk arasında meydana gelmektedir. Bu bölgelerin sızdırmazlık kontrolü sağlanamadığında hem istenilen basınç değerlerine çıkılamamakta hem de sürekli olarak sıvı kaçaqları oluşmaktadır.



Şekil 1.5 Farklı basınçlı sıvıların ortak akma boşluğunda çalışmaları

Burada basınç farkı;

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (2.1)$$

“S” boşluğundan geçen yağ akış miktarı;

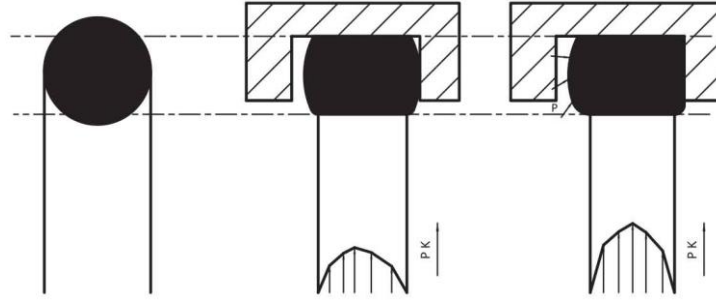
$$Q = \pi * d * \Delta P * \frac{S^3}{12} * \mu * L \quad (2.2)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada Q akış miktarı, μ ise sıvının viskozitesidir. Sızdırmazlığın sağlanabilmesi için P_2 ve Q'nun sıfıra çok yakın değerlerde olması gerekmektedir.

Gerçek uygulamalarda tek taraflı “S” akma boşluğu piston kolunun her iki yönünde her zaman eşit olmaz. Radyal kuvvetler nedeni ile çoğunlukla bir yöne doğru temas gerçekleşir. Bunun anlamı tek taraflı S boşluğunun artmasıdır. Yukarıda verilen formüle göre “S” boşluğunun iki kat artması 3. kuvveti ile orantılı olduğu için geçen

yağ miktarının sekiz kat artmasına neden olacaktır. Pratik olarak, işleme toleranslarını “S” boşluğu sıfır olacak şekilde ayarlamak mümkün değildir. Bu nedenle sızdırma istenmeyen durumlarda, sızdırmazlık elemanı kullanılması zorunludur (Anonim, 2019a).

Bu tip uygulamalarda genel olarak elastomer malzemelerden yapılmış sızdırmazlık elemanları kullanılır. Sızdırmazlık elemanlarının çalışma mantıkları Şekil 1.6’da gösterilmiştir. Şekilde görülen o-ring dinamik olarak ve boğaz sızdırmazlık elemanı gibi görev yapmaktadır. Genel prensibe göre, yuvaya montaj yapıldıktan sonra, mutlaka uygun miktarda yuvada boş alan kalmalıdır (Üngör, 2008).

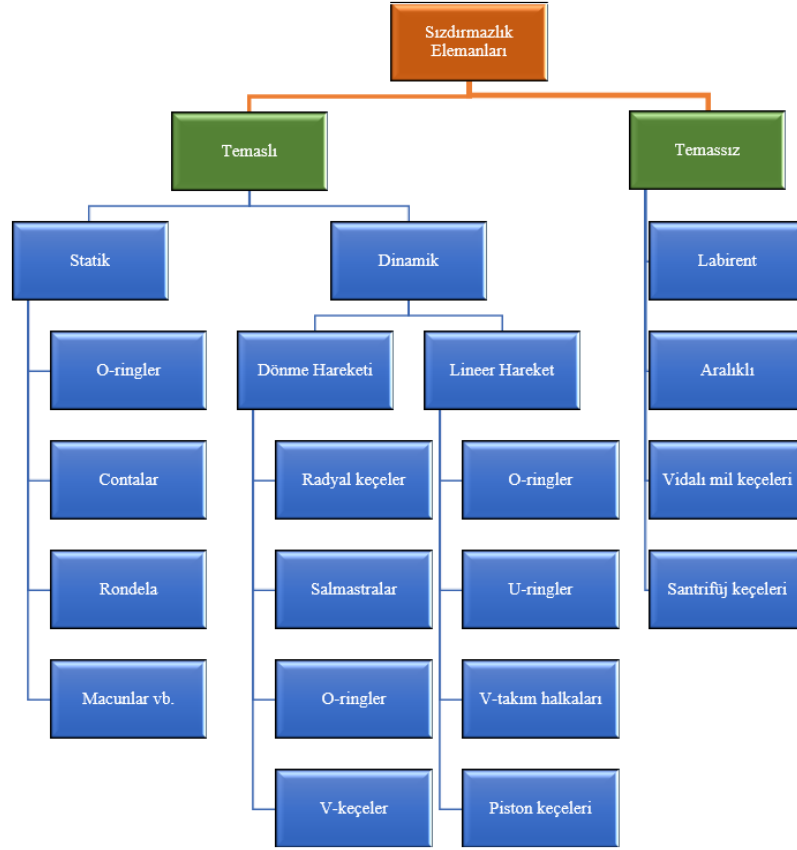


Şekil 1.6. Sızdırmazlık elemanın kanala montajı (Üngör, 2008)

Montaj yapılan o-ring sistem basınçsız durumda iken dizaynı gereği rod üzerine bir baskı uygular. Buna ön yükleme ya da sıkma kuvveti ismi verilir. Ön yükleme, basınçsız durumdaki sızdırmazlığı sağlamak açısından çok önemlidir.

Sistem basınçlandığı zaman, basınçlı akışkanın sızdırmazlık elemanı kanalına kadar, rahatça gelmesine izin veren bir konstrüksiyon olmalıdır. Sızdırmazlık elemanı yuvasına dolan basınçlı akışkan, keçe malzemesini şişirerek statik ve dinamik yüzeylere uyguladığı baskı kuvvetini arttırmasına neden olur ve bu şekilde sızdırmazlık sağlanmış olur (Üngör, 2008). Sistemin basınçsız bölümünde kalan tek taraflı boşluk nedeni ile bu kritik yüklerin artabileceği ve o-ring malzemesinin viskoz (sıvı) özelliğine geçebileceği yani akma problemi meydana gelebileceği unutulmamalıdır. Sızdırmazlık elemanı üreticileri bu durumu dikkate alarak tasarım yaparlarken, hidrolik silindir üreticilerinin de bu önemli konuyu dikkate almaları gerekmektedir. Sızdırmazlık elemanı kanalında boşluk olmaması durumunda basınçlı akışkan sızdırmazlık elemanı malzemesini şişiremeyeceği için, yüksek sürtünme kuvvetleri nedeni ile kısa sürede sızdırmazlık elemanı bozulur ve kaçak problemi başlar.

Sızdırmazlık elemanları temaslı ve temassız olmak üzere iki ana başlıkta sınıflandırılmaktadır. Temaslı sızdırmazlık elemanları da statik ve dinamik olmak üzere iki ana başlıkta incelenmektedir. Sızdırmazlık elemanlarının sınıflandırması Şekil 1.7’de detaylı şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Sızdırmazlık elemanlarının sınıflandırılması

Temaslı sızdırmazlık elemanları adından da anlaşılacağı üzere yüzeylere temas ederek çalışmaktadır. Kendi içinde birçok sızdırmazlık elemanı bulunsa da temel mantık hepsinde aynıdır. Bu sızdırmazlık elemanlarının kullanımında karşılaşılan en temel problemlerden biri aşınmadır. Montaj hataları, sızdırmazlık elemanlarının yerleşeceği yerin düzgün işlenememesi ve tolerans hatalarından dolayı mil ile sızdırmazlık elemanının birbiri ile sürtünmesi istenilen seviyeden daha fazla olabilmektedir. Özellikle yüksek basınçlı sistemlerde bu hataların yapılması, sızdırmazlık elemanının hedeflenen servis ömründen çok daha düşük çevrimlerde aşınıp ömrünün bitmesine sebep olmaktadır. Temassız sızdırmazlık elemanlarının kullanıldığı sistemlerde ise çok dar kanalların akışkana karşı oluşturdukları dirençten faydalanılarak sızdırmazlık bölgesinde ters akım oluşturulur. Ancak çalışma alanlarının sınırlı olmasından dolayı

Özellikle yüksek basınçlı sistemlerde tercih edilememektedir.

Geniř kapsamlı kullanım alanları olan sızdırmazlık elemanları genellikle iř makinaları, tarım makinaları, hidrolik presler, maden ekipmanları, plastik enjeksiyon makinaları, otomotiv ve enerji sektörü gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır.

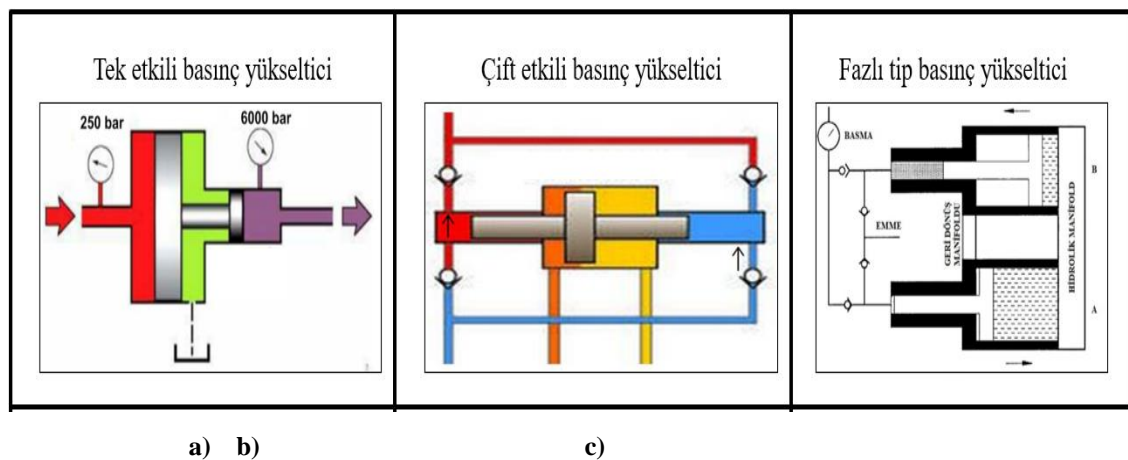


2. GİRİŞ

Ultra yüksek basınçlar 1800'lü yılların sonundan itibaren farklı alanlardaki çalışmalara konu olmuştur (Elamin ve ark., 2015) ve son yıllarda teknolojik gelişimde önemli bir role sahiptir. Üretim, temizlik, dezenfeksiyon ve gıda alanlarında kullanılan ultra yüksek basınçlar git gide daha da önemli hale gelmektedir.

Belirtilen uygulama alanlarında 10000 barı bulan basınçların elde edilmesi Basınç Yükselticiler (BY) ile sağlanmaktadır. Genellikle su emülsiyonları basınçlandırılmaktadır. Basınç yükselticiler tahrik tiplerine ve çalışma sistemlerine göre farklı şekilde üretilebilmektedir. Hidrolik, pnömomatik ve motor tahrikli olmak üzere üç tahrik tipi görülmektedir. Çalışma sistemine göre ise basınç yükselticilerin Şekil 2.1a'da görüldüğü gibi pistonun tek bir yönündeki hareketiyle basınç üreten tek etkili basınç yükselticiler, her iki yöndeki hareketle basınç üreten çift etkili basınç yükselticiler (Şekil 2.1b) ve iki tek etkili basınç yükselticinin paralel olarak çalışması ile basınç üreten fazlı tip basınç yükselticiler (Şekil 2.1c) olmak üzere üç farklı tipi bulunmaktadır.

Tek etkili basınç yükselticiler, gerektiğinde hassas basınç kontrolü sağlanıp hidroşekillendirme gibi imalat yöntemlerinde kullanılmaktadır. Çift etkili basınç yükselticiler ise tipik olarak su jeti kesim makinalarında kullanılmakta ve sabit basınç üretmektedirler. Fazlı tip basınç yükselticiler ise çift etkili olanlardaki basınç dalgalanma sorununu azaltmak için kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Çalışma sistemine göre basınç yükselticiler a) tek etkili basınç yükseltici b) çift etkili basınç yükseltici c) fazlı tip basınç yükseltici

BY'lerin tasarımı basınçlı akışkanın sızdırmazlık elemanı kanalına kadar rahatça ulaşmasını sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Sızdırmazlık elemanı yuvasına dolan basınçlı akışkan, keçe malzemesini şişirerek statik ve dinamik yüzeylere uygulanan baskı kuvvetinin artmasına neden olur. Bu şekilde sızdırmazlık sağlanmış olur (Üngör, 2008). Basınç yükselticiler, pompalar, basınçlı kaplar, tanklar, motorlar gibi birçok mühendislik uygulamasında sızdırmazlık en önemli konuların başında gelmektedir. Sistem içerisinde bulunan miller, pistonlar, silindirler, rulmanlar, dişliler ve diğer değerli işlenmiş parçaların ömrü, sızdırmazlık elemanının kalitesine bağlı olduğundan sızdırmazlık elemanları, makine elemanları arasında, en az diğer parçalar kadar önemlidir (Anonim, 2021a). Tahrik tipi ve çalışma prensibi ne olursa olsun basınç yükselticilerde sızdırmazlığın hedeflenen ömürler boyunca sağlanması en önemli konudur. Keçe ve salmastra tipinde kullanılan sızdırmazlık elemanları belirli bir süre çalıştıktan sonra deforme olmakta ve değiştirilmesi gerekmektedir. Bu süre çift etkili ve yüksek çevrimsel yüklemde çalışan basınç yükselticilerde 250 saat kadar olmakta, tek etkililerde ise 1000-2000 saat düzeyi endüstriyel uygulamalarda bildirilmektedir. Sızdırmazlık elemanlarının bu süreler boyunca sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için sızdırmazlık ömrüne eki eden parametrelerin belirlenmesi ve etki derecelerinin ortaya konulması önem arz etmektedir.

Endüstride kullanılan sızdırmazlık elemanları termoplastikler, elastomerler ve termoplastik elastomerler olarak üç farklı malzeme türünde üretilmektedir. Her malzeme türüne ait farklı bileşenlerde üretilmiş sızdırmazlık elemanları mevcuttur. Sızdırmazlık elemanlarına ait malzeme ve bileşenler kaynak araştırması kısmında detaylı anlatılmıştır. Sızdırmazlık elemanı ömürlerini etkileyen başlıca faktörler sıcaklık, basınç, yüzey özellikleri, titreşim, akma boşlukları ve toleranslardır. Bu yüzden hem tasarım parametreleri hem de çalışma ortamı sızdırmazlık elemanlarının ömürlerinde önemli rol oynamaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, 4500 bar ultra yüksek basınçta çalışan basınç yükselticilerde kullanılan sızdırmazlık elemanlarının ömürlerini etkileyen parametreler araştırılmıştır. Bu kapsamda mil malzemesi, yüzey pürüzlülüğü, sızdırmazlık elemanı malzemesi, sızdırmazlık tipi, sızdırmazlık sayısı ve akma boşluğu parametrelerinin sızdırmazlık ömrünü nasıl etkilediği incelenmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde detaylı kaynak araştırılması sunulmuştur. Bu taramada, yüksek basınç uygulamaları, basınç yükselticiler ve çeşitleri, sızdırmazlık elemanları ve yüksek basınçta sızdırmazlık uygulamalarına ait araştırmalar gösterilmiştir.

Üçüncü bölümde deney tasarım tablosu, deneylerde kullanılan basınç yükselticiler, ömür deney ünitesinin kurulması ve deneylerin gerçekleştirilmesi hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

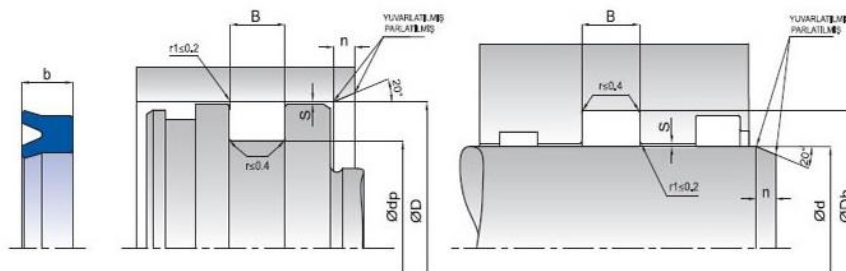
Dördüncü bölümde sızdırmazlık elemanı ömür deneylerinin sonuçları verilmiştir. Ayrıca deneyler sonucu yapılan istatistiksel analizler ve etki yüzdeleri gibi detaylar bu bölümde sunulmuştur.

Beşinci ve son bölümde tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve konuyla ilgili öneriler sıralanmıştır.



2.1.1. Temaslı sızdırmazlık elemanları

Temaslı sızdırmazlık sistemlerinde mil ile gövde veya kapak arasına her ikisi ile temas halinde bulunan bir eleman kullanılmaktadır (Şekil 2.2). Temasta bulunan parçaların sabit veya hareketli olma durumuna göre statik ve dinamik olarak iki grupta incelenebilir (Anonim, 2021c).



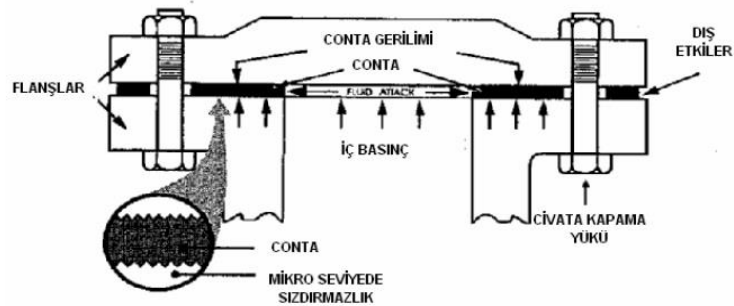
Şekil 2.2. Temaslı sızdırmazlık elemanı (Anonim, 2021c)

Statik sızdırmazlık elemanları

Statik sızdırmazlık elemanları, iki eşleşen yüzey veya kenarın sızdırmazlık gerektirdiği hidrolik uygulamalarda kullanılır. Bu elemanlar her iki tarafında da basınçlı ortam veya bir ucunda hidrolik basınca diğer ucunda ise havaya maruz kalabilir. Bir hidrolik silindirde, iki gövdedeki geçiş kısımlarına, kaynaklı bir silindirin kafasına veya rakorlarına statik sızdırmazlık elemanları takılarak sıvı kontrolü yapılmaktadır. Ayrıca iç basıncın korunmasında statik sızdırmazlık elemanlarının önemli rolü vardır. Statik sızdırmazlık elemanları olarak o-ringler, contalar, rondelalar ve macunlar yer almaktadır (Flitney, 2007).

Contalar

Statik sızdırmazlık elemanları, literatürde kısaca “conta” ismi ile adlandırılmaktadır. Conta, mekanik bir bağlantının ayrılabilir iki elemanı arasında yerleştirilmiş, malzeme veya malzemeler kombinasyonudur. Bu malzemenin görevi karşılıklı çalışan yüzeyler arasında sızdırmazlık etkisi göstermek ve bunu uzun süre korumaktır. Conta, temas yüzeylerinin sızdırmazlığını sağlayabilir özellikte olmalı, ortama karşı sızdırmaz, dirençli olmalı ve uygulama sıcaklığına ve basıncına dayanabilmelidir. Şekil 2.3’de contalanmış bir bağlantı ile ilgili terimlerin bilgileri gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Contalı bağlantıların terminolojisi (Flitney, 2007)

Contalara gelen gerilme kuvveti hesaplanırken conta elemanının plastik deformasyona uğramayacağı civataya gelen emniyetli tork kuvvetinin hesaplanması gerekir. Eğer hesaplandıktan fazla yük uygulanırsa contada kalıcı deformasyon meydana gelebilir (Flitney, 2007). Conta uygulamalarında somunların veya civataların sıkma torku Eşitlik 2.1 ile hesaplanır.

$$M_{SI} = F_{\text{ÖNM}} * \left[\frac{d_2}{2} * \tan(\varphi + \rho_v) + \mu_k * r_k \right] \quad (2.1)$$

$F_{\text{ÖNM}}$ N Montaj ön gerilme kuvveti

d_2 mm Ortalama kesit çapı

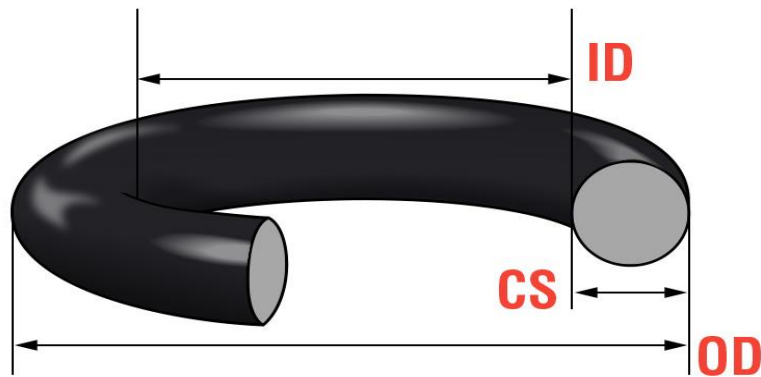
φ Vidanın helis açısı

μ_k Cıvata başının sürtünme katsayısı

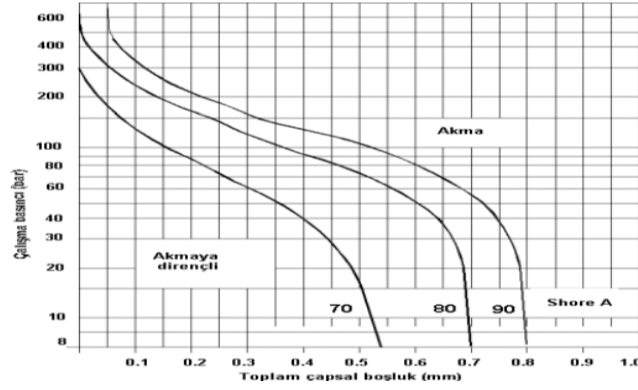
r_k mm Cıvata başı sürtünme kuvveti eksen mesafesi

O-ring

En basit sızdırmazlık elemanı olan O-ring dinamik durumlarda da kullanılabilir ve kauçuktan imal edildiği gibi aynı zamanda teflon ve çeşitli hammaddelerden üretilmektedir. Bu sebeple hava, gaz, su, yağ ve tüm hidrolik sistemlerin neredeyse tamamında kullanılmaktadır. Şekil 2.4'de görüldüğü üzere O-ring ismi bu sızdırmazlık elemanın şeklinden gelmektedir. O-ringler sızdırmazlık görevini yerleştirildikleri bir kanal içerisinde yaparlar ve kanal ölçüleri kesit çapına göre standartlaştırılmıştır. O-ringlerin görevini yapabilmesi ve uzun ömürlü olması için yerleştirildikleri kanalda bir miktar boşluk bulunmalıdır. Boşluk değeri azaldıkça çalışma basıncı Şekil 2.5'de görüldüğü gibi artmaktadır.



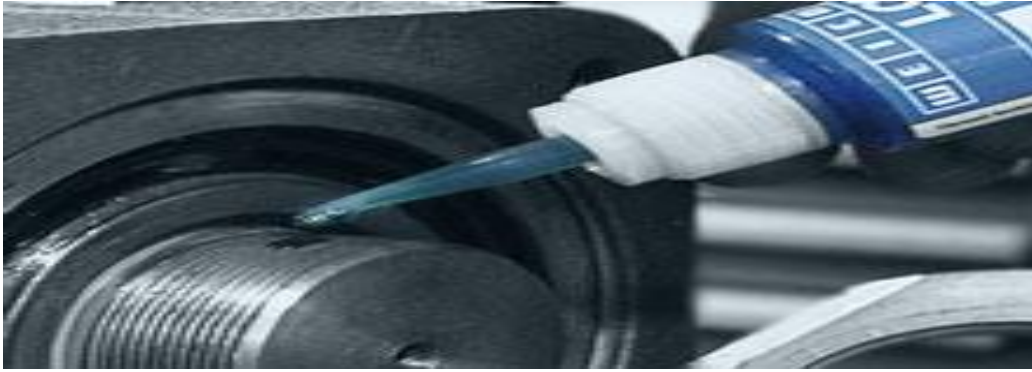
Şekil 2.4. O-ring (Anonim, 2019b)



Şekil 2.5. O-ring kullanımı için verilen fazla basınç ve çapsal boşluk (Papatheodorou,2005)

Macunlar

Özellikle otomotiv ve savunma endüstrisinde sıkça macunlar kullanılmaktadır. Motor kapakları, şanzıman, valfler vb. gibi birçok farklı alanda faaliyet göstermektedir. Ayrıca cıvatalı bağlantılarda sızmayı önlediği gibi cıvataların kilitlenmesini de sağlayan macunlar mevcuttur. Conta görevi gören macunlar ile çok daha verimli sızdırmazlıklar sağlanabilmektedir. Ancak bu macunlar çok düşük basınçlarda etkindir ve basıncın yükselmesiyle işlevini yitirmesi içten bir değildir.



Şekil 2.6. Macun

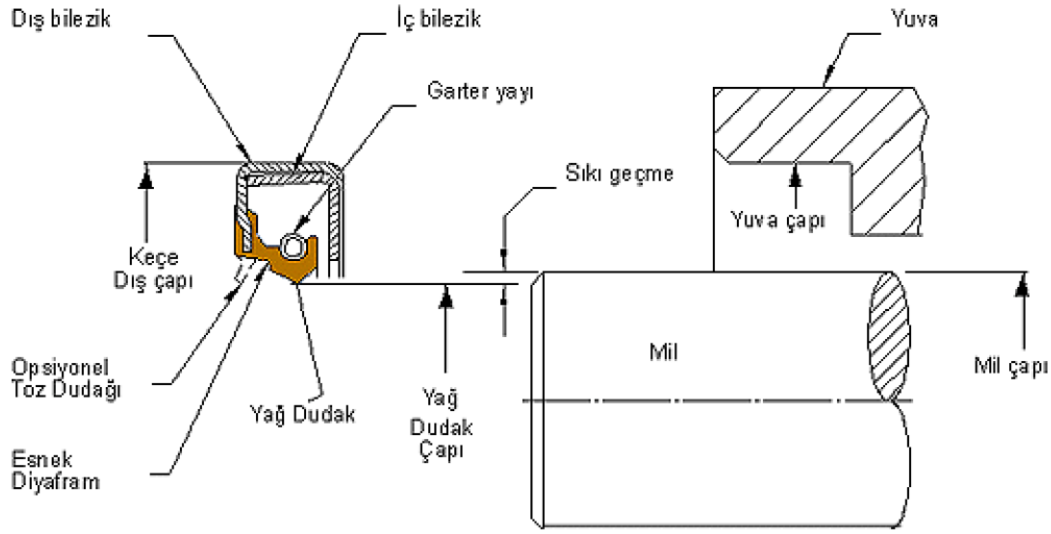
2.1.2. Dinamik sızdırmazlık elemanları

Dinamik sızdırmazlık, statik sızdırmazlıktan çok daha fazla kapsamlıdır. Dinamik sızdırmazlık elemanı, statik sızdırmazlıkta olduğu gibi yalnızca bir ortamın akışını engellemekle kalmaz, aynı zamanda bu görevi hareket halindeyken ve dikkate alınması gereken sürtünme kuvvetleriyle yapmaktadır. Bu kapsamda, hareketli sistemlerde statik sızdırmazlık elemanlarının kullanımı tam anlamıyla çözüm olamamaktadır. Dinamik sızdırmazlık, lineer ve dönme hareketi olmak üzere iki

kategoriye ayrılmaktadır. Bu bölümde bu yüksek lisans tez çalışmasında kullanılan lineer dinamik sızdırmazlık elemanları anlatılmıştır.

Radyal keçeler

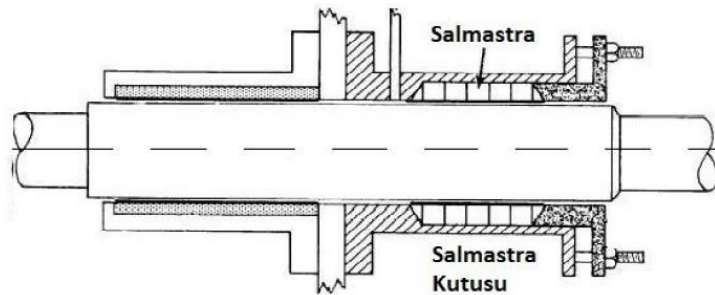
Literatürde sunulan düşük basınçta sızdırmazlık çalışmalarına bakıldığında, sızdırmazlık elemanlarının ömrünü etkileyen birçok faktörün incelendiği görülmüştür. Ancak bu faktörler bir süre sonra yeni sızdırmazlık elemanı tasarımı veya sızdırmazlık elemanının yerleşeceği geometrinin tasarımına doğru yoğunlaşmıştır. Şekil 2.7’te örnek bir radyal dudaklı keçenin şematik gösterimi yer almaktadır. Radyal keçe (döner mil keçesi), yağ olan ortamdaki yağın, o ortamda kalmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır ve boğaz keçesi olarak da adlandırılmaktadır. Sızdırmazlık elemanlarının servis ömrü, malzeme, mil ve sızdırmazlık elemanlarındaki yüzey kalitesi, yüzey sertliği, çalışma basıncı, aksel hareket miktarı ve benzeri birçok faktörün değişimine bağlıdır. Sızdırmazlık elemanının iç çapı sistemdeki milin iç çapından çok az miktarda küçük yapılır. Montajdan sonra milin git-gel hareketiyle alıştırma yapılarak sızdırmazlık elemanının tam anlamıyla sıkı oturması sağlanır. Bu sıkılık, keçe dudağına yay takıldıktan sonra bir miktar daha artar. Bu toplam sıkılık, sızdırmazlığı sağlayan radyal kuvveti oluşturur. Radyal kuvvet, yukarıda belirtilen faktörlerin değişimine göre hesaplanır. Daha sonra hesaplanan değerlere uygun şekilde sızdırmazlık elemanları üretilir. Radyal keçenin dudak sıkılığı Şekil 2.7’te ayrıntılı olarak gösterilmektedir (Üngör, 2008).



Şekil 2.7. Radyal bir keçenin geometrisi ve çalışma yuvası (Tok, 2017).

Salmastralar

Salmastra, O-ring veya pul olarak da bilinen bir sızdırmazlık elemanıdır ve iki yüzey arasındaki boşluğu kapatır. Çoğu durumda, bu ürünler kauçuktan yapılır ve amaçlarına bağlı olarak çeşitli boyut ve şekillerde mevcuttur. Salmastralar milin dönmesi sırasında sızdırmazlık sağlamaktadır. Salmastralar hareketli sistemlerde sızdırmazlık sağladığından, dinamik sızdırmazlık elemanı olarak anılırlar. Şekil 2.8'te tek parça sıkı dokunmuş bir salmastra kutusu örnek gösterilmiştir. (Eser, 1995).

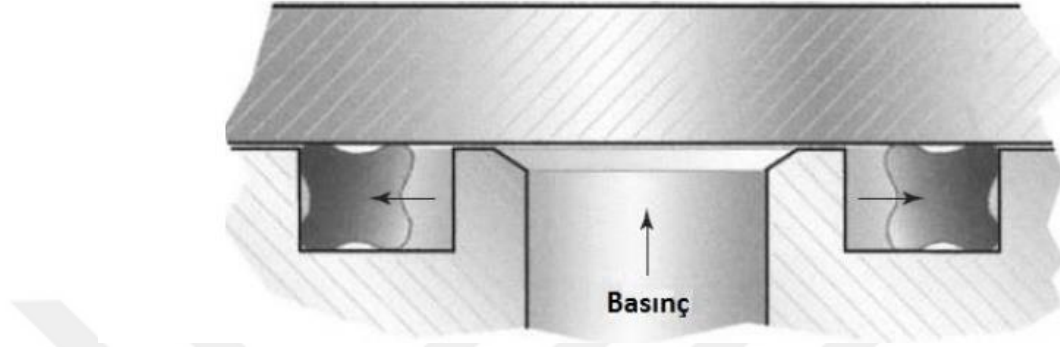


Şekil 2.8. Salmastra (Eser,1995)

X-Ringler

Bu sızdırmazlık elemanlarının kesiti X şeklindedir ve bazı özel uygulamalarda O-ringler yerine kullanılmaktadırlar. Çalışma prensipleri O-ring ile aynıdır ve O-ringlere göre yatay yayılması daha azdır. X-ringler kauçuğun bir kalıp içerisinde

vulkanize edilmesi yoluyla imal edilirler. X-ringin kesiti Şekil 2.9’te gösterilmiştir. X-ringlerde sızdırmazlık radyal yönde sıkıştırma sağlanarak elde edilmektedir. Sıvı basıncı arttıkça sızdırmazlık elemanı üzerine gelen basınç artar ve radyal yönde şişmeye başlar. Bu sayede iki farklı ortamın sıvı geçişini engeller (Flitney, 2007).



Şekil 2.9. X-Oring uygulaması (Flitney, 2007)

U-Ringler

U-ringler, çift dinamik dudakıyla hidrolik uygulamalarda dış ortamdan gelebilecek zararlı partikülleri sistem içine almayıp hem sistemin düzgün çalışmasını hem de sızdırmayı geciktiren sızdırmazlık elemanlarıdır.

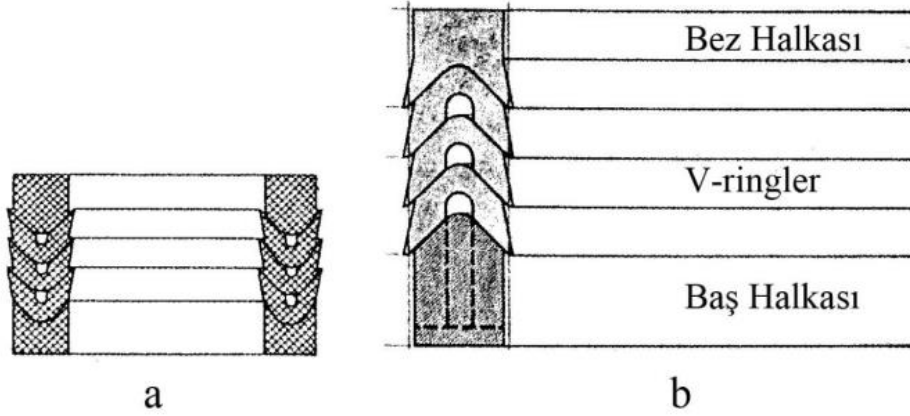
- Üstün sıyırma özelliği
- Açık kanal tasarımı
- Malzemenin yüksek yırtılma ve kopma mukavemeti nedeniyle zor şartlarda kullanılabilmesi
- Çift sıyırıcı dudakı sayesinde olumsuz partiküllere karşı silindire ilave bir koruma sağlaması avantajları olarak sayılabilir (Akgül, 1986).



Şekil 2.10. U-ring

V-Ringler

Chevron keçeleri olarak da bilinen V-ringler, U-ringlere göre daha rijit kesite sahip olduklarından dolayı radyal ve aksenal yüklere karşı dirençleri oldukça yüksektir. Çalışma ortamının zorlu olması halinde adaptör kullanılarak sızdırmazlık eleman takımı oluşturulabilir. Şekil 2.11’de bu uygulamalara örnek verilmiştir.



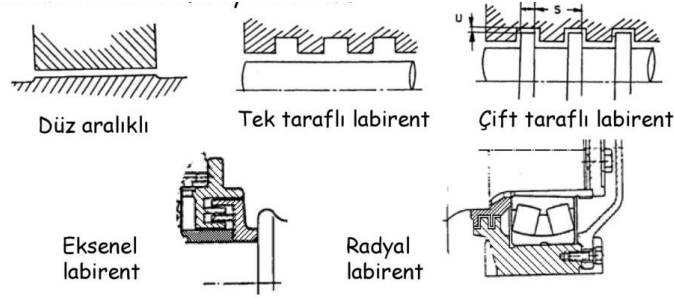
Şekil 2.11. V-ring (Akgül,1986).

Sürtünme kuvvetinin oluşmasında veya artmasında birçok parametrenin etkisi vardır. Bunlardan başlıca olanları, yüzey kalitesi, çalışma sıcaklığı ve basıncı, yağ ve yağlama özelliği, keçe malzemesinin basınca göre verdiği tepkilerdir. Örneğin, sert malzemelerde sürtünme kuvveti daha yüksek olur. Ancak yüzeyi çok yumuşak olan malzemelerde, özellikle hidrostatik basınç oluştuğunda malzeme yüzeyi kısa sürede hasar alabilmektedir. Metal yüzeylerinin güzel işlenmiş ve ekstra son işlemlerin yapılmış olması gerekir. Aşınmayı artırıcı en önemli etmen ise aşırı basınçtır. Tek bir V-ring yerine birden fazla halkadan oluşan takımlar kullanmak basınç dağılımını sağlarken aşınmayı da azaltır (Akgül, 1986).

2.1.3. Temassız sızdırmazlık elemanları

Temassız sızdırmazlık elemanlarında, yağlama maddesinin, yağlama boşluğundaki kendi sürtünmesi dışında başka bir sürtünme söz konusu olmaz. Farklı temassız sızdırmazlık uygulamaları Şekil 2.12’de gösterilmiştir. Bu tarz sızdırmazlık işlemlerinde üretim hassasiyeti çok önemlidir. Çünkü istenilen toleranslarda üretilmeyen mil veya göbek, çok daha büyük hasarlara veya sızmaların çok hızlı olmasına yol açabilmektedir. Arada bir elemanın olmayışı en büyük dezavantajlarından

biridir. Herhangi bir aşınma olmayacağı için teoride sonsuz ömür de denilebilmektedir.



Şekil 2.12. Temassız sızdırmazlık çeşitleri (Anonim, 2021d)

Temassız sızdırmazlık elemanlarının en çok dikkat çeken avantajları şöyledir (Anonim, 2018):

- i) Düşük sürtünme
- ii) Yüksek hızda çalışan sistemlerde uygunluk
- iii) Aşınmanın gerçekleşmemesi
- iv) Aşınma artıkları nedeniyle sızdırmazlık elemanında kir birikme durumunun gözlenmemesi

2.2. Sızdırmazlık Elemanları Malzemeleri

Sızdırmazlık elemanları birçok malzemeden üretilmektedirler. Malzemeler seçilirken çalışma ortamı, sıcaklık, nem, basınç, sıvıların özellikleri, geometri ve toleranslar göz önünde bulundurulmalıdır. Bazı malzemeler yük altında orijinal boyutunun iki katına kadar şekil değiştirip yük boşaldığında eski haline gelebilmektedir. Bunun yanı sıra Polyamid gibi +140 derecelerde çalışabilen sızdırmazlık elemanları varken çok daha dar sıcaklık aralıklarında çalışabilen malzemeler de mevcuttur. Çalışan sisteme göre malzeme seçimi sızdırmazlık elemanları için önem arz etmektedir.

Sızdırmazlık elemanlarında kullanılan malzemeler

- Termoplastikler
- Poliasetal
- Polyamid
- Teflon

- Elastomerler
- Nitril
- Hidrojene nitril bütadien
- Viton
- Silikon
- Neopren
- Etilen propilen kauçuk
- Sitren bütaiden kauçuk
- Poliüretan
- Tabii kauçuk
- Termoplastik elastomerler

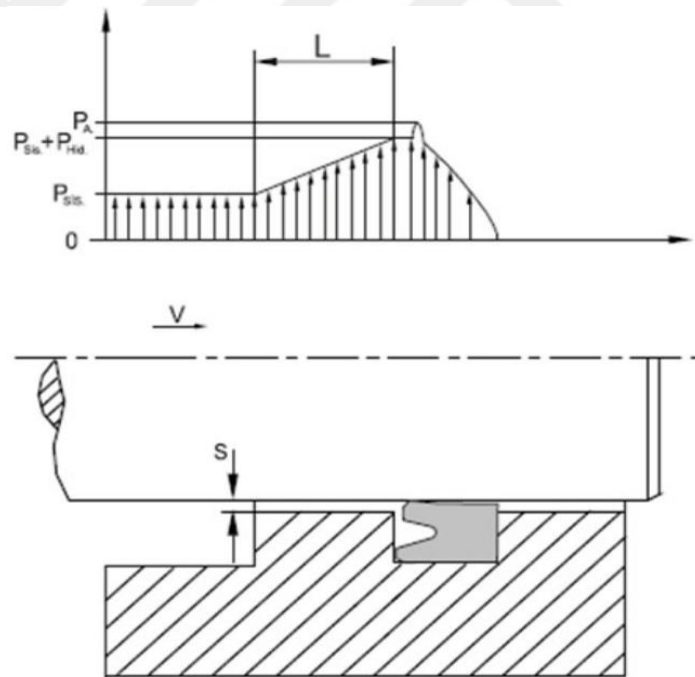
2.3. Sızdırmazlık elemanlarında görülen problemler

Sızdırmazlık elemanları çalıştıkları ortama göre çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır. Başlıca, yağ içinde hava ve hidrodinamik basınç problemleri mevcuttur. Yağ içinde hava durumlarında jet kesme etkisi, dizel etkisi ve kavitasyon gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Jet kesme etkisi, basınçlı sıvının içinde bulunan hava kabarcıklarının sızdırmazlık elemanı ve sızdırmazlık yatağında oluşturduğu olumsuz etkiler olarak tanımlanabilir. Hava kabarcıkları basınç düştüğünde yüksek enerjiyle genişip yüzeylerde ve sızdırmazlık elemanlarında kalıcı hasarlar yaratırlar. Dizel etkisi hidrolik silindirlerde en ciddi hasarlara sebep olan sorunlardan biridir. Süratle sıkıştırılan hava aniden o kadar yüksek bir sıcaklığa erişir ki, ortamdaki hava-yağ karışımının yanarak patlamasına neden olur. Patlama basıncı sistemin çalışma basıncının neredeyse 5-6 katına ulaşabilmektedir. Bu gibi hasarların oluşmaması adına sistem elemanlarının içindeki hava miktarının kontrolü ve ölçümü oldukça önemlidir. Hem çalışma sisteminin hem de sızdırmazlık elemanının çalışma ömrü açısından özellikle montaj işlemlerinde hava kontrolü bir hayli önemlidir.

Bir diğer problem ise kavitasyondur. Basınçlı bir akışkan bir boğazdan geçerken, örneğin bir valften, akışkanın hızı artar. Bernoulli denklemine göre, hızdan dolayı

dinamik basınç artınca statik basınçta meydana gelen azalma bir vakum oluşuncaya kadar sürebilir. Bunun sonucunda yağıdaki doymuş havayı buhar damlacıkları halinde açığa çıkarmaktadır. Bu olay kavitasyon olarak adlandırılır. Su ile çalışan sistemlerde kavitasyon oluşma ihtimali yüksektir. Çünkü suyun buhar basıncı 0,3 bar'dır ve açığa çıkan enerji metal yüzeyleri bile aşındırmaya yetebilir (Warring, 1967).

Hidrolik silindirlerde karşılaşılan bir diğer önemli problemlerden biri de hidrodinamik basınçtır. Hidrodinamik basıncın en kısa tanımı, hidrolik silindirler ile yataklama arasındaki boşluktaki basıncın, sistem basıncının çok ötesinde bir değere ulaşarak bir tür kalıcı sızdırmazlık elemanı deformasyonudur. Şekil 2.13'de görülen çift etkili hidrolik silindire A bağlantısından giren basınçlı sıvı pistonu sağa doğru hareket ettirmektedir. Çalışma sırasında keçe üzerinde biriken hidrolik akışkan miktarının artarak çalışma basıncının katlarca üzerinde bir basınç, oluşturması boğaz sızdırmazlık elemanında ve hatta silindirde deformasyon oluşumuna neden olacaktır.

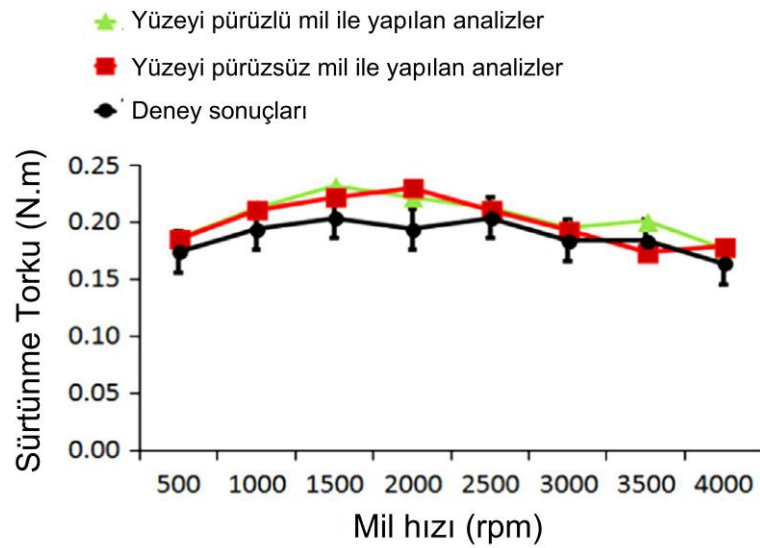


Şekil 2.13. Hidrodinamik basıncın oluşumu (Anonim, 2019c)

2.4. Sızdırmazlık Ömrüne Etki Eden Parametrelerin Araştırılması

Yüksek basınçlarda kullanılan sızdırmazlık elemanlarının ömürlerine birçok faktör etki etmektedir. Bunlar başlıca, yüzey pürüzlülüğü, toleranslar, akma boşluğu, çalışma basıncı, sıcaklığı, hızı ve akışkanın türüdür. Girişta ve ark. (2019), sızdırmazlık

elemanının iç çapıyla mil çapının arasındaki toleransın döner dudaklı sızdırmazlık elemanlarının ömürlerine etkisini incelemiştir. Dudak yüzeyine göre (40, 39.80 ve 39.60 mm) üç farklı iç çapa sahip termoplastik poliüretan radyal contalar ile deneyler yapılmış ve yağlayıcı olarak aşırı basınç (EP) dereceli yağ kullanılmıştır. Sızdırmazlık elemanının kullanım ömrünü belirlemek için sızıntı yapan yağın kütlesi ölçülmüştür. Bu sırada sızdırmazlık elemanının sürtünme performansını belirlemek için sistemin silindirik gövdesine dört adet yük hücresi monte edilerek selde edilen değerlerden sürtünme kuvveti ve sürtünme tork değerlerini hesaplamışlardır. 39.60 mm çapındaki keçe 450 km kayma mesafesi ile en uzun servis ömrüne sahipken, 40 mm çapındaki keçede bu değer 250 km çıkmıştır. Sonuç olarak, sıklık değerinin azalması, keçelerin çalışma ömrünü uzatmıştır. Ancak, daha uzun hizmet ömrüne sahip olmasına rağmen, 39, 60 mm çapındaki keçenin kullanım ömrü boyunca daha fazla sızıntı meydana gelmiştir. Kullanım ömrü boyunca sızıntı miktarının doğrudan hizmet ömrü ile ilgili olmadığını söylemek mümkündür. Sızdırmazlık bandında (temas yüzeyi) makro düzeyde önemli bir aşınma gözlenmemiştir. Gadari ve ark. (2015), hem mil hem de keçe pürüzlülüğü dikkate alınarak döner dudaklı keçenin Elasto Hidrodinamik Yağlama (EHL) durumunda sayısal bir modelini oluşturmuşlardır. Deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırılarak (Şekil 2.14) mevcut modelin geçerliliği doğrulandıktan sonra simülasyonlar yapılmış ve mil pürüzlülük genliği ve profilinin döner dudaklı keçe performansı üzerindeki etkisini göstermişlerdir.



Şekil 2.14. Döner dudaklı keçelerin nümerik ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması (Gadari ve ark., 2015)

Sonuç olarak mil pürüzlülük genliği arttığında, sürtünme torkunun azaldığı görülmüştür. Ancak mil çok pürüzlü ise sürtünmede önemli bir artış gözlemlenmektedir. Bu sonuç, şaft pürüzlülük genliği için optimum bir değerin bulunması gerektiğini göstermektedir. Şaft pürüzlülük genliğinde bir artışın zamanla önemli akış değişimlerine neden olduğu ve hatta sızıntıya yol açabileceği gösterilmiştir.

Cao ve ark. (2015) döner keçelerin çevresel uyulanabilirliğini ve sızdırmazlık performansını iyileştirmek için, denizin derinlerinde ortam basıncında dönen contanın arıza mekanizmaları araştırılmıştır. Ortam basıncının neden olduğu aşırı sürtünmenin ve akma boşluğunun büyüklüğünün döner keçe arızasının ana nedeni olduğu öne sürülmüştür. Sürtünme etkisini azaltmak için, yapısı politetrafloroetilen (PTFE) yapılmış döner bir keçe ve O-şekilli bir sabitleme halkasından oluşan birleşik bir dudaklı keçe tasarlanmıştır. Sonlu elemanlar analizi sonuçları, sızdırmazlık yüzeyindeki temas basıncının, artan boşluk ile arttığını, ancak 0,65 mm değerini aştığında azaldığını göstermiştir. Son olarak, tasarlanan PTFE döner keçe, bir teknede test edilmiş ve deneysel sonuçlar, contanın 30 MPa'dan daha düşük ortam basıncında 10 saatten fazla sızıntı yapmadan güvenilir bir şekilde çalışabildiğini göstermiştir. Kömmling ve ark. (2019), yüksek sıcaklıklarda uzun süreler boyunca kullanılan elastomerik keçelerin davranışını araştırmıştır. Keçelere 75, 100, 125 ve 150 derecelerde yaşlandırma işlemi yapılmıştır. Yaşlandırma işlemi sırasında sıkıştırmanın etkisini belirlemek için sıkıştırılmış ve sıkıştırılmamış keçeler mikrosertlikleri ölçülerek karşılaştırılmıştır. Sıkıştırılmamış numuneler, sıkıştırılmış numunelere göre daha yüksek sertlik artışı göstermektedir. Bunun nedeni, sıkıştırılmış contanın conta alanının flanşlarla kaplı olmasıdır. Böylece oksijen erişimi sıkıştırmadan dolayı engellenir ve yaşlanma yavaşlar. Kullanılacak sızdırmazlık elemanın hedeflenen sertliğe ulaşmasında yaşlandırma işlemindeki flanşla sıkıştırma işleminin önemi vurgulanmıştır.

Taranan literatür çalışmalarından anlaşıldığı üzere, toleransların, sızdırmazlık elemanı malzeme seçiminin, mil ve keçe yüzey kalitesi gibi özelliklerin sızdırma ve sızdırmazlık elemanının çalışma ömrüne olumlu/olumsuz etkileri vardır. Bu etkiler standart hidrolik basınçlarında araştırılmıştır. Ancak literatürde 1000 barın üzerindeki yüksek basınçlarda sızdırmazlık elemanlarının ömrüne etki eden parametrelerin araştırıldığı çalışmalara rastlanmamıştır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında su jeti ile kesme ve hidroşekillendirme gibi üretim yöntemlerinde kullanılan basınç

yükselticilerdeki sızdırmazlık elemanlarının ömrünü etkileyen parametreler incelenmiştir. Deneyler 4500 barda gerçekleştirilmiştir. Deney düzenekleri tamamıyla sanayide kullanılan sistemlerle aynı olduğundan sonuçların da doğrudan sanayiye katkısı olacaktır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu yüksek lisans tezinin amacı yüksek basınçlarda, sızdırmazlık ömrüne etki eden parametrelerin ve sızdırmazlık ömürlerinin araştırılmasıdır. Çalışma kapsamında basınç yükselticilerde kullanılan sızdırmazlık elemanlarının ömrüne etki eden parametreler araştırılmıştır. Sızdırmazlık ömrüne etki eden parametreler sızdırmazlık elemanı malzemesi, geometrisi ve sayısının yanında akma boşluğu, milin malzemesi, yüzey pürüzlülüğü ve sertliği olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerin sızdırmazlık ömrüne etkileri 4500 bar basınç altında deney tasarımı yöntemiyle ortaya konulmuştur. Bu amaçla 4500 bar basınç ve 1 lt hacim kapasiteli iki adet basınç yükseltici yukarıda belirtilen parametreleri uygulayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Basınç yükselticiler karşılıklı olarak birbirlerinin içerisine sıvı basarak sızdırmazlık deneyleri gerçekleştirilmiştir.

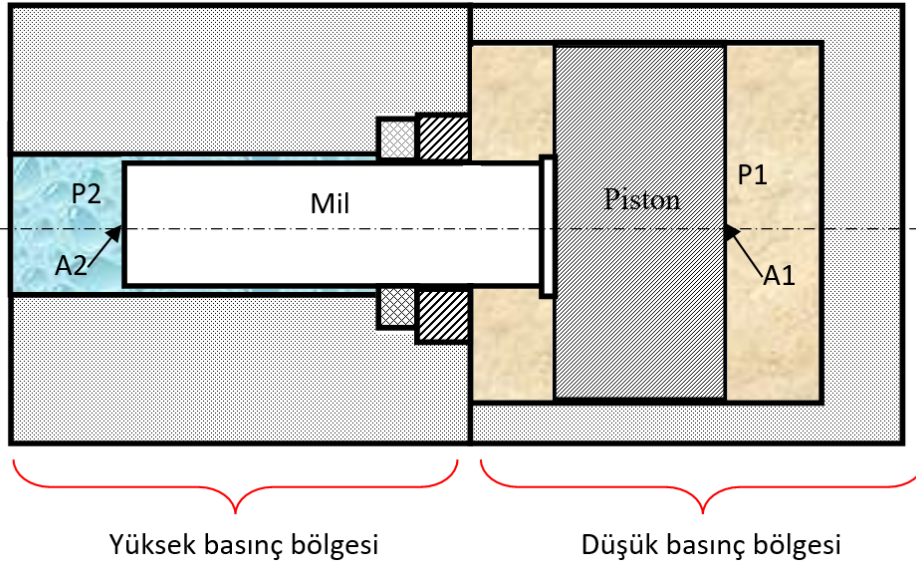
3.1. Deneylerde Kullanılan Basınç Yükselticiler

Deneylerde Şekil 3.1’de görülen eş özelliklerde iki adet tek etkili Basınç Yükseltici (BY) kullanılmıştır. BY’ler TÜRKAV Firması tarafından TÜBİTAK 1511 Projesi kapsamında 1160377 numaralı “4500 bar basınçta sürekli akış sağlayan basınç yükselticilerin geliştirilmesi ve performans deneyleri” başlıklı proje kapsamında üretilmiştir. Tez çalışmasında sızdırmazlık ömürlerine etki eden parametrelerin araştırılması kapsamında mevcut basınç yükselticilerde ömür üzerine etkisi araştırılacak parametrelerin ayarlanması amacıyla mil ve sızdırmazlık kapağı gibi parçalar yeniden tasarlanarak üretilmiştir.

Tek etkili basınç yükseltici ile 4500 bar ikincil basınç değeri, 225 bar hidrolik basınçla elde edilebilmektedir (Şekil 3.2). Bu nedenle mil ve piston arasında $4500/225=20$ alan oranı bulunmaktadır. Mil çapı 60 mm olup 360 mm stroka sahiptir. Böylece BY’lerin hacim kapasitesi 1 litredir.



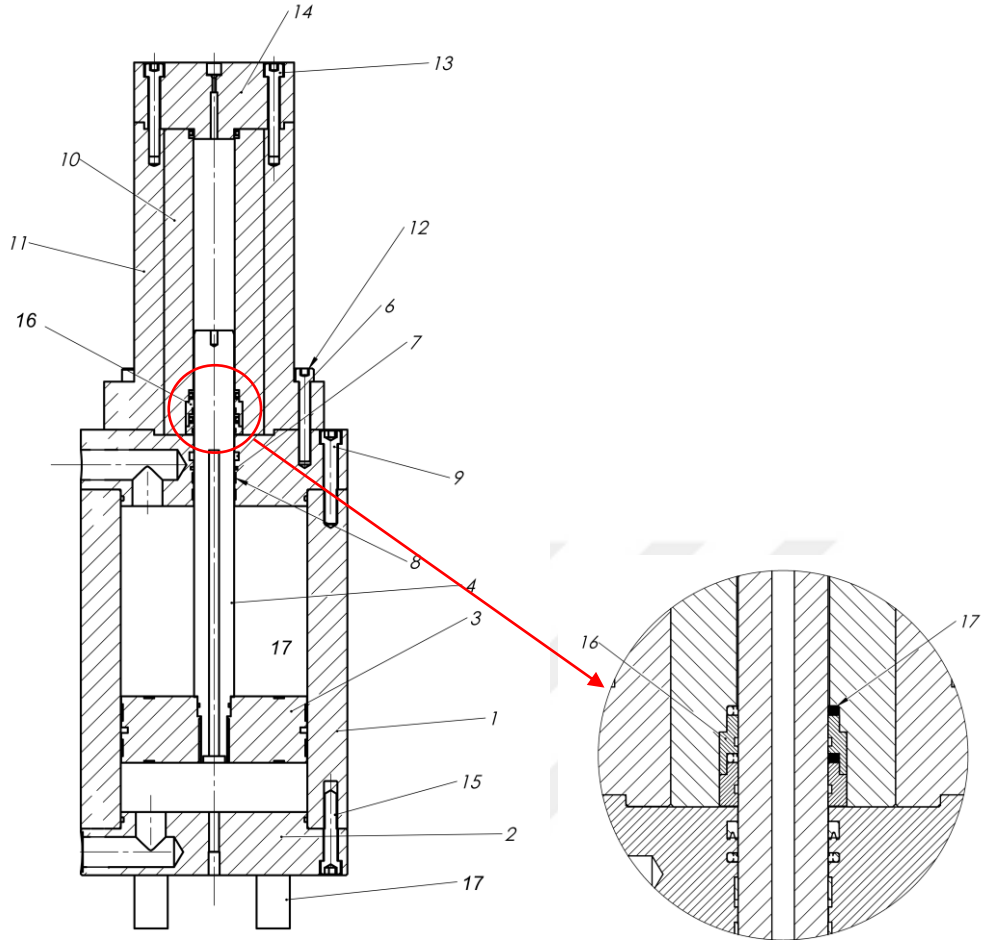
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan TÜRKAV Firmasına ait basınç yükselticiler



Şekil 3.2. Tek etkili bir basınç yükselticinin şematik gösterimi

Deneylerde kullanılan BY'nin tasarımı Şekil 3.3'de verilmiştir. BY'nin parçaları ise Çizelge 3.1'de görülmektedir. BY'de düşük basınç bölgesi (DBB) şekilde görüldüğü gibi standart bir hidrolik silindir tasarımına sahiptir. BY'nin yüksek basınç oluşturma özelliği milin önüne içerisine basınçlandırılacak sıvının doldurulduğu yüksek basınç

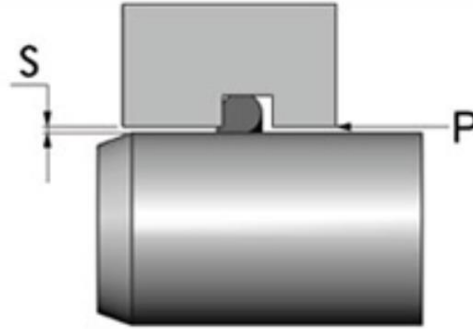
bölgesinin konumlandırılmasıyla sağlanmaktadır. Yüksek Basınç Bölgesi (YBB) güvenlik amacıyla çift katmanlı olarak tasarlanmıştır. İçteki katman (YBB iç kovani 10 nolu parça) yüksek mukavemete sahip sertleştirilmiş dolayısıyla gevrek bir yapıya sahip malzemeden, dıştaki katman (YBB dış kovani 12 nolu parça) ise daha mukavemetsiz ancak içteki kovanın çatlaması durumunda darbeleri emici olması için daha sünek malzemeden imal edilmiştir. İki silindir sıkı geçme yöntemi ile birleştirilmiştir. Pistona bağlı olan mil YBB içerisinde ilerlerken önündeki sıvıyı sıkıştırarak basıncını artırmaktadır. 17 numaralı sızdırmazlık elemanları YBB girişinde 16 numaralı sızdırmazlık kapaklarının içerisine yerleştirilmektedir. Sızdırmazlık elemanlarının ömrüne BY tasarımında sızdırmazlık kapağı ile mil arasındaki akma boşluğu, milin yüzey pürüzlülüğü ve mil malzemesinin etkisi araştırılmıştır. Bu nedenle tez kapsamında bu parametrelerin ikişer düzeylerinin ayarlanması için CK 45 ve AISI 4140 çelik malzemeden iki adet mil, iki farklı akma boşluğu oluşturmak için iki basınç yükseltici için toplamda dört set sızdırmazlık kapağı yeniden tasarlanarak üretilmiştir. Akma boşluğu mil ile sızdırmazlık kapağı iç çapının arasında kalan tek taraflı boşluğa verilen isimdir ve Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Milin yüzey pürüzlülüğü de iki farklı değerde ayarlanmıştır. Ancak maliyeti azaltmak için her iki mil üzerinde iki farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip bölge oluşturulmuştur.



Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan basınç yükselticinin tasarımı

Çizelge 3.1. BY'nin parçaları

Numara	Parça Adı	Adet
1	Silindir	1
2	Düşük Basınç Bölgesi Alt Kapak	1
3	Piston	1
4	Piston kolu	1
5	DBB Üst Kapak	1
6	Kastaş Sızdırmazlık-K21-85X100X12	1
7	KASTAS-K35-85X100_1X6_3	1
8	Kastaş Seals-KBT-25X2_5X24_5_v2	2
9	M-20x2.5x120 hex SCHS	16
10	Yüksek Basınç Bölgesi İç Kovanı	1
11	Yüksek Basınç Bölgesi Dış Kovanı	1
12	M-20x2.5x120 hex SCHS	16
13	M-20x2.5x120 hex SCHS	16
14	Yüksek Basınç Bölgesi Kapağı	1
15	M-20x2.5x120 hex SCHS	16
16	Sızdırmazlık kapağı	2



Şekil 3.4. Akma boşluğunun şematik gösterimi

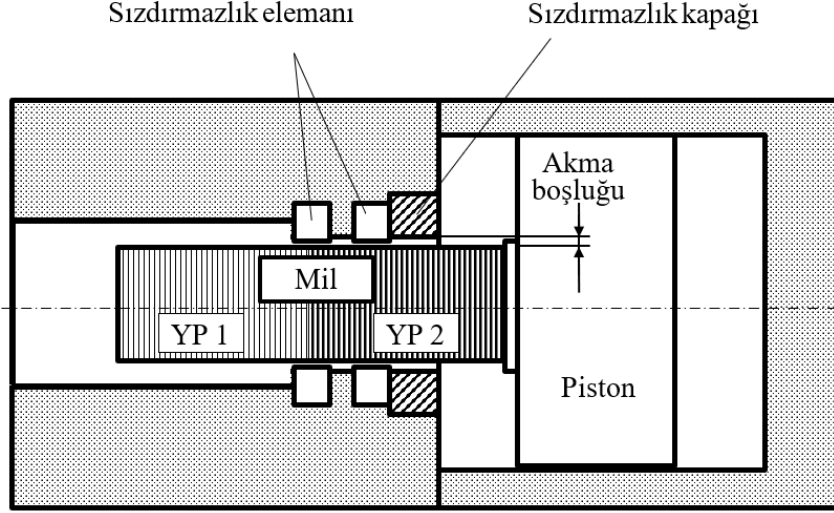
3.2. Deney Tasarımı

Basınç yükselticilerin ultra yüksek basınçlarda görevini yerine getirebilmesi için sızdırmazlık elemanlarının ömrüne etki eden parametrelerin belirlenmesi ve sızdırmazlık ömrüne etki değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Daha sonra bu parametrelerin değerleri en uygun düzeylerde seçilerek uzun ömürler boyunca BY'nin hedeflenen basınçlarda çalışması mümkün olur. Sızdırmazlık elemanlarının ömrüne;

1. Sızdırmazlık elemanı malzemesi
2. Sızdırmazlık elemanı geometrisi
3. Sızdırmazlık elemanı sayısı
4. Akma boşluğu
5. Milin yüzey pürüzlülüğü
6. Milin malzemesi

Parametrelerinin etki edeceği düşünülmüştür. Bu parametreler şematik olarak Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Her bir parametre için iki düzey seçilerek deney tasarımı yapılmıştır. Deneyler, 6 parametre ve iki düzey için Taguchi L8 deney tasarım tablosuna göre gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.2'de parametreler ve düzey değerleri görülmektedir. 6 parametre Taguchi L8 deney tasarım tablosuna Çizelge 3.3'teki gibi yerleştirilmiştir. Parametreler tabloya yerleştirilirken değiştirilmesi en zor olan parametreler baş taraflara yazılmıştır. Taguchi L8 deney tasarım tablosunda 7 sütun

olduğu için bir sütun boş bırakılmıştır. Boş olan sütunun seçilmesinde parametreler arasındaki etkileşim dikkate alınmaktadır. Buna göre **Çizelge 3.4**'te verilen etkileşim tablosuna göre sızdırmazlık sayısı (C) ve sızdırmazlık tipi (E) arasındaki etkileşimin deney sonuçlarına etkisi belirleyebilmek için 6. Sütun boş bırakılmıştır.



Şekil 3.5. Deney parametrelerinin şematik gösterimi

Çizelge 3.2. Parametreler ve düzey değerleri

		1	2
A	Mil malzemesi	CK45	AISI 4140
B	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	0.12	0.36
C	Sızdırmazlık elemanı sayısı	1	2
D	Sızdırmazlık elemanı malzemesi	Polietilen	Teflon
E	Sızdırmazlık elemanı geometrisi	A200	A30
G	Akma Boşluğu	0.15	0.3

Deneylerde iki farklı mil malzemesi için iki farklı basınç yükseltici kullanılmıştır. Sızdırmazlık elemanı ile ilgili değişiklikler için çizelgede belirtilen malzemelerde ve geometrilerde sızdırmazlık elemanları temin edilmiştir. Akma boşluğunun değerlerinin ayarlanabilmesi için her bir sızdırmazlık elemanı geometrisi için iki farklı sızdırmazlık kapağı tasarlanarak üretilmiştir. Böylece 4 farklı sızdırmazlık kapağı seti kullanılmıştır. Bir sette de iki adet kanal oluşturmak amacıyla iki parçalı olarak imal edilmiştir. Yine mil ile ilgili parametrelerin uygulanabilmesi için iki farklı malzemede mil üretilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin değiştirilmesi için yeni bir mil imal etmek yerine bir milde iki farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip bölge olacak şekilde imalat yapılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. İki farklı yüzey pürüzlülüğü değerine sahip olacak şekilde üretilen mil

Çizelge 3.3. Taguchi L8 Deney Tasarım Tablosu

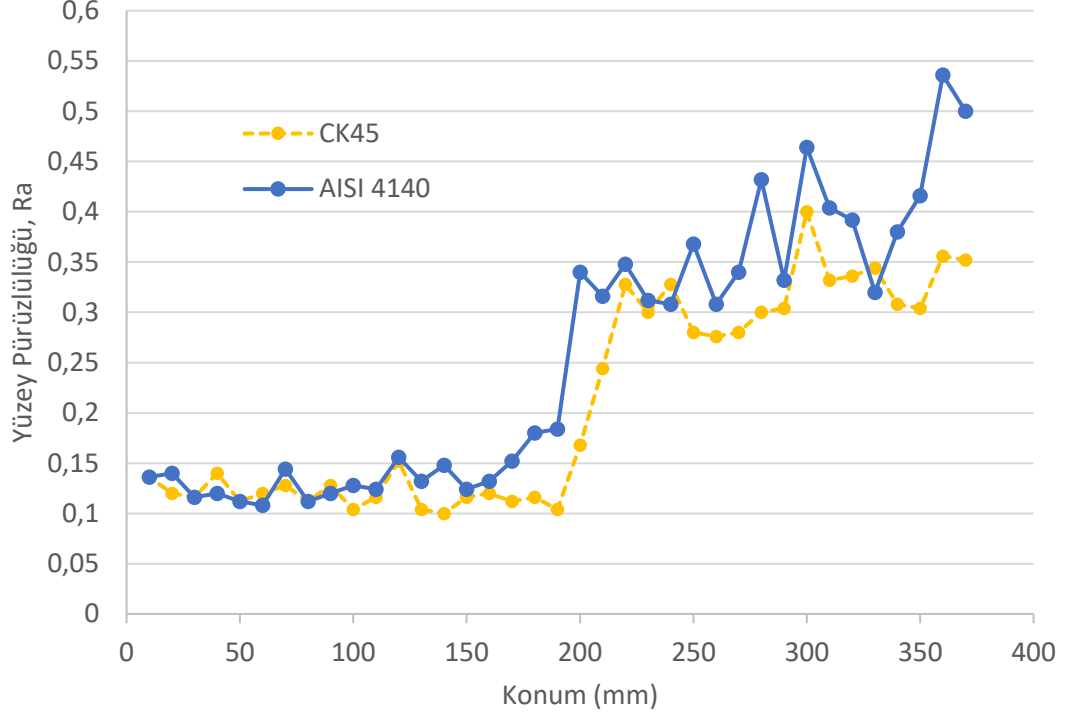
	A	B	C	D	E	F	G
Deney No	Mil malzemesi	Yüzey Pürüzlülüğü	Sızdırmazlık sayısı	Sızdırmazlık malzemesi	Sızdırmazlık tipi	C-E etkileşimi	Akma Boşluğu
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Çizelge 3.4. L8 deney tasarım matrisi için etkileşim tablosu (Phadke, 1989)

Column	Column						
	1	2	3	4	5	6	7
1	(1)	3	2	5	4	7	6
2		(2)	1	6	7	4	5
3			(3)	7	6	5	4
4				(4)	1	2	3
5					(5)	3	2
6						(6)	1
7							(7)

Millerin yüzey pürüzlülüğü her bir mil üzerinde iki farklı yüzey pürüzlülüğü oluşturacak şekilde polisaj işlemi yapılarak ayarlanmıştır. 360 mm boya sahip milde 0-180 mm arasındaki bölgenin $0.12 \mu\text{m}$; 180-360 mm aralığının ise $0.36 \mu\text{m}$ Ra değerine sahip olması istenmiştir. Polisaj işlemi sonrasında 10'ar mm aralıkla yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür ve Şekil 3.7'da görülen değerler elde edilmiştir. Ölçüm

sonuçlarına göre her iki mildeki pürüzlülük değerlerinin ortalaması Çizelge 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.7. Millerin pürüzlülük değerleri

Çizelge 3.5. Millerin yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

	0-180 mm	180-360 mm
CK 45	0.119 μm	0.316 μm
AISI 4140	0.129 μm	0.359 μm

3.2.1. Ömür deney ünitesinin kurulması

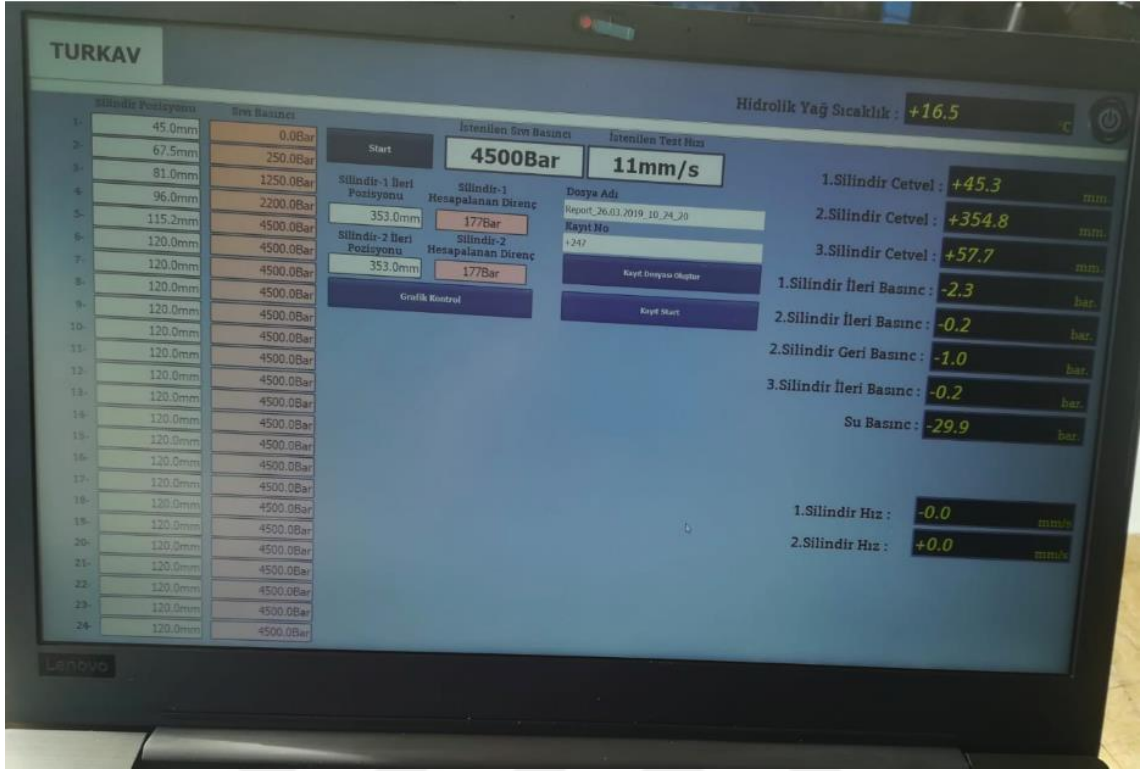
Deneylerin yapılabilmesi için bir ömür deney düzeneği Şekil 3.8'te görüldüğü gibi kurulmuştur. Burada iki farklı mil malzemesine sahip basınç yükselticiler karşılıklı olarak bağlanarak birbirlerinin içerisine sıvı basması sağlanmıştır. Böylece deneylerin daha kısa sürmesi sağlanmıştır. Deney düzeneği basınç yükselticilerin tahrik edilmesi için bir hidrolik üniteden ve basınç yükselticilerin kontrol edilmesi için bir elektronik

üniteden oluşmaktadır. Deneyler maksimum 4500 bar basınçta gerçekleştirilmiştir. Ancak sızdırmazlık elemanlarının gerçek hayatta karşılaşılabileceği basınç değişiklikleri ve yükleme hızında ömürlerin belirlenmesi için basınç yükselticilerin tipik olarak kullanıldığı hidroşekillendirme yönteminde kullanılan örnek bir basınç yükleme eğrisi referans alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

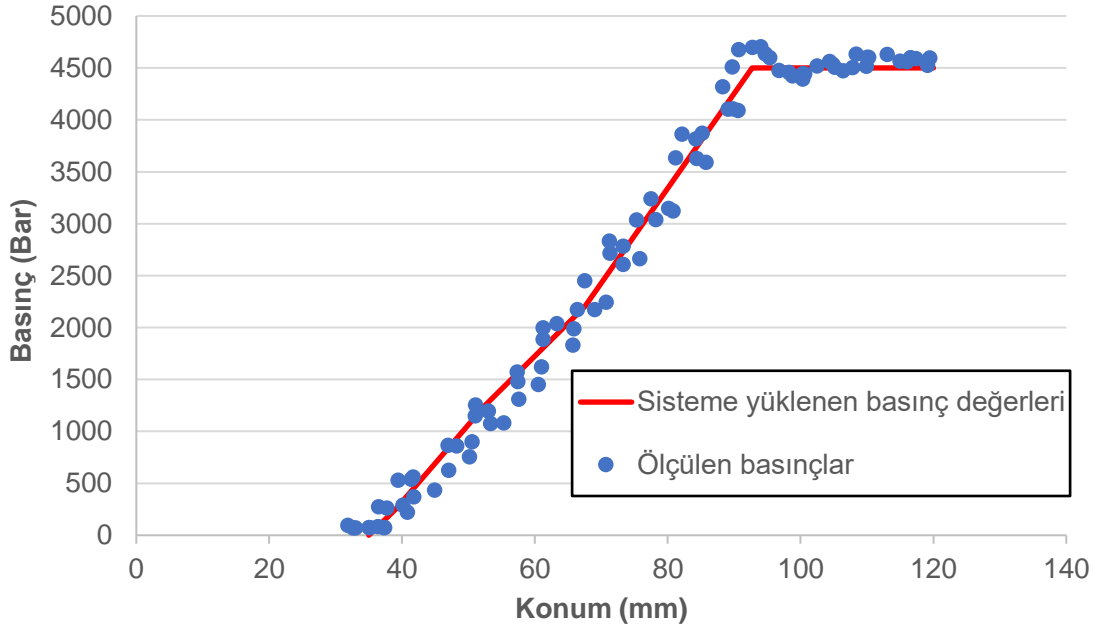


Şekil 3.8. Ömür deney ünitesi: İki adet 4500 tek etkili BY, hidrolik ve elektronik ünite ile doldurma ünitesinden oluşmaktadır.

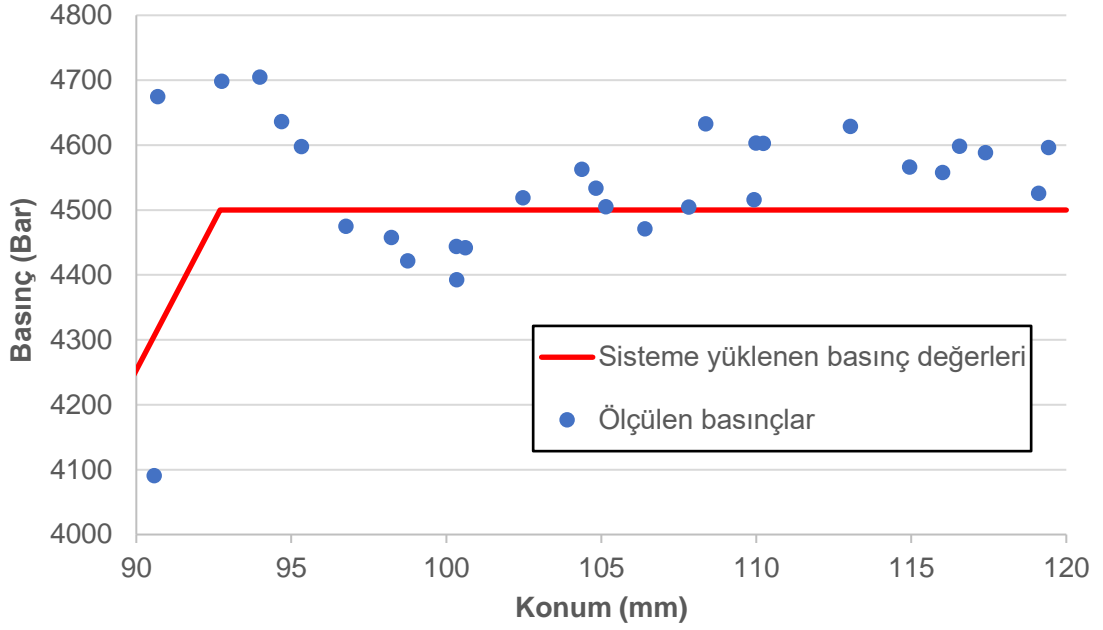
Ömür deney ünitesinde sıvı basınç eğrisi deney ünitesi kontrol sistemine, eğriyi oluşturan noktaların Şekil 3.9’da gösterildiği gibi girilerek tanımlanmıştır. Yüksek basınç bölgesindeki basınçlar basınç sensörü ile ölçülerek kaydedilip, istenilen ve elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Kontrol sistemine yüklenen basınç eğrisi ve deney düzeneğinde yüksek basınç sensörü ile rastgele 10 yükleme çevriminde ölçülen basınç değerleri Şekil 3.10’da karşılaştırılmıştır. Grafikte sisteme yüklenen basınç eğrisi hidroşekillendirme prosesinde örnek bir parçayı üretmek için kullanılan basınç profilidir. Grafikten görüldüğü gibi sisteme girilen basınç yükleme eğrisi oldukça yüksek bir doğrulukla uygulanabilmiştir. Sistemde hedeflenen maksimum basınç değeri 4500 bar iken basıncın sabit kaldığı 90 ila 120 mm konumları arasında (Şekil 3.11) ölçülen ortalama basınç değeri 4550 ± 82 bar olmuştur. Buradan sistemin %1.1 hata ve %1.8 belirsizlik oranları ile hedeflenen basınç yükleme eğrilerini uygulayabildiği hesaplanmıştır.



Şekil 3.9. Kontrol ünitesinin ekranından sıvı basıncı eğrisinin girilmesi

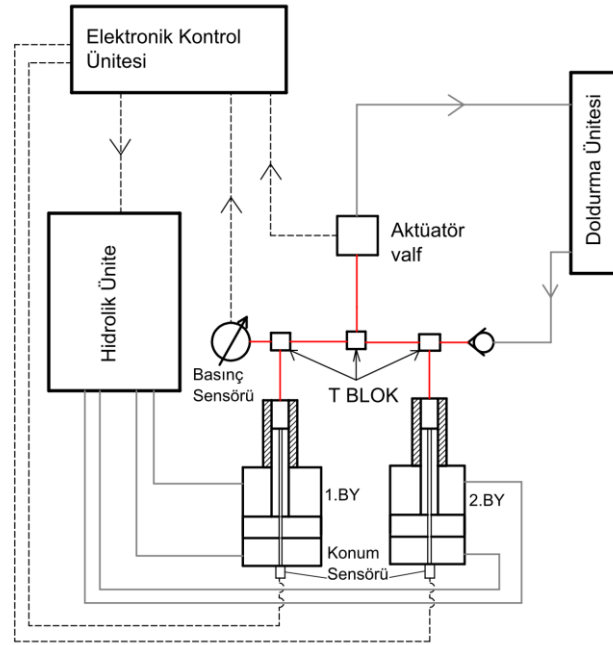


Şekil 3.10. Deneylerde kullanılan basınç yükleme eğrisi ve rastgele 10 çevrimde ölçülen basınç değerleri



Şekil 3.11. 4500 barda ömür deney ünitesinin hedeflenen basınç değerini uygulama kabiliyeti

Yüksek basınçtaki sıvının BY'ler arasında iletilmesi için nipel, blok ve çekvalf kullanılarak Şekil 3.12'de görüldüğü gibi ömür deney düzeneği ve yüksek basınç devresi oluşturulmuştur. Basınçlandırılacak sıvı olan bor yağı emülsiyonunun BY'ler içerisinde aktarılması için ayrı bir hidrolik ünite kullanılmıştır. Bu hidrolik üniteden basılan sıvı çekvalften geçerek yüksek basınca çıkıldığı durumda basıncın hidrolik ünite tarafında kaçması engellenmiştir. Yüksek basınç değerlerinin ölçülmesinde 6000 barlık basınç sensörü kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Ömür deney düzeneği

3.2.2. Deneylerin gerçekleştirilmesi

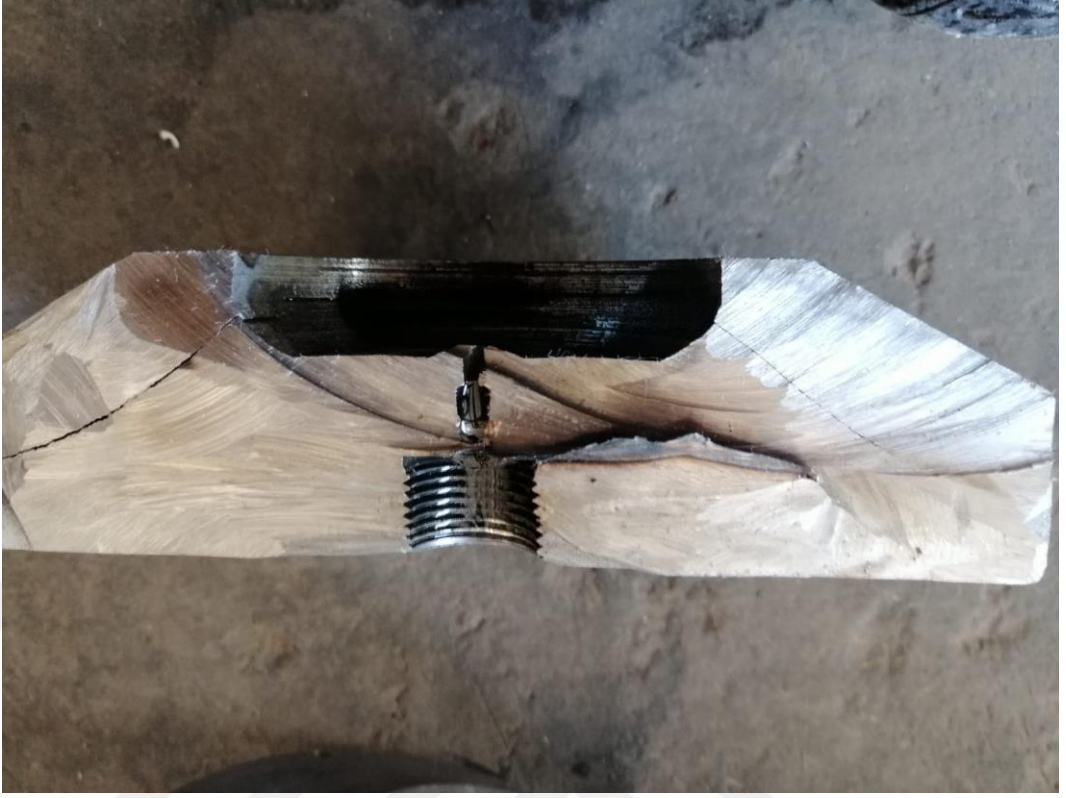
Deneyler yapılırken bir BY'nin konumu kontrol edilirken karşı BY'nin basıncı kontrol edilerek Şekil 3.10'da verilen konuma göre basınç eğrileri uygulanmıştır. İlk çevrimde 1. BY'nin konumu, 2. BY'nin basıncı kontrol edilirken, 2. Çevrime geçildiğinde 2. BY'nin basıncı, 1. BY'nin konumu kontrol edilmiştir. Bu şekilde karşılıklı olarak istenen konum zaman eğrisi uygulanarak deneyler yapılmıştır. Deneylerin performans kriteri basınç yükselticilerde kaçak meydana geldiği çevrim sayısıdır. Yani sızdırmazlık elemanları deformasyona uğrayıp görevini yerine getiremeyinceye kadar deneylere devam edilmiştir. Bir çevrimin süresi yaklaşık olarak 12 saniyedir. Böylece günde 2500 çevrim yapılması hedeflenmiştir. Ancak BY'de yaşanan sızdırmazlık sorunları, hidrolik ve kontrol sistemindeki hatalar nedeniyle deneyler uzun zaman almıştır. Çizelge 3.3'te verilen 1., 2. ve 5. Sıradakiler basınç yükselticilerde kaçak yaşanmasıyla sorunsuz bir şekilde tamamlanmıştır.

4. ve 6. deneylere geçildiğinde 4500 çevrime ulaşıldığı anda Şekil 3.13'te görüldüğü gibi iç kovanda meydana gelen çatlama (**1. Çatlama**) nedeniyle basınç yükselticilerden biri kaçırmaya başlamıştır. Çatlama bölgesini belirlemek için basınç yükseltici demontaj edilmiş ve iç kovan sıkı şekilde geçirildiği için dış kovandan pres altında çıkartılmıştır. Sonrasında iç kovan ortadan kesilmiştir. Çatlamamın Şekil 3.14'te

görüldüğü gibi gerilme yığılmasının olduğu iç kovanın kör olan çıkışındaki radyüs bölgesinde oluştuğu görülmüştür. Bu bölgede gerilme yığılması ve yorulma ile birlikte meydana gelen hasara karşı, iç kovanın yeniden tasarımında radyüs ölçüsü 10 mm'den 15 mm'ye çıkartılmış ayrıca daha pürüzsüz bir işleme yapılmıştır. İç kovan yeniden imal edilmiş ve eski dış kovan kullanılarak tekrar sıkı geçme ile montaj edilmiştir. Daha önce kullanılmakta olan keçeler yeniden takılarak deneylere devam edilmiştir.



Şekil 3.13. BY'nin iç kovanında meydana gelen çatlama



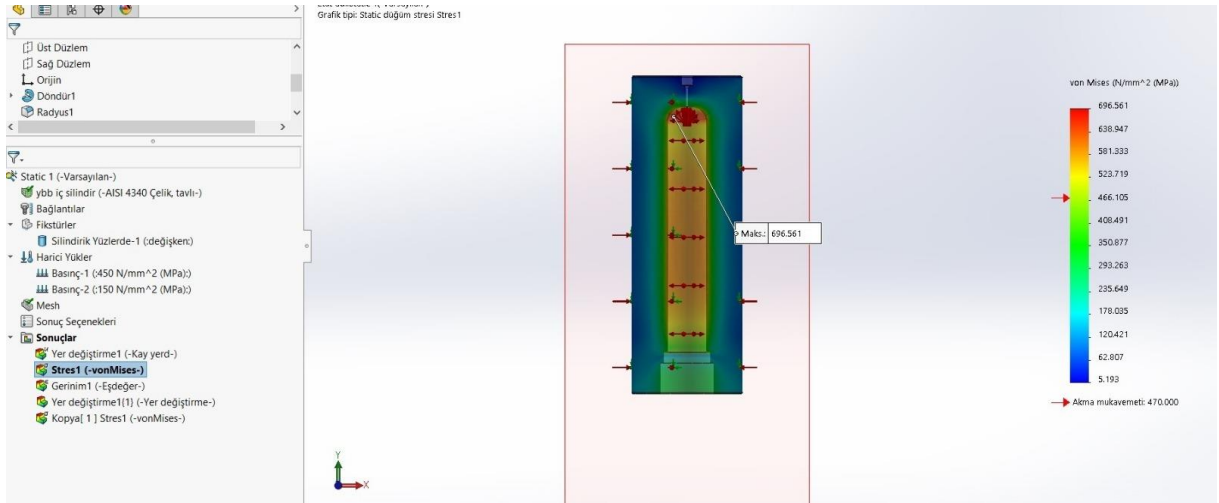
Şekil 3.14. BY'de 1. Çatlama bölgesi

4. deneyde 6000 çevrime ulaşıldığı anda bu kez sızdırmazlık elemanlarında kaçak oluşmuştur. Basınç yükseltici demontaj edildiğinde iki sıra olan keçeden iç taraftakinin bozulduğu ancak dış taraftakinde herhangi bir deformasyon olmamasına rağmen kaçak meydana geldiği görülmüştür. Buradan sızdırmazlık tasarımında hata olduğu alt taraftaki keçenin görevini yapmadığı tespit edilmiştir. Tasarım hatası giderildikten sonra deneylere devam edilmiştir. Ancak deneyde 25000 çevrime gelindiğinde daha önce çatlayan basınç yükselticide iç kovan tekrar çatlamıştır (**2. Çatlama**). İç kovanın dış kovandan çıkartılması bu kez mümkün olmamış ve çatlak bölgesini görmek için malzeme tornalanarak ve kesilerek çatlakın Şekil 3.15'te görüldüğü gibi yine radyüste olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.15. İkinci çatlamadaki çatlak bölgesi

Basınç yükselticide meydana gelen 2. hasardan sonra asıl problemin sızdırmazlık elemanından daha çok yorulma olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu problemi çözmek için yorulmaya dirençli farklı malzemeler araştırılmış ancak en uygun malzemenin yine 4340 ıslah çeliği olduğu görülmüştür. Yeni tasarımda çıkışın kör olmayarak parçalı yapılması düşünülmüş ancak bunun öncesinde dış kovana sıkı geçme ölçüsünün artırılması ve radyüsün 15 mm'den 20 mm'ye çıkartılması ile Şekil 3.16'da görüldüğü gibi daha önce 950 MPa olan maksimum gerilme 700 MPa civarına düşürülmüştür. İç kovanın içine bilyalı dövme yapılarak da malzemenin yorulma direnci artırılmıştır. İç kovan ve dış kovan tekrar satın alınmış, tasarımda çatlamayı engelleyecek önlemler alınarak tekrar imal edilmiş ve basınç yükselticinin çalışması sağlanmıştır.



Şekil 3.16. Sıkı geçme ölçüsünün artırılması ve rasyüsün büyütülmesi ile maksimum gerilme 950 MPa'dan 700 MPa'a düşürülmüştür.

2. Çatlamadan sonra deneylere devam edilmiş ve 4. ile 6. deney tamamlanmıştır. Ancak 1-4 arası deneylerin yapılmasında kullanılan ve daha önce çatlamayan BY toplamda 76500 çevrim çalıştıktan sonra Şekil 17'de görüldüğü gibi orta bölgesinden hasara uğramıştır. Bu TEBY için de malzeme alımları yapılmış ve önceki 2. TEBY'nin tasarımındaki değişiklikler uygulanarak yüksek basınç bölgesi tekrar imal edilmiş ve deneylere devam edilerek kalan deneyler de tamamlanmıştır.



Şekil 3.17. 1-4. Deneylerde kullanılan BY'de 76500 çevrimde meydana gelen çatlama problemi

3.2.3. İstatistiksel analizlerin yapılması

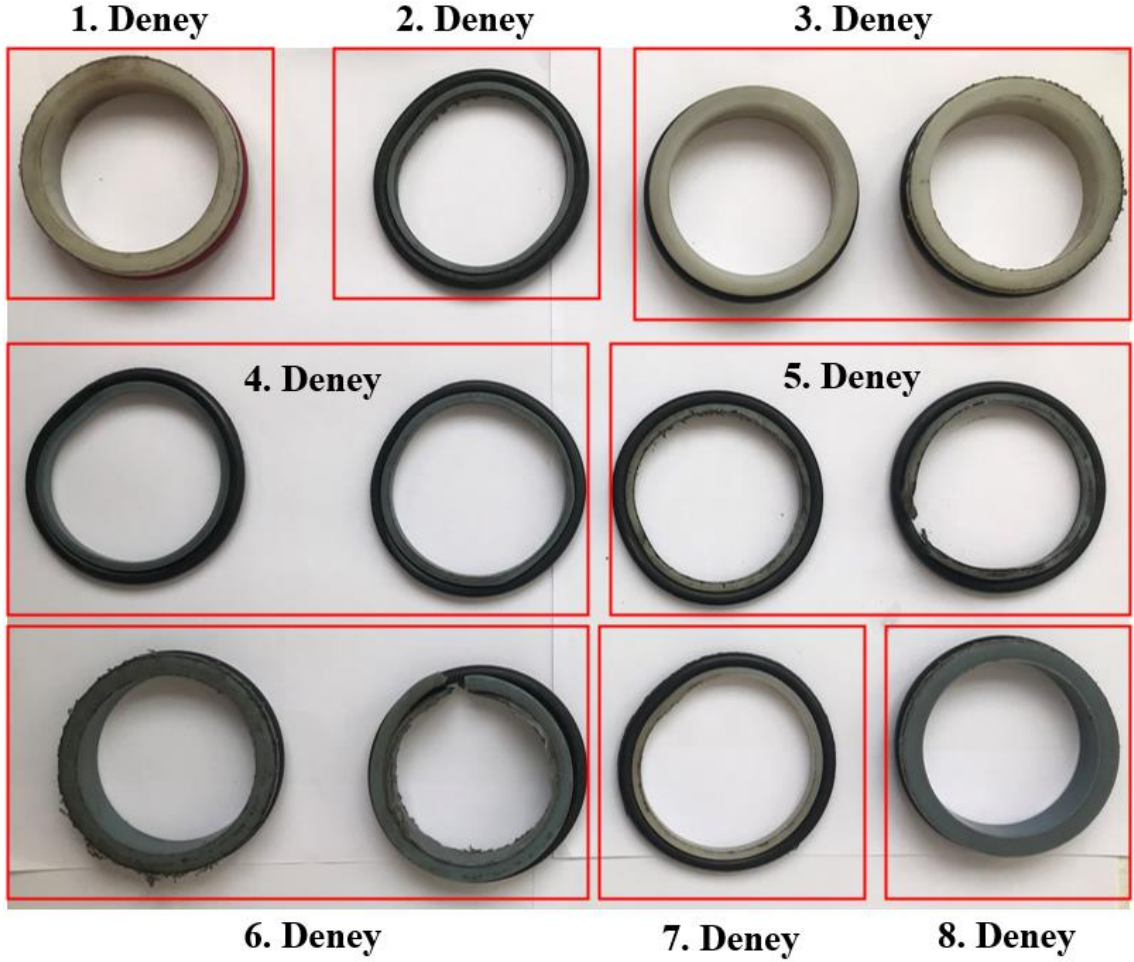
Çizelge 3.3'te görülen 8 deney, 4500 bar altında karşılıklı çalışan BY'lerde sızdırmazlık ömrü biterek sızdırmazlık elemanlarında hasar oluncaya kadar devam etmiştir. Kaçak gözlemlendiği anda deney durdurulmuş ve kontrol ünitesinde kaydedilen çevrim sayıları her bir deneyin sonucu olarak not edilmiştir. Deney sonuçları

Minitab 19 yazılımında istatistiksel değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bu kapsamda deney sonuçlarına ANOVA (varyans analizi) uygulanmıştır. ANOVA ile giriş parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkisi yüzde olarak incelenebilmektedir. Giriş parametreleri ve sonuç değerler arasındaki uyumu gösteren R-Kare değeri hesaplanabilmektedir. Ayrıca parametrelerin etki grafikleri çizdirilebilmektedir. Böylece, parametre seviyelerinin sonuçlardaki değişime etkisi rahatça gözlemlenmiştir. Bu tez çalışması için yapılan varyans analizi ile her parametrenin sızdırmazlık ömrüne etki yüzdeleri hesaplanmıştır. Ayrıca, parametre seviyelerinin değişmesiyle ortalama sızdırmazlık ömrünün değişimi, etki grafikleri aracılığıyla incelenmiştir.



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneyler sızdırmazlık elemanlarında hasar meydana gelinceye kadar veya aşırı oranda sızma meydana gelene kadar devam etmiştir. Hasara uğrayan sızdırmazlık elemanları Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Hasara uğrayan sızdırmazlık elemanları

Çoğu deneylerde sızdırmazlık elemanları belli seviyede aşındıktan sonra sızdırmazlık sağlanamayarak deney sonuçlanmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Aşınarak sızdırma sağlayamayan sızdırmazlık elemanı

5. ve 6. Deneyde ise parçalanma şeklinde hasar meydana gelmiştir (Şekil 4.3). Bunun nedeninin yüksek basınca çıkış sırasında ortamdaki hava-yağ karışımının yanarak patlaması sonucunda yükselen sıcaklık ve basınç olduğu düşünülmüştür.



Şekil 4.3. Dizel etkisi sonu parçalanma şeklinde hasara uğrayan sızdırmazlık elemanı

Deneylerde ölçülen sızdırmazlık elemanlarının ömürleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. En az ömür değeri 2. deneyde 500 çevrim olarak elde edilmiştir. Sonrasında 5. Deneydeki

çevrim sayısı 1873 olmuştur. Her iki deneyde de akma boşluğunun fazla olduğu seviye ve yüzey pürüzlülüğünün düşük olduğu seviye dikkat çekmektedir. Ayrıca her iki deneyde de A30 tipindeki sızdırmazlık elemanı geometrisi (sızdırmazlık tipi) kullanılmıştır. Bu düşük seviyeli deneylerden sonra 1, 3 ve 8. deneyler 10000-20000 çevrim aralığında sonuçlanmış, 4, 6. ve 7. Deneyler ise 20.000 çevrimin üzerine çıkmıştır. En fazla çevrim 4. deneyde 24.704 değerinde elde edilmiştir. Bu deneyde akma boşluğu düşük seviyede, yüzey pürüzlülüğü ise yüksek seviyededir. Ayrıca sızdırmazlık elemanı geometrisi K200 tipindedir.

Çizelge 4.1. Deney planı ve deneylerde ulaşılan çevrim sayıları

	A	B	C	D	E	F	G	
	Mil malzemesi	Yüzey Pürüzlülüğü	Sızdırmazlık sayısı	Sızdırmazlık malzemesi	Sızdırmazlık tipi		Akma Boşluğu	SONUÇ Çevrim Sayısı
1	1	1	1	1	1		1	14846
2	1	1	1	2	2		2	500
3	1	2	2	1	1		2	9926
4	1	2	2	2	2		1	24704
5	2	1	2	1	2		2	1873
6	2	1	2	2	1		1	24408
7	2	2	1	1	2		1	23149
8	2	2	1	2	1		2	12500

Her bir parametrenin sızdırmazlık elemanı ömrüne etkisi varyans analizi (ANOVA) ile elde edilmiştir. Minitab 19 yazılımından elde edilen ANOVA sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir. P değerinin 0.05’in altında olması, o parametrenin deney sonuçları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğunu göstermektedir. P değerinin 0.05 ile 0.1 arasında olması o parametrenin etkisinin sınırda anlamlı olduğunu göstermektedir. P değeri sadece akma boşluğu için 0.05’in altındadır. Yüzey pürüzlülüğü için ise 0.05’ten büyük ancak 0.1’den küçüktür. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğünün etkisi sınırda anlamlı olarak kabul edilebilir. Sonuçların R kare değeri 98,2 çıkmıştır. Parametreler içerisinde en etkili parametre % 74.21 ile akma boşluğu

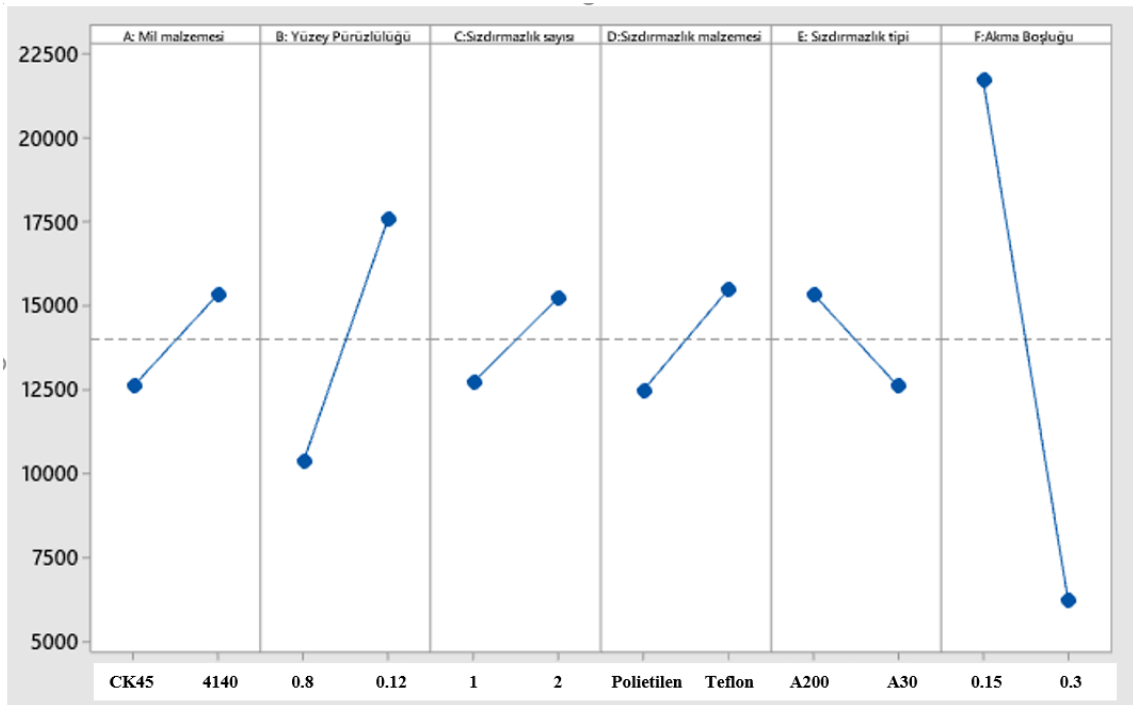
çıkıştır. Sonrasında en etkili parametre %15.66 ile milin yüzey pürüzlülüğü değeridir. Diğer parametreler sızdırmazlık tipi, mil malzemesi, sızdırmazlık sayısı ve sızdırmazlık malzemesinin ömür üzerine etkisi düşük seviyede çıkmıştır.

Çizelge 4.2. ANOVA Sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Etki Yüzdesi	Ortalama Kareler	F-Değeri	P-Değeri
A: Mil malzemesi	1	17862264	%2.73	17862264	8.67	0.208
B: Yüzey Pürüzlülüğü	1	102617138	%15.66	105125000	49.80	0.09
C: Sızdırmazlık sayısı	1	12290882	%1.88	12500000	5.97	0.247
D: Sızdırmazlık malzemesi	1	18966641	%2.89	18000000	9.21	0.203
E: Sızdırmazlık tipi	1	16399264	%2.350	15125000	7.96	0.217
F: Akma Boşluğu	1	485285858	%74.21	480500000	235.52	0.041
Hata	1	2060450	%0.17	0		
Toplam	7	655482498	%100.00			

Parametrelerin etki grafikleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Akma boşluğu arttıkça sızdırmazlık elemanı ömrünün keskin şekilde düştüğü görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü parametresinde ise beklenenin tam tersi bir davranış olduğu tespit edilmiştir. Sızdırmazlık elemanı ömrünün milin yüzey pürüzlülüğü azaldıkça artması beklenirken, pürüzlülüğün yüksek seviyesinin sızdırmazlık elemanı ömrünü artırdığı bulunmuştur. Bu duruma pürüzlülük değeri artınca yükseltelerin arasında kalan sıvının artması ve bununda yağlayıcı etkisi göstererek aşınmayı azaltmasının neden olduğu düşünülmüştür. Seçilen geometrilerin sızdırmazlık elemanı üzerine etkisinin nispeten daha az seviyede olduğu görülmektedir. Sızdırmazlık elemanı geometrisi olan A30'un A200'e göre ömür üzerine negatif etkide bulunduğu tespit edilmiştir. İki sıra sızdırmazlık elemanı kullanmak ömrü bir miktar artırsa da sızdırmazlık sayısı ilginç şekilde sızdırmazlık ömrü üzerine çok az etki etmiştir. Bu sonuçtan basınç gelen taraftaki sızdırmazlık elemanları iş göremez duruma geldiğinde dış taraftaki sızdırmazlık elemanının da neredeyse ömrünü tamamladığı anlaşılmaktadır. Böylece sızdırmazlık elemanının basınç altında çalışıp çalışmadığının ömür açısından önemli olmadığı, sızdırmazlık elemanı ömrünün sadece sürtünerek aşınma mekanizmasıyla son bulunduğu değerlendirilmiştir. Sızdırmazlık malzemesi olarak seçilen polietilen (PE) ve teflonun her ikisi de aynı seviyede ömür sağlamıştır. Her iki malzemenin mekanik özellikleri incelendiğinde PE ve teflon sırasıyla 23 ve 20 MPa akma dayanımına

sahiptir. Bu nedenle ömür değerlerinin de aynı seviyede olduğu değerlendirilmiştir. Sızdırmazlık sayısı ve malzemesi kadar olmasa da mil malzemesinin de sızdırmazlık ömrü üzerine etkisi düşük seviyede bulunmuştur. Her iki malzeme de kullanılırken aşınmaya direnç göstermesi için sertleştirilmiştir. CK45'in sertlik değeri 40 HRC iken AISI 4140 malzemenin sertliği 50 HRC'dir. Sertliği yüksek olan malzemede ömür bir miktar daha fazla olmuştur. Bu duruma mil çalışırken sızdırmazlık elemanı ve yataklama elemanlarına sürtünürken düşük sertlikteki milin yüzey pürüzlülüğünün daha hızlı azalmış olabileceği ve bu nedenle sızdırmazlık elemanının daha kısa sürede deforme olmasının neden olduğu düşünülmüştür.



Şekil 4.4. Parametrelerin etki grafikleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu yüksek lisans tez çalışmasında ultra yüksek basınca maruz sızdırmazlık elemanlarının ömürlerinde etkili olan parametreler ve etki düzeyleri araştırılmıştır. Sızdırmazlık elemanlarının ömür deneyleri basınç yükselticiler ile kurulan ömür test ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler 4500 barda yapılmıştır. Sızdırmazlık elemanlarının ömürlerine mil malzemesi, yüzey pürüzlülüğü, sızdırmazlık elemanı malzemesi, sızdırmazlık tipi, sızdırmazlık sayısı ve akma boşluğu parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Her bir parametre için iki seviye seçilmiş ve deneyler Taguchi L8 deney tasarım matrisine göre gerçekleştirilmiştir. Basınç yükselticilerde kaçak gözlemleninceye kadar deneylere devam edilmiştir. Çevrim sayısı kaydedilerek her bir deneyde sızdırmazlık elemanının ömrü ölçülmüştür. Sonuçlara ANOVA uygulanarak parametrelerin etki seviyeleri ve en uygun seviyeleri belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

1. 4500 bar basınçta sızdırmazlık elemanları en fazla 25.000 çevrim civarında ömre sahip olmuştur.
2. Sızdırmazlık elemanı ömrüne etki eden en önemli parametrenin %74 oranla akma boşluğu olduğu bulunmuştur.
3. Akma boşluğu azaldıkça sızdırmazlık elemanı ömrü önemli oranda artmaktadır.
4. Sızdırmazlık elemanı ömrü üzerinde ikinci sırada etkili olan parametre %15 oranla milin yüzey pürüzlülüğüdür.
5. Yüzey pürüzlülüğünün daha yüksek seviyesinde, daha etkin bir yağlama nedeniyle sızdırmazlık elemanındaki aşınmanın geciktiği bu nedenle sızdırmazlık ömrünün daha fazla çıktığı görülmüştür.
6. Sızdırmazlık malzemesi, sızdırmazlık elemanının geometrisi, sızdırmazlık elemanı sayısı ve mil malzemesinin seçilen seviyeleri sızdırmazlık ömrü üzerinde etkili olmamıştır. Akma boşluğunun seçilen seviyelerindeki

etkisinin fazla olmasının, diğer parametrelerin etkisini azalması sebebiyle etki değerlerinin düşük çıktığı sonucuna ulaşılmıştır.

5.2 Öneriler

Sızdırmazlık elemanı ömrüne parametrelerin etkisi araştırılırken seviye seçimlerinde dikkatli olunması gerekmektedir. Bu çalışmada akma boşluğunun iki seviyesi arasında iki kat fark vardır. Bu fark ömür üzerinde çok etkili çıktığı için sızdırmazlık malzemesi, sızdırmazlık elemanının geometrisi, sızdırmazlık elemanı sayısı ve mil malzemesinin etkisi bu farkın gölgesinde kalmıştır. Diğer parametrelerin etkililerini daha net bir şekilde ortaya çıkarmak için akma boşluğu parametresinin sabit bir değerinde deneyler yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akgül, H., 1986. Sızdırmazlık Elemanları, T.M.M.O.B. Makine Mühendisleri Odası, Yayın No:120, Bursa.
- Anonim, 2021a, Sızdırmazlık Elemanları Nedir?, <https://unluteknik.com/dosya/d2d6bac1c5..pdf> [Ziyaret Tarihi: 10.06.2021]
- Anonymous, 2021a, Series VSPV-Triplex Booster System, <https://federalpump.com/wp-content/uploads/2018/07/VSPV-Triplex-Vertical-VFD-Booster.pdf> [Ziyaret Tarihi: 19.11.2021]
- Anonim, 2021b, Hava Tahrikli Yüksek Basınc Sistemleri, <https://maximator.com.tr/hava-tahrikli-yuksek-basinc-sistemleri.html> [Ziyaret Tarihi: 20.11.2021]
- Anonim, 2021c, <https://www.kastas.com.tr/urunler/hidrolik-bogaz-sizdirmazlik-elemanlari/fr200-dusuk-surtunmeli-bogaz-kecesi> [Ziyaret tarihi: 14.10.2021]
- Anonim, 2021d <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/erdemkoc/71071/14-S%C4%B1zd%C4%B1rmazl%C4%B1k%20Elemanlar%C4%B1.pdf> [Ziyaret Tarihi: 13.10.2019]
- Anonim 2019a, Sızdırmazlık Elemanına Etki Eden faktörler https://www.kastas.com.tr/indexx.php?f=c117579e12b3865c57e1e90a2c407yyy&l=1&sayfa_id=102&g_id=&id=1574 [Ziyaret Tarihi: 13.10.2019].
- Anonim 2019b, Sızdırmazlık Elemanları Malzemeleri, <http://alpkaucuk.com/tr-TR/TechnicalInformations/Index/1>, [Ziyaret Tarihi: 16.10.2019].
- Anonim 2019c, Hidrodinamik basınç problemi, <http://alpkaucuk.com/tr-TR/TechnicalInformations/Index/1> [Ziyaret tarihi: 14.10.2021]
- Cao, X., Zhang, C., Zou, B., & Li, L. (2015). Sealing performances research on PTFE rotating seal under deep-sea environment. The Open Mechanical Engineering Journal, 9(1).
- Fatu, Aurelian, ve Mohamed Hajjam. (2015), "Shaft roughness effect on elasto-hydrodynamic lubrication of rotary lip seals: Experimentation and numerical simulation." Tribology international 88 218-227.
- Flitney, R. (2007). Seals and Sealing Handbook, Elsevier Ltd., LinacreHouse, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, Burlington, MA 01803.
- Girişta, V., I. Kaya, ve Z. Parlar. (2019), "The effect of interference on the leakage performance of rotary lip seals." International Journal of Environmental Science and Technology 16.9 5275-5280.
- Kömmling, A., Wolff, D., & Jaunich, M. (2018). Investigation of long-term behaviour of elastomeric seals for transport and storage packages. In The Ageing of Materials and Structures (pp. 17-25). Springer, Cham
- Mañas, Pilar, ve Bernard M. Mackey. (2004), "Morphological and physiological changes induced by high hydrostatic pressure in exponential-and stationary-phase

cells of Escherichia coli: relationship with cell death." Applied and environmental microbiology 70.3 1545-1554.

Muller, H. K., ve Nau, B. S. (1998). Fluid Sealing Technology, Marcel Dekker Inc., 270 Madison Avenue, New York, NY 10016.

Papatheodorou, T., 2005 Influence of hard chrome plated rod surface treatments on sealing behaviour of hydraulic rod seals, Sealing Technology, April 2005, 5-10.

Tok G. (2017), Radyal dudaklı keçelerde keçe dudak geometrisinin sızdırmazlık performansına etkisinin sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi ve deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Üngör M., (2008), Lineer Sızdırmazlık Elemanlarının Performans Karakteristiklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-68

Warring, R.H., 1967 Seals and Packings, Trade & Technical Press LTD, Morden, England.

