

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**STATİK SIZDIRMAZLIK ELEMANLARININ  
PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL  
ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Mak. Müh. Ahmet Egemen ERBİL**

**Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği  
Programı: Konstrüksiyon**

**Tez Danışmanı: Y.Doç.Dr. Vedat TEMİZ**

**HAZİRAN 2008**

**STATİK SIZDIRMAZLIK ELEMANLARININ  
PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNİN  
DENEYSEL ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Mak. Müh. Ahmet Egemen ERBİL  
(503051201)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008  
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2008**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Vedat TEMİZ (İ.T.Ü.)  
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. C.Erdem İMRAK (İ.T.Ü.)  
Yrd. Doç. Dr. Cüneyt FETVACI (İ.Ü.)**

**HAZİRAN 2008**

## ÖNSÖZ

Akışkan kontrolünün önemli olduğu hidrolik ve pnomatik sistemlerin endüstrideki yeri giderek artmaktadır. Sızdırmazlık elemanları da bu kontrolün sağlanmasında çok önemli rol alan makine elemanlarıdır. Sistem performansında etkisi büyük olan sızdırmazlık elemanlarının, sistem için en uygununun seçilmesi önem taşımaktadır.

Yapılan bu çalışmada flanşlı bir sistem kullanılarak statik sızdırmazlık elemanlarından poliüretan dökme contanın performans karakteristikleri deneysel yollar ile tayin edilmeye çalışılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince desteğini esirgemeyen, bana deneyim ve bilgilerini sunan saygıdeğer danışmanım Sayın Yrd. Doç.Dr. Vedat TEMİZ'e, değerli önerileri ile çalışmama katkıda bulunan Sayın Arş. Gör. Dr. Zeynep PARLAR'a, laboratuvar çalışmalarında yardımlarından dolayı Orhan KAMBUROĞLU'na ve deney numunelerinin hazırlanmasındaki desteği için TEMPA PANO A.Ş. çalışanlarından Musa DAŞDEMİR'e teşekkür ederim.

Son olarak bana daima destek olan nişanlım Dilek ERDUN'a ve tüm yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Meral ERBİL'e, babam Bayram ERBİL'e ve kardeşim aynı zamanda meslektaşım İ.Engin ERBİL'e sonsuz teşekkür ederim.

Haziran,2008

Ahmet Egemen ERBİL

## İÇİNDEKİLER

|                |     |
|----------------|-----|
| ÖNSÖZ          | ii  |
| İÇİNDEKİLER    | iii |
| KISALTMALAR    | v   |
| TABLO LİSTESİ  | vi  |
| ŞEKİL LİSTESİ  | vii |
| SEMBOL LİSTESİ | ix  |
| ÖZET           | x   |
| SUMMARY        | xi  |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 1. GİRİŞ .....                                                | 1  |
| 1.1 Literatür araştırması .....                               | 3  |
| 2. STATİK SIZDIRMAZLIK ELEMANLARI .....                       | 7  |
| 2.1 Contanın tarihçesi.....                                   | 8  |
| 2.2 Statik sızdırmazlık elemanlarının sınıflandırılması ..... | 9  |
| 2.2.1 Amyantlı contalar .....                                 | 9  |
| 2.2.2 Mantarlı contalar .....                                 | 10 |
| 2.2.3 Kâğıt contalar .....                                    | 11 |
| 2.2.4 Kauçuk contalar .....                                   | 11 |
| 2.2.5 Metal esaslı contalar .....                             | 13 |
| 2.2.6 Sızdırmazlık macunları ve sıvı contalar .....           | 14 |
| 2.3 Conta malzemeleri .....                                   | 16 |
| 2.3.1 Doğal kauçuk (NR) .....                                 | 17 |
| 2.3.2 Buna S.....                                             | 17 |
| 2.3.3 Butadin kauçuk (BR) .....                               | 18 |
| 2.3.4 Bütil kauçuk (IIR) .....                                | 18 |
| 2.3.5 Klorobutadin kauçuk (Kloropren-CR) .....                | 18 |
| 2.3.6 Klorosülfatlanmış polietilen.....                       | 19 |
| 2.3.7 Etilen propilen kauçuk (EPDM).....                      | 19 |
| 2.3.8 Florokarbon (FKM) .....                                 | 19 |
| 2.3.9 Nitril kauçukları (NR) .....                            | 20 |
| 2.3.10 Poliakrilik kauçukları (ACM) .....                     | 20 |
| 2.3.11 Polisülfid kauçuk (T) .....                            | 21 |
| 2.3.12 Poliüretan (AU, EU) .....                              | 21 |
| 2.3.13 Silikon kauçuklar ( VMQ) .....                         | 21 |
| 2.3.14 Fluorosilikon kauçuklar (FVMQ) .....                   | 22 |

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.15 Polinorbornen kauçuk (PNR).....           | 22        |
| 2.3.16 Etilen akrilik (AEM).....                 | 23        |
| 2.3.17 Epikloridrin kauçuk (ECO).....            | 23        |
| 2.3.18 Deri .....                                | 23        |
| 2.3.19 Politetrafloroetilen kauçuk (PTFE) .....  | 24        |
| 2.3.20 Polyester kauçuk (YBPO).....              | 24        |
| 2.4 Conta malzemelerinin özellikleri .....       | 24        |
| 2.4.1 Çekme dayanımı.....                        | 25        |
| 2.4.2 Aşınma dayanımı.....                       | 25        |
| 2.4.3 Esneklik ve uzama.....                     | 26        |
| 2.4.4 Sertlik .....                              | 26        |
| 2.4.5 Toparlanma .....                           | 27        |
| 2.4.6 Sıkıştırılabilirlik .....                  | 27        |
| 2.4.7 Sürünme gevşemesi .....                    | 28        |
| 2.5 Flanşlı bağlantılarda tasarım esasları ..... | 28        |
| 2.5.1 Contaya etki eden kuvvetler.....           | 28        |
| 2.5.2 Flanşlı bağlantı tasarım kriterleri .....  | 30        |
| 2.5.3 Conta boyutları.....                       | 31        |
| 2.5.4 Conta montajı .....                        | 33        |
| 2.5.4.1.Montaja hazırlık .....                   | 33        |
| 2.5.4.2.Montaj spesifikasyonları.....            | 33        |
| 2.5.4.3.Montaj hataları .....                    | 35        |
| <b>3. DENEYLER.....</b>                          | <b>36</b> |
| 3.1 Deney düzeneği.....                          | 37        |
| 3.2 Deney numuneleri .....                       | 39        |
| 3.3 Deneyin yapılışı .....                       | 43        |
| <b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>              | <b>46</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                            | <b>50</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                | <b>52</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                             | <b>74</b> |

## KISALTMALAR

|             |                                        |
|-------------|----------------------------------------|
| <b>FEA</b>  | : Sonlu Elemanlar Analizi              |
| <b>SLMA</b> | : Mikro-sızdırmazlık Test Düzeneği     |
| <b>PU</b>   | : Poliüretan                           |
| <b>NC</b>   | : Nümerik Kontrol                      |
| <b>PTFE</b> | : Politetrafloroetilen Kauçuk          |
| <b>FIP</b>  | : Döküldüğü Yerde Şekil Alan           |
| <b>NR</b>   | : Doğal Kauçuk                         |
| <b>GRS</b>  | : Genel Kauçuk Sitren                  |
| <b>SBR</b>  | : Sitren Bütadin Kauçuk                |
| <b>BR</b>   | : Butadin Kauçuk                       |
| <b>IIR</b>  | : Bütil Kauçuk                         |
| <b>CR</b>   | : Klorobutadin Kauçuk                  |
| <b>CSM</b>  | : Klorosülfatlanmış Monomer            |
| <b>EPDM</b> | : Etilen Propilen Kauçuk               |
| <b>FKM</b>  | : Florokarbon                          |
| <b>NBR</b>  | : Nitril Bütadin Kauçuk                |
| <b>ACM</b>  | : Poliakrilik Kauçuk                   |
| <b>T</b>    | : Polisulfid Kauçuk                    |
| <b>VMQ</b>  | : Silikon Kauçuk                       |
| <b>FVMQ</b> | : Fluorosilikon Kauçuk                 |
| <b>PNR</b>  | : Polinorbornen Kauçuk                 |
| <b>AEM</b>  | : Etilen Akrilik                       |
| <b>ECO</b>  | : Epikloridrin Kauçuk                  |
| <b>YBPO</b> | : Poliester Kauçuk                     |
| <b>IRHD</b> | : Uluslararası Kauçuk Sertlik Derecesi |
| <b>CRS</b>  | : Soğuk Şekillendirilmiş Çelik         |

## TABLO LİSTESİ

|                  | <u>Sayfa No</u>                                                                     |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tablo 2.1</b> | Civatalı bağlantılarda sızıntı probleminin başlıca hata modları. ..35               |
| <b>Tablo 3.1</b> | Değişken parametreler ile hazırlanan deney numuneleri listesi.....41                |
| <b>Tablo 4.1</b> | Numunelerin basınç farkı, maksimum basınç ve sıkışabilme<br>oranı değerleri..... 49 |
| <b>Tablo C.1</b> | Conta malzemelerinin fiziksel özellikleri..... 70                                   |
| <b>Tablo C.2</b> | Conta malzemelerinin kimyasal dirençleri ..... 71                                   |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

|            |                                                                                                                                          |    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1  | Temel sızdırmazlık problemi .....                                                                                                        | 1  |
| Şekil 1.2  | Sızdırmazlık elemanlarının genel sınıflandırılması .....                                                                                 | 3  |
| Şekil 2.1  | Contalı bağlantıların terminolojisi .....                                                                                                | 7  |
| Şekil 2.2  | Kare kesitli kauçuk contaların statik sızdırmazlık elemanı olarak kullanılması .....                                                     | 12 |
| Şekil 2.3  | Metalik conta tipleri .....                                                                                                              | 13 |
| Şekil 2.4  | Kaplamasız ve kaplamalı metal halkalar.....                                                                                              | 14 |
| Şekil 2.5  | Kauçuk malzemelerin 20°C'deki çekme dayanımları .....                                                                                    | 25 |
| Şekil 2.6  | Metallerin Hooke kanununa göre davranışı (a) ve kauçuk malzemenin esnek ve plastik davranışı (b).....                                    | 26 |
| Şekil 2.7  | Bazı elastomerlerin toparlanma özelliği.....                                                                                             | 27 |
| Şekil 2.8  | Contaya etki eden kuvvetler .....                                                                                                        | 29 |
| Şekil 2.9  | Flanş rotasyonu. ....                                                                                                                    | 30 |
| Şekil 2.10 | Flanş eğilme problemi .....                                                                                                              | 31 |
| Şekil 2.11 | Şekil ölçülerine göre flanşlı bağlantılardaki conta uygulaması.....                                                                      | 32 |
| Şekil 2.12 | Dairesel contada çapraz civata sıkma düzeni .....                                                                                        | 34 |
| Şekil 2.13 | Dairesel olmayan contalarda spiral civata sıkma düzeni .....                                                                             | 34 |
| Şekil 3.1  | Deney tesisatının prensip şeması .....                                                                                                   | 37 |
| Şekil 3.2  | Deney tesisatının genel görünüşü. ....                                                                                                   | 38 |
| Şekil 3.3  | Deney numunesi.....                                                                                                                      | 39 |
| Şekil 3.4  | Deney numuneleri kesit görünüşleri.....                                                                                                  | 40 |
| Şekil 3.5  | Isıtılmış yüzeye dökülen PU conta kesidi .....                                                                                           | 42 |
| Şekil A.1  | Karışım oranı değiştirilerek hazırlanan numunelerin kullanıldığı sistemin 10 dak. içerisindeki basınç farklarının ortalama değerleri ... | 52 |
| Şekil A.2  | Karışım oranı değiştirilerek hazırlanan numunelerin hasar görme basınç değerleri .....                                                   | 52 |
| Şekil A.3  | Karışım oranı değiştirilerek hazırlanan numunelerin sıkışabilme oranları .....                                                           | 53 |
| Şekil A.4  | Karışım oranı 4:1 tüm numunelerin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi.....                                               | 53 |
| Şekil A.5  | Karışım oranı 5:1 olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi.....                                              | 54 |
| Şekil A.6  | Karışım oranı 4:1,5 olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi.....                                            | 54 |
| Şekil A.7  | Karışım oranı 6:1 olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi.....                                              | 55 |
| Şekil A.8  | Karışım oranı 3:1,5 olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi .....                                           | 55 |
| Şekil A.9  | Gramaj oranı değiştirilerek hazırlanan numunelerin uygulandığı sistemin 10 dakika içerisindeki basınç farkı grafiği .....                | 56 |

|                   |                                                                                                                                                   |    |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil A.10</b> | Gramaj oranı değiştirilerek hazırlanan numunelerin hasar görme basınç değeri grafiği .....                                                        | 56 |
| <b>Şekil A.11</b> | Gramaj oranı değiştirilerek hazırlanan numunelerin sıkışabilme oranları.....                                                                      | 57 |
| <b>Şekil A.12</b> | Gramaj oranı 3,8 g/s olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi.....                                                    | 57 |
| <b>Şekil A.13</b> | Gramaj oranı 5 g/s olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi.....                                                      | 58 |
| <b>Şekil A.14</b> | Gramaj oranı 1,9 g/s olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi.....                                                    | 58 |
| <b>Şekil A.15</b> | Gramaj oranı 2,7 g/s olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi.....                                                    | 59 |
| <b>Şekil A.16</b> | Conta dökülen yüzey sıcaklığının değiştirilmesi ile hazırlanan numunelerin uygulandığı sistemin 10 dakika içerisindeki basınç farkı grafiği. .... | 59 |
| <b>Şekil A.17</b> | Conta dökülen yüzey sıcaklığının değiştirilmesi ile hazırlanan numunelerin hasar görme basınç değeri grafiği.....                                 | 60 |
| <b>Şekil A.18</b> | Conta dökülen yüzey sıcaklığının değiştirilmesi ile hazırlanan numunelerin sıkışabilme oranları.....                                              | 60 |
| <b>Şekil A.19</b> | Conta dökülen yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığı olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi .....                          | 61 |
| <b>Şekil A.20</b> | Conta dökülen yüzey sıcaklığının artırılması ile hazırlanan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi.....                  | 61 |
| <b>Şekil A.21</b> | Conta dökülen yüzey sıcaklığının azaltılması ile hazırlanan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi.....                  | 62 |
| <b>Şekil B.1</b>  | Numune 1 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri.....                                                                                    | 63 |
| <b>Şekil B.2</b>  | Numune 2 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri.....                                                                                    | 63 |
| <b>Şekil B.3</b>  | Numune 3 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri.....                                                                                    | 63 |
| <b>Şekil B.4</b>  | Numune 4 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri.....                                                                                    | 64 |
| <b>Şekil B.5</b>  | Numune 5 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri.....                                                                                    | 64 |
| <b>Şekil B.6</b>  | Numune 6 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri.....                                                                                    | 64 |
| <b>Şekil B.7</b>  | Numune 7 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri.....                                                                                    | 65 |
| <b>Şekil B.8</b>  | Numune 8 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri.....                                                                                    | 65 |
| <b>Şekil B.9</b>  | Numune 9 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri.....                                                                                    | 65 |
| <b>Şekil B.10</b> | Numune 10 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri.....                                                                                   | 65 |
| <b>Şekil B.11</b> | Hasar testi sonrası Numune 1’de görülen conta yırtılmaları .....                                                                                  | 66 |
| <b>Şekil B.12</b> | Hasar testi sonrası Numune 4’te görülen conta yırtılmaları .....                                                                                  | 66 |
| <b>Şekil B.13</b> | Hasar testi sonrası Numune 6’da görülen conta yırtılmaları .....                                                                                  | 67 |
| <b>Şekil B.14</b> | Hasar testi sonrası Numune 7’de görülen conta yırtılmaları .....                                                                                  | 67 |
| <b>Şekil B.15</b> | Hasar testi sonrası Numune 8’de görülen conta yırtılmaları .....                                                                                  | 68 |
| <b>Şekil B.16</b> | Hasar testi sonrası Numune 9’da görülen conta yırtılmaları .....                                                                                  | 68 |
| <b>Şekil B.17</b> | Hasar testi sonrası Numune 10’da görülen conta yırtılmaları .....                                                                                 | 69 |

## SEMBOL LİSTESİ

|                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| <b>D</b>             | : Keçe yuva çapı    |
| <b>E</b>             | : Elastiklik modülü |
| <b>Sh</b>            | : Shore             |
| <b>S</b>             | : Sıkışabilme oranı |
| <b>t</b>             | : Conta kalınlığı   |
| <b>R<sub>t</sub></b> | : Yüzey Pürüzlülüğü |
| <b>ΔP</b>            | : Basınç Farkı      |
| <b>P</b>             | : Basınç            |

## **STATİK SIZDIRMAZLIK ELEMANLARININ PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL ANALİZİ**

### **ÖZET**

Sızdırmazlık elemanları günümüz makine endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Hidrolik ve pnomatik sistemlerin giderek hakim olduğu endüstride, sızdırmazlık elemanları seçilirken dikkat edilmesi gereken makine elemanlarından biri olmuştur. Akışkanın yer aldığı bir sistemde doğru sızdırmazlık elemanının kullanılması, sistemin yüksek verimde çalışması için gerekli hususlardan biri olmaktadır. Uygun sızdırmazlık elemanının seçilmesinde, çalışma ortam koşulları ile sızdırmazlık elemanının malzeme bilgisi ve o malzemenin fiziksel, gerekli ise kimyasal özellikleri karşılaştırılarak karar verilir. Yapılan tasarım, kullanılan akışkan ve çalışma ortamı dikkate alınarak deneysel çalışmalarla da uygun sızdırmazlık elemanı belirlenebilir.

Sunulan bu çalışmada statik sızdırmazlık elemanlarının (contaların) performans karakteristiklerinin deneysel analizinde flanşlı bir sistem kullanılmıştır. Buna göre tasarlanan deney düzeneği ile farklı özelliklere sahip poliüretan numuneleri deneyerek elde edilen sonuçların karşılaştırılma imkanı sağlanmıştır. Numuneler poliüretan malzemeden dökme conta olarak hazırlanmıştır. Numuneler elde edilirken iki farklı komponentin karışım oranı, bir saniyede yüzeye dökülen conta gramajı ve contanın döküldüğü yüzey sıcaklığı değişken parametreler, ortam sıcaklığı, aynı tip malzeme ve conta makinesinin döküm hızı ise sabit parametreler olarak alınmıştır. Deneyler iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada her bir deney numunesi sabit bir basma kuvveti ile yerine monte edilerek sistem içten basınçlandırılmış ve belli bir süre içindeki basınç kaybı izlenmiştir. İkinci aşamada ise iç basınç, conta hasara uğrayıncaya kadar arttırılarak contanın hasara uğradığı basınçlar elde edilmiştir. Sunulan bu çalışmada elde edilen verilerin çalışma koşullarına göre en uygun contanın seçilmesinde kullanılması hedeflenmektedir.

## **EXPERIMENTAL ANALYSIS OF STATIC SEALS'S PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

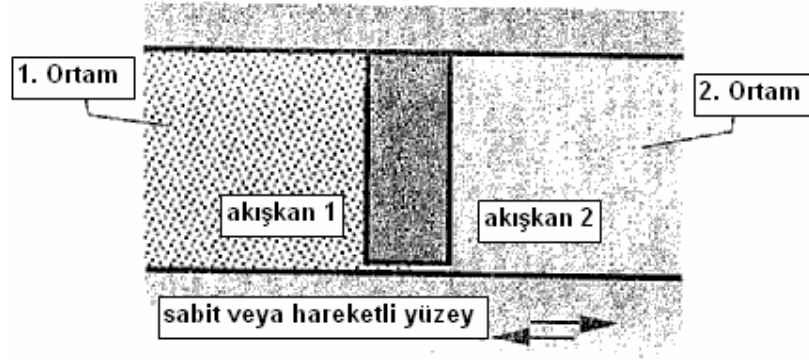
### **SUMMARY**

Today's machine industry, sealing components are situated in a very important place. Sealing components have become one of the most remarkable machine design elements while hydraulic and pneumatic systems have been located in most of industry. For getting high efficiency from the system which includes fluid, designers need to select the correct sealing components. It is defined which sealing component is suitable for the design by comparing ambient operating conditions and fundamentals of sealing component material such as physical, chemical properties. Suitable sealing component for the design could be defined by theoretical knowledges as material properties, but experimental methods are severely recommended for defining the performance of sealing components.

In this study, flanged joint system is used to define performance characteristics of static sealing components (gaskets) by experimental analyses. Accordingly, it is possible to be compared the test results of polyurethane foam gaskets which have different properties by using this designed testing apparatus. Samples are prepared as foam in place method by using polyurethane material. Whilst samples have been prepared, mixing ratio of 2 different materials, weight in grams value of foamed gasket in 1 second (g/s) and temperature of foamed surface are taken variable parameters; ambient temperature, same type material and polyurethane foam gasket machine foaming velocity are taken constant parameters. Experiments have achieved within 2 steps. At the first step, samples are placed on flange with a constant compressive force and system is pressurized by adding fluid into the flanged joint. Then, pressure loss is observed in a certain time. At the second step, closed flanged joint internal pressure is increased till gasket damaged and pressure value of gasket damaged are evaluated. With this presented study, the results obtained from the experiment are targeted to use by selecting the optimum gasket according the operating conditions.

## 1. GİRİŞ

Bir makinanın hareketli veya hareketsiz komponentleri arasındaki genel sızdırmazlık problemi Şekil 1.1’de basitçe gösterilmiştir. Sızdırmazlık, ortak bir sınırı paylaşan iki bölge arasında oluşabilecek akışkan geçişinin kontrolü olarak tanımlanabilir. Endüstriyel uygulamalarda yağlayıcı akışkanın veya sistemde mevcut basınçlı akışkanın çalışma sırasında sistemden herhangi bir şekilde dışarı sızmasını önleyebilmek veya kontrol edebilmek amacıyla kullanılan elemanlara sızdırmazlık elemanları denir.



Şekil 1.1 Temel sızdırmazlık problemi

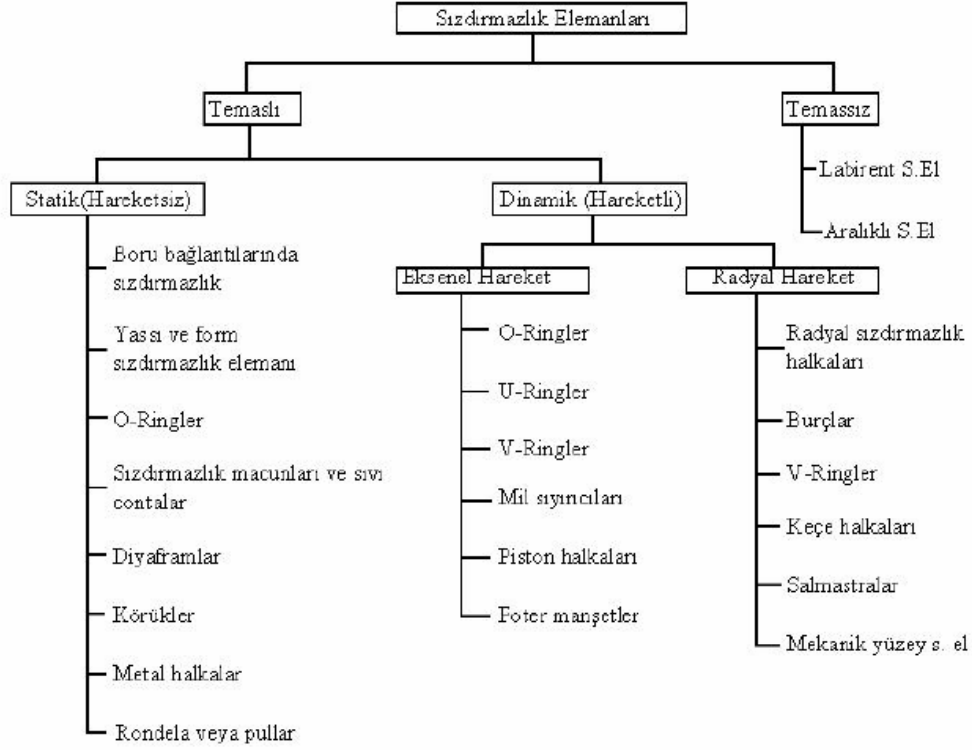
Sınır bölge genelde silindirik ve düz halka şeklindedir. Bir uygulamanın yapısı, tasarımı ve toleransları üzerinde düşünülürken, sabit ve hareketli yüzeyler arasında irili ufaklı boşluklar oluşabilir. Bu oluşan boşluklar ile ortaya çıkan sızıntı problemini sistem tek başına, yardım almadan çözemez. Sızdırmazlık elemanları ile bu boşluk boyutları istenilen uygun boyutlara kadar azaltılır. Boşlukların sebep olacağı akışkan sızıntısı, uygulamalarda basınç, sıcaklık, hız değişimleri, moleküler etkileşimler, çevresel kuvvetlerin değişimi gibi fiziksel proseslerin yönlenmesine sebep olurlar.

Sızıntı her iki yöne doğru da olabilir. Akışkanlar yüksek basınçtan düşük basınca doğru hareket etmek istedikleri için genelde sızıntı sistem dışına doğrudur. Sızıntı çeşitlerini difüzyon, konveksiyon ve basınçlı akış olarak 3 grupta sınıflandırabiliriz.

Difüzyon, boyutsal olarak bir nanometreden küçük gaz veya buhar moleküllerinin sızdırmazlık elemanı olmasına rağmen sistemde varolan küçük boşluklardan nüfuz etmesiyle oluşur. Konveksiyonu, sistemde iki ortam arasındaki hava akışından dolayı toz partiküllerin transferi veya dış ortamda gelecek sıvı damlacıklarının geçişi gibi olaylarla örnekleyebiliriz. Konvektif sızıntı, detaylı geometriye sahip tasarımlarda ve sızdırmazlık aralığı etrafında görülebilecek çok hassas bir olaydır. Basınçlı akış ise uygulamalarda sıkça görülen bir sızıntı modudur ve asıl sızdırmazlık sebebi olarak da yorumlanır. Basınç farkından dolayı oluşabilecek sıvı fazdaki sızıntılar damlama ile veya normal sıvı akışı ile karşımıza çıkar. Basınçlı akış sebebiyle, başka bir parametre değişmedikçe sızıntı oranı basınç gradyanı ile birlikte artar ve akışkanın viskozitesi ile birlikte azalır. Basınçlı gazlar veya buharlar oluşan basınç farkı tepkisi ile sızabilirler. Sistem içindeki akışkan, basınç ve sıcaklık değişimi sonucu görülen faz değişimleri esnasında sızıntıya meyillidirler [10].

Dinamik ve statik olmak üzere iki çeşit sızdırmazlık durumu söz konusudur. Dinamik sızdırmazlık, ortak sınırdaki kayma hareketi mevcut olduğu ve bu hareketin sınır bölgesine genelde paralel olduğu durumlarda görülür. Örnek olarak döner mekanik keçeleri, piston ringleri ve labirent keçeleri verilebilir. Statik sızdırmazlık ise, hareketin olmadığı iki yüzey arasındaki akışkan geçişinin kontrol edildiği durumlarda söz konusudur. Örnek olarak contalar, metal O-ringler ve dolgu macunları verilebilir. Bu elemanlar için kesin sızdırmazlık bahsedilemez. Moleküler seviyede dahi mutlaka akışkan geçişleri görülmektedir. Bu nedenle sızdırmazlık elemanları, akışın kontrol edildiği elemanlar olarak tanımlanır.

Sızdırmazlık elemanları temaslı ve temassız sızdırmazlık elemanları olarak da sınıflandırılabilir. Temaslı sızdırmazlık sistemlerinde mil ile gövde veya kapak arasına her ikisi ile temas halinde bulunan bir eleman kullanılmaktadır. Temassız sistemlerde ise çok dar kanalların yağ akışına karşı oluşturdukları dirençten faydalanılır. Temassız sızdırmazlık elemanlarında sürtünme, aşınma olmadığı için sonsuz ömre sahip olabilmektedirler. Şekil 1.2’de sızdırmazlık elemanlarının genel sınıflandırılması görülmektedir.



**Şekil 1.2** Sızdırmazlık elemanlarının genel sınıflandırılması

### 1.1 Literatür araştırması

Statik sızdırmazlık elemanlarının literatürde performans kriterlerini değerlendirmek amaçlı yapılan birçok deneysel çalışmalara rastlanmaktadır. Bu çalışmaların bazıları sızdırmazlık elemanı malzeme özelliklerine yönelik iken bazıları da belli başlı teknik özelliklere göre performans değerlendirmeyi içermektedir.

Kevin R. Beutler'in yapmış olduğu çalışmada [1], robust mühendislik yaklaşımı ile bir aks yatağının sızdırmazlığının optimize edilmesi araştırılmıştır. Civatalı bağlantıya sahip aks yatağı ve kapağı arasında sağlanacak akışkan sızdırmazlığı fiber içerikli conta ile sağlanmıştır. Taguchi robust mühendislik yaklaşımı kullanılarak, temas yüzeyleri ile statik conta arasındaki uyum ve sızdırmazlık yeteneği irdelenmiştir. FEA sonlu elemanlar analiz yöntemi yaklaşımı robust parametre dizayn tekniği ile ortak çalışmasıyla yapılan analizlerde aks yatağı için düşünülen optimum sızdırmazlık için kabartma geometri boyutları saptanmıştır.

Torsten Sixt'in çalışmasında [2] sıvı enjeksiyon contalarının genel olarak önemli avantajları ve uygulama alanlarından bahsedilmiştir. Sıvı contalar, sızdırmazlık elemanları arasında yenilikçi sızdırmazlık tekniği ile yerini almıştır. Sıvı enjeksiyon contaların önde gelen özellikleri, sızdırmazlık fonksiyonelliği ve uygulama prosesidir. Döküldükten sonra genişleyen bir conta çeşididir. Sıvı contalar döküldüğü yerde şekil aldıkları için tüm temas yüzeylerine uyumu çok iyidir. Birleşim izi olmadan yekpare bir şekilde uygulanabilir. Conta döküm basıncı ısı genleşmelerle ve karışım malzemelerinin genişlemesi ile belirlenir. Bu çalışma ile sıvı enjeksiyon contalar önde gelen özellikleri ile diğer statik sızdırmazlık elemanları ile karşılaştırılmıştır.

Edward Widder yaptığı çalışma [3] ile statik sızdırmazlık elemanlarının performanslarının sünme-gevşeme, yorulma dayanımı ve sızıntı oranı özelliklerine göre değerlendirilmiştir. Bu 3 kriter için yapılan testler ile contaların performansları ve ömürleri yorumlanmıştır. Bu çalışma sonucunda, conta ömrünün birçok parametreye bağlı olarak yorumlanabileceği ve contanın sünme-gevşeme, yorulma dayanımı, sızıntı oranı özellikleri conta ömrüne etki eden başlıca parametreler olduğu çeşitli analiz metodları ile ifade edilmiştir.

Statik sızdırmazlık elemanlarının kullanımında yüzey pürüzlülüğünün sızdırmazlık performansına etkisi Masaya Otsuka, Tatsuo Okamura, Naohito Suetsugu, Takashi Ohta ve Shigeyuki Ono tarafından araştırılmıştır [4]. Akışkan sızıntıları, conta ile karşı yüzeyi arasında oluşabilecek küçük aralıklardan oluşur. Bu çalışmada da sızıntıya sebep olabilecek yüzü pürüzlülüğü ile elastomer conta yüzeyi arasındaki ilişki incelenmiştir. Araştırmacılar tarafından geliştirilen mikro-sızdırmazlık test düzeneği (SLMA) kullanılarak sistemin kısa sürede ve yüksek hassasiyet ile mikro seviyede sızdırmazlığı ölçülebilmektedir. Elastomer sızdırmazlık elemanlarının performansı yüzey pürüzlülüğünden kaynaklı deformasyonlar ile azalmaktadır. Bu çalışma ile elastomer contanın sızıntı oranının, conta yüzey basıncı ile contanın elastiklik modülü arasındaki oran ( $P_s/E$ ) ile ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır.

Brian C Lehr'in çalışmasında [5] flanş sızdırmazlığı için kullanılabilecek yeni bir teknolojisi tanıtılmıştır. Bu teknoloji, contanın dayanım ve sızdırmazlık testlerinde endüstri standartları seviyesindedir. Bu teknoloji sistemin ilk sızdırmazlık yöntemini ve buna ait tüm hata modlarını öngörerek geliştirilip, bu bilgi kapsamında oluşturulan conta ile performansı daha yüksek bir sistem sağlanmaktadır.

Sızdırmazlık sağlanacak temas yzeylerine veya kenarlara çeşitli geometrilere polimer kaplamalar uygulanarak oluşturulur. Kaplanan polimer conta, birleşme yzey kalınlığından %40 daha fazla kalınlığa sahip olmalıdır. Bu conta çalışması prototip ve kalıp maliyeti açısından da ekonomik olması ile avantajlıdır.

Ed Widder ve Don Bajner'in ortak çalışmasında [6] sızdırmazlık testi esnasında sızdırmazlık sağlanacak karşılıklı iki temas yzeyi arasındaki paralelliğin, yzey pürüzlülüğünün ve kaplamanın sızıntı oranına etkisi araştırılmıştır. Yapılan alışmalar sonucunda, yzeyler arasındaki paralellik küçük açılarda bile sapma gosterse sızdırmazlık performansını etkilediği, kabartmalı contaların yzey paralelliğini bozabileceğinden ötürü sızdırmazlık performansına negatif olarak etkidiği ifade edilmiştir.

İ basına maruz kalan civatalı flanş bağlantısının sızdırmazlık performansının yüksek olması istenir. Ancak yapısı gereği esnek flanşlı bağlantıların temas yzey basınının giderek azalmasından dolayı sızdırmazlık performansının iyileştirilmesi zordur. Toshiyuki Sawa, Masahiro Yoneno, Hiroshi Kawamura ve Akira Schimizu'nun yaptığı çalışmada [7], sıvı conta dikdörtgen kutu şeklinde bir flanşlı bağlantıya uygulanarak ve bağlantı sonrası i basına maruz bırakılarak sızdırmazlık performansının arttırılması amaçlanmıştır. Farklı numuneler ile oluşturulan kapalı sistemde i basınç artışı ile görölen ilk sızıntı değerleri çalışmanın çıktısı olmuştur. Deneylerde, flanş malzemesi alüminyum ve elik olarak farklı malzemelerde ve bunun yanında farklı kalınlıklarda kapalı sistemler oluşturulmaya çalışılmıştır. Kapaklardaki civatalama yerleri ve civata sayıları da değiştirilerek sızdırmazlık değeri gözlemlenmiştir. Ek olarak, bağlantı civataları arasındaki mesafe ve kapanma kuvveti değerlerinin etkileri de incelenmiştir. Ayrıca sıvı conta uygulanan civatalı bağlantının arayüz gerilim dağılımları sonlu elemanlar metodu kullanılarak analizi yapılmıştır. Deneylerde flanşlı bağlantılarda civatalarının merkezleri ile flanş i yzeyi arasındaki mesafenin fazla olması ve kapama kuvvetinin yüksek olmaması ile sızdırmazlık performansının artacağı sonucuna varılmıştır.

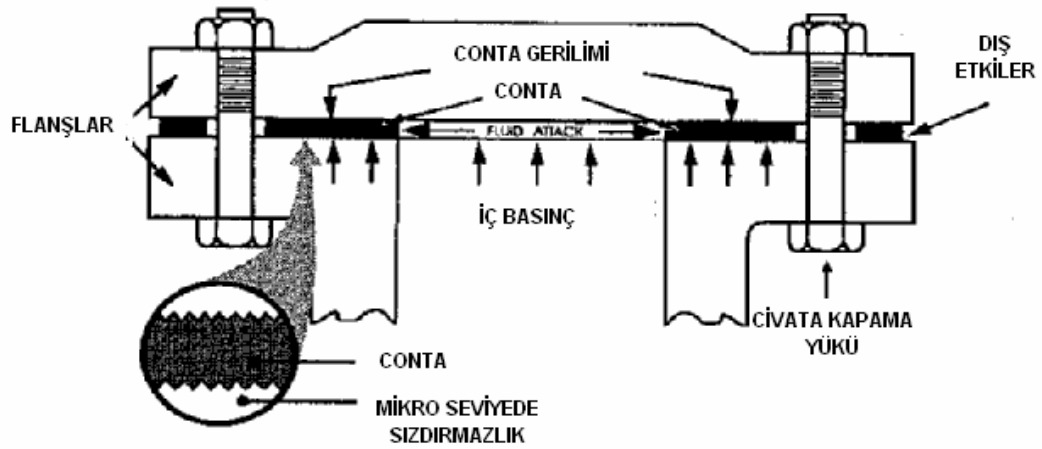
Sunulan bu çalışmada statik sızdırmazlık elemanlarının sıvı conta grubundan, uygulandığı yzeyde şekil alan (FIP) poliüretan (PU) dökme conta kullanılmıştır. İki malzemenin karışımı ve kimyasal reaksiyonu ile oluşan ve NC robot yardımı ile kolayca hazırlanabilen bu conta çeşidinde, karışım oranı değerleri, robotun 1 saniyede yzeye döktüğü gramaj değerleri ve dökülecek yzey sıcaklığı değerleri ile

çeşitlilik yaratarak 10 farklı numune hazırlanmıştır. Flanşlı bir düzeneden oluşan bu deneysel çalışmada deneyler iki farklı gruptan oluşmaktadır. İlk grup deneylerinde flanşlı sistemin sızdırmazlığını sağlayacak numunelerin, sistem iç basıncı 6 bar basınca getirildikten sonra öngörülen 10 dakika içerisindeki basınç kaybı değerleri gözlenmiştir. Sistem iç basıncının ölçümü  $\pm 0.5\%$  hassasiyetinde 0 ila 50 bar arasında ölçüm yapabilen bir basınç sensörü ile yapılmıştır. İkinci grup deneylerde ise numunelerin hasarlanma basıncı ölçülmüştür. Numune conta uygulanan flanşlı sistemin iç basıncı, conta hasarlanıp iç basınç aniden düşene kadar arttırılmıştır ve göstergede okunan en yüksek basınç değeri numunenin hasarlanma basıncı olarak ifade edilmiştir. Her bir deney sonrası çıkan değerler ile değişken parametreler ile oluşabilen PU dökme contanın en iyi performans gösteren parametre değerlerini saptamak amaçlanmıştır.

## 2. STATİK SIZDIRMAZLIK ELEMANLARI

Bu bölüm kapsamında statik sızdırmazlık elemanları ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Bu bilgiler [8-17] numaralı kaynaklara dayanılarak verilmiştir.

Statik sızdırmazlık elemanları, literatürde kısaca “conta” ismi ile adlandırılmaktadır. Conta, mekanik bir bağlantının ayrılabilir iki elemanı arasına 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 ve dirençli olmalı ve uygulama sıcaklığına ve basıncına dayanabilmelidir. Şekil 2.1 contalanmış bir bağlantı ile ilgili terimler bilgisini göstermektedir.



Şekil 2.1 Contalı bağlantıların terminolojisi

Teoride bir mekanik bağlantıda yer alan flanş yüzeylerinin mükemmel bir pürüzsüzlülüğe, paralelliğe ve rijidliğe sahip olması ve bu yüzeyleri birbirine civatalarla bağlanması ile contasız sızdırmazlık sağlanabilir. Ama pratikte flanş yüzeyleri pürüzlü ve sınırlı rijidliktedir. Nitekim pratikte pürüzsüz yüzeyli temas yüzeylerine ulaşmak için yüksek maliyet ve teknoloji gerektiren proseslere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak pahalı yöntemler kullanılmasına karşın güvenilir değildir. Ek

olarak, flanşlar birbiri ile montajı esnasında genellikle düzensiz yüke maruz kalırlar. Bu yüzden contalar mekanik bağlantılarda;

1. Düzensiz yüke maruz kalan flanşları ve oluşan flanş distorsiyonlarını (sapmaları) dengeleyerek,
2. Flanş yüzeyi düzensizliklerini uyumlu hale getirerek

sızdırmazlığı sağlaması ile tanımlanır.

Birbiri ile temas halinde bulunacak flanşların kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü ve cıvataların çapları, sıkma momentleri, montaj mesafeleri ve boyları gibi çevresel faktörler contanın performansını etkileyen önemli parametrelerdir.

## **2.1 Contanın tarihçesi**

Endüstrideki ilk conta kavramı, asbest ve kauçuk malzemeler temel alınarak yaklaşık 110 yıl önce Avusturyalı bir mühendis tarafından bulunmuştur. Bu başarılı buluş birçok taklitçinin dikkatini çekmiştir ve yakın zamanda birçok malzeme ve çeşitli kalitelere conta kavramı oluşumunu sürdürmüştür. Asbest içermeyen contaların gelişmesi ile farklı sızdırmazlık eleman tipleri epeyce artmıştır.

İlk kullanılan conta malzemelerinden bir diğeri de mantardır. Mantar meşesi ağacının kabuğundan elde edilmiştir. Mantar tanecikleri çeşitli polimerlerin birleşiminden oluşur ve ilk akla gelenleri mantar-gliserin ve mantar-kauçuk kompozitleridir.

90 yıldan beri kağıt, contalamada faydalanan diğer bir üründür. Fiberleri selülozdur ve son ürün bir makineden çıkmaktadır. Selüloz kağıt contaların sızdırmazlık özelliklerini arttırmak için ürünü gliserin ve hayvansal tutkal ile doymak gerekir ve sonra formaldehit (bağlayıcı) uygulanır ve fırında kurutulur. Bu ürün “İşlenmiş Fiber (iplik)” olarak bilinir ve hala günümüzde geniş ölçüde su ve fuel sızdırmazlığı için kullanılmaktadır. Zamanla bazı üreticiler conta malzemesini bitki özü ile doyunlaştırarak sızdırmazlık özelliğini arttırmıştır.

Daha sonra kauçuk hammaddesi bulunmuştur ve diğer malzemelerle birlikte kullanınca sızdırmazlık özelliğinin geliştiği görülmüştür. Günümüz teknolojisi etkisiyle sızdırmazlık malzeme özelliği taşıyan contalar istenilen konfigürasyonda kesilebilir, şekil verilebilir veya dökülebilir.

Statik sızdırmazlık elemanlarının günlük yaşamda ve endüstride kullanımına çok rastlarız. Statik sızdırmazlık elemanları kullanım yeri çeşitliliğine ve tasarımına dayanarak birçok geometride karşımıza çıkmaktadır. Boru bağlantıları, basınçlı kazanlar, konserve kutuları, şişe ve kavanoz gibi çoğu uygulamalarda sızdırmazlık elemanları karşımıza dairesel formda çıkmaktadır. Geometrik form için bir diğer örnekte dikdörtgen olanlardır. Yağ haznesi ile kapama levhası arasında, iki parçadan oluşan ayırık pompa, valf veya türbin muhafazası arasındaki kompleks bağlantılarda, içten yanmalı motorların silindir kapağı montaj yüzeyinde, ve araçların cam montajlarında dörtgen geometride uygulamalar örnek verilebilir. Bu uygulamalarda yer alan akışkan sıvı veya gaz halde olabilir ve içerden veya dışardan uygulanan basınç çok büyük aralıklarda olabilir. Ayrıca sıcaklığın 500-1000°C gibi kronik olduğu değerler de olabilir. Buradan sızdırmazlık elemanlarının çalışma koşullarının çok zor olduğu ortamlarda da kullanılabileceği kanısına varılabilir.

## **2.2 Statik sızdırmazlık elemanlarının sınıflandırılması**

Contaların sınıflandırılması literatürde farklı başlıklar altında görülebilir. Çalışma şekline göre, malzeme çeşidine göre, montaj şekline göre, imalat yöntemine göre, uygulama alanına göre contalar gibi başlıklarda sınıflandırmalar yapılabilir. Conta elemanlarında ilk akla gelen farklılık malzeme çeşidi olduğu için, sistem performansını, uygulama yerini birebir etkileyen bir parametre olduğu için ve ayrıca malzeme özelliğine göre yapılan sınıflandırma daha kapsamlı olduğu için genelde contaların sınıflandırılması malzeme çeşidine göre detaylandırılır. Contaları malzeme çeşidine göre

- Metal esaslı contalar
- Metal esaslı olmayan contalar

olarak genel iki başlık altında toplayabiliriz. Bu iki genel başlık altında günümüze kadar kullanılan ve geliştirilen conta çeşitleri ve bunların genel özellikleri aşağıda detaylandırılmıştır.

### **2.2.1 Amyantlı contalar**

Asbest ya da amyant olarak literatürde yer alır; ısıya, aşınmaya, kimyasal maddelere çok dayanıklı lifsel yapıda kanserojen bir mineraldir. Güçlükle erir ve sıcaklığı

geçirmez. İlk bulunan conta çeşididir. Amyant liflerinin az miktarda kauçuk ile bağlanmasından elde edilmiştir. Yüksek baskı kuvvetine dayanıklıdır. Yüksek sıcaklıklarda bağlayıcı kauçuğun sertleşmesine ve esnekliğini kaybetmesine karşın, amyant esnekliğini korur. Kolay tutuşan bir madde değildir. Neredeyse kimyasal ortamda reaksiyona girmeyen bir yapıya sahiptir ve çok düşük sıkıştırılabilir özelliktedir. İğne yapılı olması amyantın inorganik doğal maddenin parçalanmasıyla elde edilmesindendir. Lif uzunluğu malzemenin mekanik direncini, bağlayıcı malzeme tipi ise kimyasal direncini etkiler. Bağlayıcı maddenin çalışma koşullarına uygunluğu önemlidir, contanın mekanik direncinde etkilidir. Ayrıca bağlayıcılar, sızdırmazlık sağlanacak ortama karşı ve sıcaklığa karşı direnci belirler.

Amyant en fazla 540°C sıcaklığa kadar dirençlidir, ancak sıcaklık arttıkça kopma direnci azalır. Aşırı basınçta esnekliğini yitirir. Yüksek sıcaklıktaki uygulamalarda kullanılması için basıncın düşük değerlerde olması gerekir. Ters olarak da yüksek basınçtaki uygulamalarda da sıcaklığın düşük olması, kullanılmasında gerekli koşuldur. Amyantın kanserojen madde sayılması sağlık açısından kullanma alanlarını kısıtlamaktadır.

### **2.2.2 Mantarlı contalar**

Mantar bir cins meşe ağacından elde edilen esnek ve organik bir madde olup, en basit conta malzemelerinden biridir. Mantar hafif bir malzemedir. Suya, yağa ve çözücülere karşı kimyasal direnci iyi, ancak inorganik asitlere, alkalilere ve oksitleyici ortamlara karşı dayanıklılığı zayıftır. Çok yüksek sürtünme katsayısına sahip bir malzemedir, yüzeyi kaygan değildir. Sıkıştırıldığında zaman hacimsel olarak küçülebilir, yan yüzeylere taşma yapmaz. Biçimsiz temas yüzeylerine iyi uyur. Sıcaklık ve nem gibi çalışma koşullarının değişmesinde, ölçüsel kararlılığını korur. Isı iletkenliği az olan, izolasyon özelliği iyi olan bir conta çeşidi olarak kullanılabilir.

Doğal mantarın mekanik direncinin az olması ve kolayca parçalanması, mantarın değişik malzemelerle karışım halinde kullanılmasına yol açmıştır. Mantarın mekanik özelliklerini geliştirmek için kauçuk ile birlikte karışım yapılması en yaygın yöntemdir. Kauçuk mekanik direnç ve sıkıştırılabilirlik özelliğini artırır, mantar ise boyutsal kararlılık sağlar. Bu gibi karışımlarda, karışım oranı fiziksel özellikleri belirleyen en önemli etkidir. Kaçuğun mantar ile karıştırılması ile daha az sıkıştırma basıncı ile sızdırmazlık sağlanır. Çünkü elastomer dolgu sızdırmazlık

yüzeyinde daha iyi uyum sağlar, yüzey pürüzlülüklerini doldurur. Ayrıca maksimum sıcaklık sınırı, kullanılan kauçuk tipine bağlı olarak, saf mantara göre daha fazladır.

Kauçuk-mantar karışımı malzemeden yapılan çeşitli şekildeki contalar özellikle otomotiv sanayinde motor kapaklarında statik sızdırmazlık elemanı olarak kullanılırlar. Nitril en çok kullanılan katkı kauçuğudur. 120°C'nin üzerinde sıcaklıklarda poliakrilik kauçuk kullanılır. Saf mantar 150 °C sıcaklığa kadar kullanılır, ancak 70 °C'nin üzerinde kalıcılık değeri çok kötüdür. Sentetik kauçuk ile karıştırıldığında kimyasal direnci artar.

Kauçuk dışında mantara katkı malzemesi olarak, protein ve reçine katkıları da uygulanmaktadır. Reçine katkılı mantar contalar, kauçuktan daha iyi kimyasal direnç istenen uygulamalarda kullanılmaktadır.

### **2.2.3 Kâğıt contalar**

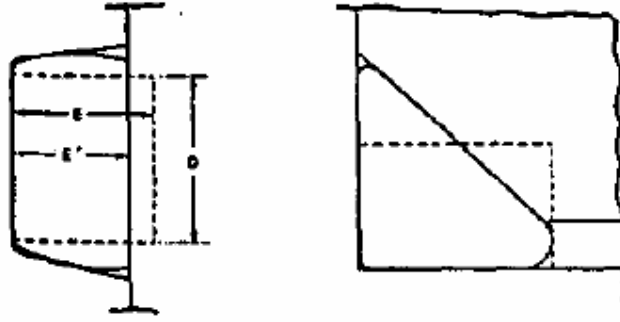
Sıvı sızdırmazlığında çok kullanılmayan kâğıt contalar, daha çok toza karşı uygundur. Kâğıt malzemelerden yapılırlar ve istenilen boyutta kesilerek kullanılırlar. Olduğu gibi veya uygun bir ortamda doydurularak kullanımı ile karşılaşılabılır. Nem karşısında ölçüsel kararlılıklarını koruyamamalarına rağmen, benzin, petrol ve organik çözücülere karşı direnci arttırılmış tipleri özellikle otomotiv karbüratör kapaklarında ya da işlenmiş döküm parçalar arasında statik sızdırmazlık sağlarlar. Sıcaklık dirençleri 120°C'ye kadardır. En çok kullanılan türü Maline Kenevirinden yapılanıdır.

### **2.2.4 Kauçuk contalar**

Kauçuk aslında bir ağaç adıdır. Bu ağacın kendisinden ve özsuğu olan lateksinden elde edilen maddeler endüstride kullanım sahası bulmuştur. Son yıllarda tabii kauçuğun yanı sıra sentetik kauçuğun da üretilmesi ile pek çok kauçuk türü ortaya çıkmıştır. Dünyada üretilen kauçuğun yaklaşık üçte biri doğal kauçuktur. Kalanı, petrolden elde edilen kimyasal maddelerle yapılan yapay (sentetik) kauçuktur. Doğal kauçuk, kauçuk ağacının (Hevea brasiliensis) kabuğundan akan sütümsü öz sudan (lateks) elde edilir. Yapay kauçuk ise, çoğu ülkede petrol arıtma sistemlerinin yakınlarında kurulan fabrikalarda üretilir. 100'ün üzerinde değişik yapay kauçuk türü vardır.

Conta malzemesi olarak kauçuk, sızdırmazlık sektöründe önemli bir yere sahiptir. Kauçuğun en önemli özelliği yüksek bir elastikiyete sahip olması, yani yeniden eski haline dönebilen bir uzayabilirliğinin olmasıdır. Kauçuk işleme endüstrisinin gelişmesinin ve hemen her sektörde kullanılmasının temelinde de bu vardır. Conta malzemesi olarak kullanıldığında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta sıkıştırıldığında hacimsel olarak küçülmemesi, yan yüzeylere taşma yapmaması kauçuk esaslı contaların sıkıştırma oranının belli bir noktada sınırlanmasını gerektirir. Yan yüzeylere taşma eğilimini azaltmak için kauçuk karışımındaki dolgu maddelerinin seçimine dikkat edilir ya da bezli kauçuk, çelik tel örgü kauçuk gibi birleşik malzemelerden conta yapılır.

Düşük maliyetli bir çözüm yolu olmasından ötürü de tercih edilebilirler. Standart tipleri o-ring yuvaları referans alınarak ölçülendirilmiştir. Bazı uygulamalarda o-ringlere karşı tek avantajları yuva içini daha fazla doldurdıklarından basınç değişimlerinde hareketleri daha azdır.



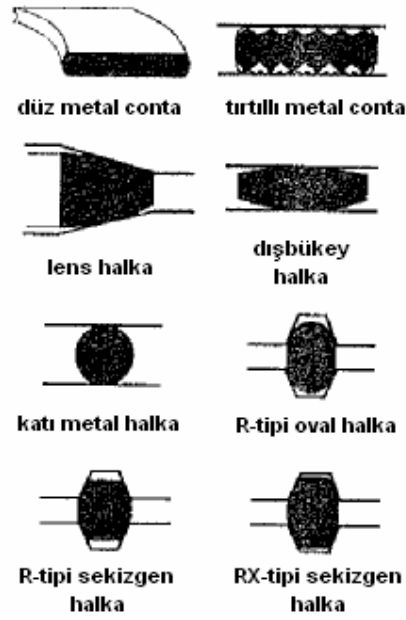
**Şekil 2.2** Kare kesitli kauçuk contaların statik sızdırmazlık elemanı olarak kullanılması

Conta olarak kullanıldıklarında tasarım ilkeleri;

- Maksimum conta kesit alanı, minimum yuva kesit alanının %95'inden fazla olmamalıdır.
- Montajda burulmayı önlemek için Şekil 2.2'de gösterilen D ölçüsü E'nin en az iki katı olmalıdır.
- Sıkıştırma oranı malzemenin tipine ve sertliğine bağlı olarak %10 ile %30 arasında değişir.

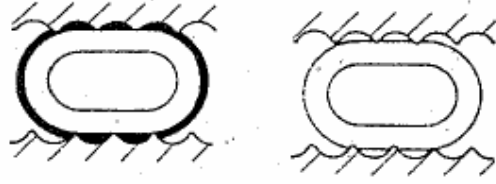
### 2.2.5 Metal esash contalar

Genellikle içi boş, çevresi işlenmiş ve değişik geometrilere karşımıza çıkmaktadır. Ancak uygulama alanları kısıtlıdır. Elastomer malzemeli contalara karşı avantajları, ısı dirençlerinin yüksek olmasıdır. Bir başka deyişle, daha yüksek ve daha düşük sıcaklıklarda kullanılabilirler. Ayrıca daire dışında şekillerde de üretimi ve kullanımı mümkündür. Diğer conta çeşitlerine göre daha az esnek olduklarından yüksek basınçlara karşı tedbirli kullanılmalıdırlar. Sıkıştırma oranı metalik contanın basınç kapasitesini etkiler. Ancak sıkıştırma oranı metalin çatlama direnci ile sınırlıdır. Çatlaklar sızma yoludur. Uygulama alanları kısıtlıdır. Şekil 2.3'te metal conta tipleri görülmektedir.



Şekil 2.3 Metalik conta tipleri

Metal halkanın yumuşak bir malzeme ile kaplanması sızdırmazlık etkisini artırır. Bu yüzden kaplama yapılarak kullanımı yaygındır. Şekil 2.4'te malzeme kaplamalı ve kaplamasız halkaların yüzey pürüzlülüklerine uyumu gösterilmiştir. Böylece ortama karşı dirençleri artmış olur. Bakır, kadmiyum, nikel, gümüş, altın, PTFE gibi malzemeler kaplama malzemesi olarak kullanılır. Fiber bağlayıcı, PTFE veya genişletilmiş grafit gibi uyumluluğu arttıran üst tabakanın ilavesi ile yüzey sızdırmazlık özelliği geliştirilebilir. Özellikle gaz sızdırmazlığında kaplama kesinlikle gereklidir. Bütün metal sızdırmazlık elemanları dinamik olarak kullanıldıklarında kötü sonuç verirler.



**Şekil 2.4** Kaplamasız ve kaplamalı metal halkalar

### **2.2.6 Sızdırmazlık macunları ve sıvı contalar**

Daha kolay bakım ve onarım için kendiliğinden sertleşip contalaşabilen sıvı macunlar, kâğıt, fiber mantar contaların yerine kullanılmaktadır. Bu tip contalık macunlar dişli boru bağlantılarında, flanşlı bağlantılarda, döküm ve toz metarulurjisi ile elde edilen parçaların bağlantılarında yaygın kullanılırlar. Dinamik sızdırmazlıkta kullanılmaz.

Boru bağlantılarında metal ile metalin %100 teması sağlanamaz. Dişlerde kusur olabilir. Montaj koşulları düşünülerek zayıf sıkıştırma momentleri oluşabilir veya yanlış montaj söz konusu olabilir. Titreşim ve darbelerden kaynaklı gevşemeler, hasarlanmalar da olabilir. Bu gibi sebeplerden dolayı dişli boru bağlantılarında sızdırmazlık problemi, sıvı contalar ile çözülebilir.

Flanş sızdırmazlığında klasik conta elemanlarına seçenek olarak anaerobik reçineler ya da sıvı contalar kullanılmaktadır. Oda sıcaklığında vulkanize olan sıvı silikon sertleştiğinde elastik ve sıvıya dayanıklı contadır. Katalizatöre gereksinim duymadan atmosfer ile temasta sertleştiğinden montajdan önce bir süre bekletmek gerekir. Vulkanize olan kısım, yerinde şekil alan conta olarak adlandırılır (Form in Place Gasket - FIP Gasket). Havada vulkanize olan kısım daha kalındır ve flanş hareketlerine daha uyumludur. İlk sızdırmazlık için daha fazla cıvata basıncı gerekir ve contanın bir tarafı flanşa yapışmaz. Montajdan önce tamamen vulkanizasyon elde edilirse flanşlar contayı bozmadan defalarca sökülüp takılabilir. Genellikle sıvı silikon contalar toz keçesi ya da düşük basınç keçesi olarak kullanılır, çünkü bir yüzeyinde yapışma olmadığından, flanşta şişme sızmaya yol açar. Sıvı silikon uygulanan flanşlarda yüzey yağlardan temizlenmiş olmalıdır. Genellikle NC robotlar ile uygulanırlar. Sıvı conta uygulanacak parça geometrisine göre izlenecek yol programlanır.

Anaerobik sızdırmazlık macunları, dimetakrilat esterin özel maddeler ile karışımından elde edilir. Hava ile temasta sıvı durumdadırlar, oksijen ile temasları

kesilince otomatik olarak polimerize olurlar ve montajdan sonra sertleşirler. Sertleştikten sonra esnektirler ancak silikondan daha az esnektirler. Metal ile metalin temasını sağlarlar. Bu nedenle makine yapıştırıcısı olarak adlandırılırlar.

Flanşlarda yerinde şekil alan sıvı conta malzemeleri kullanılmasının üstünlükleri;

- Daha fazla sıkıştırma kuvveti uygulanabilir.
- Metal ile metal temas ettiğinde conta gevşemesi sorunu yoktur.
- Bazı contalara göre daha ucuzdur.
- Karmaşık şekillere kolayca uygulanır, pahalı kalıplar gerektirmez.
- Akma meydana gelmez
- Kimyasal maddelere dirençlidir.
- Robot kullanarak sürülebilme olanağı vardır.
- Conta stoklama sorunu yoktur.

Döküm ve toz metalurjisi ile elde edilen parçalarda da gözenekler arasında sızma önemli sorunlar yaratabilir. Gözenek döküm teknolojisinde fiziksel bir olayın doğal neticesidir. Karmaşık şekillerde kristal oluşumu ve büzülme birbirine uygun olmadığından gözenek kaçınılmazdır. Makro gözeneklerin ise bazı durumlarda üstünlükleri olduğundan parça tasarımlarında istenen özellik olabilir. Toz metalurjisi ya da sinter metal tekniği ile elde edilen parçalar doğal olarak gözeneklidirler. Bu parçaların basınçlı sıvı sistemlerinde kullanılması sıvı sızdırmazlık maddelerinin gözeneklere emdirilmesi ile mümkündür. Bu amaçla kullanılan bazı emdirme malzemeleri şunlardır.

- Sodyum silikat: 240°C ile 550°C arasında yüksek sıcaklıklarda kullanılan parçalarda sızmaya karşı uygundur. Akma direnci zayıftır, içindeki su buharlaştıkça büzülür.
- Polyester reçine: 0,2 mm ye kadar delikleri tıkayabilir, kimyasal direnci iyidir, 240°C'ye kadar kullanılır. 135°C'de 1 ile 2 saat pişme süresi vardır. Zehirli ortam yaratabileceğinden uygulama sırasında havalandırma gerekir. Viskozitesi yüksektir.
- Düşük viskozitede ısı ile pişen reçineler: 240°C'nin altında sıcaklıklarda kullanılır. Buharlaşma nedeni ile sızdırmazlık etkisini zamanla kaybeder.

- Anaerobik reçineler: 200°C sıcaklığa kadar kullanılan, değişken viskozitelerde, büzülme yapmayan, anaerobik özellikte emdirme malzemedir.

### 2.3 Conta malzemeleri

Sızdırmazlık elemanı olarak en fazla kullanılan malzeme elastomerlerdir. Elastomerler belli bir kuvvet uygulandıktan sonra ilk biçim ve ölçüsüne dönen makro moleküler yapıli malzemelere verilen addır. Elastomerler, kalıplanmış sızdırmazlık elemanlarının her şekli için kullanılan, hem homojen kalıplamalar –çeşitli kesitlerin masif halkaları- hem de güçlendirilmiş ve yüksek dayanımlı halkalar v.b. için ham maddelere katkı olarak, ana malzeme sınıfını oluşturur.

Elastomerler “kauçuk-benzeri malzeme” olarak tanımlanabilir, bu hem doğal hem de sentetik kauçukları kapsar. Bu ucu çok açık bir tanımdır çünkü yalnızca malzemenin çekilip uzatılabildiğini ve bırakıldığı zaman kendini topladığını, yani malzemenin “elastik” olduğunu belirtir, bu gerçek elastomer olmayan bazı malzemelerde de gerçekleştirilebilecek genel bir işlemdir. Elastomerler kopmadan önce %100 uzayabilen malzemeler olarak da tanınırlar.

Malzemeler söz konusu iken unutulmaması gereken bir konu isimlerin genelde jenerik olmasıdır. Yani birçok farklı bileşiğin değişik çeşitleri aynı isim altında toplanabilir, bunların hepsi belli genel özelliklere sahiptir ama spesifik özellikler bileşiğin oranıyla değişir. Bu bilhassa polimerizasyon ve ko-polimerizasyon açısından çok farklı seçeneklerin mümkün olduğu sentetik veya insan yapımı malzemeler için geçerlidir. Bileşikler gerekli özellikleri daha iyi uyum sağlayabilmek için başka içerikler de kullanabilir. Bu sonuçta oluşan malzemenin spesifik mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerine yansıdığı gibi malzemenin işlenmesini veya işlenebilirliğini etkiler.

Sonsuz sayıda varyasyonun olması elastomerleri tam olarak tanımlamayı imkansız kılar. Aynı zamanda yeni malzemeler ortaya çıkmaya devam etmektedir ve mevcut malzemeler devamlı gelişmektedir. Bunların uygulama alanına girmesi çok hızlanmıştır. Bu malzemelerin genel özelliklerini, ortama karşı dirençlerini, bunlarla ilgili deneylerin tanımını, amacı, üretim yöntemlerini bilmek sızdırmazlıkta karşılaşılan sorunların çözümü ya da uygun malzeme seçimi için gereklidir.

Uygulama alanları ve genel özellikleri özetleyen açıklamalardan sonra çizelgedeki değerler daha detaylı bilgi vermekte, seçim kolaylığı getirmektedir.

### **2.3.1 Doğal kauçuk (NR)**

Doğal kauçuklar gerçek sızdırmazlık malzemeleri arasında en eski olanlardandır ve tüm elastomerler arasında hala en dayanıklı ve aşınmaya karşı direnci en yüksek olanlardandır (bu bağlamda sadece poliüretan daha iyi değerlere sahiptir). Ancak doğal kauçuğun mineral bazlı yağlara karşı direnci düşük olduğu için akışkan contası olarak kullanımları sınırlıdır. Yalnız doğal kauçuklar hint yağı olarak bilinen kastor tabanlı akışkanlarla mükemmel şekilde kullanılırlar ve bu tipte akışkanlarla çalışan sistemlerde geniş ölçekte kullanılırlar (örnek olarak otomotiv hidrolik fren sistemleri ve sınırlı derecede bazı uçak hidrolik sistemlerinde). Doğal kauçuğun mükemmel düşük sıcaklık karakteristiği esasen düşük sıcaklıklarda çalışan, doğal kauçuk contaların kullanılabildiği sistemlerde hint yağı bazlı hidrolik akışkanların kullanımının bu kadar gözde olmasında etkindir, bununla beraber günümüzde bazı sentetik elastomerler benzer düşük sıcaklık performansları göstermektedir. Doğal kauçuğun maliyeti de uygundur, bunlar bütül ve buta S dışında diğer sentetik elastomerlerden hatırı sayılır derecede daha ucuzdur.

Doğal kauçuklar, yüksek esneklik ve dayanım ile farklı ortamlara uyum sağlayabilmek için farklı bileşiklerle karıştırılabilir ve mineral yağlı akışkanların söz konusu olmadığı uygulamalarda dikkate almaya değerdir. Esneklik -55°C'ye kadar korunur ve bu hususta yalnız göreceli olarak daha pahalı ve dayanıksız olan silikon kauçuklarla karşılaştırılır. Saf halde çok yapışkan olması ve dolgu maddesi zorunluğu olmaması bazı uygulamalarda avantajdır. Dünya tüketiminde; %70 tekerlek lastiği, %15 teknik kauçuk fırça, %5 ayakkabı endüstrisi, %10 diğer şeklidir.

### **2.3.2 Buna S**

Bu kauçuk esasen GRS (Government Rubber Sytrene) ve günümüzde SBR (Sytrene-Butadiene Rubber) olarak bilinir. Özellikle İkinci Dünya Savaşı sırasında doğal kauçukla değiştirmek veya doğal kauçuğa yedek olarak üretilmiştir ama çok kötü özelliklere sahiptir, ama aşınma direnci mukayese kabul eder. Doğal kauçuğun, örnek olarak hint yağı tabanlı hidrolik akışkan kullanımında direkt olarak alternatifi olarak görülebilir ve contalar açısından tek kullanım alanıdır. Sitren oranı arttıkça

sertliği, butadin oranı arttıkça esnekliği artar. Elastiklik özelliği ve aşınma direnci iyidir. Ancak dinamik yorulma direnci azdır ve pnömatik uygulamalarda ısınma oluşur.

### **2.3.3 Butadin kauçuk (BR)**

Polibutadin veya butadin kauçuğu, genelde BR olarak bilinir, yine doğal kauçuğun benzer ama genelde daha kötü özelliklere sahip direkt yedeğidir. Düşük sıcaklık performansı SBR kauçuğuna göre biraz daha iyidir ama sızdırmazlık elemanlarında kullanımı çok kısıtlıdır.

### **2.3.4 Bütil kauçuk (IIR)**

Bütil kauçuğu isopren ile isobütilenin bir kopolimeridir, suya (kloropren ve nitrilden daha iyi) ve bazı başka akışkanlara son derece dayanıklı bir kauçuk gurubu oluşturur. Bir diğer uygun karakteristiği ise bütilin gaz geçişine karşı çok dayanıklı olmasıdır, bu bütili vakum sistemleri için olan sızdırmazlık elemanlarında aranan konuma getirmektedir.

Bütil aynı zamanda bitkisel yağlara dayanıklıdır, ama mineral bazlı yağlar ve aromatik solventlerle kullanım için uygun değildir. Oldukça yakın bir zamana kadar fosfat ester tipli hidrolik akışkanlarla kullanılan sızdırmazlık elemanları için ilk seçenektir ama şu anda etilen-propilen kauçuklarla rekabet halindedir ve bu uygulamada etilen-propilen kauçukları tarafından büyük oranda geçilmiştir.

### **2.3.5 Klorobutadin kauçuk (Kloropren-CR)**

Kloropren, daha çok bilinen ticari adıyla Neopren, genel amaçlı kullanılan en iyi sentetik kauçuklardan biridir, ama günümüzde sızdırmazlık elemanı uygulamalarında kullanımı belli bir oranda sınırlıdır. Ana avantajı atmosfer yaşlanmasına, ozona karşı gösterdiği mükemmel dirençtir. Bu aynı zamanda yüksek sıcaklıktaki performansında doğal kauçuktan daha iyidir ama düşük sıcaklıklarda sertleşme ve katılaşma eğilimi gösterir ve hatta düşük sıcaklıklarda gerilim altında kristalleşebilir. Yağlara karşı dayanımı iyi denilebilir. Elektrik izolasyonu kötüdür. Soğutucu sıvılarla temas halinde kullanım için mükemmel derecede uyumludur ve aynı zamanda orta sertlikteki asitlerle de kullanılabilir. Bunun dışında sızdırmazlık elemanı malzemesi olarak çok sıkça kullanılmaz ama silecekler için gözde bir malzemedir. Alev almadığından gruzi kablolarında, buji başlarında, aşınma direnci

iyi olduğundan götürücü bantlarda, V kayışlarda, ayrıca körük, takoz, dalgıç elbisesi malzemesi olarak kullanılır.

### **2.3.6 Klorosülfatlanmış polietilen**

Aynı zamanda CSM (chlorosulphonated monomer) olarak da bilinir, bu elastomerin mekanik özellikleri sızdırmazlık uygulamaları için düşük kalma eğilimi gösterir. Ama malzemenin ısıya ve aside karşı iyi bir direnci vardır ve belki böyle uygulamalarda kullanılabilir. Bu aynı zamanda ozona karşı tamamen dayanıklıdır.

### **2.3.7 Etilen propilen kauçuk (EPDM)**

Etilen-propilen veya EP kauçuklarının (aynı zamanda Amerikan literatüründe EPM kauçukları olarak da bilinir) iyi sıcaklık karakteristikleri ve organik çözeltiler ve solventler gibi birçok kimyasal çözeltiye karşı mükemmel şekilde dayanıklıdır. EP aromatik solventlere, mineral yağlarına ve petrol ürünlerine karşı dayanıklı değildir, bu nedenle bu malzemenin sızdırmazlık elemanı uygulamaları biraz özelleşmiştir. Kesinlikle dolgu gerektirir, diğer kauçuklarla uyuşmaz. Bu bağlamda bunun ana kullanım alanı, Skydrol gibi fosfat-ester tabanlı nonflam akışkanlı hidrolik sistemlerde kullanılan; ve aynı zamanda Silcodin H gibi silikon akışkanlarda kullanılan sızdırmazlık elemanlarıdır. Yüksek katkı oranında fiziksel özelliklerinin iyi olması, özgül ağırlığının az olması ve hızlı karışma, ekstruzyon ve vulkanizasyon özelliği üretim avantajlarındanır. EP kauçukları aynı zamanda buhar ve sıcak su uygulamaları için mükemmeldir (malzemenin çalışma sıcaklığı aralığı içinde olan limitlerde). EPDM olarak bilinen etilen-propilenin bir diğer kopolimeri bazı durumlar için üstün performans sağlar.

### **2.3.8 Florokarbon (FKM)**

Viniliden florid ve heksafloropropilenin kopolimerizasyonuna dayanan, en pahalı elastomerlerdendir. Kimyasal atağa mükemmel şekilde dayanıklı ve maksimum sürekli çalışma sıcaklığı 200-250°C olan bir dizi kauçuk içerir. Aynı zamanda özellikle vakum sistemlerindeki sızdırmazlık elemanları için uygundur ama düşük sıcaklık performansı yüksek nitrilinkinin seviyesindedir. Şişme özelliği düşüktür ve gaz geçirgenliği direnci azdır. Yağ keçesi malzemesi olarak otomotiv sanayinde gittikçe fazla kullanılmaktadır.

Florokarbon kauçuk avantajlı olarak servis şartları ısıya, aside, petrol yağlarına, halojen hidrokarbonlara, aromatlara v.b. dayanım gerektirdiği durumlarda veya maliyetin bir mazerete dayandığı durumlarda kullanılır. Pahalı malzemedir ve besin maddeleri ile teması uygun değildir.

### **2.3.9 Nitril kauçukları**

Bunlar genel amaçlı yüzeylerde kullanım için elastomerlerin en önemli grubu veya sınıfını oluşturur, sızdırmazlık elemanı olarak kullanılan nitril kauçuklarının miktarı bütün diğer kauçukların toplamından büyük ihtimalle daha fazladır. Kimyasal olarak nitril bütadin (NBR) ve akrilonitrilin bir kopolimeridir, tipik olarak akrilonitrilin oranı %18 ile %48 arasında değişir. Nominal olarak “düşük”, “orta” ve “yüksek” olarak sınıflandırılır. Petrol bazlı yağlara ve hidrokarbonlara karşı direnci nitril oranının artmasıyla iyileşir, ama buna karşın düşük sıcaklıklardaki esneklik artan nitril oranıyla kötüleşir. Ayrıca nitril oranının artması, soğuğa karşı dirençliliğini azaltır. Nitril kauçuklarında iyi düşük sıcaklık performansı elde etmek için genelde yüksek sıcaklıklardaki benzin ve yağ dayanımından feragat edilmesi gerekir.

Nitril kauçuklarının fiziksel özellikleri iyidir ve diğer birçok kauçuğa kıyasla daha iyi soğuk akış, yırtılma ve aşınma dirençleri vardır. Ozona, hava koşullarına ve güneş ışığına karşı dayanıklı değildir ama bu alandaki özellikleri bazı bileşenlerle geliştirilebilir. Ozon atağına karşı hassasiyetleri nedeniyle nitril kauçukları, elektrik motoru veya elektrikli bir alet veya direkt güneş ışığı gibi muhtemel bir ozon kaynağının yanında depolanmamalıdır. Nitril kauçukları özellikle petrol yağları ve akışkanları, su, silikon yağları ve gresleri ve glikol bazlı ateşe dayanıklı akışkanların sızdırmazlık elemanı uygulamaları için uygundur. Genelde halojenlenmiş hidrokarbon, nitrokarbon, fosfat ester akışkanları, ketonlar veya güçlü asitler ve bazı otomobil fren akışkanları ile kullanım için uygun değildir. Özelliklerine göre düşük maliyetlidir.

### **2.3.10 Poliakrilik kauçukları (ACM)**

Poliakrilik (ACM) kauçukları akrilik asit stilerin polimerlenmiş ürünleridir ve etki açısından özellik olarak nitril ve florokarbon kauçukları arasında bir grup oluştururlar. Sızdırmazlık elemanı açısından en cazip özellikleri mineral yağları, hipoid yağları ve greslere 180°C'ye kadar mükemmel şekilde direnç göstermeleridir. Yaşlanmaya ve esnek çatlamalara karşı mükemmel dirençleri, yağ keçesi

malzemelerindendir ve dönen millerde sızdırmazlık elemanı olarak tercih edilmelerini sağlar. Subap keçelerinde fluorokarbon kauçuğa alternatiftir. Düşük sıcaklık karakteristikleri pek önemli değildir ve suya karşı mekanik dayanımı ve direnci genelde yetersizdir.

#### **2.3.11 Polisülfid kauçuk (T)**

Bu kauçuk, benzin ve solventlere, oksijene, çözücülere, ozona ve yaşlanmaya karşı mükemmel direnciyle öne çıkar. Boya endüstrisinde kullanılan çözücülere dirençli tek malzeme olarak bilinir. Başka alternatifi olmadığı durumda sızdırmazlık elemanı olarak kullanılır. Ama mekanik özellikleri ve sıcaklık dayanımı düşüktür ve bu nedenle bu elastomer kimyasal dayanım açısından uygun bir alternatif bulunmadığı taktirde sızdırmazlık elemanı olarak pek sık kullanılmaz. Kokusu imalat için kullanılmasını sakıncalı hale getirmektedir. Sürekli kalıcılık direnci, ısı direnci ve kopma direnci iyi değildir.

#### **2.3.12 Poliüretan**

Son zamanlarda geliştirilen elastomerlerden biridir, mükemmel dayanımı, yırtılmaya ve aşınmaya karşı direnci diğer tüm elastomerlerden daha iyidir ve düşük sıcaklıklarda esnekliğini mükemmel şekilde korur. Petrol ürünlerine, hidrokarbon, ozon ve hava koşullarına direnci iyidir. Asidin veya alkalinlerin sulu çözeltileri, klorlanmış hidrokarbonlar, ketonlar, sıcak su, buhar veya glikol ile temasta performansı genel olarak yetersizdir. Aynı zamanda basınç ve sürekli hal karakteristikleri de yükselen sıcaklıkla hızlı bir şekilde bozulma eğilimi gösterir. Bundan dolayı poliüretan kauçukları kimyasal ve sıcaklığa bağlı özellikleri yerine mekanik dayanımı yönünden daha çekicidir. Uygun ise aşındırıcı ortamlarda kullanımı avantajlı olabilir ve özellikle silecekler için uygundur.

#### **2.3.13 Silikon kauçuklar (VMQ)**

Bunlar, mekanik performanslarını çok geniş bir sıcaklık aralığı içinde koruyabilen çok önemli bir elastomer grubudur. İzolasyon özelliği çok iyidir. Esneklik -70°C gibi düşük sıcaklıklarda bile korunur ve bu bileşiklerle sürekli maksimum çalışma sıcaklığı en azından 230°C'dir. Temel olarak, silikonların düşük dayanımları ve yırtılma ve aşınma dirençleri vardır, ama mekanik performansları özel bileşiklerle geliştirilebilir. Alkalilere, güçsüz asitlere ve ozona karşı direnci genelde iyidir ama

yağlara karşı orta derecededir. Örnek olarak yağlara ve benzine karşı direncini artırmak için farklı bileşiklerle kimyasal özellikler geliştirilebilir. Yalnız genelde silikon kauçuklarının petrol ve parafin gibi hidrokarbonlarla, hafif mineral yağları ve basıncı 50 psi'in üzerinde olan su buharı ile kullanılması önerilmemektedir, aksi takdirde elastomerde şişme ve yumuşama görülebilir.

Bu tipteki elastomerlerin ana avantajı çok düşük sıcaklıklarda elastikliğini koruması ve sertleşmeden yüksek sıcaklıklarda sürekli kullanılabilmesidir, bu özellikler bu elastomerleri yüksek ve düşük sıcaklıklarda kullanılan sızdırmazlık elemanları için diğer elastomerlerden daha geniş aralıkta uygun olmasını sağlar. Bir diğer uygulama alanı ise, oluşan sürtünme sonucu oluşan çalışma sıcaklığının diğer konvansiyonel elastomerlerde izin verilen sıcaklığın üzerinde olduğu dönen sızdırmazlık elemanlarıdır, burada silikon kauçuklar yine sorunu çözebilir. Yalnız silikon kauçukların maliyeti diğer elastomerlerin çoğuna göre oldukça fazladır.

Sızdırmazlık elemanı olarak krank keçeleri, soba ve fırın contaları, buzluk ve buzdolabı sızdırmazlığı, ozon üniteleri sızdırmazlığında kullanılır. Zehirli olmaması nedeniyle tıpta da kullanılır.

#### **2.3.14 Fluorosilikon kauçuklar (FVMQ)**

Florosilikon kauçuklar en son geliştirilen ve fiyatı daha da yüksek olan kauçuklardır. Fluorokarbon ve silikonun özelliklerini taşıyan, havacılık ve uzay çalışmalarında yağ keçesi ve diğer sızdırmazlık elemanlarında kullanılan gelişmiş bir malzemedir. Çalışma karakteristikleri daha sınırlı çalışma sıcaklıkları ile genelde normal silikonlarla aynıdır. En büyük avantajı ise florosilikon kauçukların yağ direncinin nitril kauçuklarla mukayese edilebilir düzeyde veya çok yakın olmasıdır. Bu nedenle, nitril kauçukların çalışma sıcaklığı sınırları dışındaki ve normal silikon elastomerlerin akışkanla gerekli uyumunun olmadığı çalışma şartlarında kullanılır. Bunun yanında bazı kimyasallara karşı dirençli değildir ve maliyeti yüksek bir malzemedir.

#### **2.3.15 Polinorbornen kauçuk (PNR)**

Çok yumuşak malzeme gerektiren yerlerde ve köpük yerine titreşim önleyici, sızdırmazlık profili olarak kullanılır. 15 ile 80 shore arasında değişik sertliklerde

karişım oluşturularak, farklı uygulamalarda kullanılabilir. Petrol, yağ ve yüksek sıcaklığa dirençleri zayıftır.

### **2.3.16 Etilen akrilik (AEM)**

Düşük sürekli kalıcılık, sıcaklık ,yağ ve hava direnci gerektiren yerlerde kullanılır. Sızdırmazlık elemanı malzemesi olarak dişli sistemlerde poliakriliğin yerine kullanılmaktadır. Düşük sıcaklık ve aşınma direnci poliakrilikten daha iyidir. Suya, ozana ve açık hava temasına karşı direnci iyidir. Ayrıca yırtılma ve kopma direnci de dikkat çeken özelliklerdendir. -30°C'ye kadar esnekliğini korur. Ancak ester, keton, yüksek aromatik akışkanlarda ve yüksek basınçlı buharda kullanımı uygun değildir. Yalıtım ve anti-titreşim elemanları, vakum ve basınçlı hortumların yer aldığı uygulamalarda kullanımı mevcuttur.

### **2.3.17 Epikloridrin kauçuk (ECO)**

Nitril, poliekrilik, polisülfid ve kloropren özelliklerini taşır. Gaz geçirgenliği butil ile karşılaştırılsa üç kat daha azdır. Düşük sıcaklık aralığında kullanımı uygundur. Ozon ve yakıtlara karşı dirençlidir. Ancak yalıtım özelliği kötüdür.

### **2.3.18 Deri**

En eski sızdırmazlık elemanı malzemelerinden birisidir. Deri malzemenin iki önemli avantajı bulunmaktadır. Bunlardan ilki, yüzeyi düzgün olmayan yüzeylerde, aşınma direnci çok iyidir. Diğer avantajı ise yağ emme tutma özelliğinin mükemmel olmasıdır. Çok bozulmuş yüzeylerde mili yeniden işlemek yerine, aşınmış mil ve yüzeylerde deri keçe kullanılır. Yağlama koşullarının kötü olduğu durumlarda derinin yağ tutma özelliğini kullanmak avantaj sağlayabilir. İlk yağlama ile sürekli kullanım sağlanır.

Deriye uygulanan farklı prosesler ile deriyi kullanma ortamı belirlenebilir. Değişik prosesler ile derinin suya ve yağa karşı direncini arttırıp, esnekliği sağlanabilir. Derinin asit, baz ve organik kimyasallarla kullanılması uygun değildir. Genelde 95°C'ye dek sıcaklık direnci olmasına karşın, özel işlemlerle 150-160°C'ye kadar kullanılır.

### **2.3.19 Politetrafloroetilen kauçuk (PTFE)**

PTFE, endüstriyel plastikler sınıfına girer. Kimyasallara mükemmel dayanım gösteren bir malzemedir. -200°C ile 260°C arasında çalışma sıcaklığına sahiptir. Bütün katı malzemeler içinde en düşük statik ve dinamik sürtünme katsayısına sahip olması ve stick-slip özelliği ve mekanik özelliğinin yeterli olması nedeniyle sızdırmazlık elemanları dahil çok geniş kullanım alanına sahiptir. Aşındırıcı ortamda aşınma direncinin az olması dezavantajıdır. Aşınma, uygulama ortamındaki basınç-hız sınırına, zamana ve yüzey temizliğine bağlıdır. Aşınma direncini arttırmak için alaşımlı PTFE kullanılır. Bronz, grafit, cam elyafı, karbon, molibden sülfür katkıları kullanılmaktadır. Sızdırmazlık elemanı olarak yağlamasız çalışan ve stick-slip istenmeyen ortamlarda, aktif kimyasal ortamlarda, o-ring, U-cup, takım halka olarak ve özellikle piston yatağı olarak uygun malzemedir.

Yüksek sıcaklıklarda mekanik direnci azalır. Isıl genleşme katsayısı , birçok plastikte olduğu gibi metallerin 10 kat fazlasıdır. Isıl geçirgenliği çok azdır. Kauçuklarda bulunan elastiklik özelliğinden yoksundur. Polietilene benzer şekilde yarı sert bir malzemedir. Bu nedenle elastomerler için geçerli tasarım yöntemleri PTFE için uygun olmayabilir.

### **2.3.20 Poliester kauçuk (YBPO)**

Sertlik ve güçlülük yönünden plastik, esneklik yönünden elastomer özelliği gösteren bir termoplastiktir. Yağlara, çözücülere, asit ve bazlara, çeşitli sıvılara dayanımı bir çok elastomerlerden üstündür. Çalışma sıcaklığı -70°C ile 110°C arasındadır. Pnömatik ve hidrolik hortumlar, V kayışlar, körükler, diyaframlar, esnek kaplinler, destek halkaları ve çeşitli sızdırmazlık elemanlarında tercih edilir.

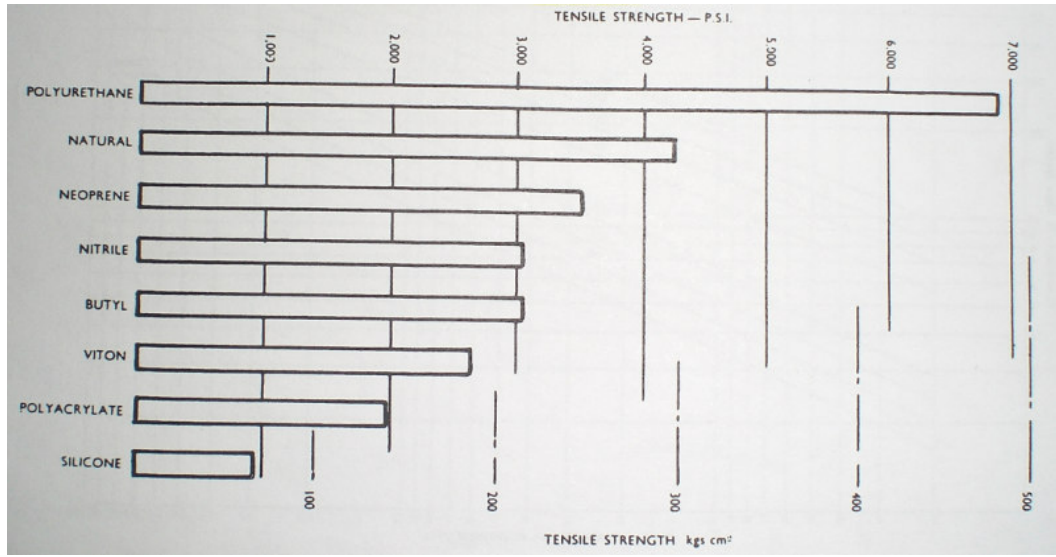
## **2.4 Conta malzemelerinin özellikleri**

Tasarımda belirlenen bir conta malzemesinden beklentiler, mekanik özellik olarak fonksiyonel gereklilikleri sağlayacak, çalışma koşullarının üstünde direnç göstererek çalışacak ve sızdırmazlığını sağlayacak akışkan ile kimyasal uyumu uygun olacak bir malzeme olmasıdır. Uygun contayı belirlemek için conta özellikleri hakkında bir fikir sahibi olmalıyız. Conta malzemelerinin fiziksel özellikleri Tablo C.1’de, kimyasal özellikleri de Tablo C.2’de topluca gösterilmiştir. Uygulamalarda

sızdırmazlık performansı için önemli olan başlıca malzeme özellikleri aşağıda detaylandırılmıştır.

#### 2.4.1 Çekme dayanımı

Malzemenin, yük altında hasarlanmaya karşı direnci olarak tanımlanabilir. Elastomer malzemelerin çekme dayanımları genel olarak düşüktür ve sıcaklık artışı ile bu özellik daha da kötüleşir. Şekil 2.5'te bazı elastomer malzemelerin çekme dayanımları grafiğe yansıtılmıştır. Aslında yüksek çekme dayanımı bir sızdırmazlık elamanı için aranan birincil özellik değildir. Daha çok ikincil özellik olarak önem taşır.



Şekil 2.5 Kauçuk malzemelerin 20°C'deki çekme dayanımları

#### 2.4.2 Aşınma dayanımı

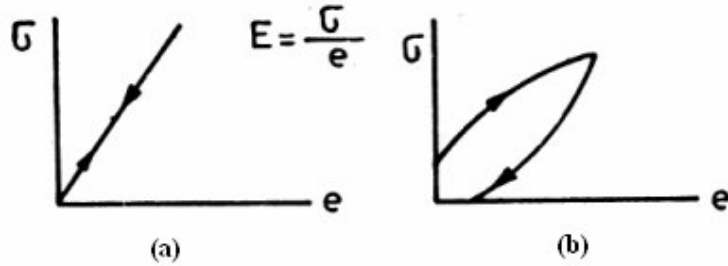
Aşınma hareketin olduğu yerlerde görüldüğü için bu malzeme özelliği dinamik sızdırmazlık elemanları için daha çok önem taşır. Ancak statik sızdırmazlık elemanlarının kullanıldığı sistemlerde de akışkanın contaya ivmeli çarpma hareketi sonucu bazı malzeme kayıpları beklenmektedir. Conta, malzeme kaybı yaşamadan akışkana yönlendirici gibi davranmalıdır. Bundan ötürü aşınma dayanımı sızdırmazlık elemanları için önemli bir özelliktir.

Deneyisel çalışmalar sonucu doğal kauçuk, poliüretan ve deri malzemelerinin aşınmaya karşı dirençli iken silikon kauçukların düşük dayanımlı olduğu ortaya çıkmıştır. Malzemenin sertliğinin artırılmasıyla veya bazı takviyeler ile malzemenin

aşınma dayanım direnci arttırılabilir. Aşınma dayanımı iyi olan malzemelerin genelde yırtılmaya karşı direnci de iyi olur.

### 2.4.3 Esneklik ve uzama

Basitçe elastikliğin bir ölçüsü veya sağlamlığın bir göstergesi olarak tanımlanabilir. Boydaki artışın, ilk boy referans alınarak yüzde olarak ifade edilmesidir. Metaller yük altında Hook kanununa göre davranırlar. Yani Şekil 2.6a'da görüldüğü gibi esneklik sınırına dek yük kalkınca eski şeklini alırlar. Kauçuk malzemeler ise hem esnek hem plastik gibi davranırlar. Şekil 2.6b'de gösterildiği gibi yük kalkınca eski durumlarına dönmeden kalıcı uzama oluşur ve geri dönüş zamanı daha uzundur.



**Şekil 2.6** Metallerin Hooke kanununa göre davranışı (a) ve kauçuk malzemenin esnek ve plastik davranışı (b)

Esnek şekil değiştirmeden sonra bu şekli korumak için gerekli yük zamanla azalır ve bu özelliğe malzemenin gevşeme özelliği denir. Gevşeme zamana ve sıcaklığa bağlıdır. Fazla zaman ve sıcaklık malzeme içindeki bağlara yeni durum alması için yeterli süre tanıyacağından esnek uzama yerini kalıcı uzamaya bırakır. Genel kural olarak elastomer malzemeler %5'ten daha fazla kalıcı uzama etkisinde kalmamalıdır, çünkü gerilim birikimi malzemenin özelliğinin erken yok olmasına yol açar.

### 2.4.4 Sertlik

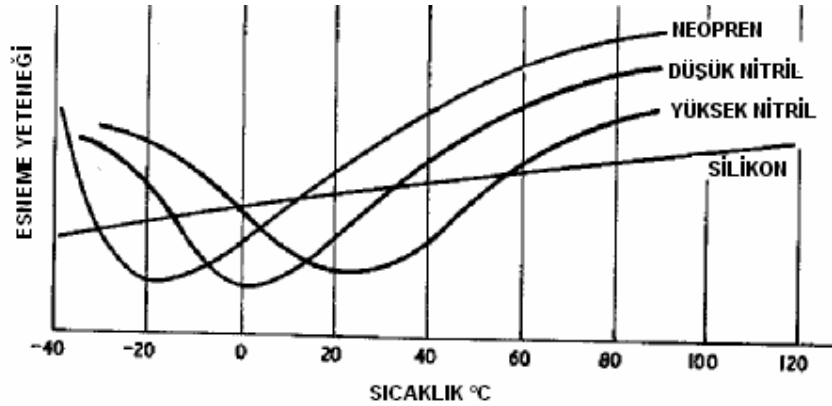
Sertlik, conta malzeme özelliklerinden en önemli özellik olarak belirtilir ve elastomer malzemelerin sertliği ham madde çeşitliliğinden ötürü çok kompleks bir yapıdadırlar. Yumuşak malzemeler aşınmaya karşı duyarlı olmalarına rağmen yüzeylere uyumluluğu yani pürüzlü yüzeylerdeki uygulanabilirliği daha iyidir diyebiliriz. Bu yüzden sertlik, elastomer malzeme seçiminde önemli bir kontrol faktörüdür. Standart sertlik birimi olarak IRHD ya da Shore A (ShA) durometre sertliği kullanılır. Sertlik değeri 5 birim tolerans değeri içinde kabul edilir. Bu nedenle sertlik değerindeki bir kaç birimlik değişmelerin önemi yoktur. Sızdırmazlık elemanlarının sertlikleri

yumuşak malzemeler için 40-45' den başlayıp sert malzemelerde 90-95 ShA arasında değişmektedir. En fazla kullanılanı 70 ShA sertlik dolaylarındadır.

Elastomer malzeme yağ içinde şişerse sertliği azalır ve sıklık miktarı artar. Belli oranlarda şişme kabul edilebilir. Benzer şekilde, sertlik değeri sıcaklıktan da etkilenir. Sıcaklık artışı ile sertlik değeri azalır.

#### 2.4.5 Toparlanma

Bu özellik conta malzemesinin sıkıştırma yükünün kaldırılması ile eski şekline dönüşebilme yeteneği olarak tanımlanır. Temas yüzeylerinde termal ve mekanik kuvvetler yüzünden meydana gelen hareketlerinin takibi veya uyumu olarak ifade edilebilir. Bir contadan iyi bir toparlanma özelliğine sahip olması beklenir ve bu da conta malzemesi ile kontrol edilir. Şekil 2.7'de görüldüğü gibi birçok elastomer malzemenin toparlanma özelliği sıcaklık ile değişmektedir. -20 ile 20°C arasında bu özellik minimum değerlerdedir.



Şekil 2.7 Bazı elastomerlerin toparlanma özelliği

Toparlanma değeri ölçülebilir bir özellik değildir. Eğer contanın toparlanma özelliğinde bir eksiklik hissedilirse, çalışma sıcaklığı değiştirilerek veya malzemede değişikliğine gidilerek istenilen değere ulaşılabilir.

#### 2.4.6 Sıkıştırılabilirlik

Genel olarak, temas yüzeylerinde meydana gelebilecek distorsiyon ve dalgalanmaların uygunluğu olarak ifade edilir. Bu özellik contanın mikro ve makro yüzey uyumluluğunun da göstergesidir. Bu değerleri, temas yüzeylerinde mikro ve

makro düzeyde görülebilecek düzensiz yüzeyleri kapatma uyumu olarak tanımlayabiliriz.

Contaların sıkıştırılabilme özelliği, conta levhaların ön yüklemenden sonraki kalınlığı ile deney yükü yükselmesinden sonra oluşan kalınlığı arasındaki farkın yüklemenden sonraki kalınlığa oranı ile karşılaştırılabilir. Yüzde olarak ifade edilir. Aşağıdaki formül ile sıkışabilme oranı olarak uygulamalarda kullanılır.

$$S(\%) = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100$$

$S_0$  = Ön yükleme önceki conta kalınlığı

$S_1$  = Yükleme sonraki conta kalınlığı

$S$  = Sıkışabilme oranı (%)

#### 2.4.7 Sürünme gevşemesi

Sızdırmazlığı sağlanacak bir sistemin sürekli kullanılmasını sağlamak için contadan, uygulanan sıkıştırma geriliminin etkisini uzun süreler göstermesi beklenir. Bir contanın sürünme gevşemesi özelliği, sızdırmazlık işlevi esnasında uzun süre yeterli gerilimi muhafaza etmesi olarak ifade edilebilir.

Birçok elastomer malzeme, farklı derecelerde zamanın bir fonksiyonu olarak uygulanan strese gerilme boşalımı adı verilen bir düşüş gösterir. Bu da bağlantı çeşidine göre değişebilir. Civatalı bir bağlantıda tork kaybı görülmesi veya civataların boyu contanın sürünme gevşemesine etkin rol oynar. Civata boylarının uzun olması tavsiye edilir. Ek olarak, conta kalınlığı arttıkça gerilim boşalma miktarı da artar. Sıkma gerilimi arttıkça da malzemenin boşalma gerilimi azalır.

### 2.5 Flanşlı bağlantılarda tasarım esasları

#### 2.5.1 Contaya etki eden kuvvetler

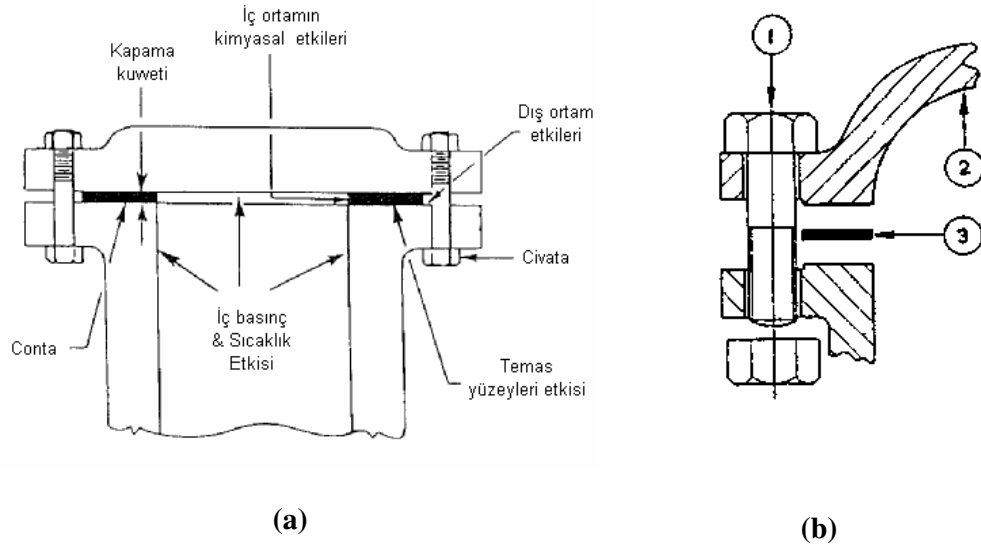
Flanşlı ve civatalı bağlantılarda, gövde ile kapak arasına yerleştirilmiş statik sızdırmazlık elemanlarının flanşlarda oluşabilecek kusurları dengeleme görevi üstlenir. Aynı zamanda kanallar içindeki ortamlarda bariyer olarak da görev alır ve bu yüzden maruz kalacağı yüksek sıcaklıklara ve kimyasal ortama dayanıklı olmalıdır. Contalar, maruz kalacakları civata sıkma kuvvetleri ve oluşacak iç basınçlar sebebiyle yeterli yük taşıma kapasitelere sahip olmalıdırlar. Contanın, flanşlı bir bağlantıda performansına ve ömrüne birincil dereceden etki edecek

faktörler Şekil 2.8a da şematik olarak gösterilmiştir. Flanşlı bağlantının temas yüzeyleri bölgesinde contaya etki edecek kuvvetler, Şekil 2.8b de gösterilmiştir ve aşağıda detaylandırılmıştır.

1. Sıkıştırma kuvveti
2. Hidrostatik kuvvet
3. Akışkan kuvveti

Sıkıştırma kuvveti, montaj esnasında contayı sıkıştırmak için uygulanan kuvvettir. Conta malzemesinin sıkışma oranı zamanla azalacağından ötürü sürekli kalıcılık değeri yüksek olan conta malzemesi kullanımı tercih edilir. Hidrostatik kuvvet, sistemin çalışması esnasında sıkıştırma kuvvetine ters yönde etki eden ve kapağı açmaya çalışan kuvvet olarak tanımlanabilir. Akışkan kuvveti ise, iç basınç nedeni ile kapak aralığından contayı akmaya zorlayan kuvvettir.

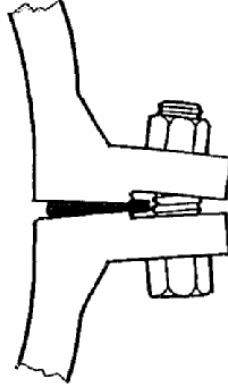
Bu kuvvetler sonucunda, çalışma sırasında contanın akmaması ve konumunun bozulmaması için net sıkıştırma kuvveti basıncın yarattığı yan kuvvetten daha fazla olmalıdır ve bu oran 2 olması tavsiye edilir. Bu güvenlik katsayısı oranı, sürekli kalıcılık değeri yüksek özellikteki conta malzemesi içeren bağlantılarda daha da arttırılmalıdır.



**Şekil 2.8** Contaya etki eden kuvvetler

Mutlak rijid flanşları ideal flanş olarak tanımlarız. İstenilen yüzey basıncını elde etmek için flanşa uygulanan moment sonucunda her zaman sızdırmazlık elemanında

deformasyon görülmez. Bazen de flanşın kendisinde deformasyon görülür. Bu olay flanşın dönmesi olarak tanımlanır ve Şekil 2.9’da abartılı olarak gösterilmiştir. Contanın iç kısmına etki eden yüzey basıncının dış kısmına etki eden basınçtan daha düşük olduğu gözlemlenebilir. Bir örnek ile açıklamak gerekirse, 4 civatalı bir flanş ve basınca duyarlı bir ara yüz elemanı ile contalı flanş kapağının civataları sırayla sıkılır. Teorik olarak uygulanan basınç ortalama 30 MPa iken conta iç çapta basınç 26 MPa, dış çapta ise 37 MPa olduğu gözlenir.



**Şekil 2.9** Flanş rotasyonu

Bu durum iki türlü değerlendirilebilir. Dış çapın daha fazla sıkışması ile daha iyi bir sızdırmazlık beklenir. Diğer bir yandan değişik gevşeme davranışları ile karşılaşırız. İç çapta daha az, dış çapta daha çok gevşemeye rastlanır. Aşırı yüklenen contalarda (50 MPa gibi) farklı gevşeme davranışının contanın fonksiyonelliğini çok etkilemediği gözlemlenmiştir. Flanş rotasyonunun olması esnasında civata tepki kuvvetleri azalır veya artar, ortalama conta gerilimleri azalır.

### **2.5.2 Flanşlı bağlantı tasarım kriterleri**

Flanşlar yeterli et kalınlığına sahip olmalıdırlar. Flanş kalınlığı, civatalar tarafından oluşturulacak kapama kuvvetinin, kapağın orta noktasına iletilmesini sağlar. Bu yükün orta noktaya homojen dağılması tasarım için önemli bir özelliktir. Yeterli kalınlık ayrıca sıkıştırma yükünün etkisi ile oluşacak eğriliklerin minimize edilmesi için gereklidir. Eğer flanş kalınlığı çok ince olursa Şekil 2.10’da görüldüğü gibi flanşta aşırı bir eğrilme görülecektir, hiçbir civata sıkıştırma yükü orta ekseninde oluşmayacaktır ve flanş rotasyonu görülecektir. İnce flanşlar ile çalışılması gerekiyorsa da flanş yüzeyine kabartma vererek veya flanşın kesit yapısını değiştirerek daha mukavemetli bir yapıya getirilmelidir.



**Şekil 2.10** Flanş eğilme problemi

Flanş yüzeyinin pürüzlülük seviyesi yüzeyin kalitesini ortaya çıkarır ve contanın performansı ile birebir etkilidir. Bir flanşlı bağlantıda pürüzlülük derecesinin artması, yeterli oranda bir sızdırmazlık performansı sağlamak için, gerekli sıkıştırma yükünün artması anlamına gelir. Flanş yüzeyinin kalitesi conta kalınlığını, sıkışabilirliğini ve malzeme çeşidini belirlemek açısından önemlidir. Yüzey pürüzlülüğü fazla, kaba yüzeylere düşük sertlikteki conta malzemesi kullanılmalıdır. Yüzey kalitesinin artması ile sert malzeme özellikte conta kullanılması da daha mümkündür. Çok iyi yüzey kalitesine sahip bir flanşta, sert conta malzemesinin yüzeye tutunma yeteneği azalabilir. Flanş yüzeyinde akış yönüne dik kalem izlerinin olması, contanın tutunmasına yardımcı olduğundan özellikle istenir. Bundan dolayı çok iyi yüzey kalitesinin getireceği maliyet gereksizdir.

Flanş yüzeylerinin, yüksek basınca maruz kalan uygulamalarında herhangi bir şekil bozukluğuna uğramaması için bağlantı delik konumları ve sayısı belirlenirken yük taşıma direncinin dışında flanş yüzeyinin düzgün gerilim dağılımı sağladığına dikkat edilmelidir.

Conta uygulamalı flanşlı tasarımlarda, flanş malzemesi olarak genellikle çelik, paslanmaz çelik, dökme demir, alüminyum, plastik, seramik ve kompozit malzemeler kullanılır. Gövde malzemesi ile flanş kapağının malzemesinin farklı olması durumunda, farklı materyallerin farklı genişleme karakteristiklerine sahip olmasından dolayı ezme ve çekme problemlerini görülebilir. Bu problemlerden dolayı farklı malzeme ile tasarım tavsiye edilmez.

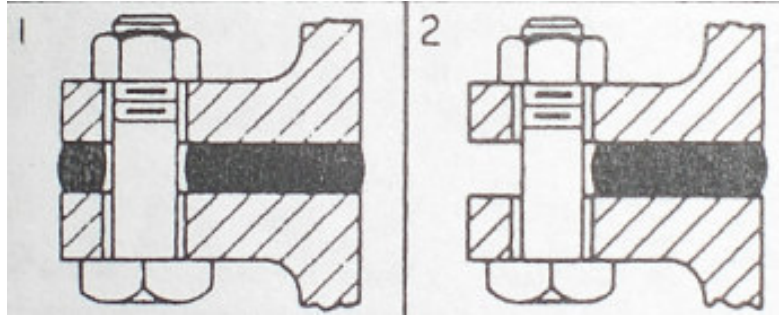
### **2.5.3 Conta boyutları**

Conta boyutları olarak ilk akla gelenler contanın ince veya kalın olması ve contanın genişliğidir. Flanşlı bağlantılarda uygulanan contaları şekil ölçülerine göre 2'ye ayırabiliriz. Bunlar;

1. Tam flanş yüzeyine yerleştirilen contalar,

## 2. Bağlantı delikleri ile flanş iç çapı arasına yerleştirilen contalar.

Şekil 2.11’de görüldüğü gibi birinci tip contaların dış çapı flanş dış çapına eşittir, iç çapı da flanş iç çapına yakındır. Conta üzerinde bağlantı civatalarının geçeceği delikler açılmıştır. Conta, kapama kuvveti dışında civatalar tarafından da sabitleştirildiğinden contanın yerinden oynama riski ve geniş yüzeye sahip olmasından ötürü flanş deformasyonu, rotasyonu görülme olasılığı da azdır. Bunun yanında ikinci tip contalar, daha küçük yüzeye sahip oldukları için daha az sıkıştırma kuvveti ile daha fazla iç basınca dirençlidirler.



**Şekil 2.11** Şekil ölçülerine göre flanşlı bağlantılardaki conta uygulaması

Contanın kalınlığı, uygulanacak yüzeyin kalitesi ve conta malzemesinin özellikleri ile belirlenmektedir. Malzeme özelliği olarak, contanın esneklik ve maksimum yüzey gerilmesi özellikleri önemlidir. Yüzey kalitesi içinde pürüzlülük özelliği dikkat edilmelidir. Genel olarak, conta kalınlığının artması ile esneklik direnci azalır diyebiliriz. Bununla birlikte, kalın conta uygulamalarında gövde ile flanş kapağı arasında fazla aralık olacağı için contanın ortamdan ve iç basınçtan etkilenme riski daha fazla olacaktır. Malzemenin akma ve hasarlanma olasılığı artar, ömrü kısalmır. Bu nedenle eğer flanşların yüzey kalitesi uygun ise, oldukça ince conta malzemesi kullanılmalıdır. İnce conta kullanımı ile güvenlik payı mümkün olduğu kadar arttırılır. Bu tip contalar her zaman yüksek sıkıştırılabilirlik özelliği ve paralel olmayan flanşlı bağlantılarda denge sağlanmasında daha iyi özellik gösterirler. Conta genişliği, en az conta kalınlığının 2 katından fazla olmalıdır.

$$t_{\min} = \frac{2 \times R_t \times 100}{S}$$

$t_{\min}$  = Minimum conta kalınlığı

$R_t$  = Maksimum yüzey pürüzlülüğü

$S$  = Sıkıştırma oranı (%)

Conta üzerine uygulanacak sıkıştırma kuvveti malzeme tipine göre seçilmelidir. Sıkıştırma kuvvetinden dolayı conta üzerinde oluşacak yüzey geriliminin fazla olması ile sistemdeki sızıntı riski de artmaktadır. Bu durumda conta esnekliğini yitirir ve flanş yüzeyine gerekli baskıyı yapamaz. Belli bir malzeme için izin verilen maksimum yüzey gerilimi ortam sıcaklığı ve kalınlığa bağlıdır. Aynı şekilde soğuk koşullarda sıcak ortama göre daha fazla yüzey gerilimine izin verilir. Isıl genleşme sonucu ortaya çıkan kuvvetler aşırı yüzey gerilimi yaratarak contayı çatlatır. Soğuma nedeniyle oluşan büzülme ise sızdırmazlık için gerekli minimum yüzey gerilimini azaltabilir.

Civataların oluşturduğu sıkıştırma kuvvetinin conta yüzey alanına oranlanması ile tanımlanan montaj geriliminin, maksimum yüzey gerilimini aştığı durumlarda şu aşağıdaki çözümlere başvurulabilir.

- Daha geniş conta kullanılabilir.
- Daha ince conta kullanılabilir.
- Daha fazla yüzey gerilimini taşıyabilen malzeme seçilebilir.

#### **2.5.4 Conta montajı**

##### **2.5.4.1 Montaja hazırlık**

Temas edecek yüzeylere conta yerleştirilmeden önce, yüzeylerin temiz, pürüzsüz ve düz olmasına dikkat edilmelidir. Yüzeylerde toz, pas, tortu gibi yabancı malzemelerin var olması uygun sızdırmazlığın gerçekleşmesine engel olur. Bu tarz kalıntı, tortular hem contaya zarar verirler hem de sızıntı yolu oluştururlar. Gres ve yağ içeriği, iyi bir sızdırmazlığa engel olmaktadır. Bu yüzden conta ve temas edecek yüzeyler montaj öncesi mümkün olduğunca temiz ve kuru tutulmalı, çatlak ve paslı yüzeylere bakım yapılmalı, eski conta artıkları temizlenmelidir.

Genelde contalar kuru olarak yerleştirilir. Ancak montaj tasarımı sızdırmazlık için yeterli sıkıştırma kuvvetine izin vermiyorsa, özellikle gaz sızdırmazlığında araya tampon sıvı konulması önerilir.

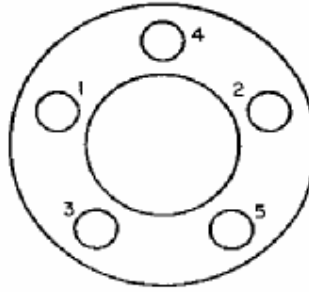
##### **2.5.4.2 Montaj spesifikasyonları**

Montajda kullanılacak tüm civatalar aynı teknik özellikte, temiz, zarar görmemiş olmalıdır. Aksi koşullarda yanlış moment okunmasına ve civatanın sıkma kuvvetinin

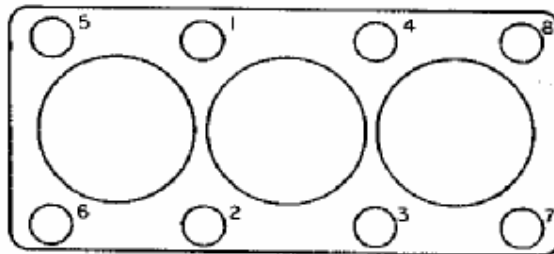
azalmasına sebep olunur. Bağlantı yüzeylerinde yer alan civata deliklerinin de zarar görmesi veya kirli olması durumlarında aynı problem yaşanır. Deliklerin üstü pah kırılmalıdır. Bu sayede en üstteki vida dişleri zarar görmezler. Herhangi bir kalıntı, talaş kalmaması için delikleri de temizlemek gerekir.

Civataların alüminyum yüzey montajı uygulamalarında, civata kafası altlarına sertleştirilmiş çelik rondelalar kullanılmalıdır. Bu tercih, alüminyumun yumuşak malzeme olmasıyla civataların sıkılması esnasında yüzeyde sürtünme yapışması olmaması ve sıkma kuvvetinin iletilmesi için yapılır.

Civatalar her zaman belirlenen sırada ve tavsiye edilen eş momentler değerlerinde montajı yapılmalıdır. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'deki sıkıştırma spesifikasyonları örnek teşkil edebilir. Kalibre edilmiş tork anahtarları ile civatalar, 3 ile 5 adımda ve her adımda tork değeri artırılarak, uygulama için belirlenen sırada sıkılır. Bu şekilde montaj ile conta üzerinde dengeli sıkma kuvveti oluşturulur, distorsiyonlar azalır ve iyi bir sızdırmazlık performansı için gerekli ön koşul sağlanmış olur. Conta çalışma sıcaklığına ulaştıktan 1 saat sonra flanş civataları montaj momenti ile uygun sıra ile yeniden sıkılması tavsiye edilir.



**Şekil 2.12** Dairesel contada çapraz civata sıkma düzeni



**Şekil 2.13** Dairesel olmayan contalarda spiral civata sıkma düzeni

### 2.5.4.3 Montaj hataları

Genelde uygulamada bir sızıntı oluşunca, bütün hatanın contadan kaynaklandığı düşünülürdü. Yanlış flanş tasarımı veya yanlış conta montajından kaynaklanabileceği düşünülmezdi. Çok basit sebeplerden ötürü civatalı bağlantılarda sızıntı görülebilir ve bu sızıntıların çoğu contadan ötürü kaynaklanmamaktadır. Civatalı bağlantıların montaj kaynaklı hatalar ve diğer oluşabilecek hatalar, Tablo 2.1’de gösterilmektedir.

**Tablo 2.1** Civatalı bağlantılarda sızıntı probleminin başlıca hata modları

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Montaj Kaynaklı Hatalar               | <ul style="list-style-type: none"><li>- İlk sıkıştırma değerinin yetersizliği</li><li>- Yetersiz cıvata sıkma kuvvetleri (düşük conta gerilimi)</li><li>- Aşırı cıvata sıkma kuvvetleri (yüksek conta gerilimi)</li><li>- Düzensiz cıvata sıkma momentleri uygulanması</li><li>- Cıvata/saplama gibi bağlantı elemanlarının vida dişlerinin zarar görmesi</li><li>- Kalitesiz cıvata kullanımı</li><li>- Conta ayarının yanlış yapılması.</li></ul> |
| Temas Yüzey Kalitesi Kaynaklı Hatalar | <ul style="list-style-type: none"><li>- Dengesiz, kirli, deforme olmuş, paslanmış, aşınmış yüzeylerde çalışılması</li><li>- Flanşların rotasyonu</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Malzeme Kaynaklı Hatalar              | <ul style="list-style-type: none"><li>- Eski contaların tekrar kullanılması</li><li>- Conta malzemesi ile ortam arasındaki uyumsuzluklar</li><li>- Conta malzemesinin limitlerini aşacak çalışma koşulları</li><li>- Malzeme geçirgenliği</li></ul>                                                                                                                                                                                                 |
| Tasarım Kaynaklı Hatalar              | <ul style="list-style-type: none"><li>- Zayıf flanş/ zayıf civatalama düzeni</li><li>- Yanlış ölçümlendirme</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

### 3. DENEYLER

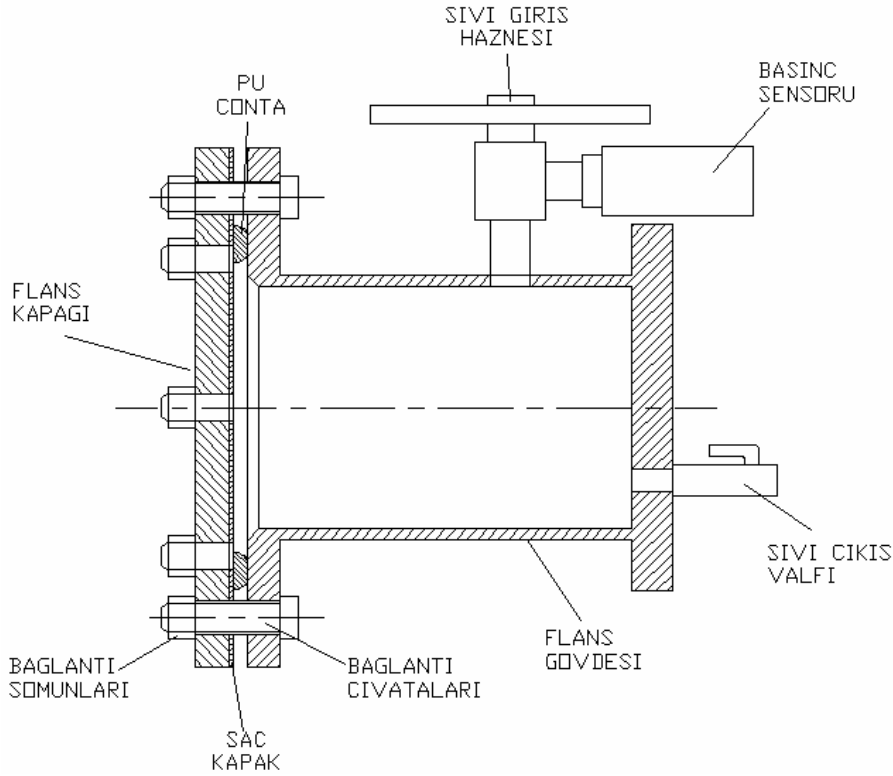
Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere sızdırmazlık elemanlarının performansını etkileyen birçok parametre vardır. Bir uygulamanın çalışma koşullarına ve özelliklerine uygun sızdırmazlık elemanının belirlenmesi, uygulamadan yüksek performans almak için çok önemlidir. Uygun sızdırmazlık elemanının seçilmesinde, çalışma ortam koşulları ile sızdırmazlık elemanının malzeme çeşidi ve o malzemenin fiziksel, gerekli ise kimyasal özellikleri karşılaştırılarak karar verilir. Bu karşılaştırmaları yapacak parametreler malzeme üzerinde yapılmış deneyler ile belirlenmiştir. Uygulama için doğru sızdırmazlık elemanının seçimi için de deneyler yapılmaktadır ve yapılması tavsiye edilmektedir.

Statik ve dinamik sızdırmazlık elemanlarının uygulanma yöntemleri farklı olduğu için deneysel çalışmaları da farklıdır. Deney çalışması, sızdırmazlık elemanının uygulanacak ortam şartlarını birebir sağlayacak bir deney düzeneğinde yapılmalıdır. Yapılan bu çalışmada statik sızdırmazlık elemanlarının (contaların) performans analizinde contaların en çok kullanıldığı flanşlı bir sistemin kullanılmasının daha uygun olacağı öngörülmüştür. Buna göre tasarlanan deney düzeneği ile farklı boyut ve farklı özelliklere sahip numuneleri deneyerek elde edilen sonuçları karşılaştırabilme imkanı sağlanmıştır. Deney numunesi olarak, üretilebilirliği ve uygulanması kolay olan, ayrıca birçok değişik parametre ile farklı özellikteki contalara ulaşılmasını sağlayan sıvı conta çeşidi tercih edilmiştir. NC robot yardımı ile oluşturulan PU dökme conta, deney numunesi olarak kullanılmıştır.

Deneyler iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada her bir deney numunesi sabit bir momentle yerine takılarak, sistem içten basınçlandırılmış ve belli bir süre içindeki basınç düşümü izlenmiştir. İkinci aşamada ise iç basınç, conta hasara uğrayıncaya kadar arttırılarak contanın hasara uğradığı basınçlar elde edilmiştir. Sunulan bu çalışmada elde edilen verilerin çalışma koşullarına göre en uygun contanın seçilmesinde kullanılması hedeflenmiştir.

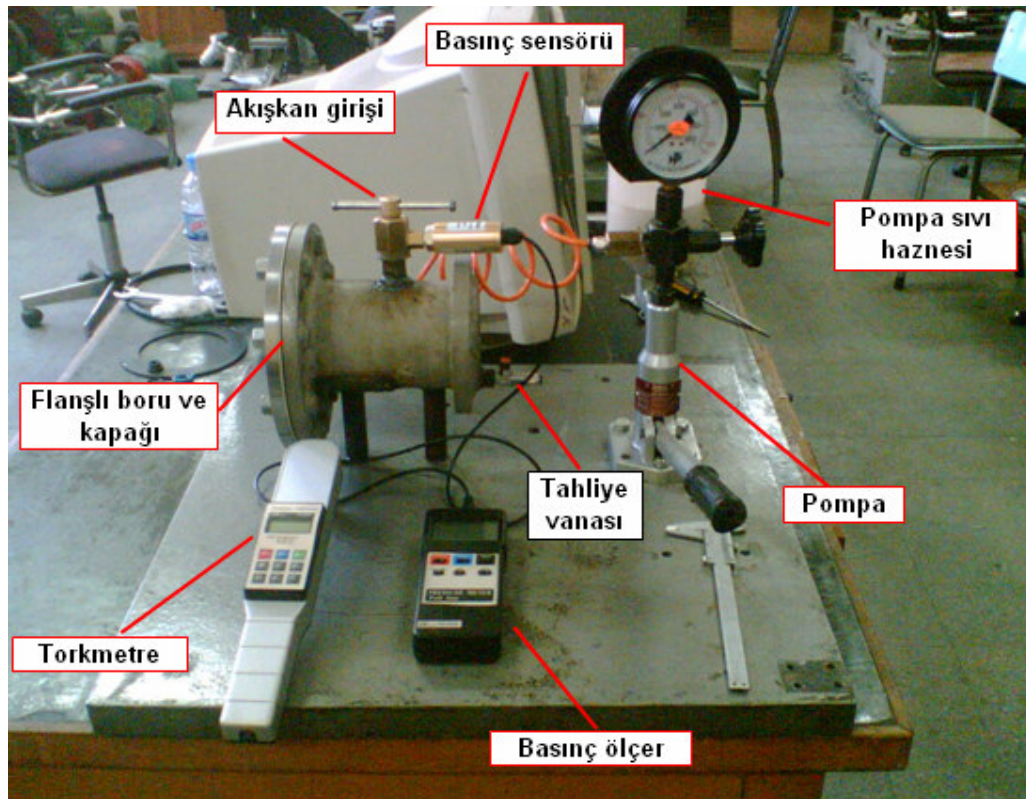
### 3.1 Deney düzeneği

FIP yöntemi ile oluşturulan PU dökme contanın performans karakteristiklerini belirlemek amacıyla Şekil 3.1’de şematik resmi ve Şekil 3.2’de genel görünüşü verilen deney düzeneği tasarlanmıştır.



**Şekil 3.1** Deney tesisatının prensip şeması

Deney düzeneği, flanşlı boru ve flanş kapağının birleştirilmesi ile kapalı bir sistem olmaktadır. Borunun flanş kısmına 8 adet M16 somun başlı civata kaynatılmıştır. Kapak ile flanş arasına yerleştirilen numuneler, 8 adet somunun sabit bir moment değerinde sıkılmasıyla montaj tamamlanmaktadır. Borunun iç basıncını izleyebilmek için üst tarafına bir basınç sensörü yerleştirilmiştir. Basınç sensörünü boruya sabitlemek için kullanılan ara bağlantı elemanı aynı zamanda akışkan dolumu için de kullanılmaktadır. Borunun yan yüzeyine yerleştirilen bir vana ile pompanın sisteme bağlantısı sağlanmaktadır. Bu şekilde sisteme dışarıdan akışkan pompalanarak sistemin iç basıncının artırılması sağlanmıştır. İçerideki akışkanın tahliye edilebilmesi için borunun arka tarafına bir tahliye vanası yerleştirilmiştir. Tüm sistem düz bir platform üzerine yerleştirilerek sabitlenmiştir.



**Şekil 3.2** Deney tesisatının genel görünüşü

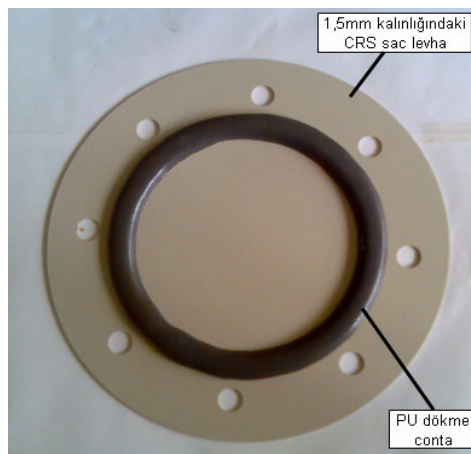
Sistemin iç basıncını arttırmak için kullanılan pompa ile 400 bar basınca kadar çalışılabilmektedir. Basınç kontrolü için 9 V~30 V DC ile çalışan PS100-50 Bar basınç sensörü kullanılmıştır. Basınç sensöründen alınan sinyaller  $\pm 0.5$  hassasiyetinde bir gösterge yardımı ile okunmaktadır. Deneye başlamadan basınç göstergesi basınç sensörünün skalasına uygun olarak kalibre edilmiştir. Dairesel olan numuneyi kapak ile flanşlı boru arasına eş momentler ile sıkamak gerekmektedir. Somunların eş momentlerle sıkılmaması durumunda bazı bölgeler daha düşük, bazı bölgelerde ise daha yüksek kuvvet ile basılmasına ve flanş rotasyonu oluşmasına sağlar. Bu da numunelerin değerlendirilmesinde yanılmalara sebep olur. Bu yanılmaları ortadan kaldırabilmek için torkmetre kullanılmalı ve cıvatalar belli bir sıkma sırası belirlenerek sıkılmalıdır. Bu sıkma sıranın belirlenmesi bölüm 2.5.4.2’de verilen bilgilere göre yapılmıştır. Deneylerde Lutron marka TQ 8801 model  $\pm 1$  hassasiyette max. 100 Kgf-cm kapasiteli torkmetre kullanılmıştır. Sıkma işleminden önce ve sonra bir kumpas ile numune sacı ile flanş düzlemi arasındaki mesafe

ölçülmüştür. Bu değerler ile contanın sıkıştırma oranı bölüm 2.3.6'ya göre hesaplanmıştır.

Sistemde sızdırmazlık elemanı dışındaki bağlantı noktalarından hiçbir şekilde kaçak olmaması gerekmektedir. Bu nedenle kaynak dikişleri, sensör ve vana bağlantıları deneyler öncesinde test edilerek kaçak olmadığından emin olunmuştur.

### 3.2 Deney numuneleri

Deney numunesi olarak üretilebilirliği kolay olduğu için üretim parametrelerinin değiştirilmesi ile farklı özellikte conta ortaya çıkmasını sağlayan sıvı contalardan PU dökme conta kullanılmasına karar verilmiştir. NC robot kullanılarak Ek D'de hazırlanan G-kodları robota kaydedilerek, flanş uygulamasına uygun konumda PU dökme conta numuneleri hazırlanmıştır. Conta performansını etkileyebilecek parametreler dikkate alınarak deney numuneleri oluşturulmuştur. Bu parametrelerden birkaçı değişken, birkaçı sabit tutarak 10 farklı numune hazırlandı. Bu numuneler Şekil 3.3'te gösterildiği gibi flanş kapağına uyumlu olacak şekilde hazırlanan 1,5 mm kalınlığında CRS sac levha üzerine dökülerek elde edilmiştir. Sac levhalar elektrostatik toz boya ile boyanarak dökme contanın reaksiyon sonrası etkin yapışma özelliği gösterebilecek yüzey özelliğine sahip olması sağlanmıştır. Örneğin paslanmaz galvaniz sac levha kullanılsaydı, dökme contanın levhaya yapışması için ek yapıştırıcı kullanmak gerekmektedir. İki farklı sıvı malzemenin karıştırılarak reaksiyona girmesi ile oluşturulan PU dökme contada, sıvı malzemelerden biri yüzeye yapışkanlık özelliğini sağlamaktadır.



Şekil 3.3 Deney numunesi

Değişken parametreler olarak, iki farklı sıvı malzemenin, karışım oranı, bir saniyede yüzeye dökülen conta gramajı ve contanın döküldüğü yüzey sıcaklığı alınmıştır. Ortam sıcaklığı, aynı çeşit sıvı malzeme ve conta makinesinin döküm hızı ise sabit parametreler olarak alınmıştır. Bu çalışmada, farklı şartlarda elde edilen PU dökme contanın, belirlenen performans kriterlerine göre en idealini seçmek amaçlanmıştır. Referans numunesi olarak, PU dökme conta malzeme üreticilerinin kullanım yerine göre tavsiye ettiği parametre değerleri ile elde edilen ve Tablo 3.1’de yer alan 1 numaralı numune conta seçilmiştir. Numuneler elektrik panosu üreten bir firmada hazırlandığı için ve boyutları da flanş sızdırmazlığına uygun olmasından ötürü, pano sızdırmazlığı için tavsiye edilen değerler kullanılarak referans numune elde edilmiştir. Bu değerlerden gramaj ve döküm hızı dışındaki parametreler tüm kullanım alanlarında genelde aynıdır. Gramaj ve döküm hızı değiştirilerek ince ve kalın contalar elde edilebilir, uygulanacak parçaya göre de uygun bir değer belirlenir. Çalışma sonrası çıkan sonuçlar ile tavsiye edilen numunenin uygunluğu tespit edilebilir veya daha ideal parametreler ile oluşturulan PU dökme conta belirlenebilir. Belirlenen parametreler ile oluşturulan numune listesi aşağıdaki Tablo 3.1’de, numunelerin kesit resimleri de Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



**Şekil 3.4** Deney numuneleri kesit görüntüleri

**Tablo 3.1** Değişken parametreler ile hazırlanan deney numuneleri listesi

|                        | REF.<br>NUMUNE | KARIŞIM ORANINA GÖRE |       |       |       | GRAMAJ ORANINA GÖRE |       |       | YÜZEY<br>SICAKLIĞINA |                |
|------------------------|----------------|----------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|----------------------|----------------|
| Numune No              | 1              | 2                    | 3     | 4     | 5     | 6                   | 7     | 8     | 9                    | 10             |
| Komponent<br>A:B       | 4:1            | 5:1                  | 4:1,5 | 6:1   | 3:1,5 | 4:1                 | 4:1   | 4:1   | 4:1                  | 4:1            |
| Gramaj<br>(1 g/s)      | 3,8            | 3,8                  | 3,8   | 3,8   | 3,8   | 5                   | 1,9   | 2,7   | 3,8                  | 3,8            |
| Sıcaklık               | Ortam          | Ortam                | Ortam | Ortam | Ortam | Ortam               | Ortam | Ortam | Isıtılmış<br>Yüzey   | Soğuk<br>Yüzey |
| Döküm Hızı<br>(mm/dak) | 9300           | 9300                 | 9300  | 9300  | 9300  | 9300                | 9300  | 9300  | 9300                 | 9300           |
| Adet                   | 4              | 4                    | 4     | 4     | 4     | 4                   | 4     | 4     | 4                    | 4              |
| Sertlik<br>(IRHD)      | 25             | 20                   | 32    | 5     | 40    | 24                  | 20    | 22    | 5                    | 10             |

Karışım oranını değiştirerek, karıştırılan sıvı malzemelerinin bireysel özelliklerinin ortaya çıktığını görebiliriz. Asıl poliüretan malzeme özelliği taşıyan A malzemesi fazla oranda olması ile iki malzemenin reaksiyona girme hızı düşmekte, son şeklini alma süresi uzun olmaktadır. Bundan ötürü imalat süresinin uzun olması gibi problemler ortaya çıkmaktadır. B malzemesinin yüzeye yapışkanlık özelliği vermesi de dikkate alınırsa, A malzemesi ne kadar fazla olursa contanın yüzeye yapışma yeteneği de o derece azalmaktadır. Ayrıca, A'nın artışı ile daha yumuşak contalar elde edilmektedir. Bununla birlikte B malzemesinin fazla olması ile de daha sert conta ortaya çıkmaktadır. Karışım oranı farklılığı ile conta boyutlarında az da olsa farklılıklar gözlenmektedir. A malzemesinin artışı ile daha küçük boyutlar (ince ve dar); B malzemesinin artışı ile de daha büyük boyutlar (kalın ve geniş) ortaya çıkmaktadır. Bu boyutsal farklılıkların oluşması, malzemelerin reaksiyona girme hızının değişmesinden kaynaklandığı düşünülebilir. A ve B malzemelerinin karışım oranlarının değiştirilmesi ile oluşan farklı conta numunelerinin, akışkan muhafaza etme oranları da farklılık göstermektedir ve bundan dolayı da numunelerin sızdırmazlık performanslarında farklılıklar gözlenmektedir.

Dökülen PU contanın boyutlarında bire bir etkili olan parametreler, dökülen karışımın gramajı ve makinenin döküm hızıdır. Sızdırmazlık performansının makine odaklılığını düşünmemek için makine döküm hızı parametresini tüm numunelerde aynı alınması uygun görülmüştür. Bu değer conta kalitesi ve imalat süresi düşünülerek belirlenen optimum bir değerdir.

Makineye data olarak girilen karışımın, bir saniyede yüzeye dökülecek gram miktarı değişken parametrelerimizden biridir. A ve B malzemelerinin sabit tutulmasından

ötürü numunelerin sertliği ve kıvamı aynıdır. Gramajın düşük olması ile doğru orantılı olarak, boyutların da diğerlerine göre daha dar ve ince olduğu gözlemlenmiştir. Gramajın artması ile de daha kalın ve geniş boyutlar elde edilmektedir. Bu boyutlar contanın mukavemetinde ve conta basma yüzeyindeki farklılıklara sebep olmaktadır. Gramaj değişkenliği sızdırmazlık performansına etkisi dışında uygulanacak sistemin tasarımına göre de belirlenmektedir.

PU contanın imalatında ortam sıcaklığı da önem taşımaktadır. Bu etkiyi görmek içinde ortam sıcaklığının değişimini temsil edeceğini düşünerek contanın döküleceği yüzeyin sıcaklığı değiştirilmiştir. 40-50 °C'lik bir fırında yüzey sıcaklığı arttırılan sac levhaya contanın dökülmesi ile ortaya yumuşak bir conta çıkmıştır. Yüzey sıcaklığının fazla olması, reaksiyona girme hızının yüksek olmasına sebep olup, normalden daha kısa sürede contanın son halini aldığı gözlenmiştir. Şekil 3.5'te gösterilen numune conta kesidinde, reaksiyona girme hızının yüksek olmasından ötürü, diğer contalara göre daha gözenekli bir yapı olduğu görülmektedir ve bu da sızdırmazlık performansını ve mukavemetini önemli ölçüde etkilemektedir.



**Şekil 3.5** Isıtılmış yüzeye dökülen PU conta kesidi

Yüzey sıcaklığı parametresi ile ilgili diğer bir numune de -10 °C civarındaki bir soğutucuda bekletilen sac levhaya contanın dökülmesi ile oluşturulmuştur. Soğutulmuş yüzeyde contayı oluşturan komponentlerin reaksiyona girme hızının düşük olduğu, normalden daha uzun sürede son halini aldığı gözlemlenmiştir. Conta sertliği de normalden biraz fazladır. Bu numunede görülen en belirgin dezavantaj ise yüzeye yapışma özelliğinin çok az olmasıdır. Yüzeyin soğuk olması, B malzemesinin yapışma özelliğini göstermemesine sebep olduğu düşünülmektedir.

Elastomer malzemelerin sertlik değerleri genelde “Shore A” ölçekli durometre ile veya IRHD kalıcı yük sistemi ile belirlenir. Yumuşak elastomerlerin sertlik değerleri IRHD ile ölçölür. IRHD test düzeneği ile 6mm’den kalın, belirli ölçüm alınacak yüzeye sahip numunelerden ölçüm alınır. 6mm’den küçük contalar için mikro IRHD test düzeneği kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki numunelerimiz sertlik değerleri IRHD sertlik değerleri ile ifade edilmiştir. ISO 48 standartına göre numuneye bir ön yük verilir ve skala sıfırlanır. Daha sonra 30 saniye süre ile toplam yükleme uygulanır ve iğnenin contayı ezme miktarına göre bir sertlik değeri ortaya çıkar [16].

Farklı parametre değerleri oluşturulmuş Şekil 3.4’te de gösterilen numune PU dökme contalarda, geometri, yüzeye yapışma yeteneği, akışkanı muhafaza etme kabiliyeti (gözenekli yapı), ömrü gibi kriterlerin değişikliği gözlenebilmektedir. Bütün bunlar bir PU dökme contanın sızdırmazlık performansının değerlendirilmesinde önemli kriterlerdir. Tasarımda kullanılacak PU dökme conta seçiminde uygun karışım oranı, ortam koşulları gibi parametreleri belirlemek için deneysel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

### 3.3 Deneyin yapılışı

Değişken PU conta imalat parametreleri düşünölerek hazırlanan birbirinden farklı numunelerin performansını değerlendirmek amacıyla yukarıda açıklanan deney düzeneği hazırlanmıştır. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için bazı deney parametreleri belirlemek gerekmektedir. Bu çalışmanın subjektif değerlendirilmesi için gözlenmesi öngörölün deney parametreleri şunlardır:

- Kapalı sistemde belirli bir süre zarfında oluşan basınç farkı ( $\Delta P$ ),
- PU contanın hasara uğrama basıncı.

PU contanın performans testini iki farklı yöntemle yorumlamak yeterli olacaktır. Bunlardan ilkinde sistem basıncını 6 bara kadar çıkardıktan sonra 10 dakika sonunda oluşan basınç farkı gözlemlenmiş ve bu test basınç farkı testi olarak adlandırılmıştır. PU contanın uygulandığı sistemde zamanla oluşan basınç farkı; contanın gözenekli yapısı sebebiyle belirli bir miktar akışkanı nüfuz etmesinden, contanın basma yüzey kalitesinden, sıkıştırılabilme oranından, buna paralel olarak da conta sertliğinden kaynaklanmaktadır. Hasar testi olarak adlandırılan diğer bir performans belirleme testinde de numune contanın uygulandığı sistem yüksek basınçlara kadar çıkarılarak

contanın dayanabileceği çalışma basıncı belirlenmiştir. Bu deney, ağır koşullarda çalışan sistemlerde kullanılması gereken PU contanın tayininde önem teşkil etmektedir.

Her bir deney numunesinden 4'er adet hazırlanmıştır. Bunlardan 3 tanesi basınç farkı testi için, kalan 1 tane de hasar testi için kullanılmıştır. Böylece 10 farklı numune için 40 adet ölçüm alınmıştır. Deneylerde sulandırılmış bor yağı akışkan olarak kullanılmıştır. Her iki deney içinde ortak adımlar mevcuttur. Numunelerin doğru karşılaştırılmasını sağlamak için her bir deney adımının eksiksiz ve aynen yapılması gerekmektedir. Deneyler yapılırken aşağıda belirtilen kriterlere dikkat edilmiştir.

- Contanın oturacağı flanş yüzeyin temiz olması,
- Numune contanın flanş yüzeyine homojen bir şekilde basması,
- Flanş kapağını tutan 8 adet somunda tork kaybı ve flanş rotasyonu olmaması için belirli bir sıraya göre ve eşit momentler ile sıkılması,
- Kapalı sisteme akışkanın eklenmesi öncesi sistem içerisinde hava kalmadığına emin olunması,
- Sistemde basınç artışından ötürü oluşabilecek akışkan sızıntılarının olmaması. Gerekirse tadilat yapılması.

Yukarıdaki kriterlere her bir deneyde dikkat ederek, numune conta flanş yüzeyine düzgün bir şekilde yerleştirilir. Üzerine flanş kapağının yerleştirilmesi ile kapalı bir sistem oluşmuş olur. Bölüm 2.3.6'da bahsedilen sıkışabilme oranının tespiti için gerekli ilk değer olan sac levha yüzeyi ile flanş yüzeyi arasındaki mesafe kumpas yardımı ile tespit edilir. Bütün deneylerde flanş kapakları, torkmetre yardımı ile 700 N.cm momentle sıkılmıştır. Sıkma işleminde tavsiye edilen sıra bölüm 2.4.4.2'ye göre belirlenmiştir. Numunenin ve flanş kapağının montajı sonrası sıkışabilme oranı tespiti için gerekli ikinci değer olan montajdan sonraki sac levha yüzeyi ile flanş yüzeyi arasındaki mesafe ölçülür.

Numunenin düzeneğe yerleştirilmesinden sonra flanşlı borunun arka tarafında yer alan tahliye vanasının kapalı olduğundan emin olup, üst taraftaki girişten akışkan sıvı doldurulmaya başlanır. Yaklaşık olarak 1,55 lt'lik iç hacme sahip olan kapalı sistemin tamamen akışkan ile dolduğundan emin olduktan sonra üst giriş kapatılır. Sistemde basınç artışı ile kayıp yaşamamak için giriş ve çıkış noktalarının dikkat

edilerek kapatılması ve sızdırmazlık elemanı yardımı ile akışkan çıkışının engellenmesi sağlanmalıdır.

Sistem sıvı ile dolduktan sonra, sistemin yan tarafında yer alan vana açık konuma getirilerek pompa haznesi ile sistem arasındaki akışkan transferi sağlanabilir duruma getirilir. Basınç sensörüne bağlanan basınç ölçer öncelikle sıfırlanır ve ardından pompa haznesi içindeki akışkan sıvı, pompa yardımı ile sisteme aktarılmaya başlanır. Sisteme sıvı girişinin başlaması ile basınç ölçerde basınç artışı rakamsal olarak gözlenmektedir. Bütün basınç farkı testlerinde sistemin 6 bar basınca getirilmesi uygun görülmüştür ve bu değere ayarlanınca pompa haznesi ile bağlantıyı sağlayan vana kapalı konuma getirilir. 6 bar basınca ayarlanan sistemde, kronometre yardımı ile 10 saniyede bir basınç ölçerin gösterdiği basınç değeri okunarak not edilir ve numune contanın yüksek basınçlarda ilk 10 dakikadaki tepkisi yorumlanır. Ölçümler alındıktan sonra sistem içerisindeki akışkanın arkadaki tahliye vanası vasıtasıyla boşaltılır. İçeride akışkan kalmadığına emin olduktan sonra flanş kapağı sökülerek numune conta çıkartılır. Böylece bir deney çevrimi tamamlanmış olur. Diğer test için yeni bir numune conta kapağı sisteme yerleştirilerek deney süreçleri tekrarlanır.

Basınç farkı testi tamamlandıktan sonra conta performansını belirleyecek diğer bir test olan hasar testi gerçekleştirilmiştir. Deney öncesi yapılması gereken hazırlık işlemleri aynıdır. Akışkan kapalı sistem içerisine pompalanmaya başlanır ve basınç artışı basınç ölçerden izlenir. Contanın hasar görmesi ile akışkan sızıntısı başlar ve iç basınçta ani bir düşme görülür. Basınç ölçerde okunan en yüksek basınç değeri not edilir. Bu değer, PU contanın yüksek basınca maruz kalan koşullardaki performansının değerlendirilebileceği önemli bir parametredir. Bir diğer numune deneyini gerçekleştirmek için akışkanın sistemden boşaltılması ve sistemin demontajı gerçekleştirilir ve aynı süreç tekrarlanır.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada contaların performans analizi, zamanla sistemde görülen basınç kaybı değerine ve yüksek basınçlardaki dayanımına bakılarak değerlendirilmiştir. Deney dataları, numune PU dökme contaların performansını etkileyecek en önemli 3 parametrenin değiştirilmesi ile toplanmıştır. Her deney esnasında sadece bir parametre değerinde değişiklik yapılarak numuneler değerlendirildi.

Şekil A.1’de PU dökme contanın, malzeme karışım oranı değerleri değiştirilerek hazırlanan 5 farklı numuneden elde edilen  $\Delta P$  grafiği görülmektedir. Şekil A.1; Şekil A.4, Şekil A.5, Şekil A.6, Şekil A.7 ve Şekil A.8’ de görülen 3’er adet numunelerin zamanla basınç düşüm değerleri ortalamalarının birarada gösterilmiş şeklidir. 10 dakikalık süre içerisinde sistemdeki basınç kaybının en az olması istenmektedir. Değerlere bakınca da “Numune 2” 0,27 barlık basınç kaybı ile iyi bir performans göstermiştir. Şekil A.5’te 3 adet “Numune 2”nin basınç kaybı değerleri görülmektedir. Ortalama değeri olan 0,27 bar, karışım oranı farklı bu 5 numune arasında en iyisidir. Bunun yanında “Numune 5” in performansı 3,43 bar basınç kaybı ile diğerlerinden çok geride kalmıştır.

Şekil A.2’de de bu 5 numunenin hasarlanma basınç değerleri görülmektedir. Akışkanın dolu olduğu sistemin basıncı, pompa yardımı ile contanın yırtılıp kapaktan sızıntı olana dek arttırılmıştır. Yüksek basınçlara en dayanıklı conta “Numune 1”dir. 26,2 bar basınç değerine kadar dayanabilmiştir. En kötü performansı da yine 10,3 bar basınçta hasarlanması ile “Numune 5” göstermiştir. Ek B’de hasarlanan numunelerin resimleri yer almaktadır.

Contaların sıkışabilme oranının çok yüksek olmaması istenir. Bölüm 2.3.6’da yer alan formüle göre hesaplanan bu değerlerde numune sıkılmadan önce ve sonraki conta kalınlıkları arasındaki fark ne kadar artarsa sıkışabilme oranı da artmaktadır. Sıkışabilme oranının yüksek olan contaların temas yüzeyleri arasındaki montaj sonrası kalınlığı ince olur ve bu da sızdırmazlık performansının ve conta ömrünün azalacağını düşündürmektedir. Şekil A.3’te karışım oranı değiştirilerek hazırlanan

numunelerin sıkışabilme oranları görülmektedir. %75,5 sıkışabilme oranı değeri ile “Numune 3” ve %73,2 sıkışabilme oranı değeri ile “Numune 5” tercih edilmemesi tavsiye edilir. %66,2 değeri ile “Numune 1” ve %61,4 değeri ile “Numune 2” nominal değerler olarak alınabilir.

Şekil A.9’da NC robot ile 1 saniyede yüzeye dökülen gram değeri değiştirilerek hazırlanan 4 farklı numuneden elde edilen  $\Delta P$  grafiği görülmektedir. Şekil A.9; Şekil A.12, Şekil A.13 ve Şekil A.14’ de görülen 3’er adet numunelerin zamanla basınç düşüm değerleri ortalamalarının birarada gösterilmiş şeklidir. Gramaj değerinin değişikliği genelde uygulanacak yüzeye göre belirlenir. Çünkü gramajın değişmesi ile conta boyutları değişimi doğru orantılıdır. Ancak uygulanacak yüzeyde birden fazla boyut alternatifleri varsa da bu performans testleri tavsiye edilir. Grafikten görüldüğü üzere 0,35 bar basınç kaybı ile “Numune 1” ve 0,37 bar basınç kaybı ile “Numune 7” contalarının performansları çok iyidir. Şekil A.12’de “Numune 1”in, Şekil A.14’te “Numune 7”nin 3’er numunede görülen basınç kaybı değerleri görülmektedir. “Numune 6” 1,92 bar basınç kaybı ile ve “Numune 8”in de 1,42 bar basınç kaybı ile bu tasarım için uygun conta olmadığı görülmektedir.

Şekil A.10’da bu 4 numunenin hasarlanma basınç değerleri görülmektedir. Yüksek basınçlara karşı dayanımları hemen hemen aynıdır. “Numune 1” 26,2 bar basınç dayanımı ile aralarında en iyisidir. En iyi Numune 1 ile en kötü Numune 7’nin dayanımları arasında 3,3 barlık fark mevcuttur. “Numune 7”nin basınç kaybı az olmasına rağmen, dayanım performansı diğerlerine göre kötü çıktığı için kullanımı tavsiye edilmez.

Şekil A.11’de ise bu 4 numunenin sıkışabilme oranları gösterilmiştir. Bu parametre değeri için %66,2’lik sıkışabilme oranı ile “Numune 1” tavsiye edilir.

PU dökme contanın döküldüğü ortam sıcaklığının değişmesini sac levhanın yüzey sıcaklığını değiştirerek gösterilmiştir ve Şekil A.16’da bu değişken parametre ile hazırlanan 3 farklı numuneden elde edilen  $\Delta P$  grafiği görülmektedir. Şekil A.16; Şekil A.19, Şekil A.20 ve Şekil A.21’ de görülen 3’er adet numunelerin zamanla basınç düşüm değerleri ortalamalarının birarada gösterilmiş şeklidir. Contaların üretim mevsimlerine göre performansları değişebilmektedir. Üretim bölgesinin her mevsim aynı sıcaklıkta olması tavsiye edilir. Alınan ölçümler sonucunda ortam sıcaklığında hazırlanan “Numune 1” 0,35 bar basınç kaybı ile en iyi performansı

göstermiştir. Şekil A.19’da 3 adet “Numune 1”in basınç kaybı değerleri görülmektedir. Ortam sıcaklığının üstünde ve altında hazırlanan numunelerde performans giderek kötüleşmektedir. Ancak sıcaklığın düşmesi ile oluşturulan conta daha kötü bir performans göstermektedir. 0,68 bar basınç kaybı ile “Numune 10” bu durumu açıklamaktadır.

Şekil A.17’de yüzey sıcaklığı farklı bu 3 numune için hasarlanma basınç değerleri görülmektedir. Yüksek basınçlara karşı dayanımı, “Numune 3” ün Şekil 3.5’te gösterilen gözenekli yapısına karşın, birbirlerine yakındır. Ancak “Numune 1” 26,2 bar basınç dayanımı ile aralarında en iyisidir.

Şekil A.18’de yüzey sıcaklığı değişen numunelerin sıkışabilme oranları görülmektedir. Burada da %66,2 sıkışabilme oranı değeri ile “Numune 1”in çalışma sıcaklığı tercih edilmelidir.

Sunulan bu çalışmada tek bir parametrenin değiştirilmesi ile uygun conta performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı ayrı değerlendirilen sonuçlar toparlanacak olursa referans conta olarak gösterilen “Numune 1” in bu sistem için en uygun conta olduğu öngörülmüştür. A ve B sıvı malzemelerinin karışımıyla oluşan PU dökme contanın karışım oranının 5:1 veya 4:1 olması gerektiği ortaya çıkmıştır. Özellikle B malzemesinin artışı, performansı kötüleştirmektedir. NC robotun 1 saniyede yüzeye döktüğü conta gramajı bu sistem için 3,8 gr/s olmalıdır. Bu değer belirlendikten sonra da conta boyutları hakkında daha net bir bilgiye sahip oluruz. Son değişken parametrede ise PU dökme conta imalat sıcaklığının veya uygulanacak yüzey sıcaklığının ortam sıcaklığı (18-23 °C) olması gerektiği görülmüştür. Belirtilen değerler ile hazırlanmış bir contanın sıkışabilme oranının %61,4 - %66,2 değerleri arasında olacağı ortaya çıkmıştır.

Deneyler sonucu ortaya çıkan basınç farkı, maksimum basınç ve sıkışabilme oranı değerleri herbir numune için Tablo 4.1’de özetlenmiştir.

**Tablo 4.1** Numunelerin basınç farkı, maksimum basınç ve sıkışabilme oranı değerleri

| Numune No | Karışım Oranına göre |                    |          | Gramaj Oranına göre |                    |          | Yüzey Sıcaklığına göre |                    |          |
|-----------|----------------------|--------------------|----------|---------------------|--------------------|----------|------------------------|--------------------|----------|
|           | $\Delta P$<br>(Bar)  | $P_{max}$<br>(Bar) | S<br>(%) | $\Delta P$<br>(Bar) | $P_{max}$<br>(Bar) | S<br>(%) | $\Delta P$<br>(Bar)    | $P_{max}$<br>(Bar) | S<br>(%) |
| 1         | 0,35                 | 26,2               | 66,2     | 0,35                | 26,2               | 66,2     | 0,35                   | 26,2               | 66,2     |
| 2         | 0,27                 | 18,7               | 61,4     | ---                 | ---                | ---      | ---                    | ---                | ---      |
| 3         | 0,75                 | 17,3               | 75,5     | ---                 | ---                | ---      | ---                    | ---                | ---      |
| 4         | 0,58                 | 22,3               | 56,2     | ---                 | ---                | ---      | ---                    | ---                | ---      |
| 5         | 3,43                 | 10,3               | 73,1     | ---                 | ---                | ---      | ---                    | ---                | ---      |
| 6         | ---                  | ---                | ---      | 1,92                | 24,5               | 74,4     | ---                    | ---                | ---      |
| 7         | ---                  | ---                | ---      | 0,37                | 22,9               | 76,6     | ---                    | ---                | ---      |
| 8         | ---                  | ---                | ---      | 1,42                | 24,6               | 73,6     | ---                    | ---                | ---      |
| 9         | ---                  | ---                | ---      | ---                 | ---                | ---      | 0,47                   | 25,8               | 78,2     |
| 10        | ---                  | ---                | ---      | ---                 | ---                | ---      | 0,68                   | 25,3               | 79,0     |

Bu çalışma, deney numune sayısı artırılarak daha detaylandırılabilir. Bu çalışmada parametrelerden sadece bir tanesinin değiştirilmesi ile 10 farklı numune hazırlanmıştır. Değişken sayısı artırıldığı takdirde daha fazla farklı deney numunesi elde ederek, daha kesin sonuçlara ulaşılabilir. Ayrıca sisteme bir rezistans ekleyerek kapalı sistem içindeki akışkanın sıcaklığının artırılmasıyla da conta performansı değerlendirilebilir.

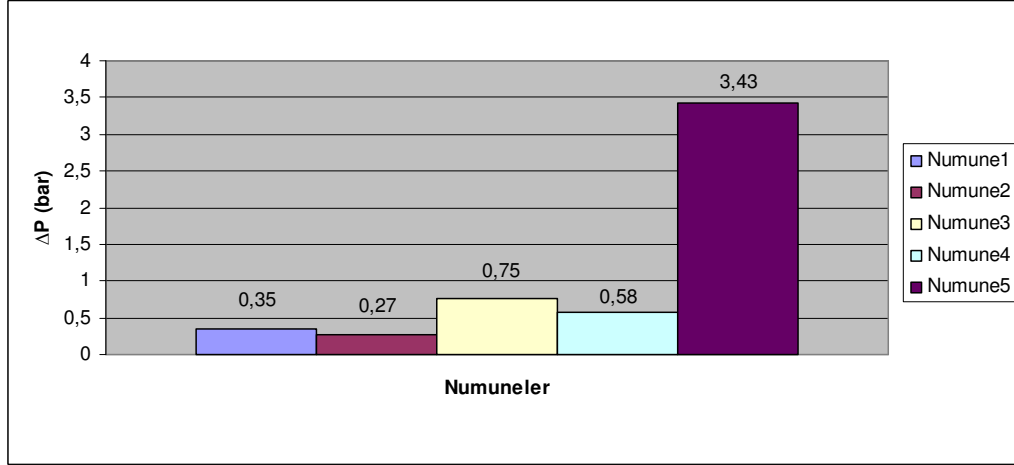
## KAYNAKLAR

- [1] **Beutler, Kevin R.**, 2006. Optimized Sealing of an Axle Cover Pan Gasket Using Robust Engineering Methods, *Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA*, 2006-01-0739.
- [2] **Sixt, Torsten**, 2004. Liquid Injection Sealing: A New Sealing Approach, *Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA*, 2004-32-0067.
- [3] **Widder, Edward**, 2003. Advances toward life estimation in static sealing, *Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA*, 2003-01-0477.
- [4] **Otsuka, M., Okamura, T., Suetsugu, N., Ohta, T. ve Ohta, T.**, 2003. A new concept of static rubber gasket for sealing rough surface, *Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA*, 2003-01-0485.
- [5] **Lehr, Brian C.**, 2000. Select-a-Seal (Trademark), *Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA*, 2000-01-2604.
- [6] **Widder, E. ve Bajner, D.**, 2000. Platen parallelism effects in gasket sealability testing, *Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA*, 2000-01-0686.
- [7] **Sawa, T., Yoneno, M., Kawamura, H. ve Shimizu, A.**, 1989. An improvement of the sealing performance in stamped steel bolted flanged joints by using liquid sealant under internal pressure, *Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA*, 2000-01-0684.
- [8] **Akgül, H.**, 1986. Sızdırmazlık elemanları, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Bursa.
- [9] **Brink, R.V., Czernik, D.E., ve Ph.D Horve, L.A.** 1993. Handbook of fluid sealing, McGraw-Hill Inc., New York, USA

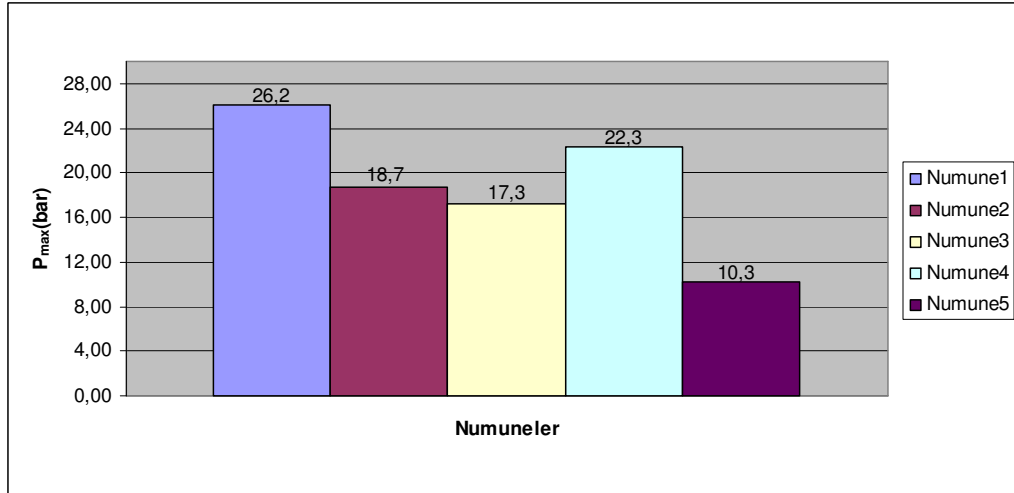
- [10] **Müller, H.K. ve Nau, B.S.**, 1998. Fluid sealing technology : principles and applications, New York, USA.
- [11] **Bickford, J.H.**, 1998. Gaskets and gasketed joints, New York, USA.
- [12] **Warring, R.H.**, 1967. Seals and packings, Trade and Technical Press , Morden, England.
- [13] **Kurcz, T.J.**, 1993. Design parameters for successful flip gasketing, *Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, USA*, 930121
- [14] **Lord, M.A. ve Barnes, M.J.**, 2001. Designing two –component PU systems for FIP gasketing, Dow chemical company, Germany.
- [15] **Dow Co.**, A New Source of Competitive Advantage Sunumu.
- [16] <http://www.materials.co.uk/rubber.htm>, 18.02.2008. 11:23.
- [17] [http://www.shielding-solutions.com/pages/products/form\\_in\\_place.shtml](http://www.shielding-solutions.com/pages/products/form_in_place.shtml), 05.03.2008. 12:32.

## EK A

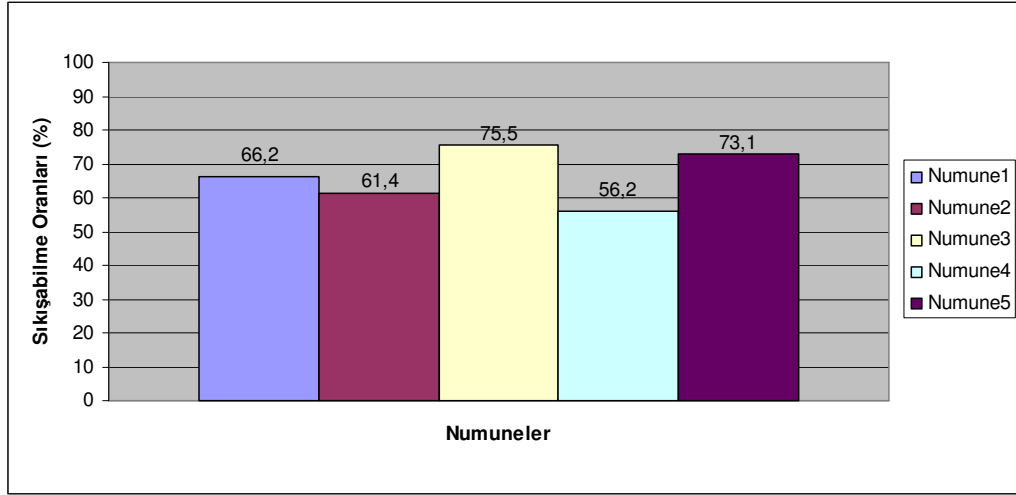
### Deney Sonuçları (Karışım Oranına Göre Hazırlanan Numuneler İçin)



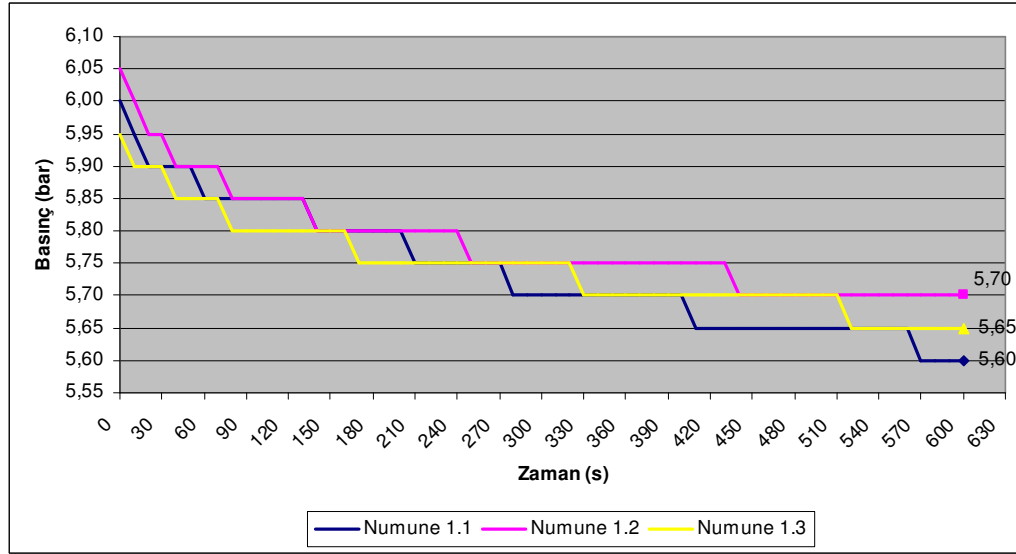
**Şekil A.1** Karışım oranı değiştirilerek hazırlanan numunelerin kullanıldığı sistemin 10 dakika içerisindeki basınç farklarının ortalama değerleri



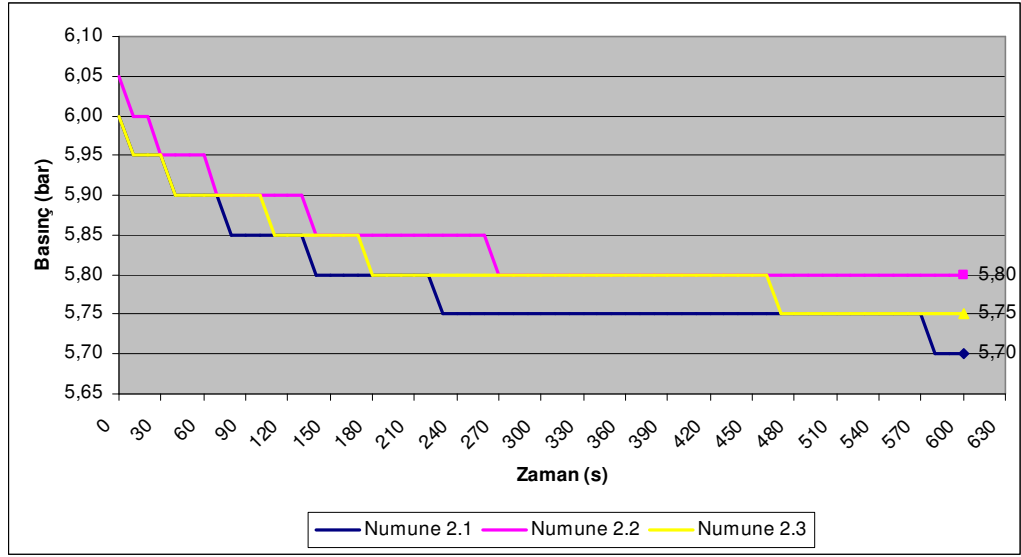
**Şekil A.2** Karışım oranı değiştirilerek hazırlanan numunelerin hasar görme basınç değerleri



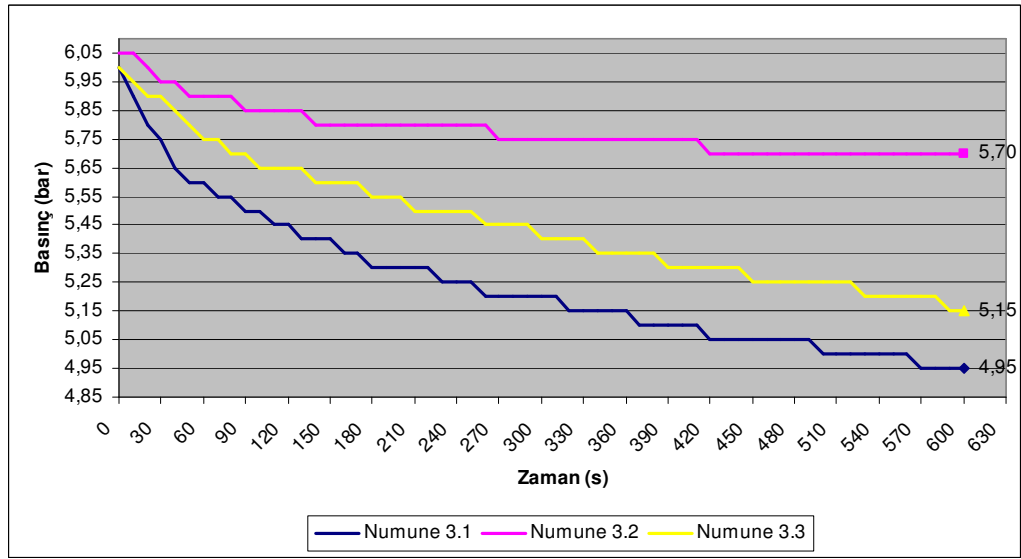
**Şekil A.3** Karışım oranı değiştirilerek hazırlanan numunelerin sıkışılma oranları



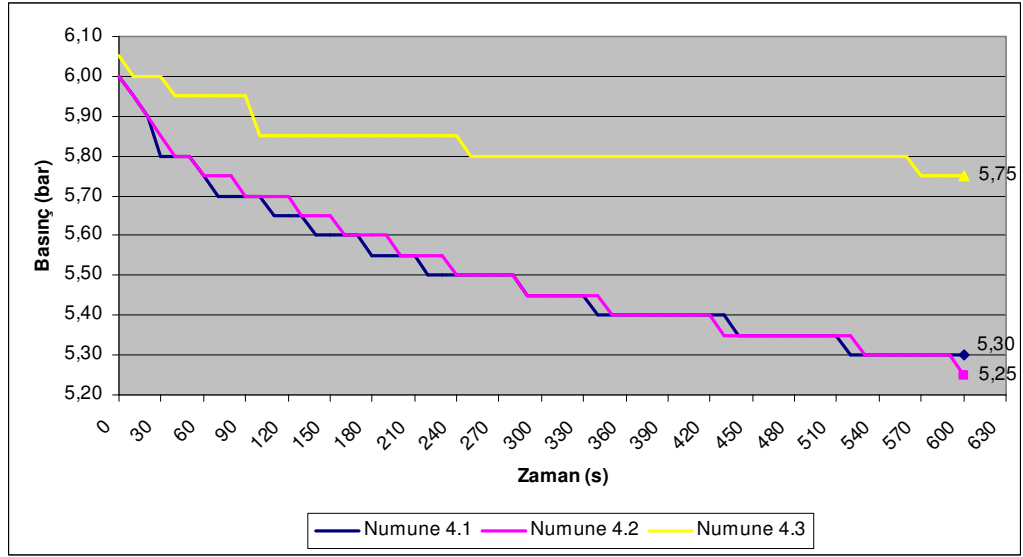
**Şekil A.4** Karışım oranı 4:1 tüm numunelerin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi



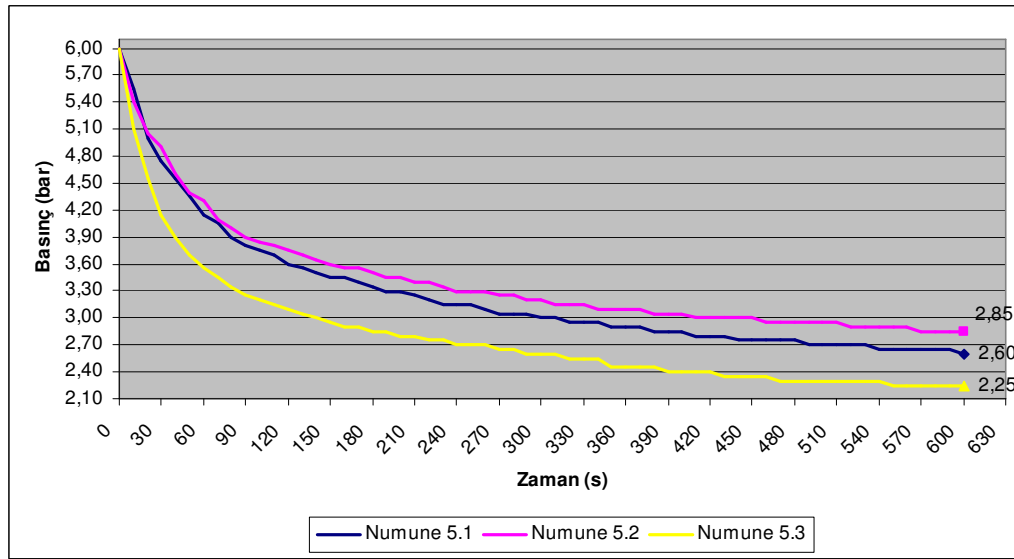
**Şekil A.5** Karışım oranı 5:1 olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi



**Şekil A.6** Karışım oranı 4:1,5 olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi

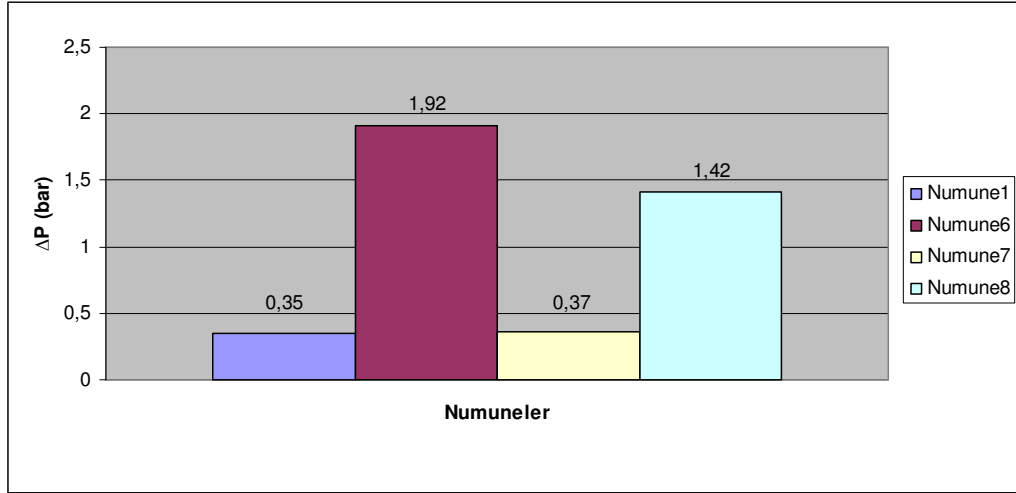


Şekil A.7 Karışım oranı 6:1 olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi

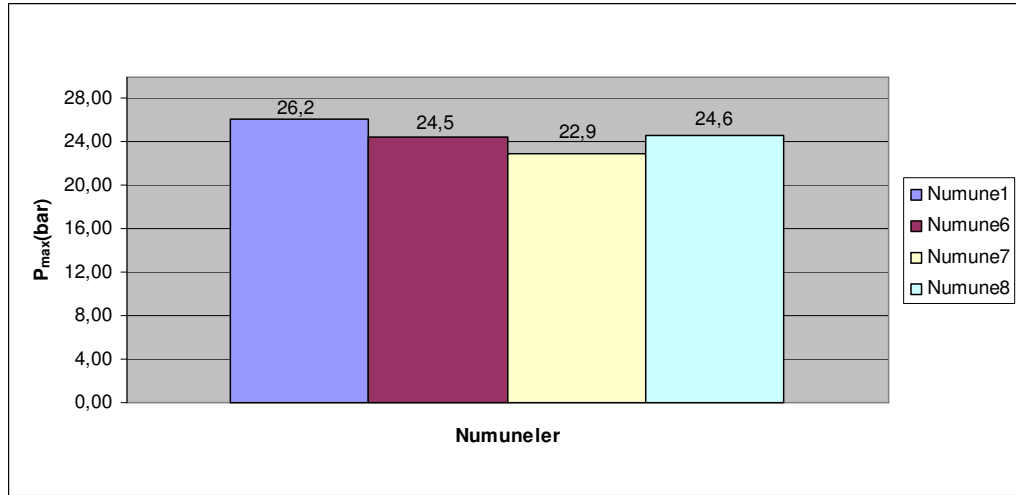


Şekil A.8 Karışım oranı 3:1,5 olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi

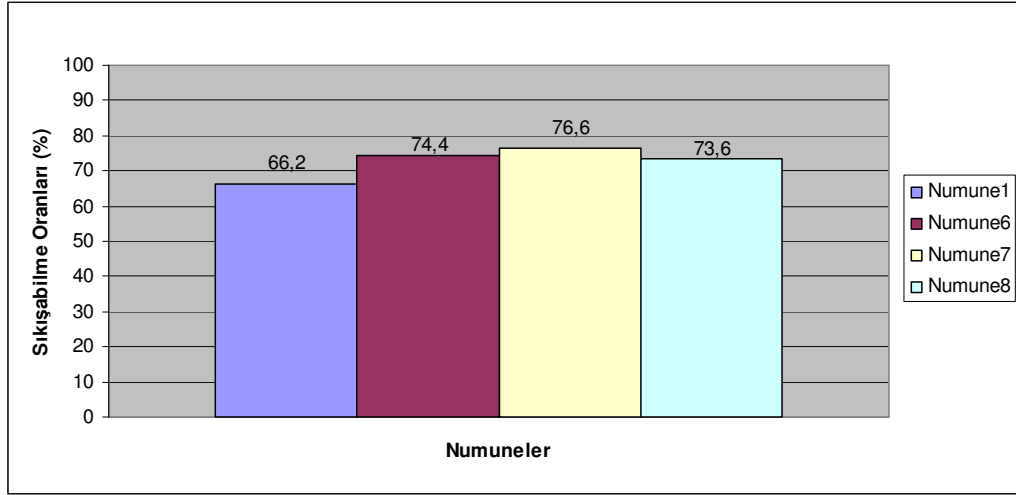
### Deney Sonuçları (Gramaj Oranı Değiştirilerek Hazırlanan Numuneler İçin)



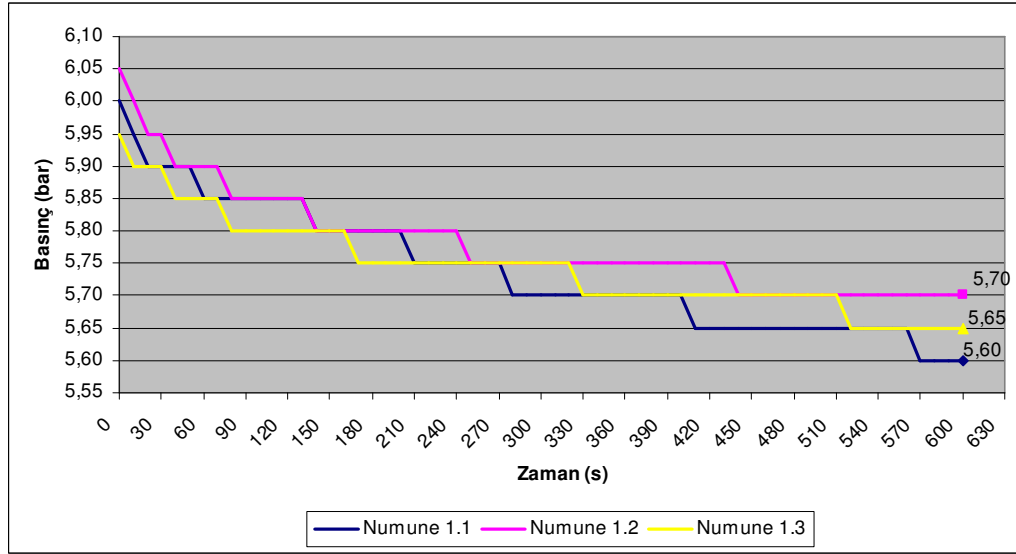
**Şekil A.9** Gramaj oranı değiştirilerek hazırlanan numunelerin uygulandığı sistemin 10 dakika içerisindeki basınç farkı grafiği



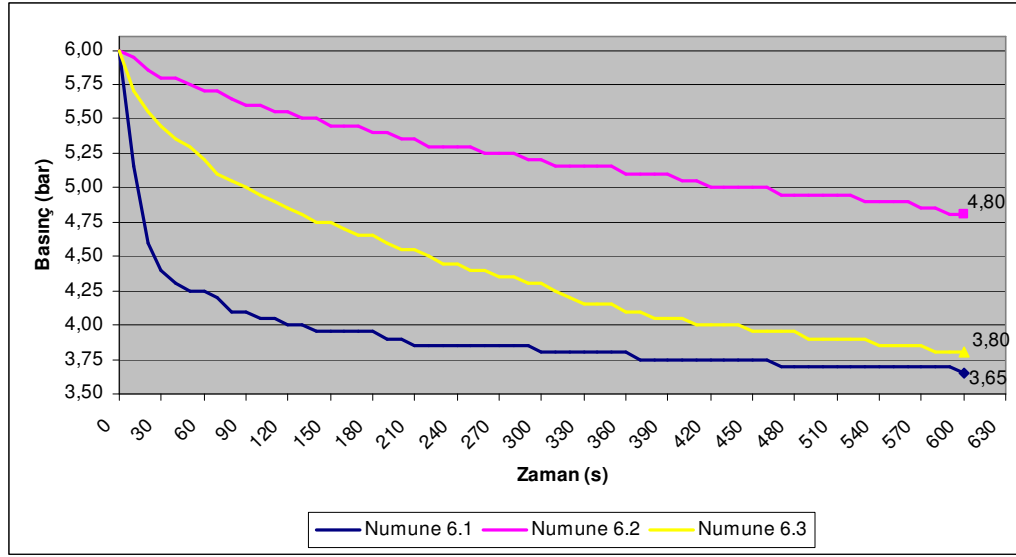
**Şekil A.10** Gramaj oranı değiştirilerek hazırlanan numunelerin hasar görme basınç değeri grafiği



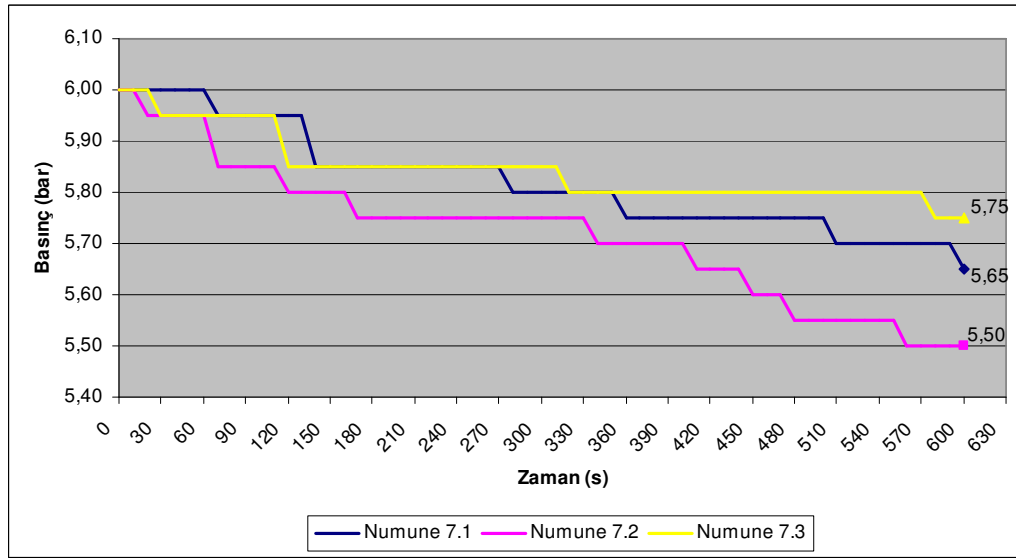
**Şekil A.11** Gramaj oranı değiştirilerek hazırlanan numunelerin sıkışılma oranları



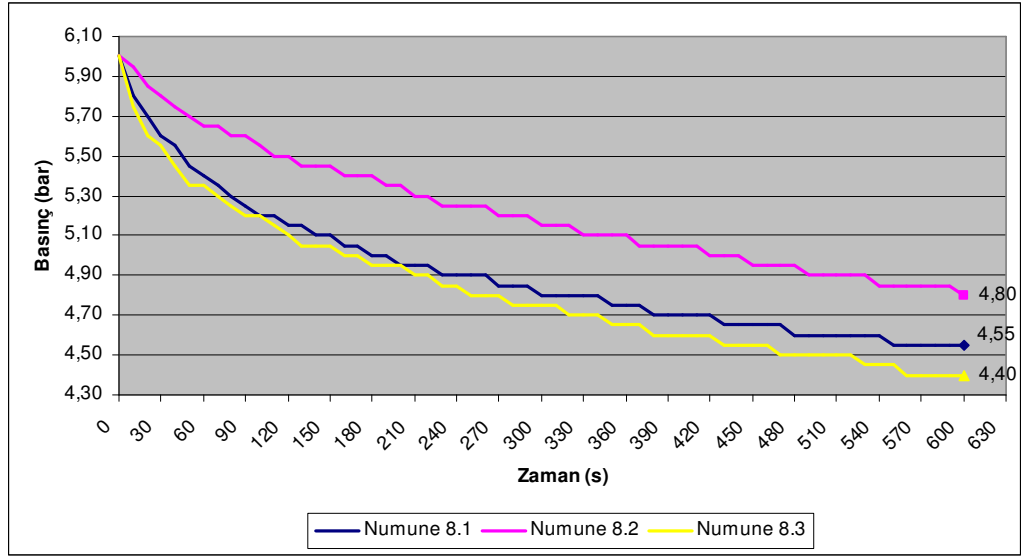
**Şekil A.12** Gramaj oranı 3,8 g/s olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi



Şekil A.13 Gramaj oranı 5 g/s olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi

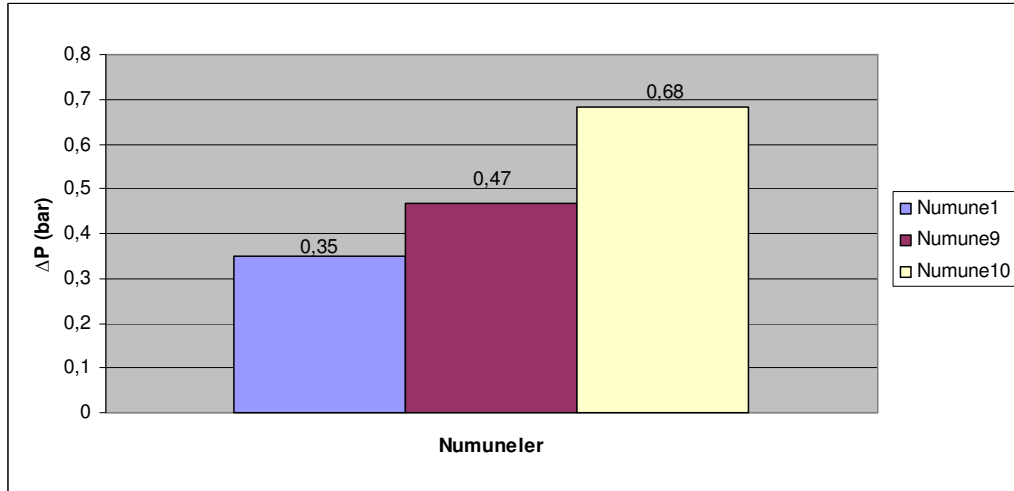


Şekil A.14 Gramaj oranı 1,9 g/s olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi

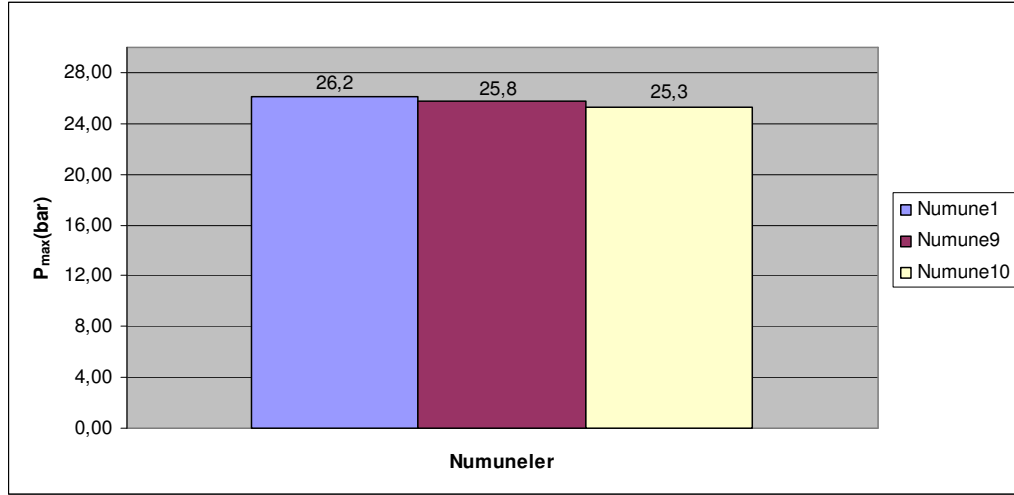


Şekil A.15 Gramaj oranı 2,7 g/s olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi

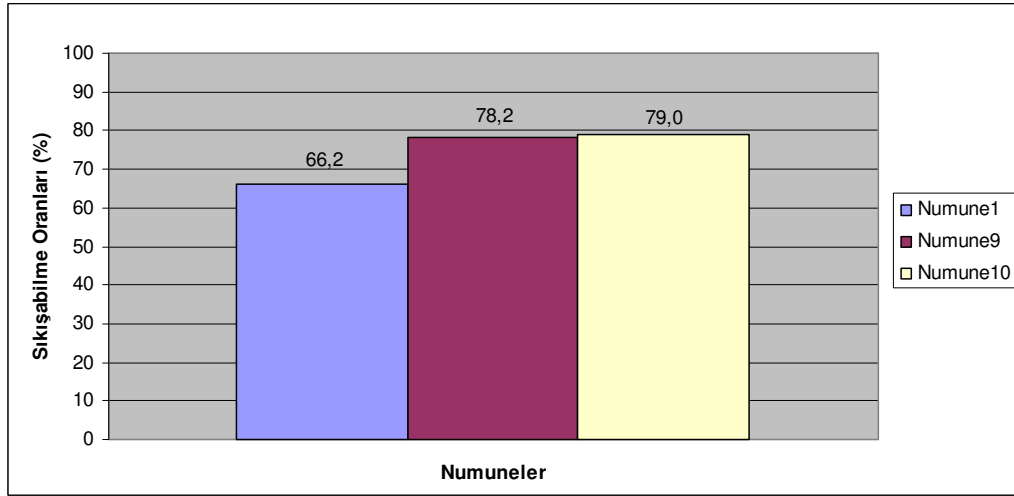
#### Deney Sonuçları (Yüzey Sıcaklığı Değiştirilerek Hazırlanan Numuneler İçin)



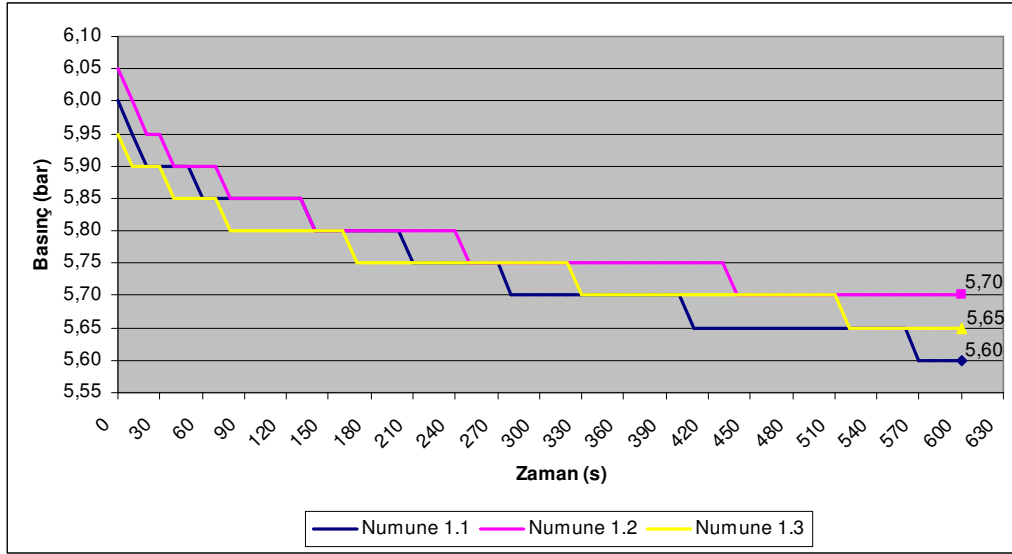
Şekil A.16 Conta dökülen yüzey sıcaklığının değiştirilmesi ile hazırlanan numunelerin uygulandığı sistemin 10 dakika içerisindeki basınç farkı grafiği



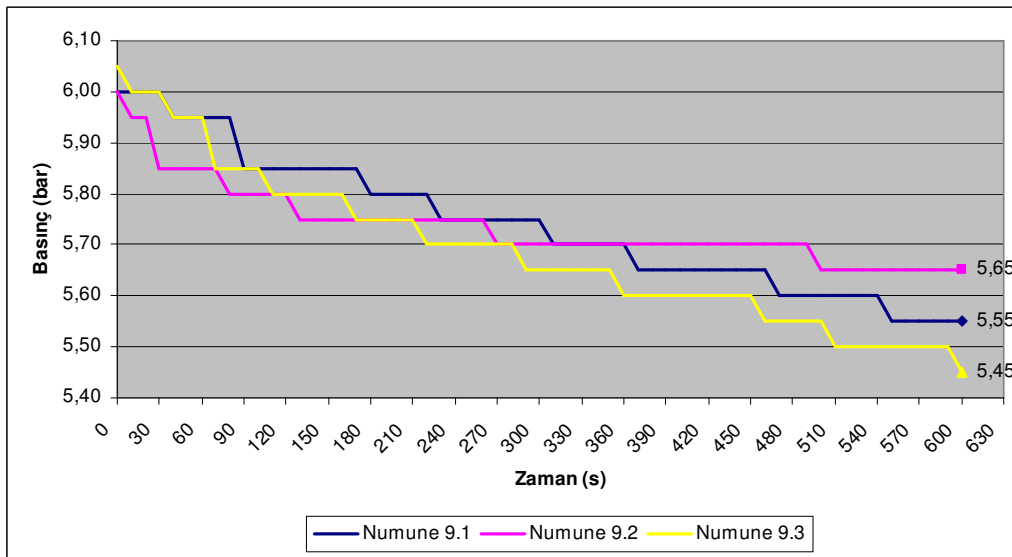
**Şekil A.17** Conta dökülen yüzey sıcaklığının değiştirilmesi ile hazırlanan numunelerin hasar görme basınç değeri grafiği



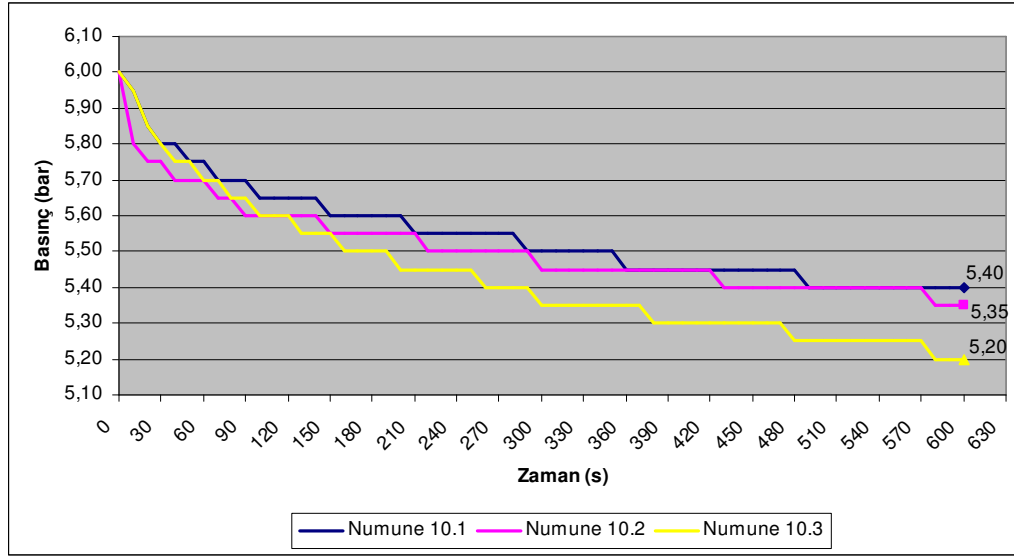
**Şekil A.18** Conta dökülen yüzey sıcaklığının değiştirilmesi ile hazırlanan numunelerin sıkışılma oranları



**Şekil A.19** Conta dökülen yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığı olan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi



**Şekil A.20** Conta dökülen yüzey sıcaklığının arttırılması ile hazırlanan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi



**Şekil A.21** Conta dökülen yüzey sıcaklığının azaltılması ile hazırlanan 3 numunenin uygulandığı sistem basıncının zamana bağlı değişimi

## **EK B**

### **Numune Kesit Görünümleri**



**Şekil B.1** Numune 1 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görüşleri



**Şekil B.2** Numune 2 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görüşleri



**Şekil B.3** Numune 3 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görüşleri



**Şekil B.4** Numune 4 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri



**Şekil B.5** Numune 5 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri



**Şekil B.6** Numune 6 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri



**Şekil B.7** Numune 7 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri



**Şekil B.8** Numune 8 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri



**Şekil B.9** Numune 9 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri



**Şekil B.10** Numune 10 iç ve dış yüzeylerini gösteren kesit görünüşleri

## Hasar Testi Sonrası Hasarlanan Numuneler



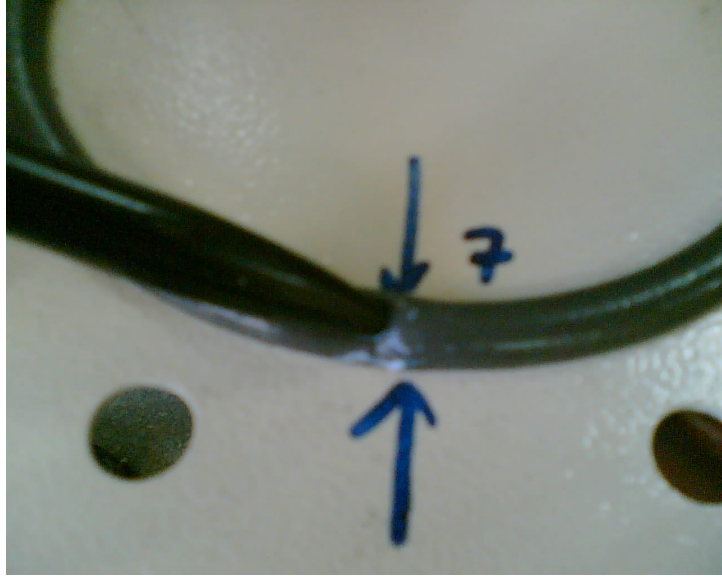
**Şekil B.11** Hasar testi sonrası Numune 1’de görülen conta yırtılmaları



**Şekil B.12** Hasar testi sonrası Numune 4’te görülen conta yırtılmaları



**Şekil B.13** Hasar testi sonrası Numune 6’da görülen conta yırtılmaları



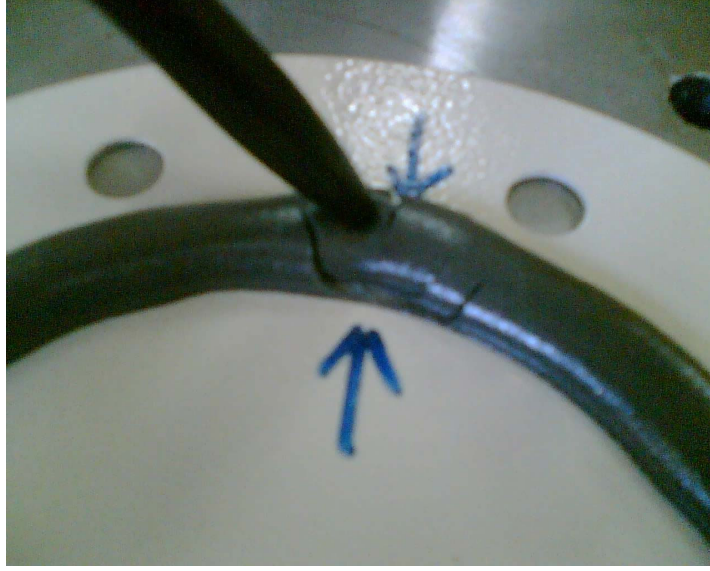
**Şekil B.14** Hasar testi sonrası Numune 7’de görülen conta yırtılmaları



**Şekil B.15** Hasar testi sonrası Numune 8’de görülen conta yırtılmaları



**Şekil B.16** Hasar testi sonrası Numune 9’da görülen conta yırtılmaları



**Şekil B.17** Hasar testi sonrası Numune 10'da görülen conta yırtılmaları

## EK C

**Tablo C.1** Conta malzemelerinin fiziksel özellikleri

| Malzemelerin fiziksel özellikleri<br>A : Mükemmel D : Orta<br>B : Çok iyi E : Zayıf<br>C : İyi | Tabii Kauçuk | Butadien Kauçuk | Sitren Butadien Kauçuk | Nitril Butadien Kauçuk | Kloropren Kauçuk | Butil Kauçuk | Etilen Propilen Kauçuk | Polisülfid | Poliakrilik | Silikon   | Fluoroelastomer (Fluorokarbon) | Fluorosilikon | Perfluore Elastomer | Poliuretan |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------|------------------------|------------------------|------------------|--------------|------------------------|------------|-------------|-----------|--------------------------------|---------------|---------------------|------------|
| ASTM D 1418-72 A                                                                               | NR           | BR              | SBR                    | NBR                    | CR               | IIR          | EPDM                   | T          | ACM         | VMQ       | FKM                            | FVMQ          | FFKM                | EU-AU      |
| ASTM D 2000-SAEJ200                                                                            | AA           | AA-BA           | AA                     | F-BG BK-C              | BC-BE            | AA-BA        | CA                     | AK-BK      | DF-DH       | C-FE FK-G | HK                             | FK            |                     | BG         |
| Sertlik sınırı ŞorA                                                                            | 30-90        | 45-85           | 40-90                  | 40-95                  | 40-90            | 20-80        | 40-80                  | 50-80      | 40-90       | 10-90     | 55-95                          | 40-90         | 65-95               | 60-80D     |
| Özgül ağırlık g/cm <sup>3</sup>                                                                | 0,93         | 0,93            | 0,94                   | 1,0                    | 1,23             | 0,92         | 0,86                   | 1,25-1,34  | 1,05-1,15   | 0,98      | 1,85-2                         | 1,35-1,65     | 2,01                | 1,06       |
| Maksimum sıcaklık °C                                                                           | 85           | 120             | 90                     | 120                    | 95               | 120          | 145                    | 85         | 160         | 200       | 205                            | 200           | 290                 | 85         |
| Minimum sıcaklık °C                                                                            | -50          | -60             | -40                    | -40                    | -40              | -40          | -40                    | -50        | -20         | -60       | -30                            | -60           | -35                 | -20        |
| Kopma direnci saf malzeme MPa                                                                  | 21           | 7               | 7                      | 7                      | 21               | 10           | 7                      | 5          | <7          | <10       | >12                            | <6            |                     | >28        |
| Dolgulu malzeme MPa                                                                            | 21           | 20              | 14                     | 14                     | 21               | 14           | 21                     | 9          | >14         | >10       | <14                            | >6            | >14                 |            |
| Isıl genleşme: 10 <sup>-6</sup> mm/mm oC                                                       | 130          | 130             | 130                    | 115                    | 135              | 95           | 165                    |            | 100         | 185       | 150                            |               | 230                 |            |
| Dinamik sürtünme katsayısı                                                                     |              |                 | 1,7                    | 0,7-1,2                | 0,9              | 0,9          | 0,8                    |            |             | 0,6-1,1   | 0,5                            | 0,5-0,8       |                     | 0,5        |
| Sürekli kalıcılık                                                                              | C-B          | C-B             | C-B                    | C-B                    | D-E              | D            | C                      | E          | C           | B         | C                              | C-B           | D                   | D-C        |
| Elastik özelliği                                                                               | A            | A               | C                      | C                      | B                | D            | C                      | A          | B           | B-A       | D                              | B-A           | C                   | C          |
| Düşük ısıda elastik özelliği                                                                   | A            | B               | C                      | C                      | C                | C            | C                      | B          | D           | B-A       | D                              | B-A           | C                   | E          |
| izolasyon özelliği                                                                             | A            | A               | B                      | D                      | D                | B            | B-A                    | E          | E           | A         | D-C                            | A             | A                   | D-C        |
| Alev direnci                                                                                   | E            | E               | E                      | E                      | B                | E            | D-C                    | D          | E           | D         | C                              | D             | A                   | C          |
| Ozon ve açık hava direnci                                                                      | E-D          | D               | E-D                    | E-D                    | B                | B            | A                      | A          | A           | B         | A                              | A             | A                   | A          |
| Gaz geçirgenliği direnci                                                                       | D-C          | D-C             | D-C                    | D-C                    | B                | A            | D                      | B          | D           | E         | A                              | E-D           | D                   | B          |
| Yırtılma direnci                                                                               | C-B          | D-C             | D-C                    | D                      | C                | C            | C                      | E          | D-C         | E         | D                              | D             | D                   | B-A        |
| Aşınma direnci                                                                                 | B            | A               | A                      | C-B                    | B                | C            | A                      | E          | D-C         | E-D       | C                              | E-D           | C                   | A          |
| Metallere yapışma                                                                              | B-A          | B-A             | B-A                    | B-A                    | B-A              | D            | D-C                    | B          | C           | D         | D-C                            | D-C           | D                   | A          |
| Tekstile yapışma                                                                               | B-A          | B-A             | C-B                    | C                      | B-A              | D            | D-C                    | B-A        | C           | D         | D-C                            | D-C           | C                   | A          |
| Fiyat indeksi                                                                                  | 1            | 1               | 0,85                   | 1,5                    | 2                | 1,7          | 1,5                    |            | 4,7         | 8,4       | 30                             | 70            | 400                 | 6          |

**Tablo C.2** Conta malzemelerinin kimyasal dirençleri

| Malzemelerin kimyasal dirençleri<br>A : Mükemmel D : Orta<br>B : Çok iyi E : Zayıf<br>C : İyi | Tabii Kauçuk NR | Butadien Kauçuk BR | Stiren Butadien Kauçuk SBR | Nitril Butadien Kauçuk NBR | Kloropren Kauçuk CR | Butil Kauçuk IIR | Etilen Propilen Kauçuk EPDM | Polisülfid T | Poliakrilik ACM | Silikon VMQ | Fluoroelastomer (Fluorokarbon) FKM | Fluorosilikon FVMQ | Perfluore elastomer FFKM | Poliuretan EU-AU | Etilenakrilik | Epikloridin ECO | Polietilen Klore | Polietilen Klorosulfine | Etilen Vinil Asetat | Polinorbornen kauçuk | Polyester elastomer | Poli tetrafluoro etilen | Deri | Amyant (Asbest) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|------------------|-----------------------------|--------------|-----------------|-------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------|------------------|---------------|-----------------|------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|------|-----------------|
| Su (80 °C'nin altında)                                                                        | B               | B                  | B                          | B                          | C                   | A                | A                           | A            | E               | A           | A                                  | A                  | A                        | D                | A             | B               | A                | A                       | A                   | A                    | A                   | A                       | E    | E               |
| Su (80 °C'nin üzerinde)                                                                       | E               | D                  | E                          | E                          | E                   | C                | A                           |              | E               | B           | C                                  | B                  | A                        | E                | A             | D               | C                | A                       | B                   |                      | B                   | A                       | E    | E               |
| Seyreltik asitler                                                                             | D               | D                  | D                          | D                          | C                   | A                | B                           | B            | D               | D           | A                                  | D                  | A                        | D                | C             | D               | B                | A                       | D                   | C                    | D                   | A                       | E    | A               |
| Hidroklorik asit                                                                              | E               | E                  | E                          | E                          | E                   | B                | D                           | E            | E               | E           | A                                  | E                  | A                        | E                | E             | E               | C                | C                       | E                   | E                    | E                   | A                       | E    | B               |
| Sülfirik asit                                                                                 | E               | E                  | E                          | E                          | E                   | D                | A                           | E            | E               | E           | A                                  | E                  | A                        | E                | E             | E               | E                | C                       | E                   | E                    | E                   | A                       | E    | E               |
| Nitrik asit                                                                                   | E               | E                  | E                          | E                          | E                   | D                | A                           | E            | E               | E           | A                                  | E                  | A                        | E                | E             | E               | E                | C                       | E                   | E                    | E                   | A                       | E    | E               |
| Asetik asit                                                                                   | E               | E                  | D                          | E                          | C                   | D                | A                           | C            | E               | A           | E                                  | C                  | A                        | E                | E             | E               | C                | B                       | D                   | E                    | C                   | A                       | E    | E               |
| Alkali karışımlar (baz)                                                                       | C               | C                  | C                          | C                          | C                   | A                | B                           | B            | E               | C           | C                                  | D                  | A                        | E                | E             | C               |                  | C                       | C                   | E                    | E                   | B                       | E    | D               |
| Amonyak                                                                                       | A               | B                  | A                          | B                          | A                   | A                | A                           | A            | E               | E           | C                                  | E                  | A                        | C                | A             |                 | B                | D                       |                     | E                    | B                   | A                       | D    | B               |
| Alifatik sınıfı                                                                               | E               | E                  | E                          | B                          | C                   | E                | E                           | A            | B               | D           | A                                  | A                  | A                        | B                | C             | B               | C                | D                       |                     | D                    | A                   | A                       | E    | A               |
| Aromatik sınıfı                                                                               | E               | E                  | E                          | C                          | E                   | D                | D                           | B            | D               | E           | A                                  | A                  | A                        | C                | D             | C               | D                | D                       |                     | E                    | C                   | A                       | E    | A               |
| Ketonlar                                                                                      | D               | D                  | D                          | E                          | E                   | B                | C                           | C            | E               | C           | E                                  | E                  | A                        | E                | E             | E               | C                | E                       | E                   | E                    | D-C                 | A                       | E    | A               |
| Klorlu çözücüler                                                                              | E               | E                  | E                          | D                          | D                   | C                | D                           | D            | D               | E           | A                                  | D                  | A                        | E                | E             | D               | D                | E                       | E                   | E                    |                     | A                       | E    | A               |
| Alkol                                                                                         | C               | C                  | C                          | D                          | B                   | A                | A                           | A            | E               | A           | B                                  | B                  | A                        | D                | C             | C               | B                | A                       | D                   |                      | A                   | A                       | E    | A               |
| Ester                                                                                         | D               | D                  | D                          | D                          | D                   | B                |                             | C            | E               | D           | E                                  | C                  | A                        | D                |               | E               |                  | E                       | E                   |                      |                     | A                       | E    | A               |
| Benzin/Kerozin                                                                                | E               | E                  | E                          | B                          | D                   | E                | E                           | B            | C               | D           | A                                  | A                  | A                        | C                | D             | B               | B                | D                       | E                   | E                    | A                   | A                       | E    | A               |
| Yüksek oktanlı benzin                                                                         | E               | E                  | E                          | C                          | E                   | E                | E                           | E            | C               | E           | A                                  | A                  | A                        | B                | D             | B               | C                | E                       | E                   | E                    | B                   | A                       | E    | A               |
| Mazot/Fuel oil                                                                                | E               | E                  | E                          | C                          | D                   | E                | E                           |              | A               | D           | A                                  | A                  | A                        | B                | D             | B               | A                | D                       | E                   | E                    | A                   | A                       | E    | A               |
| Mineral esaslı                                                                                | E               | E                  | E                          | B                          | C                   | E                | E                           | A            | B               | E           | A                                  | A                  | A                        | B                | A             | A               | A                | B                       | E                   | E                    |                     | A                       | E    | A               |
| Ester esaslı (Alev almaz)                                                                     | E               |                    | E                          | E                          | D                   | D                | B                           | C            | E               | C           | D                                  | B                  | A                        | E                |               |                 |                  | D                       | E                   | E                    |                     | A                       | E    | A               |
| Silikon esaslı                                                                                | D               |                    | D                          | C                          | B                   | E                | C                           | D            | E               | D           | A                                  | D                  | A                        | E                |               | A               |                  | D                       | E                   | E                    | A                   | A                       | E    | A               |
| Su esaslı                                                                                     | C               |                    | C                          | A                          | A                   | C                | A                           | A            |                 | B           | A                                  | B                  | A                        | D                |               |                 |                  | B                       |                     | E                    |                     | A                       | E    | A               |
| Klorlu                                                                                        | E               |                    | E                          | D                          | E                   | E                | E                           | D            | D               | E           | A                                  | A                  | A                        | D                | E             | E               |                  | D                       | E                   | E                    |                     | A                       | E    | A               |
| Fren yağları                                                                                  | A               | B                  | A                          | E                          | C                   | C                | A                           |              | E               | C           | E                                  | E                  | A                        | E                | E             | E               |                  |                         | C                   | E                    |                     | A                       | E    | A               |
| Freon 12                                                                                      | E               | D                  | E                          | B                          | A                   | E                | E                           |              | E               | E           | C                                  |                    | E                        | A                | C             | A               |                  | A                       | E                   | E                    | A                   | A                       |      | A               |
| Butan gazı                                                                                    | E               | E                  | E                          | B                          | B                   | E                | D                           |              | B               | D           | A                                  |                    | A                        | B                | C             | A               | A                | A                       |                     |                      | A                   | A                       |      | A               |
| Hava/Oksijen                                                                                  | E               | E                  | E                          | C                          | B                   | A                | A                           |              | B               | A           | A                                  | A                  | A                        | B                | A             | A               | A                | A                       | A                   | C                    | A                   | A                       | B    | A               |

## EK D

### Daire sac levhaya dökülen contanın NC robotta hazırlanan G-kodları

(DAIRE)

%L001

( )

R1 =226

(<X>-BOY)

R2 =226

(<Y>-EN)

R3 =72.5

(RADIUS)

R10=R1/2-R3

(+X,+Y KENAR MESAFESİ)

R4 =9300

(HIZ)

R5 =9300

(RADIUS HIZI)

R6 =30

(BORU BOYU)

R7 =12

(KAFA BOSLUGU)

R41=209.50

(TABLA-1 DERINLIGI)

R42=349.0

(2 TABLA ARASINDAKI DERINLIK)

R40=R41

(PROGRAM DEGISKENI)

R50=20

(BASLANGIC)

G0 Z0

X-R10-R3-R50-25 Y-R10

GO

\$IF EXW99==2

R40=R41+R42

\$ELSE

R40=R41

\$ENDIF

G0 Z-R40+R6+R7+80

G1 Z-R40+R6+R7

FR4

G1 X-R10-R3-R50

FR4

G4 0.00

M40

G1 X-R10-R3

FR4

G2 X-R10

Y-R10-R3

R=R3

FR5

G2 X-R10-R3

Y-R2+R10

R=R3

FR5

G2 X-R1+R10

Y-R10-R3

R=R3

FR5

G2 X-125.5895

Y-41.6014

R=R3

FR5

M41

G2 X-R10-R3

Y-R10

R=R3

FR5

G2 X-R10

Y-R10-R3

R=R3

FR5

|                   |                 |     |
|-------------------|-----------------|-----|
| G1 Y-R10-R3-20    | Z-R40+R6+R7+0.4 | FR4 |
| G1 Z-R40+R6+R7+80 |                 | FR4 |
| G0 Z0             |                 |     |

M30

%100

\$IF EXW99==1

|              |         |                |
|--------------|---------|----------------|
| G92 X-667.73 | Y-27.83 | Z0 (UST TABLA) |
|--------------|---------|----------------|

LL001

M55

\$ELSE EXW99==2

|              |         |                |
|--------------|---------|----------------|
| G92 X-671.41 | Y-28.92 | Z0 (ALT TABLA) |
|--------------|---------|----------------|

LL010

M55

\$ENDIF

M56

M02

## ÖZGEÇMİŞ

**Ahmet Egemen Erbil**, 1982 yılında Burdur/Türkiye’de doğdu. İlköğretimini Burdur Şeker İlkokulu’nda, ortaöğretimini Burdur Anadolu Lisesi’nde tamamladıktan sonra 1997-2000 yılları arasında öğrenimine Mersin Fen Lisesi’nde devam etti. Mezun olduğu yıl İ.T.Ü. Makine Mühendisliği bölümünü kazanarak lisans eğitimine başladı. 2005 yılında mezun olduktan hemen sonra İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Anabilim dalı Konstrüksiyon Programında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Erbil, 2004-2005 yıllarında 6 ay ARÇELİK A.Ş.’de lisans bitirme tezi çalışması için asistan mühendis olarak çalıştıktan sonra Temmuz 2005-Mayıs 2007 süre zarfında da TEMP A PANO A.Ş.’de Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmıştır. Mayıs 2007’den bu yana FORD OTOSAN A.Ş. ‘nin Ürün geliştirme departmanında Ürün Tasarım Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.