



**T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LAPAROSKOPİK CERRAHİDE HASTA GÜVENLİĞİNİN  
ARTTIRILMASI İÇİN YENİ TİP TUTUCU GELİŞTİRİLMESİ**

**ŞENOL ERTÜRK**

**DOKTORA TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. FEHMİ ERZİNCANLI**

**DÜZCE, 2019**

**T.C.**  
**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LAPAROSKOPİK CERRAHİDE HASTA GÜVENLİĞİNİN**  
**ARTTIRILMASI İÇİN YENİ TİP TUTUCU GELİŞTİRİLMESİ**

Şenol Ertürk tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Fehmi ERZİNCANLI

Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Fehmi ERZİNCANLI

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Hasan ÖKTEM

Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Oğuz KAYABAŞI

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Hamit SARUHAN

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Yusuf ÇAY

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 16/07/2019

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

16 Temmuz 2019

Şenol Ertürk

## TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Fehmi Erzincanlı'ya en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle katkı sağlayan Doç. Dr. Hasan Öktem, Dr. Öğr. Üyesi Oğuz Kayabaşı, araştırma görevlileri Dr. Mert Kılınçel, Dr. Fikret Polat, Yakup Okan Alpay'a teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen babam, annem ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi 2018-06-05-675 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

**16 Temmuz 2019**

**Şenol Ertürk**

## İÇİNDEKİLER

|                                                | <u>Sayfa No</u> |
|------------------------------------------------|-----------------|
| ŞEKİL LİSTESİ.....                             | viii            |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                          | xi              |
| KISALTMALAR.....                               | xii             |
| SİMGELER .....                                 | xiii            |
| ÖZET .....                                     | xiv             |
| ABSTRACT.....                                  | xv              |
| EXTENDED ABSTRACT.....                         | xvi             |
| 1. GİRİŞ.....                                  | 1               |
| 2. LAPAROSKOPİK CERRAHİ.....                   | 3               |
| 2.1. GİRİŞ.....                                | 3               |
| 2.2. MEVCUT LAPAROSKOPİK TUTUCULAR .....       | 5               |
| 2.3. TUTUCU ÇENE PROFİLLERİ.....               | 5               |
| 2.4. CERRAHİ KAVRAMA ANALİZİ .....             | 6               |
| 2.5. TUTUCU-DOKU ETKİLEŞİMİ.....               | 8               |
| 2.6. HASTA GÜVENLİĞİ .....                     | 9               |
| 2.7. ARAŞTIRMA KONUSU .....                    | 9               |
| 2.8. PROBLEM TANIMI .....                      | 10              |
| 3. LİTERATÜR TARAMASI.....                     | 12              |
| 3.1. SERT NESNELERİN TUTULMASI .....           | 12              |
| 3.2. BERNOULLI TUTUCU PATENTLERİ.....          | 20              |
| 4. TEORİK ANALİZ.....                          | 24              |
| 4.1. GİRİŞ.....                                | 24              |
| 4.2. RADYAL HAVA AKIŞI.....                    | 24              |
| 4.3. RADYAL AKIŞIN TEORİK ANALİZİ .....        | 25              |
| 4.3.1. Tutucu Yüzey Üzerindeki Basınç .....    | 26              |
| 4.4. BERNOULLI PRENSİBİ.....                   | 28              |
| 4.4.1. Nesne Üzerine Etki Eden Kuvvetler ..... | 29              |
| 5. TUTUCULAR.....                              | 32              |
| 5.1. ESNEK NESNELERİN TUTULMASI.....           | 33              |
| 5.2. TUTMA PRENSİPLERİ.....                    | 34              |
| 5.2.1. Mekanik Tutucu .....                    | 35              |
| 5.2.2. İğne Tutucu.....                        | 35              |
| 5.2.3. Elektromanyetik Tutucu .....            | 36              |

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2.4. Elektrostatik Tutucu .....                                                | 37        |
| 5.2.5. Kriyojenik Tutucu.....                                                    | 37        |
| 5.2.6. Coanda Etkili Ejektör Tutucu .....                                        | 38        |
| 5.2.7. Bernoulli Tutucu .....                                                    | 39        |
| 5.2.8. Girdaplı Tutucu.....                                                      | 39        |
| 5.2.9. Yumuşak Parmaklı Tutucu .....                                             | 40        |
| 5.2.10. Vakum Tutucu.....                                                        | 41        |
| 5.2.11. Değerlendirme .....                                                      | 43        |
| <b>6. DENEYSEL ÇALIŞMA.....</b>                                                  | <b>44</b> |
| 6.1. TEMASSIZ TUTUCU TASARIMI VE ÜRETİMİ.....                                    | 46        |
| 6.1.1. Erer 1 Tutucu .....                                                       | 47        |
| 6.1.2. Erer 2 Tutucu .....                                                       | 50        |
| 6.1.3. Erer 3 Tutucu .....                                                       | 51        |
| 6.1.4. Erer 4 Tutucu .....                                                       | 52        |
| 6.1.5. Erer 5 Tutucu .....                                                       | 53        |
| 6.1.6. Erer Bağlantı Sistemi.....                                                | 54        |
| 6.1.7. Debimetre.....                                                            | 57        |
| 6.1.8. Akış Kontrol Valfi.....                                                   | 57        |
| 6.1.9. Selenoid Valf .....                                                       | 58        |
| 6.1.10. Yardımcı Ekipmanlar .....                                                | 58        |
| 6.1.11. Kaldırmak İçin Kullanılan Hayvansal Dokular.....                         | 58        |
| 6.1.12. Deney Seti.....                                                          | 59        |
| <b>7. TAGUCHI METODU İLE TUTUCULARIN ÇEKME KUVVETLERİNİN OPTİMİZASYONU .....</b> | <b>62</b> |
| 7.1. KONTROL FAKTÖRLERİNİN BELİRLENMESİ VE ORTOGONAL DİZİ SEÇİMİ .....           | 63        |
| 7.2. S/N ORANLARINI KULLANARAK DENEYSEL SONUÇLARIN OPTİMİZASYONU .....           | 65        |
| 7.3. ANOVA KULLANARAK VERİ ANALİZİ .....                                         | 68        |
| 7.4. DOĞRULAMA DENEYLERİ VE KALİTE KAYIPLARININ BELİRLENMESİ .....               | 69        |
| <b>8. DENEYSEL ÇALIŞMA.....</b>                                                  | <b>73</b> |
| 8.1. DENEYSEL İŞLEM .....                                                        | 73        |
| 8.1.1. Erer 1 Tutucu ile Organların Kaldırılması .....                           | 74        |
| 8.1.1.1. Karaciğerin Kaldırılması .....                                          | 74        |
| 8.1.1.2. Akciğerin Kaldırılması.....                                             | 76        |
| 8.1.1.3. Yüreğin Kaldırılması.....                                               | 77        |
| 8.1.1.4. Taşlığın Kaldırılması .....                                             | 78        |
| 8.1.1.5. Derinin Kaldırılması .....                                              | 79        |
| 8.1.2. Erer 2 Tutucu ile Organların Kaldırılması .....                           | 80        |
| 8.1.2.1. Karaciğerin Kaldırılması .....                                          | 80        |
| 8.1.2.2. Akciğerin Kaldırılması.....                                             | 82        |
| 8.1.2.3. Yüreğin Kaldırılması.....                                               | 83        |
| 8.1.2.4. Taşlığın Kaldırılması .....                                             | 84        |
| 8.1.2.5. Derinin Kaldırılması .....                                              | 85        |
| 8.1.3. Erer 3 Tutucu ile Organların Kaldırılması .....                           | 86        |
| 8.1.3.1. Karaciğerin Kaldırılması .....                                          | 86        |
| 8.1.3.2. Akciğerin Kaldırılması.....                                             | 88        |
| 8.1.3.3. Yüreğin Kaldırılması.....                                               | 89        |

|                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| 8.1.3.4. Taşlığın Kaldırılması .....                            | 90         |
| 8.1.3.5. Derinin Kaldırılması .....                             | 91         |
| <b>8.1.4. Erer 4 Tutucu ile Organların Kaldırılması .....</b>   | <b>92</b>  |
| 8.1.4.1. Karaciğerin Kaldırılması .....                         | 92         |
| 8.1.4.2. Akciğerin Kaldırılması .....                           | 93         |
| 8.1.4.3. Yüreğin Kaldırılması .....                             | 94         |
| 8.1.4.4. Taşlığın Kaldırılması .....                            | 95         |
| 8.1.4.5. Derinin Kaldırılması .....                             | 96         |
| <b>8.1.5. Erer 5 Tutucu ile Organların Kaldırılması .....</b>   | <b>97</b>  |
| 8.1.5.1. Karaciğerin Kaldırılması .....                         | 97         |
| 8.1.5.2. Akciğerin Kaldırılması .....                           | 99         |
| 8.1.5.3. Yüreğin Kaldırılması .....                             | 100        |
| 8.1.5.4. Taşlığın Kaldırılması .....                            | 101        |
| 8.1.5.5. Derinin Kaldırılması .....                             | 102        |
| <b>8.1.6. Venturi Kanallarının Çekme Kuvvetine Etkisi .....</b> | <b>103</b> |
| <b>9. TARTIŞMALAR .....</b>                                     | <b>105</b> |
| 9.1. MEVCUT VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....       | 105        |
| 9.2. HAVA AKIŞ YÖNÜNÜN DEĞİŞTİRİLMESİ .....                     | 106        |
| 9.3. KALDIRILAN DOKUNUN YATAY DENGESİ .....                     | 107        |
| 9.4. TUTUCU YÜZEYLERİN DOKU KALDIRMA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ .....  | 108        |
| 9.5. ORGAN KALDIRMADA ETKİLİ FAKTÖRLER .....                    | 108        |
| 9.6. KALDIRILAN DOKULARIN FİZİKSEL DAVRANIŞLARI .....           | 110        |
| 9.7. KARIN BOŞLUĞUNA DOLAN HAVANIN TAHLİYESİ.....               | 112        |
| 9.8. TEMASSIZ TUTUCULARDA İŞLEM SIRASI .....                    | 113        |
| 9.9. TEMASSIZ TUTUCULARIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI.....        | 113        |
| <b>10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>                            | <b>115</b> |
| 10.1. SONUÇLAR.....                                             | 115        |
| 10.2. ÖNERİLER.....                                             | 116        |
| <b>11. KAYNAKLAR .....</b>                                      | <b>118</b> |
| <b>12. EKLER .....</b>                                          | <b>125</b> |
| 12.1. EK 1: ERER 1 TUTUCU İMALAT RESMİ .....                    | 125        |
| 12.2. EK 2: ERER 2 TUTUCU İMALAT RESMİ .....                    | 126        |
| 12.3. EK 3: ERER 3 TUTUCU İMALAT RESMİ .....                    | 127        |
| 12.4. EK 4: ERER 4 TUTUCU İMALAT RESMİ .....                    | 128        |
| 12.5. EK 5: ERER 5 TUTUCU İMALAT RESMİ .....                    | 129        |
| 12.6. EK 6: ERER BAĞLANTI SİSTEMİ (EBS) .....                   | 130        |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                           | <b>131</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Laparoskopik cerrahinin şeması a) Trokar b) Tutucu c) Şişirilmiş karın boşluğu d) Laparaskop [13]. | 5  |
| Şekil 2.2. Laparoskopik tutucu uç örnekleri [14].                                                             | 6  |
| Şekil 2.3. Laparoskopik tutmanın güvenli alan diyagramı [19].                                                 | 7  |
| Şekil 2.4. Tutucu-doku etkileşiminin mekanik analiz şeması [33].                                              | 9  |
| Şekil 3.1. Bernoulli tutucunun bir kesiti.                                                                    | 13 |
| Şekil 3.2. Sert bir nesne ile Bernoulli tutucunun yandan görünüşü [42].                                       | 14 |
| Şekil 3.3. Bernoulli tutucunun alttan görünüşü [42].                                                          | 14 |
| Şekil 3.4. Değişken yarıçap için çizilmiş tutucu yüzey ile nesne arasındaki niteliksel hava akış hızı [42].   | 14 |
| Şekil 3.5. Değişken yarıçap için çizilmiş tutucu yüzey ile nesne arasındaki niteliksel basınç [42].           | 14 |
| Şekil 3.6. Dikdörtgen kesitli nozul [43].                                                                     | 15 |
| Şekil 3.7. Dört parmaklı çok fonksiyonlu tutucu [45].                                                         | 16 |
| Şekil 3.8. Kuvvet ve biçimlendirme derinliği grafiği [48].                                                    | 16 |
| Şekil 3.9. Toplam enerji ve emme kuvveti [49].                                                                | 17 |
| Şekil 3.10. Pimli Bernoulli tutucu [50].                                                                      | 17 |
| Şekil 3.11. Yönlendirici plakalı tutucu [51].                                                                 | 18 |
| Şekil 3.12. Radyal kanallı tutucu [41].                                                                       | 18 |
| Şekil 3.13. Tutucunun enine kesiti [52].                                                                      | 19 |
| Şekil 3.14. Yön değiştiricili nozul [54].                                                                     | 20 |
| Şekil 3.15. Proble Bernoulli tutucu [56].                                                                     | 21 |
| Şekil 3.16. Kademeli yüzlü Bernoulli tutucu [57].                                                             | 21 |
| Şekil 3.17. Emiş borulu Bernoulli tutucu [58].                                                                | 22 |
| Şekil 3.18. Farklı nozullu Bernoulli tutucu [42].                                                             | 22 |
| Şekil 3.19. Genişletilebilir sistemli Bernoulli tutucu [59].                                                  | 23 |
| Şekil 4.1. Radyal akışta akış modelinin şematik gösterimi [54].                                               | 24 |
| Şekil 4.2. Disk üzerinde oluşan radyal basınç dağılımı [54].                                                  | 26 |
| Şekil 4.3. Tüm değişkenlerin şematik gösterimi [52].                                                          | 28 |
| Şekil 5.1. Tutma çeşitlerinin kullanım oranları [69].                                                         | 32 |
| Şekil 5.2. Tutucular a) Dıştan tutucu b) İçten tutucu.                                                        | 33 |
| Şekil 5.3. Esnek malzemelerin taşınması için teknolojik prensipler [55].                                      | 33 |
| Şekil 5.4. İki ve üç çeneli tutucular [70].                                                                   | 35 |
| Şekil 5.5. İğne tutucu [72].                                                                                  | 35 |
| Şekil 5.6. Elektromanyetik tutucu [70].                                                                       | 36 |
| Şekil 5.7. Elektrostatik tutucu [70].                                                                         | 37 |
| Şekil 5.8. Kriyojenik tutucu [79].                                                                            | 37 |
| Şekil 5.9. Coanda ejektör prensipleri [80].                                                                   | 38 |
| Şekil 5.10. Silindirik coanda ejektör [81].                                                                   | 38 |
| Şekil 5.11. Bernoulli tutucu [47].                                                                            | 39 |
| Şekil 5.12. Girdaplı tutucu [49].                                                                             | 40 |
| Şekil 5.13. Vakum tutucu.                                                                                     | 41 |

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.14. Farklı emiş kupaları türleri. ....                                                  | 42 |
| Şekil 6.1. Klinik odaklı ekipman tasarımı, hekim ve mühendis arasında yakın iletişim [88]. .... | 45 |
| Şekil 6.2. Temassız tutucu prototip fotoğrafları. ....                                          | 46 |
| Şekil 6.3. Temassız tutucu sisteminin parçaları. ....                                           | 47 |
| Şekil 6.4. Erer 1 tutucu a) Katı modeli b) Tam kesiti. ....                                     | 48 |
| Şekil 6.5. Esnek malzeme yüzeyindeki hava çarpmasının etkileri [54]. ....                       | 49 |
| Şekil 6.6. Erer 1 tutucu hava akış modeli. ....                                                 | 50 |
| Şekil 6.7. Erer 2 tutucu a) Katı modeli b) Tam kesiti. ....                                     | 50 |
| Şekil 6.8. Erer 2 tutucu hava akış modeli. ....                                                 | 51 |
| Şekil 6.9. Erer 3 tutucu a) Katı modeli b) Tam kesiti. ....                                     | 51 |
| Şekil 6.10. Erer 3 tutucu hava akış modeli. ....                                                | 52 |
| Şekil 6.11. Erer 4 tutucu a) Katı modeli b) Tam kesiti. ....                                    | 52 |
| Şekil 6.12. Erer 4 tutucu hava akış modeli. ....                                                | 53 |
| Şekil 6.13. Erer 5 tutucu a) Katı modeli b) Tam kesiti. ....                                    | 53 |
| Şekil 6.14. Erer 5 tutucu hava akış modeli. ....                                                | 54 |
| Şekil 6.15. Erer bağlantı sistemi a) Katı modeli b) Tam kesit. ....                             | 55 |
| Şekil 6.16. EBS tam kesit hava akış modeli. ....                                                | 56 |
| Şekil 6.17. Şamandıralı debimetre. ....                                                         | 57 |
| Şekil 6.18. Akış kontrol valfi. ....                                                            | 57 |
| Şekil 6.19. Selenoid valf ve özellikleri. ....                                                  | 58 |
| Şekil 6.20. Deney sisteminin şematik görünümü. ....                                             | 59 |
| Şekil 6.21. Deney sisteminin genel bir görüntüsü. ....                                          | 60 |
| Şekil 6.22. Doku kaldırma işleminin görüntüsü. ....                                             | 60 |
| Şekil 7.1. Kontrol faktörlerinin ana etki grafikleri. ....                                      | 67 |
| Şekil 8.1. Erer 1 tutucu ile karaciğerin kaldırılması. ....                                     | 75 |
| Şekil 8.2. Erer 1 tutucu ile akciğerin kaldırılması. ....                                       | 77 |
| Şekil 8.3. Erer 1 tutucu ile yüreğin kaldırılması. ....                                         | 78 |
| Şekil 8.4. Erer 1 tutucu ile taşlığın kaldırılması. ....                                        | 79 |
| Şekil 8.5. Erer 1 tutucu ile derinin kaldırılması. ....                                         | 80 |
| Şekil 8.6. Venturi kanallı Erer 2 tutucu. ....                                                  | 81 |
| Şekil 8.7. Erer 2 tutucu ile karaciğerin kaldırılması. ....                                     | 82 |
| Şekil 8.8. Erer 2 tutucu ile akciğerin kaldırılması. ....                                       | 83 |
| Şekil 8.9. Erer 2 tutucu ile yüreğin kaldırılması. ....                                         | 84 |
| Şekil 8.10. Erer 2 tutucu ile taşlığın kaldırılması. ....                                       | 85 |
| Şekil 8.11. Erer 2 tutucu ile derinin kaldırılması. ....                                        | 86 |
| Şekil 8.12. Venturi kanallı Erer 3 tutucu. ....                                                 | 87 |
| Şekil 8.13. Erer 3 tutucu ile karaciğerin kaldırılması. ....                                    | 87 |
| Şekil 8.14. Erer 3 tutucu ile akciğerin kaldırılması. ....                                      | 88 |
| Şekil 8.15. Erer 3 tutucu ile yüreğin kaldırılması. ....                                        | 89 |
| Şekil 8.16. Erer 3 tutucu ile taşlığın kaldırılması. ....                                       | 90 |
| Şekil 8.17. Erer 3 tutucu ile derinin kaldırılması. ....                                        | 91 |
| Şekil 8.18. Erer 4 tutucu ile karaciğerin kaldırılması. ....                                    | 93 |
| Şekil 8.19. Erer 4 tutucu ile akciğerin kaldırılması. ....                                      | 94 |
| Şekil 8.20. Erer 4 tutucu ile yüreğin kaldırılması. ....                                        | 95 |
| Şekil 8.21. Erer 4 tutucu ile taşlığın kaldırılması. ....                                       | 96 |
| Şekil 8.22. Erer 4 tutucu ile derinin kaldırılması. ....                                        | 97 |
| Şekil 8.23. Açılı ve venturi kanallı Erer 5 tutucu. ....                                        | 98 |
| Şekil 8.24. Erer 5 tutucu ile karaciğerin kaldırılması. ....                                    | 98 |
| Şekil 8.25. Erer 5 tutucu ile akciğerin kaldırılması. ....                                      | 99 |

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 8.26. Erer 5 tutucu ile y reğin kaldırılması. ....              | 100 |
| Şekil 8.27. Erer 5 tutucu ile taşlığın kaldırılması. ....             | 101 |
| Şekil 8.28. Erer 5 tutucu ile derinin kaldırılması. ....              | 102 |
| Şekil 9.1. Deflekt rl  tutucular a) Düz b) Açılı. ....                | 106 |
| Şekil 9.2. Merkezi delikli tutucular a) Venturisiz b) Venturili. .... | 107 |
| Şekil 9.3. Yatay dengedeki tavuk yüreği. ....                         | 107 |
| Şekil 9.4. Erer 1 tutucu ile taşlığın kaldırılması durumu. ....       | 110 |
| Şekil 9.5. Erer 1 tutucu ile akciğerin kaldırılması. ....             | 110 |
| Şekil 9.6. Erer 2 tutucu ile derinin kaldırılması. ....               | 111 |
| Şekil 9.7. Erer 1 tutucu ile karaciğerin kaldırılması. ....           | 111 |
| Şekil 9.8. Karın boşluğu hava tahliye sistemi. ....                   | 112 |



## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                                 | <u>Sayfa No</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Çizelge 5.1. Esnek nesnelerin taşınmasındaki sorunlar [70].                                     | 34              |
| Çizelge 5.2. Esnek parçaların kavranması ilkeleri (xxx: Çok iyi; xx: İyi ; x: Fena değil) [71]. | 34              |
| Çizelge 6.1. Şamandıralı Debimetre Özellikleri.                                                 | 57              |
| Çizelge 6.2. Akış kontrol valfinin özellikleri.                                                 | 58              |
| Çizelge 7.1. Çekme kuvveti için seçilen deney parametreleri ve seviyeleri.                      | 64              |
| Çizelge 7.2. Taguchi L <sub>25</sub> ortogonal dizi seçim çizelgesi.                            | 65              |
| Çizelge 7.3. Çekme kuvveti için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.                              | 66              |
| Çizelge 7.4. Çekme kuvveti ve S/N oranlarının (dB) ortalaması.                                  | 67              |
| Çizelge 7.5. Çekme kuvveti için ANOVA sonuçları.                                                | 68              |
| Çizelge 7.6. S/N oranları için ANOVA sonuçları.                                                 | 69              |
| Çizelge 7.7. Deneysel ve tahmin değerlerin karşılaştırılması.                                   | 71              |
| Çizelge 7.8. Başlangıç ve en uygun kombinasyonlar arasındaki performans karşılaştırılması.      | 71              |
| Çizelge 8.1. Erer 1 tutucu ile karaciğer kaldırma deney verileri.                               | 76              |
| Çizelge 8.2. Erer 1 tutucu ile akciğer kaldırma deney verileri.                                 | 77              |
| Çizelge 8.3. Erer 1 tutucu ile yürek kaldırma deney verileri.                                   | 78              |
| Çizelge 8.4. Erer 1 tutucu ile taşlık kaldırma deney verileri.                                  | 79              |
| Çizelge 8.5. Erer 1 tutucu ile deri kaldırma deney verileri.                                    | 80              |
| Çizelge 8.6. Erer 2 tutucu ile karaciğer kaldırma deney verileri.                               | 82              |
| Çizelge 8.7. Erer 2 tutucu ile akciğer kaldırma deney verileri.                                 | 83              |
| Çizelge 8.8. Erer 2 tutucu ile yürek kaldırma deney verileri.                                   | 84              |
| Çizelge 8.9. Erer 2 tutucu ile taşlık kaldırma deney verileri.                                  | 85              |
| Çizelge 8.10. Erer 2 tutucu ile deri kaldırma deney verileri.                                   | 86              |
| Çizelge 8.11. Erer 3 tutucu ile karaciğer kaldırma deney verileri.                              | 88              |
| Çizelge 8.12. Erer 3 tutucu ile akciğer kaldırma deney verileri.                                | 89              |
| Çizelge 8.13. Erer 3 tutucu ile yürek kaldırma deney verileri.                                  | 90              |
| Çizelge 8.14. Erer 3 Tutucu ile taşlık kaldırma deney verileri.                                 | 91              |
| Çizelge 8.15. Erer 3 tutucu ile deri kaldırma deney verileri.                                   | 92              |
| Çizelge 8.16. Erer 4 tutucu ile karaciğer kaldırma deney verileri.                              | 93              |
| Çizelge 8.17. Erer 4 tutucu ile akciğer kaldırma deney verileri.                                | 94              |
| Çizelge 8.18. Erer 4 tutucu ile yürek kaldırma deney verileri.                                  | 95              |
| Çizelge 8.19. Erer 4 tutucu ile taşlık kaldırma deney verileri.                                 | 96              |
| Çizelge 8.20. Erer 4 tutucu ile deri kaldırma deney verileri.                                   | 97              |
| Çizelge 8.21. Erer 5 tutucu ile karaciğer kaldırma deney verileri.                              | 99              |
| Çizelge 8.22. Erer 5 tutucu ile akciğer kaldırma deney verileri.                                | 100             |
| Çizelge 8.23. Erer 5 tutucu ile yürek kaldırma deney verileri.                                  | 101             |
| Çizelge 8.24. Erer 5 tutucu ile taşlık kaldırma deney verileri.                                 | 102             |
| Çizelge 8.25. Erer 5 tutucu ile deri kaldırma deney verileri.                                   | 103             |
| Çizelge 8.26. Venturi kanallarının çekme kuvvetine etkisi.                                      | 103             |
| Çizelge 9.1. Organ kaldırma parametreleri.                                                      | 109             |

## KISALTMALAR

|      |                                                   |
|------|---------------------------------------------------|
| AD   | Akışkan debisi                                    |
| DC   | Direct current (Doğru akım)                       |
| EBS  | Ereer bağılantı sistemi                           |
| ERER | Ertürk-Erzincanlı                                 |
| FD   | Forming depth (Şekillendirme derinliğı)           |
| HB   | Hava basıncı                                      |
| KBB  | Kulak burun boğaz                                 |
| MIS  | Minimally invasive surgery (Laparoskopik cerrahi) |
| NT   | Nozul tipi                                        |

## SİMGELER

|            |                                         |
|------------|-----------------------------------------|
| A          | Tutucunun alanı                         |
| $A_{iç}$   | Merkezi kanalın alanı                   |
| DoF        | Degree of Freedom (Serbestlik derecesi) |
| D          | Çap                                     |
| F          | Kuvvet                                  |
| g          | Yerçekimi ivmesi                        |
| h          | Yükseklik                               |
| H          | Yükseklik                               |
| L          | Tutucu delik çapı                       |
| MS         | Mean squares (Kareler ortalaması)       |
| N          | Toplam Deney Sayısı                     |
| P          | Basınç                                  |
| $P_{dış}$  | Dış basınç                              |
| $P_{iç}$   | İç Basınç                               |
| $P_r$      | Değişken r yarıçapındaki basınç         |
| $P_R$      | R çapındaki basınç                      |
| Q          | Debi                                    |
| r          | Değişken yarıçap                        |
| $R_c$      | Tutucu delik yarıçapı                   |
| Re         | Reynold sayısı                          |
| SS         | Sum of Squares (Kareler toplamı)        |
| V          | Hız                                     |
| $V_{dış}$  | Tutucu dışındaki hız                    |
| $V_{in}$   | Merkezi kanaldaki hız                   |
| $V_r$      | Değişken r yarıçapındaki hız            |
| $V_R$      | R yarıçapındaki hız                     |
| $\Delta P$ | Basınç farkı                            |
| $\rho$     | Yoğunluk                                |
| $\mu$      | Viskozite                               |

## ÖZET

### LAPAROSKOPİK CERRAHİDE HASTA GÜVENLİĞİNİN ARTTIRILMASI İÇİN YENİ TİP TUTUCU GELİŞTİRİLMESİ

Şenol ERTÜRK

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Fehmi ERZİNCANLI

Temmuz 2019, 130 sayfa

Laparoskopik cerrahi, uzun, ince tutucular ve kamera kullanılarak yapılan kapalı bir ameliyat türüdür. Tutucular, karın boşluğuna trokar adı verilen tüpler vasıtasıyla yerleştirilir. Karın boşluğunda karbondioksit gazı vasıtasıyla cerrah için bir çalışma alanı oluşturulur. Laparoskopik cerrahide iç organları tutmak ve hareket ettirmek için özel olarak tasarlanmış aletlere ihtiyaç duyulur. Laparoskopik cerrahi sırasında mekanik stres, dokuların hareket amaçlı kavranması sırasında kasıtsız yaralanmalarına neden olabilir. Son çalışmalar, uzmanlar tarafından kullanılan mevcut tutucuların doku hasarına yol açabileceğini göstermektedir. Cerrahlar, Laparoskopik ameliyat yaparken dokuları tutmak ve hareket ettirmek için tutucular kullanırlar. Bu tutucular, genellikle dişli profil yapılıdır ve dokuların kaymaması için sıkıştırılması gerekir. Bu da doku hasarı riski oluşturur. Bu hasar istenmeyen bir olaydır. Bu hasar riskini ortadan kaldırmak için bir çözüm geliştirilmesi gerekir. Dokuları sıkmadan hatta dokunmadan hareket ettirmek için bir alternatif tutma sistemi gerekir. Bu çalışma da Laparoskopik cerrahide dokuların tutulması ve hareketi için Bernoulli prensibi ile hava kullanılarak çalışan temassız tutucuların geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada tutucu kaynaklı hasarları önleyebilmek için Bernoulli Prensibi kullanılarak çalışan yeni medikal tutucular geliştirilmiştir. Hava akışının kavranan doku üzerine direk çarpması sonucunda oluşabilecek doku hasarını önlemek için akış yönünü değiştirmek amacıyla tutucularda hava dağıtıcısı kullanılmıştır. Tutucunun merkezi kanalından akan hava, kaldırılacak nesneye çarpmadan hava dağıtıcısı sayesinde yönünü radyal olarak değiştirir. Bernoulli prensibine göre tutucu yüzey ile nesne arasından akan havanın hızının artması ile basıncı da azalır. Bu basınç, dış basınçtan küçük olduğu durumda nesne tutucu yüzeye doğru çekilir. Tutucu, sisteme takılıp sökülebilecek şekilde tasarlanmış olup yüzeyine kaldırma kuvvetine olumlu etki yapması amacıyla venturi kanalları yerleştirilmiştir. Yapılan deneyler, esnek dokuları kaldırmak için Bernoulli prensibi ile çalışan tutucuların kullanılmasının mümkün olabileceğini göstermiştir.

**Anahtar sözcükler:** Bernoulli tutucu, Doku hareketi, Laparoskopik cerrahi

## ABSTRACT

### THE DEVELOPMENT OF NEW TYPE GRIPPER FOR INCREASING PATIENT SAFETY IN MINIMALLY INVASIVE SURGERY

Şenol ERTÜRK

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical  
Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Fehmi ERZİNCANLI

July 2019, 130 pages

Minimally invasive surgery is a closed type of surgery performed with long, thin graspers and cameras. Graspers are placed in the abdominal cavity through tubes called trocar. A working area is created for the surgeon through the carbon dioxide gas in the abdominal cavity. Specially designed instruments are needed to grasp and manipulate internal organs in laparoscopic surgery. Mechanical stress during laparoscopic surgery may result in unintentional injury in tissues while manipulating them. Recent studies showed that existing grippers used by experts, may cause tissue damage. Surgeons use grippers to grip and manipulate tissue while performing minimally invasive operations. These grippers generally have a toothed profile and require pinching of the tissue to prevent slipping. This also creates a risk of tissue damage. Such a damage is undesirable. A solution must be developed to eliminate this risk. An alternative gripper system is required to manipulate tissues without pinching or even touching them. The aim of this study was to develop non-contact grippers using air based on the Bernoulli principle for gripping and manipulating tissues in laparoscopic surgery. In this study, to prevent gripper-related damage, new medical grippers developed by using the Bernoulli principle. An air deflector is used in the gripper to change the flow direction to prevent tissue damage as a result of direct impact of air flow on the grasped tissue. The air flowing through the central channel of the gripper, changes its direction radially through the air deflector before hitting the object. According to the Bernoulli principle, pressure decreases with the increasing air flow rate between the gripper's surface and the object. When this pressure is smaller than the external pressure, the object is pulled towards the gripper's surface. The gripper is designed so that it can be assembled and disassembled and the venturi channels are positioned to have a positive effect on lifting force. Experiments have shown that it is possible to use grippers depending on the Bernoulli principle to grasp flexible tissues.

**Keywords:** Bernoulli gripper, Tissue manipulation, Minimally invasive surgery.

## **EXTENDED ABSTRACT**

### **THE DEVELOPMENT OF NEW TYPE GRIPPER FOR INCREASING PATIENT SAFETY IN MINIMALLY INVASIVE SURGERY**

Şenol ERTÜRK

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical  
Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Fehmi ERZİNCANLI

July 2019, 130 pages

#### **1. INTRODUCTION**

This thesis describes the design and testing of a gripper developed for handling delicate and flexible tissues during minimally invasive surgery. The device operates on Bernoulli's principle for generating high-speed flow between the gripper and product surface thereby creating a vacuum which lifts the product. The Bernoulli gripper, which is widely employed in automated production lines, is a pneumatic manipulator capable of non-contact gripping. This study experimentally investigates the applicability of the Bernoulli gripper in minimally invasive surgery. The gripper allows tissues to be lifted with minimal contact thereby reducing the possibility of damaging the object. Most grippers are not easily applicable in minimally invasive surgery because tissues are often delicate, easily damaged, adhesive and slippery. As surgeons cannot gauge the force exerted on the grasped tissue during laparoscopic grasping, excessive grasp forces may lead to tissue damage. Although minimally invasive surgery has many benefits, force feedback or touch sensation is limited during operations with currently available tools, creating the potential for excessive force application and unintended tissue injury. To overcome such problems, this thesis proposes a concept to enable the use of non-contact grippers instead of traditional grippers and presents an innovative approach of a gripper for grasping chicken tissues that are variable in size, shape and weight. The experimental results show that the Bernoulli gripper may be used to lift tissues of different texture and shape without damage. The main objective of this study is to highlight the importance of

a non-contact end effector in minimally invasive surgery and develop a gripper to grasp different tissues. A novel gripper such as the tested prototype has the potential to be used as a grasper instrument in minimally invasive surgery. The results will be valuable for the literature and future studies.

## **2. MATERIAL AND METHODS**

In this thesis, five laparoscopic grippers. (Erer 1, Erer 2, Erer 3, Erer 4 and Erer 5) were designed and produced using air with Bernoulli principle. Air-operated deflector-free standard grippers have the risk of damaging objects, particularly those with flexible and delicate surfaces, as compressed air strikes directly onto the object to be lifted. If the surface structure of the tissues is not sufficiently resistant to the impact force of the compressed air, they may be damaged by puncturing the tissue. Therefore, in the gripper design, an air deflector is placed in the center of the gripper. The grippers were manufactured from bio-compatible liquid resin with a precision of 32-microns on a 3D Projet 3510 HD Plus printer. Wax was used as support material.

The grippers are composed of two parts in general, the retaining surface and the deflector. The outer diameter is 14 mm, the hole diameter is 6 mm, the length is 20 mm and the retaining surface area is 154 mm<sup>2</sup>. In the gripper designs, a deflector was placed at the center of the holding surface to allow the compressed air coming from the center of the gripper to change direction without impacting delicate materials. In order to have a positive effect on the holding strength, venturi channels were engraved on the holding surface. The expected result from these grippers was that the vacuum generated in the middle of each venturi channel would contribute more to the lift. The grippers (Erer 4 and Erer 5) differentiated from other grippers in that the retaining surfaces and deflectors were produced at an angle of 10° so that uneven objects could be gripped.

An experimental setup was established to test the holding strength with five grippers that were produced and assess their applicability to laparoscopic surgery on different chicken organs. The experimental setup in which the grippers working with Bernoulli principle were tested. An air tank with a capacity of 50 liters and an air compressor with the maximum pressure of 8 bar and a flow rate of 200 l/min were used in the experiments. The pressure of the air flowing in the system was measured using a pressure regulator. The speed of the air was regulated by a one-way flow control valve and flow rate was regulated by

flowmeter. The holding strength measurement tests of five different grippers were carried out using an NK-20 analog dynamometer with  $\pm 1\%$  accuracy.

In the experimental setup, the air compressor, pressure regulator, one-way flow control valve, flowmeter, solenoid valve, pressure sensor, adapter, relay, air gun, gripper and a dynamometer were used. The compressed air required for the operation of the test system was provided by an HM2050F compressor. The pressure of the air was regulated by a Vema brand (0-10 bar) pressure regulating valve and the flow rate was regulated by a flow control valve. The adjusted flow rate was measured by a VA10S-15 1,2-12m<sup>3</sup>/h model flowmeter. The holding strength values of five different grippers connected to the air gun were measured with a dynamometer.

### **3. RESULTS AND DISCUSSIONS**

In this study, the goal was to explore the probability of applying Bernoulli principle for grasping chicken tissues during minimally invasive surgery. The gripper was able to handle flexible soft tissues. Due to the presence of the deflector, which was required to prevent the tissue from damage caused by air flow, the gripper was not completely non-contact, but it had minimal contact with the tissue.

Chicken organs were used for the experiments. The physical principles of the non-contact gripper prototype allowed chicken organs to be grasped safely, up to air flow rates between 1,2 m<sup>3</sup>/h and 2 m<sup>3</sup>/h. No tears or holes were seen on the tissues. There were no user-controlled moving parts in the nozzle. The forces that grasped and lifted the organs were determined by the level of air flow, preset at a constant level independently of the user. Therefore, when a non-contact gripper is used, any surgeon can apply the same forces to grasp and lift an organ as well as an expert surgeon can, which contributes to patient safety during surgical procedures.

The experiments showed that the tested chicken organs could be handled with a gripper that works by Bernoulli principle. In particular, the use of an air deflector with 90° angle and radial venturi channels on the gripper face provided positive effects on the grasping process. The tests showed that a non-contact gripper could be used to grasp the liver, lung, skin, gizzard and heart without causing damage.

Non-contact gripping tools, such as the tested prototypes, have the potential to be used as grasping instruments in minimally invasive surgery. As a result of the experiments, it

seemed that the non-contact gripper was an advantage for the field of medicine and it is advised that the gripper is best suited for tissues with a deflector.

#### **4. CONCLUSION AND OUTLOOK**

In this thesis, the goal was to explore the possibility of applying Bernoulli principle to a gripper for tissue manipulation during minimally invasive surgery. The gripper was able to grip flexible chicken tissues without damaging them. The gripper was not completely contactless, but it had minimal contact with the tissue due to the presence of the deflector, which prevented the tissue from damage that could be caused by air flow. However, the rapid air flow over the surface of the tissues caused dehydration and vibrations. To prevent this, a moisturized low-rate air flow may be used. Chicken tissues were used for the experiments. The physical principles of the non-contact grasper prototype allowed chicken tissues to be grasped safely. No torn tissue layers or tissue perforations were observed. The forces that grasped and held tissues were determined by the level of air flow, preset at a constant level independently of the user. The manipulations on all types of organs resulted in no visible organ damage. The tests indicated that a non-contact gripper based on the Bernoulli principle could be used to grasp tissues without causing damage to these types of tissues.

## 1. GİRİŞ

Laparoskopik cerrahi, karın veya göğüs bölgesini ilgilendiren ameliyatlarda, alışlagelmiş geniş kesiler yapmadan, birkaç ayrı noktadan vücuda yerleştirilen ince tüplerin (trokar) içinden sokulan aletler ve bir kamera yardımı ile gerçekleştirilen ameliyatlardır. Laparoskopik cerrahi, uygulaması hızla yaygınlaşan bir cerrahi daldır [1]. Global Industry Analysts Inc. tarafından piyasaya sürülen Laparoskopik cihazlara ait bir rapora göre, 2015 yılında dünya genelinde 7,5 milyon laparoskopi ameliyatı (kapalı ameliyat yöntemi) yapılmıştır [2]. Cerrahi aletin insan vücuduna sokulabilmesi için deride büyük kesiler yerine küçük kesiler yapılır. Bu aletler trokarlar vasıtası ile insan vücuduna sokulur. Küçük kesiler sonucunda küçük yaralar oluşur ve bu hasta için avantajdır. Fakat cerrah için dokuları doğrudan elleriyle hareket ettirmek yerine, doku ile etkileşim kurmak için araçlar kullandığı ve ameliyatı monitör üzerinden yaptığı için dezavantajdır. İnsan dokusu, düşük sertliği, nemli ve hassas yüzeyi, doku değişimleri, şekil ve boyutlarından dolayı tutulması zor bir malzemedir. Laparoskopik cerrahide kullanılan mevcut tutucular, uzun ve dişli yapıda olup yeterli tutma için dokunun sıkıştırılmasına gerek duyulduğundan dolayı doku hasarı riskini arttırmaktadır. Çeşitli alternatif biçimlerde geliştirilmiş olup Laparoskopik müdahalelerin büyük bir çoğunluğunda kullanılmaktadırlar.

Bu tezde, Laparoskopik cerrahi sırasında dokuları tutmak ve hareket ettirmek için sıkma kuvveti uygulanarak kullanılan dişli tutuculardan kaynaklanan doku hasarlarının önüne geçmek için temassız tutucular geliştirilerek bu tutucuların testleri gerçekleştirilmiştir. Tutucular, esnek malzemeler sınıfına giren cansız hayvansal organlar kullanılarak test edilmiş ve bu sayede Laparoskopik cerrahiye uygulanabilirlikleri değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışmada, Bernoulli prensibi kullanılarak ameliyat sırasında esnek dokuların tutulması, kaldırılması ve hareket ettirilmesi için temassız bir tutucu geliştirmek amacıyla araştırma deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar çizelgelere aktararak değerlendirilmiştir. Diğer taraftan dokuların kaldırılması için gerekli olan en uygun tutma kuvvetinin optimizasyonu için Taguchi metodu kullanılmıştır. Deneysel tasarım için Taguchi  $L_{25}$  ortogonal dizisi kullanılarak 25 adet deney yapılmıştır. Deneyler sonunda elde edilen

değerler, sinyal-gürültü oranı (S/N), varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiştir.



## 2. LAPAROSKOPİK CERRAHİ

### 2.1. GİRİŞ

Laparoskopik cerrahi, karın içini aydınlatarak, hastalık veya problemleri doğrudan gözlemlene ve aynı anda karında çeşitli bölgelerine açılan 5-15 mm'lik deliklerden içeri sokulan yardımcı aletler ile tedavi olanağı vermektedir. Halk arasında kapalı, kansız ya da bıçaksız ameliyat olarak da bilinmektedir.

Laparoskopik ameliyatlara, genel anestezi altında hasta uyutularak yapılmaktadır. Bu ameliyatı yapabilmek için bir laparoskopi ünitesine, uygun el aletlerine, deneyimli cerrah ve ekibine ihtiyaç vardır. Laparoskopi ünitesi; görüntüyü elde eden kamera, soğuk ışık kaynağı, karın içine hava veren insüflatör, monitör ve video/görüntü kaydedicisinden oluşmaktadır.

İlk önce bir delikten girilerek karın içi karbondioksit gazı ile şişirilir ve cerrah için bir çalışma alanı oluşturulur. Ardından ucunda ışık olan teleskop kamera ile girilerek karın içi incelenir. Yapılacak ameliyat türüne göre ilave trokarlar girilebilir. Cerrah, bu trokarlardan girilen aletlerle monitöre bakarak ameliyatı gerçekleştirir.

Laparoskopik cerrahide iç organları tutmak ve hareket ettirmek için özel olarak tasarlanmış aletlere ihtiyaç duyulur. Yumuşak organ ve dokuların tutulması, kaldırılması ve hareket ettirilmesi geleneksel tutma yöntemi ile yapılmaktadır. Geleneksel tutma, organların tutulması için organlara tutucu ile bir sıkma kuvveti uygulanması olarak tanımlanır [3]. Bu tür aletler, diğerlerinin arasında bir çift tutucu çene ile tanımlanır. Organların tutulması için birçok tutucu çene çeşitleri vardır. Geleneksel tutmanın kökeninde ortamda daha iyi bir tutma elde etmek için ellerin öncelikli fonksiyonu vardır. Temel olarak insan elinin kendisi halen ilk tutucu çenedir, diğer tüm çene türleri ondan üretilir. Tutma aletleri temel olarak elin bir uzantısıdır, daha çok hassas ve sağlamdır.

Cerrahi alanların dışında, endüstrinin her tür uygulamalarında çeşitli tutma teknikleri uygulanmaktadır. Cerrahi alanın dışında sıklıkla kullanılan diğer tutma formlarının örnekleri manyetik, cırt cırt, vakum, kancalar ve tokalar, perçinler ve tutkallardır.

Manyetik kavrama (retraction), cerrahi bir ortamda potansiyel bir kavrama tekniği olarak araştırılmaktadır [4]. Cırt cırt, cerrahi alanda kavrama tekniği olarak kullanılamaz. Vakum, kavrama tekniği olarak çalışılmıştır, ancak günümüz ameliyathanesinde olduğu gibi uygulanmamaktadır [5]. Düğüm dikişleri, kancalar ve klipsler cerrahi ürünler ve prosedürler ile ilgili olarak ortak kavrama ve tutma teknikleridir. Klik bağlayıcılar gibi bağlayıcılar, kayışlar daha az kullanılır.

Laparoskopik ameliyatlara avantajları şu şekilde özetlenebilir. Ameliyatlara, uzun kesiler yapılmadan gerçekleştirildiği için çok daha az ameliyat izi ile sonuçlanmaktadır. Laparoskopik ameliyatlara başta kanama ve enfeksiyon olmak üzere daha az yan etkiye neden olmaktadır. Ameliyat alanında daha az doku hasarının olması, hasta için daha kolay ve hızlı iyileşme sağlamaktadır. Laparoskopik yöntemin en belirgin avantajlarından biri de ameliyat sonrası hastanın ağrısının daha az olması ve daha az ağrı kesiciye gereksinim duymasıdır. Laparoskopik cerrahide hastanede kalış süresi de daha kısadır. Hastanın fiziksel aktivitesine kavuşması ve işine dönebilmesi de daha kolay ve daha hızlı olur [6]. Cerrahlar için dezavantajları, ameliyatın monitörler vasıtası ile görselleştirilmesinden dolayı göz-el koordinasyonunun zayıf olması, alet kullanma özgürlük derecesinin sınırlandırılması, ekrandaki 2D bir görüntüyü 3D'ye çevirme gereksinimi ve en iyi şekilde tasarlanmamış alettir [7].

Laparoskopik cerrahide kullanılan tutucular genellikle açık ameliyatta kullanılan araçların türevleridir [8]. Bu tutucuların performansı, teknik ve tıbbi işlevselliğe, kullanıcının beceri ve deneyimine, cerraha ve alet ile ilgili kullanım rahatlığına bağlıdır.

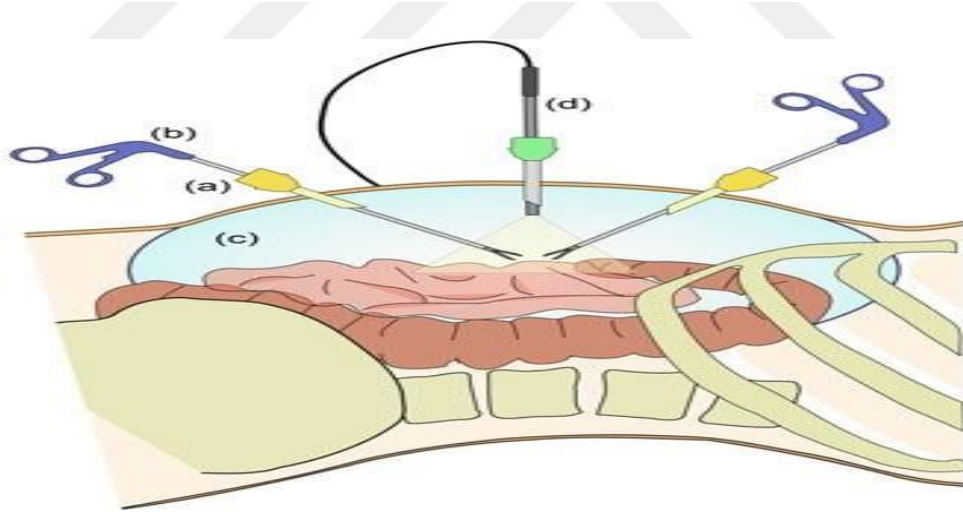
Yumuşak organları ve dokuları tutmada kullanılacak herhangi bir tutucu için en önemli özellik, güvenli tutmadır. Herhangi bir tutucunun teknik ve medikal fonksiyonelliği bu özelliğine bağlıdır. Güvenli tutmada iki durum önemlidir. Birinci durum, doku üzerindeki tutma, organın hareketini sağlamak için yeterli olmalıdır. İkinci husus, tutma işi sırasında doku üzerinde herhangi bir hasar oluşmamalıdır. Yeterli tutma ve hasarsız bir tutma birleşimi, güvenli tutmaya veya güveni bir alet-doku etkileşimine dönüşür [9], [10]. Güvenli bir tutma, olumsuz olayların önlenmesine katkıda bulunur ve bu yüzden cerrahi işlem sırasında ilgili organların güvenli tutulması hastanın güvenliğini artırır.

Güvenli tutmanın diğer bir yönü, tutma aletinin kullanım konforuyla ilgilidir. Tutucu, yeterli tutma sağlayabilir ve hiç bir doku hasarına neden olmayabilir. Fakat cerrah, cihazın kullanımı nedeniyle rahatsızlık duyduğunda cihazın cerrahda fiziksel acıya ve

kötüye kullanımına neden olabileceği için cihaz yine de yararsız ve potansiyel olarak zararlıdır [11].

## 2.2. MEVCUT LAPAROSKOPİK TUTUCULAR

Laparoskopik aletler, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi karın duvarındaki delik bölgelerine trokar içinden yerleştirilir. Trokar, laparoskopik cerrahide vücuda açılan küçük deliklerden içeri sokularak tutucu ve kamera gibi aletlerin vücutun içinde çalışmasını sağlayan tüplerdir. Cerrah, ameliyat alanını laparoskopik kamera aracılığıyla görür. Bu görüntü, cerrahi ekip tarafından görüntülenen bir video ekranına aktarılır. Laparoskopik giriş kesitleri genel olarak 10 mm veya 15 mm çapındadır. Enstrümanlar tutucuları, makasları, kancaları içerir ve bunlar dokuları kavramak, geri çekmek, hareket ettirmek, kesmek, pıhtılaşma ve dikiş için bir iğnenin güvenliğini sağlamak için kullanılır. Şu ana kadar laparoskopik aletlerin tasarımı, açık cerrahide kullanılan bir laparoskopik porttan geçen, tutucu veya makasların açılmasına ve kapanmasına izin veren halkalı, tabanca tipi sap içermiştir [12]. Tipik bir laparoskopik tutucu örneği Şekil 2.1'de görülmektedir.

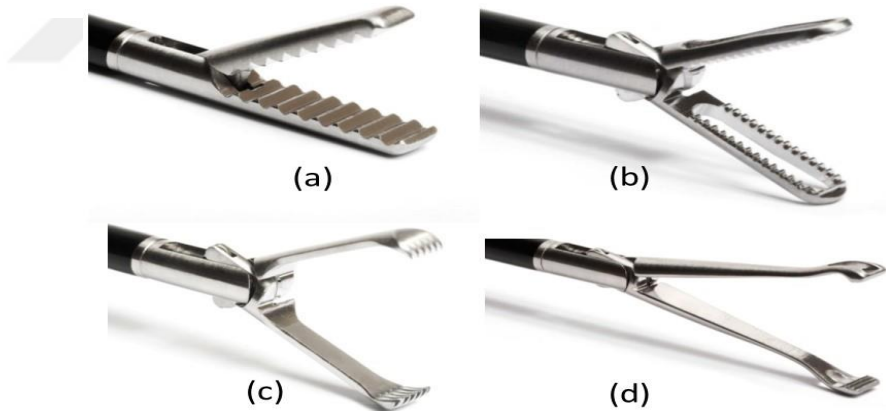


Şekil 2.1. Laparoskopik cerrahinin şeması a) Trokar b) Tutucu c) Şişirilmiş karın boşluğu d) Laparaskop [13].

## 2.3. TUTUCU ÇENE PROFİLLERİ

Laparoskopik cerrahi, açık cerrahide olduğu gibi cerrahın ellerinin aksine cerrahi tutucularla doku hareketine dayanır. Laparoskopik cerrahi sırasında doktorun daha verimli çalışabilmesi için bir laparoskopik tutucuya ihtiyacı vardır. Kavranan dokuya

bağlı olarak tutucu çeneleri seçilir. İdeal bir laparoskopik tutucu, dokuyu iyi kavramalı ve cerrahın, kavranan dokuya veya bitişik organlara zarar vermeden, gerekli hareketi yapmasına izin vermelidir. Bu sadece kavrayıcı çenelerin özelliklerine değil, cerrah tarafından uygulanan kuvvete de bağlıdır. Tutucu çeneleri, paslanmaz çelikten imal edilmektedir ve dişli veya dişli olmayan, dalga formu desenli olabilir. Birçok tutucu, çeneler boyunca uygulanan basınçla birlikte, kayma olmadan dokuları kavramasını sağlayan tırtıklı bir yüzeye sahiptir. Farklı laparoskopik tutucu uçlarının örnekleri Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Laparoskopik tutucuların dezavantajı, cerrah için mevcut olan dokusal geribildirim eksikliğidir. Açık cerrahide, cerrahın eli dokulara yerleştirilen gerilim miktarını ve dokunun fiziksel özelliklerini ölçer. Laparoskopik cerrahide bu yetenek ortadan kaldırılır ve cerrah dokular üzerine ne kadar kuvvet uygulanacağını öğrenmek için edinilmiş yetkinlik ve görsel geribildirime dayanır. Bu durum, tutucu-doku arayüzünde uygun olmayan kuvvetlerin uygulanmasına yol açar. Eğer kavrama kuvvetleri çok düşükse, dokuyla temas kaybolur, aşırı güç geri dönüşü olmayan doku hasarına yol açabilir. Bu doku hasarları, uçların tasarımını optimize etmek ve verimsiz kavrama ve doku travmasını önlemek için laparoskopik tutucu uçları ile ilgili çalışmalara yol açmıştır.



Şekil 2.2. Laparoskopik tutucu uç örnekleri [14].

a) Timsah forseps, b) Kısa fenestrasyon, c) İnce dişli forseps, d) Babcock'u ifade etmektedir.

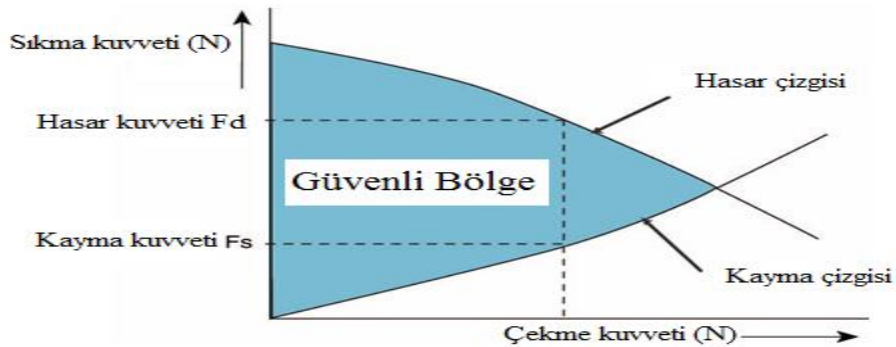
## 2.4. CERRAHİ KAVRAMA ANALİZİ

Laparoskopik tutucu çeneler, tipik olarak bir döner makas mekanizması ile kullanılırlar ve bu nedenle uzunlukları boyunca eşit olmayan şekilde basınç uygularlar. Kısırtma noktasına daha yakın eklemlere daha fazla basınç uygulanır, bu da dokuları çürütebilir

hatta yırtabilir. Çeneler ayrıca, kapatıldıklarında nesneleri dışarıya doğru itmeye eğilimlidirler, bu da safra kesesi gibi daha büyük organları kavramasını zorlaştırır [15].

Heijnsdijk ve arkadaşları [16] yirmibeş farklı cerrahi işlemin (laparoskopik kolesistektomi ve kolektomi içeren) video kayıtlarını analiz ederek cerrahların organları kavramalarını incelemiştir. Toplamda, kavrama hareketlerinin %62'sinin, cerrahın istenen hareketi yapabilmesi, kayma veya bariz hasar olmaksızın başarılı olmuştur. Daha fazla genç cerrah, daha az başarılı hareket yapmış ve daha uzun sıkma süreleri kullanmıştır.

Farklı tutucu çene profillerinin kavrama performansı, 2000'li yılların başında bir dizi araştırmaya konu olmuştur [17], [18]. De Visser ve arkadaşları [19], laparoskopik aletlerin çenelerinin tasarımının kayma ve hasar kuvvetlerine nasıl karşılık geldiğini araştırmışlardır. Çenelerdeki keskin noktaların daha düşük kayma kuvvetlerine neden olmasına rağmen, çene ve doku arasındaki temas alanını azalttığı ve doku üzerinde daha yüksek bir baskıya neden olduğu sonucuna varmışlardır. Genelleştirilmiş kayma ve hasar davranışı sıkma ve çekme kuvvetlerinin bir fonksiyonu olarak çizilmiştir. Laparoskopik cerrahide istenmeyen yaralanmanın bir diğer nedeni, normalde kavrama çenelerinden gelen dokudaki yetersiz kuvvetlerden kaynaklanan dokunun tutucu çenelerden kaymasıdır. Hasar hattının üzerindeki iki kuvvetin herhangi bir kombinasyonu, laparoskopik cerrahide tolere edilemeyen bir hasar seviyesine neden olacaktır [19]. Şekil 2.3'de görülen renkli bölge, cerrahların çalışmayı amaçlaması gereken güvenli bir çalışma bölgesini temsil eder. Bu güvenli çalışma bölgesi içerisinde kalabilmek için, tutucu uçlarının dokuyu nasıl etkilediğine dair kapsamlı bir bilgi gereklidir. Laparoskopik cerrahide uygun olmayan çekme ve kayma hasara neden olabilir.



Şekil 2.3. Laparoskopik tutmanın güvenli alan diyagramı [19].

Marucci ve arkadaşları [20], değişken karşıt basınçlar ile taze koyun mide dokusunu tutacak şekilde tutucu-doku arayüzünün yapay bir modelini kurmuştur. Doku, tutma başarısız oluncaya veya doku hasar görünceye kadar çekilmiştir. Tutucu dişlerinin boyutunun artırılmasının kavrama güvenliğini arttırdığı ancak daha büyük doku travmasıyla sonuçlandığı sonucuna varmışlardır. Düzlem veya 60 derece açılı dişlerin aksine bir dalga desenine sahip çeneler önemli ölçüde daha az travmaya yol açmıştır, ancak bu sadece doku yırtılması ile makroskopik olarak gözlenmiştir [20].

Brown ve arkadaşları [21], deneylerinde enstrüman çene geometrisinin üç farklı yönünü; fenestrasyonların etkisi, temas yüzeyinin fenestrasyon alanına oranı ve yüzey profili araştırmışlardır. Laparoskopik cerrahi sırasında yaygın olarak karşılaşılan yükleri kullanarak ex vivo domuz bağırsağını test etmişlerdir. Doku daha sonra 90°'lik bir açıyla makara düzeneği vasıtasıyla çenelerden kurtulana kadar çekilmiştir.

Goyzueta ve arkadaşları [22], rijit tutucu çenesini dokuya uygulanan tepe kuvvetini azaltmak için doku kavraması sırasında deforme olan tam uyumlu monolitik çene ile değiştirerek benzer çalışmalar yapmışlardır. Tutma ve çekme kuvveti domuz karaciğeri üzerinde test edilmiştir.

## **2.5. TUTUCU-DOKU ETKİLEŞİMİ**

Laparoskopik cerrahide tutucu-doku etkileşimi hakkında bilgi cerrahi simülasyonların tasarımını bilgilendirmek için kullanılabilir [23]. Cerrahi kursiyerlerin yetenek ve ilerlemesini test eder [24], [25]. Dokunun mekanik özellikleri ile ilgili verilere katkıda bulunurlar [26], [27].

Benzer kavramlar, beyin cerrahisi gibi [28] diğer cerrahi alanlarda da simüle edilmiş cerrahi eğitim ve Kulak Burun ve Boğaz (KBB) cerrahisine katkıda bulunmak için ameliyat sonrası komplikasyonlara katkıda bulunabilecek güçleri analiz etmek amacıyla uygulanmıştır [29]. Mikrocerrahi aletlerde kullanılan kuvvetler de araştırmaya konu olmuştur [30], [31]. Laparoskopik tutucu ile doku arasındaki etkileşim karmaşıktır. Hem doku hem de tutucu özellikleri göz önünde bulundurulur, aynı zamanda hareketin gerçekleştirilme niteliği de dikkate alınır. Örneğin bir laparoskopik kolesistektomi (safra kesesinin çıkarılması) gerçekleştirilirken cerrahın tutucuda aşırı güç kullanması, safra kesesinin karın boşluğuna delinmesine, taşların ve safraların dökülmesine ve hastanın enfeksiyon geliştirme riskini artırmasına neden olabilmektedir. Laparoskopik

kolesistektomi sırasında safra kesesi delinmelerinin % 25'inin tutucu yaralanmasına bağlı olduğu tahmin edilmektedir [32].

Tutucu-doku etkileşimini araştırırken dikkate alınması gereken değişkenlerden bazıları Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Tutucu-doku etkileşiminin mekanik analiz şeması [33].

Tutucu çene üzerindeki tırtıklı yapı, tutucu-doku arayüzü arasında sürtünme kuvvetini arttırmak ve dokunun çekme işlemi sırasında kaymasını önlemek içindir.

## 2.6. HASTA GÜVENLİĞİ

Hastaneye varış, hastaneden ayrılış, hastanede kalma süresince hasta güvenliği birçok faktöre bağlıdır. Cerrahi prosedür ile ilgili olarak hasta güvenliği, cerrahın becerileri ve deneyimleriyle, cerrahın ruhsal durumuyla, ekipman ve en önemlisi araçların yeterliliğiyle yakından ilişkilidir.

Hasta güvenliği ayrıca cerrahi bir işlem sırasında hastanın fiziksel ve zihinsel refahını tehlikeye atacak herhangi bir olumsuz olay meydana gelmeyen bir işlemin tamamlanması olarak tanımlanır. Daha öncede belirtildiği gibi tutma araçlarının performansı cerrahın becerilerine ve tecrübesine bağlı olmakla birlikte, tutucu yetersiz olduğu takdirde performans ve hasta güvenliği de tehlikeye girebilir. Bu bağlamda yeterlilik, tutucu fonksiyonlarına bağlıdır. Yine de cerrah, tüm cerrahi prosedür sırasında sorumlu kalır ve bazen aletler yetersiz olabilse bile prosedürün sonucundan sorumludur.

## 2.7. ARAŞTIRMA KONUSU

Bu tez çalışmasın da Bernoulli prensibi ile çalışan tutucuların Laparoskopik cerrahiye uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bunun nedeni temassız tutma tekniği ile ilgili özellikle

sert nesnelerin tutulması ile ilgili değişik akademik çalışmaların yapılmasıdır. Literatürde yapılan bu çalışmalar, temassız tutma tekniği ile yumuşak organları tutmak için Laparoskopik bir ortamda kullanılma potansiyeline sahip olabileceği varsayımına neden olmuştur. Tıpta vakum tekniği kullanılmaktadır, fakat Bernoulli prensibi kullanılarak elde edilen temassız tutma tekniği kullanılmamaktadır.

Tutucu kaynaklı organ hasarı, hastada ciddi sonuçlar doğurabilir [34], [35]. Mevcut kullanılan tutucularla ilgili olarak, organların kavranmasına ilişkin kapsamlı araştırma yapılmıştır. Dokuların kavranması ile ilgili olarak, farklı kavrama teknikleri hakkında henüz araştırma yapılmamıştır. Bu nedenle temassız tutma tekniğinin Laparoskopik cerrahi için tutma tekniği olarak kullanılabilmesi literatüre yenilik kazandıracaktır.

## **2.8. PROBLEM TANIMI**

Günümüz teknolojisinde yoğun kapasite de çalışan ameliyathanelerde, cihazların ve aletlerin düzgün çalışıp birbirlerine uyumlu hale getirilmesi son derece önemlidir. Cerrahi alanda, inanılmaz gelişmelere ve yeniliklere rağmen, iş yükü artmakta ve prosedürler daha hızlı, daha verimli ve daha güvenli olmalıdır, aynı zamanda bu tutma aletleri için de geçerlidir. Bu da tasarımcıları güvenli tutucular geliştirilmesi alanında çalışmalara doğru yönlendirmektedir [36], [37].

Cerrah, tutma araçlarının etkili ve güvenli kullanımıyla ilgili öncelikle kendi beceri ve deneyimine güvenir. İdeal tutma aletleri, bu beceri ve deneyimlere uygundur.

Günümüzde kullanılan geleneksel tutucular, kullanım rahatlığı açısından araştırılmıştır. Bu tutucuları kullanan cerrahların ellerinde ve kollarının altında yorgunluk ve ağrıya sıkça rastlanmaktadır. Elde kullanılan bir tutucunun kullanım konforu, büyük ölçüde aletin fiziksel boyutlarına ve özelliklerine bağlıdır. Bu fiziksel boyutlar ve özellikler, tutucuların tutma yerinin boyutunu, cihazın ağırlığını, cihazı çalıştırmak için gerekli olan kuvvetleri, cihazın tutulma şeklini belirler [38], [39].

Kullanım konforu, kullanıcının yetenek ve sınırlılığı aynı zamanda deneyime bağlı olan bir özellik olduğu için ölçmek zordur. Bu tutucuların kullanım özelliklerinin yanısıra kullanım konforu aynı zamanda ameliyathanedeki diğer faktörlere bağlıdır. Hastanın konumu, prosedürün karmaşıklığı, kavrama ile ilgili diğer enstrümanların kullanımı, bu faktörlere örneklerdir.

Bir tutucunun kullanımına ilişkin diğ er bir yönü hastadır. Cihaz ayrıca hasta için ayarlanmış olmalıdır. Yine de bu geleneksel aletlerle bir organa zarar vermek nispeten kolaydır. Bu durum, yeni bir kavrama aletinin hastayla ilgili kullanımında atravmatik olması gerektiği anlamına gelir. Atravmatik, bu tezde kullanıldığı şekliyle aletin hastaya zarar vermediği, daha belirgin olarak kavradığı organa zarar vermediği anlamına gelir. Bu bakımdan cihaz hasta güvenliğine katkıda bulunur.

Bu nedenle güvenilir ve güvenli tutucu aletlerin geliştirilmesi önemlidir. Bu bağlamda temassız tutma tekniği, organları tutmak için kullanılabilecek önemli ve hayati bir tekniktir.



### 3. LİTERATÜR TARAMASI

Medikal alanda kullanılabilecek bir temassız tutucunun tasarlanıp imal edilebilmesi için öncelikle sert ve esnek malzemelerin Bernoulli Prensibi ile temassız bir şekilde tutulup, kaldırılabilmesi üzerine geniş bir literatür araştırması yapılmıştır. Yapılan bu araştırmalar sonucunda esnek ve esnek olmayan nesnelerin temassız kaldırılması ve taşınması üzerine bazı deneysel çalışmaların yapıldığı görülmüştür.

#### 3.1. SERT NESNELERİN TUTULMASI

Bernoulli tutucu, Şekil 3.1’de görüldüğü gibi merkezinde dairesel bir delik olan tutucu yüzeyden oluşur. Akışkan, merkezi delik boyunca akar ve tutucu yüzeyin merkezine yerleştirilmiş bir nozuldan çıkar. Bernoulli prensibi, hem sıvı hem de hava ile çalışabilir. Yapılan çalışmaların geneli, hava ile çalışan Bernoulli tutuculardır. Tutucu yüzey, bir nesneye yaklaştırıldığı zaman hava, tutucu yüzey ile nesne arasındaki dar aralıktan tutucu yüzeyin şekli üzerinden radyal olarak dışarı akar. Bernoulli prensibi enerjinin korunumu yasasından çıkarılabilir. Buna göre nesne ile tutucu yüzey arasındaki dar bölgede akışkanın hızı arttıkça o bölgedeki basınç azalır. Bernoulli Prensibi aşağıdaki formül ile belirtilmiştir.

$$\left(\frac{1}{2}\rho V^2 + P\right)_1 = \left(\frac{1}{2}\rho V^2 + P\right)_2 \quad (3.1)$$

$\rho$ , havanın yoğunluğunu,  $v$  hızı,  $P$ , Şekil 3.1’deki tutucuda gösterilen 1. ve 2. bölgedeki basıncıdır. Nesne üzerindeki toplam kaldırma kuvveti sistemin çekme ve itme kuvvetlerinin farkına eşittir.

$$F_{toplam} = F_{çekme} - F_{itme} \quad (3.2)$$

Çekme kuvveti, nesne ve tutucu arasında oluşan basınç farkına ve tutucu yüzün yüzeyine bağlıdır. Çekme kuvveti;

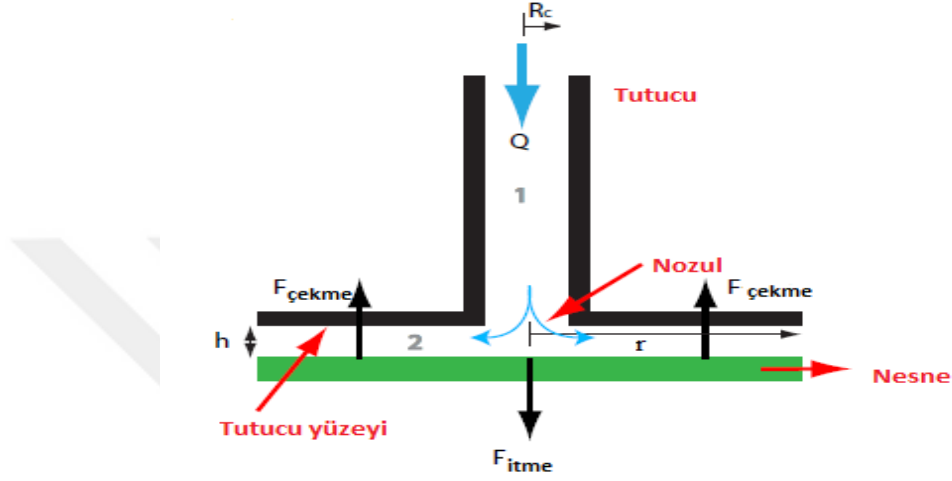
$$F_{çekme} = \frac{\rho Q^2}{4\pi h^2} \left[ \ln\left(\frac{r}{R_c}\right) - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{R_c}{r}\right)^2 \right] \quad (3.3)$$

$Q$  hava debisi,  $h$  nesne ile tutucu arasındaki yükseklik,  $r$  tutucunun yarıçapı ve  $R_c$  nozul çapıdır. Ayrıca nozuldan çıkan basınçlı hava akımı itme kuvvetine neden olur ve bu

kuvvet nesneyi tutucudan uzağa iter. Bu itme kuvveti aynı zamanda basınç farkına ve yüzeye bağlıdır. Dinamik basınç ile itme kuvveti birleştirildiği zaman itme kuvveti şöyle yazılır.

$$F_{itme} = \rho \frac{Q^2}{\pi R_c^2} \quad (3.4)$$

$F_{itme}$  itme kuvveti,  $\rho$  havanın yoğunluğu,  $Q$  hava debisi,  $R_c$  nozul çapıdır.

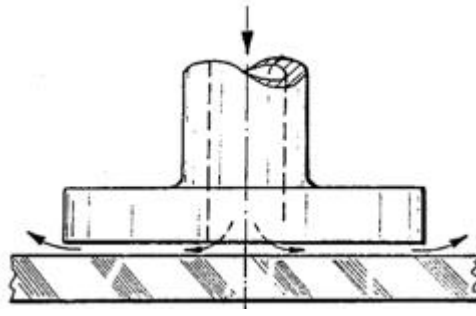


Şekil 3.1. Bernoulli tutucunun bir kesiti.

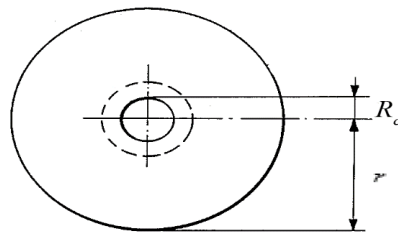
Eğer toplam kaldırma kuvveti, kaldırılacak nesnenin ağırlığından büyükse, nesne kaldırılabilir. Nesnenin tutulacağı  $h$  yükseklik, kütle korunumu kanunu kullanılarak hesaplanabilir. Sıfırdan büyük yükseklikte nesne, tutucuya dokunmadan kaldırılır. Bernoulli Prensibi, sert nesnelerin tutulması üzerine odaklanmıştır. Bu yüzden doku gibi esnek nesneleri tutma konusunu açıklamak için literatürdeki örnekler kullanılmıştır. Geçmiş çalışmalarda sunulan Bernoulli tutucular, değişik ağırlık ve boyuttaki nesneleri tutabilmektedirler. Literatürde tutulan en küçük nesne 4x4 mm boyutlarında nozul yarı çapı  $R_c$ : 0.1 mm ve tutucu yüzey yarıçapı  $r$ : 4 mm olan silikon çip olarak tanımlanmıştır [40].

Literatürdeki en büyük kaldırma kuvveti, nozul yarıçapı  $R_c = 4$  mm ve tutucu yüzey yarıçapı  $r=45$  mm, debi  $Q= 288$  L/dk. ile  $F_{top}=50$  N olarak Dini'nin [41] çalışmasında bulunmuştur. Bu iki örnek teoride olanları ispatlamaktadır. Yani toplam kaldırma kuvveti, tutucu yüzeyin yarıçapı  $r$ , hava debisi  $Q$  ve nozul yarıçapı  $R_c$  arttığı zaman artar.

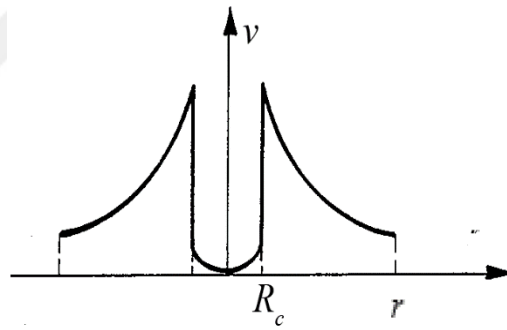
Hava akış hızı  $V$  ve basınç  $P$  tutucu yüzeyin merkezinden kenarına hareket ederken değişir. Bu davranış Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'de gösterilmiştir [42].



Şekil 3.2. Sert bir nesne ile Bernoulli tutucunun yandan görünüşü [42].

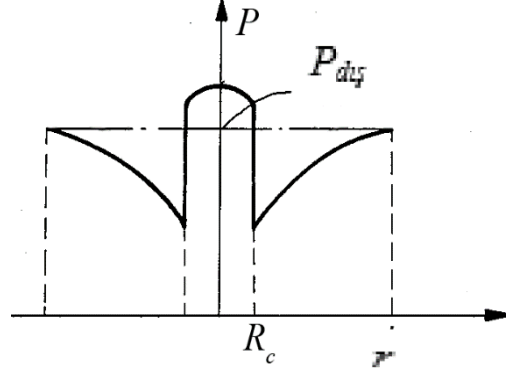


Şekil 3.3. Bernoulli tutucunun alttan görünüşü [42].



Şekil 3.4. Değişken yarıçap için çizilmiş tutucu yüzey ile nesne arasındaki niteliksel

hava akış hızı [42].



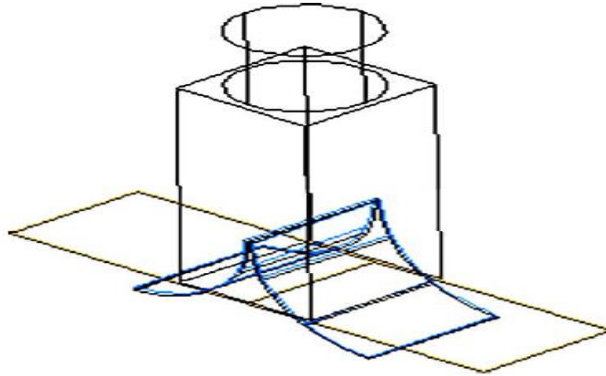
Şekil 3.5. Değişken yarıçap için çizilmiş tutucu yüzey ile nesne arasındaki niteliksel

basınç [42].

Teori, hava akışının artmasının daha büyük bir kaldırma kuvveti ile sonuçlanacağını göstermektedir. Ancak subsonic ve supersonic akış arasında önemli bir geçiş vardır. Akış, yüzey ile hız çarpılarak hesaplanabilir. Supersonic akış hızı ses hızından daha büyüktür. Bu hızlarda tutmanın şok dalgaları gibi istenmeyen etkileri vardır. Bu şok dalgalar bir patlama olan sonic patlaması ile ilgilidir.

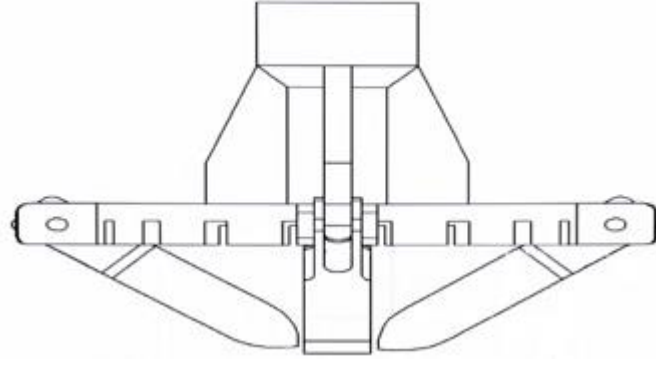
Tutucular, değişik işlerin yanında gıda endüstrisinde de kullanılmaktadır.

Rawal ve arkadaşları [43], bisküvi imalat endüstrisinde kullanılmak üzere ürünlerin herhangi bir mekanik temas olmadan taşınması için Şekil 3.6'da görüldüğü gibi dikdörtgen kesitli bir tutucu tasarlamıştır. Bu tutucu, ürün ile arasında Bernoulli prensibine uygun yüksek hızlı akış üretilmesi sonucunda oluşan vakum ile ürünün kaldırılması ilkesiyle çalışmaktadır. Gıda ürünlerinin taşınması sırasında doğrudan temastan dolayı üründeki kirlenme riskini önlemek için temassız tutucuya ihtiyaç duyulmuştur. Mevcut çalışma, bisküvi endüstrisinde radyal akış nozullarının kullanılabilme olasılığını araştırmıştır.



Şekil 3.6. Dikdörtgen kesitli nozul [43].

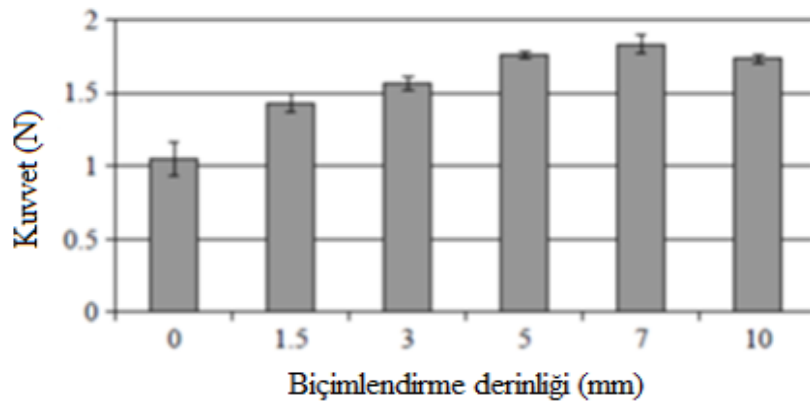
Sam ve Nefti [44], Sam ve Buniyamin [45], yuvarlak, düz ve düzensiz şekilli gıda ürünleriyle bir deney gerçekleştirmiştir. Yuvarlak nesne için ağırlık aralığı düz ve düzensiz şekilli nesnelerle kıyaslandığında sert bir biçimde azaldığı sonucuna varılmıştır. Ağırlığın azalmasının arkasındaki nedeni yuvarlak nesnenin yüzey düzgünlüğüdür. Deneyler, yüzey pürüzlülüğü arttıkça kaldırma kabiliyetinin azaldığını doğrulamıştır ve düzensiz şekilli gıdalar için düz gıda çeşitlerinden daha yüksek hava akış hızına ihtiyaç duyulmuştur. Bernoulli prensibi ile hava kullanılarak çalışan dört parmaklı tutucu Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.7. Dört parmaklı çok fonksiyonlu tutucu [45].

Toklu ve Erzincanlı [46], esnek malzemeleri kaldırmak için temassız tutucunun radyal akışı için sayısal model geliştirerek debinin artmasıyla tutucu ile kaldırılan nesne arasındaki boşluk aralığının arttığını ve Reynold sayısının artmasıyla negatif basıncın arttığını ortaya çıkarmıştır.

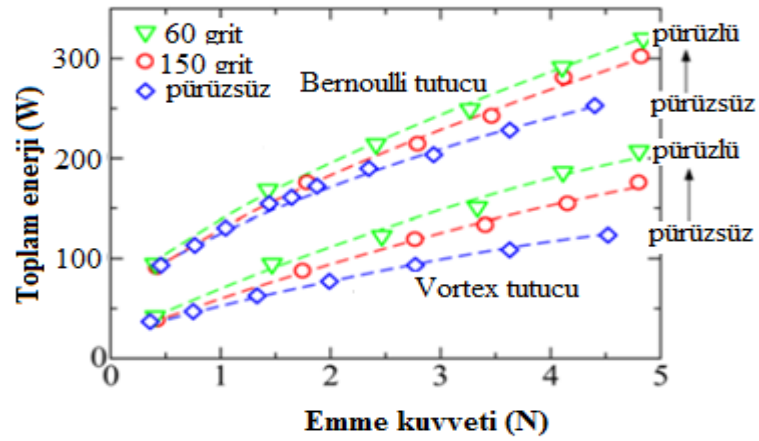
Petterson ve Ohlson [47], deforme olabilen yüzey kullanarak düzlemsel ve üç boyutlu gıda ürünlerinin taşınması için Bernoulli prensibi ile çalışan bir tutucu test etmiştir. Deforme olabilen yüzey, biçimlendirilerek kaldırma kuvveti oluşturmak için kullanılmıştır. Kaldırma kuvvetini arttırmak için küçük bir şekillendirme derinliği değerine gerek duyulmuştur. Bu çalışmaya göre kaldırma kuvveti, biçimlendirme derinliği arttıkça artmaz, bu yüzden optimum değer korunmalıdır. Kuvvet ve biçimlendirme derinliği arasındaki ilişki Şekil 3.8’ de görülmektedir. Biçimlendirme derinliği arttıkça, optimum değere ulaştığında kuvvet artışı ortaya çıkmaktadır, kuvvet biçimlendirme derinliği ile azalma eğilimi gösterir. Nedeni tutucunun dış kenarındaki sürtünme kaybıdır.



Şekil 3.8. Kuvvet ve biçimlendirme derinliği grafiği [48].

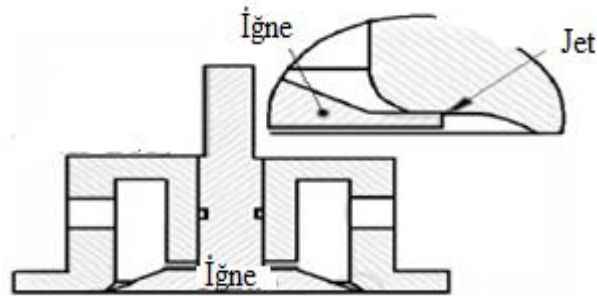
Yazarlar, 70 gr'dan daha az ve düzgün yüzeye sahip bir nesne için Bernoulli prensibi ile çalışan üç boyutlu bir tutucunun uygun olduğunu önermiştir. Petterson, peynir diliminin kaldırılması için yaptığı deney sonucunda 96 l/dk hava akış hızında kaldırılabilirdiğini bulmuş, fakat kaldırdıktan sonra kaymış ve dilim hava jetinin girmesi ile yırtılmıştır.

Li ve arkadaşları [49] , vortex tutucu ile geleneksel Bernoulli tutucunun enerji tüketimini deneysel olarak analiz etmiş ve karşılaştırmıştır. Aynı çalışma şartlarında vortex tutucunun güç tasarrufu avantajına sahip olduğu sonucu çıkarılmıştır. Tutucunun basınç dağılımı, deformasyon ve iş parçasının iç gerilmeler aynı seviyededir. Vortex tutucunun üzerindeki yüzey pürüzlülüğü Bernoulli tutucudan daha çok etkilenir. Vortex tutucu ile Bernoulli tutucunun enerji tüketiminin karşılaştırıldığı grafik Şekil 3.9'da görülmektedir.



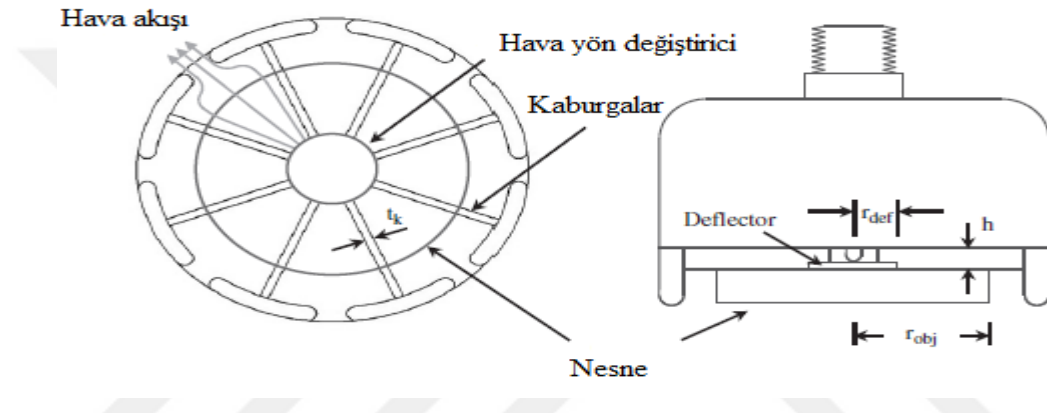
Şekil 3.9. Toplam enerji ve emme kuvveti [49].

Journee ve arkadaşları [50] pimli bir Bernoulli tutucu önermiştir. Tutucuda Şekil 3.10'da gösterildiği gibi konkav nozula benzer bir hava yönlendirici plaka kullanılmıştır. Bu tutucu, büyük plakaları taşımak için kullanılmaktadır ve yüzeyi gerektiği kadar genişletilebilmektedir.



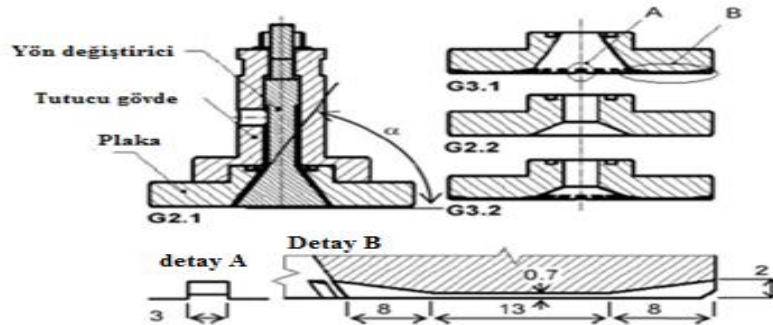
Şekil 3.10. Pimli Bernoulli tutucu [50].

Davis ve arkadaşları [51], dilimlenmiş domates ve salatalık tutmak için hava yönlendiricili bir tutucu geliştirmiştir. Nesnenin üzerine akan kuvvetli hava akışının, kaldırılan nesneye direk teması ile oluşabilecek hasarın önlenmesi hava yönlendirici ile çözülmüştür. Yönlendirici nozula bağlanır ve hava akışını eksenel yönden radyal yön boyunca  $90^\circ$  saptırır. Fakat dezavantajı, nesne tutulduğu zaman yönlendiricide Bernoulli etkisi olmadığından ürün temas eder. Bu yüzden tutucu tamamen temassız değildir. Kaldırılan ürünün tutucuya temasını önlemek için tutucunun yüzeyine bir dizi kaburga yapmıştır. Yazar 6 mm ve 10 mm çaplı hava yönlendiricili tutucuları test etmiş ve sonucunda 6 mm deflektör çaplı tutucunun 10 mm çaplıya göre daha çok kaldırma kuvveti elde ettiğini tespit etmiştir. Yönlendirici plakalı tutucu Şekil 3.11’de görülmektedir.



Şekil 3.11. Yönlendirici plakalı tutucu [51].

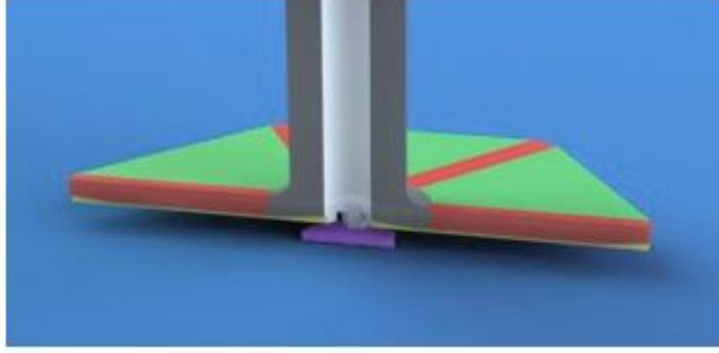
Dini [41], Şekil 3.12’de gösterildiği gibi farklı bir Bernoulli tutucu geliştirmiştir. Küçük açılı yön değiştirici ile ( $\alpha$ ) kaldırma kuvvetini arttırmak, deri yüzeyindeki (sığır ve keçi derisi) izleri azaltmak ve tutucunun performansını arttırmak için tutucu yüzey üzerine radyal Venturi kanalları açmıştır.



Şekil 3.12. Radyal kanallı tutucu [41].

Trommelen, Bernoulli prensibine dayalı medikal bir tutucu geliştirmiştir. Hava akış hızındaki artış, tutucu yüzeyin ve nozulun yarıçapının kaldırma kuvvetine pozitif etki

yaptığını belirtmiştir. Tutma sırasında dokuların güvenliğini sağlamak için hava akışının yönü üzerine çalışmıştır. Tutucunun hasta karnına kolay yerleştirilebilmesi ve çıkartılabilmesi için Şekil 3.13’de görüldüğü gibi genişletilebilir ve daraltılabilir Bernoulli tutucu tasarlamıştır. Deney sonuçları, 128 m/s den daha yüksek bir hızın doku hasarına neden olduğunu göstermiştir.



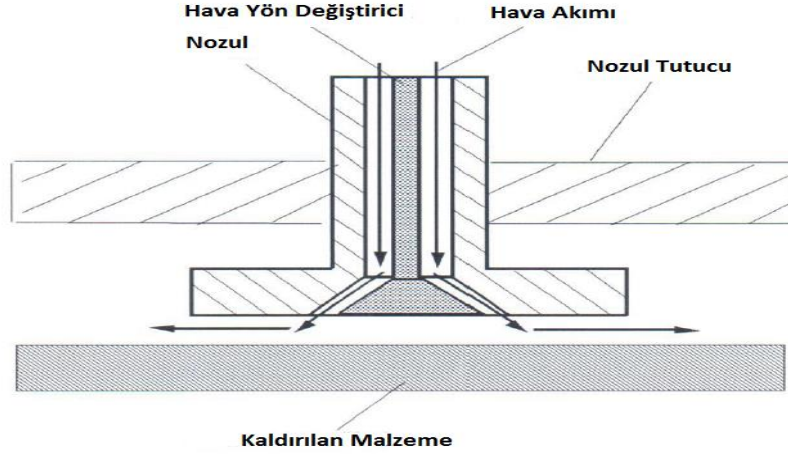
Şekil 3.13. Tutucunun enine kesiti [52].

Paivanas ve Hassan, sert yarı iletken levhaların temassız taşınması için radyal olarak uzaklaşan hava akımı üzerine çalışmıştır. İlk tasarım değişiklikleri radyal hava akışının levha yüzeyine doğrudan çarpmasını önlemek için bir uç milin kullanımını içermektedir [53].

Erzincanlı, Bernoulli etkisine dayalı, gıda ürünlerinin taşınması için temassız bir tutucu geliştirmiştir. Tutucu, nozul ve ürün yüzeyi arasında yüksek hızlı bir akışkan akışı üretme prensibi üzerine ve radyal çıkış kavramı olayı kullanılarak geliştirilmiştir, böylece ürünü havaya kaldıracak vakum oluşmuştur.

Erzincanlı, esnek malzemelerin kaldırılması için standart nozul tasarlamıştır [54]. Fakat standart nozul ile esnek malzemelerin kaldırılmasında bazı sınırlamalar tespit etmiştir. Nozuldan gelen basınçlı hava akışının, narin esnek malzemeye direk çarpması sonucunda yüzeylerinde iz bıraktığını ve ürünlere zarar verdiğini ifade etmiştir. Bu da ürün kalitesi açısından istenmeyen olumsuz algılara neden olabilmektedir.

Erzincanlı, hem narin yapılı hem de hava geçirgen özelliği olan malzemelerin kaldırılmasında yeni bir nozul geliştirmiştir. Bu nozul üzerine monte edilen Şekil 3.14’de görüldüğü gibi koni şeklinde hava yön değiştiricisi ile malzemenin üzerine direk gelen basınçlı havanın yönünü değiştirerek kaldırma sırasında malzemenin yüzeyinde oluşabilecek izleri ve hasarları ortadan kaldırmıştır.



Şekil 3.14. Yön değiştiricili nozul [54].

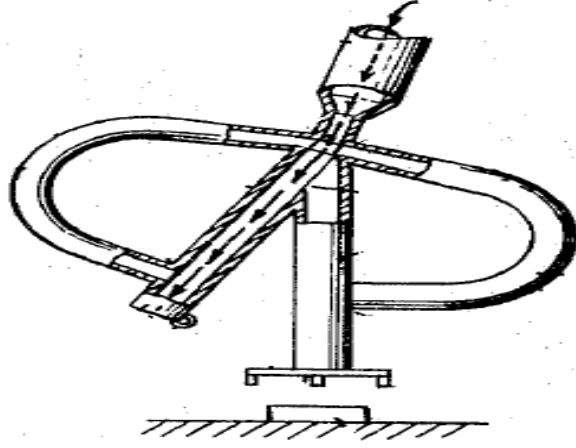
Özçelik [55], dokuma kumaşlarını ve diğer malzemeleri temassız tutucu kullanarak kaldırmak üzere deneysel çalışmalar yapmıştır. Yatay yöndeki taşıma hızı çalışılmıştır. Deney sonuçları optimum hava basıncına ihtiyaç olduğu sonucu ile sonuçlanmıştır. Eğer hava basıncı artarsa dokuma kumaşlar tutucu yüzeyinden kaymaktadır.

Bu tez çalışmasında farklı olarak Bernoulli prensibi ile hava kullanılarak çalışan tıbbi tutucular geliştirilerek imalatı yapılan bu tutucular ile cansız tavuk organları üzerinde deneysel çalışmalar yapılmış ve bu tutucuların Laparoskoik cerrahide uygulanabilirliği araştırılmıştır.

### 3.2. BERNOULLI TUTUCU PATENTLERİ

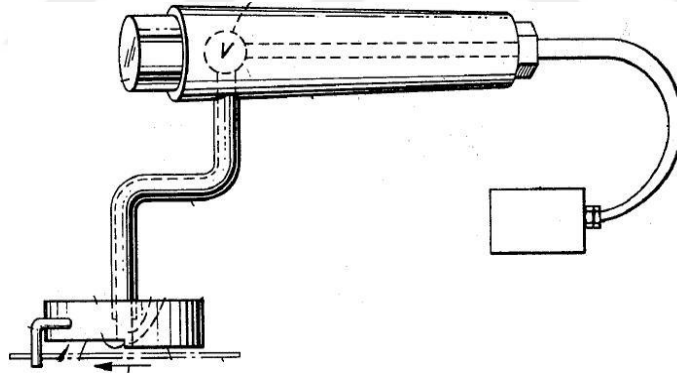
Bernoulli tutucu için elde edilen patentler aşağıda açıklanmıştır.

Benjamin, 1969 yılında sert, yuvarlak, yarı iletken plakaları Bernoulli tutucu ile kaldırmak için ilk patenti almıştır. Şekil 3.15’de gösterilen tutucu bir santimetre kare düz nesneleri kaldırmak için kullanılmaktadır. Tutucu yüz, nesne yüzeyine paralel şeklindedir. Hava probun bir ucundan girer ve nesne Bernoulli prensibi ile kaldırılır.



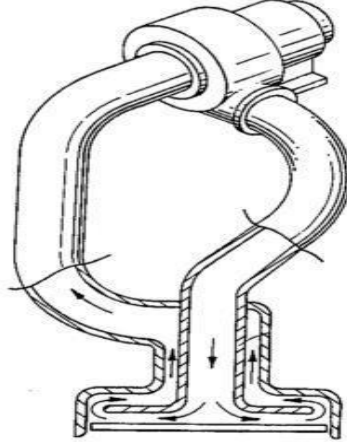
Şekil 3.15. Probu Bernoulli tutucu [56].

Mammel, 1969 yılında dilimlenmiş nesneyi (yarı iletken) kaldırmak için tasarlanan tutucuya patent almıştır. Tutucu, iş parçası üzerine sabit bir yönde yanal bir kuvvet uygular. Çalışma yüzü ve çıkıntılı basamak birlikte kaldırma başını oluşturmaktadır. Akışkan çalışma yüzünün ve basamağın birleşiminde biten kanal ile kaldırma kafasına kadar ulaşır. Bernoulli ilkesi ile iş parçası kaldırılır. Tutucunun şematik diyagramı Şekil 3.16’da gösterilmektedir.



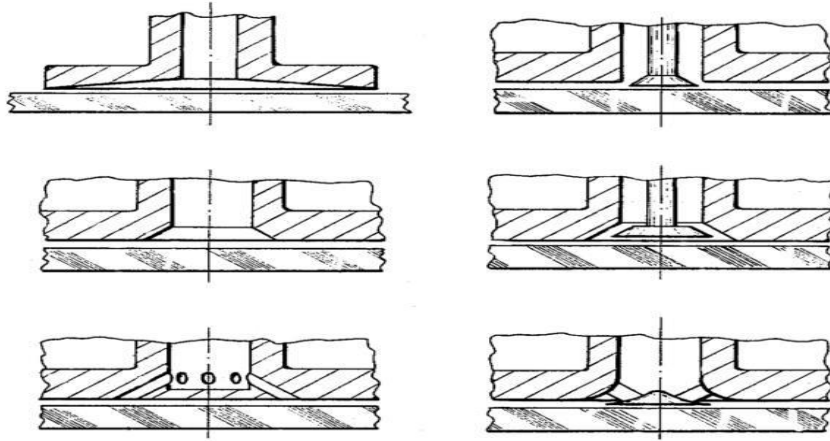
Şekil 3.16. Kademeli yüzü Bernoulli tutucu [57].

Kuma, 1988 yılında patentini aldığı tutucu, Bernoulli prensibi ile plakaları kaldırmak için kullanılmaktadır. Tutucudaki hava akışı, Şekil 3.17’de okla gösterilmiştir. Kaldırma için kullanılan basınçlı havanın sistemden dışarı kaçmasına izin verilmemektedir. Emiş borusu ile emilir. Emme tüpünün kenarları, kaymayı önlemek için nesnenin kenarlarına kadar uzatılmıştır.



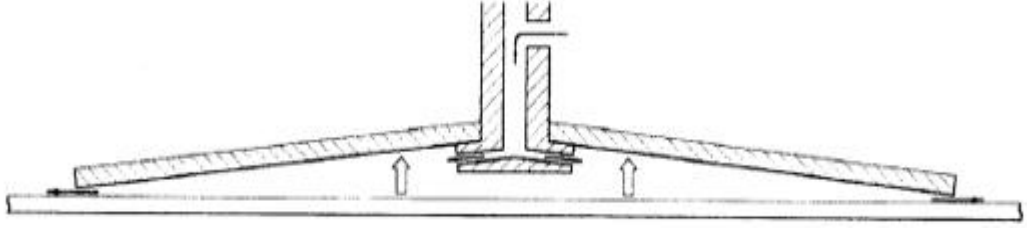
Şekil 3.17. Emiş borulu Bernoulli tutucu [58].

Carlomagno, 1990 yılında aldığı patentte Şekil 3.18’de gösterildiği gibi tutucunun farklı biçimlerin en iyisini seçmek ve sıcak cam plakayı tutmak için önerilmiştir. İhtiyaçlara göre tutucular seçilmektedir.



Şekil 3.18. Farklı nozullu Bernoulli tutucu [42].

Okugi 2002 yılında Şekil 3.19’da görüldüğü gibi genişletilebilir sistemli Bernoulli tutucu patenti almıştır. Tutucunun yüzey bölgesinde konkav nozula benzeyen yönlendirme plakası kullanılmıştır. Bu tutucu, büyük plakaları tutmak için kullanılır ve yüzeyi gerektiği kadar genişletilebilir. Silikon plakalardan gıda malzemelerine kadar esnek ve esnek olmayan malzemelerin farklı çeşitlerini tutmaya olanak sağlamaktadır.



Şekil 3.19. Genişletilebilir sistemli Bernoulli tutucu [59].

Değişik özelliklerdeki nesneleri tutmak ve hareket ettirmek için tasarlanan bu tutucuların kullanım alanları genellikle endüstriyel alandır. Bu tutucular tıbbi alanda kullanılamamaktadır. Bundan dolayı bu tez çalışmasında Laparoskopik cerrahi için yeni bir tutucu geliştirilmiştir.

## 4. TEORİK ANALİZ

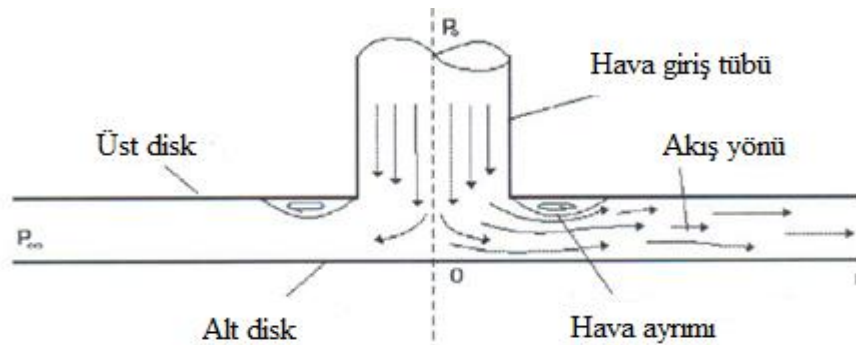
### 4.1. GİRİŞ

Radyal akış ile kaldırma metodu, teorik ve deneysel araştırmaların konusu olmuştur ve endüstride birçok uygulamaları bulunmuştur. Bu araştırmada tasarlanan temassız tutucularda da radyal akış metodu kullanılmıştır. Bu bölümde, radyal akışın temel ilkelerinin bir özeti verilmektedir. Radyal akış nozulu boyunca basınç dağılımını elde etmek için denklemler çıkarılmıştır.

### 4.2. RADYAL HAVA AKIŞI

Radyal akış modelinin şematik diyagramı Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Nozuldan gönderilen basınçlı hava, hızlı bir şekilde kaldırılacak malzemeye çarptıktan sonra, yanlara doğru malzeme yüzeyini yalayarak dağılırken nozul ve kaldırılacak malzeme arasında bir vakum kuvveti oluşur [60]. Bu aralıkta vakum kuvvetinin oluşmasının nedeni artan hava hızı ile birlikte basıncın azalması sonucu aralıktaki basınç değerinin atmosfer basınç değerinin altında olmasından dolayıdır.

Bir kaynaktan gelen basınçlı hava, üst diskin merkezindeki bir kanaldan girer ve alt diske çaptıktan sonra iki disk arasından radyal olarak dışarıya akar. Paralel diskler arasındaki havanın radyal akışı, diskler arasında hem çekme hem de itme kuvvetinin oluşmasına neden olur. Genellikle bir çekme kuvvetinin oluşması için, tutucu ile kaldırılan malzeme arasındaki aralığın merkezi kanal çapıyla karşılaştırıldığında çok küçük olması gerekir [61], [62].



Şekil 4.1. Radyal akışta akış modelinin şematik gösterimi [54].

Diskler arasındaki akış davranışının, diskler arasındaki aralık ve akışkanın debisinden önemli ölçüde etkilenmesi beklenir ve bu akış bu iki parametrenin değerine bağlı olarak laminar veya türbülanslı olur [63]. İki disk arasındaki aralığın oldukça küçük olması ve yeterli düşüklükteki Reynold sayısı nedeniyle radyal kanaldaki akış laminardır [64]. Türbülanslı Laminere ters geçiş, yarıçaptaki artışın yol açtığı hız azalması sebebiyle olabilir.

Akış, giriş ağzının kenarında cidardan ayrılır ve bu bölgede çember şeklinde bir ayrılma kabarcığı oluşmasına yol açar. Kabarcığın etrafından dolaşan akış, tekrar yukarı yönelerek üst diske yapışır. Böylece alt diskte rahatsız edilmemiş bir sınır tabakası oluşmuş iken üst diskte de yapışmadan sonra bir sınır tabakası oluşmaya başlar. Toplam akışın artması ile boğazdaki Reynold sayısı kritik bir değere ulaşır ve akış boğazdan belli bir uzaklığa kadar türbülanslı olarak devam edebilir.

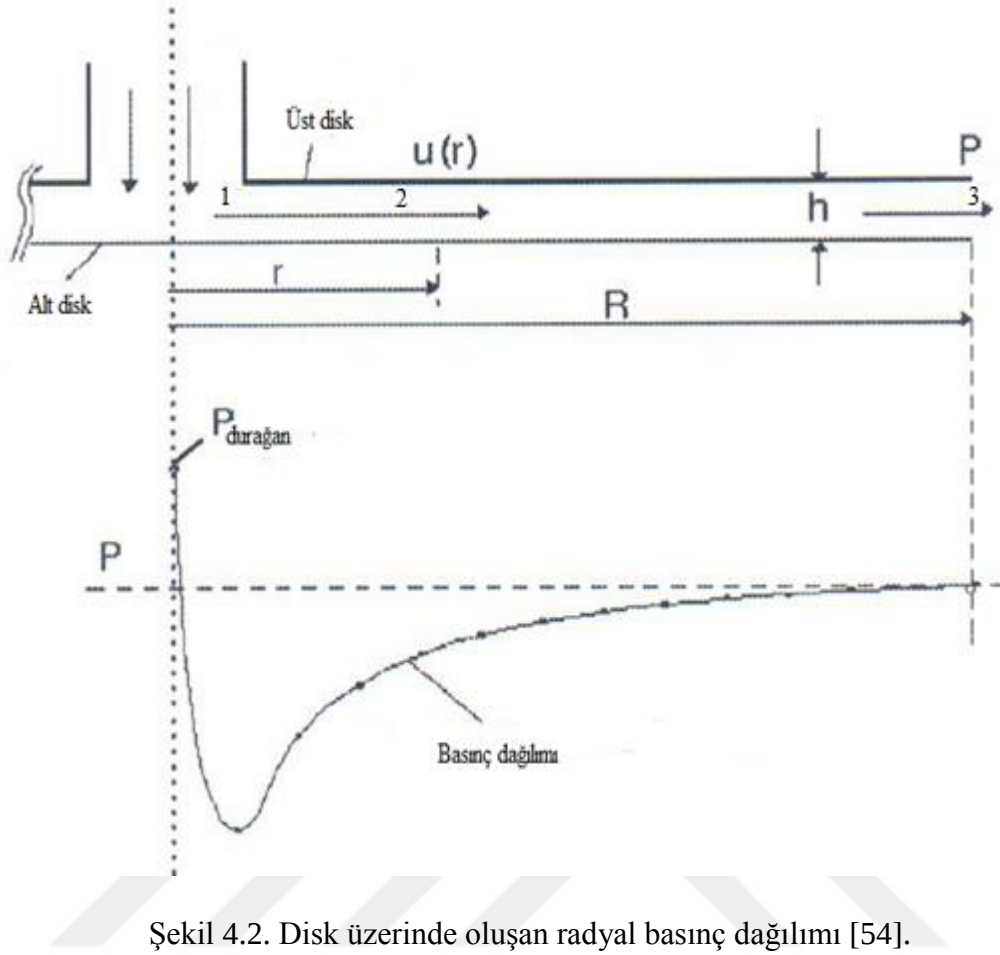
Yarıçapın artmasıyla hızın kritik olan Reynold sayısı için yeterli olarak düşmesi, akışın türbülanslı laminere ters akışla sonuçlanmasına neden olur. Eğer toplam akış daha da artarsa, kanaldaki akış tamamen türbülanslı olur ve sonuçta atalet şartları basıncın dağıtılmasını belirlemede viskoz kuvvetlere üstün gelir. Basınç, yarıçap artışıyla radyal yönde yükselir [65].

Kanal genişliği daha da arttırılırsa bu akış ön diskte bir radyal akış jeti olarak şekillenir. Bu durumda iki disk arasında itme kuvvetleri oluşmaya başlar ve alt disk uzağa itilir. Diğer bir ifadeyle, radyal akış nozulu standart bir hava nozulu olarak çalışır.

#### **4.3. RADYAL AKIŞIN TEORİK ANALİZİ**

Hava, Şekil 4.2’de görüldüğü gibi birbirine paralel diskler arasından radyal olarak akar. Diskler arasındaki alan tamamen hava ile doludur. Bir merkezi kanaldan hava aşağı doğru akar ve sonra diskler arasından radyal olarak dışa doğru akar. Disklerin dış tarafı atmosfere açıktır, böylece hava atmosferik çevreye boşalmış olur.

İki disk arasındaki boşlukta basınçlı hava dağılır. Genelde, viskoz sıkıştırılmış akışın benzer denklemleri, deneysel çalışmalarla yeterli derecede tartışılmıştır. Bununla beraber, bazı çalışma şartları altında özellikle yüksek basınç ve geniş aralıklarda bir basınç-çukur etkisi gözlenmiştir [66].



Şekil 4.2. Disk üzerinde oluşan radyal basınç dağılımı [54].

Havanın çıktığı ağız kısmın kenarında havanın basıncı düşüktür. Bu noktadan sonra basınç yükselir ve sonuçta diskin kenarından atmosferik basınca ulaşır [66].

Eğer basınç ve sıcaklık değişimleriyle yoğunluk çok az değişiyorsa, bu tür akışkanlara ise sıkıştırılamayan akışkanlar denir. Basınç ve sıcaklık ile yoğunluk çok değişiyorsa bu tür akışkanlara sıkıştırılabilen akışkanlar denir. Sıvılar genel olarak sıkıştırılamayan, gazlar ise sıkıştırılabilen akışkanlardır. Bununla beraber bu tanımlar tamamen geçerli olmayıp, sıcaklık veya basıncın limit değişme değerleri söz konusu edildiğinde, sıvıların yoğunluğunun büyük miktarda değiştiği görülür. Aynı zamanda küçük basınç ve sıcaklık değişimlerinde gazlar sıkıştırılamayan akışkan olarak kabul edilir ve böyle hallerde yoğunluk değişmesi ihmal edilebilir. Bu çalışmada ihmal edilmiştir.

#### 4.3.1. Tutucu Yüzey Üzerindeki Basınç

Bernoulli denklemini tutucu yüzeyin radyal hava akışına uygulamak için Şekil 4.2’de gösterildiği gibi iki nokta arasındaki debi dikkate alınmalıdır.

Debi şu şekilde verilir;

$$Q = V \cdot A \quad (4.1)$$

$Q$  debi,  $V$  havanın hızı,  $A$  tutucu yüzey alanını ifade eder.

1 ve 2 noktaları arasındaki debi;

$$Q = V_1 A = V_2 A \quad (4.2)$$

formülü ile hesaplanır.

$$A = 2\pi r h \quad (4.3)$$

Denklemde yerine konulursa

$$Q = 2\pi r h V_r = 2\pi r_2 h V_2 \quad (4.4)$$

Burada  $h$ , üst ve alt disk arasındaki mesafedir. Denklem sadeleştirilirse;

$$V_r r = V_2 r_2 \quad (4.5)$$

$$V_r = V_2 \frac{r_2}{r} \quad (4.6)$$

Sürtünme kuvveti ihmal edilirse;

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V_r^2}{2} + 0 = \text{sabit} \quad (4.7)$$

$$\frac{V_2^2}{2} = \text{sabit} \quad (4.8)$$

$$\frac{P}{\rho} = \frac{V_2^2 - V_r^2}{2} \quad (4.9)$$

Denklem 4.8, denklem 4.9'da yerine konulursa;

$$\frac{P}{\rho} = \frac{V_2^2}{2} \left[ 1 - \left( \frac{r_2}{r} \right)^2 \right] \quad (4.10)$$

Denklem verileri yeniden düzenlendiğinde;

$$\frac{P}{\rho} = \frac{V_2^2}{2} \left[ \left( \frac{r_2}{r} \right)^2 - 1 \right] \quad (4.11)$$

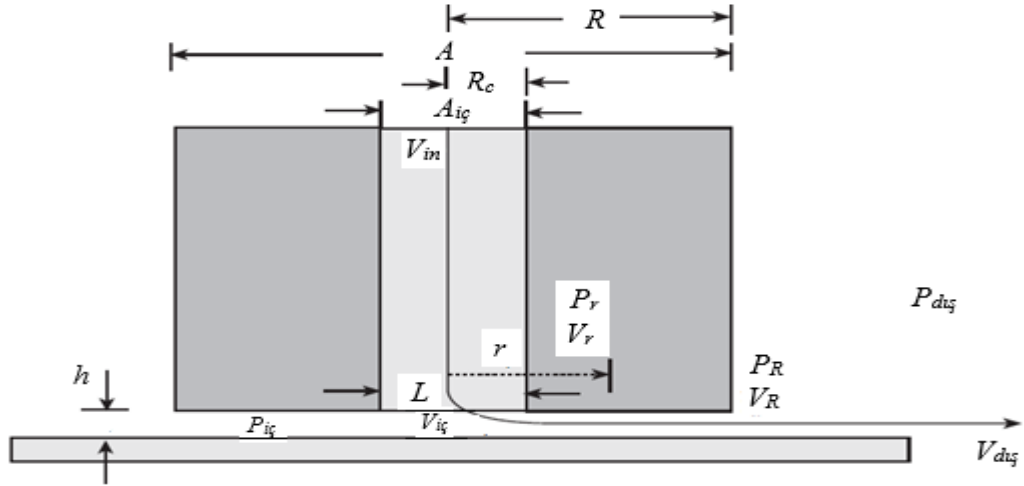
Denklem 4.8, denklem 4.11'de yerine konulursa;

$$\frac{P}{\rho} = -\text{sabit} \left[ \left( \frac{r_2}{r} \right)^2 - 1 \right] \quad (4.12)$$

Tutucu tarafından merkezden uzakta üretilen basınç Denklem 4.12 kullanılarak hesaplanabilir.

#### 4.4. BERNOULLI PRENSİBİ

Bernoulli prensibi, akışkanların hızı ile basıncı arasındaki ilişkiyi açıklar. Buna göre hareket halindeki akışkanın hızı ile akışkanın uyguladığı basınç arasında ters orantı vardır. Bernoulli prensibine bağlı olarak hava ile çalışan standart tutucularda basınçlı hava, Şekil 4.3’de görüldüğü gibi merkezi bir kanal boyunca kaldırılacak nesneye çarpıncaya kadar akar. Bu hava, nesne üzerinde, nesneyi tutucudan uzaklaştıran itici bir kuvvet oluşturur. Tutucunun dairesel yapısından dolayı hava, merkezi kanaldan her yöne yayılır. Nesneye çarpan basınçlı hava, radyal yönde saparak tutucu ile nesne arasından atmosfere akar. Tutucu, nesneye kaldırmak için yaklaştırıldığında nesne ile arasındaki boşluk azalır ve havanın hızı da artmış olur. Bu esnada, tutulan nesnenin üst ve alt yüzeyleri arasındaki basınç farkı nedeniyle tutucu ile nesne arasında çekici bir kuvvet meydana gelir. Çekme kuvveti, itme kuvvetinden daha büyük olduğunda nesne, tutucu yüzeye doğru çekilir. Tutucu, nesneye yaklaşmaya devam ettikçe çekme kuvveti ve itme kuvveti artacaktır. Sonunda nesne, bir denge noktasına ulaşır ve tutucu ile nesne arasında herhangi bir temas olmadan tutulur. Prensipler Şekil 4.3 kullanılarak açıklanmış ve değişkenler aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Tüm değişkenlerin şematik gösterimi [52].

Bernoulli prensibi ile çalışan tutucular ile nesne kaldırırken, kaldırılan nesnenin düz ve katı olduğu kabul edilir. Bernoulli Prensibi için diğer kabuller;

Bernoulli Prensibi, enerjinin korunumu yasasına dayanmaktadır. Nesne ve tutucu yüzey arasındaki bölgede hız arttığı zaman basınç azalır.

Bernoulli ilkesi;

$$\left( \frac{1}{2} \rho V^2 + \rho g z + P \right)_{iç} = \left( \frac{1}{2} \rho V^2 + \rho g z + P \right)_{dış} \quad (4.13)$$

Basınç farkı dış basınç ve iç basınç arasındaki farktır. Standart şartlarda dış basınç 1 atmosferdir.

$$\Delta P = P_{dış} - P_{iç} \quad (4.14)$$

Tutucu dışındaki akım hattındaki hız 0 m/s kabul edilir.

$$V_{dış} = 0 \quad (4.15)$$

Merkezi kanala giren akışkan miktarı kütlenin korunumundan dolayı tutucudan çıkan akışkan miktarı ile aynıdır ve şu şekilde belirtilir.

$$V_{iç} r 2\pi h = V_{iç} A_{iç} \quad (4.16)$$

(4.13) ve (4.16)'ün birleştirilmesi sonucunda

$$P_{iç} = P_{dış} + \frac{1}{2} \rho \left( \frac{V_{iç} A_{iç}}{r 2\pi h} \right)^2 \quad (4.17)$$

denklemleri oluşur.

Kütlenin korunumu ile birlikte, bu problem çözülebilir. Basınç farkı, merkezi kanala yakın bir yarıçap için yüksektir ve tutucunun ucuna doğru daha küçük olur. Değişkenlerin doğru değerleri ile 1 atmosferden daha küçük iç basınçlar elde edilir ve dolayısıyla bir çekim kuvveti oluşur.

#### 4.4.1. Nesne Üzerine Etki Eden Kuvvetler

Nesne üzerindeki toplam kaldırma kuvveti, sistemin çekme ve itme kuvvetlerinin artı kalan kısmıdır.

$$F_{toplam} = F_{çekme} - F_{itme} \quad (4.18)$$

Çekme kuvveti, nesne ve tutucu arasında oluşturulan ve tutucunun yüzeyine bağlı basınç farkı ile üretilir.

$$F_{çekme} = \Delta P A = \int (P_r - P_R) 2\pi r dr \quad (4.19)$$

Basınç farkının denklemi aşağıdaki gibi Bernoulli ilkesinden türetilir.

$$P_r + \frac{1}{2} \rho V_r^2 = P_{dış} + \frac{1}{2} \rho V_R^2 \quad (4.20)$$

$$(P_r - P_{dış}) = \frac{1}{2} \rho (V_r^2 - V_R^2) \quad (4.21)$$

Bu durumda  $P_r$  ,  $P_{dış}$  'a eşit kabul edilir. Bu durumda  $V_r$  kütleinin korunumu kuralını kullanarak tekrar yazılabilir.

$$Q = v r 2 \pi r h \quad (4.22)$$

$$V_r^2 = \frac{Q^2}{4 \pi^2 h^2} \frac{1}{r^2} \quad (4.23)$$

Denklem 4.21'e Denklem 4. 23 uygulandığında basınç farkı aşağıdaki gibi olur.

$$(P_r - P_{dış}) = \frac{\frac{1}{2} \rho Q^2}{4 \pi^2 h^2} \left[ \frac{1}{r^2} - \frac{1}{R^2} \right] \quad (4.24)$$

Bu,  $F_{çekme}$  'yi hesaplamak için yüzeyin üstüne entegre edilebilir.

$$F_{çekme} = \frac{\frac{1}{2} \rho Q^2}{4 \pi^2 h^2} 2 \pi \int_{R_c}^R r \left( \frac{1}{r^2} - \frac{1}{R^2} \right) dr \quad (4.25)$$

$F_{çekme}$  'nin son denklemi için basitleştirilebilir.

$$= \frac{\rho Q^2}{4 \pi h^2} \int_{R_c}^R \left[ \frac{1}{r} - \frac{1}{R^2} \right] dr = \frac{\rho Q^2}{4 \pi h^2} \left[ \ln r - \frac{\frac{1}{2} r^2}{R^2} \right]_{R_c}^R \quad (4.26)$$

$$F_{çekme} = \frac{\rho Q^2}{4 \pi h^2} \left[ \ln \left( \frac{R}{R_c} \right) - \frac{1}{2} \left( 1 - \left( \frac{R_c}{R} \right)^2 \right) \right] \quad (4.27)$$

Çekme kuvveti Denklem 4. 27 ile hesaplanır. Buna ek olarak nozuldan gelen sıkıştırılmış hava itme kuvvetine neden olur. Bu da nesneyi tutucudan iter. Bu kuvvet aynı zamanda basınç farkına ve yüzeye bağlıdır. Bu dinamik kuvvet ile birleştirildiği zaman itme kuvveti şu şekilde yazılır.

$$F_{itme} = \rho V_{iç}^2 A_{iç} \quad (4.28)$$

Burada  $\rho$  havanın yoğunluğu,  $V_{iç}$  merkezi delikteki havanın hızı,  $A_{iç}$  merkezi deliğin alanıdır.

Bu da şu şekilde yazılabilir.

$$V_{iç} = \frac{Q}{A_{iç}} \quad (4.29)$$

$$F_{itme} = \rho \frac{Q^2}{\pi R_c^2} \quad (4.30)$$

Bernoulli'nin bir kabulü akışın laminar olmasıdır. Bunun manası akışta herhangi bir bozulma yoktur ve Reynold sayısı 2300'den küçük olmalıdır. Eğer Reynold sayısı 2300'ün üzerinde ise akış türbülanslıdır. Reynold sayısı;

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \text{ ile hesaplanır.} \quad (4.31)$$

$\rho$  yoğunluğu,  $V$  havanın hızı,  $d$  tutucu delik çapı,  $\mu$  viskositeyi ifade eder.

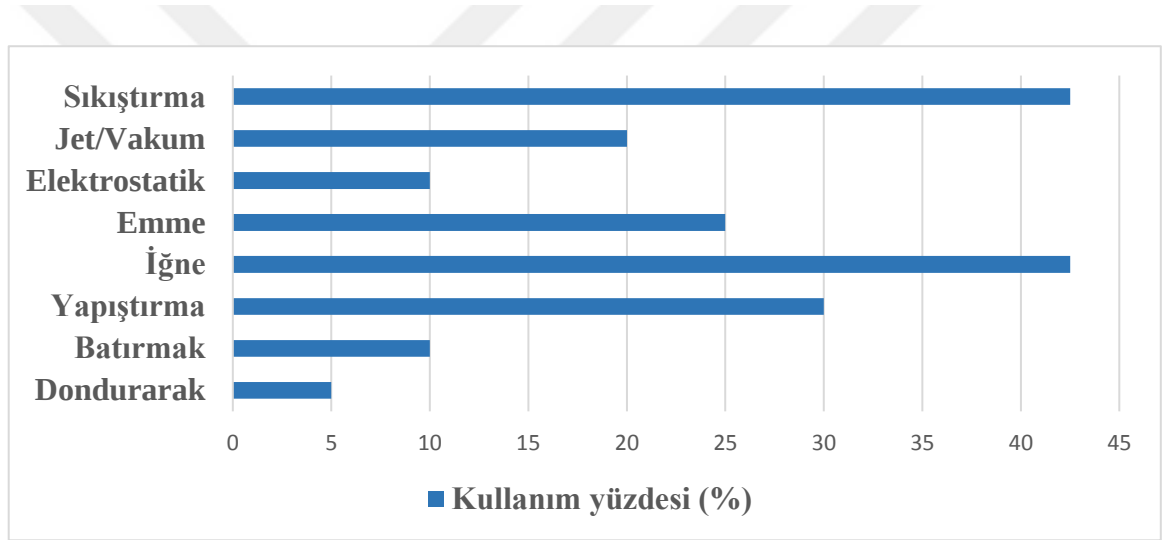
Basınç farkının fazla olması için büyük bir Reynolds sayısı istenir [67]. Eğer Reynolds sayısı 1'in altına düşerse, viskoz etkiler devreye girer. Bu da kaldırma kuvveti üzerinde negatif bir etki yapar, çünkü sürtünme kuvveti rol oynamaktadır.



## 5. TUTUCULAR

Tutucular, nesnelerle doğrudan temas halinde bulunan unsurlardır. Bir tutucunun tanımlanmasının en iyi yolu, insan elini düşünmektir. Bir tutucu, bir el gibi bir nesnenin tutulması, sıkılması, taşınması ve bırakılmasına olanak sağlar.

Birçok farklı tutucu tipleri vardır. En çok kullanılan tutucu tipleri çene tipli, vakum ve manyetik tutuculardır. Tutucu tipleri, aynı zamanda üç ana grupta sınıflandırılabilir. Tek yüzey tutucular, sıkma tutucular ve esnek tutucular [68]. Tutma çeşitlerinin kullanım yüzdeleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

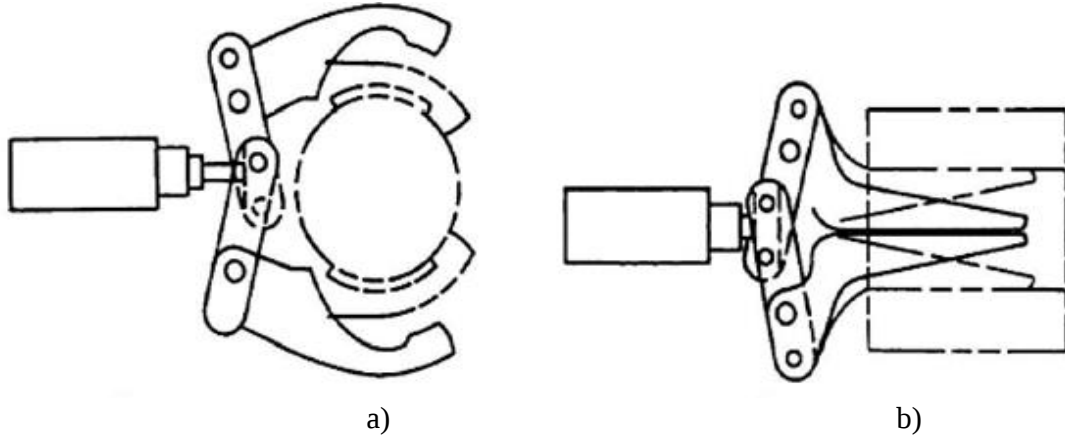


Şekil 5.1. Tutma çeşitlerinin kullanım oranları [69].

Grafik sonuçlarına göre tutma işlemlerinin çoğu sıkıştırma ve iğne kullanılarak yapılmıştır. Bunun nedeni tutma yönteminin basit olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak bunlar tutma esnasında narin malzemeye zarar vermelerinden dolayı bu tip tutucuların gıda ve sağlık alanlarında kullanılması mümkün değildir.

Tutucular tarafından dıştan ve içten olmak üzere iki ana hareket türü gerçekleştirilir. Basit olduğundan dolayı dıştan tutma yöntemi, en popüler yöntemdir. Tutucu çeneleri kapandığında, tutucunun kapama kuvveti nesneyi tutar. Dıştan tutucu Şekil 5.2 a)’da görülmektedir.

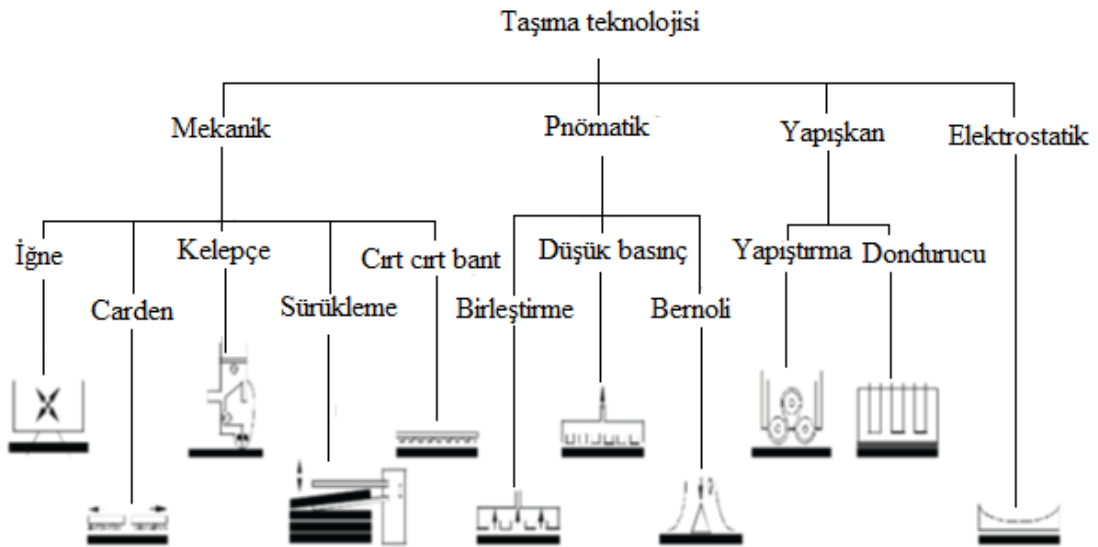
Bazı uygulamalarda Şekil 5.2 b)'de görüldüğü gibi nesne geometrisi veya nesnenin dışına erişim ihtiyacından dolayı nesneler merkezlerinden kaldırılır. Bu durumda tutucunun açma kuvveti nesneyi kaldırır.



Şekil 5.2. Tutucular a) Dıştan tutucu b) İçten tutucu.

## 5.1. ESNEK NESNELERİN TUTULMASI

Esnek malzemeleri tutmak için farklı tutma teknolojileri Şekil 5.3'de gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Esnek malzemelerin taşınması için teknolojik prensipler [55].

## 5.2. TUTMA PRENSİPLERİ

Esnek ürünler için tutma, hareket ettirme ve bırakma olmak üzere üç hareket adımı vardır. Endüstride sıkça kullanılan esnek ürünler arasında kumaşlar, kağıt yapraklar, deri katmanlar, metal levhalar, plastik parçalar, gıda ürünleri (peynir, et, balık vb.), kauçuk parçalar, sıvı veya granül materyal torbaları bulunmaktadır. Esnek ürünleri tutarken her adımda oluşan çeşitli sorunlar Çizelge 5.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Esnek nesnelerin taşınmasındaki sorunlar [70].

| Hareket adımları       | Sorunlar                                                                                                                            |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tutma</b>           | <ul style="list-style-type: none"><li>Nesnenin tutma kuvveti altında deformasyonu</li><li>Nesnenin bir yığından ayrılması</li></ul> |
| <b>Hareket ettirme</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>Nesnenin beklenmedik şekilde düşmesi</li><li>Taşıma sırasında engellere çarpma</li></ul>      |
| <b>Bırakma</b>         | <ul style="list-style-type: none"><li>Nesnenin bir yüzeye yayılması</li><li>Nesnenin toplanması</li></ul>                           |

Esnek bir ürün, şekil ve malzemesine göre farklı yöntemlerle taşınabilir [71]. Genellikle kullanılan tutma türleri mekanik tutma, giriş niteliğinde tutma, elektromanyetik, elektrostatik, emme ve hava jeti olarak sıralanabilir. Çizelge 5.2 farklı esnek parçaların tutulmasında her bir ilkenin kabiliyetini özetlemektedir.

Çizelge 5.2. Esnek parçaların kavranması ilkeleri (xxx: Çok iyi; xx: İyi ; x: Fena değil) [71].

|                        | 2D Şekiller |                |                 |                | 3D Şekiller      |                 |         |          |
|------------------------|-------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------|---------|----------|
| Tutma prensipleri      | Kumaşlar    | Deri katmanlar | Kağıt yapraklar | Metal levhalar | Plastik parçalar | Kauçuk parçalar | Gıdalar | Torbalar |
| Mekanik tutma          | xx          | x              | x               |                | xxx              | xx              | xxx     | xxx      |
| Girişli tutucu         | xxx         |                |                 |                |                  |                 | xx      | xx       |
| Elektromanyetik tutucu |             |                |                 | xxx            |                  |                 |         |          |
| Elektrostatik tutucu   |             | xx             |                 |                | xx               |                 |         |          |
| Emme kupası            |             | xx             | xx              | xxx            | xxx              | xxx             |         |          |
| Hava jeti tutucular    |             | xx             | x               | x              | xx               | xx              | xx      |          |
| Kriyojenik tutucu      | xx          |                |                 |                |                  |                 | xx      | x        |

### 5.2.1. Mekanik Tutucu

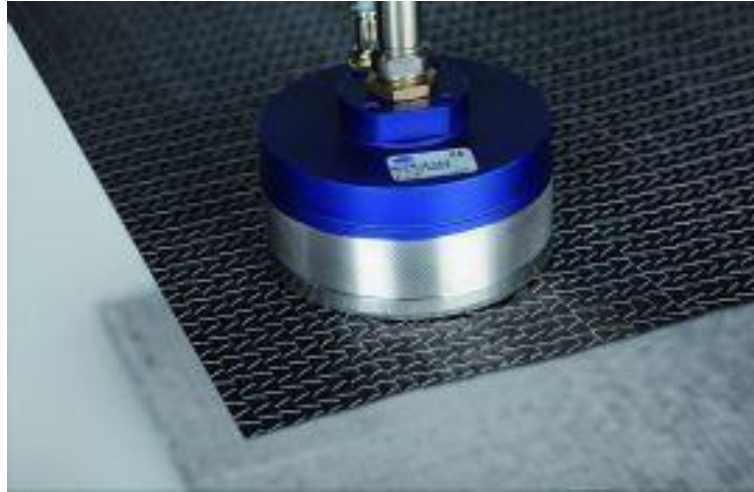
Mekanik yüzey tutucuda materyal, yüksek sürtünmeyi sağlamak için tutucunun parmakları arasında sıkıştırılır. İki ve üç çeneli tutucular Şekil 5.4’de gösterilmektedir. Balık ve kümes hayvanları gibi gıdalar, kaygan nesneleri yerinde kilitlemek için tutucu yüzeyi açılı olacak şekilde bir sıkıştırma tipi tutucu kullanarak tutulabilir. Meyve ve sebzeleri tutarken zedelemekten kaçınmak için tutucuya bir kauçuk veya köpük dahil edilebilir.



Şekil 5.4. İki ve üç çeneli tutucular [70].

### 5.2.2. İğne Tutucu

İğne tutucular, Şekil 5.5’de görüldüğü gibi kumaş gibi düz yüzeyli parçaların kaldırılması için geliştirilmiştir. Tutma, iğnelerin malzemeye girmesi ile oluşur. İğnenin girme derinliği, parça kalınlığının yaklaşık %90’ı kadar olmalıdır.



Şekil 5.5. İğne tutucu [72].

İğne tutucuda araştırılan parametreler, iğnenin çapı, uç açısı, dalma açısı, iğne uzunluğu ve şeklidir. Bu sistemde değişik çap ve açıda çift sıra olarak yerleştirilmiş olan iğneler kumaşlara bir miktar girdikten sonra, sağa ve sola gerdirilerek kumaşların tek tek kaldırılmasına çalışılır. İğne tutucuların dezavantajları, kumaş boşluklarının artması, iğnenin ipliklere zarar vermesi ve çok güvenilir olmamasıdır [73], [74], [75].

İğne robot ellerinde genellikle, örgü ve dokuma kumaşları delen iğne veya çengel kullanılır. Bu tip robot elleri, sadece sağlam kumaşlar için güvenirlidir [76].

Jarvis [77] tarafından yapılan testler sonucunda, bir çok iğne esaslı mekanizmada, iğnelerin yeterli bir pozitif tutma yapamadığı ve özellikle de ilk tutmadan sonra kayma eğiliminde olduğunu göstermiştir.

Pin-Cushion tutucu olarak adlandırılan yüzeysel iğne robot elleri, sınırlı ölçülerde yapılmış kartlar üzerinde, 30 derece aç ve 0,3 mm çapında dizilmiş çok sayıda iğneden meydana gelir. Bu kartlar en az iki tane olmalıdır ve birbirine ters veya aynı yönde hareket etmelidir. Bu sistemde, tutma kuvvetinin kumaş dokusunun farklılık derecesine göre değişmesi gerekmez. Kartlar tarafından kumaşı kaldırmak için uygulanan germe kuvveti fazla olursa kumaş zarar görebilir [78].

### 5.2.3. Elektromanyetik Tutucu

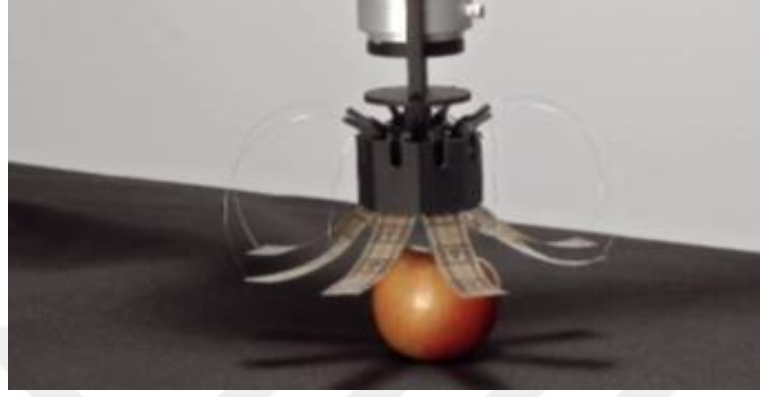
Manyetik tutucular, demir materyalleri kavramak için kullanılırlar. Elektromanyetik tutucular, Şekil 5.6'da görülmekte ve çalışmanın sonunda parçayı serbest bırakmada çok etkili olup, kontrol edilmesi kolaydır. Malzemeleri taşımak için denetleyici birimi ve bir DC gücü içerir. Tutulan malzeme, kontrol ünitesi kullanılarak serbest bırakılır. Elektromıknatıs kapanmadan önce kontrol ünitesinde polarite seviyesi en aza indirilir. Bu işlem materyal üzerindeki manyetizmin giderilmesine yardımcı olacaktır. Sonuç olarak malzemeyi bırakmanın en iyi yolu Elektromanyetik tutucu ile mümkündür. Bu tutucunun vakum tutucu üzerinde avantajı, delikli malzemeyi kavrayabilmesidir.



Şekil 5.6. Elektromanyetik tutucu [70].

#### 5.2.4. Elektrostatik Tutucu

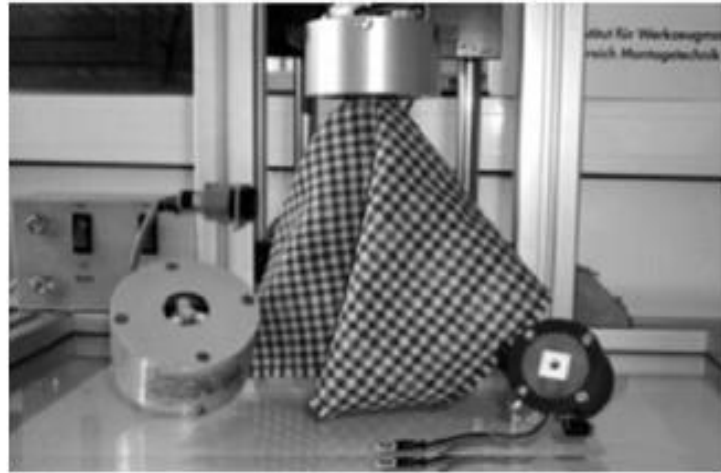
Elektrostatik tutucu, Şekil 5.7’de gösterildiği gibi tekstil ve derileri tutmak üzere yapışkan bir etki üretmek için yüksek gerilim alanı kullanılarak oluşur. Tutma kuvvetleri küçük olmasına rağmen bu teknik, ince hassas malzemelerin taşınması için uygulanabilir.



Şekil 5.7. Elektrostatik tutucu [70].

#### 5.2.5. Kriyojenik Tutucu

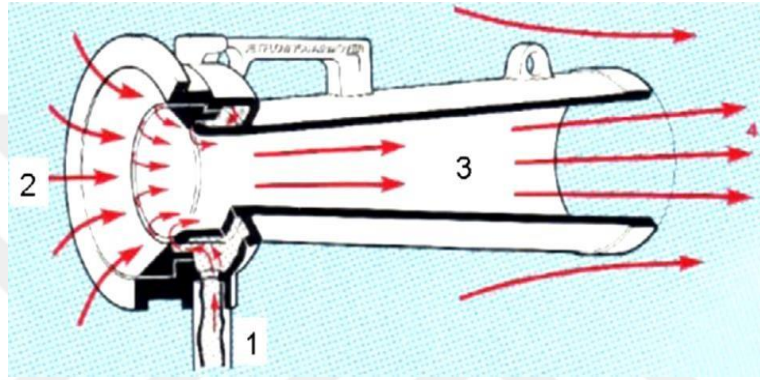
Sıvıdan katıya geçiş prensibine dayanır ve kriyojenik tutucu malzeme bağı için aktif olarak suyu dondurur. Bir ürünün tutulması için hidro yapıştırıcı tutucular ürün yüzeyine az miktarda su püskürtür. Peltier bileşeni ile tutucu, suyun donmasını ve yapışmaya neden olmasını sağlar. Tutulan nesnelerin serbest bırakılması, Peltier bileşeninin mevcut durumunun tersine çevrilmesi ile veya atmosferik basınç ile gerçekleştirilebilir. Kriyojenik tutucu Şekil 5.8’de gösterilmektedir.



Şekil 5.8. Kriyojenik tutucu [79].

### 5.2.6. Coanda Etkili Ejektör Tutucu

Coanda ejektörün çalışma prensibi Şekil 5.9’da gösterilmektedir. Hava, giriş deliğinden (1) dairesel nozula girer. Hava, bu nozuldan yüksek hızda akar ve yakınsak ağız duvarına yapışır, boğaza girer ve dağıtıcı duvarları boyunca devam eder (3). Giriş deliğinden gelen hava giriş alanındaki çevre havası ile etkileşime girer ve havayı ikinci giriş deliğinden (2) ejektöre çeker. Giriş portundan gelen hava (1) ve (2) difüzörün (3) uzunluğu boyunca karışır. Coanda ejektörünü gözenekli malzemelere emme tutuşu yapar. Bir Coanda ejektörden esnek malzemeler için yeterli kaldırma kuvveti oluşturmak mümkündür.



Şekil 5.9. Coanda ejektör prensipleri [80].

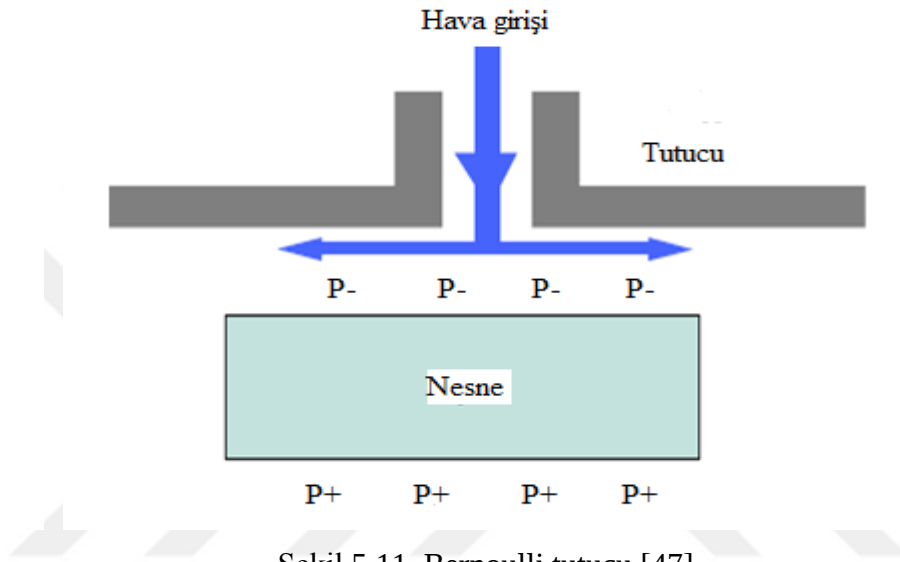
Ameri ve Dybbs, silindirik Coanda ejektörleri için ayrıntılı bir akış analizi yapmışlar ve ejektörün akış alanı için bir hesaplama yöntemi sunmuşlardır. Şekil 5.10’da Coanda ejektörü görülmektedir.



Şekil 5.10. Silindirik coanda ejektör [81].

### 5.2.7. Bernoulli Tutucu

Birçok endüstride temassız tutma, Bernoulli prensibi kullanılarak başarılmıştır. Bu teknik, jöle blok dahil esnek bir malzemenin taşınması için ilk önce Erzincanlı [54] tarafından kullanılmıştır. Davis [51], dilimlenmiş domates ve salatalığı, Brun, ince silikon plakaları ve Dini [41] deri tabakalarını Bernoulli prensibini kullanarak geliştirdikleri tutucular ile başarılı bir şekilde kaldırmıştır. Geleneksel Bernoulli tutucu Şekil 5.11’de gösterilmektedir.



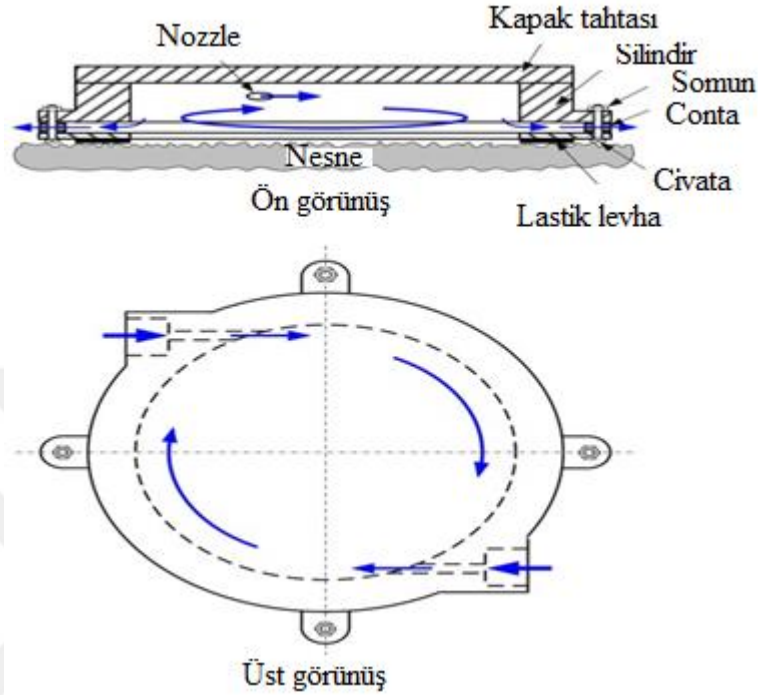
Şekil 5.11. Bernoulli tutucu [47].

Geleneksel Bernoulli tutucu, içi boş bir silindirik kanaldan oluşur ve sıkıştırılmış hava, bu merkezi kanaldan akar. Hava, bu kanaldan kavrayacak olan nesneye çarpana kadar aşağı doğru akar. Tutucudan gelen hava, nesneye çarpana kadar aşağı doğru itme kuvveti oluşturur. Daha sonra hava yanıl yönde akmak üzere saptırılır. Hava, kanalın dairesel doğasından dolayı merkezi kanaldan her yönde yayılır. Havanın, Bernoulli prensibine göre nesnenin üst yüzeyi boyunca radyal hareketi sonucu nesnenin üzerindeki hava basıncının azalmasına neden olur. Ortaya çıkan basınç, tutucu ile nesne arasında çekici bir kuvvet oluşturan nesnenin üst ve alt yüzeyleri arasındaki farktır. Geleneksel Bernoulli tutucunun dezavantajı, orta kanaldan geçen yüksek sıkıştırılmış havanın, esnek nesneler üzerinde direk çarpması sonucu hasar riski oluşmasıdır.

### 5.2.8. Girdaplı Tutucu

Girdap kaldırma yöntemi vasıtasıyla bir nesnenin temassız bir şekilde taşınması için pnömatik bir yöntem Şekil 5.12'de gösterilmiştir. Hava, dönen bir hava akışı oluşturmak için teğetsel harekette bir nozuldan bir girdap kupasına akar. Vorteks kabının üzerine

yerleştirilen teğetsel bir nozul dairesel bir silindirden oluşur. Havayı kupadan dışarı doğru yönlendirmek için alt kısımda bir dolgu kesilmiştir. Kompresörden gelen sıkıştırılmış hava nozuldan kaba girer ve sonra merkezkaç kuvveti nedeniyle negatif bir basınç oluşturmak için hava dairesel duvarın merkezi alanında döner.



Şekil 5.12. Girdaplı tutucu [49].

#### 5.2.9. Yumuşak Parmaklı Tutucu

Birçok endüstriyel tutucular, kaldırılan nesne tarafından etkilenecek zarar görmediğinden dolayı, nesneyi kaldırmak için sert parmaklara sahiptir. Endüstrideki mekanik parçalar, genellikle rijit veya zarar görmez parçalardır. Bazı tutucuların parmakları kırılğan nesneleri tutmak için dokunsal sensör ile donatılmıştır.

Bazı hassas ve berelenebilir ürünleri kavramak için tutucuların parmakları uyumlu malzemelerle, sıvı veya gaz içeren lastik yastıklarla kaplıdır [82]. Robot tutucunun parmakları için uyumlu malzemeler kullanmanın sayısız avantajları vardır. Doğrudan avantajları:

- 1- Uyumlu malzemeler temas kuvvetlerini dağıtır, tutulan nesnenin zarar görmesini önler.
- 2- Uyumlu malzemeler çoğu zaman büyük sürtünme katsayılarına sahiptir, bu da daha düşük tutma kuvveti kullanılmasını mümkün kılar.

3- Uyumlu tutma yüzeyleri, nesne ile her temasta daha çok kinematik bağlantıya sahiptir. Böylelikle bir nesneyi tamamen tutmak için daha az temas gerektirir. Örneğin bir nesneyi iki yumuşak parmak boşluklu tutabilir fakat iki sert parmak tutamaz.

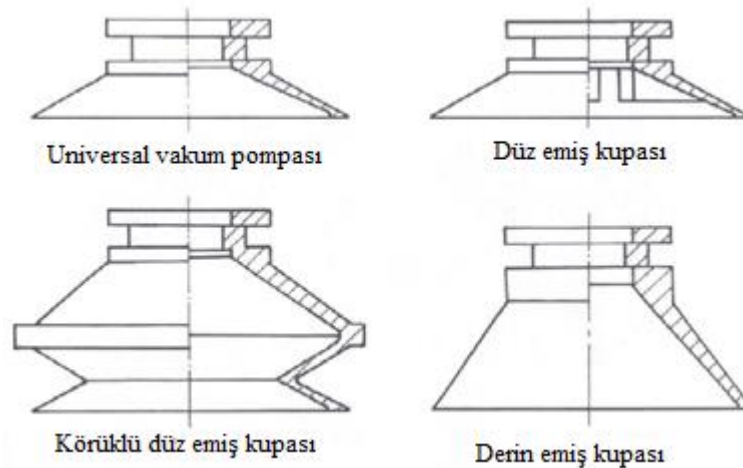
Bu tip robot elinin başlıca dezavantajı parmakların kaldırılan nesne üzerindeki yüzey düzensizliklerine tam olarak uyum sağlayamamasıdır. Böylece parmaklar ve nesne arasındaki temas noktası oldukça rijit olabilir ve eğer bu parmaklar meyve taşınması için kullanılırsa meyveler zarar görebilir [83]. Lastik yastıklar bazı istenmeyen bakterileri üzerlerinde biriktirerek diğer bakterilere temel oluşturabilirler.

#### 5.2.10. Vakum Tutucu

Vakum tutucular, vakum ağızı içinde bulunur ve emiş kupaları kauçuktan yapılır. Emiş kupaları, borular vasıtasıyla bağlanır ve nesneleri toplamak ve bırakmak için emiş kupalarının içine hava uygulanır. Basınç altındaki aşağıdaki cihazlarla vakum oluşturulabilir:

- Vakum pompaları
- Ejektörler
- Emme körükleri
- Pnömatik silindirler

Vakum tutucular emme kupalarını tutucu olarak kullanırlar. Farklı emiş kupa çeşitleri vardır ve kupalar genellikle Poliüretan veya kauçuktan yapılır ve -50 ile 200 °C arasındaki sıcaklıklarda kullanılabilirler. Emiş kupaları Şekil 5.13’de görüldüğü gibi dört farklı çeşitte sınıflandırılabilir, universal emme kupaları, düz emme kupaları, körüklü emme kupaları ve derin emme kupaları.



Şekil 5.13. Vakum tutucu.

Üniversal emiş kupaları, düz veya hafif kavisli yüzeyler için kullanılır. Piyasadaki en ucuz emiş kupalarıdır. Fakat bu tip emiş kupalarının birkaç dezavantajı vardır. Çok yüksek vakum altında kupada aşınmalar meydana gelebilir.

Düz emiş kupaları, kaldırıldığı zaman yardıma ihtiyaç duyulan düz ve esnek parçalar için uygundur. Bu tür emiş kupaları yük altında küçük bir hareket sağlayarak basınç altındaki alanın hareket etmesini sağlar. Bu da düz emiş kupasının aşınmasını azaltır, sonuçta daha hızlı ve güvenli hareket sağlanmış olur.

Körüklü emiş kupaları, genellikle kavisli yüzeyler için kullanılır. Örneğin ayırmaya ihtiyaç duyulduğu zaman veya daha küçük bir parça tutulduğunda ve daha kısa bir harekete ihtiyaç duyulursa bu emiş kupalar kullanılabilir. Bu tip kupalar birkaç alanda kullanılabilir.

Derin emiş kupaları, çok düzensiz ve kavisli yüzeylerde veya bir parçanın bir köşesinden kaldırılması gerektiğinde kullanılabilir.

Kaba yüzeyli parçalar veya gözenekli malzemelerden yapılan parçaların tutulması yüzey yapılarından dolayı vakum tutucular ile zordur. Delikli, yivli ve üzerinde boşluk olan yüzeyler üzerinde vakum tutucuların kullanılması tavsiye edilmez. Şekil 5.14 emiş kupalarının farklı türlerini göstermektedir.



Şekil 5.14. Farklı emiş kupaları türleri.

### 5.2.11. Değerlendirme

Tutucular, genel olarak değerlendirildiğinde;

Sanayide başarılı olarak kullanılan çok çeşitli prensiplerle çalışan tutucular mevcuttur. Her prensip uygulama alanına göre şekillendirilmiş ve başarıyla kullanılmıştır. Yeni şekillerin araştırılmasına ve uygulanmasına çalışılmaktadır. Endüstri 4.0'ın üretim ve imalat sektörlerinde uygulanmaya başlanmasıyla tutucuların uygulama alanlarının daha da artması kaçınılmazdır.

Buna karşın Laparoskopik ameliyatlarda temassız (Bernoulli) tutucu dışındakilerin organların tutulması ve kaldırılmasında kullanımının uygun olmadığı görülmektedir. Tutuculardan organa müdahaleye en uygun temassız tutucu olduğu ortaya çıkmaktadır.

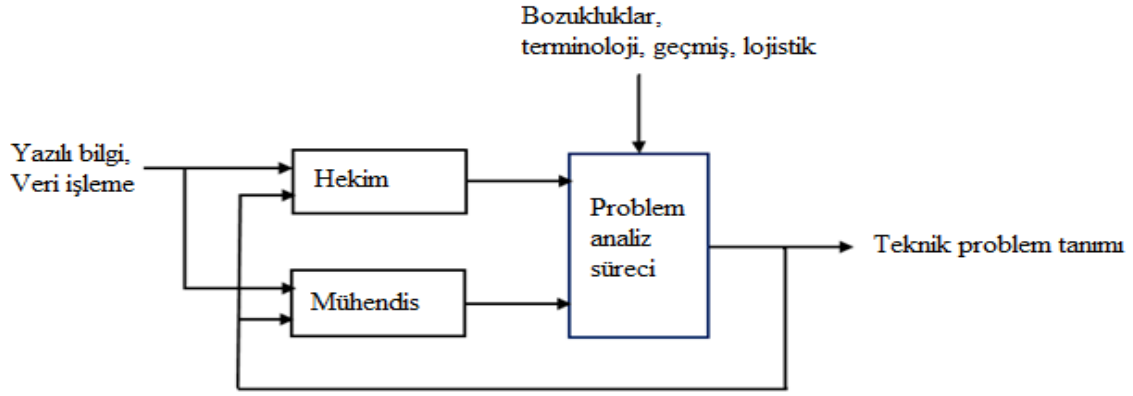
Bu tezin çalışma konusu olarak temassız tutucular üzerinde durulacak ve organın en iyi bir şekilde tutulması için yeni tasarımlar ve imalatlar geliştirilip organ tutulmasında araştırmalar yapılmıştır. Optimum tutucu şekli ve şartları araştırılmıştır.

## 6. DENEYSEL ÇALIŞMA

Laparoskopik cerrahide kullanılan ekipmanların ameliyat sonrasında performans analizlerinin yapılması gerekir. Cerrahi aletlerin işlemsel analizleri etkin kullanımlar sırasında oluşan klinik problemlerin belirlenmesi için önemlidir [84], [85]. Laparoskopik aletlerin özellikle teknolojik eksikliklere ve zayıf ergonomiye sahip oldukları bilinmektedir [86].

Laparoskopik cerrahide ameliyat kalitesi ameliyat sonrası çıktılara, hastalık veya ölüm oranlarına, yaşam kalite parametrelerine göre değerlendirilir [87]. Literatürdeki mevcut bilgiler ne ameliyatla ilgili komplikasyon ve riskler hakkında ne de komplikasyonlara neden olan teknolojik başarısızlıklarla ilgili iç yüzünü anlamak için ayrıntılı bilgi vermektedir.

Bu yüzden aletlerin ameliyatla ilgili klinik problemlerini tanımlamak için ameliyat analizlerine ihtiyaç duyulur. Bu klinik problemler, tutucu tasarımı için girdi sağlayabilir. Tutucu kaynaklı problemlerin etkili ve derin analizleri için hekimler ve mühendisler arasında yakın bir işbirliği yapılmalıdır. Şekil 6.1 problem analizlerinin süreçlerini göstermektedir. Problemlerle ilgili bilgi, mühendisler ve hekimler tarafından edinilmiş, anlaşılmış ve entegre edilmiş olmalıdır. Literatürdeki mevcut bilgiler, uzmanların bilgileri ile analiz edilmeli ve birleştirilmelidir. Mühendisler ve cerrahlar, klinik problemleri teknolojik şartlara dönüştürmek için birlikte çalışmalıdır. Çünkü cerrahlar tarafından tecrübe edilen klinik problemlerin altında yatan teknolojik eksikliklerin belirtilmesi gerekmez. Ameliyatlara ilgili cerrahlar tarafından tecrübe edilmiş en önemli problemler hakkında uzman bilgilerini tanımlamak için anketler kullanılabilir.



Şekil 6.1. Klinik odaklı ekipman tasarımı, hekim ve mühendis arasında yakın iletişim [88].

Laparoskopik cerrahi, iç organları güvenli bir şekilde tutmak ve hareket ettirmek için özel tasarlanmış aletler gerektirir [89], [90]. Doku hasarı, yaraların en ciddi formlarından biri olarak düşünülür [91], [92]. Dokunun delinmesi hasta için ciddi komplikasyonlar ile sonuçlanır [93]. Dokunun delinmesi, peritonitis'a (karın zarı iltihabı) neden olur, bu da ağır hastalık ve ölüm oranına yol açar. Ayrıca dokunun doğrudan delinmeden de zarar görmesi mümkündür. Bu, lokal doku ölümüne neden olabilir,

Endüstriyel uygulamalarda özellikle hassasiyet ve titizlik gereken işlerde vakum ile tutma tekniği başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bazı çalışmalar ayrıca vakum tekniğinin cerrahi işlem sırasında güvenli bir tutma tekniği olarak kullanılabileceğini göstermektedir [94], [95].

Bu tezin amacı, temassız tutma tekniğinin tasarlanan beş adet tutucuya uygulanmasıdır. Bu amaçla üretilen tutucuların, etik kurallara uygun olması sebebi ile cansız tavuk dokuları üzerinde tutma ve hareket ettirme performansları araştırılmıştır.

Deneylerde kullanılmak üzere esnek ve hassas malzemeler sınıfına giren, değişik ağırlıktaki yetişkin bir tavuğun karaciğer, akciğer, yürek, taşlık ve deri gibi organları kullanılmıştır. Deney düzeneğinin tasarım, imalat ve ölçüm ekipmanlarının detayları bu bölümde tanımlanmıştır.

Diğer taraftan dokuların kaldırılması için gerekli olan en uygun çekme kuvvetinin optimizasyonu için Taguchi metodu kullanılmıştır. Deneysel tasarım için Taguchi L<sub>25</sub> ortogonal dizisi kullanılarak 25 adet deney yapılmıştır. Deneyler sonunda elde edilen

değerler, sinyal-gürültü oranı (S/N), varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiştir. Optimizasyonun doğruluğu için üç adet doğrulama deneyi yapılmıştır.

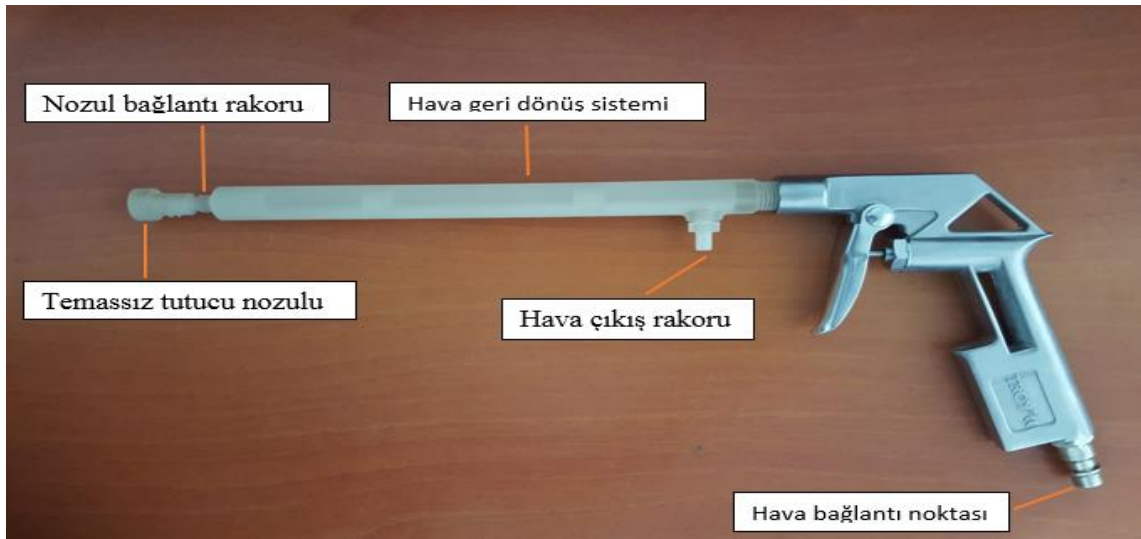
### 6.1. TEMASSIZ TUTUCU TASARIMI VE ÜRETİMİ

Temassız tutma sisteminin en önemli parçası radyal akış nozullarıdır. Bunun nedeni ise tutucu yüzeyi ile rijit ve rijit olmayan malzemeler arasında bir çekme kuvveti oluşturmalarıdır. Tutucu yüzeyi ve kaldırılan malzeme arasındaki çekme kuvvetlerinin etkisi, sürekli hava akışı ve basıncı için nozul delik çapı ile dış çap arasındaki orana bağlıdır. En yüksek çekme kuvvetleri için bu boyutsal oran, Welanetz, Syosnet [96] ile Wark ve Foss [97] tarafından araştırılmış ve en ideal oranı 0,25 ile 0,30 arasında bulunmuştur. Bu çalışmada boyutsal oran 0,42 olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni tutucu dış çapının zorunlu olarak 14 mm olmasından kaynaklanmaktadır. Bu zorunluluk, Laparoskopide kullanılan trokar iç delik çapının 5-15 mm olmasıdır. Deneylerde kullanılmak üzere farklı geometrili ve değişik deflektörlü beş adet tutucu tasarlanmıştır. Bu tutucular Erer1, Erer 2, Erer 3, Erer 4, ve Erer 5 olarak adlandırılmıştır. Tutucular, markası 3D System, modeli Projet 3510 HD Plus olan yazıcıda, 32 mikron hassasiyetinde biyouyumlu sıvı reçineden Şekil 6.2’de görüldüğü gibi üretilmiştir. Destek malzemesi olarak Wax kullanılmıştır.



Şekil 6.2. Temassız tutucu prototip fotoğrafları.

Laparoskopik Cerrahi sırasında organların tutulması için kullanılan ve karın boşluğuna dolan CO<sub>2</sub>'nin hasta sağlığını tehlikeye atmaması, karın içi basıncının medikal olarak standart seviyede tutulması için güvenli bir şekilde karının dışına çıkarılması gerekmektedir. Bunun için tutucuya montajı yapılabilen ve vakum sistemi ile çalışan ayrı bir hava geri dönüş sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemin amacı tutma esnasında karın boşluğuna dolan havanın kontrollü olarak dışarı atılmasını sağlamaktır. Şekil 6.3'de tutucuya montajı yapılabilen ve havanın dışarı boşaltılmasını sağlayan bir geri dönüşüm sistemi görülmektedir. Tutucular, bu sisteme takılıp sökülebilecek şekilde tasarlanmışlardır.

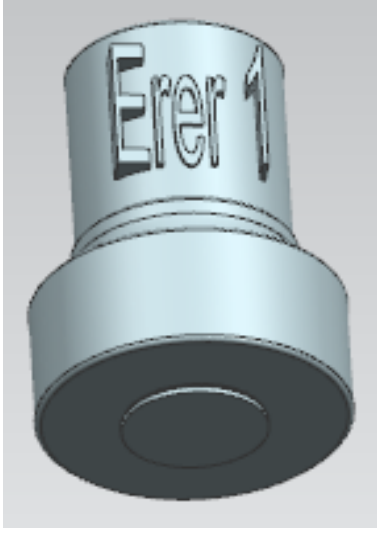


Şekil 6.3. Temassız tutucu sisteminin parçaları.

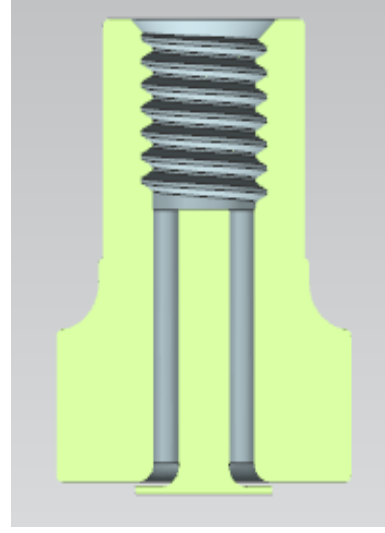
Her bir tutucu tasarım özelliklerine bağlı olarak detaylı bir şekilde incelenecektir.

#### 6.1.1. Erer 1 Tutucu

Tutucudan, çalışmada Ertürk-Erzincanlı soyisimlerinin ilk hecelerinin birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan ve tutucuya ismi verilen Erer olarak bahsedilecektir. Bu tutucu, tasarlandıktan sonra hammaddesi biyoyumlu olan reçineden 3D yazıcı ile imal edilmiştir. İmal edilen tutucunun katı modeli ve tam kesiti Şekil 6.4 (a) ve (b)'de görülmektedir. Tutucu, genel olarak nozul ve hava dağıtıcı olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Dış çapı 14 mm, boyu 20 mm, delik çapı 6 mm dir. Tutucunun tutma yüzey alanı 154 mm<sup>2</sup>'dir.



a)



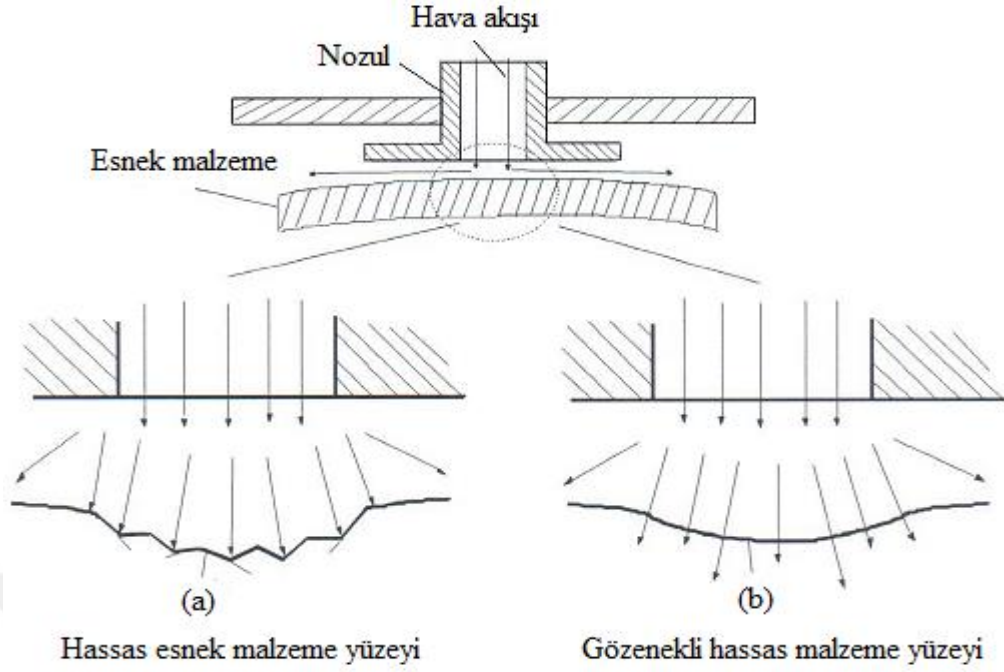
b)

Şekil 6.4. Erer 1 tutucu a) Katı modeli b) Tam kesiti.

Standart deflektörsüz tutucuda, giren basınçlı hava, tutucu merkez deliği boyunca hareket eder ve kaldırılan malzemenin yüzeyine çarpar. Daha sonra hava, tutucu yüzey ile kaldırılan nesne arasından atmosfere akar. Böylece radyal akış olayı elde edilir.

Bu radyal hava akışı sırasında tutucu yüzeyi ile kaldırılan malzemenin yüzeyi arasında çekme kuvveti oluşur. Eğer yeterli çekim kuvveti oluşturulursa malzeme kaldırılır. Fakat standart tutucu (deflektörsüz) ağzı çıkışından çıkan hava jeti direk olarak malzeme üzerine çarpar. Bu hava jeti, yüzey üzerine bir çarpma kuvveti uygular ve yüzeyde bir girinti oluşturur, sonrasında hava radyal olarak dışa akar. Eğer malzemenin yüzey yapısı çarpma kuvvetine yeteri kadar dirençli değilse malzemenin yüzeyi yırtılabilir ve zarar görebilir.

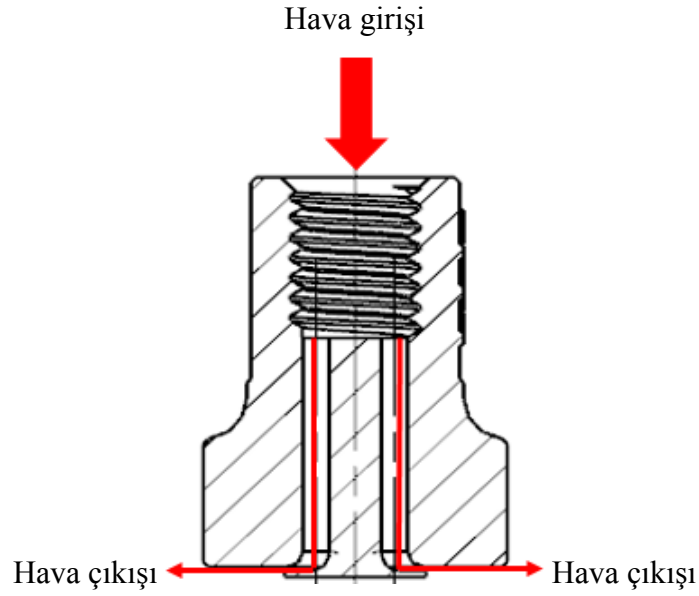
Kaldırılan malzeme yüzeyindeki hava darbesinin yırtılma ve hasar şekilleri Şekil 6.5’de gösterilmiştir. Bu şekilde (a) kaldırma işlemi sırasında hassas malzeme yüzeyini gösterir. Hava, geçirgen malzemeler için radyal dışa akış yerine aşağı yönde eğilim gösterecektir, bu yüzden radyal bir hava akışı oluşturulmayacak, bunun sonunda da malzemeyi kaldırmak için çekme kuvveti elde edilmeyecektir. Bu problem Şekil 6.5 (a) ve (b) de belirtilmiştir.



Şekil 6.5. Esnek malzeme yüzeyindeki hava çarpmasının etkileri [54].

Eğer radyal akış, kaldırılacak malzemeye çarpmadan önce başlarsa standart tutucu üzerindeki gibi benzer çekim kuvveti elde edilebilir. Bu yüzden erken radyal hava çıkışını başlatmak için tutucu ağzının çıkış noktasına Şekil 6.6'da görüldüğü gibi bir deflektör yerleştirilmiş ve tutucu yüzeyin merkezi gövdesine sabitlenmiştir. Tutucu tasarımlarında, esnek ve hassas malzemelerin Erer tutucularla temassız bir şekilde tutulması ve yüzeylerinin kuvvetli hava jetinden zarar görmemesi ve nesne üzerinde iz yapmaması için tutucu merkezinden gelen basınçlı havanın direk nesne üzerine gitmeden dağıtılması deflektör sayesinde sağlanmaktadır.

Erer 1 temassız tutucunun hava akışını gösteren kesit görünüşü Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Erer 1 tutucu hava akış modeli.

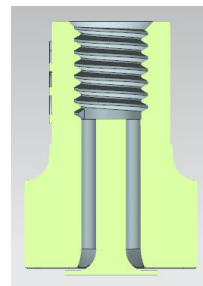
Merkezi delik boyunca ilerleyen basınçlı hava deflektörün üst yüzeyine çarpar ve daha sonra etrafına yayılır. Özel olarak tasarlanmış hava dağıtıcısı sayesinde hava kaldırılacak nesneye hiç çarpmadan radyal olarak dışa akar. Böylece malzeme yüzeyine hava jetinin çarpması engellenmiş olur ve nesne zarar görmeden oluşturulan çekme kuvveti sayesinde kaldırılır.

### 6.1.2. Erer 2 Tutucu

Erer 2 tutucunun delik ve tutucu yüzey çapı Erer 1 ile aynı ölçülere sahiptir. Çekme kuvvetine pozitif etkide bulunması amacıyla tutucu yüzey üzerine 6 adet venturi kanal açılmıştır. Venturi kanalının orta kısmında oluşturulan vakumdan yararlanılarak tutucunun uyguladığı kaldırma eylemine ayrı bir katkı sağlanır. İmal edilen tutucunun katı modeli ve tam kesiti Şekil 6.7 (a) ve (b)'de, hava akış modeli de Şekil 6.8'de verilmiştir.

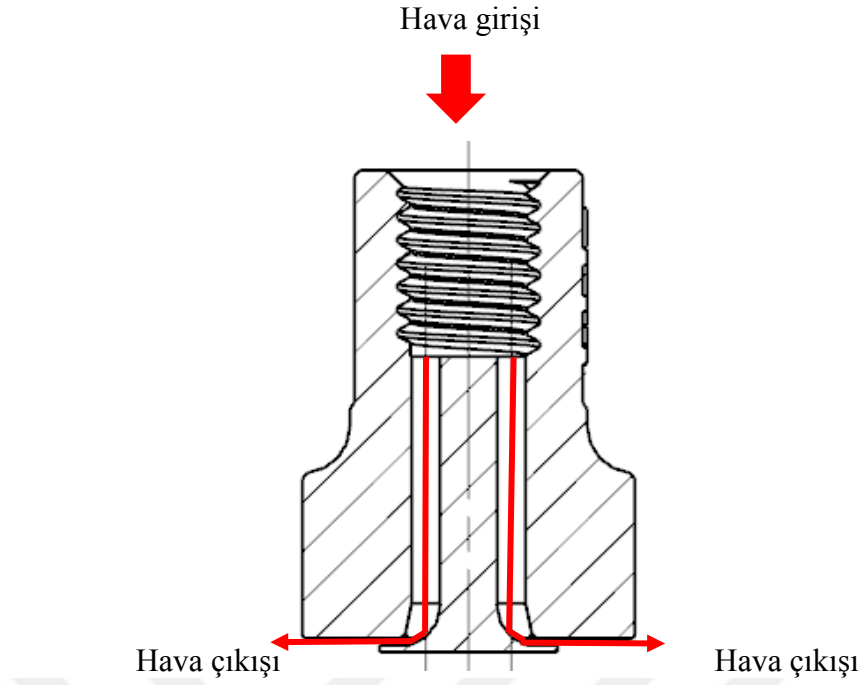


a)



b)

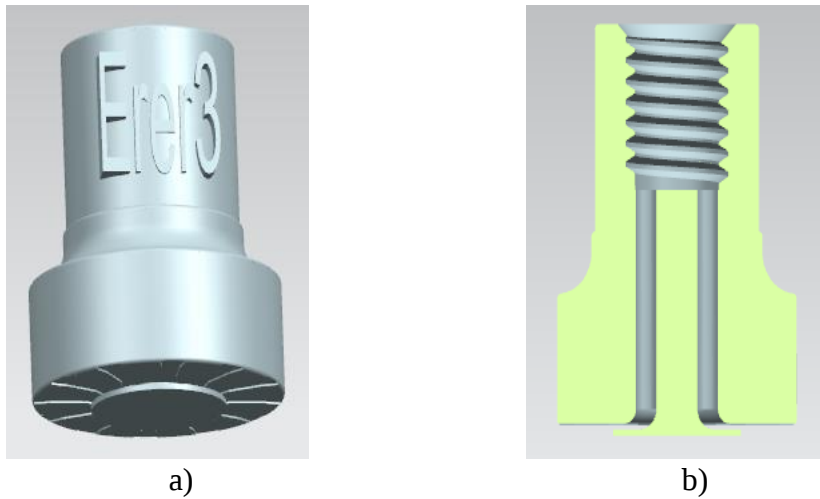
Şekil 6.7. Erer 2 tutucu a) Katı modeli b) Tam kesiti.



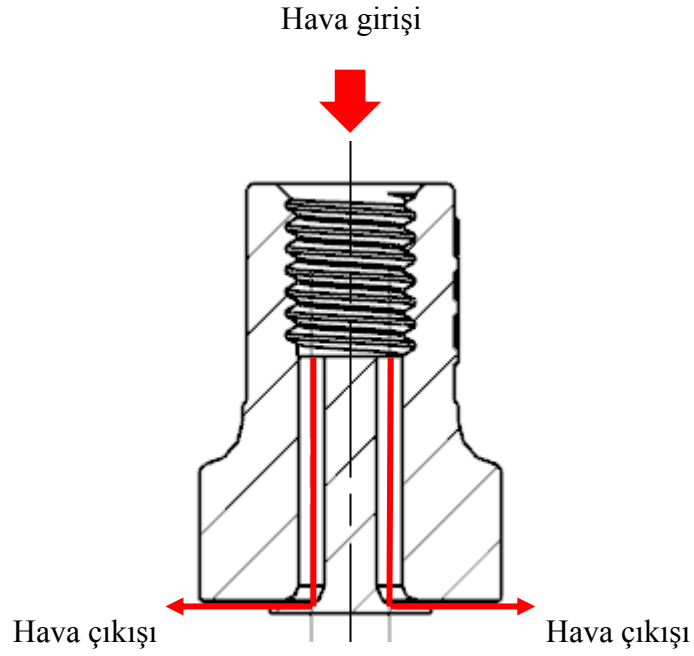
Şekil 6.8. Erer 2 tutucu hava akış modeli.

### 6.1.3. Erer 3 Tutucu

Bu tasarımın yeniliği Şekil 6.9’da görüldüğü gibi tutucu yüzeyin içinde 12 adet radyal oluğun (venturi kanalı) olmasıdır. Bu tutucudan beklenen sonuç her bir venturi kanalının orta kısmında oluşturulan vakumun kaldırma eylemine daha fazla katkı sağlamasıdır. İmal edilen tutucunun katı modeli ve tam kesiti Şekil 6.9 (a) ve (b)’de hava akış modeli de Şekil 6.10’da görülmektedir.



Şekil 6.9. Erer 3 tutucu a) Katı modeli b) Tam kesiti.



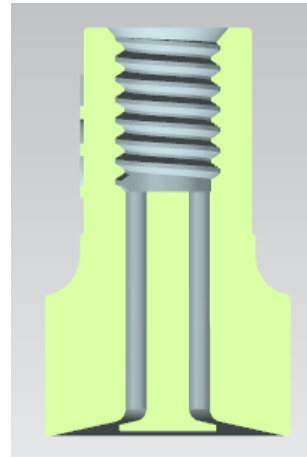
Şekil 6.10. Erer 3 tutucu hava akış modeli.

#### 6.1.4. Erer 4 Tutucu

Dış çapı 14 mm, boyu 20 mm, delik çapı 5 mm, deflektör çapı 5,5 mm olarak de imal edilen tutucunun katı modeli ve tam kesiti Şekil 6.11 (a) ve (b)'de hava akış modeli ise Şekil 6.12'de görülmektedir. Tutucunun tutma yüzey alanı  $154 \text{ mm}^2$ 'dir. Bu tutucunun diğer tutuculardan farkı düz olmayan nesnelerin tutulabilmesi için tutucu yüzeylerinin ve deflektörlerinin  $10^\circ$  açılı olmasıdır. Açı arttıkça itme kuvveti artacağından açının küçük olması tercih edilmiştir.

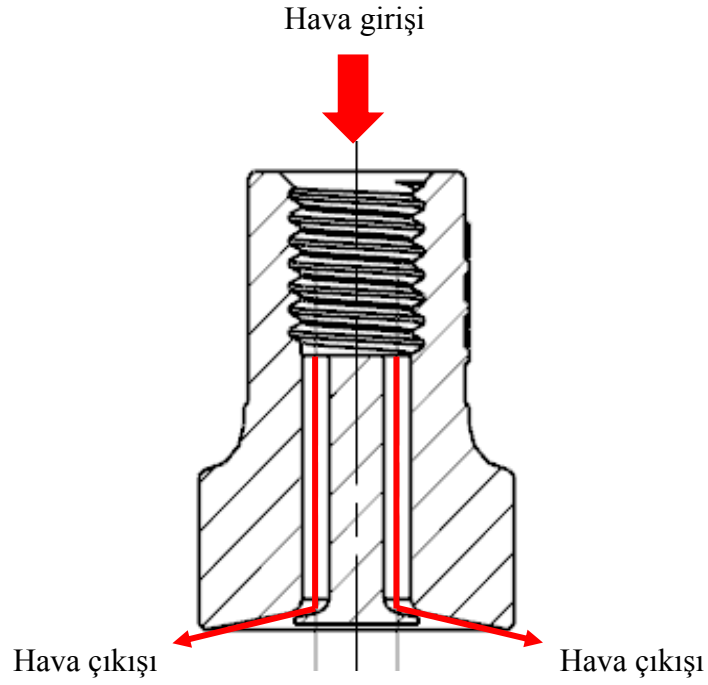


a)



b)

Şekil 6.11. Erer 4 tutucu a) Katı modeli b) Tam kesiti.



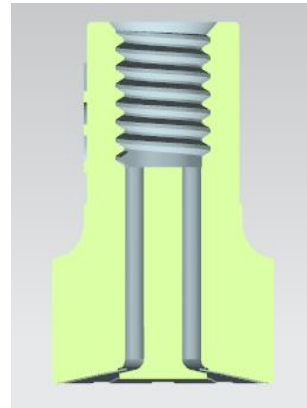
Şekil 6.12. Erer 4 tutucu hava akış modeli.

#### 6.1.5. Erer 5 Tutucu

Tutucu tasarımlarındaki genel mantık, itme kuvvetini azaltmak için dikey akışa karşı radyal akışı artırmaktır. Bu tasarımın yeniliği Şekil 6.13’de görüldüğü gibi tutucu yüzeyin ve deflektörün  $10^\circ$  açılı olması ve tutucu yüzeyin içinde 10 adet radyal oluğun (venturi kanalı) olmasıdır. Bu tutucuda beklenen sonuç her bir Venturi kanalının orta kısmında oluşturulan vakumun kaldırma eylemine daha fazla katkı sağlamasıdır. Tutucunun katı modeli ve tam kesiti Şekil 6.13 (a) ve (b)’de hava akış modeli ise Şekil 6.14’de verilmiştir.

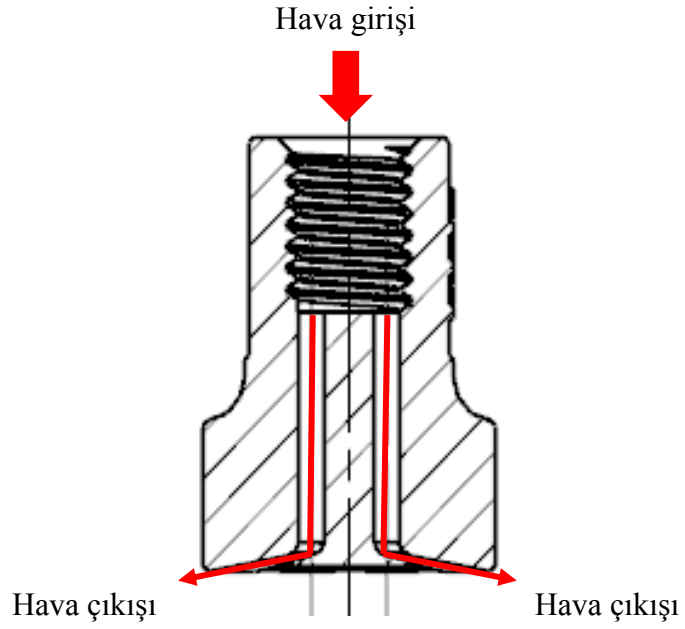


a)



b)

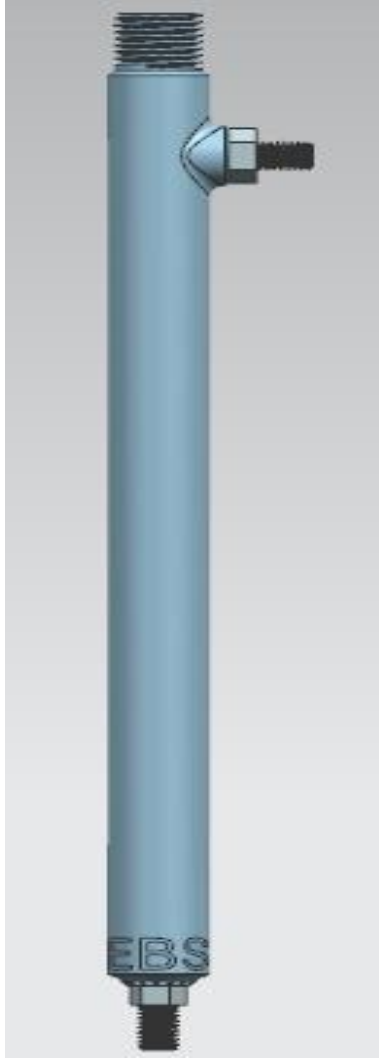
Şekil 6.13. Erer 5 tutucu a) Katı modeli b) Tam kesiti.



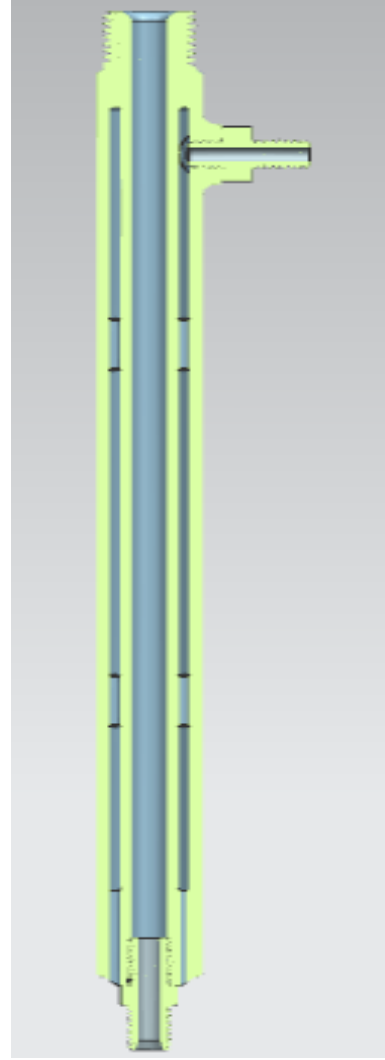
Şekil 6.14. Erer 5 tutucu hava akış modeli.

#### 6.1.6. Erer Bağlantı Sistemi

Erer tutucuların bağlanabilmesi amacıyla Şekil 6.15 (a) ve (b)'de katı modeli ve tam kesiti, Şekil 6.16'da hava akış modeli görünen Erer Bağlantı Sistemi (EBS) tasarlanmıştır. Tutucular EBS sistemine takılıp sökülebilecek şekilde tasarlanmıştır. Aynı sistem üzerinden sisteme hava verilir, sistemdeki hava vakum sistemiyle tahliye edilebilmektedir.

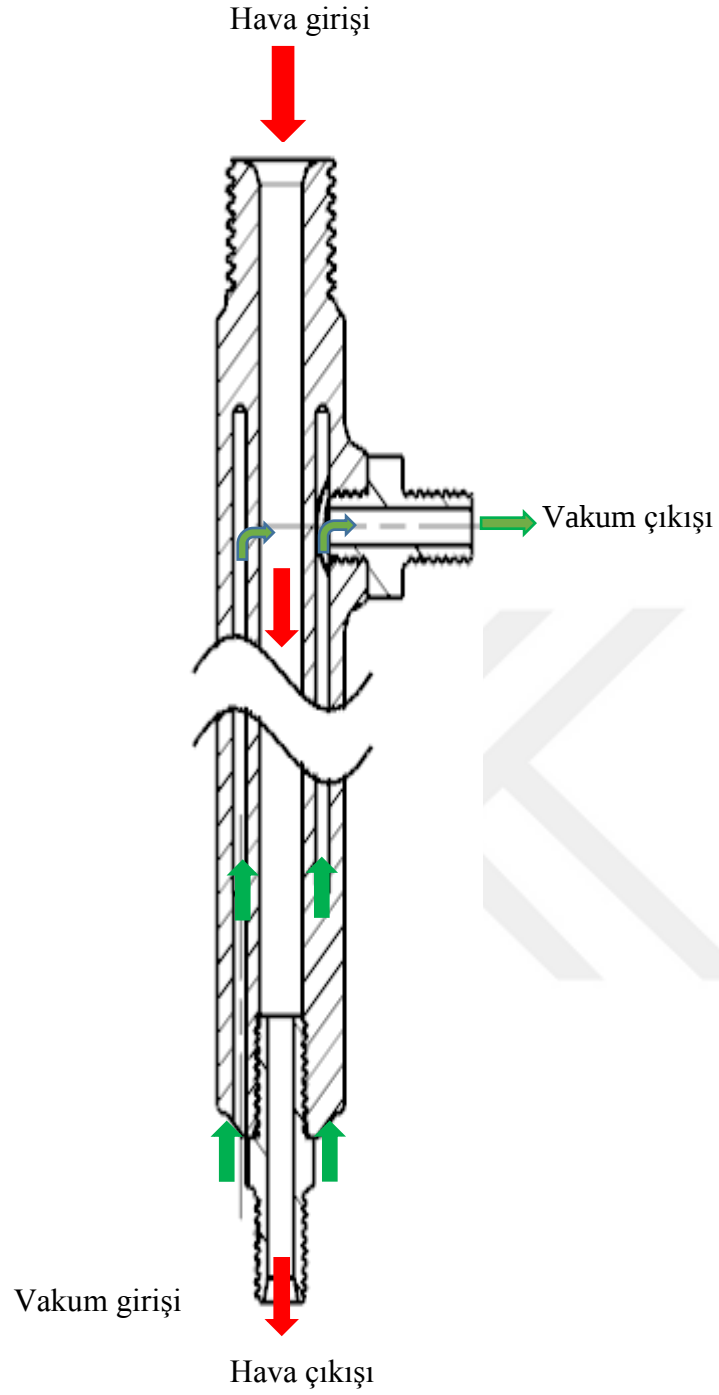


a)



b)

Şekil 6.15. Erer bağlantı sistemi a) Katı modeli b) Tam kesit.



Şekil 6.16. EBS tam kesit hava akış modeli.

EBS sisteminin hava çıkış noktasına bağlanan tutucu ile organların tutulması ve kaldırılması gerçekleştirilir. Tutma işlemi hava ile yapıldığından dolayı vücut içine dolan havanın tahliyesi yine EBS üzerinden vakum pompası vasıtası ile yapılarak verilen havanın vücut içinden dışarı çıkarılması sağlanmış olur.

### 6.1.7. Debimetre

Belli bir kesitten birim zamanda geçen akışkan miktarına debi denir. Bu debi değerini ölçen aletlere de debimetre (rotometre) denir. Ölçüm tüpü içerisinde sürtünme olmaksızın serbestce hareket eden şamandıra, hava tarafından itilerek konum değiştirir. Bu değişim akış oranı, şamandıranın ağırlığı, akışkanın yoğunluğu ve viskozitesine bağlıdır. Bu çalışmada kullanılan debimetre ve özellikleri Şekil 6.17 ve Çizelge 6.1’de verilmiştir. Ayarlanan debi miktarı VA10S-15 1,2-12m<sup>3</sup>/h model’e sahip debimetre ile ölçülmüştür.



Şekil 6.17. Şamandıralı debimetre.

Çizelge 6.1. Şamandıralı Debimetre Özellikleri.

| Model    | Skala                    | Akışkan | Bağlantı | Gövde           | Basınç | Sıcaklık       | Doğruluk |
|----------|--------------------------|---------|----------|-----------------|--------|----------------|----------|
| VA10S-15 | 1,2-12 m <sup>3</sup> /h | Hava    | 1/2"     | Alüminyum + Cam | 10 Bar | 0 .... +120 °C | % ± 2,5  |

### 6.1.8. Akış Kontrol Valfi

Deney sisteminde akışkanın debisini kontrol edebilmek için kullanılan akış kontrol valfi Şekil 6.18’de, özellikleri Çizelge 6. 2’de verilmiştir.



Şekil 6.18. Akış kontrol valfi.

Çizelge 6.2. Akış kontrol valfinin özellikleri.

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Bağlantı boyutu | 1/4"    |
| İşletme basıncı | 1-10bar |
| Sıcaklık        | 0-80 °C |

#### 6.1.9. Selenoid Valf

Selenoid valf, selenoidler tarafından elektrik akımı ile hava akışını kontrol eden bir elektromanyetik cihazdır. Deney düzeneğinde kullanılan selenoid valfin özellikleri Şekil 6.19'da gösterilmiştir.



Şekil 6.19. Selenoid valf ve özellikleri.

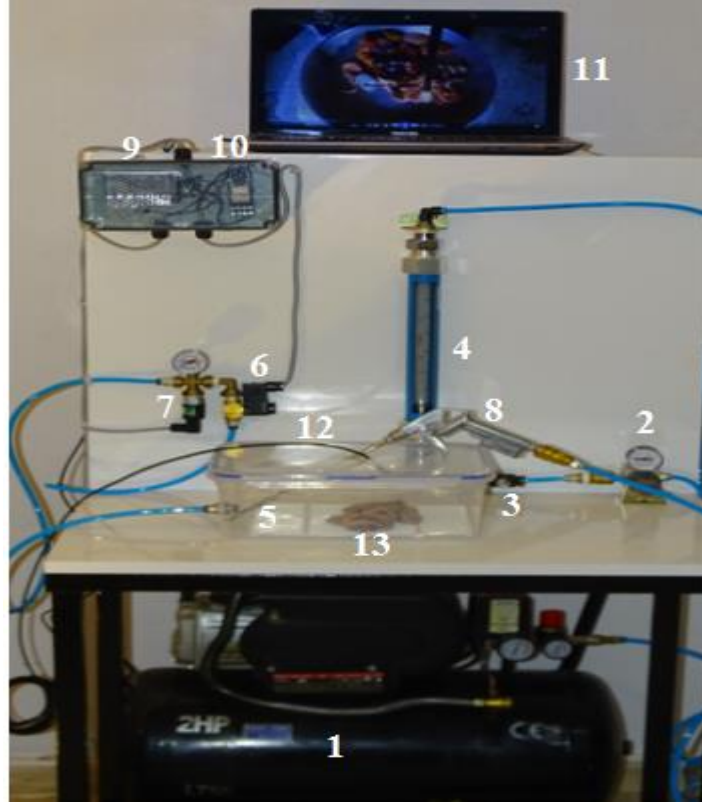
#### 6.1.10. Yardımcı Ekipmanlar

Deney sisteminin çalışması için gerekli basınçlı hava, HM2050F model kompresör vasıtasıyla sağlanmıştır. Havanın basıncı, (0-10 bar) basınç ayar valfi ile debisi ise akış kontrol valfi ile ayarlanmıştır ve ayarlanan debi miktarı ise VA10S-15 1,2-12m<sup>3</sup>/h model'e sahip debimetre ile ölçülmüştür. Hava tabancasına bağlanan beş farklı tutucunun çekme kuvvetleri dinamometre ile ölçülmüştür. Sistemde bulunan basınç sensörü, selenoid valf, adaptör ve röle kapalı sisteme giren havanın dışarı tahliye edilmesi için kullanılan ekipmanlardır.

#### 6.1.11. Kaldırmak İçin Kullanılan Hayvansal Dokular

Deneylerde tasarlanan ve prototipi üretilen tutucuları test etmek için tutma ve kaldırma işleminde etik kurula uygun ve aynı zamanda gerçek şartlarda çalışılamayacağı için insan organları yerine cansız tavuk organları kullanılmıştır. Bu organlar karaciğer, akciğer,





Şekil 6.21. Deney sisteminin genel bir görüntüsü.

Hava kompresörü (1), Basınç regülatörü (2), Akış kontrol valfi (3), Debimetre (4), Deney kutusu (5), Selenoid valf (6), Basınç sensörü (7), Hava tabancası (8), Adaptör (9), Röle (10), Monitör (11), Kamera (12), Organ (13)



Şekil 6.22. Doku kaldırma işleminin görüntüsü.

Deney sisteminde insan vücudunu simüle etmek için sızdırmaz, şeffaf plastik kutu kullanılmıştır. Normal Laparoskopik ameliyatlarda cerraha çalışma alanı oluşturmak amacıyla göbek içinden 1 cm'lik kesi yapılarak bir iğne (Veres iğnesi) yardımıyla 3-4 litre CO<sub>2</sub> gazı verilerek karın iç basıncı ortalama 12-15 mmHg olacak şekilde şişirilir. CO<sub>2</sub> kullanılmasının sebebi; hızlı emilim ve atılım (kanda erirliği yüksek), yanıcı olmaması, ucuz olması, işlem sonunda tamamen karın boşluğundan boşaltılabilmesidir. Veres iğnesi çıkarıldıktan sonra aynı kesiden trokar yerleştirilerek buradan video kameraya bağlı laparoskop ile girilerek karın içi gözlemlenir.

Deney sisteminde organları kaldırmak için tutucularda hava kullanılmıştır ve verilen havanın aynı basınçta kalması sağlanmıştır. Kutu içerisine gönderilen havanın basıncında artma yaşanacaktır. Bu basıncın dengede tutulabilmesi için çıkışa basınç sensörü ve selenoid valf konulmuştur. Organ kaldırmak için hava verildiğinde ayarlanan basınç değerinin üzerine çıktığında selenoid valf açılarak fazla havayı dışarı (atmosfere) çıkarmaktadır. Bu sayede kutu içerisindeki basınç değeri sabit kalacaktır. Aksi takdirde vücutta biriken fazla basıncın organlara zarar verme riski vardır.

Deney sisteminde hava kullanıldığı için hava kaynağı olarak kompresör kullanılmıştır. Gerçek şartlarda CO<sub>2</sub> gazı kullanılması öngörülmüştür. Deney sisteminde kullanılan hava, kontrollü olarak dışarıya tahliye edilmektedir. Gerçek şartlarda CO<sub>2</sub> gazının deney sisteminde kapalı sirkülasyonu planlanmıştır. Bu sayede ameliyat sırasında CO<sub>2</sub> gazının sarfiyatı en aza indirilmiş olacaktır.

Kapalı sistemde peristaltik pompa kullanılması planlanmıştır. Bu tür pompalar, tam kapalı sisteme sahip olduğundan dolayı pompa mekanizmasından herhangi bir kir veya benzeri madde almamaktadır. Bu tür pompalar kan transferlerinde de kullanılmaktadır.

Deney düzeneğinde hava girişini kontrol altında tutabilmek için basınç regülatörü, akış kontrol valfi ve debimetre kullanılmıştır. Laparoskopik ameliyatlarda kamera eşliğinde yapıldığından dolayı gerçek şartlarda olduğu gibi deney düzeneğinde kamera sistemi kullanılmıştır.

## 7. TAGUCHI METODU İLE TUTUCULARIN ÇEKME KUVVETLERİNİN OPTİMİZASYONU

Taguchi tekniği, işlem parametrelerini optimize etmek için kullanılır. Endüstriyel sanayide son derece faydalı olan deneysel bir tasarım tekniğidir. Deney sayısının azaltılması ile ilgilidir. Optimizasyonun amacı; Taguchi tekniği ile belirlenen farklı işlem parametrelerinin ortalama değerleri alınarak deneyde hangi değişkenin önemli ölçüde ürünlerdeki kaliteye katkıda bulunduğu tespit edilir. Taguchi üç aşamadan oluşmaktadır; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı. Sistem tasarımında, eldeki bütün materyaller değerlendirilirken mevcut teknolojik yenilikler araştırılır ve sistem içerisinde kullanılabilirliği üzerine fizibilitesi yapılarak temel parametre değerlerini hesaplamak için teorik bilgi ve deneyim kullanılır. Bu tasarımda amaç en az maliyetle en iyi ürün tasarımını gerçekleştirmektir. Süreç iyileştirme ve geliştirmenin en önemli adımı parametre tasarımıdır. Bu adımda üretilen ya da geliştirilecek olan ürünün özelliklerinin en iyi seviyeye getirilebilmesi için üretimde kullanılan parametrelerin iyileştirilmesi sağlanır. Parametrelere en iyi seviyeler seçilir. Tolerans tasarımında parametre belirleme çalışmaları sonucu istenilen hedefe ulaşamadığında yapılan ilave çalışmalardır. Kalite kaybı fonksiyonu ile bu aşamada gözlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunarak sapmalar azaltılır [98], [99].

Taguchi tekniği ile gerçekleştirilen analizler ve değerlendirmeler sayesinde deney sayısını önemli ölçüde azaltmak mümkündür. Taguchi tekniği ile üründe kaliteyi etkileyen faktörler tespit edilir. Kayıp fonksiyon değerleri bir sinyal gürültü S/N oranına dönüştürülür [100], [101]. Genel olarak, Sinyal gürültü S/N oranı analizinde en düşük, en yüksek, hedef değer en iyi olmak üzere üç farklı kalite özelliği vardır. Her bir işlem parametresi seviyesi için sinyal gürültü S/N oranları; denklem 1, denklem 2 ve denklem 3’de belirtildiği gibi S/N analizlerine dayalı olarak hesaplanır.

Nominal en iyi (hedef değer en iyi) olduğu durumda;

$$\eta = S/N_T = 10 \log \left[ \frac{\bar{y}}{s_y^2} \right] \quad (7.1)$$

En büyük (yüksek) en iyi olduğu durumda

$$\eta = S/N_L = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (7.2)$$

En küçük (düşük) en iyi olduğu durumda;

$$\eta = S/N_S = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (7.3)$$

Denklemlerde;  $\bar{y}$ , gözlenen verilerin ortalamasıdır.  $S_y^2$ ; gözlem değerinin varyansdır.  $y_i$ ; performans yanıtıdır.  $i$ ; gözlem değeridir. Bu tezde deney sonuçlarının değerlendirilmesi için Taguchi'nin en büyük en iyi durumu kullanılmıştır.

## 7.1. KONTROL FAKTÖRLERİNİN BELİRLENMESİ VE ORTOGONAL DİZİ SEÇİMİ

Bu adımda parametreler bloklanırken Taguchi'nin geliştirmiş olduğu ortogonal diziler kullanılır. Aynı zamanda sinyal gürültü oranı S/N-signal/noise ratio analizi ile de hesaplama yapılabilir. Parametreler belirlendikten sonra Taguchi ortogonal dizisinden bir dizi seçmek gerekmektedir. Deneysel tasarımda bir araştırmacı 5 parametreye sahipse ve her bir parametrenin 3 seviyesi olduğu kabul edilirse  $L_{18}$  dizisi en uygun dizi olarak seçilir. Ayrıca kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini karşılaştırmak için sinyal gürültü oranı S/N kullanılır. Geleneksel deney tasarım yöntemleri yüksek malzeme maliyeti, uzun zaman ve kaynak gerektiren yöntemlerdir. Her bir parametrenin deney üzerindeki etkisini araştırmak için diğer bütün parametreler sabit tutularak her seferinde bir parametre denenir. Taguchi özel bir istatistiksel deney tasarım yöntemi kullanmaktadır. Üründe kaliteyi etkileyen kontrol edilebilir faktörlerin etkisini az sayıda deney ile incelemek için parametre seçimi kritiktir. Çünkü deney sayısı kontrol faktörlerinin parametre sayısına bağlıdır. Deneyin amacı ile deneysel bütçe ve kaynakların kullanılabilirliği her bir kontrol faktörü için tespit edilecek etkileşimler optimizasyon için incelenmelidir. Taguchi metodunda mevcut olan standart ortogonal dizilerin seçimi de ayrı bir işlemdir.

Dizilerin seçiminde öncelikle faktör grubunun toplam serbestlik derecesine bakılır. Toplam serbestlik derecesi dizilerden hangisine uygunluk sağlarsa o tercih edilir. Faktörde kullanılan seviye sayısı seçilecek olan ortogonal düzenin iki ya da üç seviyeli oluşunu belirler. Eğer bazı faktörler iki seviyeli, bazıları da üç seviyeli ise daha baskın olanı kullanılacak olan dizinin tipini belirler. Kullanılacak olan dizinin iki ya da üç

seviyeli oluşuna karar verdikten sonra, yeterli serbestlik derecesini sağlayacak sayıda deney içeren dizi seçilir. Seçilen parametre tasarımı önerilen deney için yeterli derecede serbestlik sağlayacaktır. Deneylerdeki toplam serbestlik derecesi sayısı  $\geq$  parametre sayısı ve parametre etkilerini incelemek için gerekli serbestlik derecesini sağlayacaktır.

Bu çalışma da Taguchi  $L_{25}$  ortogonal dizisi seçilerek 125 deney yerine 25 adet deney yapılması planlanmıştır. Deneylerde kullanılan deney parametreleri ve seviyeleri Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Çekme kuvveti için seçilen deney parametreleri ve seviyeleri.

| No | Sembol | Kontrol Faktörleri                        | Seviyeleri |        |        |        |        |
|----|--------|-------------------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
|    |        |                                           | 1          | 2      | 3      | 4      | 5      |
| 1  | A      | Tutucu Tipi (Tt)                          | ERER 1     | ERER 2 | ERER 3 | ERER 4 | ERER 5 |
| 2  | B      | Hava Basıncı (Hb, bar)                    | 3,5        | 4      | 4,5    | 5      | 5,5    |
| 3  | C      | Akışkan debisi (Ad, m <sup>3</sup> /saat) | 2,2        | 2,4    | 2,6    | 2,8    | 3      |

Bütün etkiler dikkate alındığında 125 deney yerine sadece 25 adet deney yapılmış, böylece deney sayıları azaltılmıştır. Çalışma kapsamında Taguchi  $L_{25}$  ortogonal dizisi kullanılmıştır. Çekme kuvveti deneyleri için özel olarak tasarlanmış 5 farklı tutucu tipi, 5 farklı hava basıncı ve 5 farklı debi kullanılmıştır. Taguchi metodunun ilk adımı olan ortogonal dizi seçimi için oluşturulan tablo, Çizelge 7.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Taguchi L<sub>25</sub> ortogonal dizi seçim çizelgesi.

| Deney No | A | B | C |
|----------|---|---|---|
| 1        | 1 | 1 | 1 |
| 2        | 1 | 2 | 2 |
| 3        | 1 | 3 | 3 |
| 4        | 1 | 4 | 4 |
| 5        | 1 | 5 | 5 |
| 6        | 2 | 1 | 2 |
| 7        | 2 | 2 | 3 |
| 8        | 2 | 3 | 4 |
| 9        | 2 | 4 | 5 |
| 10       | 2 | 5 | 1 |
| 11       | 3 | 1 | 3 |
| 12       | 3 | 2 | 4 |
| 13       | 3 | 3 | 5 |
| 14       | 3 | 4 | 1 |
| 15       | 3 | 5 | 2 |
| 16       | 4 | 1 | 4 |
| 17       | 4 | 2 | 5 |
| 18       | 4 | 3 | 1 |
| 19       | 4 | 4 | 2 |
| 20       | 4 | 5 | 3 |
| 21       | 5 | 1 | 5 |
| 22       | 5 | 2 | 1 |
| 23       | 5 | 3 | 2 |
| 24       | 5 | 4 | 3 |
| 25       | 5 | 5 | 4 |

Çizelge 7.2’de kullanılan sembollerde; A Tutucu tipi, B Hava basıncı ve C Akışkan debisini göstermektedir

## 7.2. S/N ORANLARINI KULLANARAK DENEYSEL SONUÇLARIN OPTİMİZASYONU

S/N oranı, sistemin kalite karakteristiğinin değişkenliğini yansıtabilmektedir. Bunun yanında, ortalamanın ayarlanmasına bağlı değildir. Yani, eğer hedef değer değiştirilirse,

S/N oranı kaliteyi tahmin etmek için yararlı olacaktır. Deneylerden elde edilen sonuçlarda çekme kuvveti deneyleri için arzulanan değer yüksek olması olduğu için S/N oranlarının hesaplanmasında Denklem 7.2'deki “En büyük en iyi” durumundaki denklem kullanılmıştır.  $L_{25}$  ortogonal dizi kullanarak oluşturulan deneysel tasarım kullanılarak yürütülen deneyler, deneysel sonuçlar ve S/N oranları Çizelge 7.3’de, Çekme kuvveti ve S/N oranlarının ortalaması Çizelge 7.4.’de gösterilmiştir.

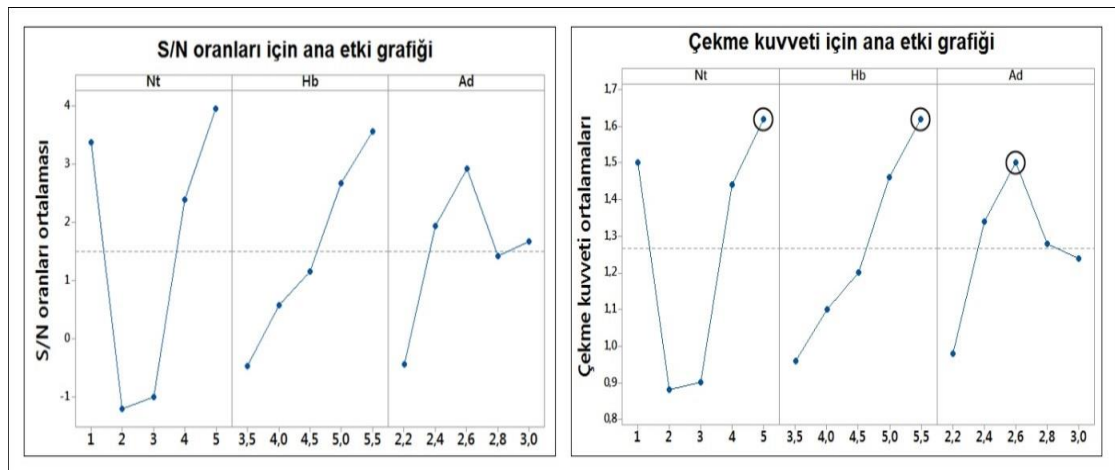
Çizelge 7.3. Çekme kuvveti için deneysel sonuçlar ve S/N oranları.

| No | Kontrol Faktörleri |                        |                                           | S/N Oranı (dB)        |         |
|----|--------------------|------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|---------|
|    | A                  | B                      | C                                         | Çekme Kuvveti (Ts, N) | S/N     |
|    | Tutucu tipi (Tt)   | Hava Basıncı (Hb, Bar) | Akışkan debisi (Ad, m <sup>3</sup> /saat) |                       |         |
| 1  | 1                  | 3,5                    | 2,2                                       | 1,1                   | 0,8278  |
| 2  | 1                  | 4                      | 2,4                                       | 1,3                   | 2,2788  |
| 3  | 1                  | 4,5                    | 2,6                                       | 1,7                   | 4,6098  |
| 4  | 1                  | 5                      | 2,8                                       | 1,6                   | 4,0824  |
| 5  | 1                  | 5,5                    | 3                                         | 1,8                   | 5,1054  |
| 6  | 2                  | 3,5                    | 2,4                                       | 0,7                   | -3,0980 |
| 7  | 2                  | 4                      | 2,6                                       | 0,8                   | -1,9382 |
| 8  | 2                  | 4,5                    | 2,8                                       | 0,9                   | -0,9151 |
| 9  | 2                  | 5                      | 3                                         | 1,1                   | -0,8278 |
| 10 | 2                  | 5,5                    | 2,2                                       | 0,9                   | -0,9151 |
| 11 | 3                  | 3,5                    | 2,6                                       | 1                     | 0       |
| 12 | 3                  | 4                      | 2,8                                       | 0,8                   | -1,9382 |
| 13 | 3                  | 4,5                    | 3                                         | 1                     | 0       |
| 14 | 3                  | 5                      | 2,2                                       | 0,7                   | -3,0980 |
| 15 | 3                  | 5,5                    | 2,4                                       | 1                     | 0       |
| 16 | 4                  | 3,5                    | 2,8                                       | 0,9                   | -0,9151 |
| 17 | 4                  | 4                      | 3                                         | 1,2                   | 1,5836  |
| 18 | 4                  | 4,5                    | 2,2                                       | 0,8                   | -1,9382 |
| 19 | 4                  | 5                      | 2,4                                       | 2,1                   | 6,4443  |
| 20 | 4                  | 5,5                    | 2,6                                       | 2,2                   | 6,8484  |
| 21 | 5                  | 3,5                    | 3                                         | 1,1                   | 0,8278  |
| 22 | 5                  | 4                      | 2,2                                       | 1,4                   | 2,9225  |
| 23 | 5                  | 4,5                    | 2,4                                       | 1,6                   | 4,0824  |
| 24 | 5                  | 5                      | 2,6                                       | 1,8                   | 5,1054  |
| 25 | 5                  | 5,5                    | 2,8                                       | 2,2                   | 6,8484  |

Çizelge 7.4. Çekme kuvveti ve S/N oranlarının (dB) ortalaması.

| Kontrol faktörleri                 | Seviye 1 | Seviye 2 | Seviye 3 | Seviye 4 | Seviye 5 | Delta  |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| S/N oranları (dB)                  |          |          |          |          |          |        |
| A (Tutucu Tipi, Tt)                | 3,3807   | -1,2077  | -1,0072  | 2,4046   | 3,9573   | 5,1651 |
| B (Hava basıncı, Hb, bar)          | -0,4715  | 0,5817   | 1,1676   | 2,6724   | 3,5774   | 4,0489 |
| C (Debi, Ad, m <sup>3</sup> /saat) | -0,4402  | 1,9415   | 2,9249   | 1,4325   | 1,6690   | 3,3651 |
| Çekme Kuvveti (N)                  |          |          |          |          |          |        |
| A (Tutucu Tipi, Tt)                | 1,50     | 0,88     | 0,90     | 1,44     | 1,62     | 0,74   |
| B (Hava basıncı, Hb, bar)          | 0,96     | 1,10     | 1,20     | 1,46     | 1,62     | 0,66   |
| C (Debi, Ad, m <sup>3</sup> /saat) | 0,98     | 1,34     | 1,50     | 1,28     | 1,24     | 0,52   |

Yürütülen 25 adet deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara dayanarak hesaplanan ortalama çekme kuvveti değeri 1,268 N ve ortalama S/N oranı da 1,505 dB olmuştur. Deneysel çalışmanın sonucunda kontrol faktörlerine göre maksimum çekme kuvveti tespiti için uygun kalite karakteristiğinin seçiminde hesaplanan sinyal gürültü oranlarına S/N göre, en büyük en iyi olduğu durum için elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır. S/N oranı, ortalama ve varyansı birleştiren bir istatistiktir ve kalite karakteristiğinin türüne bağlıdır. Ayrıca, her faktör düzeyinin kalite karakteristiği üzerindeki etkileri S/N oranları kullanılarak analiz edilebilir. Bu etkiler, deneysel sonuçların veya S/N oranlarının toplam ortalama değerlerine göre değerlendirilir. Optimum değer hesaplamasında önemli olan en uygun seviyeleri belirlemektir. Optimum seviyeler, L<sub>25</sub> Ortogonal dizi tarafından üretilen kombinasyonların sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin farklı seviyelerini değerlendirilerek belirlenmektedir. Kontrol faktörlerine ve seviyelerine göre hesaplanan S/N oranları ve ortalama çekme kuvveti dağılımları Şekil 7.1’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Kontrol faktörlerinin ana etki grafikleri.

Bu grafikler optimum seviyelerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Hesaplanan optimum değerler, 25 deney ve onların ( $5^3$ ) muhtemel kombinasyonu için önerilmiştir. Buna göre yürütülen çekme deneyi için optimum kombinasyon A5B5C3 (A5=Erer 5 tutucu, B5 = 5,5 bar basınç, C3 = 2,6 m<sup>3</sup>/saat hava debisi) olarak bulunmuştur.

### 7.3. ANOVA KULLANARAK VERİ ANALİZİ

Varyans Analizi (ANOVA) Taguchi Metodundaki tüm kontrol faktörlerinin bireysel etkileşimlerini belirlemek ve analiz etmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu çalışmada, tutucu tipi, hava basıncı ve akışkan debisi parametrelerinin çekme kuvveti üzerine etkileri ANOVA metodu kullanılarak araştırılmıştır. Analizde, her kontrol faktörünün yüzde dağılımları, gözlemlenen kalite karakteristikleri üzerindeki etkilerini ölçmek için kullanılmıştır. Deney sonuçları, %95'lik bir güven düzeyinde değerlendirilmiştir. Deney sonuçları için varyans analizi tablosu Çizelge 7.5'de, S/N oranları için ANOVA tablosu Çizelge 7.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. Çekme kuvveti için ANOVA sonuçları.

| Varyans Kaynağı                  | Serbestlik Derecesi (DF) | Kareler Toplamı (SS) | Kareler ortalaması (MS) | F    | P     | Yüzde Dağılım (%) |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|------|-------|-------------------|
| <i>Çekme Kuvveti (Çk-Newton)</i> |                          |                      |                         |      |       |                   |
| Tt                               | 4                        | 2,4664               | 0,61660                 | 9,12 | 0.001 | 45,39             |
| Hb                               | 4                        | 1,4424               | 0,36060                 | 5,33 | 0.011 | 26,54             |
| Ad                               | 4                        | 0,7144               | 0,17860                 | 2,64 | 0.086 | 13,14             |
| Hata (e)                         | 12                       | 0,8112               | 0,06760                 | -    |       | 14,93             |
| Toplam                           | 24                       | 5,4344               | -                       | -    |       |                   |

Çizelge 7.5'de çekme kuvvetine etki eden kontrol faktörlerinin varyans analizi sonuçları verilmiştir. Burada sırasıyla tutucu tipi (Tt) % 45,39, hava basıncı (Hb) % 26,54, akışkan debisi (Ad) % 13,14 ve hata (e) % 14,93 olarak yüzde dağılımları elde edilmiştir. Tabloya göre çekme kuvvetine etki eden en etkili faktör % 45,39 oranla tutucu tipi olmuştur. Bu faktörü % 26,54 hava basıncı takip etmektedir. Çekme kuvveti sonuçları esas alınarak yapılan ANOVA analizinde hata oranı % 14,93 çıkmıştır.

Çizelge 7.6. S/N oranları için ANOVA sonuçları.

| Varyans Kaynağı                      | Serbestlik Derecesi (DF) | Kareler Toplamı (SS) | Kareler ortalaması (MS) | F     | Yüzde Dağılım (%) |
|--------------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|-------|-------------------|
| <i>Sinyal-gürültü oranı (S/N-dB)</i> |                          |                      |                         |       |                   |
| Tt                                   | 4                        | 120,06               | 30,015                  | 10,65 | 50,73             |
| Hb                                   | 4                        | 52,65                | 13,163                  | 4,67  | 22,24             |
| Ad                                   | 4                        | 30,11                | 7,528                   | 2,67  | 12,72             |
| Hata (e)                             | 12                       | 33,82                | 2,819                   | -     | 14,31             |
| Toplam                               | 24                       | 236,65               | -                       | -     |                   |

Çizelge 7.6’da çekme kuvveti değerlerinin S/N oranları kullanılarak yapılan varyans analizi sonuçları verilmiştir. Çizelge 7.6’da en etkili faktör % 50,73 oranla tutucu tipi olmuştur. Tutucu tipini % 22,24 oranla hava basıncı takip etmiş, hata yüzdesi ise %14,31 olmuştur. Her iki tablo değerlendirildiğinde faktör etkileri ve hata değerleri birbirine benzerlik göstermektedir. Bu durum çekme kuvveti için deneysel çalışmaların sonucu tatmin edicidir.

#### 7.4. DOĞRULAMA DENEYLERİ VE KALİTE KAYIPLARININ BELİRLENMESİ

Doğrulama deneyleri ve kalite kayıplarının belirlenmesi Taguchi yönteminin son adımıdır ve bu uygulamaların amacı kalite özelliklerini analiz etmektir. Doğrulama deneylerinin amacı, analiz aşamasında elde edilen sonuçların geçerliliğini doğrulamaktır. Doğrulama deneyleri, faktörlerin ve düzeylerinin spesifik kombinasyonunu test etme amacına hizmet eder ve kontrol faktörleri tarafından üretilen toplam etki tarafından tanımlanır [102], [103]. Bu faktörler, her bir etkinin toplamına eşittir. Taguchi optimizasyon tekniğinde, optimize koşulun doğrulanması için bir doğrulama deneyinin yapılması gereklidir [104]. Maksimum çekme kuvvetinin tahmin değeri, değerlendirilen optimal kombinasyon içindeki etkili faktörler göz önüne alınarak bulunur. Bu nedenle, kontrol faktörlerinin bireysel etkileri göz önünde bulundurularak; A5B5C3 (A5=Erer 5 tutucu, B5 = 5,5 bar basınç, C3 = 2,6 m<sup>3</sup>/saat hava debisi) için maksimum çekme kuvveti tahmin değeri (T<sub>sp</sub>) aşağıda verilen denklem ile hesaplanmıştır.

$$T_{sp} = A_5 + B_5 + C_3 - 2T_{sort} \quad (7.4)$$

Burada  $A_5$ ,  $B_5$  ve  $C_3$  faktörlerin farklı seviyelerine ait deneylerin ortalamalarıdır.  $Ts_{ort}$  çekme kuvveti değerlerinin ortalamasıdır. İfade edilen değerler kullanılarak yapılan hesaplamada maksimum çekme kuvveti tahmin değeri, 2.204 N olarak elde edilmiştir. Doğrulama deneylerinin kalite özelliğini doğrulamak için, güven aralığı (CI) kullanılır. Güven aralığı, gerçek ortalamanın belirtilen güven düzeyine düşmesi gereken bir maksimum ve minimum değerdir. Optimum değerlerin tahmin edilmesinde kullanılan CI aşağıda yer alan denklemle hesaplanır.

$$CI = \sqrt{F_{\alpha:1, V_e} \times V_{ep} \times \left( \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \quad (7.5)$$

Burada  $F_{\alpha:1, V_e}$  önem düzeyi  $\alpha$ 'nın  $F$  oranı,  $\alpha$  önem düzeyi,  $1 - \alpha$  güven aralığı,  $V_e$  çekilmiş hatanın serbestlik derecesi,  $V_{ep}$  hatanın varyansı,  $r$  doğrulama deney sayısı ve  $n_{eff}$  etkin ölçülen sonuçların sayısıdır [105].

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + V_t} \quad (7.6)$$

Burada  $N$  toplam deney sayısını (25),  $V_t=12$  ortalamının hesaplandığı işlem parametrelerine ait toplam serbestlik derecesidir. Buna göre  $n_{eff} = 1,923$  olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada yürütülen deneysel çalışmaların performansını değerlendirmek için optimal koşullar ( $A_5$ =Erer 5 tutucu,  $B_5 = 5,5$  bar basınç,  $C_3 = 2,6$  m<sup>3</sup>/saat hava debisi) kullanılarak üç doğrulama deneyi gerçekleştirilmiştir. Maksimum çekme kuvveti %95 güven aralığında yapılan değerlendirmede  $\alpha=0.05$  ve  $V_e = 12$  dikkate alınarak  $F$  dağılımı tablosundan  $F_{\alpha=1, V_e}=4.7472$  olarak bulunmuştur.  $V_{ep}$  değeri de 0,06760 olarak Çizelge 7.5'den okunmuştur. Denklem 7.5 ve Denklem 7.6 kullanılarak  $CI=0.523$  olarak hesaplanmıştır. Optimal seviyeler dikkate alınarak ( $A_5B_5C_3$ ) yürütülen doğrulama deneylerinde çekme kuvveti değerleri sırasıyla 2,2, 2,1 ve 2,1 N olarak elde edilmiş ve bunların ortalamaları da 2,133 N. olarak hesaplanmıştır. Belirlenen CI değeri dikkate alınarak çekme kuvveti değerleri  $2,204 - 0,523 < 2,133 < 2,204 + 0,523 = 1,681 < 2,133 < 2,727$  aralığın da bulunmuştur. Çekme kuvveti için yürütülen doğrulama deneylerinin sonucu belirlenen güven aralığı içerisinde gerçekleşmiştir. Bu durum optimizasyonun başarılı olduğunu ispatlamaktadır. Sonraki adımda elde edilen tahmin değerlerle, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçları Çizelge 7.7'de karşılaştırılmıştır.

Güvenilir analiz için bu karşılaştırmadaki hata değerleri %20'den az olması gerekmektedir [106].

Çizelge 7.7. Deneysel ve tahmin değerlerin karşılaştırılması.

| Seçim ve doğrulama deneyi | Çekme Kuvveti (N) |          |        |        |
|---------------------------|-------------------|----------|--------|--------|
|                           | Seviye            | Deneysel | Tahmin | Hata % |
| Optimum kombinasyon       | $A_5B_5C_3$       | 2,133    | 2,204  | % 3    |
| Başlangıç kombinasyonu    | $A_2B_1C_2$       | 0,7      | 0,644  | % 8    |

Çizelge 7. 7'de, doğrulama deneyi sonuçlarıyla Taguchi tekniği ile elde edilen sonuçlar arasındaki farkın çok küçük olduğu görülmektedir. Bu durum optimizasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Çizelge 7.7'ye göre çekme kuvveti değerleri 0,7 N'dan 2,133 N'a yükseltilmiş ve optimum kombinasyonla geliştirilen doğruluk çekme kuvveti için % 67'ye  $(2,133-0,7/2,133)$  kadar arttırılmıştır. Çizelge 7.8'de ilk ve en uygun koşullar arasındaki performans karşılaştırmaları listelenmiştir. Doğrulama deneylerinin ortalaması 1,681 - 2,727 N aralığında tahmin edilen aralıkta bulunan 2,133 N'dur, bu aralık bu çalışmada ele alınan kontrol faktörlerinin hem anlamlı hem de doğru olduğu anlamına gelir.

Çizelge 7.8. Başlangıç ve en uygun kombinasyonlar arasındaki performans karşılaştırılması.

| Seviye               | Başlangıç kombinasyonu<br>$A_2B_1C_2$ | Optimal kombinasyon   |                          |
|----------------------|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
|                      |                                       | Tahmin<br>$A_5B_5C_3$ | Doğrulama<br>$A_5B_5C_3$ |
| Çekme Kuvveti (Çk-N) | 0,7                                   | 2,204±0.523           | 2,133                    |
| Kalite Kayıpları     |                                       |                       | % 10,69                  |

Bu deneyin kalite karakteristiği Çizelge 7.8'de belirtildiği gibi 0,7 N'dan 2,133 N'a geliştirilmiştir. Çekme kuvveti için ilk ve optimal kombinasyonlar arasındaki kalite kayıpları, kalite kaybı fonksiyonu oranı olarak hesaplanabilmektedir. Bu fonksiyon, kalite

iyileştirmesindeki her 3 dB'in kalite kaybının yarısını azaltacağı ilişkisini ifade eder. Kalite kayıp fonksiyonu aşağıda belirtilen denklemle hesaplanmaktadır [105], [107].

$$\frac{L_{opt}(y)}{L_{ini}(y)} \approx \left(\frac{1}{2}\right)^{\Delta\eta/3} \quad (7.7)$$

Denklem 7.7'de  $L_{opt}(y)$  ve  $L_{ini}(y)$  sırasıyla optimal ve başlangıç kombinasyonlardır.  $\Delta\eta$ , optimum ve başlangıç kombinasyonlarının S/N oranları arasındaki farktır. Doğrulama deneyleri için optimal kombinasyonun kalite kaybını değerlendirmek için kullanılacak S/N oranlarındaki farklar, 9,677 [ $\Delta\eta = 9,677 (= 6,579 - (-3,098))$ ] olarak bulunmuştur. Doğrulama testinin kalite kaybı Denklem 7.7 kullanılarak 0,1069 olarak hesaplanmıştır. Bu şekilde, optimal kombinasyonun kalite kaybı, ilk kombinasyonun sadece % 10,69 kadar olur. Bu nedenle, Taguchi yöntemi kullanılarak yapılan optimizasyonda çekme kuvveti için kalite kaybı % 89,31 oranında düşürülmüştür.

## **8. DENEYSEL ÇALIŞMA**

Bu çalışma iki aşamada gerçekleştirildi. İlk aşama, deneysel çalışmada yumuşak, cansız hayvansal dokuların sürekli hava akışı ile oluşturulan vakum ile tutulması ve kaldırılmasının detaylı olarak incelenmesini, ikinci aşama vakum kavramının tutulan dokular üzerindeki etkilerinin incelenmesini içermektedir.

Tutma işleminde cansız hayvansal doku ve esnek malzeme olarak yetişkin tavuk organlarından yararlanılmıştır. Bu organlar karaciğer, akciğer, yürek, taşlık ve deridir. Bu organların yüzey alanları kullanılan tutucuların yüzey alanlarından daha büyük ölçüye sahiptirler. Bu dokuların özellikleri esnek, kaygan ve kolay deforme olabilmeleridir. Bu dokular, kullanılan tutucu ölçülerinden daha geniş bir alana sahip olup yapıları gereği düz bir yüzeye sahip değildirler. Radyal akış kullanılarak esnek ve esnek olmayan malzemelerin (gıda ve tekstil ürünleri) kaldırılması ile ilgili çalışmalar yapılmış olmasına rağmen hayvansal dokuların basınçlı hava ile tutulmasına yönelik deneysel çalışma yapılmamıştır.

Bu bölümde, hem deneysel işlem, hem de deneysel sonuçlar detaylı olarak tartışılmaktadır. Her deneysel sonuç, tek tek ve diğer deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak tartışılmıştır.

### **8.1. DENEYSEL İŞLEM**

Deneyler, tutma işleminin görülebilmesi ve fotoğraflanabilmesi için Laparoskopik kutunun dışında, açık alanda yapılmıştır. Kaldırılan malzeme olarak esnek ve narin doku yapılarına sahip cansız tavuk organlarından karaciğer, akciğer, yürek, taşlık ve deri kullanılmıştır. Taguchi metodu, deneysel parametreleri karıştırarak vermektedir. Yani deneysel tasarım, bir doku için kullanılan kaldırma parametrelerini diğer dokularda da kullanmaktadır. Deneysel çalışma da kullanılan organların doku yapıları birbirinden çok farklıdır. Özellikle karaciğer ve akciğer dokusu narin ve kolay zarar görebilecek niteliktedir. Taşlık ve deri gibi organları kaldırabilmek için daha fazla basınç ve debi değerlerine ihtiyaç vardır. Derinin kaldırılması için gerekli olan yüksek basınç ve debi değerlerinin karaciğer ve akciğer gibi narin yüzeye sahip organların kaldırılması

sonucunda doku hasarları meydana gelmektedir. Her bir organın kendine özgü bir yüzey yapısı olduğu için deneysel çalışmalarda kaldırılan organın doku yapısına göre optimum düzeyde basınç ve debi değerleri seçilmiştir. Bütün deneyler boyunca deney setine gelen hava basıncının ayarlanan değerde kalması sağlanmıştır. Daha sonra hava akışı açılarak dokunun özelliğine göre hava basıncı ve debi miktarı ayarlanmıştır. Kaldırılan dokunun kaymasını engellemek için tutucu üzerinde olan ve havanın direk dokuya çarpmasını engellemek için tasarlanmış hava dağıtıcı sisteminden (deflektör) yararlanılmıştır.

Organı kaldırmak için uygulanan havanın basıncı arttıkça, buna bağlı olarak debi de artmış oldu. Deney esnasında, kaldırılacak organlar sabit tutulup, kaldırma işlemini yapan tutucu dokulara doğru hareket ettirilmiştir. Tutucu, nesneye yaklaştırıldıktan sonra hava açılarak malzemenin kaldırılması sağlanmıştır. Malzemeleri kaldırmak ve o konumda tutmak için, gerekli olan en düşük hava akış miktarı, değişik geometrilili tutucular ve organ ağırlıklarının her durumu için araştırılmıştır. Hava akışının miktarını ölçmek için debimetre kullanılmıştır. Bu debimetreden geçen akışkanın doku yüzeyine çarpmadan deflektör vasıtasıyla yönü değiştirilerek atmosfere akmaktadır ve kaldırma aralığı kendinden oluşmaktadır.

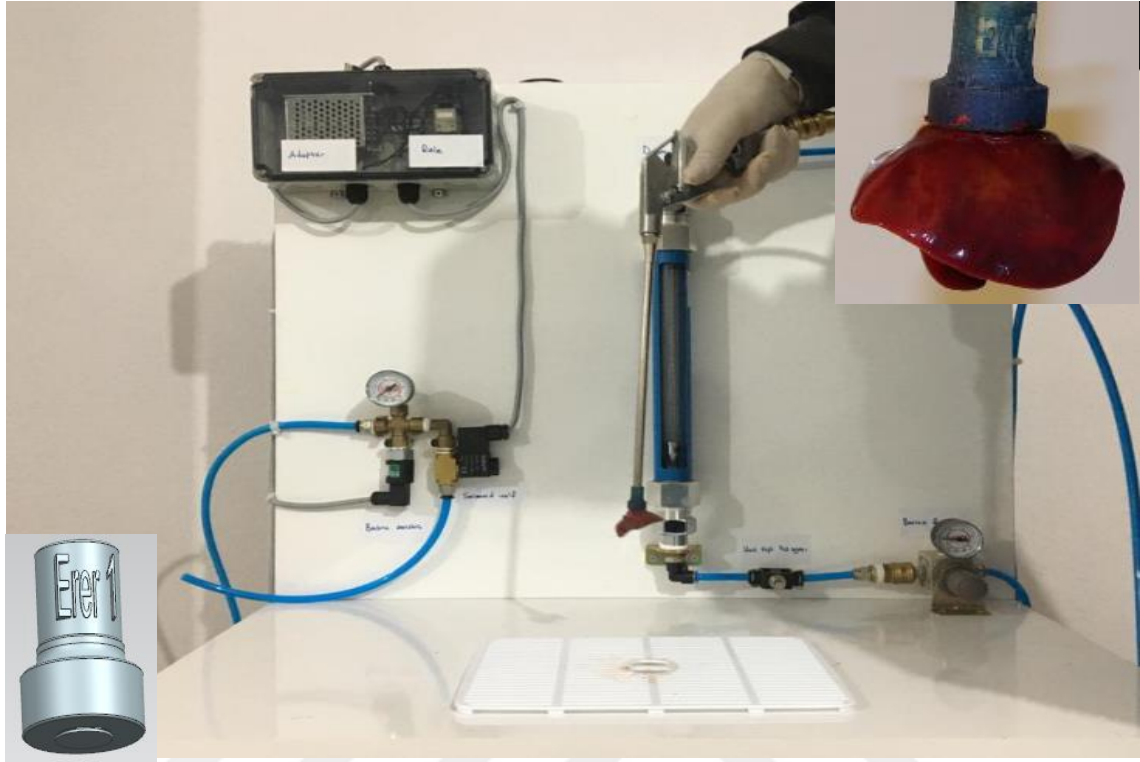
Tasarımı ve üretimi yapılan, Bernoulli prensibi ile hava kullanılarak çalışan farklı geometrilili beş adet tutucu ile değişik tavuk organlarının tutulması ve kaldırılması için yapılan deneysel işlemler aşağıda verilmiştir.

### **8.1.1. Erer 1 Tutucu ile Organların Kaldırılması**

#### **8.1.1.1. Karaciğerin Kaldırılması**

Erer 1 tutucu ile 8 gr ağırlığındaki cansız tavuk organlarından karaciğerin kaldırılması Şekil 8.1’de görülmektedir. Erer 1’in tutucu yüzey alanı  $153,86 \text{ mm}^2$ , deflektörün alanı  $33,16 \text{ mm}^2$ ’dir. Bernoulli etkisi havanın aktığı yerlerde oluşmaktadır. Erer 1’de deflektör üzerinde hava akışı olmadığından dolayı  $33,16 \text{ mm}^2$ ’lik deflektör alanında Bernoulli etkisi görülmemektedir. Dolayısıyla kaldırılan karaciğer deflektöre temas etmektedir. Bu temasın avantajı ise karaciğerin kaldırılması esnasında havanın etkisi ile yatay yönde kayma eğiliminin engellenmesidir. Bernoulli etkisinin olduğu havanın geçtiği alan, tutucu yüzey alanı ile deflektör alanı farkı olan  $120,7 \text{ mm}^2$ ’dir. Kaldırma esnasında organın tutucudan havanın etkisi ile yatay yönde kaymaması için dışardan herhangi bir durdurucu kullanılmamıştır. Organın tutucu yüzeyden kaymasını bütün tutucularda deflektörler önlemektedir.

Erer 1 ve diğer tüm tutucularda organın kaldırılmadan önce tutucu ile merkezlenmesine de ihtiyaç duyulmamıştır.



Şekil 8.1. Erer 1 tutucu ile karaciğerin kaldırılması.

Deneyisel çalışmada kullanılan organlar, her bir tutucu ile düşük basınç ve debi değerleri ile başlamak suretiyle tutma ve kaldırma testine tabi tutulmuşlardır. Kademeli olarak basınç ve debi artırılarak organı tutucudan düşürmeyen ve organa zarar vermeyen optimum basınç ve debi değeri tespit edilmiştir.

Karaciğerin kaldırılması şartları Çizelge 8.1’de görüldüğü gibi 2,5 bar basınç ve 1,6 m<sup>3</sup>/s debi olarak belirlenmiştir. Daha önce belirlenen kaldırma şartlarında tutucu karaciğere yaklaştırılmış ve hava manuel olarak açılmıştır. Tutucuya gönderilen basınçlı hava, merkezi deliğin çıkışına yerleştirilen deflektör sayesinde karaciğere çarpmadan radyal yönde 90° yönünü değiştirerek tutucu yüzeyi üzerinden atmosfere karışmıştır. Bu sayede karaciğerin kuvvetli hava jetinin çarpması sonucu zarar görmesi önlenmiştir. Karaciğer ile tutucu yüzey arasında Bernoulli prensibi gereği havanın hızının artması ile o bölgedeki basınç azalmıştır. Bu basınç dış basınçtan küçük olduğu anda basınç farkından dolayı karaciğer, tutucu yüzeye doğru vakum etkisiyle çekilmiş ve tutucu yüzeyinde düşmeden askıda kalmıştır. Havanın sürekli aktığı tutucu yüzey ile karaciğer arasında hava yastığı

oluşmuş ve karaciğer, bu hava yastığı sayesinde tutucu yüzeye temas etmeden havada kalmıştır. Karaciğerin narin ve esnek yapısından dolayı kaldırma sırasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısımlarında Şekil 8.1’de görüldüğü gibi aşağı doğru sarkma yaşanmıştır. Belirlenen kaldırma şartlarında karaciğer, Erer 1 tutucu ile başarılı bir şekilde, düşmeden ve yatay yönde kaymadan kaldırılmıştır.

Çizelge 8.1. Erer 1 tutucu ile karaciğer kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 1     | 1             | Karaciğer | 8             | 2,5                | 1,6                             | 200                      |

#### 8.1.1.2. Akciğerin Kaldırılması

Erer 1 tutucunun akciğeri kaldırması esnasında kapladığı yüzey alanı 153,86 mm<sup>2</sup>’dir. Kaldırma işlemi Şekil 8.2’de görülmektedir. Erer 1 tutucu ile 5,27 gr ağırlığındaki akciğeri kaldırma parametreleri Çizelge 8.2’de görüldüğü gibi 2,5 bar basınç ve 1,6 m<sup>3</sup>/s debi olarak belirlenmiştir. Deneylerde organlar sabit tutulmuş, tutucu organlara yaklaştırılarak kaldırma işlemi yapılmıştır. Tutucu akciğere yaklaştırıldıktan sonra hava açılıp deney işlemine başlanılmıştır. Akciğerin esnek yapısından dolayı kaldırma işlemi sırasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmında Şekil 8.2’de görüldüğü gibi aşağı yönde sarkmalar yaşanmıştır. Erer 1 tutucu, akciğere merkezlenmeden herhangi bir noktasından, 90° açı ile tutularak düşmeden başarılı bir şekilde yukarıya kaldırılmıştır.



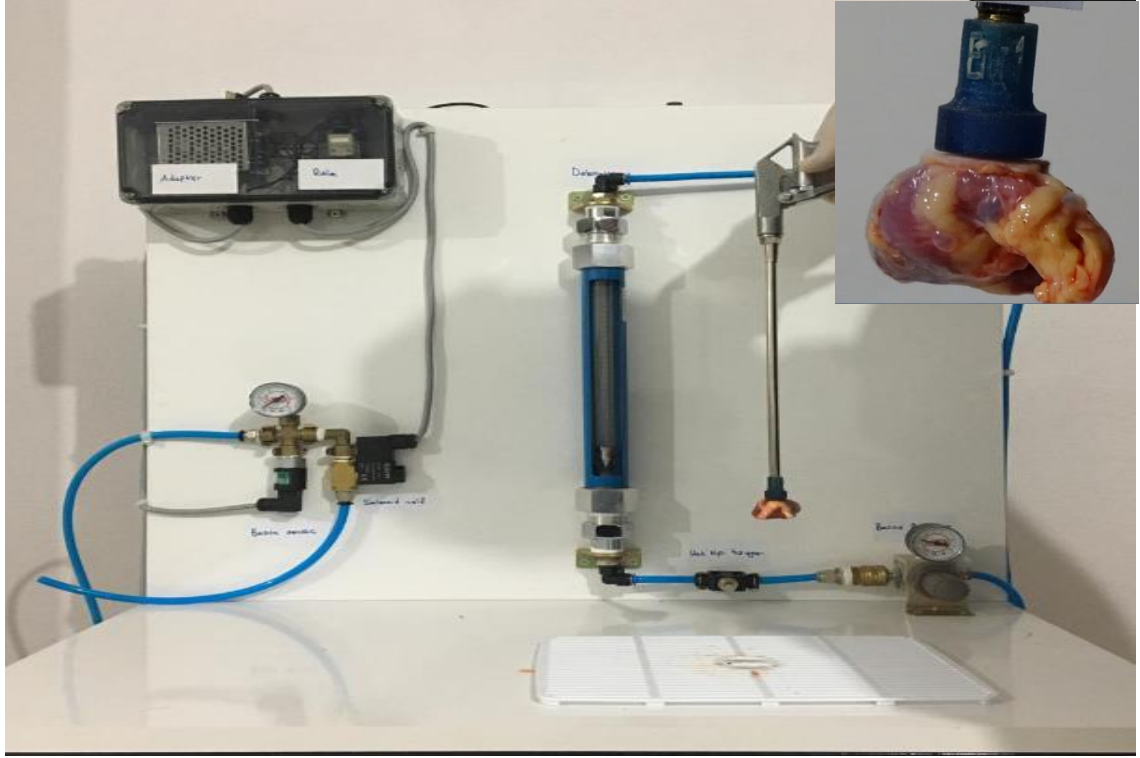
Şekil 8.2. Erer 1 tutucu ile akciğerin kaldırılması.

Çizelge 8.2. Erer 1 tutucu ile akciğer kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 1     | 2             | Akciğer   | 5,27          | 2,5                | 1,6                             | 200                      |

#### 8.1.1.3. Yüreğin Kaldırılması

Erer 1 tutucu ile yüreğin kaldırıldığı deney sistemi ve kaldırma işlemi Şekil 8.3’de görülmektedir. Bu tutucu ile 8,64 gr ağırlığındaki tavuk yüreği Çizelge 8.3’ de belirtildiği gibi 2,5 bar basınç ve 1,6 m<sup>3</sup>/s debide başarılı bir şekilde düşmeden kaldırılmıştır. Yürek, akciğer ve karaciğere göre daha az esnek bir dokuya sahip olduğundan kaldırma esnasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmında Şekil 8.3’de görüldüğü gibi aşağı doğru sarkma daha az olmuştur. Her organ farklı bir yüzey dokusuna sahiptir. Yürek de karaciğer ve akciğer gibi hassas ve yumuşak doku yüzeyine sahip olduğundan kaldırma esnasında doku yüzeyinin zarar görmemesi için kaldırma parametreleri optimum düzeyde seçilmiştir.



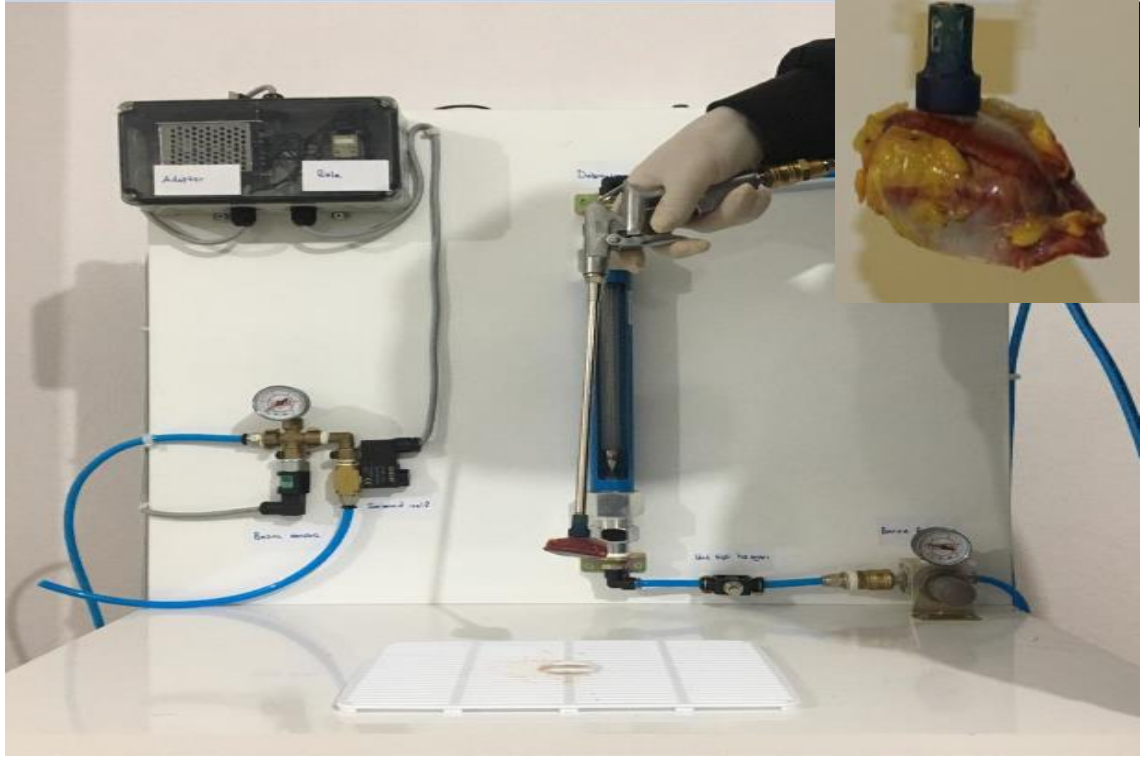
Şekil 8.3. Erer 1 tutucu ile yûreğin kaldırılması.

Çizelge 8.3. Erer 1 tutucu ile yûrek kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 1     | 3             | Yûrek     | 8,64          | 2,5                | 1,6                             | 200                      |

#### 8.1.1.4. Taşlığın Kaldırılması

Erer 1 tutucu ile taşlığın kaldırıldığı deney sistemi ve kaldırma işlemi Şekil 8.4’de görülmektedir. Bu tutucu ile 13,93 gr ağırlığındaki tavuk taşlığı Çizelge 8.4’de belirtildiği gibi 2,5 bar basınç ve 2 m<sup>3</sup>/s debide başarılı bir şekilde düşmeden 90° yukarıya doğru kaldırılmıştır. Erer 1 tutucu yüzeyi taşlık üzerinde 153,86 mm<sup>2</sup> alan kaplamaktadır. Taşlık doku yapısı itibarı ile akciğer, karaciğer ve yûrekten daha sert olduğundan dolayı kaldırma esnasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmında sarkma yaşanmadan geometrik yapısını korumuştur.



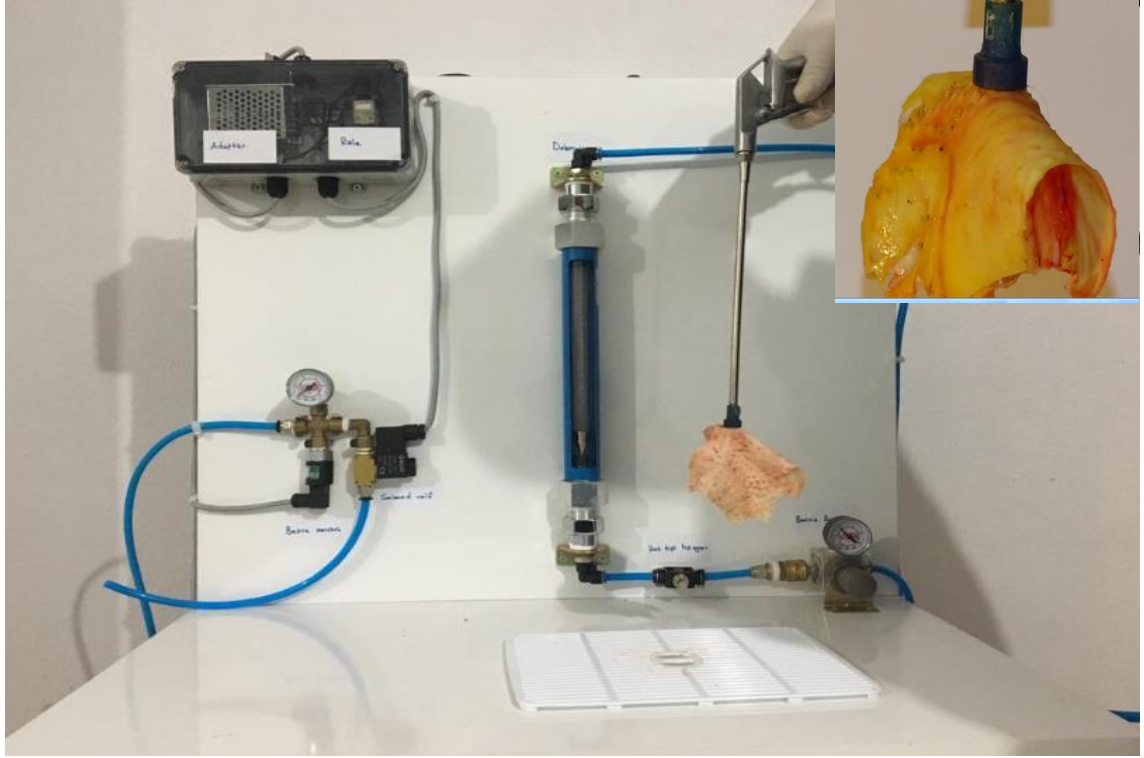
Şekil 8.4. Erer 1 tutucu ile taşlığın kaldırılması.

Çizelge 8.4. Erer 1 tutucu ile taşlık kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 1     | 4             | Taşlık    | 13,93         | 2,5                | 2                               | 200                      |

#### 8.1.1.5. Derinin Kaldırılması

Deneylerde kullanılan tüm organlardan en çok esnek yapıya sahip olanı deridir. Yüzey yapısı düzgün olmaması nedeniyle kaldırılması zor bir nesnedir. Erer 1 tutucu ile derinin kaldırıldığı deney sistemi ve kaldırma işlemi Şekil 8.5’de görülmektedir. Bu tutucu ile 6,28 gr ağırlığındaki tavuk derisi Çizelge 8.5’de belirtildiği gibi 4 bar basınç ve 2 m<sup>3</sup>/s debide başarılı bir şekilde düşmeden kaldırılmıştır. Deri, doku yapısı itibarı ile diğer organların dokularına göre en esnek dokuya sahip olduğundan dolayı kaldırma esnasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmının tamamı Şekil 8.5’de görüldüğü gibi aşağı yönde sarkmıştır.



Şekil 8.5. Erer 1 tutucu ile derinin kaldırılması.

Çizelge 8.5. Erer 1 tutucu ile deri kaldırma deney verileri.

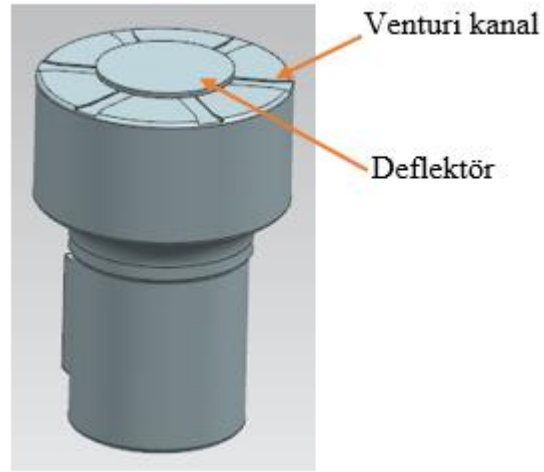
| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m3/s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| Deri       | 5             | Deri      | 6,28          | 4                  | 2                  | 200                      |

### 8.1.2. Erer 2 Tutucu ile Organların Kaldırılması

#### 8.1.2.1. Karaciğerin Kaldırılması

Erer 2 tutucu yüzeyi, kaldırdığı organlar üzerinde  $153,86 \text{ mm}^2$ 'lik bir alan kaplamaktadır. Deflektör alanı  $44,15 \text{ mm}^2$  olarak tasarlanmıştır. Bu alanda hava akışı olmadığı için Bernoulli etkisi görülmemektedir. Erer 2 tutucunun deflektörü karaciğer üzerinde Erer1 tutucuya göre  $10,99 \text{ mm}^2$  daha fazla alan kaplamaktadır. Bu sayede karaciğerin kaldırılması esnasında yatay yönde kayması engellenmiştir. Bu tutucunun yüzeyine çekme kuvvetine pozitif yönde katkıda bulunması amacıyla Şekil 8.6'da görüldüğü gibi altı adet radyal oluk (venturi kanal) açılmıştır.

Tutucuya gönderilen basınçlı hava, merkezi deliğin çıkışına yerleştirilen deflektör sayesinde karaciğere çarpmadan radyal yönde 90° yönünü değiştirerek tutucu yüzeyi üzerinden ve venturi kanallarının içinden geçerek atmosfere akmaktadır. Deflektör sayesinde karaciğerin kuvvetli hava jetinin çarpması sonucu zarar görmesi önlenmiştir. Venturi kanallarının orta kısımlarında kesiti daralmaktadır. Bu dar kesitten geçen havanın hızı artarak o bölgedeki basınç daha da azalmaktadır. Azalan bu basınç sonucu karaciğere uygulanan çekme kuvveti daha da artmaktadır.



Şekil 8.6. Venturi kanallı Erer 2 tutucu.

Erer 2 tutucu ile 8 gr ağırlığındaki karaciğerinin kaldırılması deneyi Şekil 8.7’de görülmektedir. Bu tutucu ile karaciğer Çizelge 8.6’da belirtildiği gibi 2 bar basınç ve 1,6 m<sup>3</sup>/s debide başarılı bir şekilde düşmeden kaldırılmıştır.



Şekil 8.7. Erer 2 tutucu ile karaciğerin kaldırılması.

Çizelge 8.6. Erer 2 tutucu ile karaciğer kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 2     | 1             | Karaciğer | 8             | 2                  | 1,6                             | 200                      |

#### 8.1.2.2. Akciğerin Kaldırılması

Erer 2 tutucu yüzeyinin akciğeri kaldırması esnasında kapladığı alanı 153,86 mm<sup>2</sup>'dir. Kaldırma işlemi Şekil 8.8'de görülmektedir. Erer 2 tutucu ile 5,27 gr ağırlığındaki akciğeri kaldırma parametreleri Çizelge 8.7'de görüldüğü gibi 2 bar basınç ve 1,6 m<sup>3</sup>/s debi olarak belirlenmiştir. Deneyde akciğer sabit tutulmuş, tutucu akciğere yaklaştırılarak kaldırma işlemi yapılmıştır. Tutucu akciğere yaklaştırıldıktan sonra hava gönderilip deney işlemine başlanılmıştır. Akciğerin esnek yapısından dolayı kaldırma işlemi sırasında 153,86 mm<sup>2</sup> tutucu yüzeyin dışında kalan kısmında Şekil 8.8'de görüldüğü gibi aşağı doğru sarkmalar yaşanmıştır. Erer 2 tutucu ile akciğere 90° yaklaşma açısı ile yaklaşılarak hava açılmış ve akciğer tutucudan düşmeden başarılı bir şekilde yukarıya doğru kaldırılmıştır.



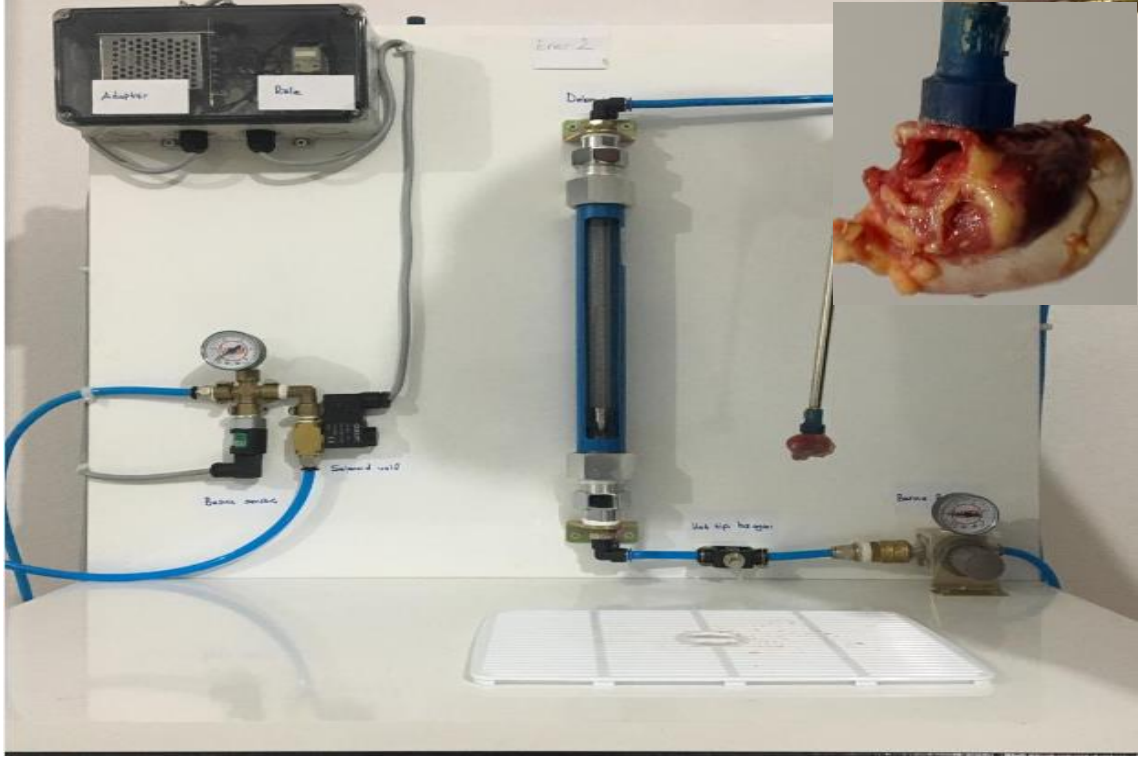
Şekil 8.8. Erer 2 tutucu ile akciğerin kaldırılması.

Çizelge 8.7. Erer 2 tutucu ile akciğer kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 2     | 2             | Akciğer   | 5,27          | 2                  | 1,6                             | 200                      |

#### 8.1.2.3. Yüreğin Kaldırılması

Erer 2 tutucu ile yüreğin kaldırıldığı deney sistemi ve kaldırma işlemi Şekil 8.9'da görülmektedir. Bu tutucu ile 8,64 gr ağırlığındaki tavuk yüreği Çizelge 8.8'de belirtildiği gibi 2 bar basınç ve 1,6 m<sup>3</sup>/s debide başarılı bir şekilde düşmeden kaldırılmıştır. Yürek, akciğer ve karaciğere göre daha az esnek bir dokuya sahip olduğundan kaldırma esnasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmında Şekil 8.9'da görüldüğü gibi aşağı doğru sarkma daha az olmuştur.



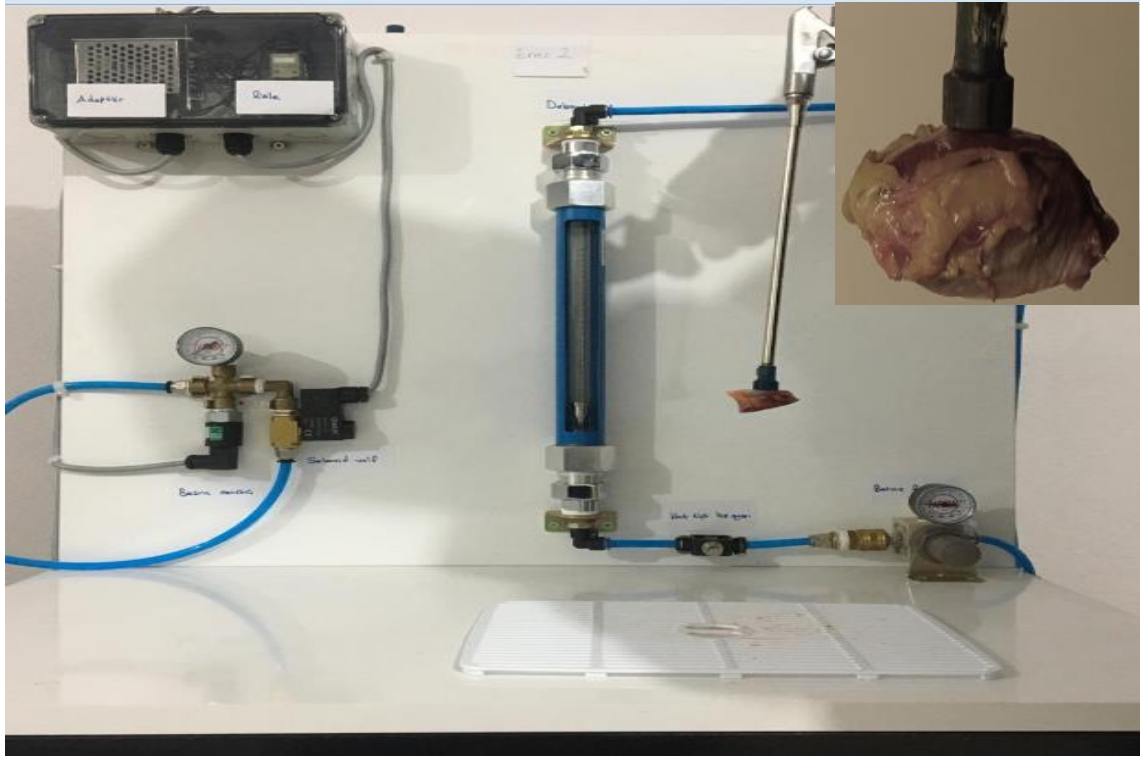
Şekil 8.9. Erer 2 tutucu ile yûreğin kaldırılması.

Çizelge 8.8. Erer 2 tutucu ile yûrek kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 2     | 3             | Yûrek     | 8,64          | 2                  | 1,6                             | 200                      |

#### 8.1.2.4. Taşlığın Kaldırılması

Erer 2 tutucu ile taşlığın kaldırıldığı deney sistemi ve kaldırma işlemi Şekil 8.10'da görülmektedir. Erer 2 ile 13,93 gr ağırlığındaki tavuk taşlığı Çizelge 8.9'da belirtildiği gibi 2 bar basınç ve 1,6 m<sup>3</sup>/s debide başarılı bir şekilde düşmeden kaldırılmıştır. Erer 2 tutucu yüzeyi taşlık üzerinde 153,86 mm<sup>2</sup> alan kaplamaktadır. Taşlık doku yapısı itibarı ile diğer kaldırılan organlardan daha sert olduğundan dolayı kaldırma esnasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmında sarkma olmamıştır.



Şekil 8.10. Erer 2 tutucu ile taşlığın kaldırılması.

Çizelge 8.9. Erer 2 tutucu ile taşlık kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 2     | 4             | Taşlık    | 13,93         | 2                  | 1,6                             | 200                      |

#### 8.1.2.5. Derinin Kaldırılması

Deri, deneylerde kullanılan akciğer, karaciğer, yürek ve taşlıktan daha esnek ve pürüzlü yüzeye sahip bir organ olması sebebi ile tutucularla tutulması ve kaldırılması oldukça zordur. Buna rağmen altı adet venturi kanala ve 153,86 mm<sup>2</sup> tutucu yüzeye sahip Erer 2 tutucu ile Şekil 8.11’de görüldüğü gibi, Çizelge 8.10’da belirlenen 6,28 gr ağırlığındaki deri, 2 bar basınç ve 1,6 m<sup>3</sup> debi ile başarılı bir şekilde kaldırılmıştır. Esnek yapısından dolayı kaldırma esnasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmının tamamı Şekil 8.11’de görüldüğü gibi aşağı yönde sarkmıştır. Erer 2 tutucu ile kaldırma işlemi, derinin ağırlık merkezine odaklanmadan herhangi bir noktasından tutularak yapılmıştır.



Şekil 8.11. Erer 2 tutucu ile derinin kaldırılması.

Çizelge 8.10. Erer 2 tutucu ile deri kaldırma deney verileri.

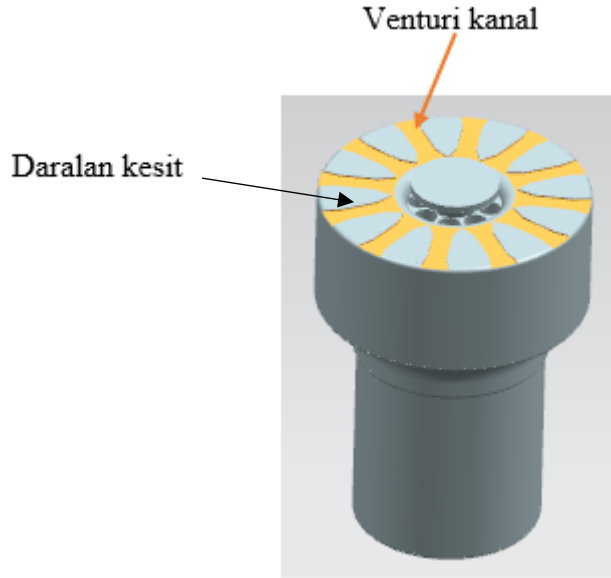
| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 2     | 5             | Deri      | 6,28          | 2                  | 1,6                             | 200                      |

### 8.1.3. Erer 3 Tutucu ile Organların Kaldırılması

#### 8.1.3.1. Karaciğerin Kaldırılması

Erer 3 tutucu, Erer 2 ile aynı tutucu yüzey ve deflektör ölçülerine sahip olduğundan dolayı kaldırdığı organlar üzerindeki kapladığı alan aynı olup 153,86 mm<sup>2</sup>'dir. Deflektör alanı 44,15 mm<sup>2</sup>'dir. Bu tutucunun yüzeyine çekme kuvvetine pozitif yönde katkıda bulunması amacıyla Şekil 8.12'de görüldüğü gibi oniki adet radyal oluk (venturi kanal) açılmıştır. Tutucuya gönderilen basınçlı hava, tutucu yüzeyin merkezine yerleştirilen deflektör sayesinde karaciğere çarpmadan radyal yönde 90° yönünü değiştirerek tutucu yüzeyi üzerinden ve oniki adet venturi kanallarının içinden geçerek atmosfere çıkmaktadır. Venturi kanallarının orta kısımlarında kesit daralmaktadır. Bu dar kesitten geçen havanın

hızı artarak o bölgedeki basınç daha da azalmaktadır. Azalan bu basınç sonucu karaciğere uygulanan çekme kuvveti daha da artmaktadır.



Şekil 8.12. Venturi kanallı Erer 3 tutucu.

Erer 3 tutucu ile 8 gr ağırlığındaki karaciğer, Şekil 8.13’de görüldüğü gibi Çizelge 8.11’de belirtilen 3 bar basınç ve 2 m<sup>3</sup>/s debide kaldırılmış ve düşmeden yatay yönde dengede kalmıştır.



Şekil 8.13. Erer 3 tutucu ile karaciğerin kaldırılması.

Çizelge 8.11. Erer 3 tutucu ile karaciğer kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 3     | 1             | Karaciğer | 8             | 3                  | 2                               | 200                      |

#### 8.1.3.2. Akciğerin Kaldırılması

Erer 3 tutucunun akciğeri kaldırması esnasında kapladığı yüzey alanı 153,86 mm<sup>2</sup>'dir. Kaldırma işlemi Şekil 8.14'de görülmektedir. Erer 3 tutucu ile 5,27 gr ağırlığındaki akciğeri kaldırma parametreleri Çizelge 8.12'de görüldüğü gibi 3 bar basınç ve 2 m<sup>3</sup>/s debi olarak belirlenmiştir. Deneylerde akciğer sabit tutulmuş, tutucu dokuya yaklaştırılarak hava açılmış ve kaldırma işlemi yapılmıştır. Akciğerin esnek yapısından dolayı kaldırma işlemi sırasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmında Şekil 8.14'de görüldüğü gibi aşağı doğru sarkmalar yaşanmıştır. Erer 3 tutucu kullanılarak 90° dik doğrultuda akciğer tutucudan düşmeden başarılı bir şekilde yukarıya kaldırılmıştır.



Şekil 8.14. Erer 3 tutucu ile akciğerin kaldırılması.

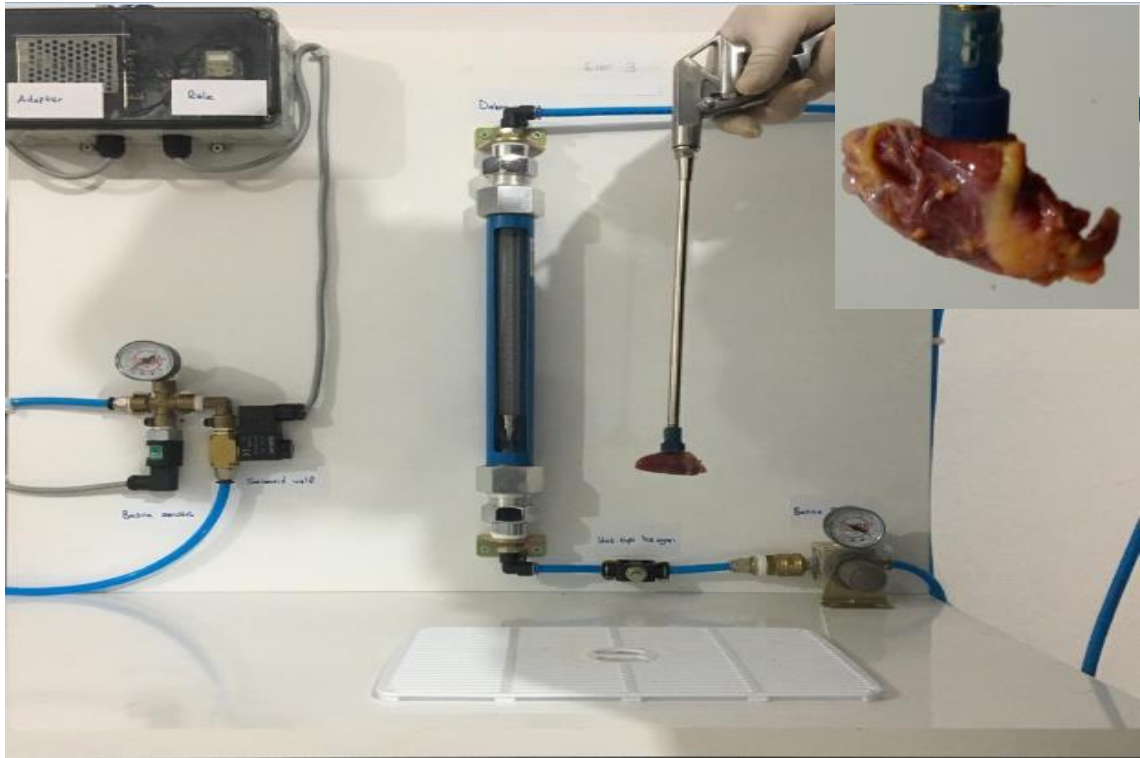
Çizelge 8.12. Erer 3 tutucu ile akciğer kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 3     | 2             | Akciğer   | 5,27          | 3                  | 2                               | 200                      |

#### 8.1.3.3. Yüreğin Kaldırılması

Erer 3 tutucu ile 8,64 gr ağırlığındaki yüreğin kaldırılması işlemi Şekil 8.15’de görülmektedir. Kaldırma değerleri olarak Çizelge 8.13’de verilen 3 bar basınç ve 2 m<sup>3</sup>/s debi kullanılmıştır. Erer 3 tutucu, kaldırma esnasında akciğer üzerinde 153,86 mm<sup>2</sup> alan kaplamıştır.

Akciğer ve karaciğere göre daha az esnek bir dokuya sahip olan yüreğin, kaldırma esnasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmında Şekil 8.15’de görüldüğü gibi aşağı doğru sarkma daha az olmuştur. Kaldırma esnasında doku yüzeyinin zarar görmemesi için kaldırma parametreleri optimum düzeyde seçilmiştir.



Şekil 8.15. Erer 3 tutucu ile yüreğin kaldırılması.

Çizelge 8.13. Erer 3 tutucu ile yürek kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 3     | 3             | Yürek     | 8,64          | 3                  | 2                               | 200                      |

#### 8.1.3.4. Taşlığın Kaldırılması

Erer 3 tutucu ile taşlığın kaldırıldığı deney sistemi ve kaldırma işlemi Şekil 8.16'da görülmektedir. Bu tutucu ile 13,93 gr ağırlığındaki tavuk taşlığı Çizelge 8.14'de belirtilen 3 bar basınç ve 2 m<sup>3</sup>/s debide başarılı bir şekilde düşmeden kaldırılmıştır. Erer 3 tutucu yüzeyi taşlık üzerinde 153,86 mm<sup>2</sup> alan kaplamaktadır. Taşlığın doku yapısı diğer organlardan daha sert olduğundan dolayı kaldırma esnasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmında aşağı doğru herhangi bir sarkma olmamış ve geometrisi korunmuştur.



Şekil 8.16. Erer 3 tutucu ile taşlığın kaldırılması.

Çizelge 8.14. Erer 3 Tutucu ile taşlık kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 3     | 4             | Taşlık    | 13,93         | 3                  | 2                               | 200                      |

#### 8.1.3.5. Derinin Kaldırılması

Tutucu yüzeyinde oniki adet venturi kanalı bulunan Erer 3 tutucu ile 6,28 gr ağırlığında, esnek yapıya sahip deri Şekil 8.17’de görüldüğü gibi, Çizelge 8.15’de belirtilen 3 bar basınç ve 2 m<sup>3</sup>/s debi ile tutucudan düşmeden dengede kalarak başarılı bir şekilde kaldırılmıştır.

Deri, yapısı gereği diğer tüm organlardan daha esnek yapıya sahip olduğundan dolayı kaldırma esnasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmının tamamı Şekil 8.17’de görüldüğü gibi aşağı yönde sarkmıştır. Erer 3 tutucu ile kaldırma işlemi, derinin ağırlık merkezine odaklanmadan herhangi bir noktasından tutularak yapılmıştır.



Şekil 8.17. Erer 3 tutucu ile derinin kaldırılması.

Çizelge 8.15. Erer 3 tutucu ile deri kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 3     | 5             | Deri      | 6,28          | 3                  | 2                               | 200                      |

#### 8.1.4. Erer 4 Tutucu ile Organların Kaldırılması

##### 8.1.4.1. Karaciğerin Kaldırılması

Erer 4 tutucuyu diğer tutuculardan ayıran özelliği tutucu yüzeyin ve deflektörün 10° açılı olmasıdır. Erer 4 tutucu ile yüzeyi düz olmayan, yuvarlak yapılı organların yüzey kaplama alanını arttırmak amacıyla tasarlanmıştır. Erer 4 tutucu yüzeyinin karaciğeri kaldırması esnasında kapladığı yüzey alanı 153,86 mm<sup>2</sup>'dir. Kaldırma işlemi Şekil 8.18'de görülmektedir. Erer 4 tutucu ile 8 gr ağırlığındaki karaciğeri kaldırma parametreleri Çizelge 8.16'da görüldüğü gibi 3 bar basınç ve 1,8 m<sup>3</sup>/s debi olarak belirlenmiştir. Deneyde karaciğer sabit tutulmuş, tutucu karaciğere yaklaştırılarak hava açılmış ve kaldırma işlemi yapılmıştır. Merkezindeki deflektör sayesinde karaciğerin kaldırılması sırasında herhangi bir kayma problemi yaşanmadığından dolayı merkezleme yapılmamıştır. Karaciğerin esnek yapısından dolayı kaldırma işlemi sırasında Erer 4 tutucu yüzeyin dışında kalan kısmında Şekil 8.18'de görüldüğü gibi aşağı doğru sarkmalar yaşanmıştır. Erer 4 tutucu kullanılarak 90° açı ile karaciğer tutucudan düşmeden başarılı bir şekilde yukarıya kaldırılmıştır.



Şekil 8.18. Erer 4 tutucu ile karaciğerin kaldırılması.

Çizelge 8.16. Erer 4 tutucu ile karaciğer kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 4     | 1             | Karaciğer | 8             | 3                  | 1,8                             | 200                      |

#### 8.1.4.2. Akciğerin Kaldırılması

Açılı tutucu yüzeye sahip Erer 4 tutucu ile kaldırılan organlar içinde en hassası olan 5,27 gr akciğer, Şekil 8.19'da görüldüğü gibi Çizelge 8.17'de belirtilen 2 bar basınç ve 1,6 m<sup>3</sup>/s debide kaldırılmış ve tutucu yüzeyinden yatay yönde kaymadan ve düşmeden askıda kalmıştır. Akciğerin esnek yapısından dolayı kaldırma işlemi sırasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmında Şekil 8.19'da görüldüğü gibi yerçekiminin etkisi ile aşağı doğru sarkmalar yaşanmıştır.



Şekil 8.19. Erer 4 tutucu ile akciğerin kaldırılması.

Çizelge 8.17. Erer 4 tutucu ile akciğer kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 4     | 2             | Akciğer   | 5,27          | 2                  | 1,6                             | 200                      |

#### 8.1.4.3. Yüreğin Kaldırılması

Erer 4 tutucu ile 8,64 gr ağırlığındaki yüreğin kaldırılması işlemi Şekil 8.20’de görülmektedir. Kaldırma değerleri olarak Çizelge 8.18’de verilen 3 bar basınç ve 1,2 m<sup>3</sup>/s debi kullanılmıştır. Kaldırılan yürek, tutucudan düşmeden ve dokusu zarar görmeden başarılı bir şekilde kaldırılmıştır.



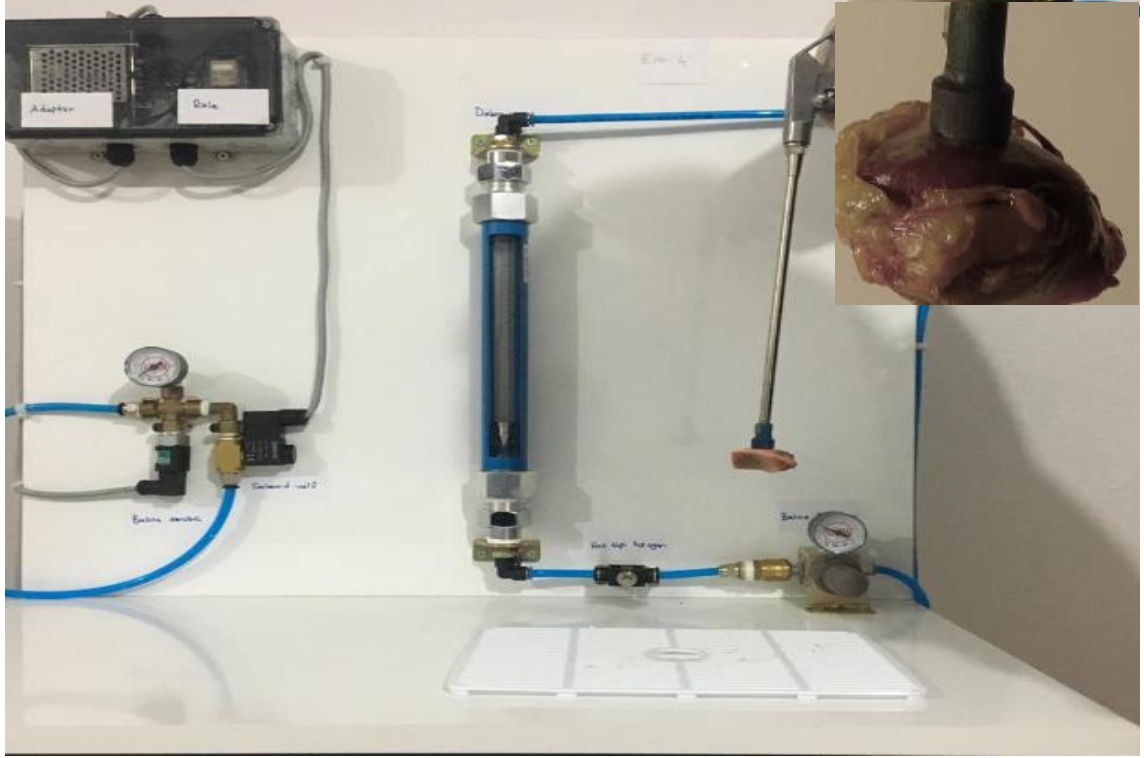
Şekil 8.20. Erer 4 tutucu ile yüreğin kaldırılması.

Çizelge 8.18. Erer 4 tutucu ile yürek kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 4     | 3             | Yürek     | 8,64          | 3                  | 1,2                             | 200                      |

#### 8.1.4.4. Taşlığın Kaldırılması

Erer 4 tutucu ile 13,93 gr ağırlığındaki tavuk taşlığı Şekil 8.21’de görüldüğü gibi, Çizelge 8.19’da belirtilen 3 bar basınç ve 1,2 m<sup>3</sup>/s debide başarılı bir şekilde düşmeden kaldırılmıştır. Erer 4 tutucu yüzeyi taşlık üzerinde 153,86 mm<sup>2</sup> alan kaplamaktadır. Taşlığın doku yapısı diğer organlardan daha sert olduğundan dolayı kaldırma esnasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmında aşağı doğru herhangi bir sarkma olmamıştır.



Şekil 8.21. Erer 4 tutucu ile taşlığın kaldırılması.

Çizelge 8.19. Erer 4 tutucu ile taşlık kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 4     | 4             | Taşlık    | 13,93         | 3                  | 1,2                             | 200                      |

#### 8.1.4.5. Derinin Kaldırılması

Açılı tutucu tüzete sahip olan Erer 4 tutucu ile 6,28 gr ağırlığında, esnek yapıya sahip deri Şekil 8.22’de görüldüğü gibi Çizelge 8.20’de belirtilen 3 bar basınç ve 1,2 m<sup>3</sup>/s deney şartlarında tutucudan düşmeden başarılı bir şekilde kaldırılmıştır.

Deri, yapısı gereği diğer organlara göre en esnek yapıya sahip olduğundan dolayı kaldırma esnasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmının tamamı yerçekiminin etkisi ile Şekil 8.22’ de görüldüğü gibi aşağı yönde sarkmıştır. Erer 4 tutucu ile kaldırma işlemi, derinin ağırlık merkezine odaklanmadan herhangi bir noktasından tutularak yapılmıştır.



Şekil 8.22. Erer 4 tutucu ile derinin kaldırılması.

Çizelge 8.20. Erer 4 tutucu ile deri kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 4     | 5             | Deri      | 6,28          | 3                  | 1,2                             | 200                      |

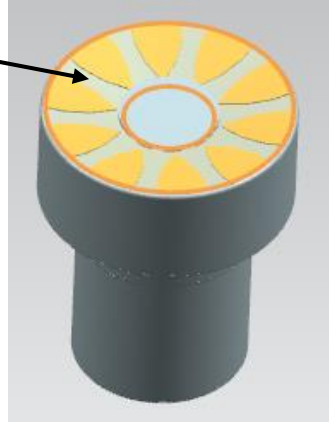
### 8.1.5. Erer 5 Tutucu ile Organların Kaldırılması

#### 8.1.5.1. Karaciğerin Kaldırılması

Erer 5 tutucu yüzey alanı, Erer 4 ile aynı ölçülerine sahip olduğundan dolayı kaldırdığı karaciğer üzerindeki kapladığı alan aynı olup 153,86 mm<sup>2</sup>'dir. Deflektör alanı 23,74 mm<sup>2</sup> dir. Bu tutucunun yüzeyine çekme kuvvetine pozitif yönde katkıda bulunması amacıyla Şekil 8.23'de görüldüğü gibi on adet radyal oluk (venturi kanal) açılmıştır. Tutucuya gönderilen basınçlı hava, merkezi deliğin çıkışına yerleştirilen deflektör sayesinde karaciğere çarpmadan yönünü 10° değiştirerek tutucu yüzeyin üzerinden ve on adet venturi kanallarının içinden geçerek atmosfere çıkmaktadır. Venturi kanallarının orta kısımlarında kesiti daralmaktadır. Bu dar kesitten geçen havanın hızı artarak o bölgedeki

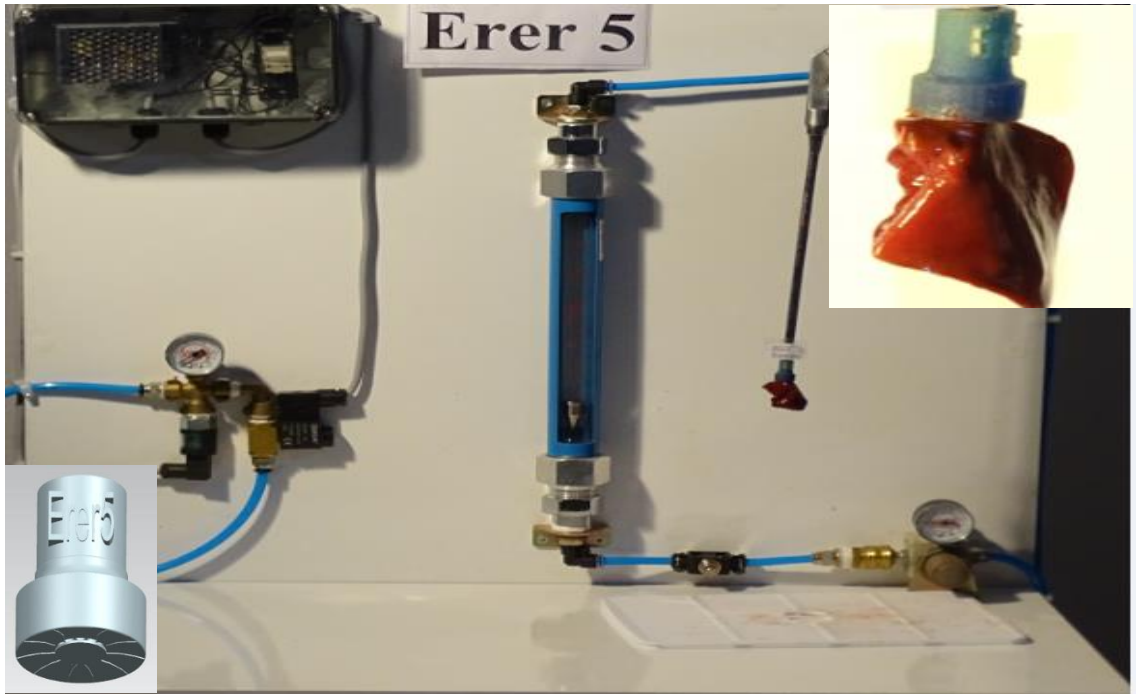
basınç daha da azalmaktadır. Azalan bu basınç sonucu karaciğere uygulanan çekme kuvveti daha da artmaktadır

Venturi kanal



Şekil 8.23. Açılı ve venturi kanallı Erer 5 tutucu.

Erer 5 tutucu ile 8 gr ağırlığındaki karaciğer, Şekil 8.24’de görüldüğü gibi Çizelge 8.21’de belirtilen 3 bar basınç ve 1,4 m<sup>3</sup>/s debiye göre kaldırılmış ve düşmeden tutucuda askıda kalmıştır.



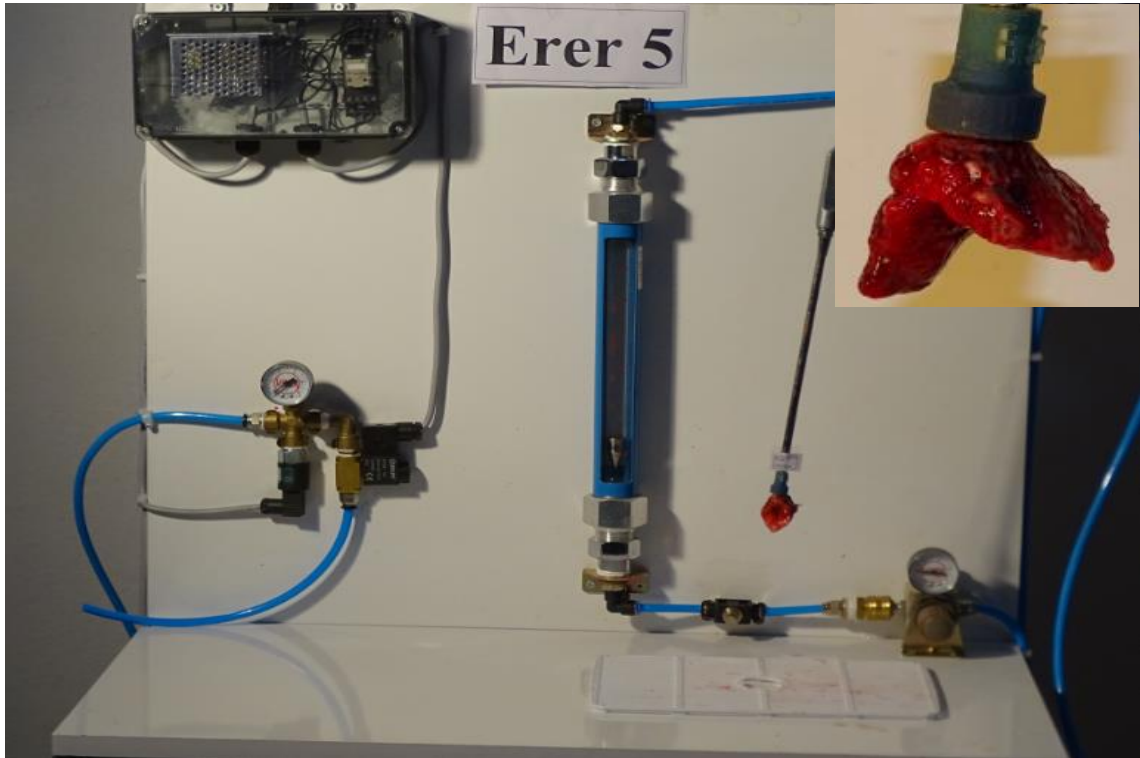
Şekil 8.24. Erer 5 tutucu ile karaciğerin kaldırılması.

Çizelge 8.21. Erer 5 tutucu ile karaciğer kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 5     | 1             | Karaciğer | 8             | 3                  | 1,4                             | 200                      |

#### 8.1.5.2. Akciğerin Kaldırılması

Erer 5 tutucunun akciğeri kaldırması esnasında kapladığı yüzey alanı 153,86 mm<sup>2</sup>'dir. Kaldırma işlemi Şekil 8.25'de görülmektedir. Erer 5 tutucu ile 5,27 gr ağırlığındaki akciğeri kaldırma parametreleri Çizelge 8.22'de görüldüğü gibi 2 bar basınç ve 1,4 m<sup>3</sup>/s debi olarak belirlenmiştir. Deneylerde akciğer sabit tutulmuş, tutucu dokuya yaklaştırılarak kaldırma işlemi yapılmıştır. Tutucu, akciğere yaklaştırıldıktan sonra hava açılarak deney işlemine başlanılmıştır. Akciğerin esnek yapısından dolayı kaldırma işlemi sırasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmında Şelil 8.25'de görüldüğü gibi yerçekimi etkisi ile aşağı doğru sarkmalar yaşanmıştır. Erer 5 tutucu kullanılarak 90° dik doğrultu da akciğer tutucudan düşmeden başarılı bir şekilde yukarıya kaldırılmıştır.



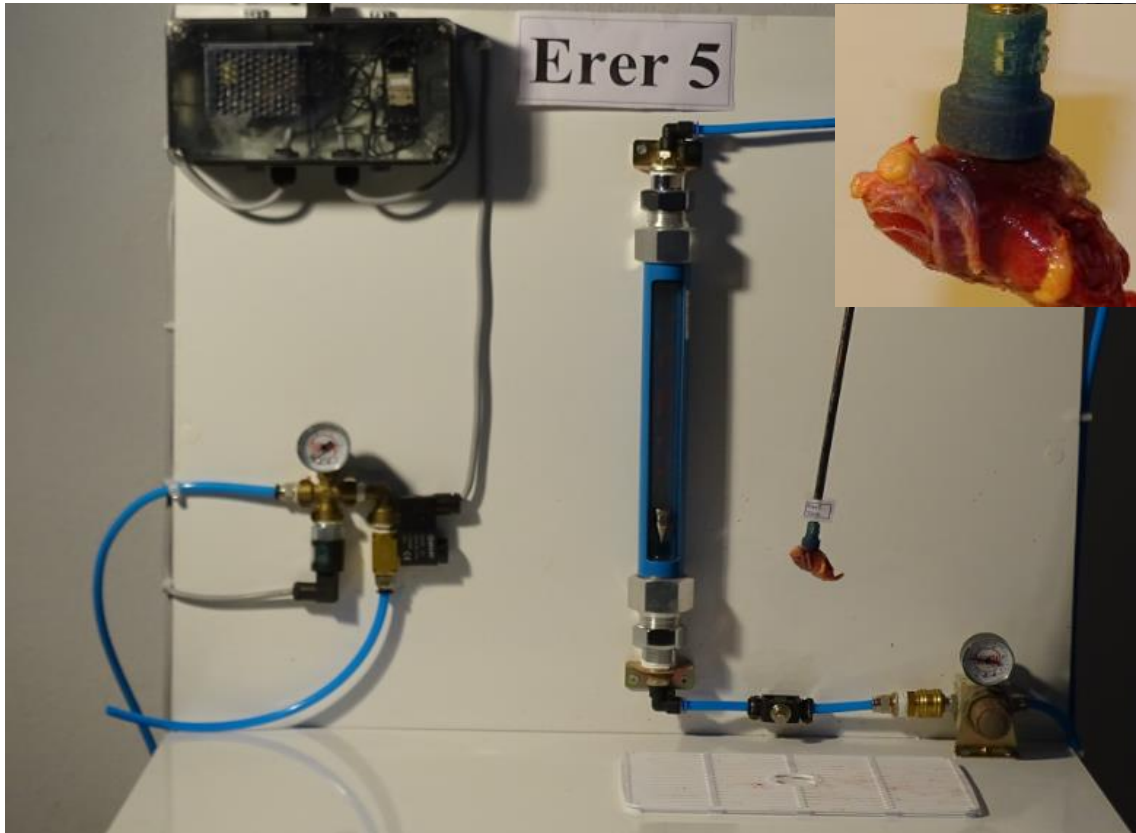
Şekil 8.25. Erer 5 tutucu ile akciğerin kaldırılması.

Çizelge 8.22. Erer 5 tutucu ile akciğer kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 5     | 2             | Akciğer   | 5,27          | 2                  | 1,4                             | 200                      |

#### 8.1.5.3. Yüreğin Kaldırılması

Açılı tutucu yüzeyi üzerinde on adet venturi kanalı bulunan Erer 5 tutucu ile 8,64 gr ağırlığındaki yüreğin kaldırılması işlemi Şekil 8.26’da görülmektedir. Kaldırma değerleri olarak Çizelge 8.23’de verilen 3 bar basınç ve 1,8 m<sup>3</sup>/s debi kullanılmıştır. Kaldırılan yürek, tutucudan düşmeden ve dokusuna zarar görmeden başarılı bir şekilde tutucu yüzeyinde askıda kalmıştır.



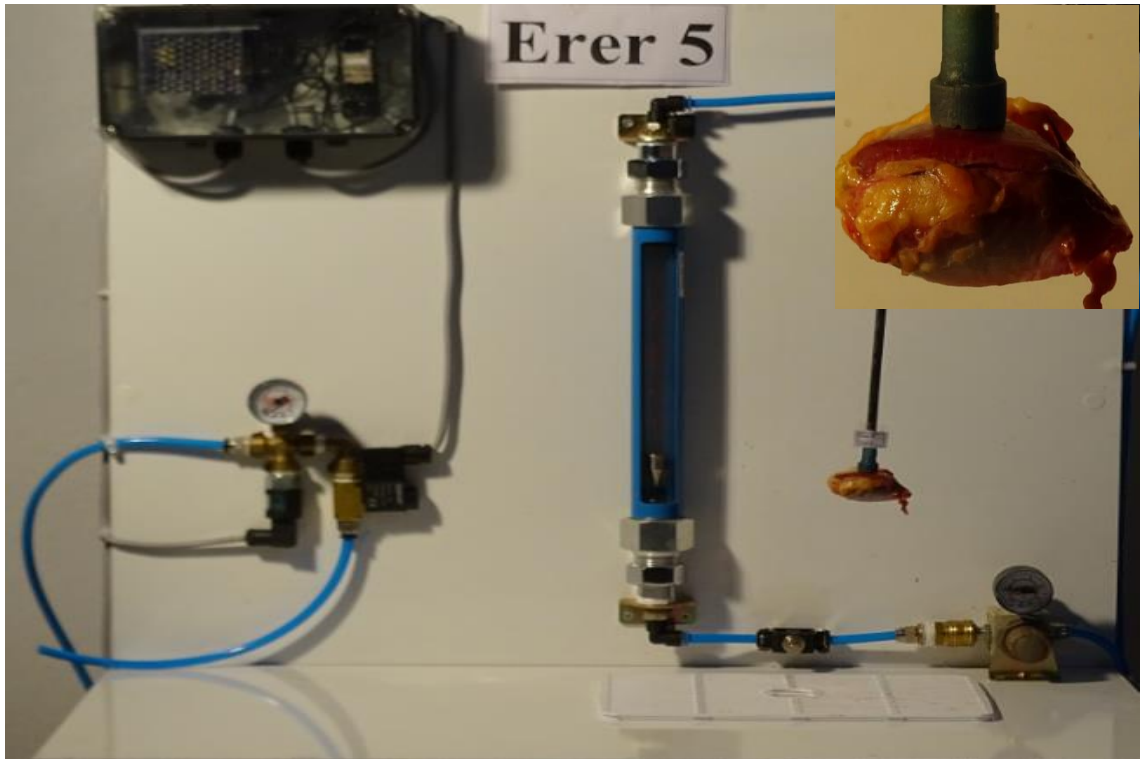
Şekil 8.26. Erer 5 tutucu ile yüreğin kaldırılması.

Çizelge 8.23. Erer 5 tutucu ile yürek kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 5     | 3             | Yürek     | 8,64          | 3                  | 1,8                             | 200                      |

#### 8.1.5.4. Taşlığın Kaldırılması

Erer 5 tutucu ile 13,93 gr ağırlığındaki tavuk taşlığı Şekil 8.27’de görüldüğü gibi, Çizelge 8.24’da belirtilen 3 bar basınç ve 1,8 m<sup>3</sup>/s debide başarılı bir şekilde düşmeden kaldırılmıştır. Erer 5 tutucu yüzeyi, taşlık üzerinde 153,86 mm<sup>2</sup> alan kaplamaktadır. Taşlığın doku yapısı diğer organlardan daha sert olduğundan dolayı kaldırma esnasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmında aşağı doğru herhangi bir sarkma olmamıştır.



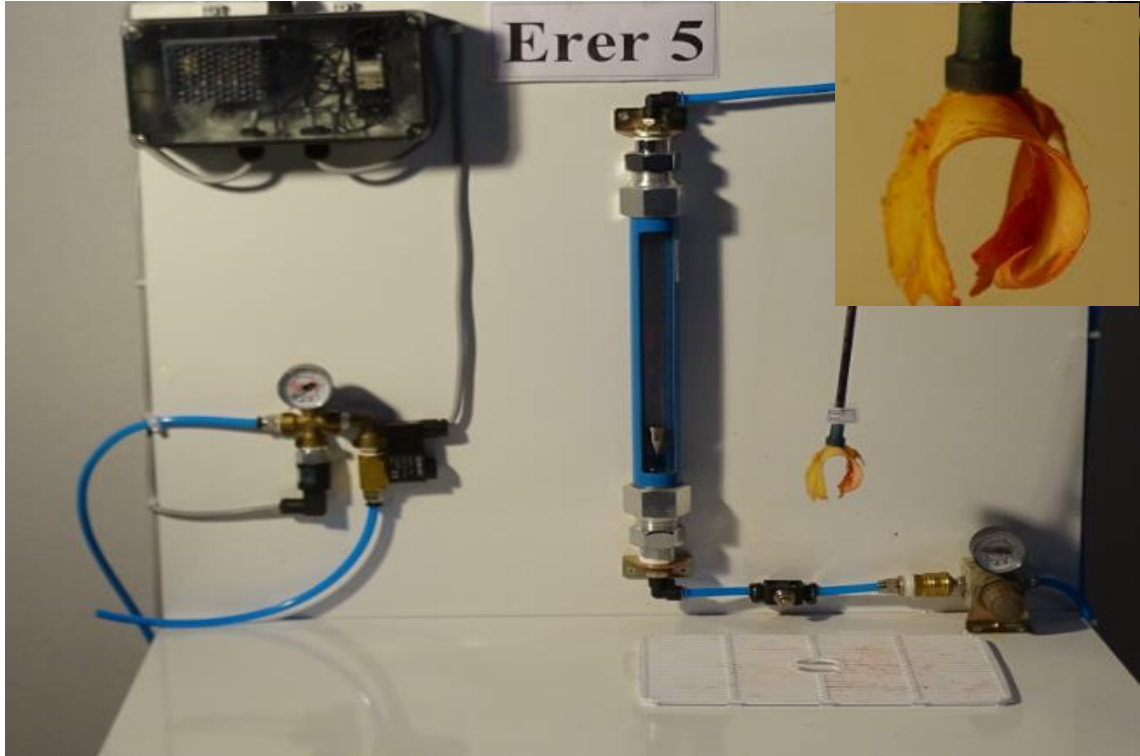
Şekil 8.27. Erer 5 tutucu ile taşlığın kaldırılması.

Çizelge 8.24. Erer 5 tutucu ile taşlık kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 5     | 4             | Taşlık    | 13,93         | 3                  | 1,8                             | 200                      |

#### 8.1.5.5. Derinin Kaldırılması

Açılı tutucu yüzeye sahip olan Erer 5 tutucu ile 6,28 gr ağırlığında, esnek yapıya sahip deri Şekil 8.28’de görüldüğü gibi Çizelge 8.25’de belirtilen 3 bar basınç ve 1,8 m<sup>3</sup>/s deney şartlarında tutucudan düşmeden başarılı bir şekilde kaldırılmıştır. Deri, yapısı gereği diğer organlara göre en esnek yapıya sahip olduğundan dolayı kaldırma esnasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısmının tamamı Şekil 8.25’de görüldüğü gibi yerçekimi etkisi ile aşağı yönde sarkmıştır. Erer 5 tutucu ile kaldırma işlemi, derinin ağırlık merkezine odaklanmadan herhangi bir noktasından tutularak yapılmıştır.



Şekil 8.28. Erer 5 tutucu ile derinin kaldırılması.

Çizelge 8.25. Erer 5 tutucu ile deri kaldırma deney verileri.

| Tutucu Adı | Deney Sıra No | Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Hava Basıncı (bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kaldırma Yüksekliği (mm) |
|------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Erer 5     | 5             | Deri      | 6,28          | 3                  | 1,8                             | 200                      |

#### 8.1.6. Venturi Kanallarının Çekme Kuvvetine Etkisi

Bernoulli prensibi ile hava kullanılarak çalışan temassız tutucularda çekme kuvvetine etki eden faktörler tutucu yüzey çapı, merkezi delik çapı, hava debi miktarı ve kaldırılan nesnenin ağırlığıdır. Laparoskopik cerrahide kullanılan trokar çapları 5-15 mm'dir. Bu sınırlamadan dolayı deneylerde kullanılan tutucuların en büyük çapı 14 mm olarak yapılabilmektedir. Buna bağlı olarak merkezi delik çapı da sınırlandırılmaktadır. Kaldırılan organların yüzey dokuları çok hassas olduklarından dolayı zarar görmemesi için hava debi miktarı da fazla arttırılamamaktadır. Dolayısı ile çekme kuvvetini arttırmak için tutucuların 14 mm' lik tutucu yüzeylerinde venturi kanallar açılmıştır.

Tutucuların kaldırma performanslarını arttırmak için Erer 2'de altı, Erer 3'de oniki ve Erer 5' de on adet venturi kanal açılmıştır. Venturi kanallarının özelliği gereği orta kısımlarının dar olmasıdır. Bu tutuculardan beklenen sonuç, tutucu yüzeyde bulunan her bir venturi kanalın daralan orta kısmında havanın hızının artmasını sağlayarak basıncı daha da azaltarak oluşturulan vakumun kaldırma işlemine daha fazla katkı sağlamasıdır. Venturi kanallarının çekme kuvveti üzerindeki etkileri Çizelge 8.26'da görülmektedir.

Çizelge 8.26. Venturi kanallarının çekme kuvvetine etkisi.

| Tutucu Tipi | Hava Basıncı (Bar) | Hava Debisi (m <sup>3</sup> /h) | Tutucu yüzey yapısı       | Çekme kuvveti (N) |
|-------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Erer 1      | 3                  | 2                               | Venturisiz                | 0,7               |
| Erer 2      | 3                  | 2                               | 6 adet venturili kanallı  | 0,8               |
| Erer 3      | 3                  | 2                               | 12 adet venturili kanallı | 0,9               |
| Erer 4      | 3                  | 2                               | Venturisiz                | 1                 |
| Erer 5      | 3                  | 2                               | 10 adet venturi kanallı   | 1,2               |

Venturi kanallarının çekme kuvvetine etkisini araştırmak amacıyla tutucu yüzeylerinde farklı sayılarda venturi kanal olan tutucular ile yüzeylerinde venturi kanal olmayan tutucuların çekme kuvvetleri 3 bar basınç, 2 m<sup>3</sup>/s debi de dinamometre ile ölçülmüştür. Erer 1, Erer 2, Erer 3 tutucuları ile Erer 4 ve Erer 5 tutucuları geometrik olarak ayrı yapılarda olduğu için performans değerlendirmelerini ayrı ayrı yapmak daha doğru olmuştur. Üzerinde 6 adet venturi kanal olan Erer 2 tutucu, venturisiz Erer 1 tutucuya göre %14, üzerinde 12 adet venturi kanalı bulunan Erer 3 tutucunun Erer 1'e göre % 28 çekme kuvveti artmıştır. Ayrıca 12 venturi kanalı olan Erer 3 tutucunun, 6 venturi kanalı olan Erer 2 tutucuya göre %12 daha fazla çekme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. Bu da venturi kanal sayısı arttıkça çekme kuvvetinin daha da artacağı sonucunu çıkarmıştır. Aynı geometriye sahip Erer 4 ve Erer 5 tutucuları, çekme kuvveti yönünden karşılaştırıldığında 10 adet venturi kanalına sahip Erer 5 tutucunun, venturi kanalı olmayan ve açılı tutucu yüzeye sahip Erer 4 tutucuya göre % 20 daha fazla çekme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. Böylece venturi kanallarından kaldırma kuvvetine beklenen pozitif katkı gerçekleşmiştir.

## 9. TARTIŞMALAR

Bu tezde, Bernoulli prensibi ile hava kullanılarak çalışan tutucular geliştirilmiş ve bu tutucuların Laparoskopik cerrahide organları tutmak ve hareket ettirmek için kullanılabilme olasılığını araştırmak amacıyla çeşitli deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları detaylı bir şekilde tartışılmıştır.

### 9.1. MEVCUT VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

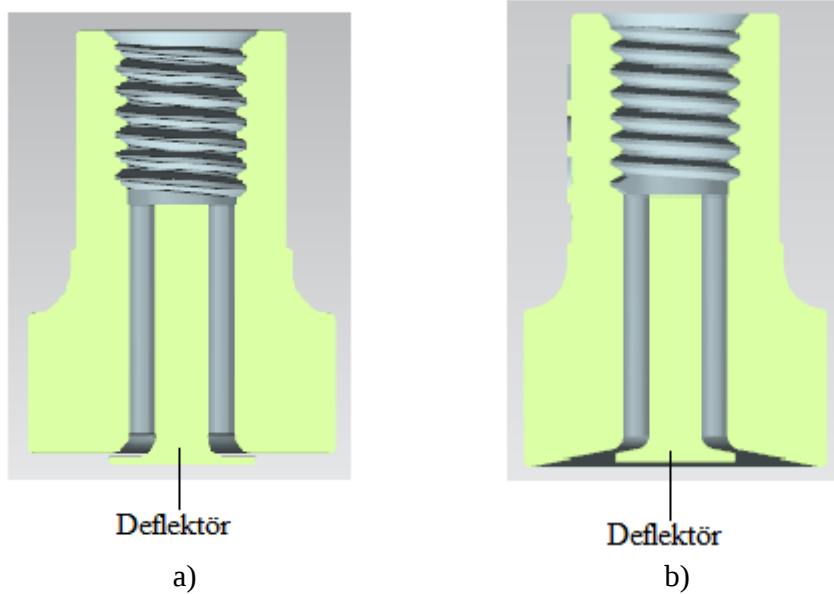
Bernoulli prensibi ile hava kullanılarak çalışan temassız tutucular, birçok çalışmada değişik nesnelerin kaldırılmasında kullanılmıştır. Bu teknik ile Erzincanlı [54], jöle blok, domuz eti, dilimlenmiş ekmek, sünger ve kumaş parçasını başarılı bir şekilde kaldırmıştır. Erzincanlı'nın kaldırdığı nesnelerde hava kaynaklı yatay yönde kayma meydana gelmiştir. Bu kaymayı tutucu iğneler ve pnömatik sistem kullanarak engellemiştir. Özçelik [55], geliştirdiği temassız tutucu ile kumaşların dokunmasız olarak kaldırılma şartlarını incelemiştir. Ayrıca kumaşların dışında karşılaştırma yapabilmek için esnek olmayan malzemelerden mika, yarı esnek malzeme olan karton üzerinde de geliştirdiği tutucunun uygulanabilirliğini görebilmek için çalışmalar yapmıştır. Davis [51], gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan dilimlenmiş domates ve salatalığı geliştirdiği temassız tutucu ile kaldırmıştır. Nesnenin üzerine çarpan hava akışının yönünü yönlendirici ile 90° değiştirmiştir. Dini [41], deri katlarını Bernoulli prensibi kullanarak kaldırmış ve tutucu yüzeylerin üzerine venturi kanallar, tutucu yüzeyin merkezine de değişik açılarda deflektör yerleştirerek çekme kuvvetini arttırmaya çalışmıştır.

Bu tezde ise Bernoulli prensibi ile çalışan farklı geometrik şekillerde beş adet tutucu tasarlanmış ve cansız tavuk organlarından karaciğer, akciğer, yürek, taşlık ve derinin kaldırılması üzerine deneyler yapılmıştır. Basınçlı havanın kaldırılan organa direk çarpması sonucu zarar vermemesi için tutucu merkezi kanalının çıkışına hava yön değiştirici deflektör yerleştirilmiştir. Deflektör sayesinde hava doku yüzeyine çarpmadan yönünü değiştirerek tutucu yüzey üzerinden atmosfere akarak çekme kuvveti oluşturmaktadır. Tutucu çapları, maksimum trokar çapını aşmaması için 14 mm olarak yapılmıştır ve yüzeylerine vakum kuvvetini arttırmak amacıyla radyal oluklar açılmıştır.

Bu çalışma temassız tutucuların laparoskopik cerrahiye uygulanabilirliğini teorik ve pratik olarak araştıran ilk çalışmadır. Bu bakımdan gelecekte yapılacak çalışmalar için literatüre katkı sağlayacaktır.

## 9.2. HAVA AKIŞ YÖNÜNÜN DEĞİŞTİRİLMESİ

Standart deflektörsüz tutucularda merkezi delikten akan hava, kaldırılacak nesneye direk çarptıktan sonra yönünü değiştirerek tutucu yüzey ile kaldırılan nesne arasından atmosfere akmaktadır. Bu çarpma esnasında kuvvetli hava jeti, sert nesnelere zarar vermese de bir itme kuvveti oluşturmakta ve toplam kaldırma kuvvetini azaltmaktadır. Eğer kaldırılacak nesne organ gibi esnek ve narin yüzeye sahipse havanın çarpması sonucu zarar görme ihtimali çok fazladır. Nitekim tez kapsamında deflektörsüz tutucular ile yapılan kaldırma işlemi sonucunda hava jetinin kaldırılan tavuk dokusuna zarar verdiği görülmüştür. Bu zararı önlemek için tasarlanan her bir tutucunun merkezi delik çıkışına 5,5 mm, 6,5 mm ve 7,5 mm çaplarında Şekil 9.1’de görüldüğü gibi değişik geometrilere deflektör yerleştirilmiştir. Deflektör çapı büyüdükçe kaldırılan organın üzerinden geçen hava miktarı azalmakta ve hava sürtünmesi sonucu oluşabilecek hasar riski engellenmiş olmaktadır.

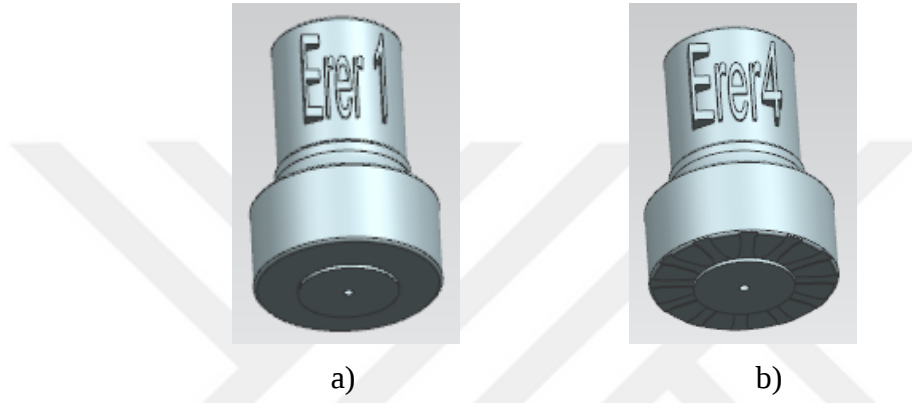


Şekil 9.1. Deflektörlü tutucular a) Düz b) Açılı.

Deflektörlerin görevi kaldırılacak dokuya 90° dik açıda gelen basınçlı havanın dokuya çarpmadan yönünü değiştirerek tutucu yüzey üzerinden atmosfere çıkmasını sağlamaktır. Bu sayede herhangi bir itme kuvveti oluşmadan doku kaldırılabilir.

### 9.3. KALDIRILAN DOKUNUN YATAY DENGESİ

Merkezinde, Şekil 9.2'deki gibi delik bulunan tutuculardan çıkan havanın direk kaldırılacak organlara çarpması sonucu havanın itme kuvveti etkisi ile dokuların dikey ve yatay yönde kayma problemleriyle karşılaşmıştır. Kaymanın sonucu olarak organ, tutucu yüzeyden uzaklaşarak düşmüştür. Eğer tutucular, kaldırılacak nesnenin ağırlık merkezini tam ortalayacak şekilde yerleştirilirse bu kayma problemi azaltılabilir. Fakat dokular simetri olmadığından dolayı bunu her zaman ayarlayabilmek mümkün değildir.



Şekil 9.2. Merkezi delikli tutucular a) Venturisiz b) Venturili.

Bu etkiyi ortadan kaldırmak için merkezi delik tamamen kapatılmış ve hava itme kuvvetinin etkisi ortadan kaldırılmıştır. Tutucu deflektör yüzeyinden hava geçmediğinden dolayı kaldırılan doku, deflektöre temas etmekte ve kaldırma prensiplerini etkilemeyen bu küçük sürtünme sayesinde yatay ve dikey yönde kayması önlenerek dengede tutulmuştur. Şekil 9.3'de görülen Erer 1 tutucu ile kaldırılan tavuk yüreğini tutucu deflektörü, yatayda dengede tutarak kaymasını önlemektedir.



Şekil 9.3. Yatay dengedeki tavuk yüreği.

#### **9.4. TUTUCU YÜZEYLERİN DOKU KALDIRMA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Organ kaldırma işleminde beş değişik tutucu kullanılmıştır. Bu tutuculardan Erer1, Erer 2, Erer 3, Erer 4 ve Erer 5'in tutucu yüzey alanları 153,86 mm<sup>2</sup> olmasına rağmen kaldırma kapasiteleri ve sınırları dokuların ağırlık ve yüzey özelliklerinden dolayı farklı olmuştur. Bu tutucular, organların yüzeylerini aynı oranda kaplamalarına rağmen her birini farklı debide akışkan kullanarak kaldırmak mümkün olmuştur. Kaldırma işleminde beş adet tutucu ile beş değişik özellikte tavuk organı kullanılmıştır. Bu organların ağırlıkları;

- Karaciğer 8 gr.
- Akciğer 5,27 gr.
- Yürek 8,64 gr.
- Taşlık 13,93 gr.
- Deri 6,28 gr.

Kaldırılan organların içinde en hassas ve kolay zarar görebilenleri karaciğer ve akciğer olmuştur. Ayrıca tutucu yüzeylere organların kaldırılmasına pozitif etki sağlamaları için venturi kanallar açılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda venturi kanallı tutucuların venturisiz tutuculara göre %12 ile %20 arasında kaldırma kuvvetine katkı sağladığı Çizelge 8.26' da gösterilmiştir.

#### **9.5. ORGAN KALDIRMADA ETKİLİ FAKTÖRLER**

Birbirinden farklı beş adet tutucu (Erer 1, Erer 2, Erer 3, Erer 4, Erer 5) ile farklı doku özelliklerine sahip beş adet tavuk organı (karaciğer, akciğer, yürek, taşlık, deri), Çizelge 9. 1'de görülen ve ön deneylerle belirlenen optimum hava basıncı ve debisi ile kaldırılmıştır.

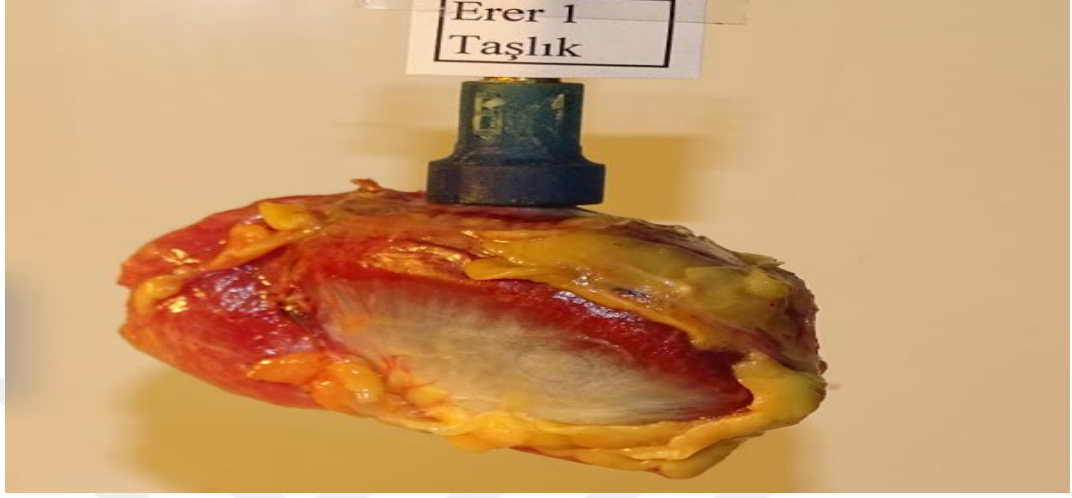
Çizelge 9.1. Organ kaldırma parametreleri.

| Organ Adı | Ağırlığı (gr) | Tutucu tipi | Hava basıncı (bar) | Hava debisi (m <sup>3</sup> /s) |
|-----------|---------------|-------------|--------------------|---------------------------------|
| Karaciğer | 8             | Erer 1      | 2,5                | 1,6                             |
|           |               | Erer 2      | 2                  | 1,6                             |
|           |               | Erer 3      | 3                  | 2                               |
|           |               | Erer 4      | 3                  | 1,8                             |
|           |               | Erer 5      | 3                  | 1,4                             |
| Akciğer   | 5,27          | Erer 1      | 2,5                | 1,6                             |
|           |               | Erer 2      | 2                  | 1,6                             |
|           |               | Erer 3      | 3                  | 2                               |
|           |               | Erer 4      | 2                  | 1,6                             |
|           |               | Erer 5      | 2                  | 1,4                             |
| Yürek     | 8,64          | Erer 1      | 2,5                | 1,6                             |
|           |               | Erer 2      | 2                  | 1,6                             |
|           |               | Erer 3      | 3                  | 2                               |
|           |               | Erer 4      | 3                  | 1,2                             |
|           |               | Erer 5      | 3                  | 1,8                             |
| Taşlık    | 13,93         | Erer 1      | 2,5                | 2                               |
|           |               | Erer 2      | 2                  | 1,6                             |
|           |               | Erer 3      | 3                  | 2                               |
|           |               | Erer 4      | 3                  | 1,2                             |
|           |               | Erer 5      | 3                  | 1,8                             |
| Deri      | 6,28          | Erer 1      | 4                  | 2                               |
|           |               | Erer 2      | 2                  | 1,6                             |
|           |               | Erer 3      | 3                  | 2                               |
|           |               | Erer 4      | 3                  | 1,2                             |
|           |               | Erer 5      | 3                  | 1,8                             |

Kaldırılan organların ağırlığı arttıkça bunları kaldırmak için gerekli olan debinin arttığı gözlenmiştir. Fakat bu artışlar kaldırılan organların fiziksel özellikleri nedeniyle ağırlıklarla orantılı olarak gerçekleşmedi. Tutucu tipi organların kaldırma parametrelerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. 8 gr. ağırlığındaki karaciğer, 8,64 gr. yürek, 13,93 gr. taşlık, 6,28 gr. deri en düşük 2 bar basınç ve 1,6 m<sup>3</sup>/s debi ile tutucu yüzeyinde altı adet radyal kanal bulunan Erer 2 tutucu ile kaldırılmıştır. Kaldırılan organların içinde en çok doku yüzey hassasiyene sahip olan 5,27 gr. ağırlığındaki akciğer ise 2 bar basınç ve 1,4 m<sup>3</sup>/s debide Erer 5 tutucu ile kaldırılmıştır.

## 9.6. KALDIRILAN DOKULARIN FİZİKSEL DAVRANIŞLARI

Dokuların farklı tutucu yapıları altında kaldırılması sonucunda oluşan fiziksel halleri Şekil 9.4 Şekil 9.5, Şekil 9.6 ve Şekil 9.7’de görülmektedir.



Şekil 9.4. Erer 1 tutucu ile taşlığın kaldırılması durumu.



Şekil 9.5. Erer 1 tutucu ile akciğerin kaldırılması.



Şekil 9.6. Erer 2 tutucu ile derinin kaldırılması.

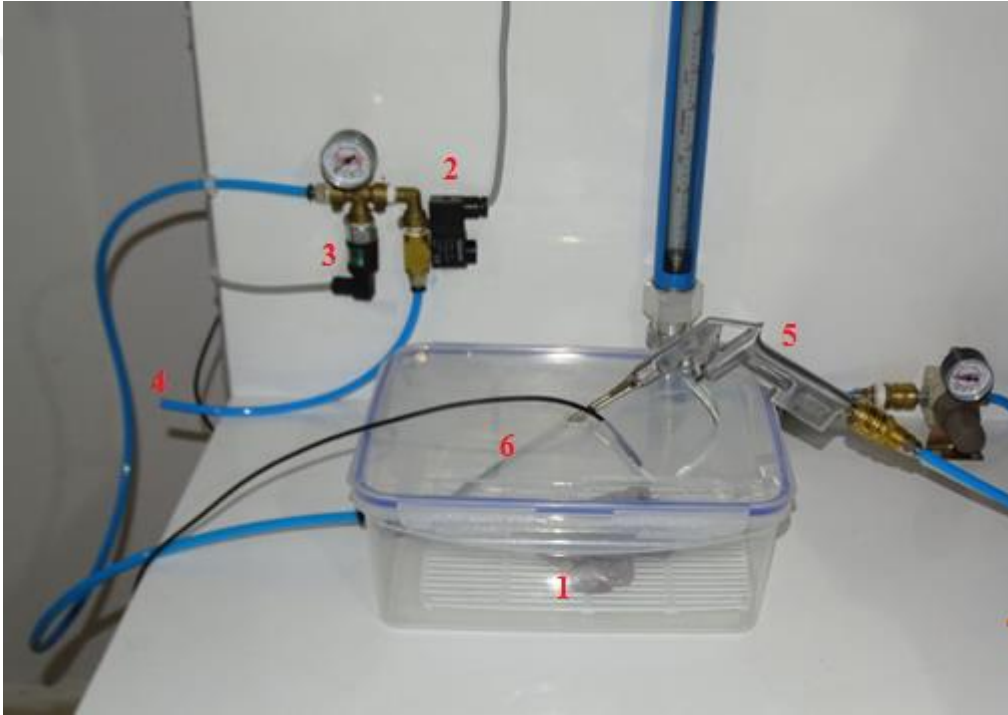


Şekil 9.7. Erer 1 tutucu ile karaciğerin kaldırılması.

Esnek dokuların kaldırılması esnasında tutucu yüzeyin dışında kalan kısımlarından itibaren kaldırma kuvvetinin etkisinin giderek yok olması sonucu aşağı sarkmaları şekillerde net olarak görülmektedir.

### 9.7. KARIN BOŞLUĞUNA DOLAN HAVANIN TAHLİYESİ

Çalışmada organların kaldırılması için tutucularda hava kullanılmıştır. Dokuların düşmeden tutulabilmesi için hava akışının sürekli olması gerekmektedir. Bu sürekli hava akışı, hastanın karında basınç fazlalığı oluşturacağından hasta güvenliği risk altına girebilir. Hastanın güvenliğini garanti altına almak için karında biriken fazla basıncın dışarıya tahliye edilmesi gerekmektedir. Mevcut çalışma da karın boşluğunu simüle etmek amacıyla kullanılan kutu da biriken fazla basınç Şekil 9.8’de görüldüğü gibi tahliye edilmektedir. Tahliye sistemi otomatik basınç valfi ile kontrol edilecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 9.8. Karın boşluğu hava tahliye sistemi.

Deney sisteminde bulunan 1. Laparoskopik kutu, 2. Selenoid valf, 3. Basınç sensörü, 4. Tahliye hortumu, 5. Hava açma-kapama tabancası, 6. Tutucu bağlantı sistemini ifade etmektedir. Deney setinde karın boşluğunu temsil eden kapalı Laparoskopik kutu kullanılmıştır. Deneysel organların hava ile tutulması sırasında kutuda oluşan fazla basınç, basınç sensörü tarafından algılanarak selenoid valf vasıtasıyla dışarıya tahliyesi yapılmaktadır.

## 9.8. TEMASSIZ TUTUCULARDA İŞLEM SIRASI

Temassız Laparoskopik tutucular, kaldırılacak dokuya dikey yönde uygulanmalıdır. Dokunun tutucu ile başarılı bir şekilde kaldırılabilmesi için dört aşamadan geçmesi gerekmektedir. İlk önce hava kapalı iken tutucu kaldırılacak dokuya yaklaştırılmalıdır. İkinci aşama da, dokunun fiziksel özelliklerine göre önceden belirlenen hava açılır ve istenen yüksekliğe kadar kaldırılır. Üçüncü aşamada tutucu, kaldırdığı dokuyu istenen yere yatay ve dikey olarak hareket ettirir. Son aşama da ise doku aşağı doğru hareket ettirilerek bırakılır. Bırakma işlemi, tutucu istenen noktaya getirildiğinde havanın kesilmesi ile gerçekleştirilir. Bu işlem, istendiği kadar yapılabilir.

## 9.9. TEMASSIZ TUTUCULARIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Temassız tutucuların diğer tutuculara göre birçok avantajı vardır. Temassız tutucuların belli başlı avantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Temassız tutucular ile ilgili yapılan daha önceki çalışmalarda esnek, narin ve gözenekli yüzeylere sahip gıda ve tekstil ürünleri başarılı bir şekilde kaldırılmıştır. Bu durum, temassız tutucuların Laparoskopik cerrahi gibi değişik alanlara uygulanabilirliği açısından önemli bir avantajdır.
- Temassız tutucular, organların kaldırılması sırasında kısaçlı tutucular gibi yüzeye direk temas etmediğinden zarar vermezler. Bunun sonucunda hasta güvenliği tehlikeye atılmamış olur.
- Basınçlı hava ile çalışan bu tutucuların vakumlu tutucular gibi hava yolunun tıkanma riski yoktur.
- Temassız tutucular sisteme kolaylıkla sökülüp-takılabilecek şekilde yapılabilir. Montajı, üretim ve bakımı kolaydır.
- Tutma işlemi sırasında basınçlı hava kullanıldığından maliyeti oldukça düşüktür.
- Tutulan ve kaldırılan nesnenin bırakılması için ayrı bir sisteme ihtiyaç yoktur. Bırakma işlemi için havanın kesilmesi yeterlidir.

Temassız tutucuların tüm bu avantajlarının yanında birtakım dezavantajları da vardır.

- Temassız tutucu ile kaldırılan nesne ile tutucu yüzey arasında sürekli akan bir hava akışı sayesinde bir hava yastığı vardır. Bu hava yastığı sayesinde nesnenin tutucu yüzeye teması engellenmiş olur. Bu nedenle kaldırılan nesne, yatay yönde kayma eğiliminde bulunur.

- Laparoskopik cerrahide kullanılacak tutucuların trokar içinden geçebilmeleri için 15 mm çapından küçük olması gerekmektedir.

Deflektörsüz tutucularda basınçlı hava direk kaldırılacak dokuya çarptığı için zarar verebilir ve dokuyu iterek tutucu yüzeyinden kaydırabilir. Bu istenmeyen durum, tutucu merkezinde deflektör kullanarak havanın nesneye çarpmadan aksenel yönden radyal yöne doğru 90° yön değiştirmesi ile çözülebilir. Ancak bu tür tutucularda deflektör yüzeyinden hava geçmediği için bu bölgede Bernoulli etkisi olmamakta ve nesne tutucuya minimal olarak temas etmektedir.

## 10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 10.1. SONUÇLAR

Esnek olmayan ve esnek malzemelerin kaldırılması ile ilgili geniş bir literatür taraması yapıldı. Yapılan bu literatür taramasında, medikal alanda temassız bir tutucuya ihtiyaç olduğu düşünüldü.

Bu tez, radyal akış kullanılarak, gerçek insan organları yerine esnek ve narin yapılara sahip cansız tavuk organlarından karaciğer, akciğer, yürek, taşlık ve derinin Bernoulli prensibine dayalı, hava kullanılarak çalışan tutucular ile kaldırılması üzerine ilk çalışmadır.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda aşağıdaki bilgilere ulaşılmıştır.

- Öncelikle prototipi üretilen standart tutucu ile değişik tavuk organlarının kaldırılması için deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda, basınçlı havanın kaldırılacak dokuya direk çarpması sonucu zarar verdiği görülmüştür.
- Deflektörler, merkezi deliğin çıkışında olup eksenel yönde gelen havanın yönünü dokuya çarpmadan radyal yöne doğru saptırmasına sebep olmuşlardır.
- Deflektörlerin, hava yönünü değiştirmelerinin haricinde, tutulan dokuların yatay olarak kaymasını da önlediği görülmüştür.
- Deflektör yüzeyinden hava geçmediği için burada Bernoulli etkisinin olmadığı, dolayısıyla kaldırılan organların deflektöre kısmi temas ettiği görülmüştür. Temassız tutucularda deflektörün dokuya temas etmesi dezavantajdır fakat tutma sırasında nesneyi kaymadan yerinde tutması avantajdır.
- Deney sayılarını azaltmak ve optimum kaldırma şartlarını tespit edebilmek için taguchi yöntemi ile çekme kuvvetlerinin optimizasyonu yapılmıştır.
- Erer 1 tutucu ile, farklı ağırlığa sahip tavuk organları belirlenen optimum basınç ve debi de başarılı bir şekilde tutulmuş ve kaldırılmıştır.
- Erer 2 tutucunun yüzeyine altı adet orta kısımları daralan radyal oluk açılmıştır. Bu tutucudan beklenen sonuç, her bir radyal oluğun orta kısmında oluşturulan

vakumun kaldırma kuvvetine daha fazla katkı sağlamasıdır. Bu tutucu ile belirlenen tavuk organları başarılı bir şekilde düşmeden tutularak kaldırılmıştır.

- Erer 3 tutucunun diğer tutuculardan farkı ise, tutucu yüzeyinde 12 adet radyal oluğun (venturi kanalı) olmasıdır. Bu kanallar, çekme kuvvetine katkı sağlayarak tutucunun başarılı bir şekilde organların kaldırılmasına neden olmuştur.
- Erer 4 tutucu, yuvarlak kesitli dokuları tutmak ve kaldırmak amacı ile tasarlanmıştır. Tutucu yüzeyi ve deflektörü 10°'lik bir açıya sahiptir. Bu tutucu ile beş adet tavuk organı sorunsuz olarak tutulmuş ve kaldırılmıştır.
- Erer 5 tutucu, yüzeyi açılı ve üzerinde 10 adet radyal oluklu olarak tasarlanmıştır. Bu tutucu ile düz olmayan organlar düşmeden kaldırılmıştır.
- Havanın aktığı tutucu yüzey ile nesne arasındaki aralığın azaltılması durumunda, havanın daha da hızlı akarak bu bölgede basıncın daha da düşmesi sonucu daha ağır nesneler kaldırılabilir.
- Tüm tutuculara yerleştirilen deflektör sayesinde organların yatay yönde kayması önlenerek tutucularda sabit pozisyonda kalmışlardır.
- Organlar, tutucularla değişik basınç ve debi değerlerinde 90° yukarıya doğru kaldırılmıştır.

## 10.2. ÖNERİLER

Gelecekte yapılacak çalışmalarda aşağıda verilen öneriler ile medikal alanda temassız tutucu tasarımları için daha iyi sonuçlar alınabileceği düşünülmektedir.

- Bu çalışma da Bernoulli prensibi ile çalışan tutucular ile cansız tavuk dokularından karaciğer, akciğer, yürek, taşlık ve deri kaldırılmıştır. Farklı doku özelliklerine sahip organların kaldırılması için çalışmalar yapılabilir.
- Organların kaldırılması için dairesel tutucu yüzeye sahip tutucular tasarlanarak deneysel işlemler yapılmıştır. Açılı tutucuların kaldırma işlemine etkileri çalışılabilir.
- Tutucular organlara dikey doğrultuda 90° yaklaştırılarak kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Farklı kaldırma açıları ile çalışmalar yapılabilir.

- Çalışma da kaldırma kuvvetini arttırmak için tutucu yüzeylerinde 6, 10, 12 adet radyal oluk açılmıştır. Farklı tutucu yüzey işlemleri ile kaldırma kuvvetini arttırma çalışmaları yapılabilir.
- Deneysel çalışmada organların kaldırılması için akışkan olarak hava kullanılmıştır. Yanıcı özelliği olmayan ve organlara zarar vermeyen CO<sub>2</sub> gibi farklı gazlar ile organ kaldırma çalışmaları yapılabilir.

## 11. KAYNAKLAR

- [1] J. Dankelman, C. A. Grimbergen, and H. G. Stassen, *Engineering for patient safety: Issues in Minimally Invasive Procedures*, New Jersey, United States: Lawrence Erlbaum ssociates, 2005, pp. 17-18.
- [2] “Global Industry Analysts Inc. (2015). [Online]. Available: <https://www.strategyr.com/market-report-laparoscopic-devices-forecasts-global-industry-analysts-inc.asp>
- [3] H. De Visser, “Grasping safely: Instruments for bowel manipulation investigated,” Ph.D. dissertation, Mechanical Maritime and Materials Engineering, Delft University, Delft, Netherlands, 2003.
- [4] Z. Wang, B. Tang, T. Frank and A. Cuschieri, “A. Retraction by surface ferromagnetisation of target tissues: Preliminary studies on feasibility of magnetic retraction for endoscopic surgery,” *Surgical Endoscopy*, c. 22, sayı 1, ss. 1838–1844, 2008.
- [5] S. Gentilli, M. Velardocchia and F. Donadio, “Laparoscopic splenectomy, how to make it easier using an innovative atraumatic suction grasper,” *Surgical Endoscopy*, c. 12, sayı 11, ss. 1345–1347, 1998.
- [6] M. A. van Veelen, “Human-Product Interaction in Minimally Invasive Surgery: A Design Vision for Innovative products,” Ph.D. dissertation, Indusrtial Design Engineering, Delft University, Delft, Netherlands, 2003.
- [7] S. Buzink, “Improving patient safety in image-based procedures - bridging the gap between preferred and actual proficiency,” Ph.D. dissertation, Indusrtial Design Engineering, Delft University, Delft, Netherlands, 2010.
- [8] C. A. Grimbergen, J. Jaspers, J. Herder, and H. Stassen, “Developments of laparoscopic instruments,” *Minimally Invasive Therapy. Allied Technologies*, c. 10, sayı 3, ss. 145–154, 2009.
- [9] E. Heijnsdijk, “Tissue manipulation in laparoscopic surgery,” Ph.D. dissertation, Mechanical Maritime and Materials Engineering, Delft University, Delft, Netherlands, 2004.
- [10] E. P. W. der Putten, “A Sense of Touch in Laparoscopy; Using Augmented Haptic Feedback to Improve Grasp Control,” Ph.D. dissertation, Indusrtial Design Engineering, Delft University, Delft, Netherlands, 2011.
- [11] A. Albayrak, “Ergonomics in the operating room. Transition from open to image-based surgery,” Ph.D. dissertation, Indusrtial Design Engineering, Delft University, Delft, Netherlands, 2008.
- [12] R. Berguer, “Surgical technology and the ergonomics of laparoscopic instruments,” *Surgical Endoscopy*, c. 12, sayı 5, ss. 458–462, 1998.
- [13] P. Culmer, J. Barrie, R. Hewson and D. Jayne, “Reviewing the technological

- challenges associated with the development of a laparoscopic palpation device,” *International Journal Medical Robotics Computer Assisted Surgery*, c. 8, sayı 2, ss. 146–159, 2012.
- [14] L. Russell, “The Design and Development of an Intelligent Atraumatic Laparoscopic Grasper,” Ph.D. dissertation, Mechanical Engineering, Leeds University, Leeds, United Kingdom, 2015.
  - [15] C. J. Reyda, “Design of a pressure sensing laparoscopic grasper,” M. S. thesis, Mechanical Engineering, Cambridge University, Cambridge, United Kingdom, 2011.
  - [16] E. Heijnsdijk, J. Dankelman, and D. Gouma, “Effectiveness of grasping and duration of clamping using laparoscopic graspers,” *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, c. 16, sayı 9, ss. 1329–1331, 2002.
  - [17] E. Heijnsdijk, G. Kragten, W. Mugge, J. Dankelman, and D. Gouma, “Fenestrations in the jaws of laparoscopic graspers,” *Minimally Invasive Therapy Allied Technologies*, c. 14, sayı 1, ss. 45–48, 2005.
  - [18] A. Bondakar, J. Dargahi, and R. Bhat, “Investigations on the grasping contact analysis of biological tissues with applications in minimally invasive surgery,” *American Journal Applied Sciences*, c. 4, sayı 12, ss. 1016–1023, 2007.
  - [19] H. DeVisser, “Grasping safely, instruments for bowel manipulation investigated,” Ph.D. dissertation, Mechanical Maritime and Materials Engineering, Delft University, Delft, Netherlands, 2003.
  - [20] D. Marucci, J. Cartmill, W. Wals, and M. Fracs, “Patterns of failure at the instrument- tissue interface,” *Journal of Surgical Research*, c. 93, sayı 1, ss. 16–20, 2000.
  - [21] A. Brown, D. McLean, Z. Wang, and A. Cuschieri, “Impact of fenestrations and surface profiling on the holding of tissue by parallel occlusion laparoscopic graspers,” *Surgical Endoscopy*, c. 28, sayı 4, ss. 1277–1283, 2014.
  - [22] A. Goyzueta, C. Nelson and L. Gu, “Experimental Analysis of Jaw-Tissue Interaction Forces Using a Compliant Surgical Grasper,” *Journal of Medical Devices*, c. 7, sayı 2, ss. 1-3, 2013.
  - [23] W. Susmitha, G. Mathew, S. Devasahayam, B. Perakath, and S. Velusamy, “Factors influencing forces during laparoscopic pinching: towards the design of virtual simulator,” *International Journal of Surgery*, c. 18, sayı 6, ss. 211–215, 2015.
  - [24] C. Richards, J. Rosen, B. Hannaford, C. Pellegrini, and M. Sinanan, “Skills evaluation in minimally invasive surgery using force/torque signatures,” *Surgical Endoscopy*, c. 14, sayı 9, ss. 791–798, 2000.
  - [25] J. Rosen, B. Hannaford, C. G. Richards, and M. Sinanan, “Markov modeling of minimally invasive surgery based on tool/tissue interaction and force/torque signatures for evaluating surgical skills,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, c. 48, sayı 5, ss. 579–591, 2001.
  - [26] P. Valdastris, S. Tognarelli, A. Menciassi, and P. Dario, “A scalable platform for biomechanical studies of tissue cutting forces,” *Measurement Science and Technology*, c. 20, sayı 4, ss. 45801–45801, 2009.

- [27] J. Brown, J. Rosen, M. Moreyra and B. Hannaford, "Computer- controlled motorized endoscopic grasper for in vivo measurement of soft tissue biomechanical characteristics," *Studies in Health Technology and Informatics*, c. 85, sayı 1, ss. 71–73, 2002.
- [28] L. Gan, K. Zareinia, S. Lama, Y. Maddahi, F. Yang, and G. Sutherland, "Quantification of forces during a neurosurgical procedure: a pilot study," *World Neurosurgery*, c. 84, sayı 2, ss. 537–547, 2015.
- [29] M. Bergin, M. Sheedy, P. Ross, G. Wylie, and P. Bird, "Measuring the forces of middle ear surgery; evaluating a novel force-detection instrument," *Otology and Neurotology*, c. 35, sayı 2, ss. 77–83, 2014.
- [30] S. Sunshine, M. Balicki, X. He, K. Olds, J.U. Kang, P. Gehlbach, R. Taylor, I. Lordachita, J. T. Handa, "A force-sensing microsurgical instrument that detects forces below human tactile sensation," *Retina*, c. 33, sayı 1, ss. 200–206, 2013.
- [31] P. Berkelman, L. Whitcomb, R. Taylor, and P. Jensen, "A miniature microsurgical instrument tip force sensor for enhanced force feedback during robot-assisted manipulation," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, c. 19, sayı 5, ss. 917–921, 2003.
- [32] D. Marucci, A. Shakeshaft, A. Cartmill, M. Cox, S. Adams, and C. Martin, "Grasper Trauma During Laparoscopic Cholecystectomy," *Australian and New Zealand Journal of Surgery*, c. 70, sayı 8, ss. 578–581, 2000.
- [33] W. Li, Z. G. Jia, J. Wang, L. Shi, and Z. R. Zhou, "Friction behavior at minimally invasive grasper/liver tissue interface," *Tribology International*, c. 81, sayı 1, ss. 190–198, 2015.
- [34] M. van Der Voort, E. Heijnsdijk, and D. Douma, "Bowel injury as a complication of laparoscopy," *British Journal of Surgery*, c. 91, sayı 10, ss. 1253–1258, 2004.
- [35] E. Croce, M. Golia, R. Russo, M. Azzola, S. Olmi, and G. Murtas, "Duodenal perforations after laparoscopic cholecystectomy," *Surgical Endoscopy*, c. 13, sayı 5, ss. 523–525, 1999.
- [36] D. Vonck, R. H. M. Goossens, D. J. van Eijk, I. H. J. T. de Hing, and J. J. Jackimowicz, "Vacuum grasping as a manipulation technique for minimally invasive surgery," *Surgical Endoscopy*, c. 24, sayı 10, ss. 2418–2423, 2010.
- [37] S. De, P. Swanson, M. Sinanan and B. Hannaford, "Assessment of tissue damage due to mechanical stresses," *International Journal of Robotics Research*, c. 26, sayı 11, ss. 1159–1171, 2007.
- [38] A. Trejo, M. Jung, D. Oleynikov, and S. Hallbeck, "Effect of handle design and target location on insertion and aim with a laparoscopic surgical tool," *Applied Ergonomics*, c. 38, sayı 6, ss. 745–753, 2007.
- [39] L. Steenbekkers and C. Van Beijsterveldt, *Design-relevant characteristics of ageing users*. Delf, Netherlands: Delf, Delft University Press, 1998, pp. 1-433.
- [40] H. Grutzeck and L. Kiesewetter, "Downscaling of grippers for micro assembly," *Microsystem Technologies*, c. 8, sayı 1, ss. 27–31, 2002.
- [41] G. Dini, G. Fantoni, and F. Failli, "Grasping leather plies by Bernoulli grippers," *CIRP Annals*, c. 58, sayı 1, ss. 21–24, 2009.
- [42] G. M. Carlomagno, "Process for applying forces to glass sheets, in particular at a

- high temperature,” U. S. Patent 4 921 520, May 1, 1990.
- [43] B. R. Rawal, V. Pare, and T. Kartikeya, “Development of non-contact end effector for handling of bakery products,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 38, sayı 1, ss. 524–548, 2008.
  - [44] R. Sam and S. Nefti, “Design and feasibility tests of multi-functional gripper for handling variable shape of food products,” *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems*, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2010, pp. 1267–1272.
  - [45] R. Sam and N. Buniyamin, “A Bernoulli principle based flexible handling device or automation of food manufacturing processes,” *International Conference on Control, Automation and Information Sciences, ICCAIS*, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2012, pp. 214–219.
  - [46] E. Toklu and F. Erzincanlı, “Modeling of radial flow on a non-contact end effector for robotic handling of non-rigid material,” *Journal of Applied Research and Technology*, c. 10, sayı 4, ss. 590–596, 2012.
  - [47] A. Pettersson, T. Ohlsson, D. Caldwell, S. Davis, J. Gray, T. Dodd “A Bernoulli principle gripper for handling of planar and 3D (food) products,” *Industrial Robot*, c. 37, sayı 6, ss. 518–526, 2010.
  - [48] C. M. Anderson-Cook, C. M. Borror, and D. C. Montgomery, “Response surface design evaluation and comparison,” *Journal of Statistical Planning and Inference*, c. 139, sayı 2, ss. 629–641, 2009.
  - [49] X. Li, N. Li, G. Tao, H. Liu, and T. Kagawa, “Experimental comparison of Bernoulli gripper and vortex gripper,” *International Journal of Precision Engineering Manufacturing*, c. 16, sayı 10, ss. 2081–2090, 2015.
  - [50] M. Journee, X. Chen and M. Sellier, “An investigation into improved non-contact adhesion mechanism suitable for wall climbing robotic applications,” *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Shanghai, China, 2011, pp. 4915–4920.
  - [51] S. Davis, J. O. Gray, and D. G. Caldwell, “An end effector based on the Bernoulli principle for handling sliced fruit and vegetables,” *Robotics Computer Integrated Manufacturing*, c. 24, sayı 2, ss. 249–257, 2008.
  - [52] M. Trommelen, “Development of a medical Bernoulli gripper,” M. S. thesis, BioMechanical Engineering, Delft University, Delft, Netherlands, 2011.
  - [53] J. A. Paivanas and J. K. Hassan, “Air film system for handling semiconductor wafers,” *IBM Journal Research and Development*, c. 47, sayı 8, ss. 361–375, 1979.
  - [54] F. Erzincanlı, “A non-contact end effector for robotic handling of non-rigid material,” Ph.D. dissertation, Design, Manufacture and Marketing, Salford University, Manchester, United Kingdom, 1995.
  - [55] B. Özçelik and F. Erzincanlı, “Examination of the movement of a woven fabric in the horizontal direction using a non-contact endeffector,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 25, sayı 5, ss. 527–532, 2005.
  - [56] J. M. Benjamin, “Pneumatic probe for handling flat objects,” U. S. Patent 3 425 736, February 4, 1969.
  - [57] W. Mammel, “Pickup device for supporting work piece on a large of fluid,” U. S. Patent 3 431 009, March 4, 1969.

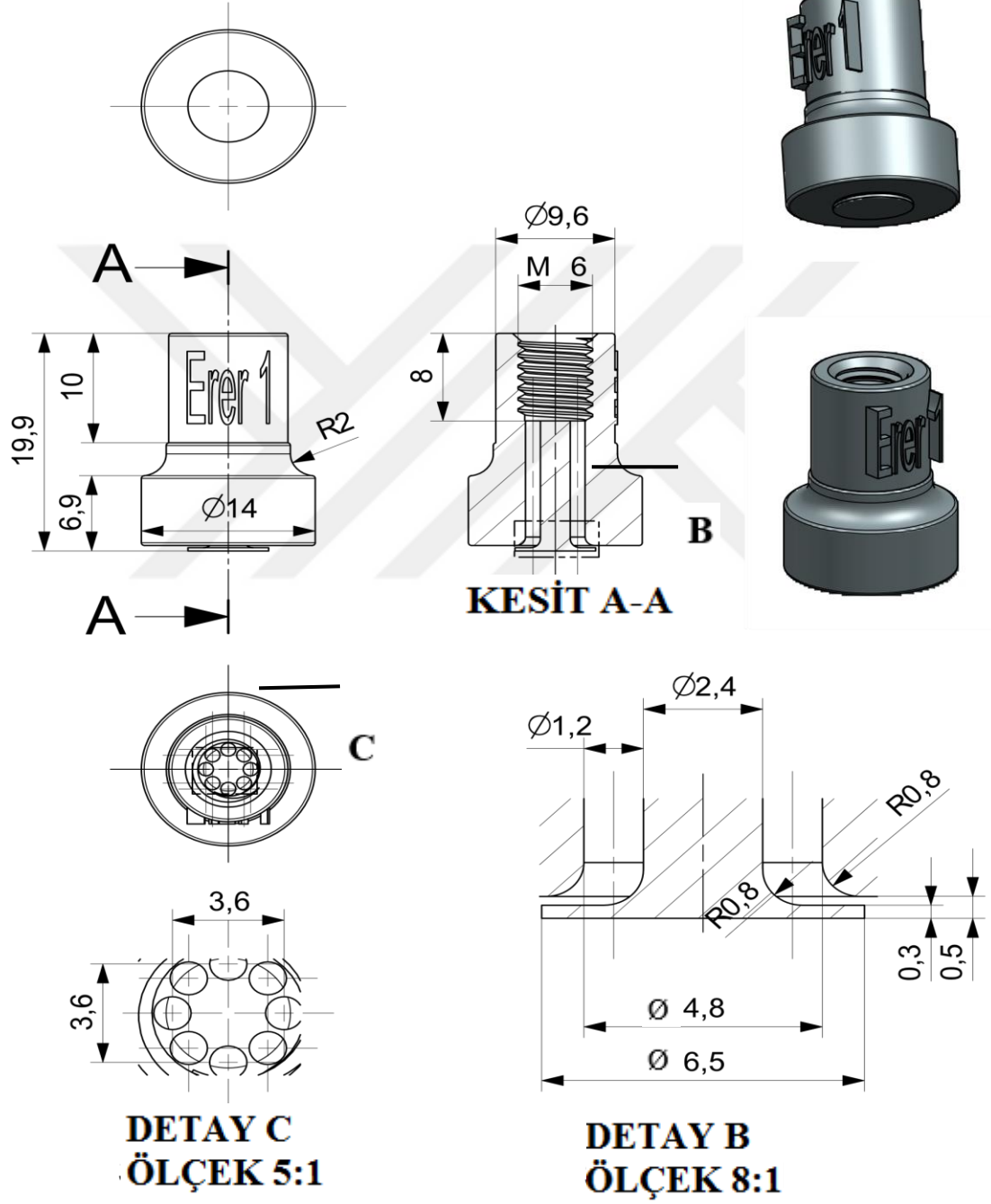
- [58] T. Kuma, "Method of supporting and/or conveying a plate with fluid without physical contact," U. S. Patent 4 735 449, April 5, 1988.
- [59] Y. Okugi, "Substrate transfer apparatus," U. S. Patent 6 379 103, April 30, 2002.
- [60] F. Erzincanli, J. M. Sharp, and A. M. Dore, "Grippers for handling of flexible food products," *Proceedings EURISCON*, Malaga, Spain, 1994, pp. 798-806.
- [61] F. Erzincanli and J. M. Sharp, "Robotic Handling Using Non-Contact End Effectors: The Effectors of Nozzle Configuration on Non-rigid Materials," *First Turkish Symposium, Intelligence Manufacturing System*, Sakarya, Turkey, 1996, pp. 350–358.
- [62] F. Erzincanli and J. M. Sharp, "Development of a non-contact end effector for robotic handling of non rigid materials," *Robotica*, c. 15, sayı 3, ss. 331–335, 1997.
- [63] G. Asava, P. Pande, P. Godbole "Radial turbulent flow between paralel plates," *Journal of Hydraulic Engineering*, c. 111, sayı 4, ss. 695–712, 1985.
- [64] P. S. Moller, "Radial flow without swirl between parallel disks," *Aeronautical Quarterly*, c. 14, sayı 2, ss. 163–186, 1963.
- [65] P. S. Moller, "Compressible radial flow between paralel disks," *Aeronautical Quarterly*, c. 15, sayı 3, ss. 219–238, 1964.
- [66] H. Mori, "A theoretical investigation of pressure depression in externally pressurised gas-lubricated circular thrust bearings," *Journal of Basic Engineering*, c. 83, sayı 2, ss. 201–208, 1961.
- [67] E. Baydar, "Confined impinging air jet at low Reynolds numbers," *Experimental Thermal and Fluid Science*, c. 19, sayı 1, ss. 27–33, 1999.
- [68] D. T. Pham and E. Tacgin, "A hybrid expert system for selecting robot gripper types," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, c. 32, sayı 3, ss. 349–360, 1992.
- [69] A. Karakerezis, Z. Doulgeri, and V. Petridis, "A gripper for handling flat non - rigid materials," *Automation Robotics in Construction Xi*, c. 5, sayı 1, ss. 593–601, 1994.
- [70] D. Lavanya, "Design and development of Bernoulli gripper with optimized pressure distribution and grasping surface area for foodindustries," Ph.D. dissertation, Mechanical Engineering, Anna University, Chennai, India, 2017.
- [71] G. Fantoni, M. Sandochi, G. Dini, K. Tracht, T. K. Lien, G. Seliger, G. Reinhart, J. Franke, H. N. Hansen and A. Verl "Grasping devices and methods in automated production processes," *CIRP Annals*, c. 63, sayı 2, ss. 679–701, 2014.
- [72] Needle gripper. (2019). [Online]. Available: [http://acme.world.com/products/pneumatic-cacuum-components/special grippers/schmalz-needle-grippers/](http://acme.world.com/products/pneumatic-cacuum-components/special_grippers/schmalz-needle-grippers/).
- [73] J. K. Parker, R. Dubey and R. J. Becker, "Robotic fabric handling for automating garment manufacturing," *Journal Engineering Industry*, c. 105, sayı 1, ss. 21–26, 1983.
- [74] G. J. Monkman, "Robot grippers for use with fibrous materials," *International Journal of Robotics Research*, c. 14, sayı. 2, ss. 144–151, 1995.
- [75] F. Erzincanli, J. M. Sharp, and S. Erhal, "Design and operational considerations of

- a non-contact robotic handling system for non-rigid materials,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, c. 38, sayı 4, ss. 353–361, 1998.
- [76] P. M. Taylor, A. J. Wilkinson, L. Gibson, G. S. Palme, and M. B. Gunner, “The automation of complex fabric handling tasks requiring out of plane manipulation,” *IEE-91 ICAR, 5th International Conference on Advanced Robotic in Unstructure Environments*, Pisa, Italy, 1991, pp. 775–780.
  - [77] S. D. H. Jarvis, K. Wilcox, X. Q. Chen, R. McCarthy, and M. Sarhadi, “Design of a handling device for composite ply lay-up automation,” *Fifth International Conference on Advanced Robotics*, Pisa, Italy, 1991, pp. 790–795.
  - [78] L. G. Schulz, “Grippers for Flexible Textiles,” *IEEE-91 ICAR, 5th International Conference on Advanced Robotics*, Pisa, Italy, 1991, pp. 759–764.
  - [79] J. Stephan and G. Seliger, “Handling with ice – the cyro-gripper, a new approach,” *Assembly Automation*, c. 19, sayı 4, ss. 332–337, 1999.
  - [80] T. K. Lien and P. G. Davis, “A novel gripper for limp materials based on lateral Coanda ejectors,” *CIRP Anals*, c. 57, sayı 1, ss. 33–36, 2008.
  - [81] M. Ameri and A. Dybbs, “Theoretical modeling of Coanda Ejectors,” *American Society of Mechanical Engineers Fluid Engineering Division*, c. 163, sayı 1, ss. 43–48, 1993.
  - [82] W. Simonton, “Robotic end effector for handling greenhouse plant material,” *Transactions of the ASAE*, c. 34, sayı 6, ss. 2615–2621, 1991.
  - [83] J.D. Tedford, “Developments in robot grippers for soft fruit packing in New Zealand,” *Robotica*, c. 8, sayı 4, ss. 279–283, 1990.
  - [84] A. Cuschieri, “Whither minimal access surgery: Tribulations and expectations,” *American Journal of Surgery*, c. 169, sayı 1, ss. 9–19, 1997.
  - [85] A. Cuschieri and A. Melzer, “The impact of technologies on minimally invasive therapy,” *Surgical Endoscopy*, c. 11, sayı 1, ss. 91–92, 1997.
  - [86] R. Berguer, “The application of ergonomics in the work environment of general surgeons,” *Review on Environmental Health*, c. 12, sayı 2, ss. 99–106, 1997.
  - [87] M. Memon and R. Fitzgibbons, “Assessing risks, costs, and benefits of laparoscopic hernia repair,” *Annual Review of Medicine*, c. 49, sayı 1, ss. 95–109, 1998.
  - [88] K. T. den Boer, T. de Jong and D. J. Gouma, “Problems with laparoscopic instruments: opinions of experts,” *Journal of Laparoendoscopic and Advanved Surgical Techniques*, c. 11, sayı 3, ss. 149–155, 2001.
  - [89] J. Rosen, B. Hannaford, M. MacFarlane, and M. Sinanan, “Force controlled and teleoperated endoscopic grasper for minimally invasive surgery-experimental performance evaluation,” *IEEE Transactions Biomedival Engineering*, c. 10, sayı 10 ss. 1212–1221, 2002.
  - [90] M. A. van Vaelen, “Human-product interaction in minimally invasive surgery,” Ph.D. dissertation, Indusrtial Design Engineering, Delft University, Delft, Netherlands, 2003.
  - [91] A. M. Taylor and M. K. Li, “Laparoscopic management of complications following laparoscopic cholecystectomy,” *Australian and New Zealand Journal*

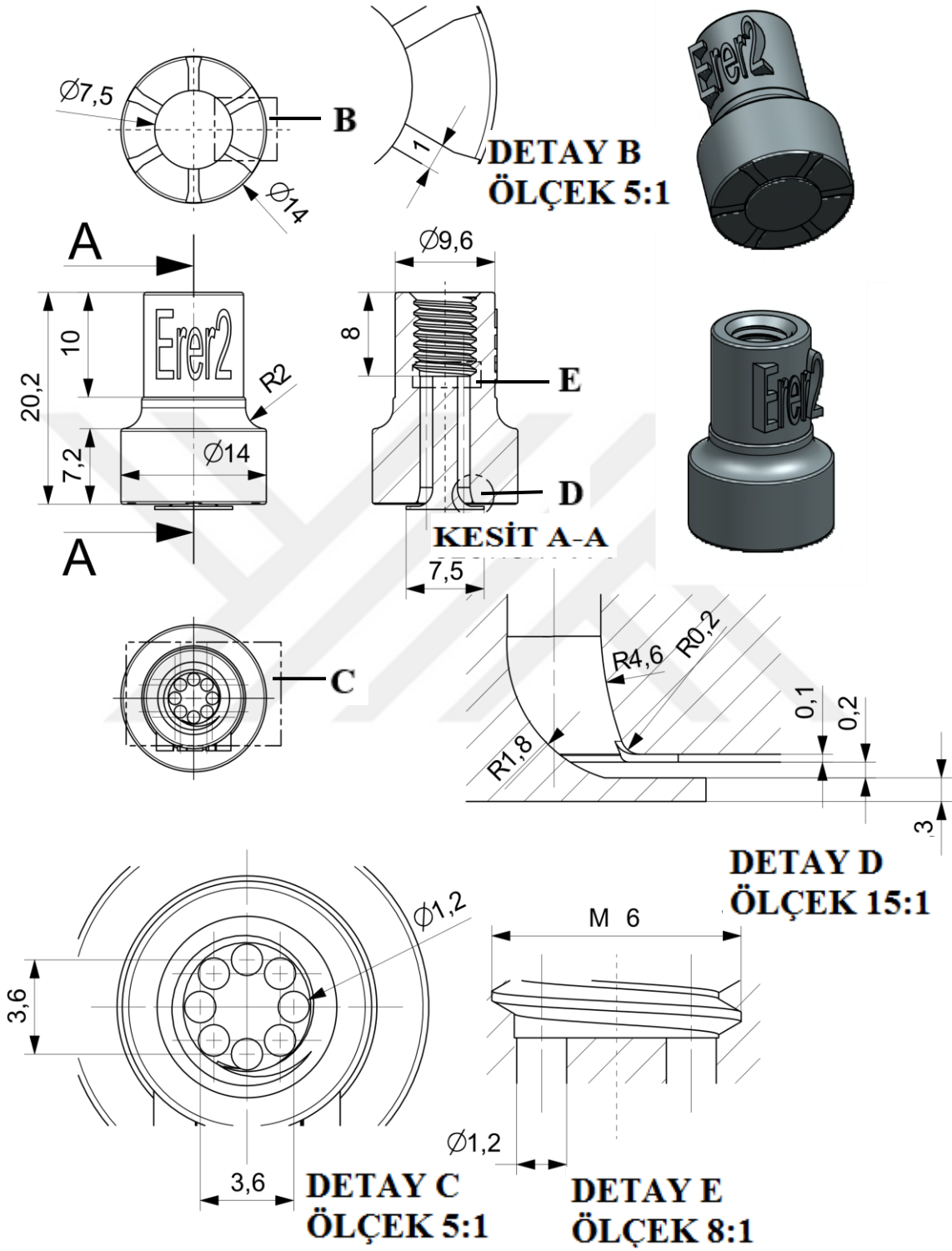
- of Surgery, c. 64, sayı 12, ss. 827–829, 1994.
- [92] D. Deziel, K. Millikan, S. Econumou, A. Doolas, S. Ko, and M. Airan, “Complications of laparoscopic Cholecystectomy: a national survey of 4,292 hospitals and an analysis of 77,604 cases,” *American Journal of Surgery*, c. 165, sayı 1, ss. 9–14, 1993.
- [93] M. Schafer, M. Lauper, and L. Krahenbuhl, “Trocarr and Veress needle injuries during laparoscopy,” *Surgical Endoscopy*, c. 15, sayı 3, ss. 275–280, 2001.
- [94] S. Sun, J. Li, P. Hu, and S. Wu, “Starfish-assisted off-pump obliteration of massive coronary arteriovenous fistulae,” *Texas Heart Institute Journal*, c. 32, sayı 4, ss. 595–597, 2005.
- [95] S. Gentilli, A. Ferrero, M. Velardocchia, and M. Garavoglia, “Laparoscopic adrenalectomy: Advantages of an atraumatic suction grasper,” *Surgical Laparoscopy Endoscopy and Percutaneous Techniques*, c. 8, sayı 5, ss. 335–337, 1998.
- [96] L. F. Welanetz and N. Y. Syosset, “A suction device using under pressure,” *Journal of Applied Mechanics*, c. 5, sayı 1, ss. 269–272, 1956.
- [97] C. E. Wark and J. F. Foss, “Forces caused by the radial out-flow between parallel disks,” *Journal of Fluids Engineering*, c. 106, sayı 3, ss. 292–297, 1984.
- [98] R. Ranjit, *A Primer on the Taguchi Method*. New York, Usa: Society of Manufacturing Engineers, 1990, pp. 1-247.
- [99] P. J. Ross, *Taguchi Techniques for Quality Enginnering*. New York, Usa: McGraw-Hill Professional, 1996, pp. 1-329.
- [100] G. Samtaş ve S. Koruyucu, “Temperlenmiş alüminyum 5754 alaşıminın frezelenmesinde kesme parametrelerinin taguchi metodu kullanılarak optimizasyonu,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, sayı 1, ss. 45–60, 2019.
- [101] G. Samtaş and S. Koruyucu, “Kriyojenik işlem görmüş EN AW 5754 (AlMg3 ) alüminyum alaşıminın frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin optimizasyonu,” *Politeknik Dergisi*, c. 22, sayı 3, ss. 665-673, 2019.
- [102] T. Hill and P. Lewicki, *Methods and Applications: A Comprehensive Reference for Science*. United Kingdom: Industry and Data Mining StatSoft, 2006, pp. 1-832.
- [103] N. Mandal, B. Doloi and R. Das, “Optimization of flank wear using Zirconia Toughened Alumina (ZTA) cutting tool: Taguchi method and regression analysis,” *Measurement*, c. 44, sayı 10, ss. 2149–2155, 2011.
- [104] R. K. Roy, *Design of experiments using the Taguchi approach*. New York, Usa: John Wiley&Sons, 2001, pp. 1-560.
- [105] K. Krishnaiah and P. Shahabudeen, *Applied design of experiments and Taguchi Methods*. New Delhi, India : PHI Learning Private Limited, 2012, pp. 1-371.
- [106] F. Kara, “Optimization of surface roughness in finish milling of AISI P20+S plastic-mold steel,” *Materiali in Technologije*, c. 52, sayı 2, ss. 195–200, 2018.
- [107] Y. T. Liu, “A study on optimal compensation cutting for an aspheric surface using the taguchi method,” *CIRP Journal*, c. 3, sayı 1, ss. 40–48, 2010.

## 12.EKLER

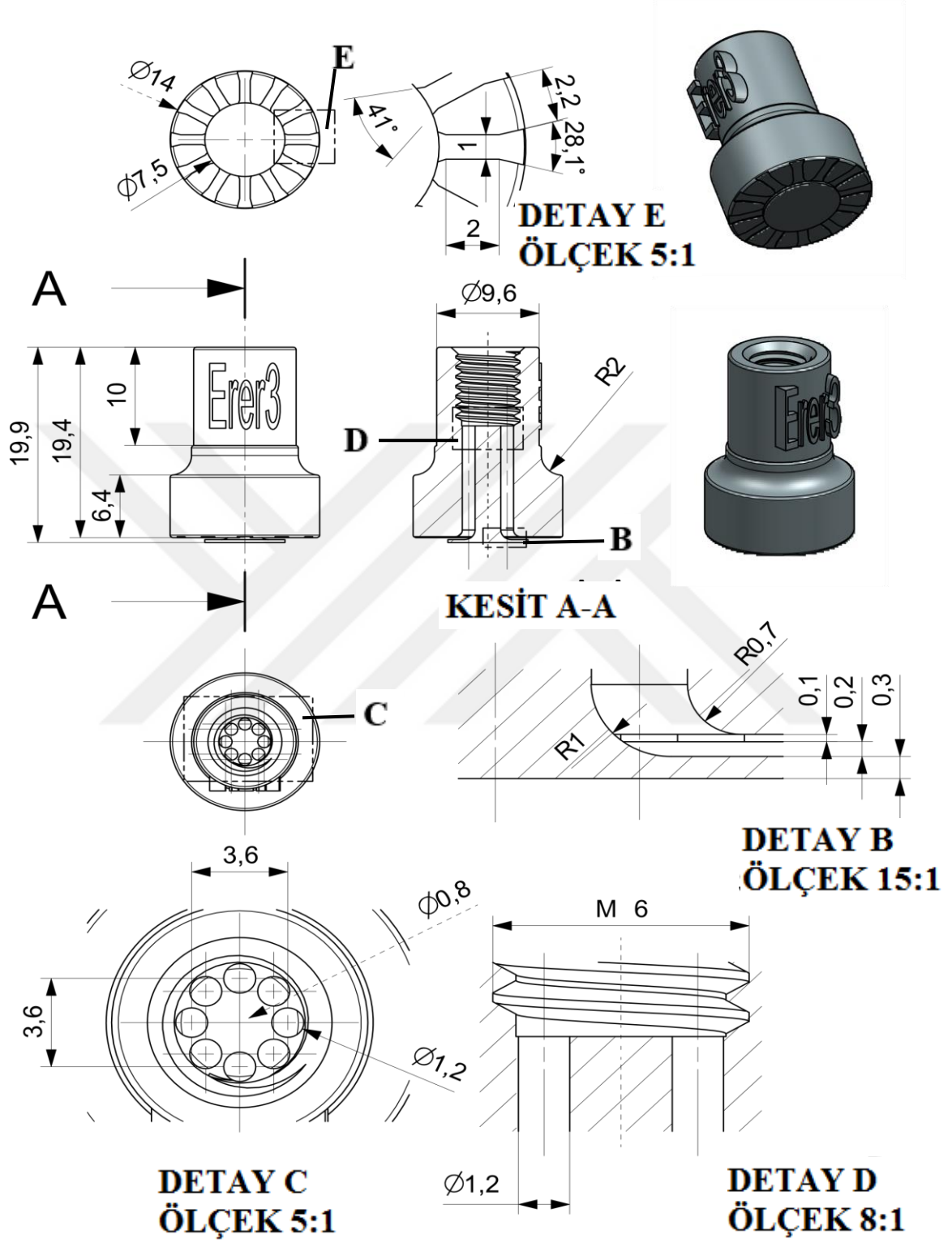
### 12.1. EK 1: ERER 1 TUTUCU İMALAT RESMİ



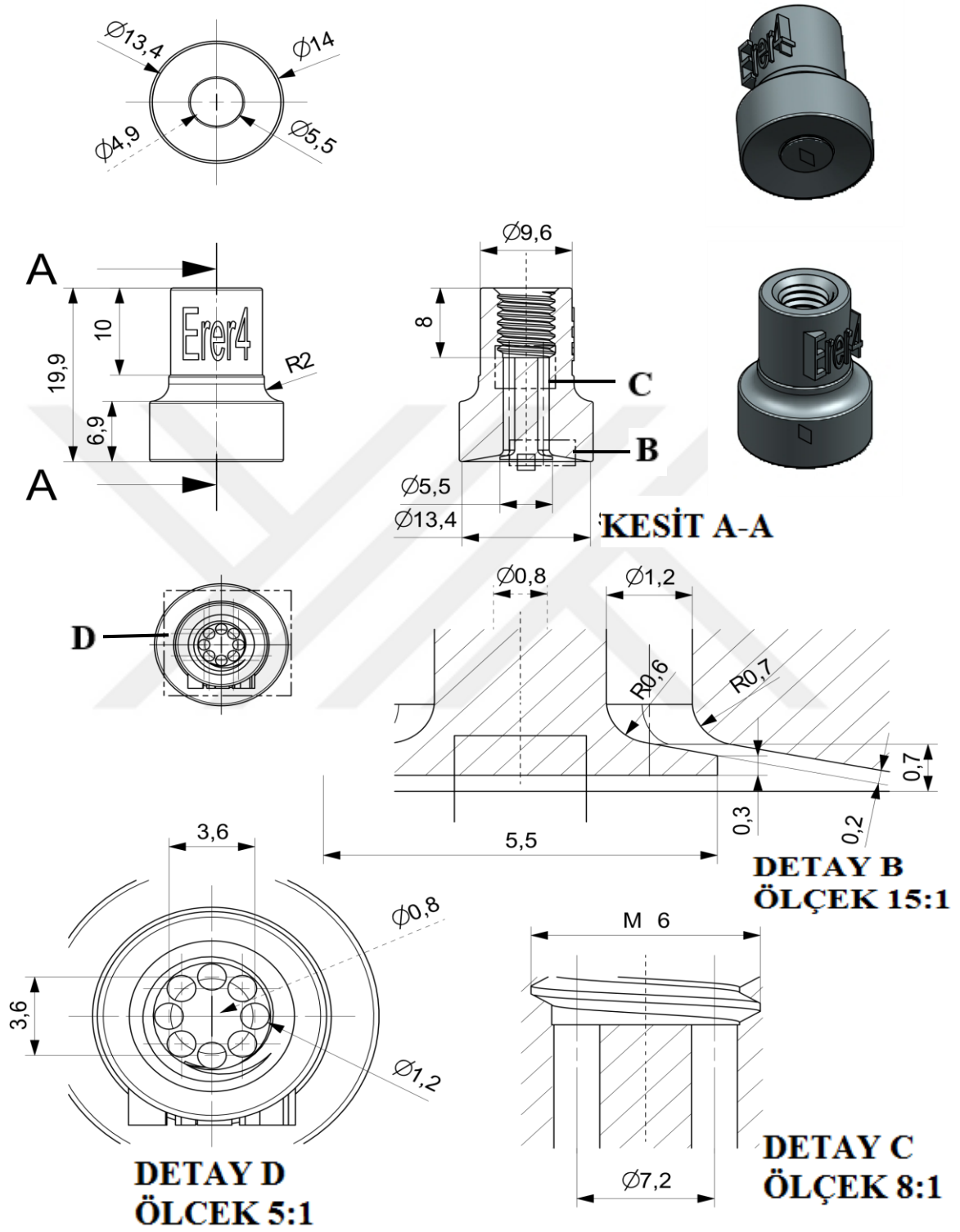
## 12.2. EK 2: ERER 2 TUTUCU İMALAT RESMİ



### 12.3. EK 3: ERER 3 TUTUCU İMALAT RESMİ

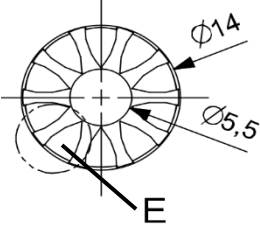


#### 12.4. EK 4: ERER 4 TUTUCU İMALAT RESMİ

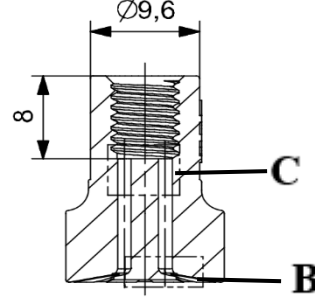
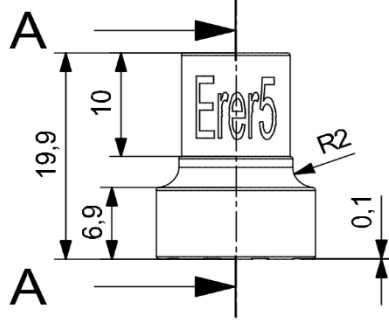
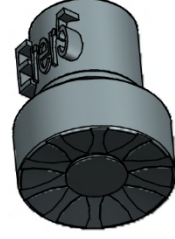
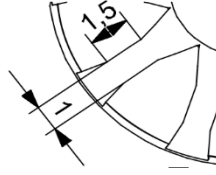


## 12.5. EK 5: ERER 5 TUTUCU İMALAT RESMİ

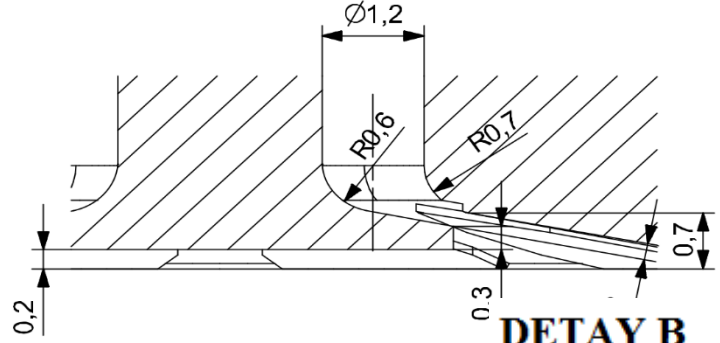
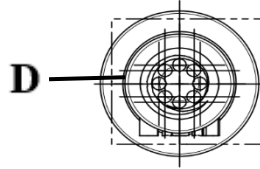
**DETAY D  
ÖLÇEK 5:1**



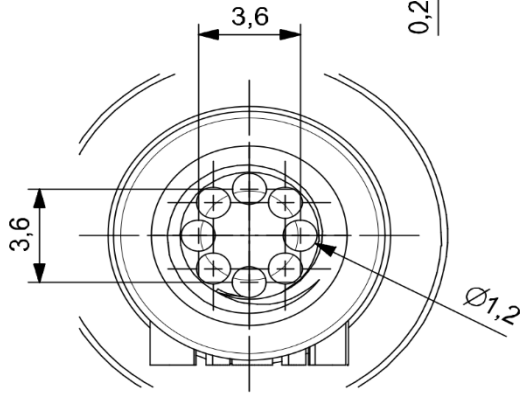
**DETAY E  
ÖLÇEK 5:1**



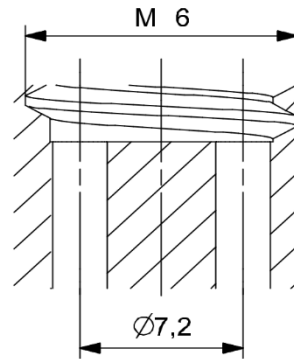
**KESİT A-A**



**DETAY B  
ÖLÇEK 15:1**

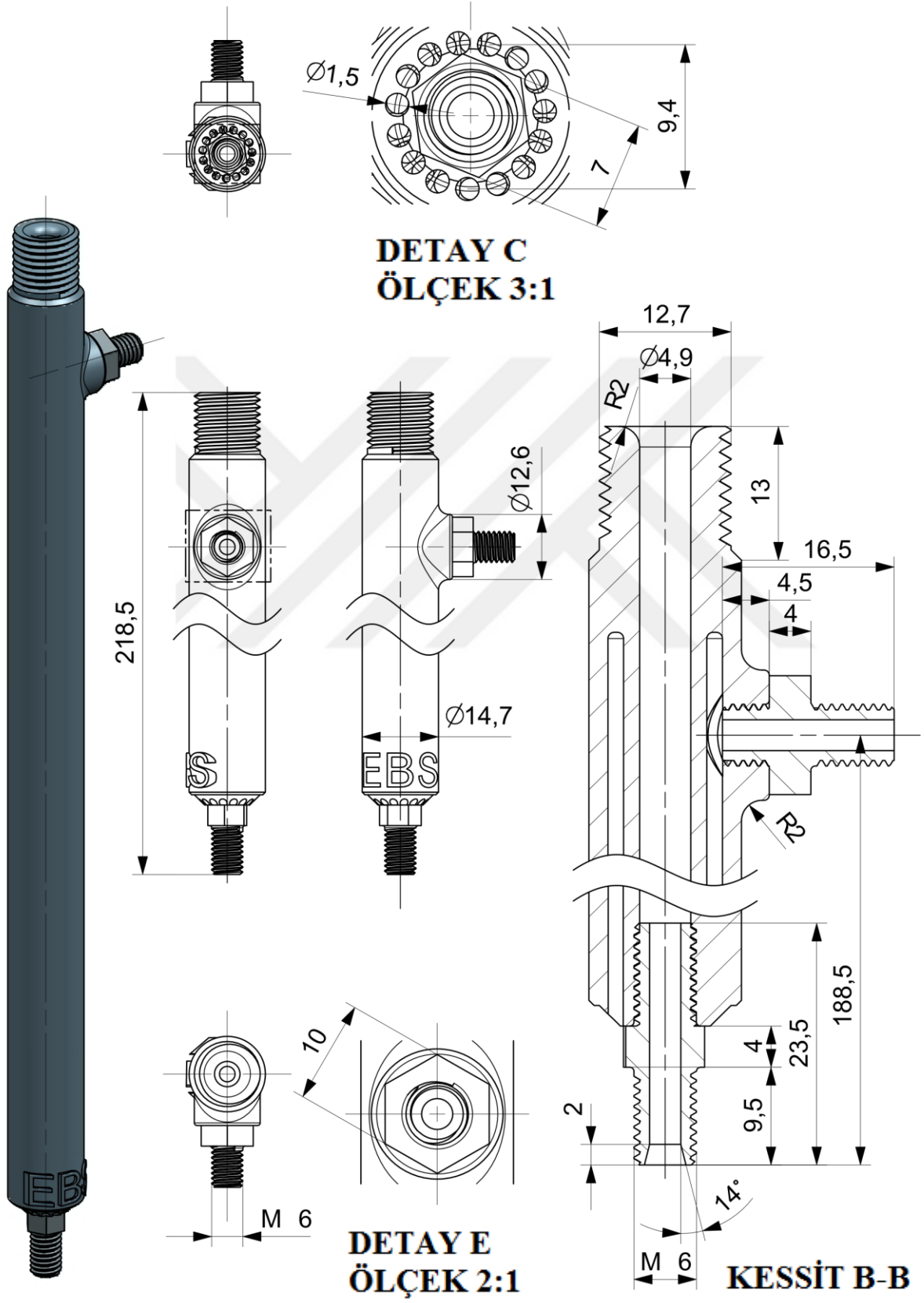


**DETAY D  
ÖLÇEK 5:1**



**DETAY C  
ÖLÇEK 8:1**

## 12.6. EK 6: ERER BAĞLANTI SİSTEMİ (EBS)



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : ŞENOL ERTÜRK  
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.10.1977 GEYVE  
Yabancı Dili : İNGİLİZCE  
E-posta : senolerturk540@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

| Derece    | Alan           | Okul/Üniversite       | Mezuniyet Yılı |
|-----------|----------------|-----------------------|----------------|
| Doktora   | Makine Müh.    | Düzce Üniversitesi    | 2019           |
| Y. Lisans | Makine Eğitimi | Sakarya Üniversitesi  | 2010           |
| Lisans    | Makine Eğitimi | Marmara Üniversitesi  | 2001           |
| Lise      |                | Sakarya E.M.L. Lisesi | 1995           |

### YAYINLAR

Ş. Ertürk and F. Erzincanlı, “Design and development of a non-contact robotic gripper for tissue manipulation in minimally invasive surgery,” *Acta Biomed*, vol. 90, 2019.

Ş. Ertürk ve F.Erzincanlı, “Gözenekli esnek malzemelerin Bernoulli prensibi kullanılarak temassız taşınması üzerine literatür taraması,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2019.

Ş. Ertürk and F.Erzincanlı, “Grasping of soft tissues by means of non-contact gripper in Minimally Invasive Surgery,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2019.