

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

**SIKI GEÇME BAĞLANTILARIN STATİK VE DARBELİ KUVVETLER İÇİN  
EMNİYET KATSAYISININ İNCELENMESİ**

**FATİH GÜVEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2011**

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

**SIKI GEÇME BAĞLANTILARIN STATİK VE DARBELİ KUVVETLER İÇİN  
EMNİYET KATSAYISININ İNCELENMESİ**

**FATİH GÜVEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez .. / .. / 2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından (.....) not takdir edilerek  
Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hikmet RENDE (Danışman) .....

Prof. Dr. İbrahim AKINCI .....

Yrd. Doç. Dr. S. Cem HANYALOĞLU .....

## ÖZET

### SIKI GEÇME BAĞLANTILARIN STATİK VE DARBELİ KUVVETLER İÇİN EMNİYET KATSAYISININ İNCELENMESİ

**Fatih GÜVEN**

**Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Hikmet RENDE**

**Aralık 2011, 98 Sayfa**

Sıkı geçme bağlantılar, kuvvete dayalı bir bağlantı şekli olup, mil ve göbek çifti arasındaki sürtünme kuvveti yardımı ile moment iletiminde kullanılır. Sıkı geçme bağlantısının emniyeti açısından iki önemli sınır vardır. Bu sınırlardan biri moment iletimi için gereken minimum sıklık değeri ve diğeri ise göbeğin zarar görmemesi için maksimum sıklık değeridir. Ancak bu sıklıklar, mil ve göbek çiftinin yüzeylerindeki deformasyondan dolayı bir miktar kaybolur.

Bu çalışmada, montajı yapılmış mil ve göbek çiftine moment uygulayarak sınırlar denenmiştir. Bulgular literatür ile kıyaslanarak sıklık kaybının miktarı ve emniyet gibi konularda değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışma neticesinde sıkı geçme bağlantıların literatüre göre daha emniyetli olduğu görülmüştür. Aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü kaybı konusunda yapılan kabullerin fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Sıkı geçme bağlantılar, yüzey pürüzlülüğü, emniyet

**JÜRİ:** Prof. Dr. Hikmet RENDE (Danışman)

Prof. Dr. İbrahim AKINCI

Yrd. Doç. Dr. S. Cem HANYALOĞLU

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF SAFETY FACTOR ON SHRINK FITS UNDER STATIC LOAD OR IMPACT**

**FATİH GÜVEN**

**M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Hikmet RENDE**

**December 2011, 98 Pages**

Shrink fitting assembly, which is based on the principle of force, are used for transmission of tork by the help of friction between shaft and hub.

There are two important limits in terms of safety of shrink fit. One of the limits is minimum tightness value for tork transmission and the other one is maximum tightness value to prevent damage of hub. We must also think more, these values lose their tightness partially in case of deformation of asperity on the surface of shaft and hub.

In this study, limits of assembled fit were examined by loading tork. Findings were assessed from the point of safety of shrink fits and losses of tightness in comparison with literature.

As result of study, it was reviewed that shrink fits are more safety than calculation based on literature. In the same time, assumptions on losses of asperity are more than adequate.

**KEY WORDS:** Shrink fits, surface roughness, safety

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Hikmet RENDE (Advisor)

Prof. Dr. İbrahim AKINCI

Asst. Prof. Dr. S. Cem HANYALOĞLU

## ÖNSÖZ

Akademik çalışmanın en heyecan verici tarafı, kuşkusuz bir ürün elde etmektir. Bu ürün bir bildiri, bir makale olabileceği gibi çoğu kez genç araştırmacıların ilk akademik ürünü olan yüksek lisans tezi de olabilir.

Takdir edersiniz ki bir ürün elde etmek zaman, tecrübe ve enerji işidir. Sıkı geçme bağlantıları incelediğimiz bu çalışma da yine büyük emeklerle elde edilmiş, yoğun zaman harcanmış ve neticede tecrübe ile değerlendirilerek ülke bilimine hizmet etmek amaçlanmıştır.

Bilindiği gibi bilimsel faaliyetler tozlu raflarda arşivlemek üzere değil, toplumla paylaşmak üzere yürütülür. Çalışmanın bilime ve insanlara ulaşması ve faydalı olması temennimdir.

Çalışma esnasında değerli tecrübesi ile ufuk açan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Hikmet Rende'ye, çalışmanın gerçekleşmesinde katkısı bulunan Sayın Yrd. Doç. Hakan Ersoy'a ve Mak. Müh. Fikret Özdener'e, teknik konularda desteğini esirgemeyen Sayın Öğr. Gör. Abdullah Fakı ve Sayın Öğr. Gör. İbrahim Gül'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince ihmal ettiğim ve büyük özür borçlu olduğum aileme, manevi desteği ile yardımlarını esirgemeyen Çev. Y. Müh. Emine Can'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|   |      |
|---|------|
| ÖZET.....   | i    |
| ABSTRACT.....   | ii   |
| ÖNSÖZ.....  | iii  |
| İÇİNDEKİLER.....  | iv   |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....                                       | vi   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....  | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....  | xii  |
| 1. GİRİŞ.....   | 1    |
| 2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI.....                            | 2    |
| 2.1. Mil – Göbek Bağlantıları.....  | 2    |
| 2.2. Sıkı Geçme Bağlantılar.....  | 3    |
| 2.3. Sıkı Geçme Bağlantıların Hesap Yöntemi.....                          | 3    |
| 2.4. Sıkı Geçme Bağlantılarında Sıklık Kaybı ve Pürüzlerin Davranışı..... | 6    |
| 2.5. Strain-gauge Gerilme Kuvvet Ölçüm Yöntemi.....                       | 7    |
| 3. MATERYAL ve METOT.....   | 10   |
| 3.1. Deneyde Kullanılan Numunelerin Malzemeleri.....                      | 10   |
| 3.2. Numunelerin Hazırlanması.....  | 10   |
| 3.3. Deney Düzeneği.....  | 12   |
| 3.3.1. Çekme makinesi.....  | 14   |
| 3.3.2. Yük hücresi.....   | 16   |
| 3.3.3. Dijital kuvvetölçer.....   | 16   |
| 3.3.4. Tork sensörü.....  | 16   |
| 3.3.5. Veri toplayıcı.....  | 17   |
| 3.4. Deneylerin Uygulanması.....  | 19   |
| 3.4.1. Numaralandırma işlemi.....   | 19   |

|   |    |
|---|----|
| 3.4.2. Numunelerin ölçümü ve kontrolü .....                               | 19 |
| 3.4.3. Geçmelerin yapılması.....  | 22 |
| 3.4.4. Verilerin toplanması.....  | 22 |
| 3.4.5. Çalışma sıcaklığındaki deneylerin uygulanması.....                 | 23 |
| 4. BULGULAR.....  | 24 |
| 4.1. Numunelere İlişkin Ölçümler ve Bağlantıların Sıkılık Durumları ..... | 24 |
| 4.2. Montajı Yapılmış Parçaların Tork Taşıma Kapasiteleri.....            | 26 |
| 4.3. Deney Sonuçlarının Doğrusallaştırılması .....                        | 81 |
| 5. TARTIŞMA .....   | 89 |
| 6. SONUÇ .....  | 96 |
| 7. KAYNAKLAR .....  | 98 |
| ÖZGEÇMİŞ  |    |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

|             |   |
|-------------|---|
| $\mu$       | Sürtünme katsayısı                                |
| $D_F$       | Nominal çap                                       |
| $D_{G,dış}$ | Göbeğin dış çapı                                  |
| $D_{G,iç}$  | Göbeğin iç çapı                                   |
| $D_{M,dış}$ | Milin dış çapı                                    |
| $D_{M,iç}$  | Milin iç çapı                                     |
| $G_G$       | Göbeğin yüzey pürüzlülüğü kaybı                   |
| $G_M$       | Milin yüzey pürüzlülüğü kaybı                     |
| $K_ç$       | Çalışma sıcaklığı çarpanı                         |
| $k_d$       | Dinamik kuvvetler için işletme katsayısı          |
| $k_{m,G}$   | Malzemeye bağlı pürüzlülük kaybı katsayısı, göbek |
| $k_{m,M}$   | Malzemeye bağlı pürüzlülük kaybı katsayısı, mil   |
| $K_G$       | Göbek için yardımcı büyüklük                      |
| $K_M$       | Mil için yardımcı büyüklük                        |
| $l_F$       | Temas uzunluğu                                    |
| $p_{min}$   | Minimum basınç                                    |
| $Q_G$       | Göbeğin çapları oranı                             |
| $Q_M$       | Milin çapları oranı                               |
| $R$         | Direnç  |
| $R_{z,G}$   | Göbeğin $R_z$ cinsinden yüzey pürüzlülüğü         |
| $R_{z,M}$   | Milin $R_z$ cinsinden yüzey pürüzlülüğü           |
| $S$         | Montaj boşluğu                                    |
| $T$         | Tork  |



|            |   |
|------------|---|
| $t_G$      | Montaj için göbeğin ısıtılması gereken sıcaklık |
| $t_R$      | Çevre sıcaklığı                                 |
| $U$        | Elektriksel potansiyel fark                     |
| $U_{maks}$ | Maksimum teorik sıcaklık                        |
| $Z_{maks}$ | Gereken maksimum sıcaklık                       |
| $Z_{min}$  | Minimum sıcaklık                                |
| $\alpha_G$ | Isıtılan parçanın genleşme katsayısı            |
| $\Delta U$ | Sıcaklık kaybı                                  |

### Kısaltmalar

|     |   |
|-----|---|
| ADC | Analog Dijital Çevirici (ing. Analog Digital Converter) |
| CNC | Computer Numerical Control                              |
| D   | Deney   |
| DS  | Deney Serisi  |
| G   | Göbek   |
| M   | Mil   |
| RO  | Rated Output  |
| SAE | Society of Automotive Engineers                         |
| SGR | Strain Gauge Rozeti                                     |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.1. Sıkı geçme bağlantılarında sıklık değeri.....                          | 3  |
| Şekil 2.2. Strain Gauge tellerinin konumu.....                                    | 7  |
| Şekil 2.3. Wheatstone köprüsü.....  | 7  |
| Şekil 2.4. Çeyrek Köprü.....  | 8  |
| Şekil 2.5. Yarım Köprü.....   | 8  |
| Şekil 2.6. Tam köprü.....   | 8  |
| Şekil 2.7. Strain Gauge ile gerilme ölçümünde akış şeması.....                    | 9  |
| Şekil 3.1. Mil Numune teknik resmi.....   | 11 |
| Şekil 3.2. Örnek bir göbek teknik resmi.....                                      | 11 |
| Şekil 3.3. Deney numunelerin 3 boyutlu modeli a) Mil ve b) Göbek.....             | 12 |
| Şekil 3.4. Deney düzeneğinin 3 boyutlu modeli.....                                | 12 |
| Şekil 3.5. Deney düzeneği.....  | 13 |
| Şekil 3.6. Çekme Test Standı (Orijinal).....                                      | 14 |
| Şekil 3.7. Deneyde kullanılan çekme standının modifiye edilmiş hali.....          | 15 |
| Şekil 3.8. S tipi yük hücresi (loadcell) PST-200.....                             | 16 |
| Şekil 3.9. Veri toplama cihazı (TestBox 1001).....                                | 18 |
| Şekil 3.10. TestLAB veri toplama sistemi ve veri akışı.....                       | 18 |
| Şekil 3.11. Millerde çap ölçümü yapılan kesitler.....                             | 20 |
| Şekil 3.12. Mil kesitlerinde ölçüm yapılan doğrultular.....                       | 20 |
| Şekil 3.13. Göbeklerde ölçüm yapılan kesitler.....                                | 21 |
| Şekil 3.14. Millerde yüzey pürüzlüğü ölçümü ve ölçüm yapılan doğrultular.....     | 21 |
| Şekil 3.15. Göbeklerde yüzey pürüzlülüğü ölçümü ve ölçüm yapılan doğrultular..... | 22 |
| Şekil 4.1. D1 no.lu deneyin tork-zaman grafiği.....                               | 26 |
| Şekil 4.2. D2 no.lu deneyin tork-zaman grafiği.....                               | 27 |
| Şekil 4.3. D3 no.lu deneyin tork-zaman grafiği.....                               | 28 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 4.4. D4 no.lu deneyin tork-zaman grafiği .....   | 29 |
| Şekil 4.5. D5 no.lu deneyin tork-zaman grafiği .....   | 30 |
| Şekil 4.6. D6 no.lu deneyin tork-zaman grafiği .....   | 31 |
| Şekil 4.7. D7 no.lu deneyin tork-zaman grafiği .....   | 32 |
| Şekil 4.8. D8 no.lu deneyin tork-zaman grafiği .....   | 33 |
| Şekil 4.9. D9 no.lu deneyin tork-zaman grafiği .....   | 34 |
| Şekil 4.10. D10 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 35 |
| Şekil 4.11. D11 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 36 |
| Şekil 4.12. D12 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 37 |
| Şekil 4.13. D13 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 38 |
| Şekil 4.14. D14 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 39 |
| Şekil 4.15. D15 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 40 |
| Şekil 4.16. D16 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 41 |
| Şekil 4.17. D17 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 42 |
| Şekil 4.18. D18 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 43 |
| Şekil 4.19. D19 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 44 |
| Şekil 4.20. D20 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 45 |
| Şekil 4.21. D21 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 46 |
| Şekil 4.22. D22 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 47 |
| Şekil 4.23. D23 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 48 |
| Şekil 4.24. D24 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 49 |
| Şekil 4.25. D25 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 50 |
| Şekil 4.26. D26 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 51 |
| Şekil 4.27. D27 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 52 |
| Şekil 4.28. D28 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 53 |
| Şekil 4.29. D29 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 54 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 4.30. D30 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 55 |
| Şekil 4.31. D31 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 56 |
| Şekil 4.32. D32 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 57 |
| Şekil 4.33. D33 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 58 |
| Şekil 4.34. D34 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 59 |
| Şekil 4.35. D35 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 60 |
| Şekil 4.36. D36 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 61 |
| Şekil 4.37. D37 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 62 |
| Şekil 4.38. D38 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 63 |
| Şekil 4.39. D39 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 64 |
| Şekil 4.40. D40 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 65 |
| Şekil 4.41. D41 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 66 |
| Şekil 4.42. D42 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 67 |
| Şekil 4.43. D43 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 68 |
| Şekil 4.44. D44 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 69 |
| Şekil 4.45. D45 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 70 |
| Şekil 4.46. D46 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 71 |
| Şekil 4.47. D47 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 72 |
| Şekil 4.48. D48 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 73 |
| Şekil 4.49. D49 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 74 |
| Şekil 4.50. D50 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 75 |
| Şekil 4.51. D51 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 76 |
| Şekil 4.52. D52 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 77 |
| Şekil 4.53. D53 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 78 |
| Şekil 4.54. D54 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 79 |
| Şekil 4.55. D55 no.lu deneyin tork-zaman grafiği ..... | 80 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 4.56. DS1 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik .....  | 82 |
| Şekil 4.57. DS2 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik .....  | 82 |
| Şekil 4.58. DS3 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik .....  | 83 |
| Şekil 4.59. DS4 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik .....  | 83 |
| Şekil 4.60. DS5 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik .....  | 84 |
| Şekil 4.61. DS6 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik .....  | 84 |
| Şekil 4.62. DS7 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik .....  | 85 |
| Şekil 4.63. DS8 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik .....  | 85 |
| Şekil 4.64. DS9 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik .....  | 86 |
| Şekil 4.65. DS11 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik ..... | 86 |
| Şekil 4.66. Tork taşıma kabiliyetlerinin kıyaslanması .....                | 88 |
| Şekil 5.1. Milin akma dayanımına göre göbeğin $k_m$ değerleri .....        | 94 |
| Şekil 5.2 Göbeğin akma dayanımına göre milin $k_m$ değerleri.....          | 95 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan malzemelerin bazı mekanik özellikleri ..... | 10 |
| Çizelge 3.2. Çekme standının özellikleri .....                              | 15 |
| Çizelge 3.3. LTB-NA 100 model tork sensörü .....                            | 17 |
| Çizelge 3.4. Sistem özellikleri .....                                       | 19 |
| Çizelge 4.1 Deney çiftlerine ilişkin ölçümler .....                         | 24 |
| Çizelge 4.2. D1 no.lu deney parametreleri.....                              | 26 |
| Çizelge 4.3. D2 no.lu deney parametreleri.....                              | 27 |
| Çizelge 4.4. D3 no.lu deney parametreleri.....                              | 28 |
| Çizelge 4.5. D4 no.lu deney parametreleri.....                              | 29 |
| Çizelge 4.6. D5 no.lu deney parametreleri.....                              | 30 |
| Çizelge 4.7. D6 no.lu deney parametreleri.....                              | 31 |
| Çizelge 4.8. D7 no.lu deney parametreleri.....                              | 32 |
| Çizelge 4.9. D8 no.lu deney parametreleri.....                              | 33 |
| Çizelge 4.10. D9 no.lu deney parametreleri.....                             | 34 |
| Çizelge 4.11. D10 no.lu deney parametreleri.....                            | 35 |
| Çizelge 4.12. D11 no.lu deney parametreleri.....                            | 36 |
| Çizelge 4.13. D12 no.lu deney parametreleri.....                            | 37 |
| Çizelge 4.14. D13 no.lu deney parametreleri.....                            | 38 |
| Çizelge 4.15. D14 no.lu deney parametreleri.....                            | 39 |
| Çizelge 4.16. D15 no.lu deney parametreleri.....                            | 40 |
| Çizelge 4.17. D16 no.lu deney parametreleri.....                            | 41 |
| Çizelge 4.18. D17 no.lu deney parametreleri.....                            | 42 |
| Çizelge 4.19. D18 no.lu deney parametreleri.....                            | 43 |
| Çizelge 4.20. D19 no.lu deney parametreleri.....                            | 44 |
| Çizelge 4.21. D20 no.lu deney parametreleri.....                            | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 4.22. D21 no.lu deney parametreleri..... | 46 |
| Çizelge 4.23. D22 no.lu deney parametreleri..... | 47 |
| Çizelge 4.24. D23 no.lu deney parametreleri..... | 48 |
| Çizelge 4.25. D24 no.lu deney parametreleri..... | 49 |
| Çizelge 4.26. D25 no.lu deney parametreleri..... | 50 |
| Çizelge 4.27. D26 no.lu deney parametreleri..... | 51 |
| Çizelge 4.28. D27 no.lu deney parametreleri..... | 52 |
| Çizelge 4.29. D28 no.lu deney parametreleri..... | 53 |
| Çizelge 4.30. D29 no.lu deney parametreleri..... | 54 |
| Çizelge 4.31. D30 no.lu deney parametreleri..... | 55 |
| Çizelge 4.32. D31 no.lu deney parametreleri..... | 56 |
| Çizelge 4.33. D32 no.lu deney parametreleri..... | 57 |
| Çizelge 4.34. D33 no.lu deney parametreleri..... | 58 |
| Çizelge 4.35. D34 no.lu deney parametreleri..... | 59 |
| Çizelge 4.36. D35 no.lu deney parametreleri..... | 60 |
| Çizelge 4.37. D36 no.lu deney parametreleri..... | 61 |
| Çizelge 4.38. D37 no.lu deney parametreleri..... | 62 |
| Çizelge 4.39. D38 no.lu deney parametreleri..... | 63 |
| Çizelge 4.40. D39 no.lu deney parametreleri..... | 64 |
| Çizelge 4.41. D40 no.lu deney parametreleri..... | 65 |
| Çizelge 4.42. D41 no.lu deney parametreleri..... | 66 |
| Çizelge 4.43. D42 no.lu deney parametreleri..... | 67 |
| Çizelge 4.44. D43 no.lu deney parametreleri..... | 68 |
| Çizelge 4.45. D44 no.lu deney parametreleri..... | 69 |
| Çizelge 4.46. D45 no.lu deney parametreleri..... | 70 |
| Çizelge 4.47. D46 no.lu deney parametreleri..... | 71 |

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 4.48. D47 no.lu deney parametreleri.....                                      | 72 |
| Çizelge 4.49. D48 no.lu deney parametreleri.....                                      | 73 |
| Çizelge 4.50. D49 no.lu deney parametreleri.....                                      | 74 |
| Çizelge 4.51. D50 no.lu deney parametreleri.....                                      | 75 |
| Çizelge 4.52. D51 no.lu deney parametreleri.....                                      | 76 |
| Çizelge 4.53. D52 no.lu deney parametreleri.....                                      | 77 |
| Çizelge 4.54. D53 no.lu deney parametreleri.....                                      | 78 |
| Çizelge 4.55. D54 no.lu deney parametreleri.....                                      | 79 |
| Çizelge 4.56. D55 no.lu deney parametreleri.....                                      | 80 |
| Çizelge 4.57. Deney serilerine ilişkin parametreler .....                             | 81 |
| Çizelge 4.58. Geçmelerin ham sıkılıklarına göre tork değer aralıkları .....           | 87 |
| Çizelge 4.59. Geçmelerin net sıkılıklarına göre tork değer aralıkları .....           | 87 |
| Çizelge 4.60. Geçmelerin teorik olarak taşıyabilecekleri tork değer aralıkları.....   | 88 |
| Çizelge 5.1. Mil malzemesinin tork taşıma kabiliyetine etkisi .....                   | 92 |
| Çizelge 5.2. Göbek malzemesinin tork taşıma kabiliyetine etkisi .....                 | 93 |
| Çizelge 5.3. Nominal çapın ve göbek dış çapının tork taşıma kabiliyetine etkisi ..... | 93 |
| Çizelge 5.4. Geçmelere göre sıkılık katsayısı $k_s$ .....                             | 94 |



## 1. GİRİŞ

Sıkı geçme bağlantılar, kuvvete dayalı bir bağlantı şeklindedir. Mil ve göbek arasında seçilen toleransın yardımıyla oluşan yüzey basıncı ve sürtünme yardımıyla moment iletiminde kullanılır. Sıkı geçme bağlantının oluşması için montajı yapılacak olan milin, göbekten daha büyük çapta imal edilmesi gerekmektedir.

Sıkı geçme bağlantılar, milde fatura veya kanal gibi mukavemeti düşürücü etkiler oluşturmadığı ve şekil bağlantısının temin edilemediği yuvarlanmalı yatak gibi makine elemanlarının konstrüksiyonunda kullanılması uygun olmaktadır. Kavrama, volan, dişli çark gibi mile montajı yapılması gereken makine elemanlarında da uygulama alanı bulmaktadır.

Mil ve göbek yüzeyleri arasında oluşan basınç, moment iletiminin temel prensibi olduğu gibi iletilecek momentin niceliğini önemli ölçüde etkileyen yüzey pürüzlerinin ezilmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple hesaplamalarda sıkı geçme bağlantının sıklığının azalacağı ve bu kaybın hesaplamalarda dikkate alınması gerektiği belirtilmektedir.

Yüzey pürüzlülüğü kaybı literatürde tecrübeye dayalı ifadelerle dikkate alınmaktadır. Net olarak ne kadar olacağı hususunda bir bağıntı bulunmamaktadır. Yüzey pürüzlülüğü kaybının netleşmesi ile yapılacak bağlantılarda daha az sıklık ile iletilmek istenen moment taşınabilecektir. Bunun yanı sıra aşırı sıklık sonucu montajı yapılan parçaların, oluşan basınçtan dolayı zarar görme eğilimi azaltılacaktır.

Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde, sıkı geçme bağlantıya moment uygulanarak sınırlar denenmiş ve tecrübeye dayalı bağıntıların geçerliliği sorgulanmıştır. Böylece oluşturulması düşünülen sıkı geçme bağlantının ekonomi ve emniyet çelişkisi arasındaki konumunun belirlenmesi sağlanmıştır. Ayrıca sıkı geçme bağlantıların hesabında kullanılmak üzere yeni bir bağıntı amaçlanmıştır.

## 2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI

### 2.1. Mil – Göbek Bağlantıları

Mil, üzerinde çeşitli makine elemanlarını taşıyan ve güç aktarımını sağlayan temel makine elemanı olup genellikle çelik veya alaşımlarından üretilir. Göbek ise ortasında milin yerleştirilmesi için bir delik işlenmiş dişli çark, volan ve kasnak gibi çeşitli makine elemanlarıdır.

Mil ve göbeğin tek parça halinde imal edilmesinin yüksek maliyete yol açacağı durumlarda mil ve göbek ayrı parçalar halinde imal edilebilir. Bu durumda mildeki momenti, göbeğe aktaracak bir bağlantı temin edilmelidir. Bağlantılar çözülebilen ve çözülemeyen bağlantı şeklinde tasnif edilir.

Çözülemeyen bağlantı şekilleri, kaynak ve lehim gibi dışarıdan malzeme ilavesi ile iki parçanın fiziksel veya kimyasal olarak birleştirilmesi esas alınarak, sökülmesine gerek duyulmayacak durumlar için kullanılabilir.

Çözülebilen bağlantılar ise çeşitli şekilde uygulama alanı bulur. Bunların temelini şekil ve kuvvet ilkeleri teşkil etmektedir.

Pratikte birçok makine elemanının sökülmesi gerekir. Bakımı yapılan makinede rulman, dişli çark gibi parçaların değiştirilmesi gerekebilir. Aynı zamanda hasara uğrayan makinenin sağlam parçaları sökülüp, tekrar kullanılarak tamir maliyetleri azaltılabilir. Bu sebeple çözülebilen bağlantı şekilleri tercih edilir. Sıkı geçme çözülebilen bir bağlantı şeklidir.

Şekil bağlantıları, kamalar gibi şekli itibarı ile mil ve göbek çiftinin birbirleri üzerindeki izafi hareketleri engelleyerek moment aktarımını sağlar.

Kuvvet bağlantılarında ise mil ve göbeğin temas ettikleri yüzeylerinde bir basınç oluşturacak şekilde tasarlanmaları neticesinde, yüzeye dik gelen basınç, sürtünme etkisi ile parçaların izafi hareketini engeller. Böylece moment iletimi için gereken bağlantı temin edilmiş olur.

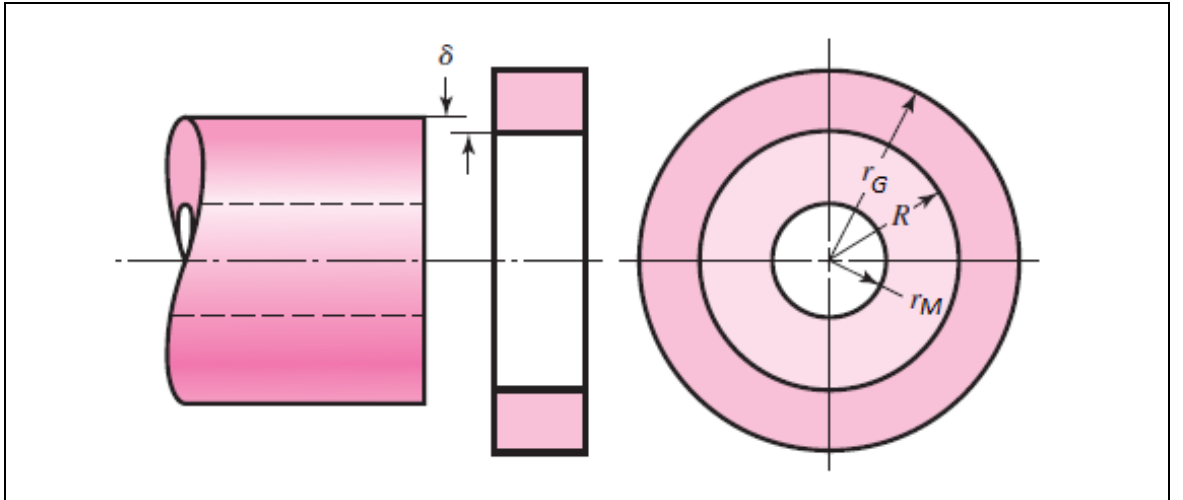
## 2.2. Sıkı Geçme Bağlantılar

Kamalı bağlantılarda olduğu gibi mil ve göbeğe açılan yuvalar olmamasından dolayı çentik etkisi azdır. Mil - göbek çiftinin iyi ve boşluksuz merkezlenmesi ise sistemdeki titreşimi azaltmaktadır.

Sıkı geçmeler, sürtünmeye dayalı moment iletimi prensibine göre tasarlanır. Burada bir sürtünme kuvveti oluşması için mil-göbek çifti arasında kontrollü bir basınç oluşturulması gerekir.

## 2.3. Sıkı Geçme Bağlantıların Hesap Yöntemi

Sıkı geçme bağlantılarda mil göbek çiftinin montajı yapıldıktan sonra iki parçanın yüzeyler arasında bir basınç oluşur. Sıkı geçme bağlantıların hesabının temeli olan Lamé'nin kalın cidarlı borular teorisi ile bu basıncın ne kadar olduğu hesaplanabilir. Şekil 2.1'de sıkı geçme durumu görülmektedir (Budynas ve Nispett 2006).



Şekil 2.1. Sıkı geçme bağlantılarında sıkılık değeri

$$p = \frac{\delta}{R \left[ \frac{1}{E_G} \left( \frac{r_G^2 + R^2}{r_G^2 - R^2} + \nu_G \right) + \frac{1}{E_M} \left( \frac{R^2 + r_M^2}{R^2 - r_M^2} - \nu_i \right) \right]} \quad (2.1)$$

Moment iletiminin sağlıklı bir şekilde temin edilebilmesi için gereken minimum

basınç ve yüzey basıncı emniyeti açısından taşınabilecek maksimum basınç dikkatli hesaplanmalıdır (Rende 2010).

T torkunun iletimi için gereken minimum basınç  $p_{min}$ :

$$p_{min} = \frac{2.T}{\mu.\pi.D_F^2.I_F} \quad (2.2)$$

$\mu$ : Sürtünme katsayısı;  $D_F$ : Nominal çap;  $I_F$ : Temas uzunluğu

Sürtünme katsayısı  $\mu$ , ilgili tablolardan seçilmektedir. Nominal çap  $D_F$  ve temas uzunluğu  $I_F$  ise konstrüksiyona uygun şekilde belirlenmektedir.

Bu minimum yüzey basıncının oluşması için gereken minimum sıklık  $Z_{min}$ :

$$Z_{min} = p_{min}.D_F.(K_G + K_M) \quad (2.3)$$

$K_G$ : Göbek için yardımcı büyüklük;  $K_M$ : mil için yardımcı büyüklük

(2.3) denkleminde yardımcı büyüklükler olarak işleme aldığımız  $K_G$  ve  $K_M$  değerleri ilgili tablolardan okunabileceği gibi hesaplanması da mümkündür.

$$K_G = \frac{1}{E_G} \cdot \left( \frac{1 + Q_G^2}{1 - Q_G^2} + \nu_G \right) \quad (2.4)$$

$$K_M = \frac{1}{M} \cdot \left( \frac{1 + Q_M^2}{1 - Q_M^2} - \nu_M \right) \quad (2.5)$$

$Q_G$ : göbeğin çapları oranı

$$Q_G = \frac{D_{G,iç}}{D_{G,dış}} \quad (2.6)$$

$D_{G,iç}$ : göbeğin iç çapı,  $D_{G,dış}$ : göbeğin dış çapı

$Q_M$ : milin çapları oranı:

$$Q_M = \frac{D_{M,iç}}{D_{M,dış}} \quad (2.7)$$

$D_{M,iç}$ : milin iç çapı,  $D_{M,dış}$ : milin dış çapı

Sıkı geçme bağlantı gerçekleştirildiğinde yüzey pürüzlülüklerinin ezilmesinden dolayı bir miktar sıklık kaybı yaşanacaktır. Bu kaybın ne kadar olacağı tecrübelerle dayanan yöntemlerle hesaplanarak gerekli sıklık miktarına eklenir. Böylece teorik sıklık miktarı  $U_{min}$ ,  $Z_{min}$  değerinden  $\Delta U$  kadar büyük olur.

$$U_{min} = Z_{min} + \Delta U \quad (2.8)$$

$$\Delta U = 2 \cdot (G_G + G_M) \quad (2.9)$$

$$G_G = 0,6 \cdot R_{z,G} \quad (2.10)$$

$$G_M = 0,6 \cdot R_{z,M} \quad (2.11)$$

$G_G$ : göbeğin yüzey pürüzlülüğü kaybı;  $G_M$ : milin yüzey pürüzlülüğü kaybı;  $R_{z,G}$ : göbeğin  $R_z$  cinsinden yüzey pürüzlülüğü;  $R_{z,M}$ : milin  $R_z$  cinsinden yüzey pürüzlülüğü

Maksimum sıklık müsaade edilen maksimum yüzey basıncına göre hesaplanır.

$$p_{maks} = \frac{\sigma_{müs}}{\frac{\sqrt{3+Q_G^4}}{1-Q_G^2}} \quad (2.12)$$

Gereken maksimum sıklık:

$$Z_{maks} = p_{maks} \cdot D_F \cdot (K_G + K_M) \quad (2.13)$$

Maksimum teorik sıklık:

$$U_{maks} = Z_{maks} + \Delta U \quad (2.14)$$

Montaj için göbeğin ısıtılması gereken sıcaklık,  $t_A$ :

$$t_A = \frac{U_{maks} + S}{\alpha_G \cdot D_F} + t_R \quad (2.15)$$

S: montaj boşluğu;  $\alpha_G$ : ısıtılan parçanın genleşme katsayısı;  $t_R$ : çevre sıcaklığı

#### 2.4. Sıkı Geçme Bağlantılarında Sıkılık Kaybı ve Pürüzlerin Davranışı

Sıkı geçme bağlantılar, montajdan sonra yüzey pürüzlerinin ezilmesinden dolayı bir miktar sıkılık kaybı olmaktadır. Bu kayıp tecrübî değerlerle belirlenmektedir.

Yüzey pürüzlülüğünden dolayı olan kaybı en aza indirmek için yüzeylerin pürüzlüklerinin az olması gerekir. Ancak bu durumda üretim maliyetleri artacağı için tercih edilmez.

Sıkılık kaybı için farklı görüşler vardır. Denklem (2.10) ve (2.11)'deki hesaplamalarda geçtiği hali ile genellikle hesaplamalarda kabul gören değer, yüzey pürüzlülüğünün % 60 oranı kadardır (Akkurt 2000). Ancak bu kaybın % 40 olduğu düşünülmektedir (Steinhilper ve Röper 1986).

Yüzey pürüzleri her zaman düzgün bir şekilde ezilmemektedir. Çalışma sertleşmesinden (ing. Work hardening) dolayı yüzey pürüzleri kararlı hale gelebilir. Bu kararlılık için çalışmalar yapılmaktadır (Childs 1977).

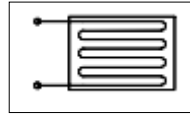
Yüzey pürüzlerinin davranışını belirlemek için çalışmalar yapılmaktadır. Ike ve Makinouchi elastoplastik sonlu elemanlar modeli ile yüzey pürüzlerinin mikro davranışı hakkında dikkate değer etki olduğunu göstermişlerdir (1990).

Yang vd (2002) tarafından aktarıldığına göre hesaplanan sıkılık kaybı aritmetik ortalamayı dikkate almaktadır.

$$\Delta U = 3(R_{a,G} + R_{a,M}) \quad (2.16)$$

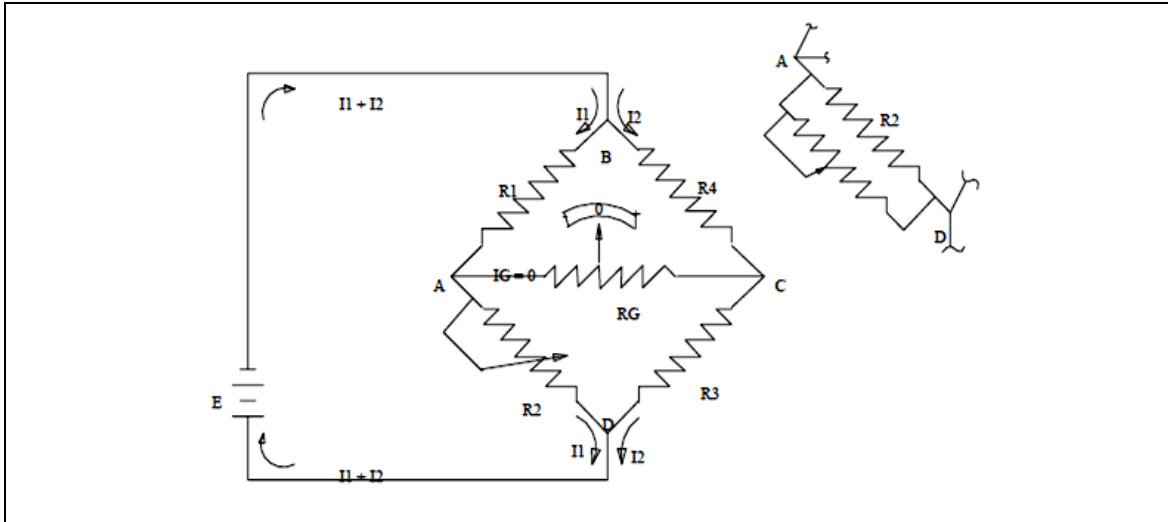
## 2.5. Strain-gauge Gerilme Kuvvet Ölçüm Yöntemi

Strain-gauge belirlenen bir noktadaki gerilmeyi ölçmek üzere tasarlanmış küçük elektrik dirençleridir. Bu dirençlerdeki değişimin belirlenmesi ile gerilme ve gerilme yardımı ile gerilme veya kuvvet ölçmek mümkün olur. Strain-gauge rozetinde bir doğrultuda yönlendirilmiş olan teller dairesel kesitlidir ve yalıtılmıştır. Rozetler ölçüm yapılmak istenen doğrultuda yapıştırılır ve birim şekil değiştirme hesaplanır. Şekil 2.2’de bir strain-gauge rozetinde tellerin konumu görülmektedir.



Şekil 2.2. Strain Gauge tellerinin konumu

Wheatstone köprüsünün bir direnci olarak yerleştirilen SGR, direnç değişimi ölçülerek birim şekil değiştirme hesaplanır. Şekil 2.3 de bir Wheatstone köprüsü şeması görülmektedir (Ünsan ve Bayraktarkatal 1999).

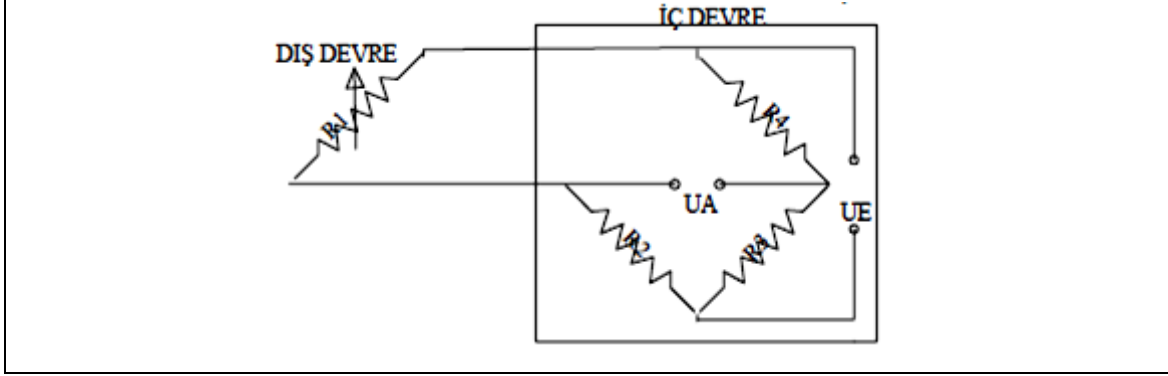


Şekil 2.3. Wheatstone köprüsü

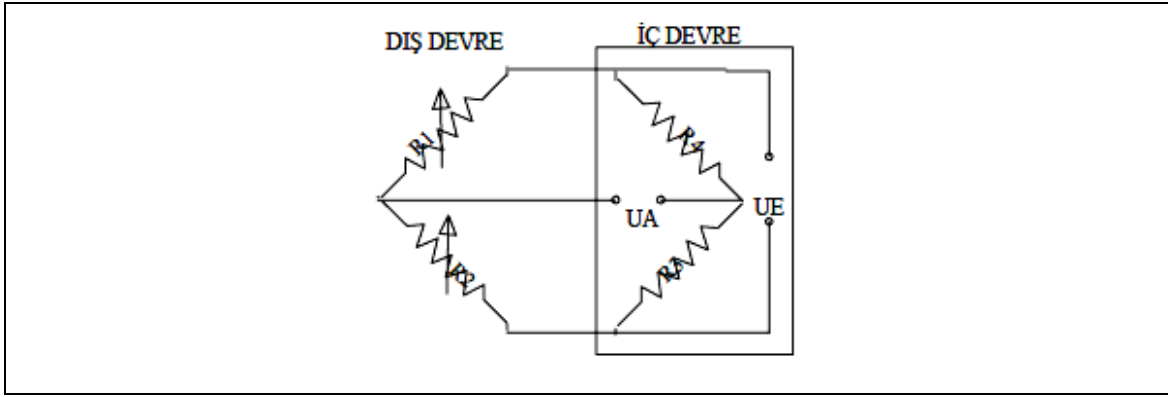
Pratikte köprü kollarındaki relatif değişimin çıkış voltajı ile orantılı olmasını sağlamak için, R1 - R2 ve R3 - R4 çiftleri eşit olacak şekilde veya hepsi eşit olacak şekilde seçilir.

Bir Wheatstone köprüsüne birden fazla SGR bağlanarak farklı köprü devreleri

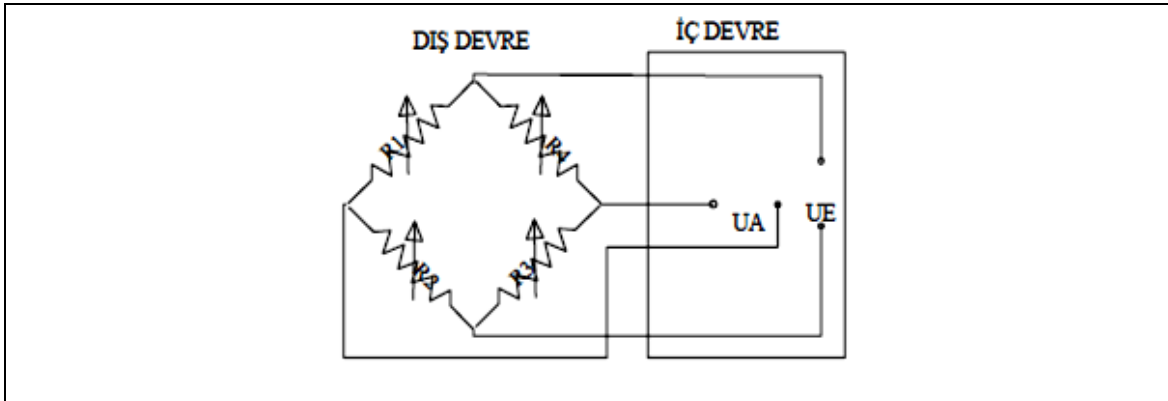
oluşturulabilir. Bu köprü devreleri 1 rozet için çeyrek köprü, 2 rozet için yarım köprü ve 4 rozet için tam köprü adını alır. Şekil 2.4’de çeyrek köprü, Şekil 2.5’de yarım köprü ve Şekil 2.6’da tam köprü devreleri görülmektedir.



Şekil 2.4. Çeyrek Köprü



Şekil 2.5. Yarım Köprü

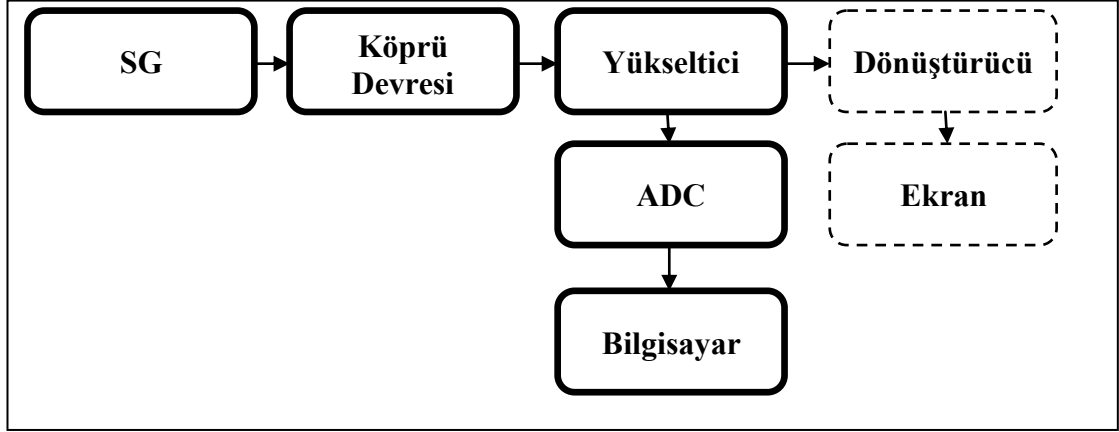


Şekil 2.6. Tam köprü

Strain Gauge ile ölçüm yapabilmek için bir wheatstone köprüsüne ihtiyaç duyulur. Köprüden elde edilen analog veriyi sayısal veriye çevirebilmek için bir ADC (ing.



Analog Digital Converter) ve sayısal bilgiyi anlamlandıracak bir bilgisayar yazılımı veya bir gösterge (ing. indicator.) gerekmektedir. Ölçüme ilişkin akış şeması Şekil 2.7 de görülmektedir.



Şekil 2.7. Strain Gauge ile gerilme ölçümünde akış şeması.

Strain Gauge devresinden elde edilen elektriksel bilgi yükselticiden geçirilerek işlem yapılabilir hale getirilir. Bir cihaz yardımı ile direkt olarak ekrana verilebileceği gibi ADC yardımı ile bilgisayara aktarılabilir.

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Deneyde Kullanılan Numunelerin Malzemeleri

Sıkı geçme bağlantıların deneysel yöntemle araştırılmasında sonucun farklı parametrelere göre irdeleyebilmek için farklı malzemelerden imal edilmiş aynı ölçülerdeki numunelerden faydalanılmıştır.

Daha çok mil yapımında kullanılan SAE 304 ve Ç1040 (SAE 1040) çelikleri millerin imalatında kullanılırken, bu malzemelerin yanı sıra Alüminyum ve Pirinç malzemeleri de göbek imalatında kullanılmıştır.

Bu malzemeler çeşitli mekanik özelliklere sahiptirler. Sıkı geçme bağlantıların hesaplanmasında malzemelerin akma dayanımı önemli bir yer tutmaktadır. Çizelge 3.1 de bu malzemelere ait akma dayanımları (ASM International 1998) ve sıkı geçme bağlantıların hesaplamasında kullanılan Elastisite ve Poisson oranı değerleri (Lingaiah 2003) verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan malzemelerin bazı mekanik özellikleri

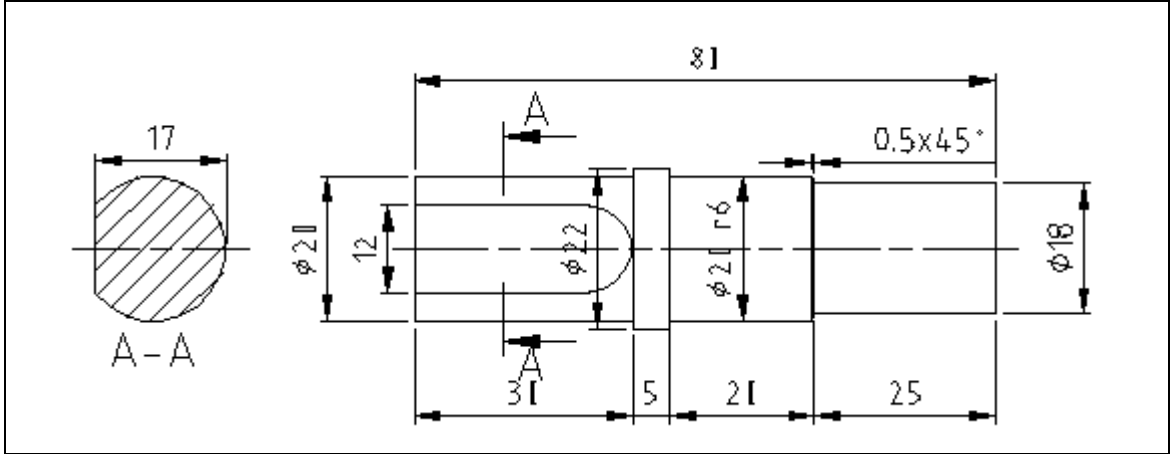
| Malzeme             | Akma Dayanımı<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | Elastiklik Modülü<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | Poisson Oranı |
|---------------------|---------------------------------------|---|---------------|
| Ç1040               | 490                                   | 210000                                    | 0.295         |
| SAE 304             | 655                                   | 200000                                    | 0.305         |
| Alüminyum (AlMnSi1) | 180-380                               | 69000                                     | 0.340         |
| Pirinç (C38000)     | 180-490                               | 98000                                     | 0.350         |

Yukarıda verilen tablo değerlerine rağmen, satın alınan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Bu test sonuçlarına göre Alüminyumun akma dayanımı 220 N/mm<sup>2</sup> ve Pirinç malzemenin akma dayanımı 260 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

#### 3.2. Numunelerin Hazırlanması

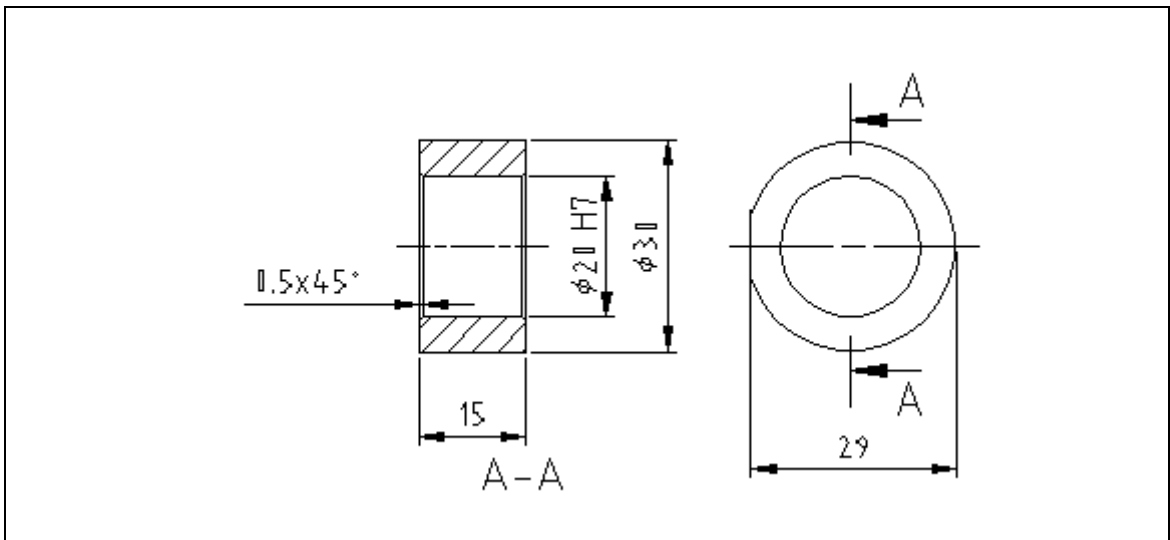
Deney uygulanmak üzere iki farklı nominal çapta numune hazırlanmıştır. Yine aynı çap için farklı malzemeler kullanılarak farklı türlerde sıkı geçme bağlantılar oluşturulmuştur.

Miller ve göbekler Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilen teknik resme uygun olacak şekilde taşeron firmaya yaptırılmıştır. 1/1000 hassasiyete sahip CNC torna tezgâhı kullanarak imal edilen miller, uygulanan moment karşısında deney düzeneğindeki bağlantı noktalarından kaymayacak şekilde tasarlanmıştır.



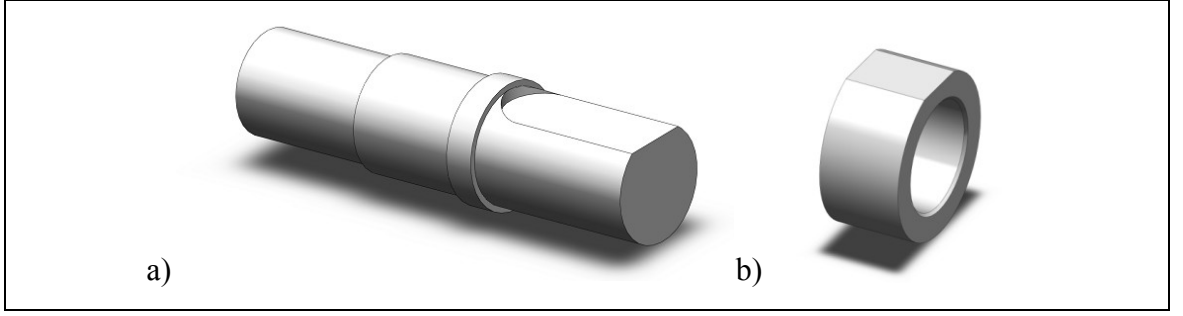
Şekil 3.1. Mil Numune teknik resmi

Göbekler, moment uygulamak üzere takılacak olan kuvvet kolundan kaymayacak şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Şekil 3.2’de deneyler için tasarlanan göbeğin teknik resmi verilmiştir.



Şekil 3.2. Örnek bir göbek teknik resmi

Deneyde kullanılan numunelerin üç boyutlu modeli Şekil 3.3’de görülmektedir.

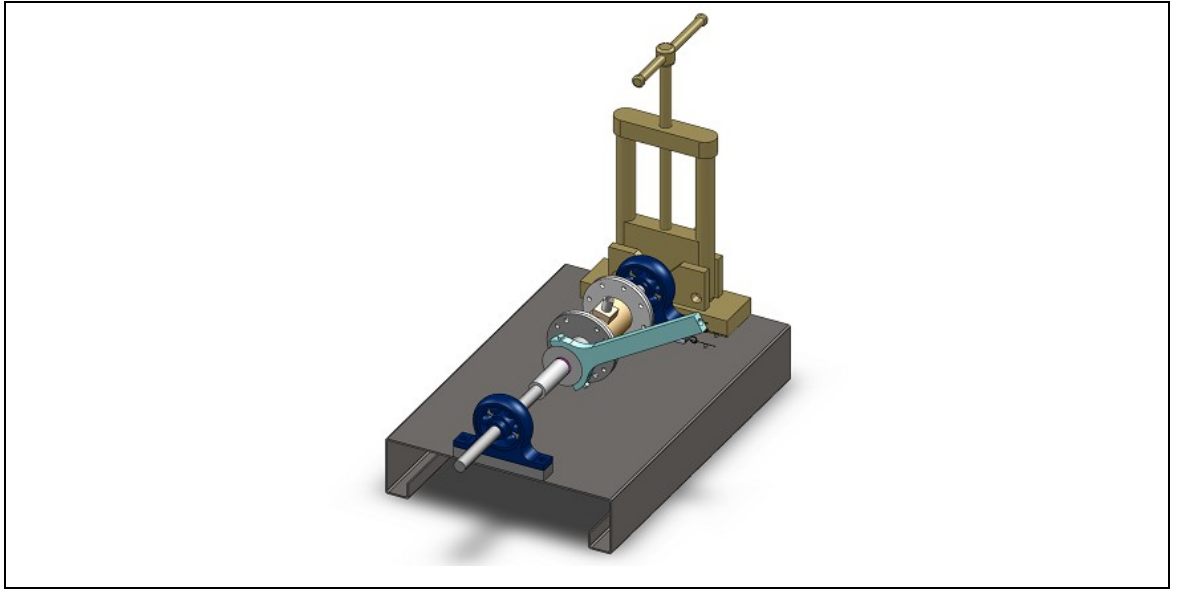


Şekil 3.3. Deney numunelerin 3 boyutlu modeli a) Mil ve b) Göbek

### 3.3. Deney Düzenegi

Deney düzenegi sıkı geçme bağlantıda milin sabitlenmesi ve göbeğin hareketlendirilmesine imkân verecek şekilde tasarlanmıştır.

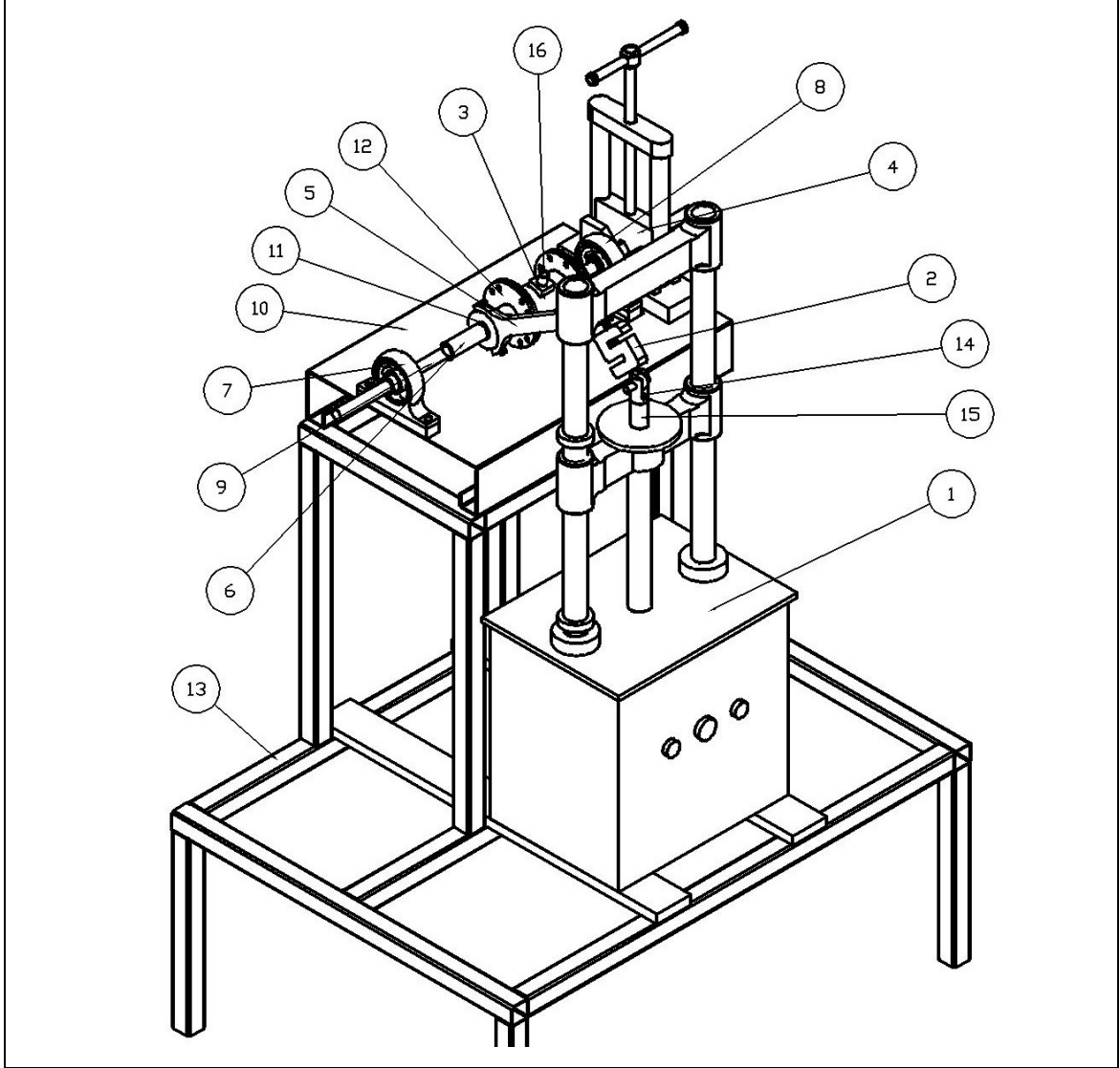
Sistemin ana donanımları çekme makinesi, yük hücresi (ing. Loadcell), dijital kuvvetölçer (ing. force gauge), tork sensörü, veri toplayıcı (ing. Data logger) kuvvet kolu ve hareketli iş parçası bağlama tezgâhıdır. Bunların yanı sıra çeşitli makine elemanları ise sistemin bazı parçalarının sabitlenmesi için kullanılmıştır. Deney düzeneginin modeli Şekil 3.4’de görülmektedir.



Şekil 3.4. Deney düzeneginin 3 boyutlu modeli

Deney düzeneginin mekanik kısmı Şekil 3.5’de verilmiştir. Burada deney numuneleri ve sensörler görülmektedir. Çekme standı yardımı ile uygulanan kuvvet yük

hücresi ile kontrol edilirken numuneler üzerindeki moment, tork sensörü ile ölçülmektedir. Elde edilen analog veriler kablolar yardımı ile dijital veriye çevrilip okunmaktadır.

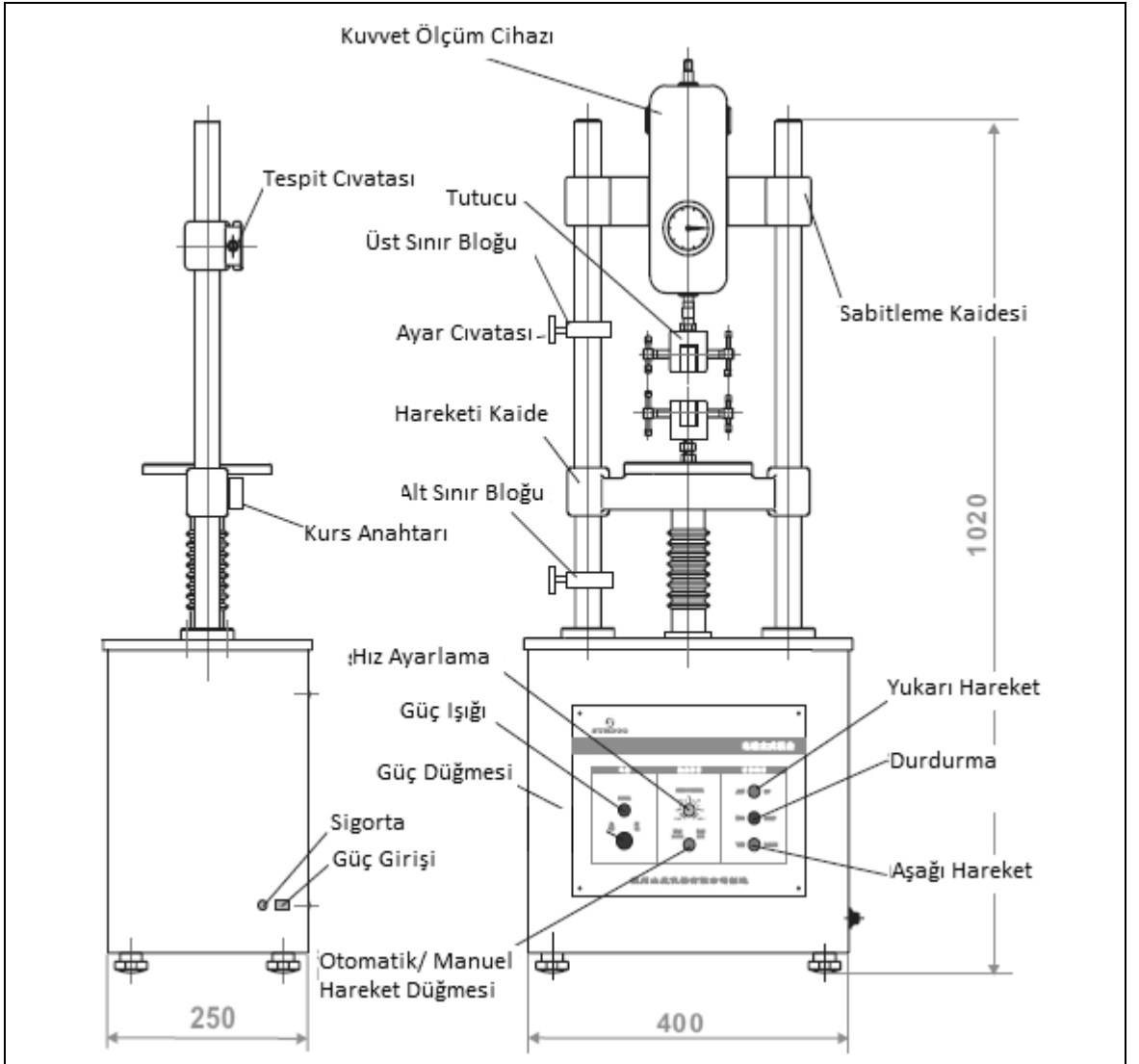


Şekil 3.5. Deney düzeneği

Şekil 3.5’de verilen düzenekte (1) çekme test standı, (2) yük hücresi, (3) tork sensörü, (4) boru mengenesi, (5) kuvvet kolu, (6) bağlama aparatı, (7)(8) rulman, (9) bağlantı mili, (10) tabla, (11) deney numuneleri, (12) bağlantı flanşı, (13) deney düzeneği iskelesi, (14) bağlama aparatı ve (15) çap değişimi için yardımcı aparattır.

### 3.3.1. Çekme makinesi

Sundoo firmasının SJV-5K model numaralı dikey test standı deney için modifiye edilerek çekme makinesi olarak kullanılmıştır. Çekme cihazı pernolar yardımı ile yük hücreğine bağlanmıştır. Çekme standı aşağı ve yukarı harekete imkân vermektedir. Bu hareket isteğe bağlı olarak el yordamıyla veya otomatik olarak kontrol edilebilmektedir. Ayrıca makinenin hız kontrolü mevcuttur. 0 ila 240 mm/d. hızlarda çalışabilmektedir. Çekme standının orijinal hali Şekil 3.6'de ve modifiye edilmiş hali Şekil 3.7'de verilmiştir.

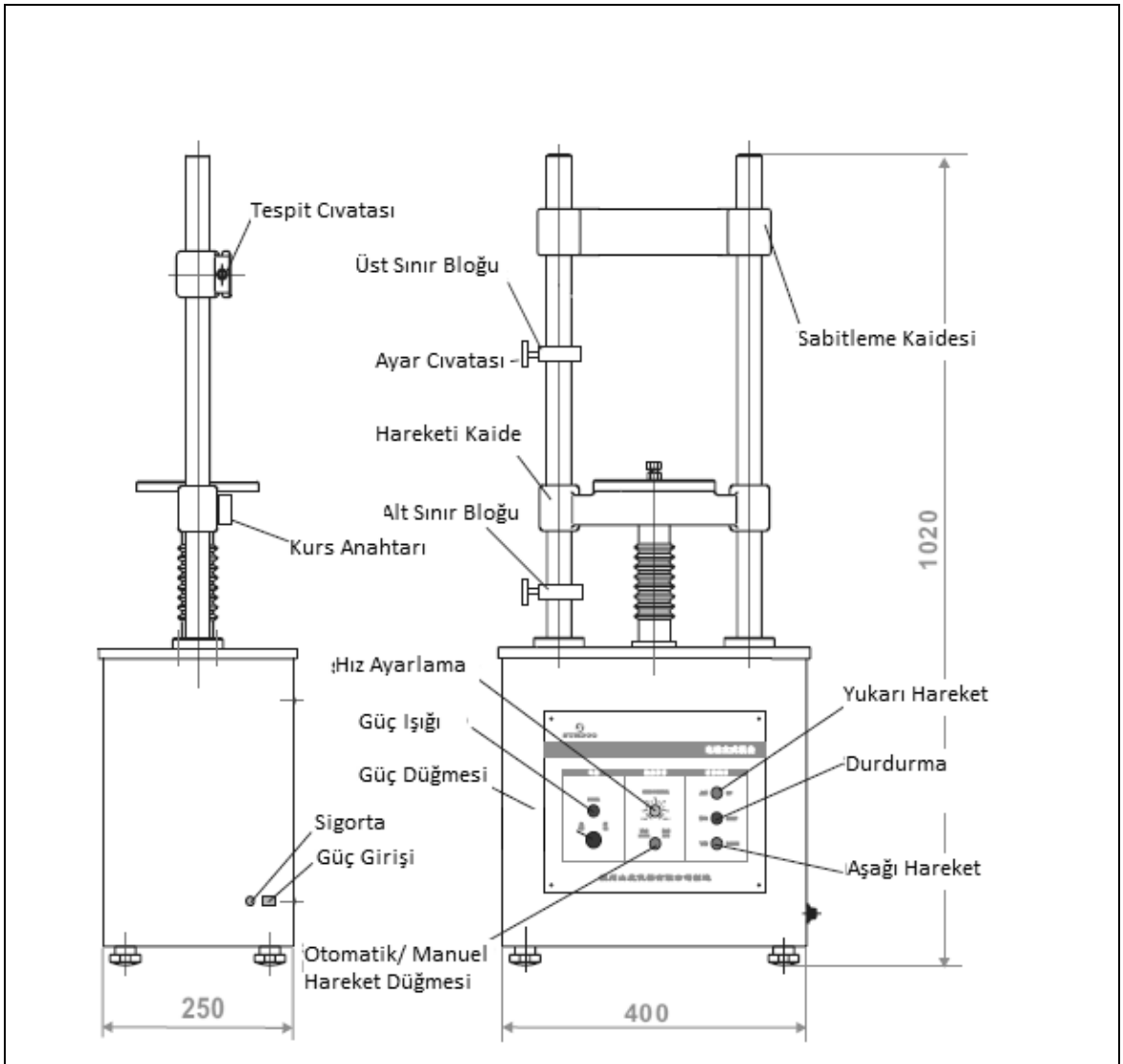


Şekil 3.6. Çekme Test Standı (Orijinal)

Bu çekme standına ait özellikler Çizelge 3.2'de sunulmuştur (Anonim-I tarih yok).

Çizelge 3.2. Çekme standının özellikleri

| Özellik                     | Değer           |
|-----------------------------|-----------------|
| Kapasite                    | 5000 N          |
| Ölçüm kursu                 | 200 mm          |
| Ölçüm hızı                  | 0-240 mm/d.     |
| Maksimum boşluk             | 250 mm          |
| Çalışma voltajı             | Tek faz 220 V   |
| Akım                        | 1.5 A           |
| Ana devre sigortası         | 3A              |
| Kontrol devresi sigortası   | 0.5 A           |
| Çalışma sıcaklığı           | 20 ± 10 °C      |
| Saklama ve taşıma sıcaklığı | -27 °C ~ +70 °C |
| Bağıl Nem                   | 15% ~ 80%       |



Şekil 3.7. Deneyde kullanılan çekme standının modifiye edilmiş hali.

### 3.3.2. Yük hücresi

Yük hücresi çekme ve basma kuvvetlerini ölçebilmektedir. Azami 200 kg olan kuvvetlerin ölçümü için PST-200 model yk hücresi kullanılmıştır. Yük hücresinin bir görseli Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8. S tipi yük hücresi (loadcell) PST-200

### 3.3.3. Dijital kuvvetölçer

Çekme veya basma yönündeki kuvvetler, bir dinamometre yardımı ile ölçülebileceği gibi yine bir strain gauge yardımı ile elektriksel olarak ve üstelik daha hassas bir Şekilde llebilir.

Bu çalışmada kullanılan Handy Force Gauge markasının HF-100 modelinde kuvvet ölçümünün yanı sıra yk hücresinden gelen sinyali anlamlı Şekilde ifade eden bir gösterge (ing. indicator) olarak kullanılmaktadır.

HF-100 modelinde 1000 N kuvvete kadar ölçüm okunabilmektedir (Anonim-II tarih yok).

### 3.3.4. Tork sensörü

Tork sensörleri strain gauge uygulamasının başka bir Şeklidir. Bu defa amaç sistemdeki torku ölçmektir. Sensörden gelen veri bir gösterge ya da veri toplayıcı aracılığıyla anlamlı verilere dönüştürülür.



Çalışmamızda kullanılan tork sensörü LTB-NA100 modeldir. Bu sensör 240 Nm tork taşıma kapasitesine sahiptir. Sensöre ait bilgiler Çizelge 3.3’de verilmiştir (Anonim-III tarih yok).

Çizelge 3.3. LTB-NA 100 model tork sensörü

| Özellik                        | Değer                     |
|--------------------------------|---------------------------|
| Kapasite                       | 240 N.m                   |
| Oransal çıkış (Rated output)   | 1mV/V (2000x10e-6 strain) |
| Doğrusalsızlık (non-linearity) | %0,3 RO                   |
| Histerizis                     | %0,3 RO                   |
| Sıcaklık etkisi (0 noktasında) | %0,01 RO/°C               |
| Sıcaklık etkisi (Üst noktada)  | 0 – 40 °C                 |
| Sıcaklık aralığı               | -10 – 60 °C               |
| Aşırı yükleme                  | %150 RO                   |
| Giriş/çıkış direnci            | 350 Ω ± %1                |
| İkaz gerilimi (tavsiye edilen) | < 6 V                     |
| İkaz gerilimi (izin verilen)   | 10 V                      |
| Sıfır balansı                  | %5 RO                     |
| Ağırlık                        | 2 kg.                     |

### 3.3.5. Veri toplayıcı

Veri toplama cihazları, algılayıcılardan gelen sinyalleri yorumlamaksızın anlamlı rakamlara dönüştürmektedir. Elektriksel bilginin sayısal olarak okunması açısından önemlidirler. Genel yapı itibarı ile elektrik sinyali üreten algılayıcı sistem bir veri toplama cihazına bağlanır. Veri toplama cihazında elde edilen elektriksel veri, anlam kazanarak rakamsal olarak okunabilmek üzere ikinci bir cihaza gönderilir. Bu cihaz gerekli yazılım yüklenmiş bir bilgisayar olabilir.

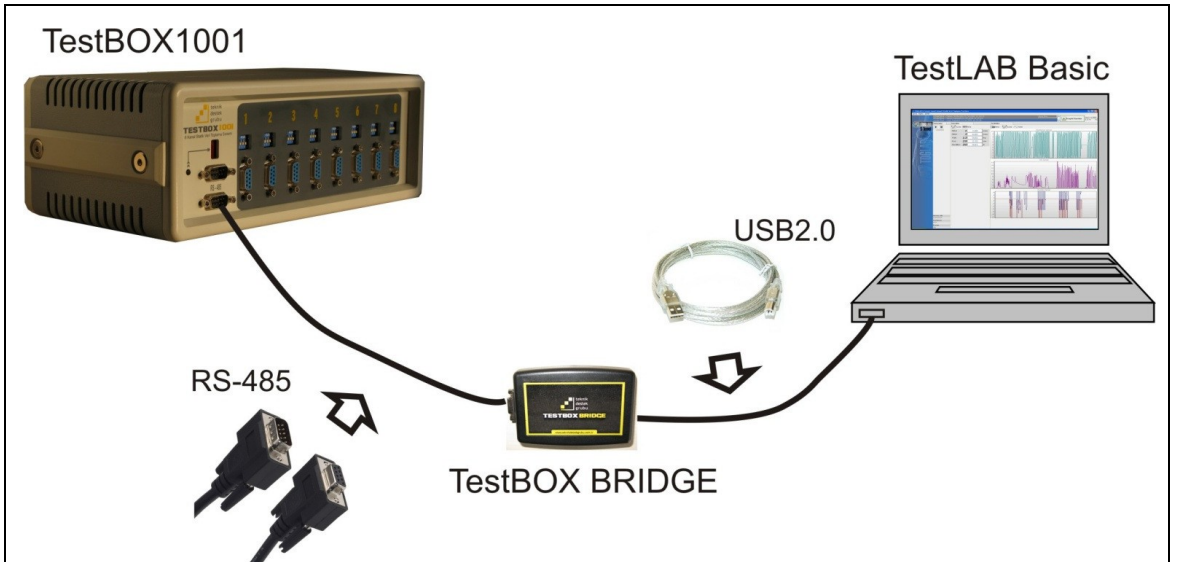
Veri toplama cihazları, statik ve dinamik olmak üzere kullanım amacına göre farklı özelliklerdedir. Zamana göre sinyalin hızına göre statik veya dinamik olarak ölçüm yapabilmektedir. Saniyede 8 sinyalin üretildiği veya 8 sinyalin anlamlı olduğu sistemler statik olarak ölçülebilmektedir. Daha hızlı değişim gösteren sistemlerin dinamik veri toplama cihazlarına bağlanması gerekir. Şekil 3.9’de deneylerde kullanılan statik veri

toplama cihazının görseli bulunmaktadır.



Şekil 3.9. Veri toplama cihazı (TestBox 1001)

Deneylerde kullanılan veri toplama cihazı Teknik Destek Grubu firmasının TESTBOX 1001 model numaralı statik veri toplama cihazıdır. Bu modelde 8 kanal bulunmaktadır. Bunun anlamı 8 farklı sinyali tek bir cihaz kullanarak ölçülebilmektir. TESTBOX 1001 algılayıcıdan gelen sinyali TESTBOX BRIDGE aracılığıyla TestLAB Basic Yazılımına göndermektedir. Veri akış şeması Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10. TestLAB veri toplama sistemi ve veri akışı

Sistemin özellikleri Çizelge 3.4'de sunulmuştur (Teknik Destek Grubu 2009).

Çizelge 3.4. Sistem özellikleri

| Özellik                     | Değer              |
|-----------------------------|--------------------|
| Veri Toplama Hızı           | 8 örnek/saniye     |
| Konektör Yapısı             | DSUB9 Tipi Erkek   |
| Çalışma voltajı             | 220V, +/-%10, 50Hz |
| Çalışma sıcaklığı           | 10 °C ila 35 °C    |
| Saklama ve taşıma sıcaklığı | 0 °C ila 50 °C     |
| Bağıl Nem                   | 15% ~ 80%          |

### 3.4. Deneylerin Uygulanması

Deneylerde ölçme ve kontrol, montaj, moment uygulama ve çıktıları alma aşamaları gerçekleştirilmiştir.

İmalattan gelen numunelerin öncelikle gözle kontrolü yapılmıştır. Yine numunelerin ölçüleri, toleransları ve yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Deneyde kullanılmaya uygun görülen numune ayırt edilmiş ve uygun olmayanlar için yeniden sipariş verilmiştir.

Sıkı geçme bağlantılarda, bağlantının emniyet durumunun belirlenmesi için sisteme moment uygulanmıştır. Sisteme verilen kontrollü momentin üst sınırını sıkı geçme bağlantıyı oluşturan mil-göbek çiftinin birbiri üzerindeki izafi hareketi belirlemektedir. Bu noktadan sonra deney bir müddet daha sürdürülmüş ve bağlantının davranışı tespit edilmiştir.

#### 3.4.1. Numaralandırma işlemi

Deneyde kullanılan numunelerin ölçümlerinin sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için numara verme işlemi imalattan sonraki ilk iş olarak uygulanmıştır. Miller ve göbeklerin üzerine numarator kullanarak rakam basılmıştır.

#### 3.4.2. Numunelerin ölçümü ve kontrolü

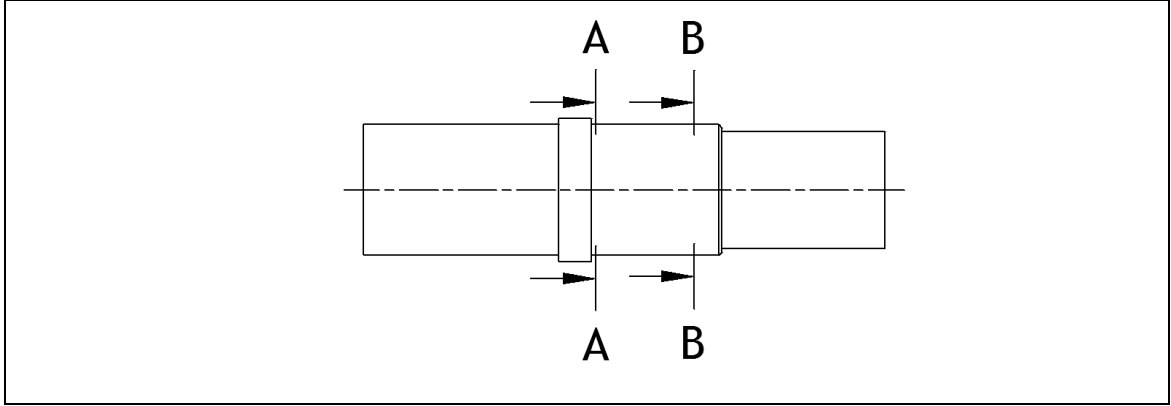
Mil ve göbeklerin ölçme ve kontrol işlemleri numaralandırmanın akabinde yapılmıştır. Numunelerin tolerans sınırları içinde olup olmadığı kontrol edilmiş ve

yüzeý pürüzlülüęü ölçümü yapılmıřtır.

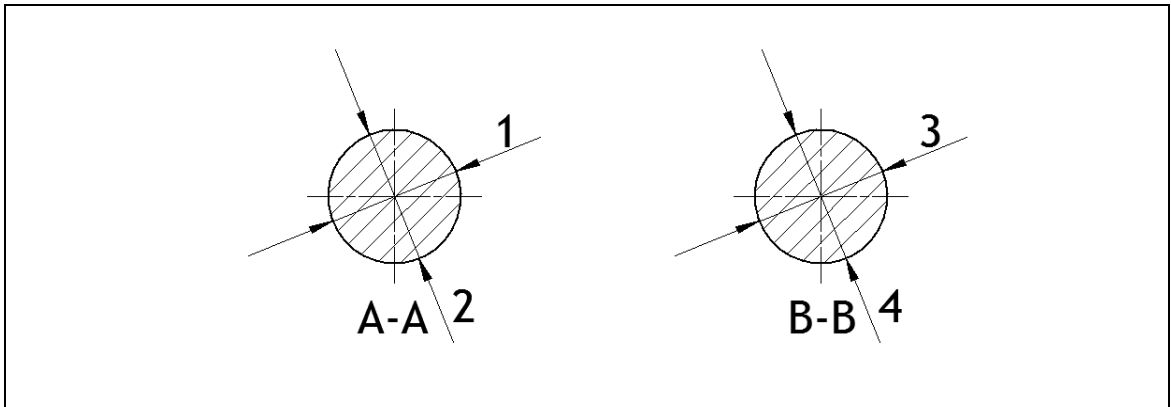
#### 3.4.2.1. Boyut ve toleransların kontrolü

Millerin boyutları 1/1000 hassasiyetteki dış çap mikrometresi ile göbeklerin boyutları da üç nokta temaslı iç çap mikrometresi ölçülmüştür.

Millerin ölçümleri iki ayrı kesitte toplam 4 doğrultuda ölçülmüştür. şekil 3.11 ve şekil 3.12'de görülen A-A ve B-B kesitlerindeki 1 ve 2 doğrultusundaki ölçümlerin ortalaması ile 3 ve 4 doğrultusundaki ölçümlerin ortalaması kıyaslanarak, konikliğin %5 oranını geçmeyecek ve herhangi bir kesitin toleransının istenen toleransın sınırlarını geçmeyecek şekilde kontrolü yapılmıştır.



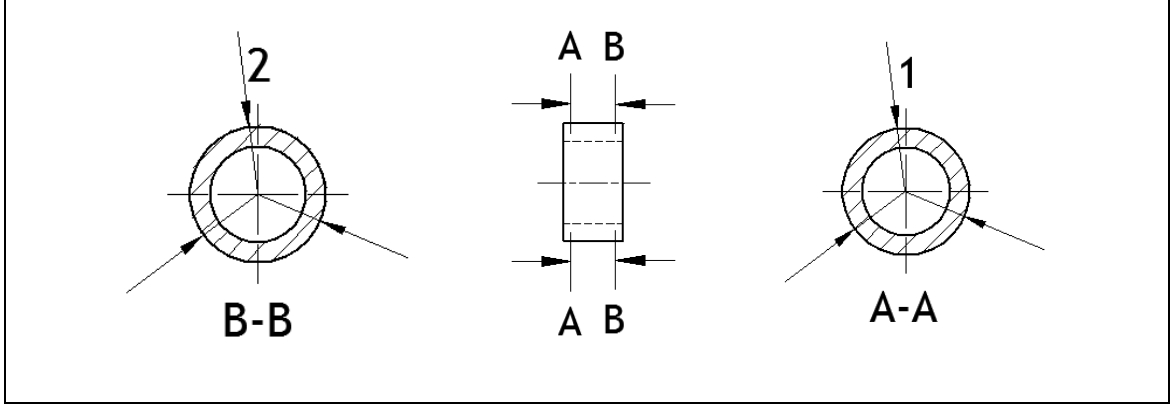
şekil 3.11. Millerde çap ölçümü yapılan kesitler



şekil 3.12. Mil kesitlerinde ölçüm yapılan doğrultular

Göbeklerde ise iki ayrı kesitte üç nokta temaslı birer ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümler millerde olduğu gibi konikliğin %5 oranını geçmeyecek ve herhangi bir kesitin

toleransının istenen toleransın sınırlarını geçmeyecek şekilde kontrolü yapılmıştır. Ölçüm yapılan kesitler Şekil 3.13’de görülmektedir.

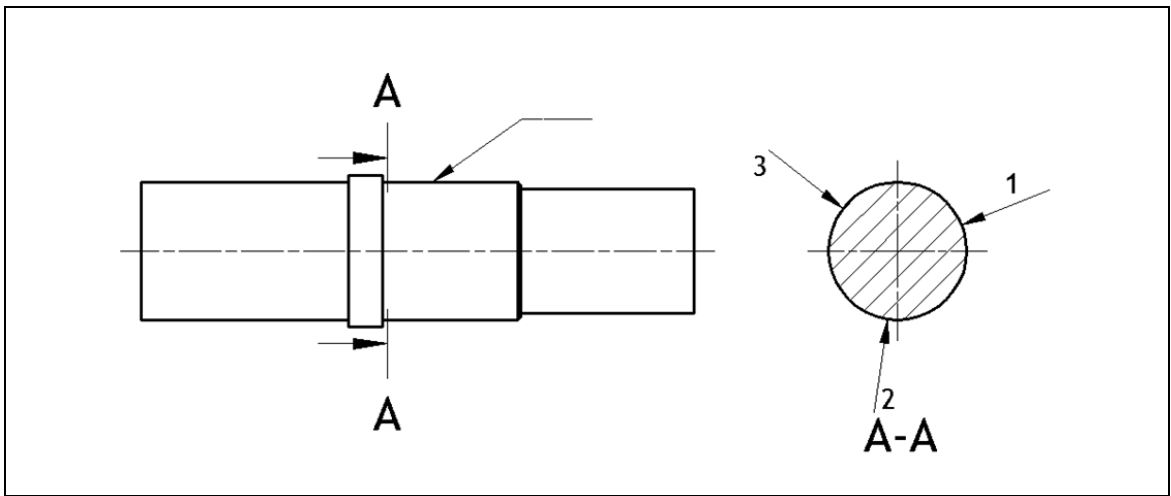


Şekil 3.13. Göbeklerde ölçüm yapılan kesitler

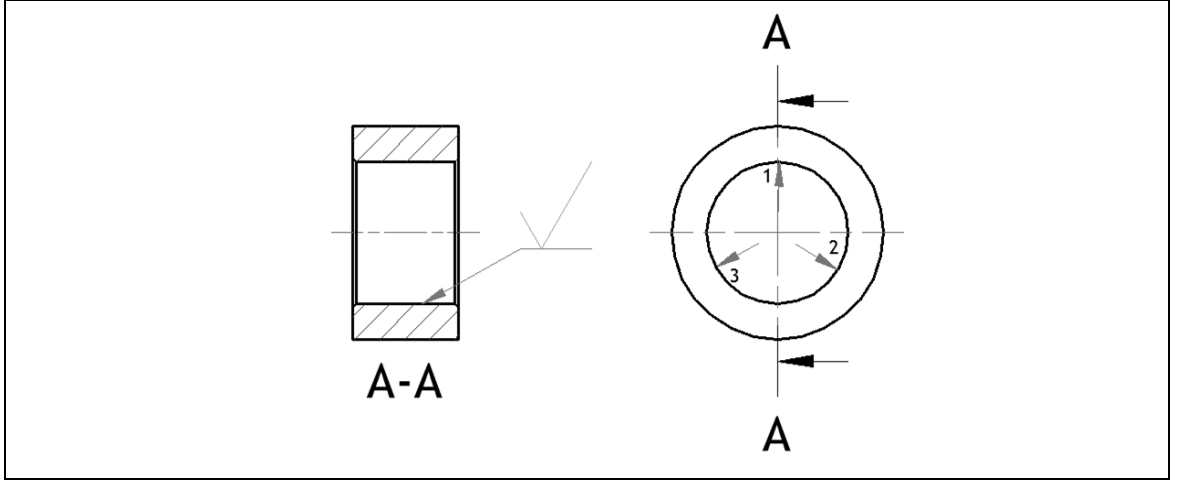
#### 3.4.2.2. Yüzey pürüzlülüğünün tayini

Numunelerin yüzey pürüzlülükleri Mahr Perthometer marka yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

Millerin yüzey pürüzlülüğü ölçümünde üç ayrı doğrultuda birer ölçüm alınmıştır. Ölçüm yapılan doğrular arasındaki açılar göbek merkezine göre yaklaşık olarak 120° olacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de gösterilen doğrularda yapılan ölçümlerin ortalaması hesaplamalarda kullanılan pürüzlülük değeridir.



Şekil 3.14. Millerde yüzey pürüzlülüğü ölçümü ve ölçüm yapılan doğrultular



Şekil 3.15. Göbeklerde yüzey pürüzlülüğü ölçümü ve ölçüm yapılan doğrultular

### 3.4.3. Geçmelerin yapılması

Deneyde kullanılan sıkı geçme bağlantılar, göbeğin ısıtılarak mil üzerine geçirilmesi ile temin edilmiştir.

Göbek numuneleri montaj sıcaklıklarına kadar ısıtılıp vakit kaybetmeden mil üzerine montajı gerçekleştirilmiştir. Göbeklerin ısıtılması ısıl işlem fırınında yapılmıştır. Fırın montaj sıcaklığına ayarlanıp 10 dakika beklenmiştir. Bu süre zarfında fırın istenen sıcaklık değerine ulaşabilmektedir. Daha sonra numuneler fırına konulmuştur. Numuneler yaklaşık olarak 30 dakika içinde montaj için gerekli sıcaklığa ulaşmaktadır.

Montaj işlemi tamamlandıktan sonra numuneler açık havada soğumaya bırakılmıştır. Deneyler oda sıcaklığına ulaştıktan sonra yapılmıştır.

### 3.4.4. Verilerin toplanması

Deney gerçekleştirilirken tork ölçümü ve kuvvet ölçümü ayrı ayrı yapılmaktadır. Tork sensöründen gelen analog veriler, veri toplama cihazı ve ADC'den geçerek bilgisayarda toplanmakta ve Microsoft Excel® programında saklanmaktadır.

Kuvvet ölçümü yük hücresi üzerinden yapılmakta ancak bu veriler saklanamamaktadır. Yük hücresinden kuvvet ölçümü sistemin kalibrasyonu için kullanılmaktadır.

### **3.4.5. Çalışma sıcaklığındaki deneylerin uygulanması**

Montajı yapılan parçalar oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra çalışma sıcaklığı olarak belirlenen 90°C’de yapılmıştır. Fırında parçalar 200°C’ye kadar ısıtıldıktan sonra fırından çıkarılıp deney düzeneğine monte edilmektedir. Soğumaya başlayan numune çalışma sıcaklığına geldiğinde deney başlatılmaktadır.

Numuneler ısı çifti (ing. termo-couple) ile sıcaklıkları anlık olarak ölçülmüştür.

#### 4. BULGULAR

Parçaların montaj öncesi yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, toleranslarının ölçümü, sıklık miktarları çizelgeler halinde, sıkı geçme bağlantıların tork taşıma kapasiteleri her deney için grafik olarak ve özet çizelgeler sunulmuştur.

##### 4.1. Numunelere İlişkin Ölçümler ve Bağlantıların Sıklık Durumları

Çizelge 4.1'de numunelerin boyut ölçümleri ve oluşan sıklıklar verilmektedir.

Çizelge 4.1 Deney çiftlerine ilişkin ölçümler

| Deney No. | MİL        |                 |       | Çift No. |       | GÖBEK      |                 |       | Ham Sıklık [μm] | Net Sıklık [μm] |
|-----------|------------|-----------------|-------|----------|-------|------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|
|           | Boyut [mm] | Pürüzlülük [μm] |       | Mil      | Göbek | Boyut [mm] | Pürüzlülük [μm] |       |                 |                 |
|           |            | Ra              | Rz    |          |       |            | Ra              | Rz    |                 |                 |
| 1         | 20.046     | 2.518           | 11.67 | 3        | 2     | 20.025     | 2.789           | 12.87 | 21              | 5               |
| 2         | 20.032     | 1.699           | 10.21 | 8        | 8     | 20.014     | 2.555           | 11.97 | 18              | 5               |
| 3         | 20.041     | 1.950           | 9.63  | 6        | 7     | 20.001     | 2.836           | 12.83 | 40              | 26              |
| 4         | 20.040     | 1.743           | 8.42  | 5        | 3     | 20.002     | 2.126           | 11.23 | 38              | 26              |
| 5         | 20.051     | 2.896           | 12.83 | 7        | 6     | 20.027     | 3.022           | 13.40 | 23              | 6               |
| 6         | 20.041     | 1.832           | 8.87  | 14       | 28    | 20.023     | 0.904           | 5.49  | 18              | 10              |
| 7         | 20.025     | 1.954           | 9.09  | 13       | 27    | 20.012     | 1.369           | 6.12  | 13              | 3               |
| 8         | 20.032     | 1.717           | 7.90  | 15       | 31    | 20.019     | 1.424           | 6.69  | 13              | 4               |
| 9         | 20.028     | 1.429           | 7.37  | 11       | 29    | 20.018     | 2.296           | 9.88  | 10              | -1              |
| 10        | 20.026     | 1.147           | 5.56  | 12       | 30    | 20.011     | 2.860           | 13.03 | 15              | 3               |
| 11        | 20.047     | 1.778           | 9.29  | 9        | 19    | 20.016     | 0.737           | 3.67  | 31              | 23              |
| 12        | 20.029     | 1.418           | 7.55  | 2        | 17    | 20.011     | 0.664           | 3.41  | 18              | 12              |
| 13        | 20.057     | 2.187           | 11.24 | 4        | 18    | 20.014     | 0.725           | 3.76  | 43              | 34              |
| 14        | 20.046     | 1.683           | 7.96  | 10       | 20    | 20.021     | 2.358           | 11.40 | 26              | 13              |
| 15        | 20.040     | 1.697           | 7.91  | 1        | 16    | 20.010     | 0.586           | 3.14  | 30              | 23              |
| 16        | 20.038     | 0.599           | 3.35  | 18       | 9     | 20.017     | 2.450           | 12.17 | 21              | 12              |
| 17        | 20.030     | 0.715           | 3.35  | 27       | 1     | 20.016     | 1.570           | 7.52  | 14              | 7               |
| 18        | 20.036     | 0.658           | 3.36  | 30       | 10    | 20.018     | 1.029           | 5.53  | 17              | 12              |
| 19        | 20.035     | 0.719           | 3.75  | 31       | 4     | 20.012     | 2.444           | 10.97 | 23              | 14              |
| 20        | 20.035     | 0.769           | 3.24  | 34       | 5     | 20.018     | 1.688           | 7.80  | 17              | 10              |
| 21        | 20.038     | 0.847           | 3.92  | 16       | 34    | 20.032     | 2.385           | 10.24 | 6               | -4              |
| 22        | 20.038     | 0.648           | 3.00  | 19       | 33    | 20.028     | 2.337           | 9.84  | 10              | 1               |



Çizelge 4.1'in devamı

| Deney No. | MİL        |                 | Çift No. |     | GÖBEK |            | Ham Sıklık [μm] | Net Sıklık [μm] |                 |    |
|-----------|------------|-----------------|----------|-----|-------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|----|
|           | Boyut [mm] | Pürüzlülük [μm] |          | Mil | Göbek | Boyut [mm] |                 |                 | Pürüzlülük [μm] |    |
|           |            | Ra              | Rz       |     |       |            |                 |                 | Ra              | Rz |
| 23        | 20.040     | 0.847           | 2.98     | 21  | 35    | 20.028     | 1.977           | 8.24            | 12              | 4  |
| 24        | 20.035     | 0.740           | 3.37     | 23  | 26    | 20.021     | 2.222           | 9.05            | 14              | 5  |
| 25        | 20.039     | 0.628           | 3.27     | 25  | 32    | 20.003     | 2.758           | 12.03           | 36              | 26 |
| 26        | 20.046     | 0.790           | 4.07     | 17  | 21    | 20.007     | 0.664           | 3.41            | 39              | 35 |
| 27        | 20.035     | 0.884           | 3.10     | 20  | 22    | 20.017     | 0.588           | 3.06            | 18              | 14 |
| 28        | 20.032     | 0.812           | 3.48     | 26  | 24    | 20.021     | 2.845           | 15.00           | 11              | 0  |
| 29        | 20.038     | 0.787           | 3.80     | 28  | 25    | 20.003     | 0.555           | 3.20            | 35              | 31 |
| 30        | 20.036     | 0.645           | 3.24     | 35  | 23    | 20.021     | 3.423           | 16.07           | 15              | 2  |
| 31        | 20.040     | 0.903           | 3.20     | 24  | 12    | 20.021     | 0.635           | 3.75            | 19              | 14 |
| 32        | 20.038     | 0.743           | 3.46     | 32  | 14    | 20.014     | 3.132           | 15.07           | 24              | 12 |
| 33        | 20.035     | 0.653           | 3.46     | 33  | 11    | 20.028     | 2.723           | 10.44           | 7               | 0  |
| 34        | 20.028     | 0.878           | 3.07     | 22  | 15    | 20.018     | 0.301           | 2.16            | 10              | 4  |
| 35        | 20.035     | 0.690           | 3.44     | 29  | 13    | 20.012     | 2.768           | 12.56           | 23              | 10 |
| 36        | 16.028     | 1.067           | 5.65     | 36  | 39    | 16.013     | 1.040           | 5.73            | 15              | 9  |
| 37        | 16.030     | 0.962           | 5.17     | 44  | 36    | 16.01      | 1.385           | 7.01            | 20              | 13 |
| 38        | 16.031     | 1.566           | 7.79     | 38  | 37    | 16.009     | 1.589           | 7.67            | 22              | 13 |
| 39        | 16.031     | 0.973           | 5.63     | 39  | 38    | 16.013     | 1.311           | 6.56            | 18              | 11 |
| 40        | 16.031     | 0.323           | 1.78     | 40  | 40    | 16.001     | 2.569           | 12.33           | 30              | 21 |
| 41        | 16.027     | 0.328           | 1.74     | 41  | 41    | 16.002     | 2.902           | 12.10           | 25              | 15 |
| 42        | 16.035     | 0.275           | 1.70     | 42  | 43    | 16.009     | 1.432           | 7.63            | 26              | 21 |
| 43        | 16.030     | 0.995           | 5.75     | 43  | 45    | 16.013     | 1.107           | 5.62            | 16              | 10 |
| 44        | 16.031     | 1.672           | 8.05     | 37  | 44    | 16.013     | 1.367           | 7.07            | 17              | 8  |
| 45        | 16.028     | 0.826           | 4.33     | 45  | 42    | 16.008     | 1.683           | 8.44            | 20              | 12 |
| 46        | 20.037     | 2.046           | 10.16    | 46  | 49    | 20.012     | 1.800           | 8.93            | 25              | 13 |
| 47        | 20.039     | 1.847           | 8.53     | 47  | 53    | 20.010     | 1.805           | 9.32            | 29              | 18 |
| 48        | 20.029     | 0.428           | 2.34     | 48  | 55    | 20.014     | 4.720           | 16.87           | 15              | 0  |
| 49        | 20.042     | 1.724           | 7.82     | 49  | 54    | 20.016     | 3.644           | 15.27           | 26              | 10 |
| 50        | 20.026     | 0.519           | 2.63     | 50  | 50    | 20.001     | 1.705           | 8.08            | 25              | 19 |
| 51        | 20.035     | 0.740           | 3.83     | 51  | 48    | 20.008     | 1.395           | 7.20            | 27              | 20 |
| 52        | 20.042     | 0.733           | 2.65     | 52  | 47    | 20.013     | 1.201           | 6.29            | 29              | 23 |
| 53        | 20.036     | 0.696           | 3.90     | 53  | 51    | 20.012     | 3.898           | 16.17           | 24              | 10 |
| 54        | 20.036     | 0.670           | 3.64     | 54  | 46    | 20.015     | 3.165           | 13.33           | 20              | 9  |
| 55        | 20.037     | 0.595           | 3.48     | 55  | 52    | 20.014     | 2.053           | 9.45            | 23              | 16 |

## 4.2. Montajı Yapılmış Parçaların Tork Taşıma Kapasiteleri

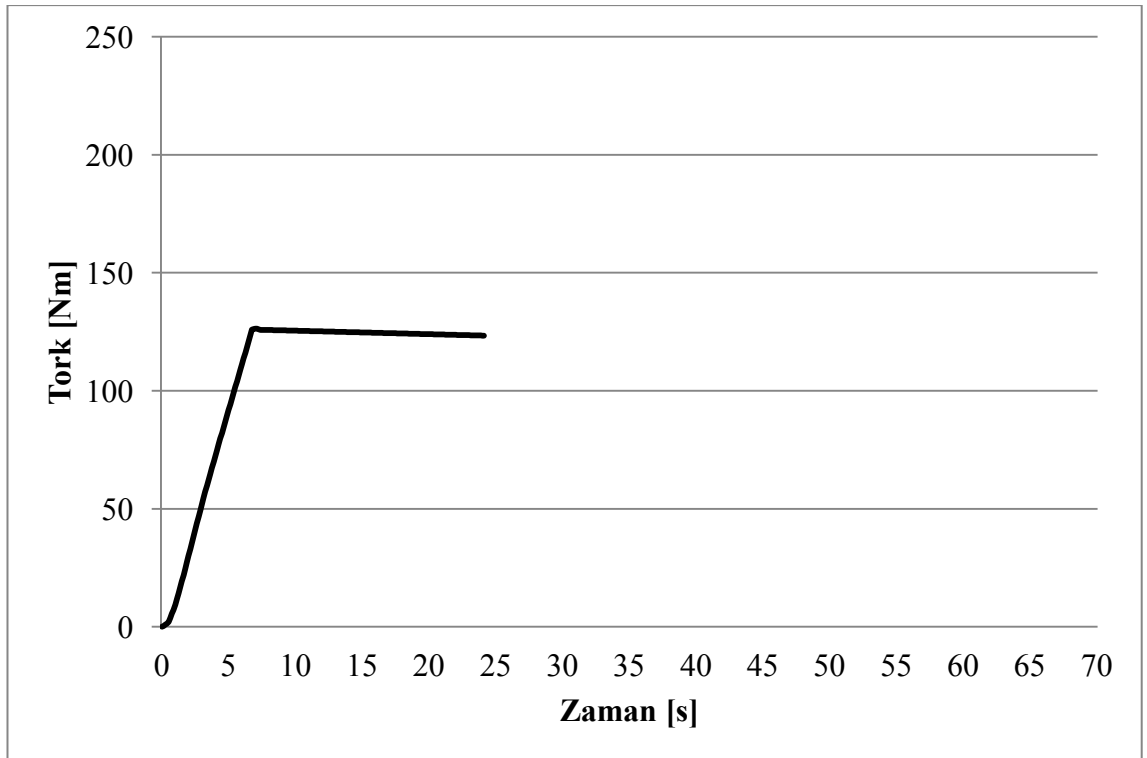
### i. 1 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.2’de 1 no.lu deneye ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.2. D1 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M3    |
| Göbek Malzemesi/ No. | Ç1040 / G2    |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.1’de 1 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.1. D1 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

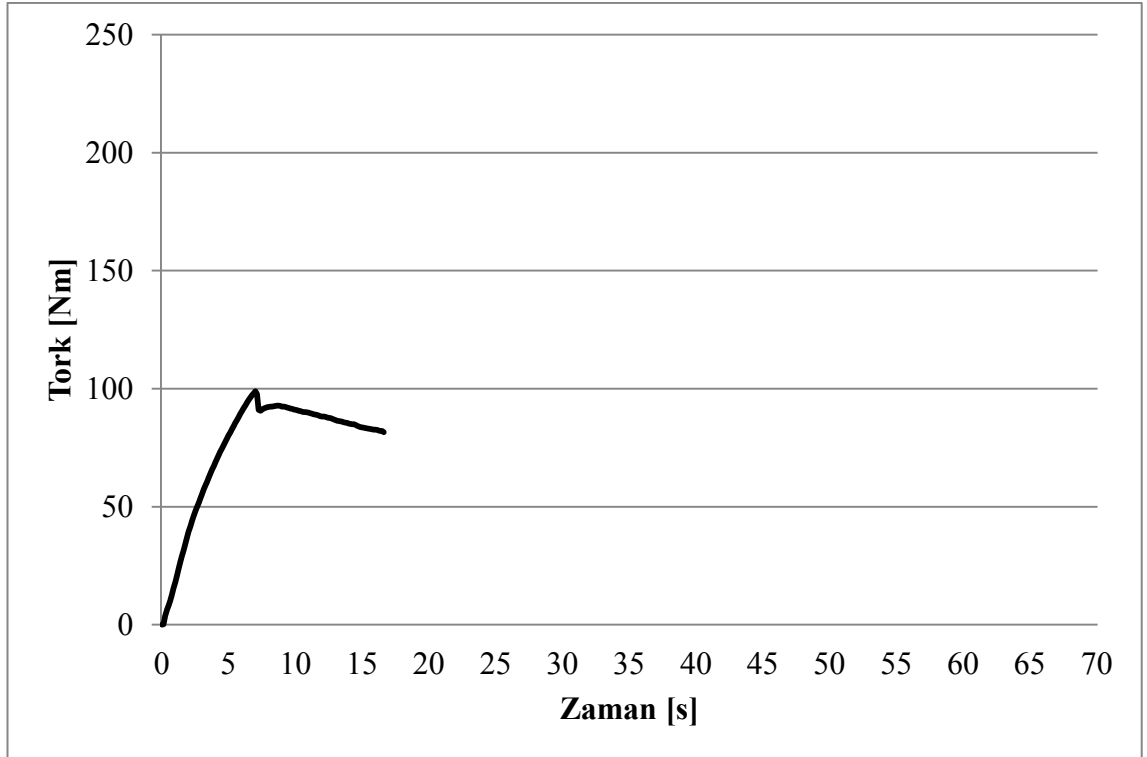
## ii. 2 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.3’de 2 no.lu deneye ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.3. D2 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M8    |
| Göbek Malzemesi/ No. | Ç1040 / G8    |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.2’de 2 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.2. D2 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

### iii. 3 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.4’de 3 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.4. D3 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M6    |
| Göbek Malzemesi/ No. | Ç1040 / G7    |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.3’de 3 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.3. D3 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

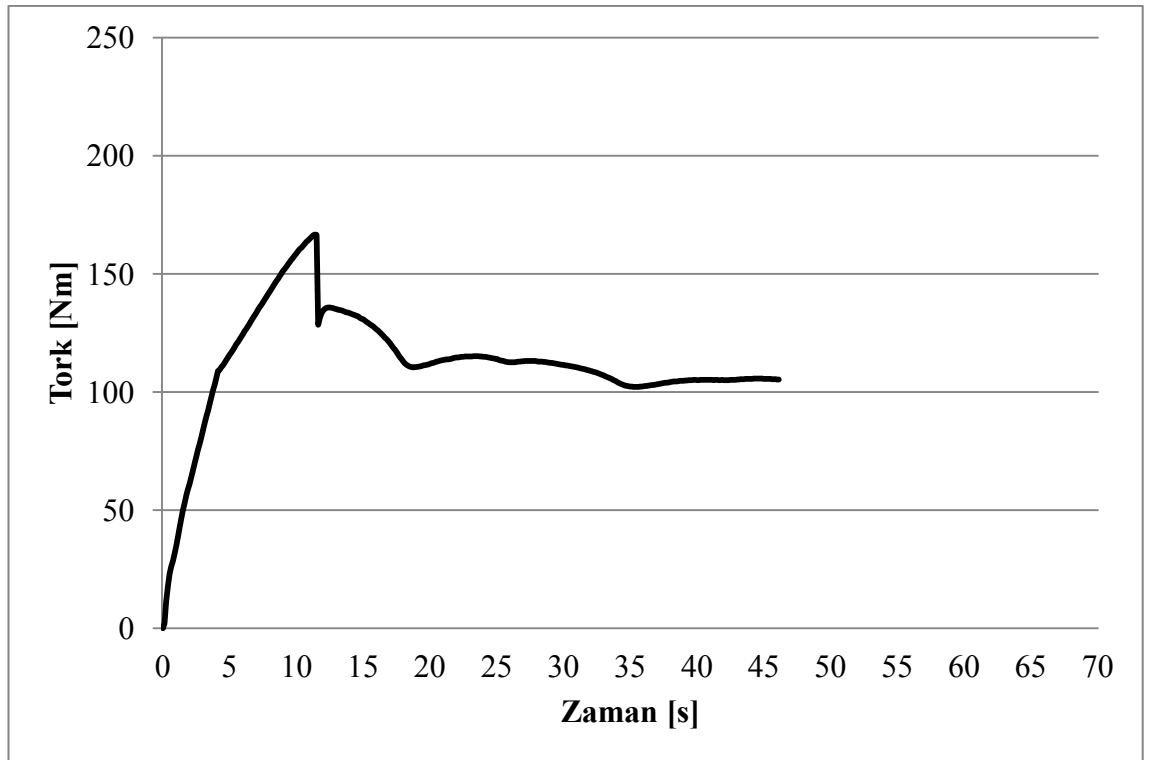
#### iv. 4 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.5’de 4 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.5. D4 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M5    |
| Göbek Malzemesi/ No. | Ç1040 / G3    |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.4’de 4 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.4. D4 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

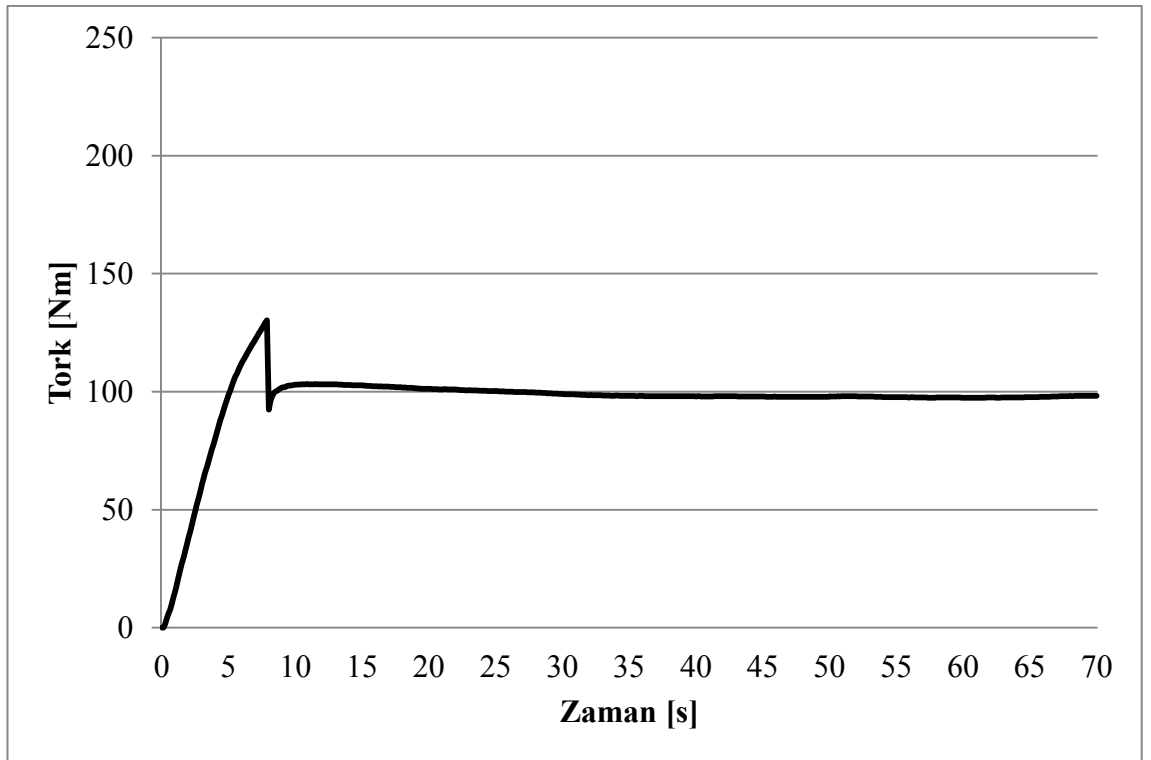
v. 5 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.6'de 5 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.6. D5 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M7    |
| Göbek Malzemesi/ No. | Ç1040 / G3    |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.5'de 5 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.5. D5 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

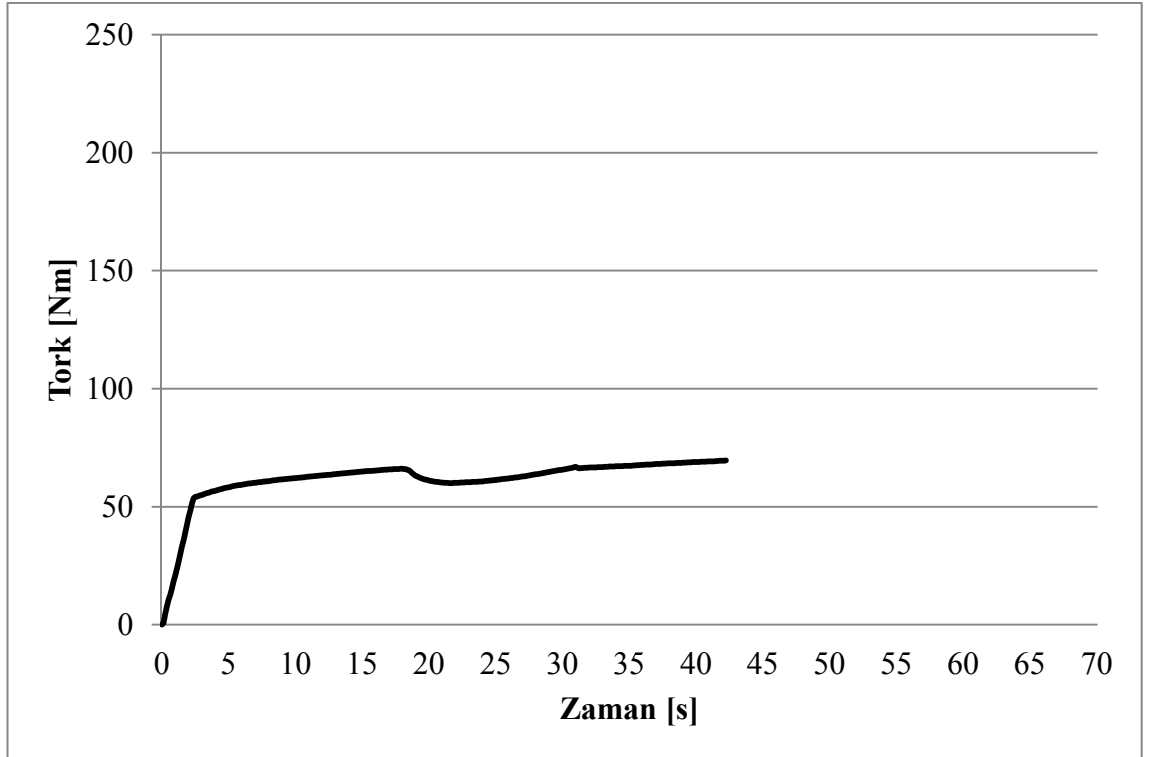
vi. 6 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.7’da 6 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.7. D6 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M14   |
| Göbek Malzemesi/ No. | Al-6065 / G28 |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.6’da 6 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.6. D6 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

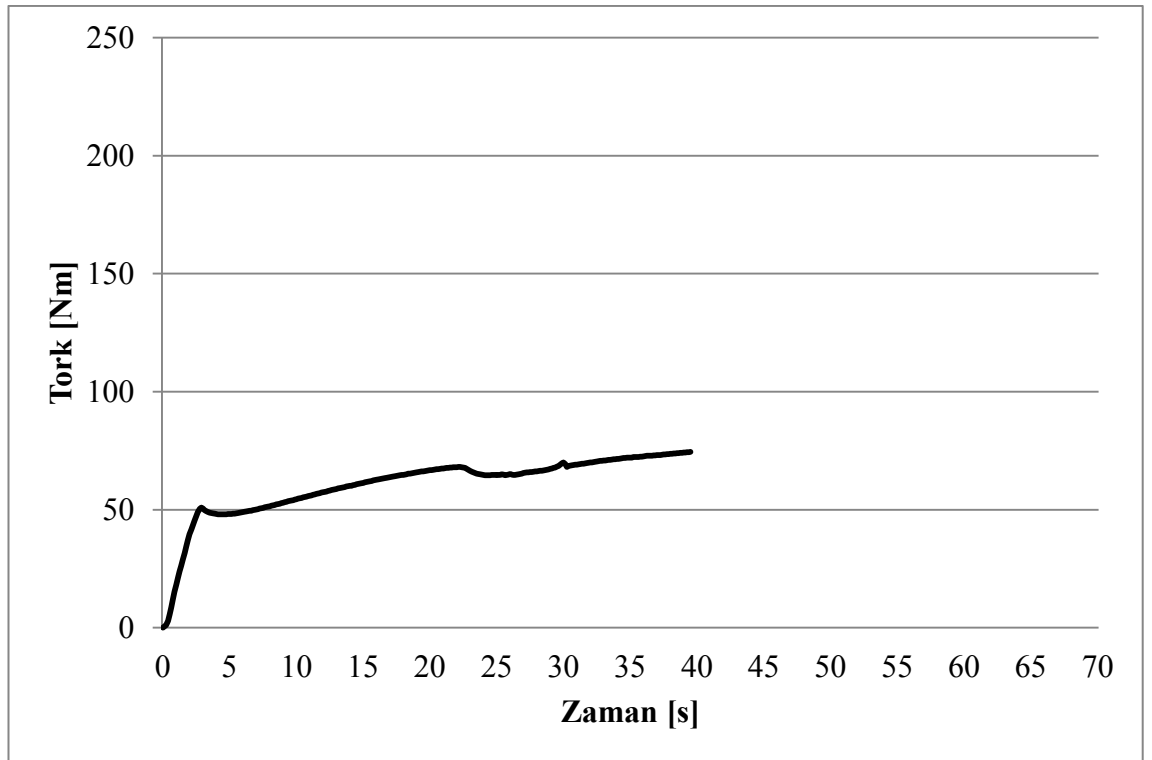
vii. 7 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.8’de 7 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.8. D7 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M13   |
| Göbek Malzemesi/ No. | Al-6065 / G27 |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.7’de 7 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.7. D7 no.lu deneyin tork-zaman grafiği



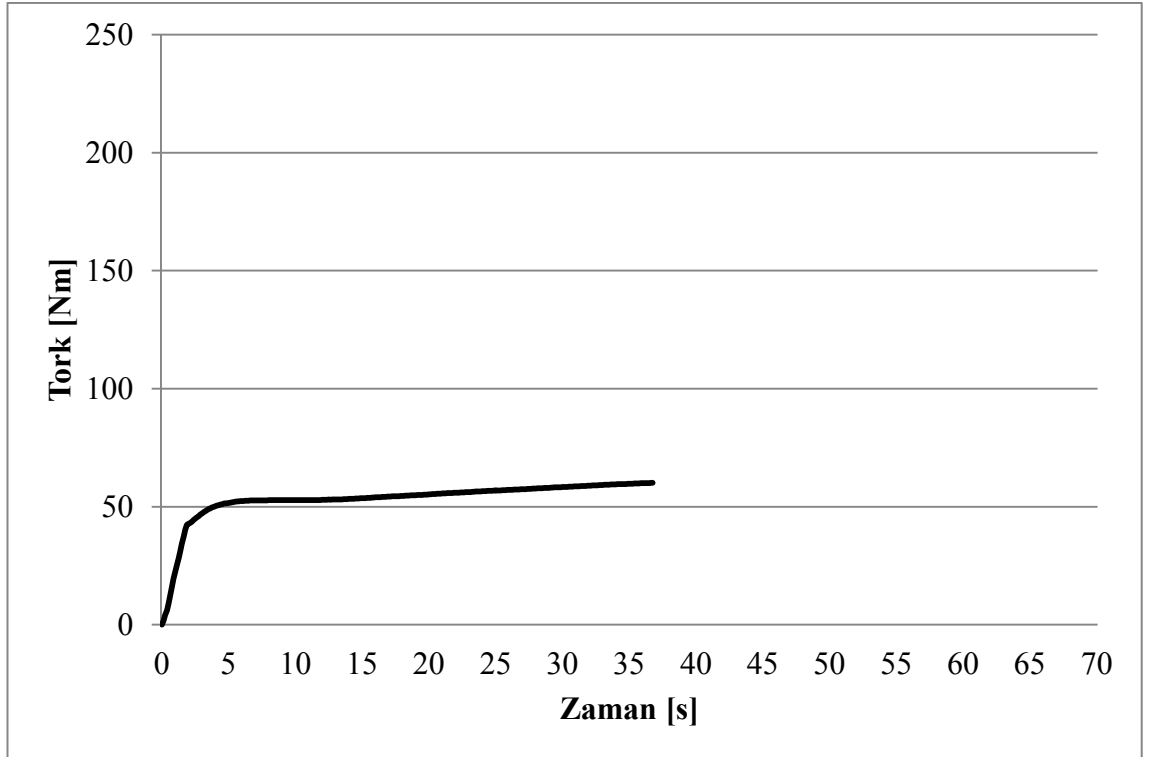
viii. 8 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.9’da 8 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.9. D8 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M15   |
| Göbek Malzemesi/ No. | Al-6065 / G31 |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.8’de 8 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.8. D8 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

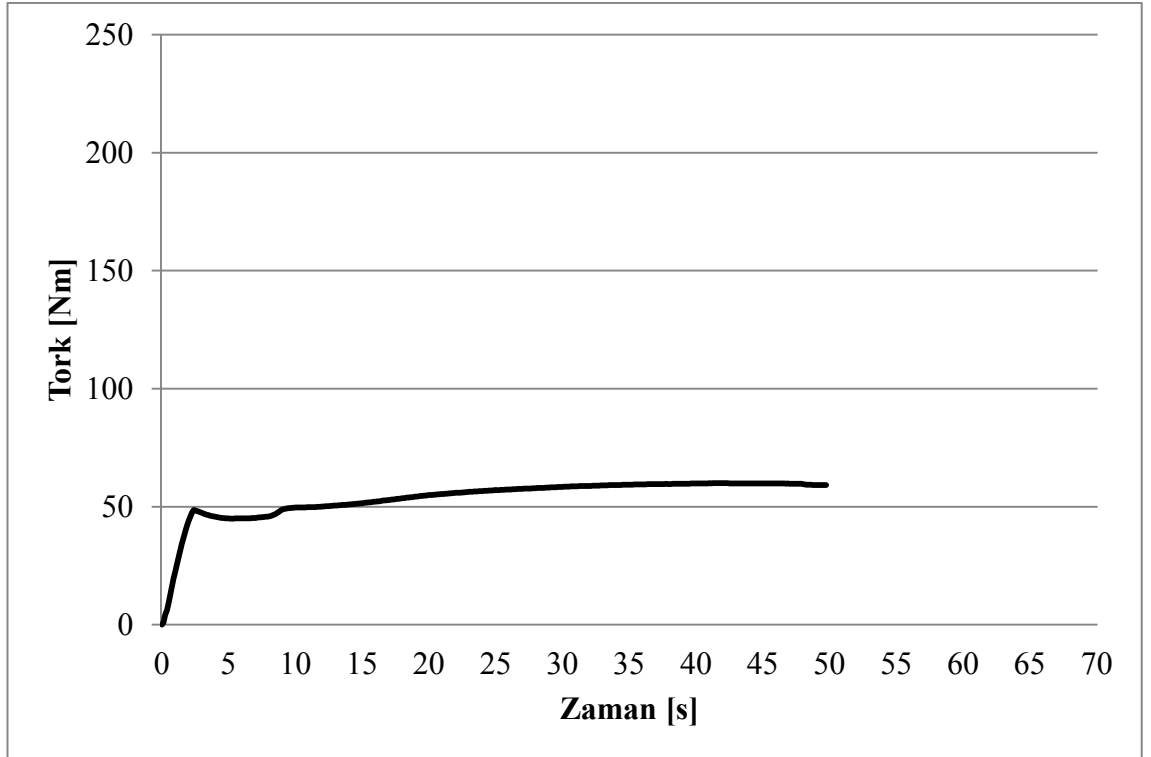
ix. 9 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.10'da 9 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.10. D9 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M11   |
| Göbek Malzemesi/ No. | Al-6065 / G29 |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.9'da 9 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.9. D9 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

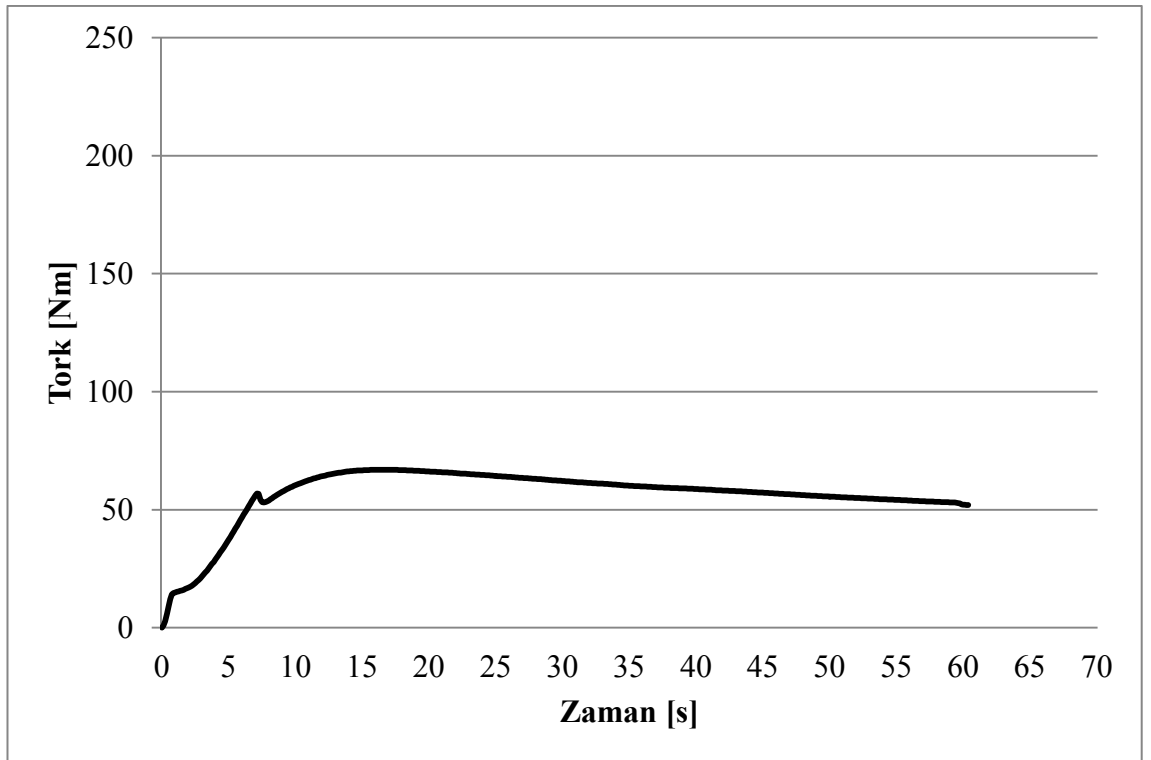
x. 10 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.11’de 10 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.11. D10 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M12   |
| Göbek Malzemesi/ No. | Al-6065 / G30 |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.10’da 10 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.10. D10 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

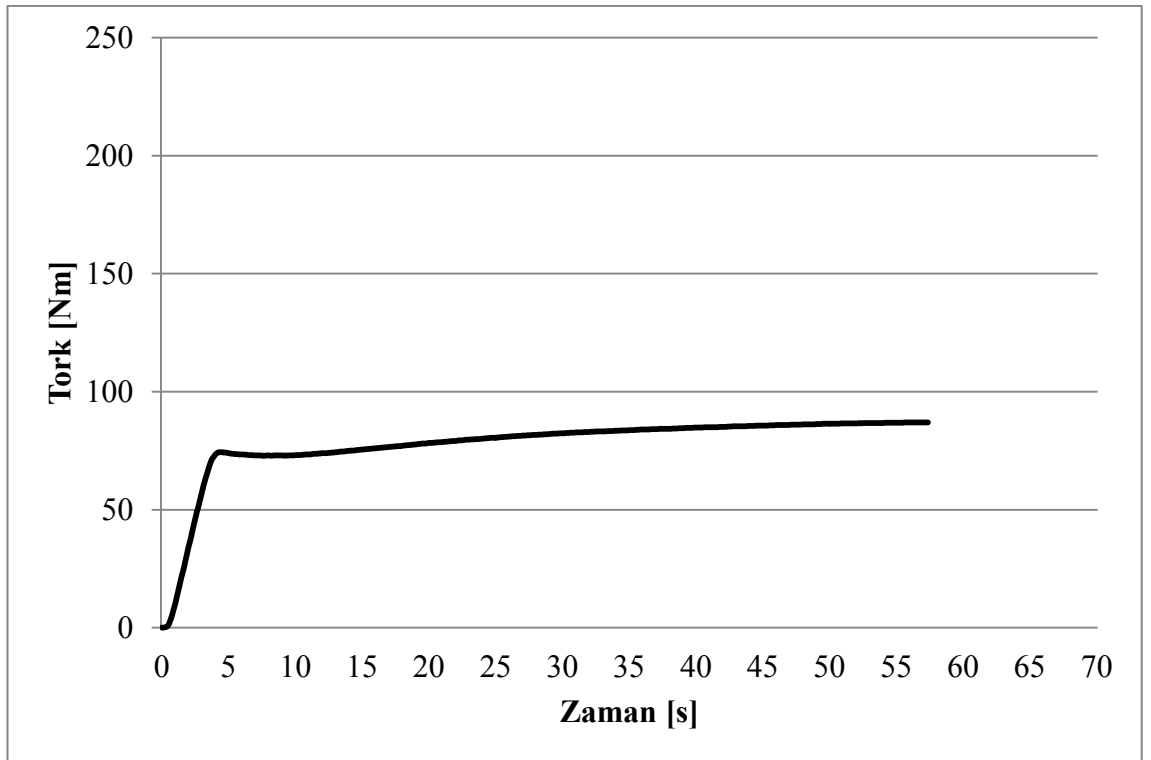
**xi. 11 numaralı deneye ilişkin veriler**

Çizelge 4.12’de 11 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.12. D11 no.lu deney parametreleri

| <b>Parametre</b>     | <b>Değer</b>  |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M9    |
| Göbek Malzemesi/ No. | Pirinç / G19  |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.11’de 11 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.11. D11 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

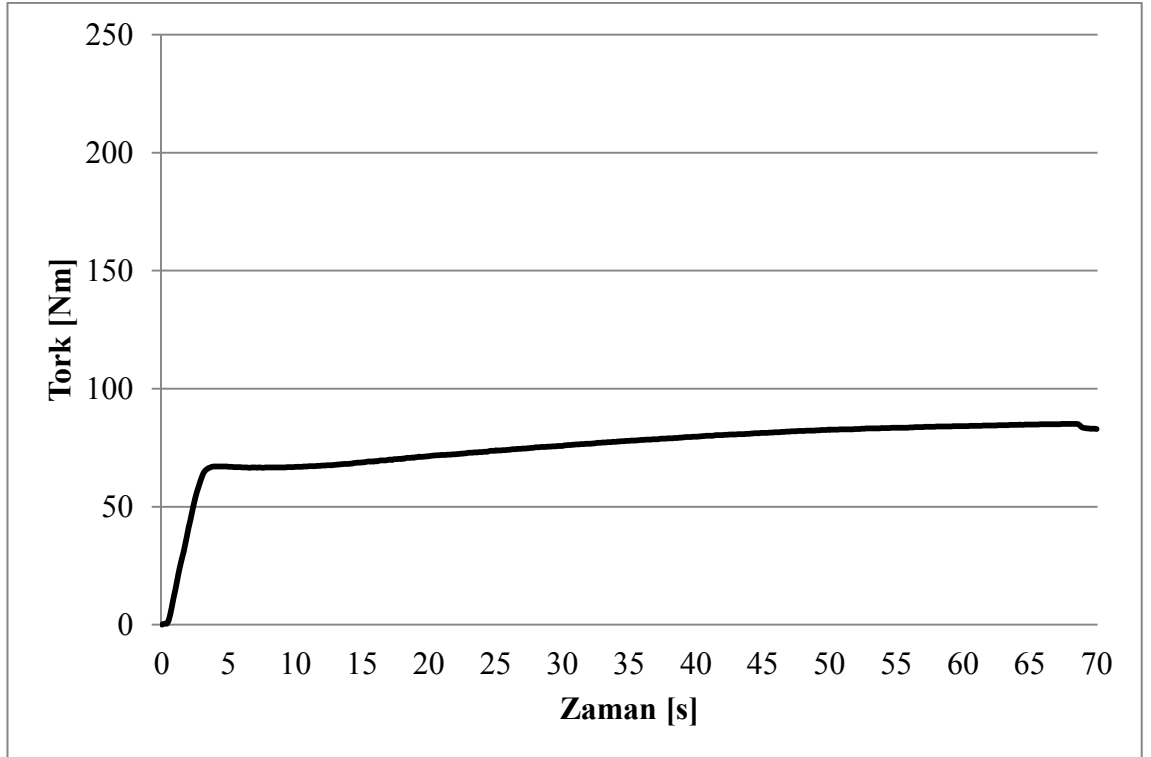
xii. 12 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.13’de 12 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.13. D12 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M2    |
| Göbek Malzemesi/ No. | Pirinç / G17  |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.12’de 12 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.12. D12 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

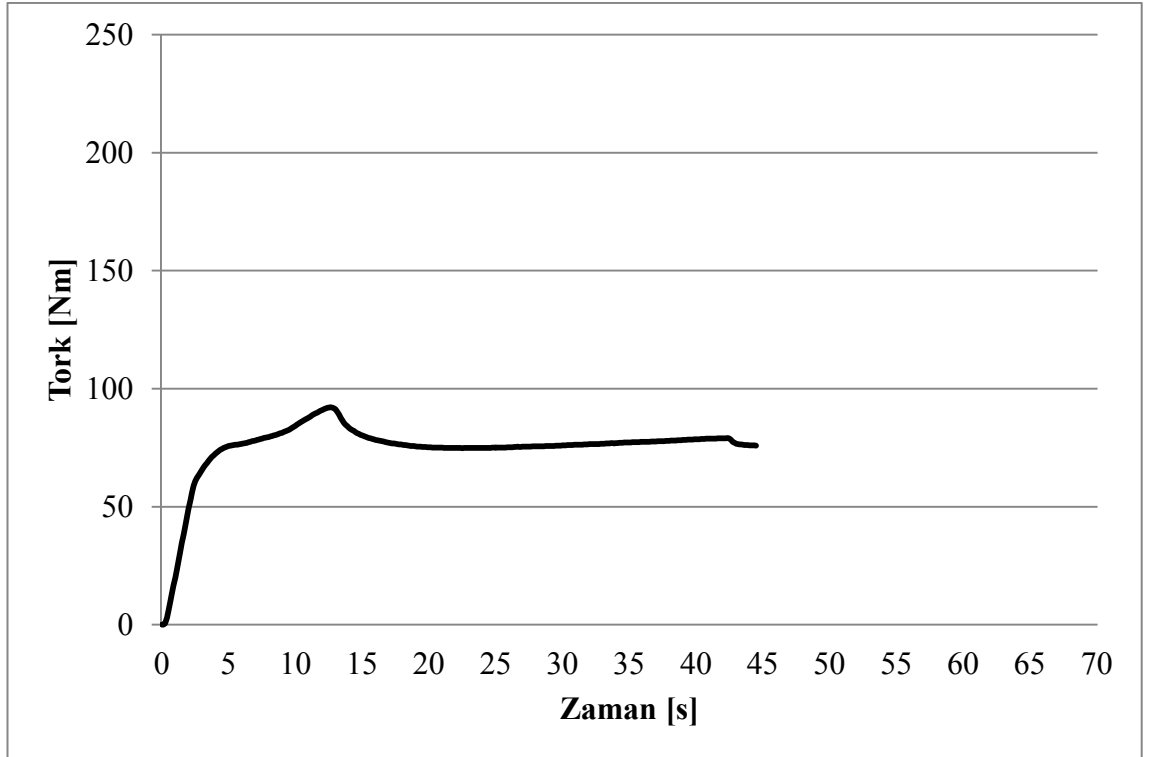
**xiii. 13 numaralı deneye ilişkin veriler**

Çizelge 4.14’de 13 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.14. D13 no.lu deney parametreleri

| <b>Parametre</b>     | <b>Değer</b>  |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M4    |
| Göbek Malzemesi/ No. | Pirinç / G18  |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.13'de 13 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.13. D13 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

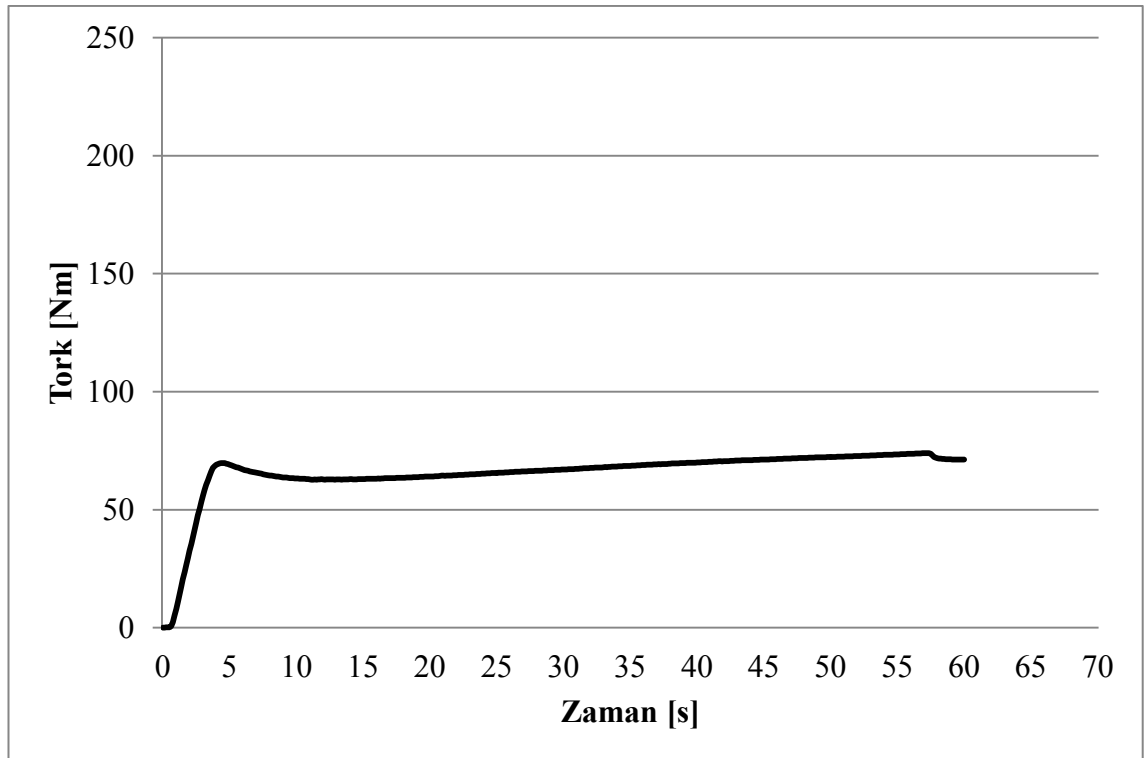
xiv. 14 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.15’de 14 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.15. D14 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M10   |
| Göbek Malzemesi/ No. | Pirinç / G20  |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.14’de 14 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.14. D14 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

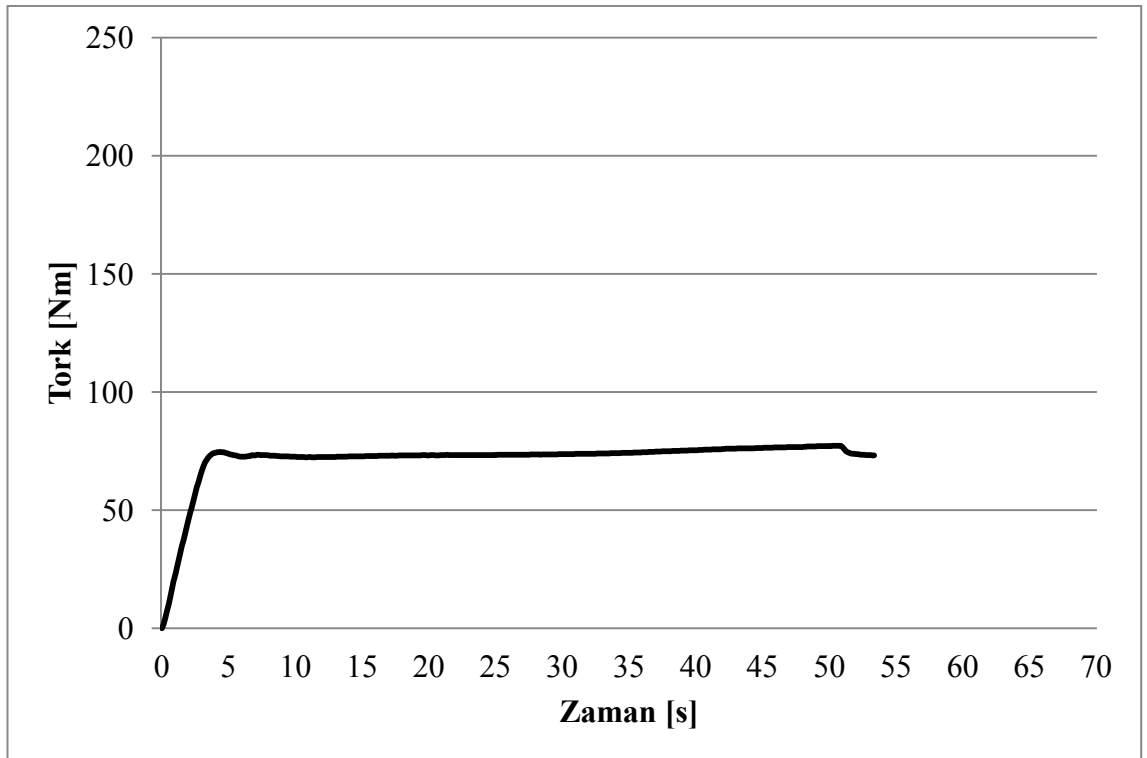
xv. 15 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.16'da 15 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.16. D15 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | Ç1040 / M1    |
| Göbek Malzemesi/ No. | Pirinç / G16  |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.15'de 15 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.15. D15 no.lu deneyin tork-zaman grafiği



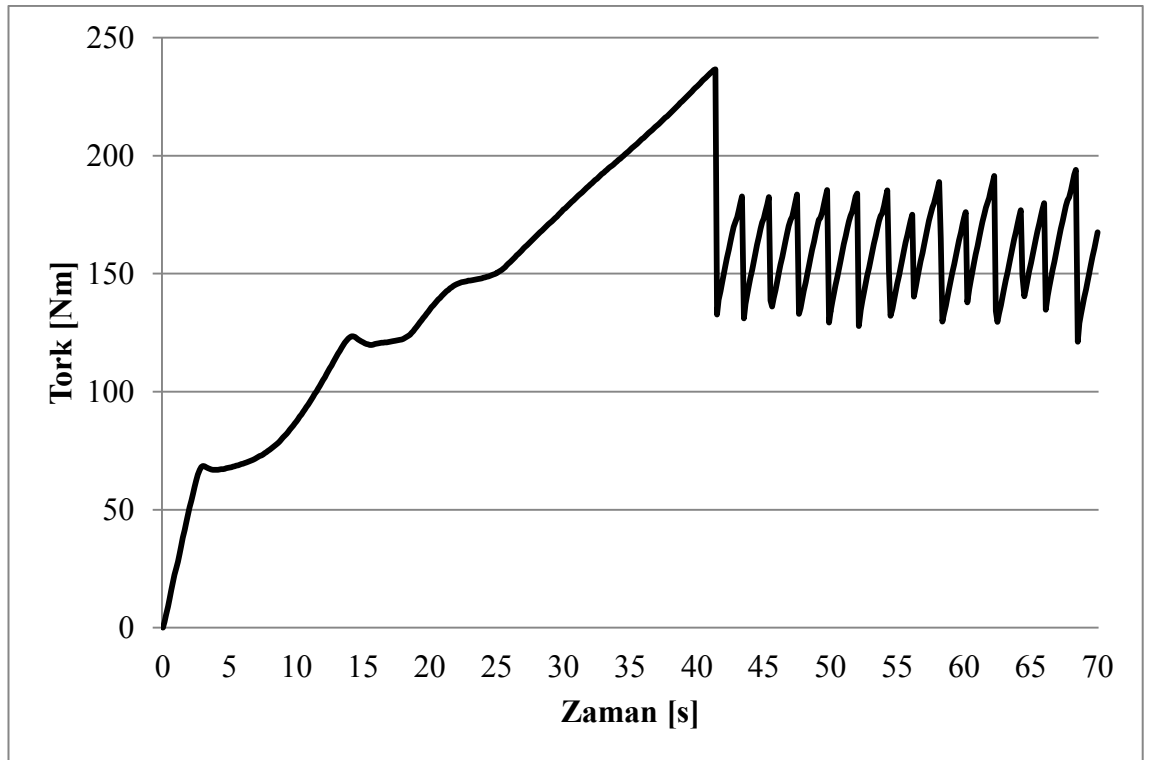
xvi. 16 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.17’de 16 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.17. D16 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | SAE 304 / M18 |
| Göbek Malzemesi/ No. | Ç1040 / G9    |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.16’da 16 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.16. D16 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

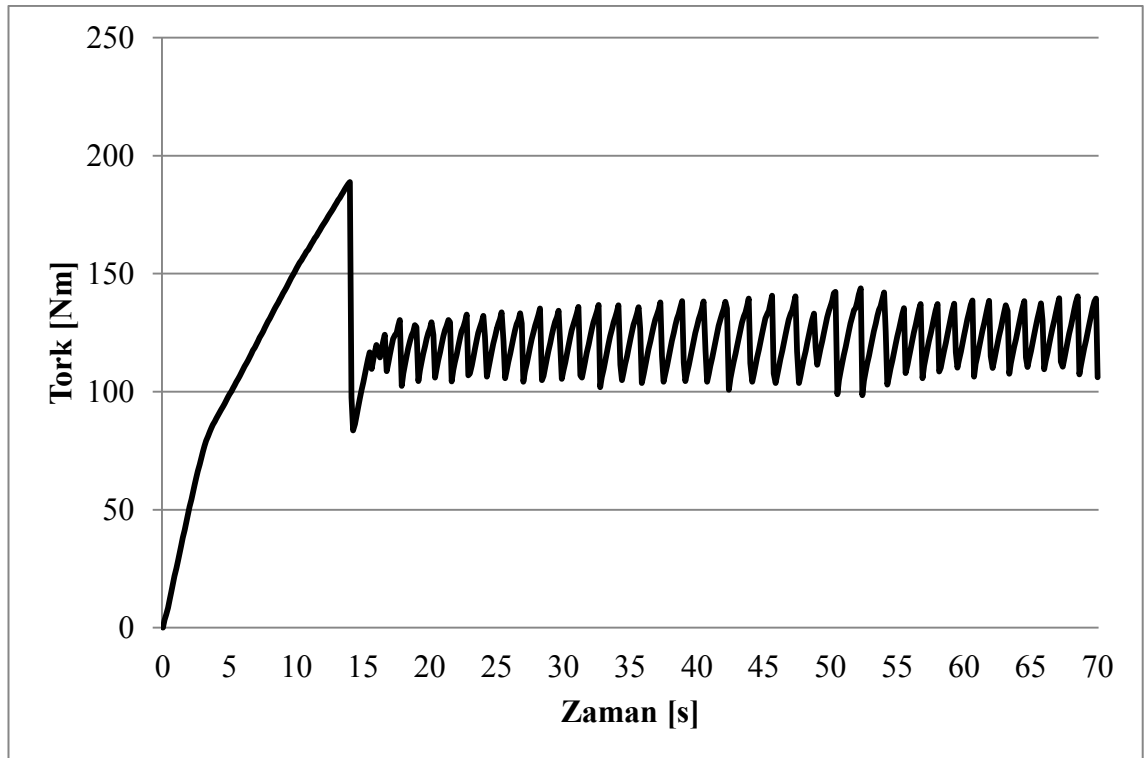
xvii. 17 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.18’de 17 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.18. D17 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | SAE 304 / M27 |
| Göbek Malzemesi/ No. | Ç1040 / G1    |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.17’de 17 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.17. D17 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

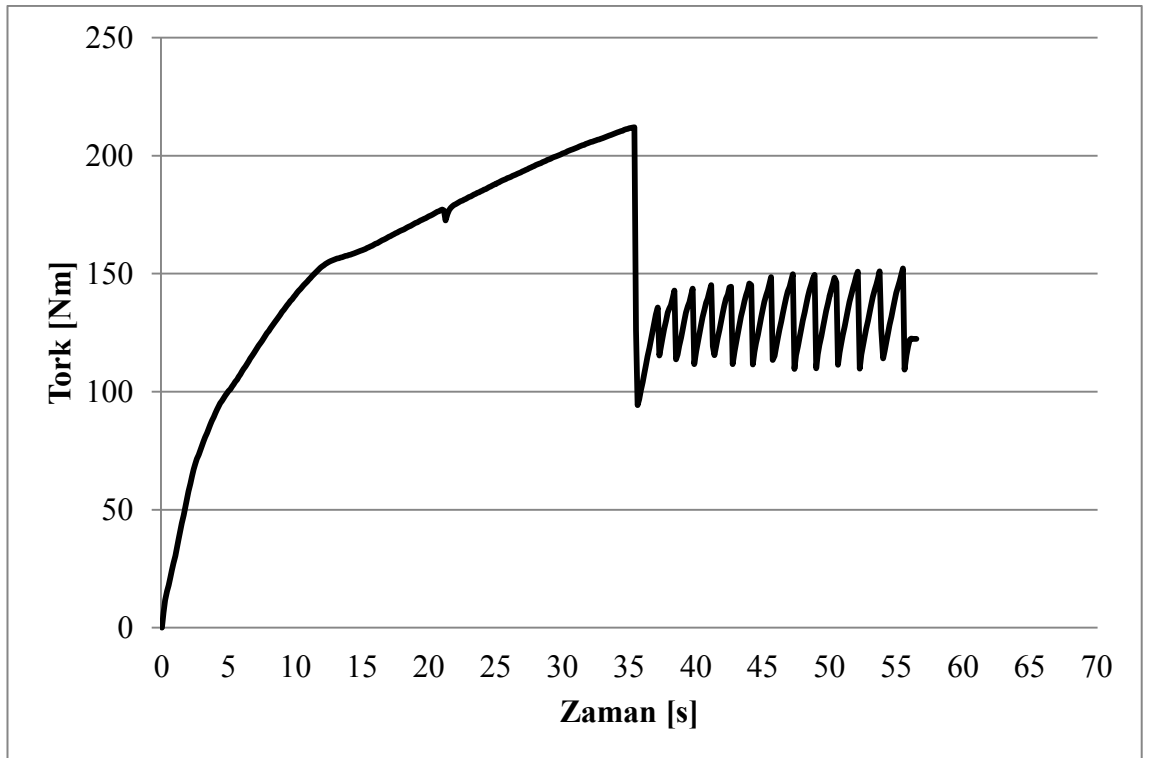
xviii. 18 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.19’da 18 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.19. D18 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | SAE 304 / M30 |
| Göbek Malzemesi/ No. | Ç1040 / G10   |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.18’de 18 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.18. D18 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

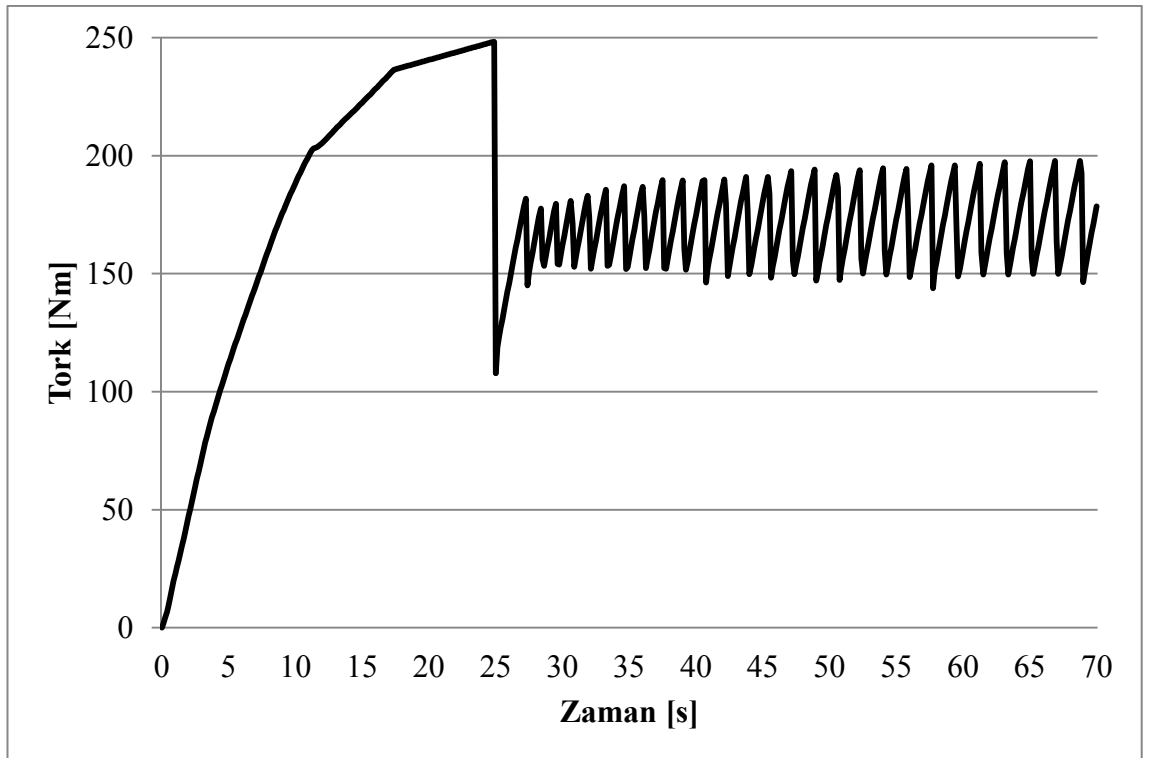
**xix. 19 numaralı deneye ilişkin veriler**

Çizelge 4.20’de 19 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.20. D19 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | SAE 304 / M31 |
| Göbek Malzemesi/ No. | Ç1040 / G4    |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.19’da 19 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.19. D19 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

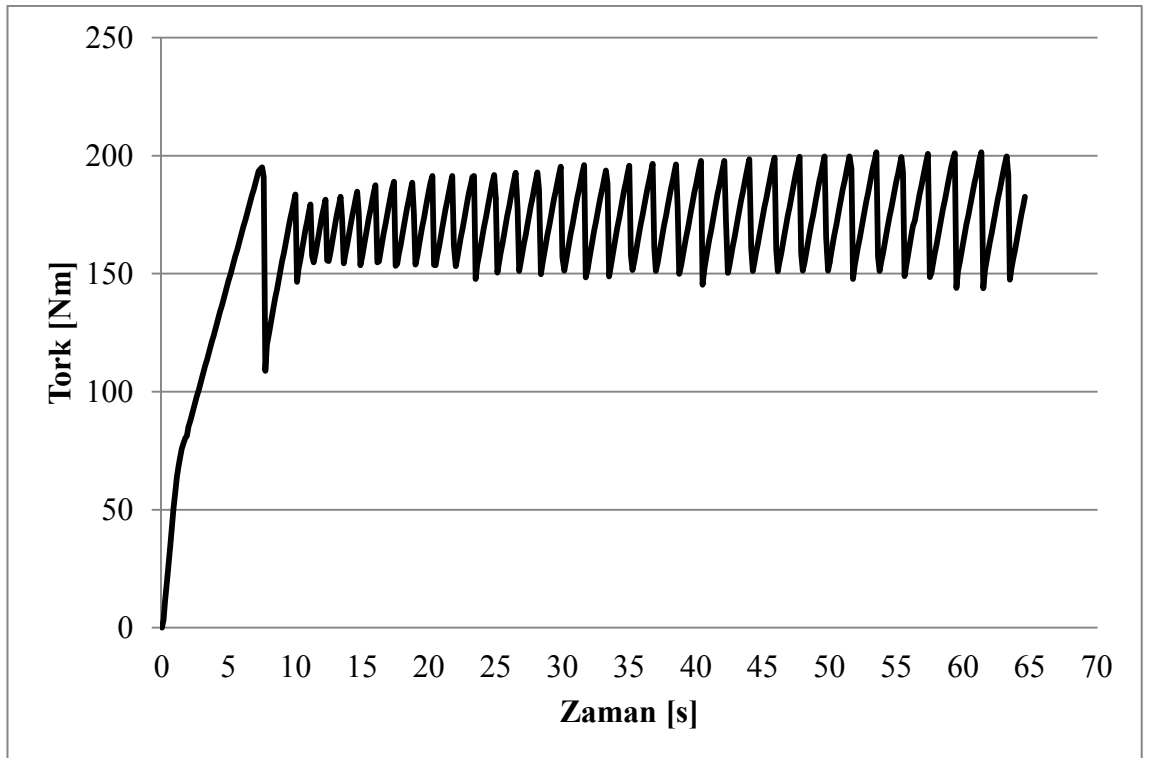
**xx. 20 numaralı deneye ilişkin veriler**

Çizelge 4.21’de 20 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.21. D20 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | SAE 304 / M34 |
| Göbek Malzemesi/ No. | Ç1040 / G5    |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.20’da 20 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.20. D20 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

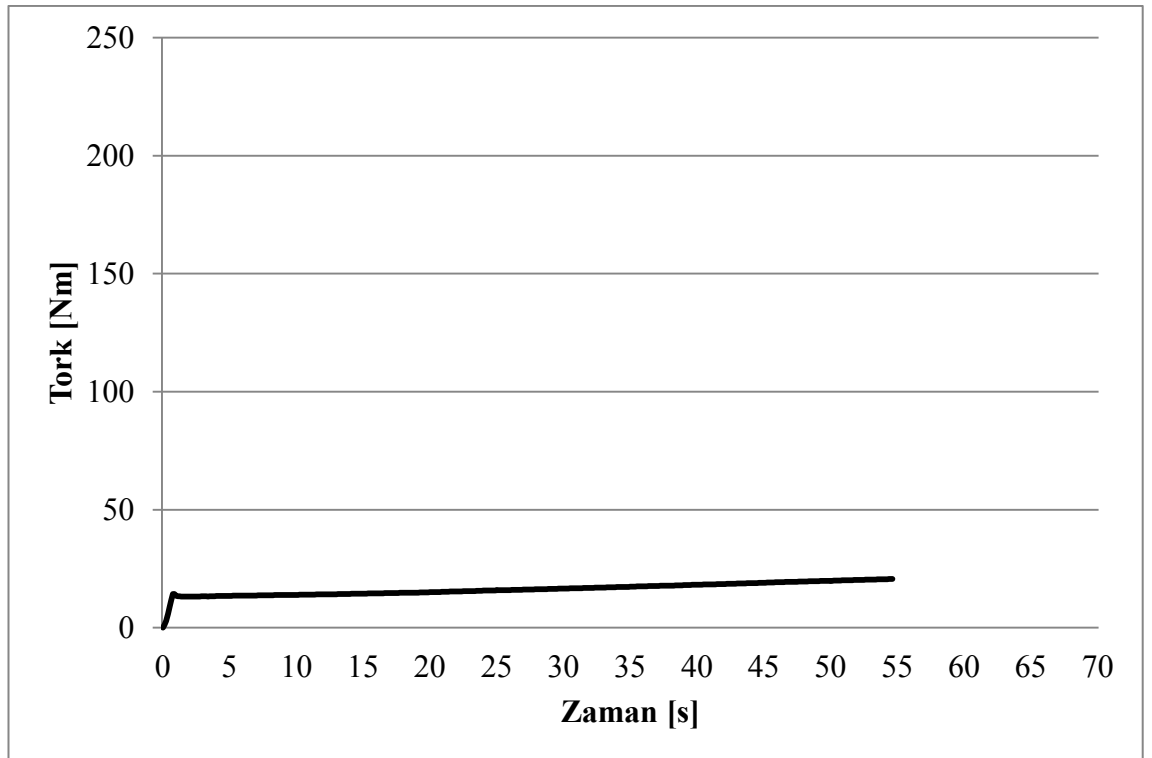
**xxi. 21 numaralı deneye ilişkin veriler**

Çizelge 4.22’de 21 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.22. D21 no.lu deney parametreleri

| <b>Parametre</b>     | <b>Değer</b>  |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | SAE 304 / M16 |
| Göbek Malzemesi/ No. | Al 6065 / G34 |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.21’de 21 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.21. D21 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

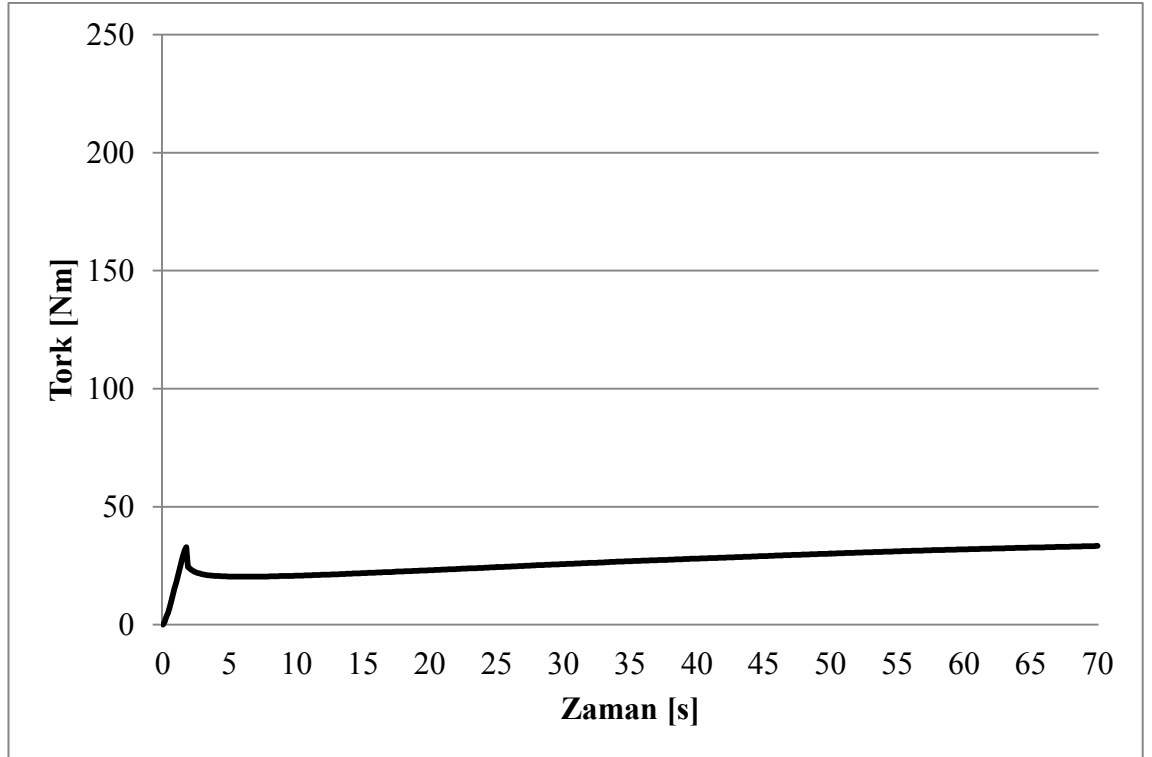
xxii. 22 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.23’de 22 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.23. D22 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | SAE 304 / M19 |
| Göbek Malzemesi/ No. | Al 6065 / G33 |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.22’de 22 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.22. D22 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

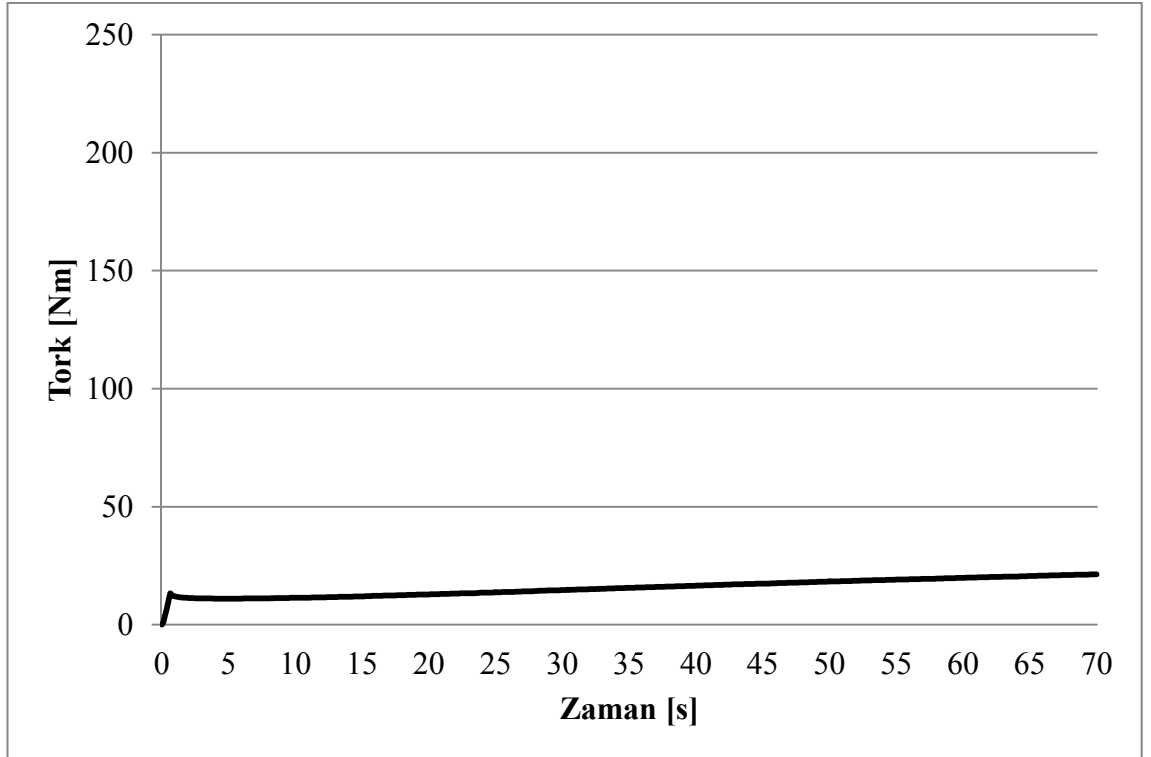
xxiii. 23 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 2.24’de 23 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.24. D23 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | SAE 304 / M21 |
| Göbek Malzemesi/ No. | Al 6065 / G35 |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.23’de 23 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.23. D23 no.lu deneyin tork-zaman grafiği



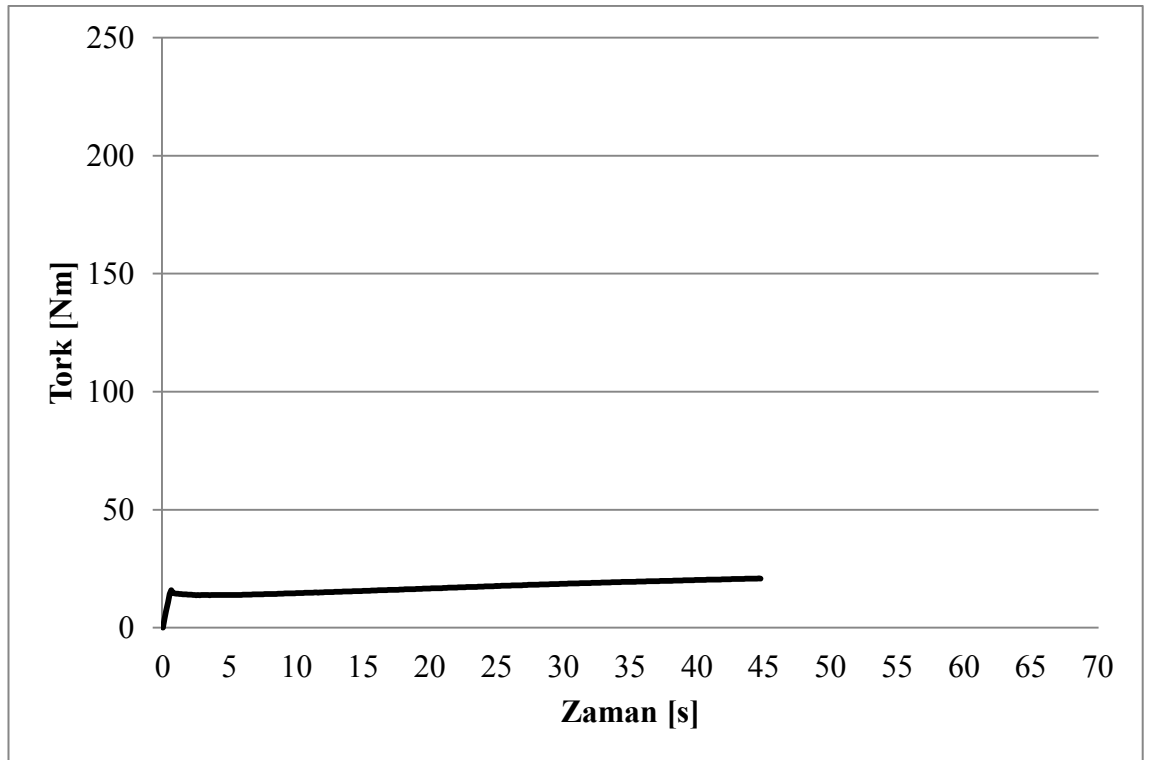
xxiv. 24 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.25’de 24 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.25. D24 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | SAE 304 / M23 |
| Göbek Malzemesi/ No. | Al 6065 / G26 |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.24’de 24 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.24. D24 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

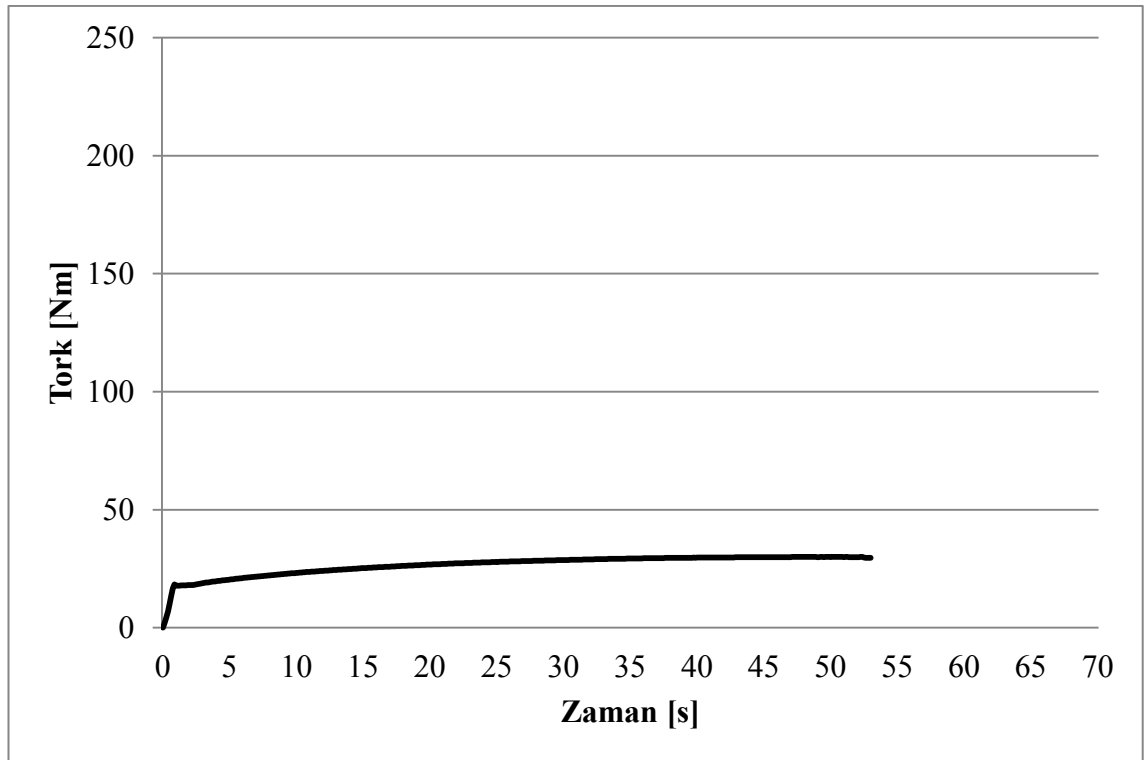
**xxv. 25 numaralı deneye ilişkin veriler**

Çizelge 4.26'da 25 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.26. D25 no.lu deney parametreleri

| <b>Parametre</b>     | <b>Değer</b>  |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | SAE 304 / M25 |
| Göbek Malzemesi/ No. | Al 6065 / G32 |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.25'de 25 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.25. D25 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

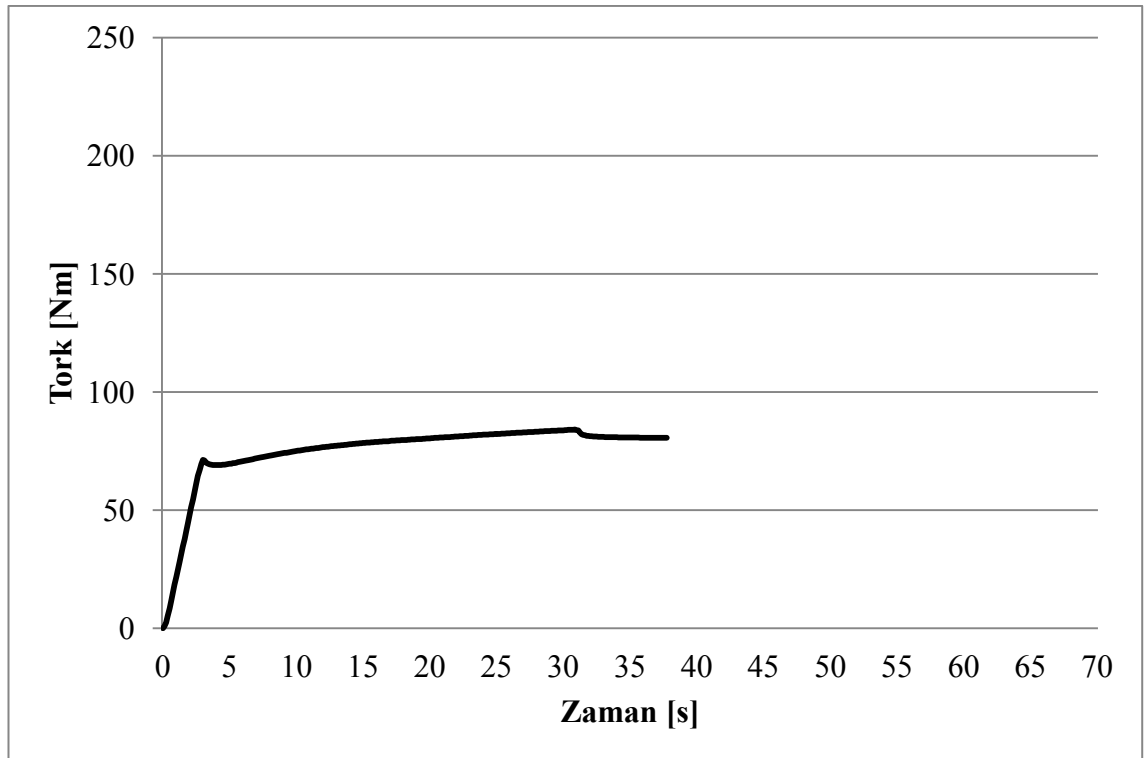
xxvi. 26 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.27’de 26 no.lu deneye ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.27. D26 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi / No.  | SAE 304 / M17 |
| Göbek Malzemesi/ No. | Pirinç / GXX  |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.26’da 26 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.26. D26 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

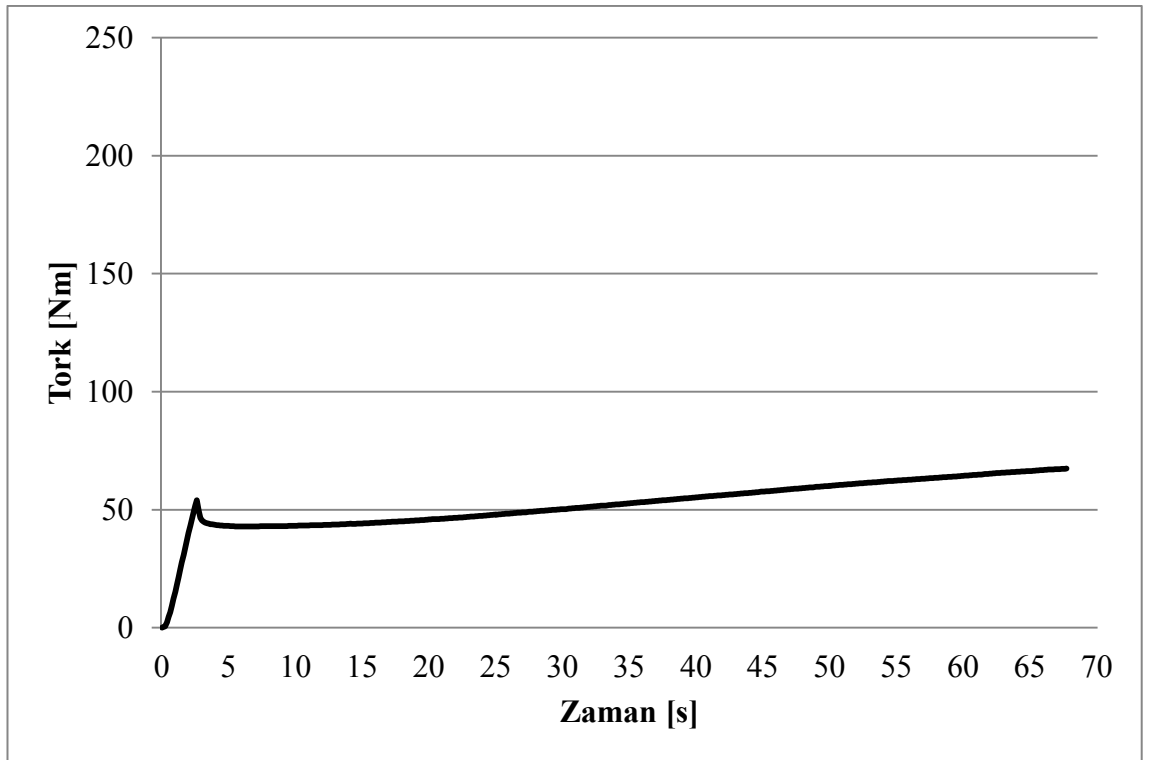
xxvii. 27 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.28’de 27 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.28. D27 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | SAE 304 /M20  |
| Göbek Malzemesi /No. | Pirinç /G22   |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.27’de 27 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.27. D27 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

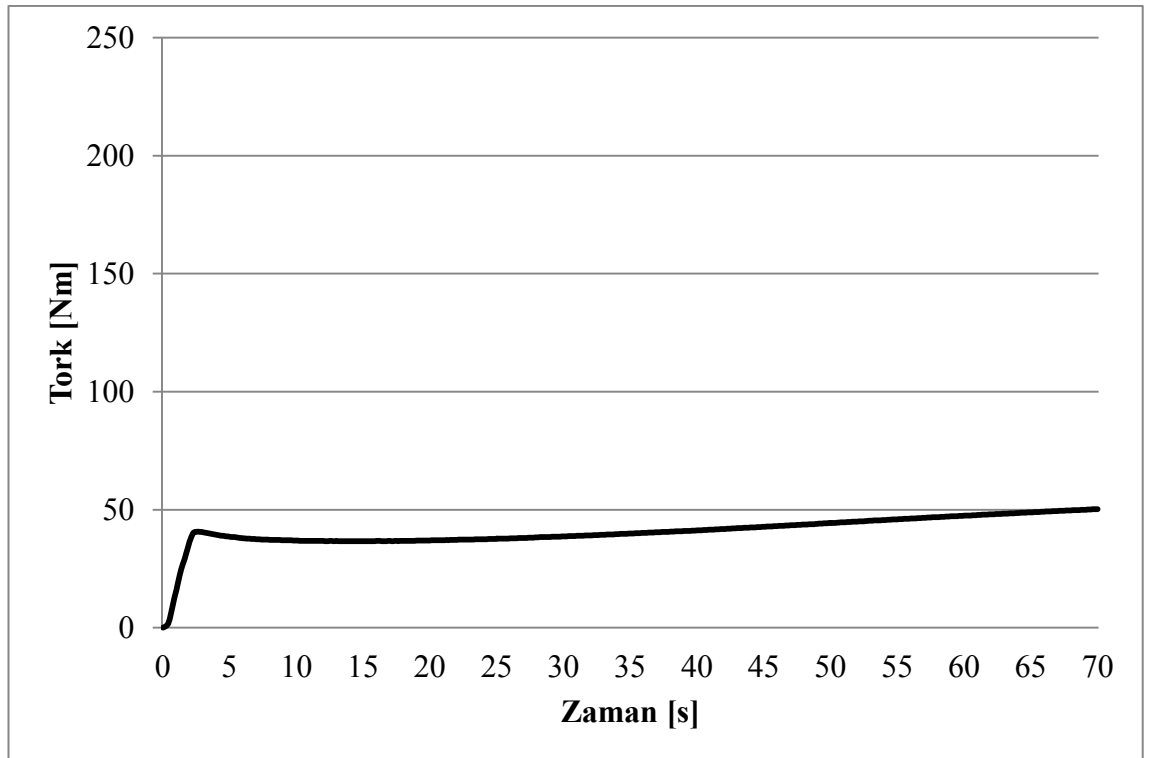
xxviii. 28 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 2.29’da 28 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.29. D28 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | SAE 304 /M26  |
| Göbek Malzemesi /No. | Pirinç /G24   |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.28’de 28 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.28. D28 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

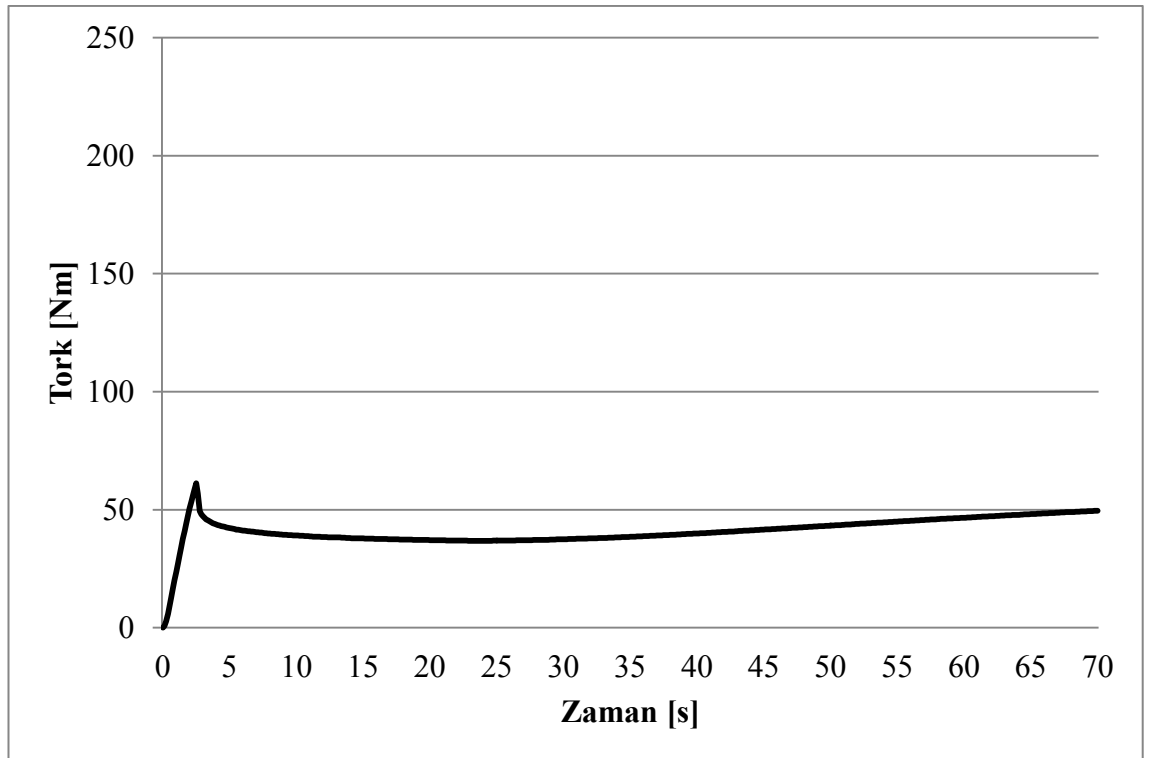
**xxix. 29 numaralı deneye ilişkin veriler**

Çizelge 4.30'da 29 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.30. D29 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | SAE 304 /M28  |
| Göbek Malzemesi /No. | Pirinç /G25   |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.29'da 29 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.29. D29 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

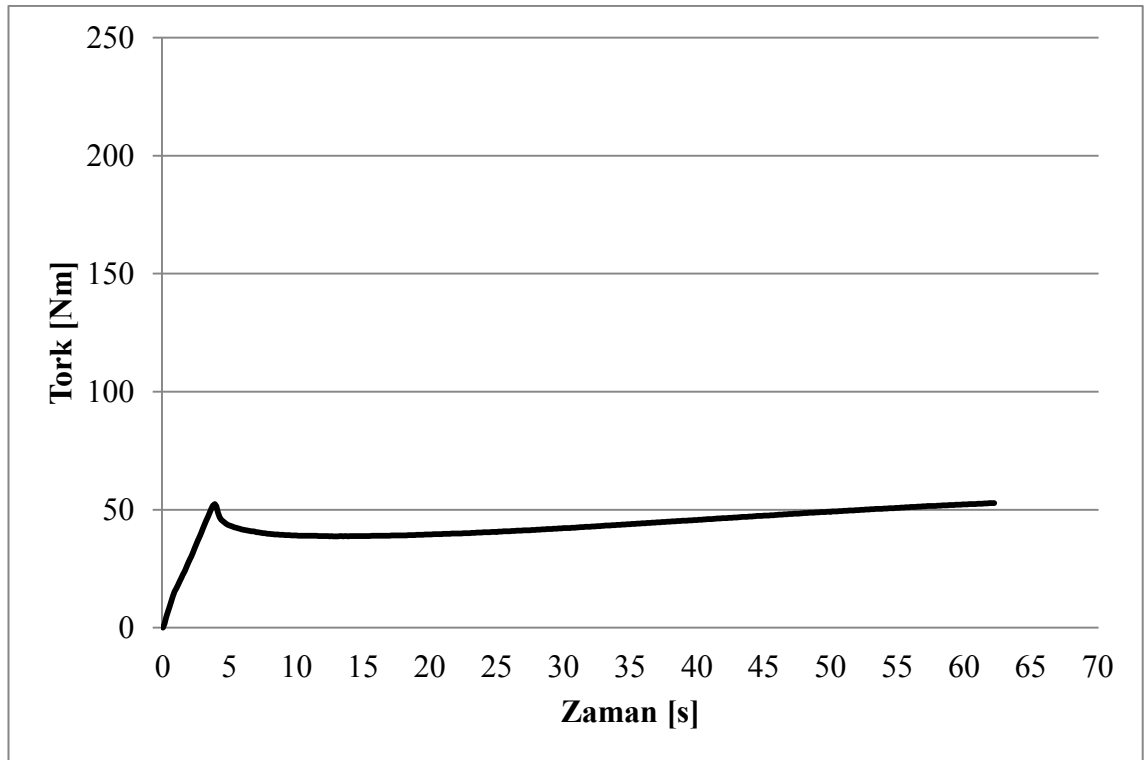
**xxx. 30 numaralı deneye ilişkin veriler**

Çizelge 4.31’de 30 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.31. D30 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | SAE 304 /M35  |
| Göbek Malzemesi /No. | Pirinç /G23   |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.30’da 30 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.30. D30 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

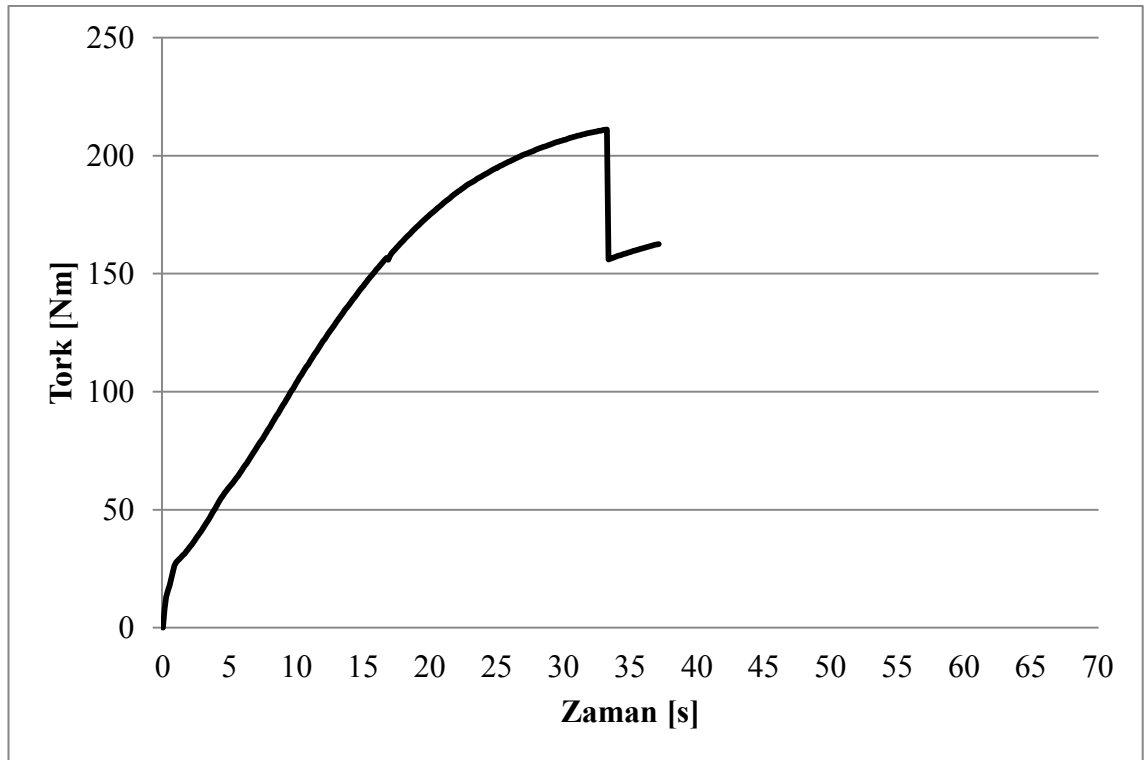
xxxi. 31 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.32’de 31 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.32. D31 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | SAE 304 /M24  |
| Göbek Malzemesi /No. | SAE 304 /G12  |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.31’de 31 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.31. D31 no.lu deneyin tork-zaman grafiği



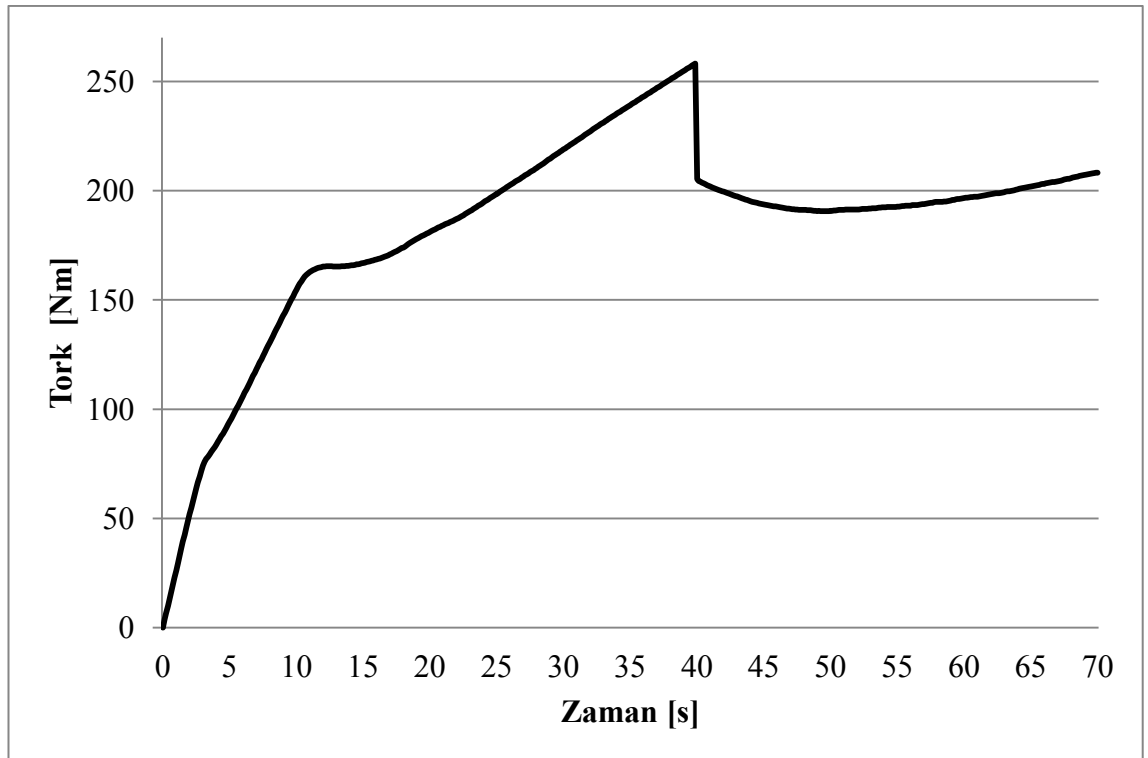
xxxii. 32 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.33’de 32 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.33. D32 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | SAE 304 /M32  |
| Göbek Malzemesi /No. | SAE 304 /G14  |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.32’de 32 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.32. D32 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

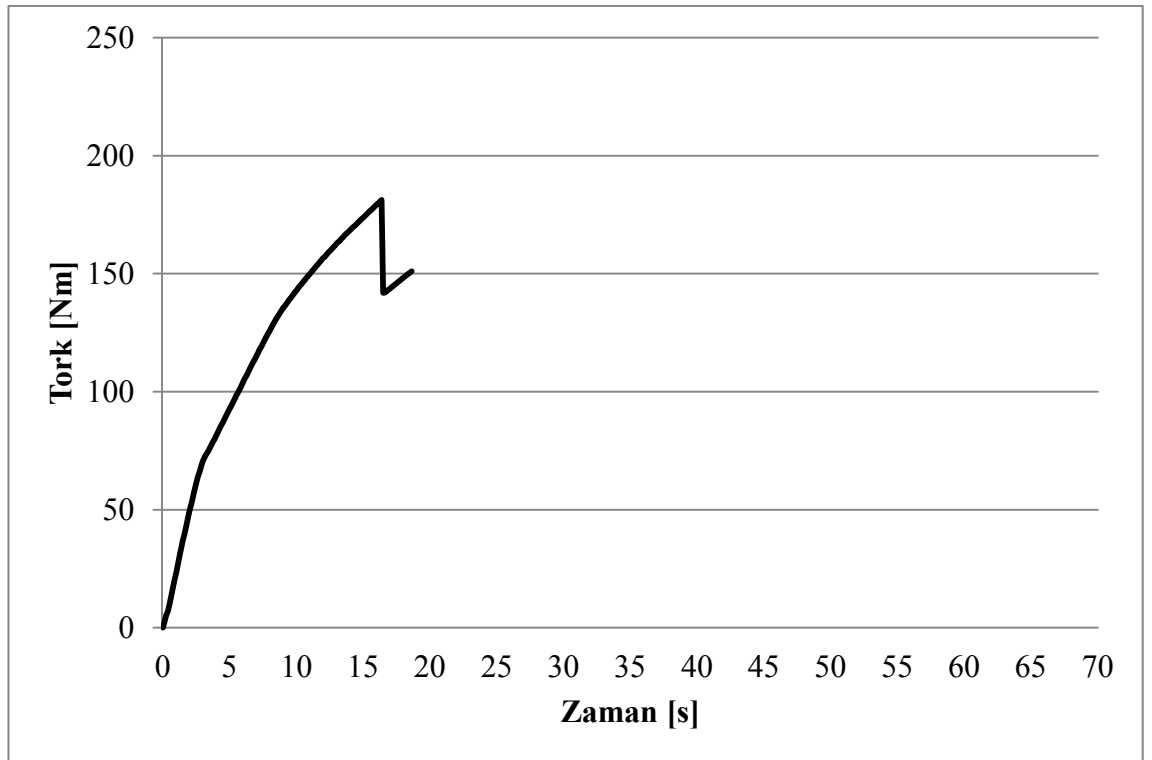
xxxiii. 33 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.34’de 33 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.34. D33 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | SAE 304 /M24  |
| Göbek Malzemesi /No. | SAE 304 /G12  |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.33’de 33 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.33. D33 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

xxxiv. 34 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.35’de 34 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.35. D34 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | SAE 304 /M24  |
| Göbek Malzemesi /No. | SAE 304 /G12  |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.34’de 34 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.34. D34 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

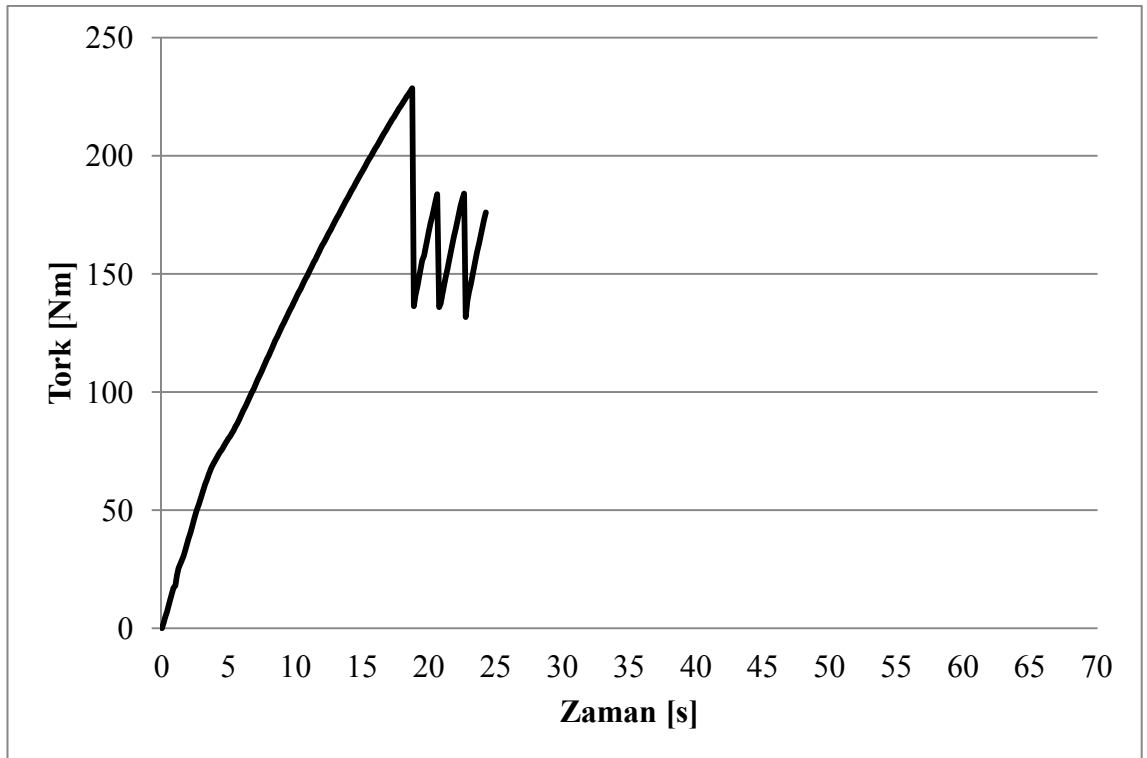
xxxv. 35 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.36'da 35 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.36. D35 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | SAE 304 /M24  |
| Göbek Malzemesi /No. | SAE 304 /G12  |
| Nominal çap          | 20 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.35'de 35 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.35. D35 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

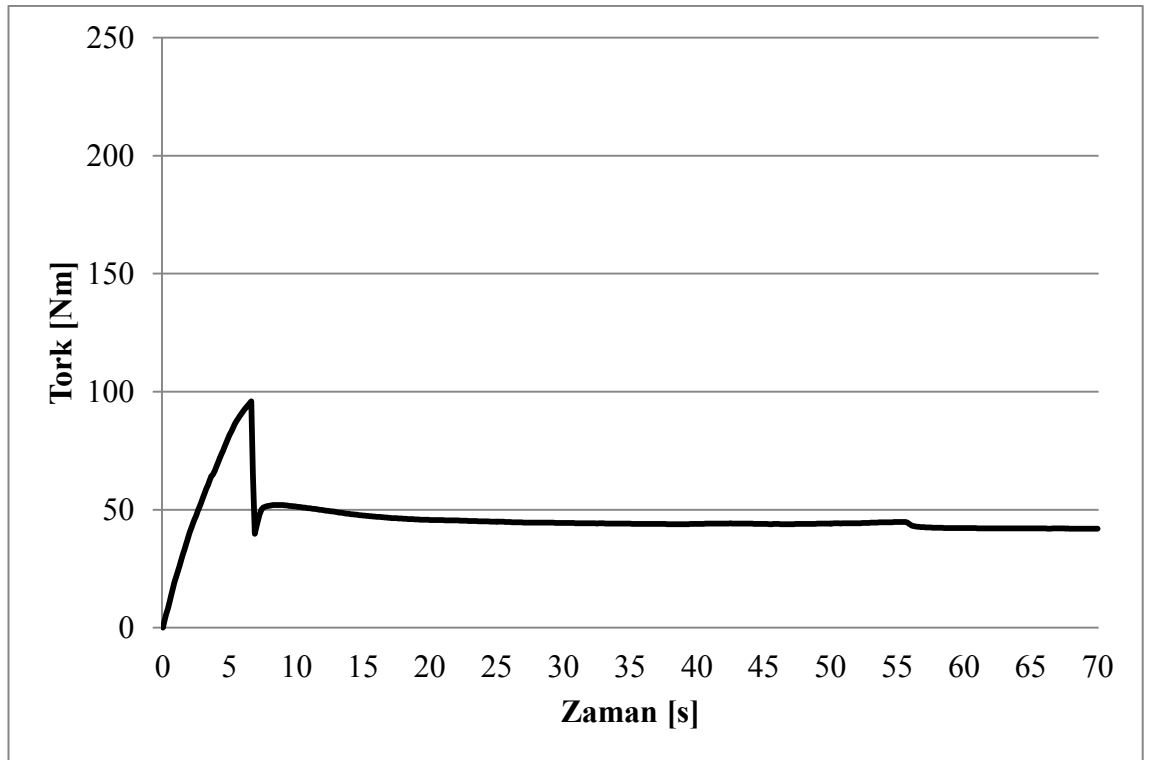
xxxvi. 36 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.37’de 36 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.37. D36 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M36    |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G39    |
| Nominal çap          | 16 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.36’da 36 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.36. D36 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

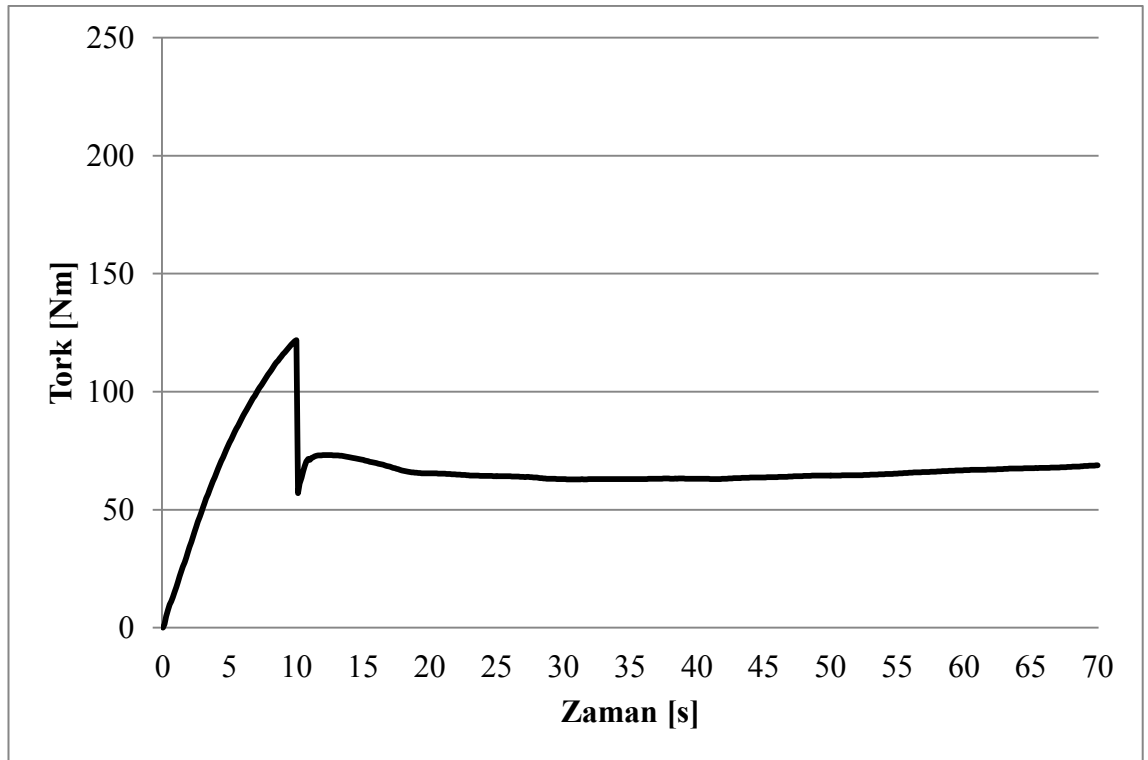
xxxvii. 37 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.38’de 37 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.38. D37 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M44    |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G36    |
| Nominal çap          | 16 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.37’de 37 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.37. D37 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

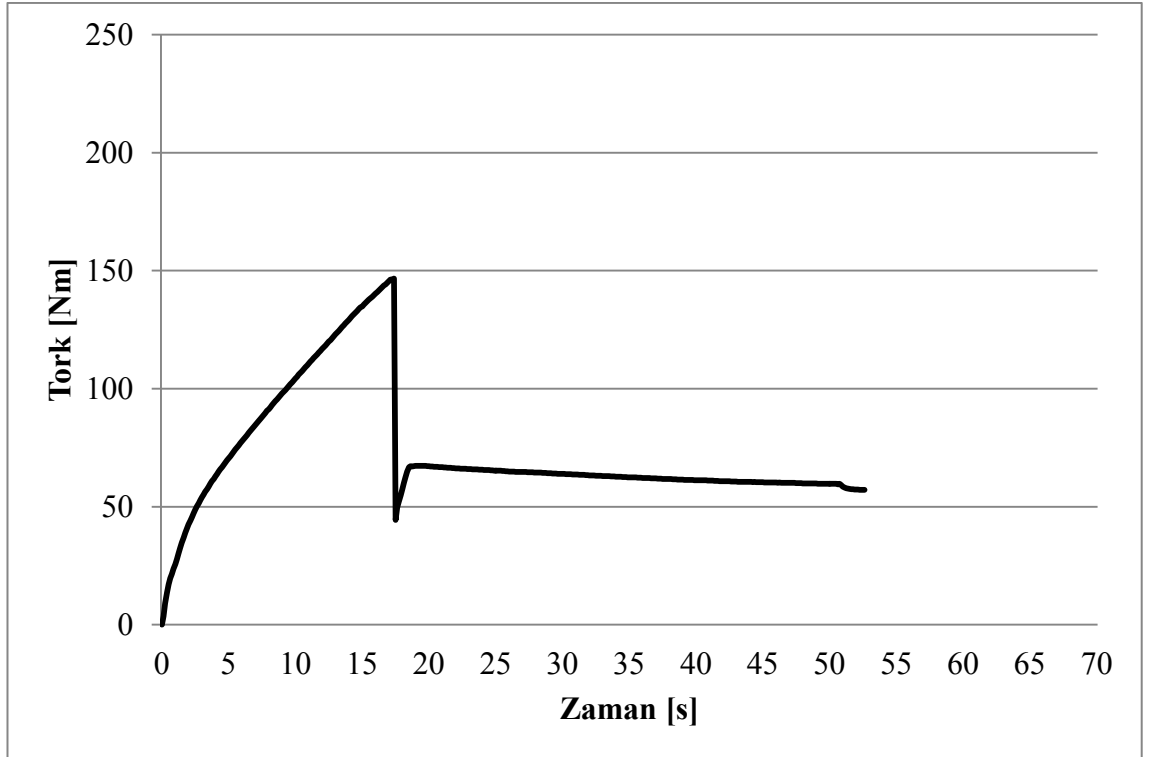
xxxviii. 38 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.39’da 38 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.39. D38 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M38    |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G37    |
| Nominal çap          | 16 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.38’de 38 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.38. D38 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

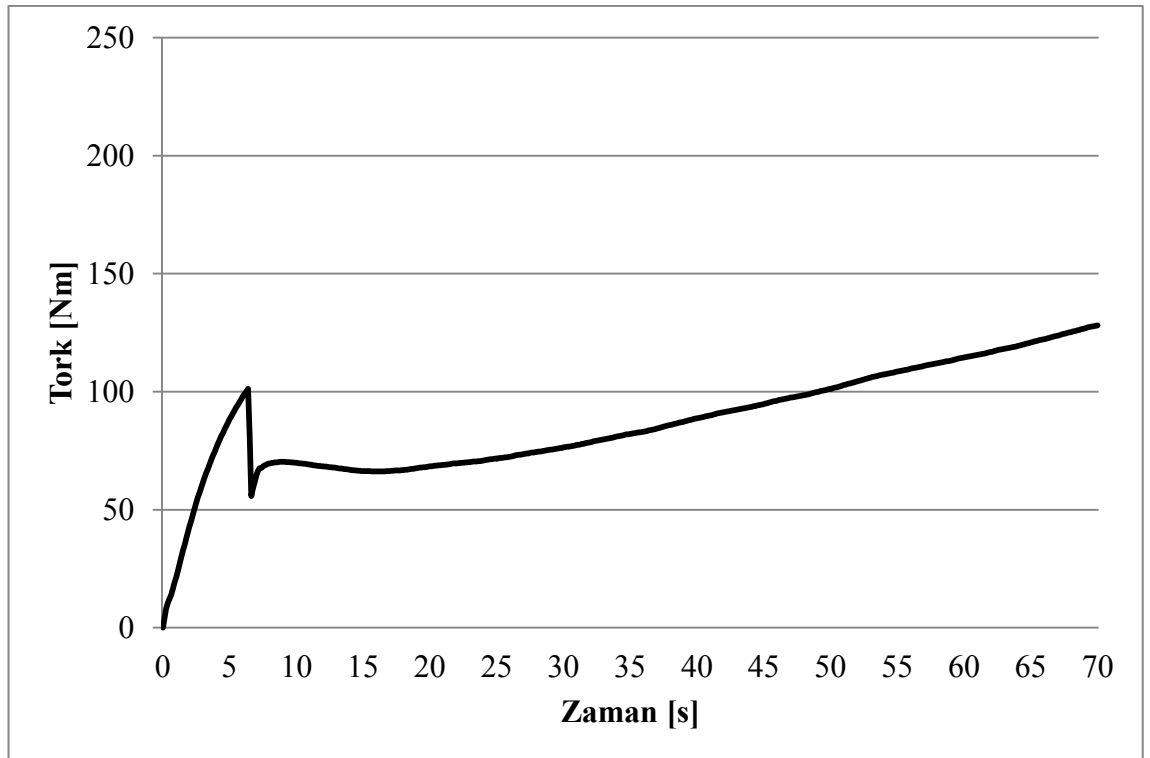
xxxix. 39 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.40'da 39 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.40. D39 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M39    |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G38    |
| Nominal çap          | 16 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.39'da 39 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.39. D39 no.lu deneyin tork-zaman grafiği



#### xl. 40 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.41’de 40 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.41. D40 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M40    |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G40    |
| Nominal çap          | 16 mm         |
| Göbek dış çapı       | 30 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.40’da 40 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.40. D40 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

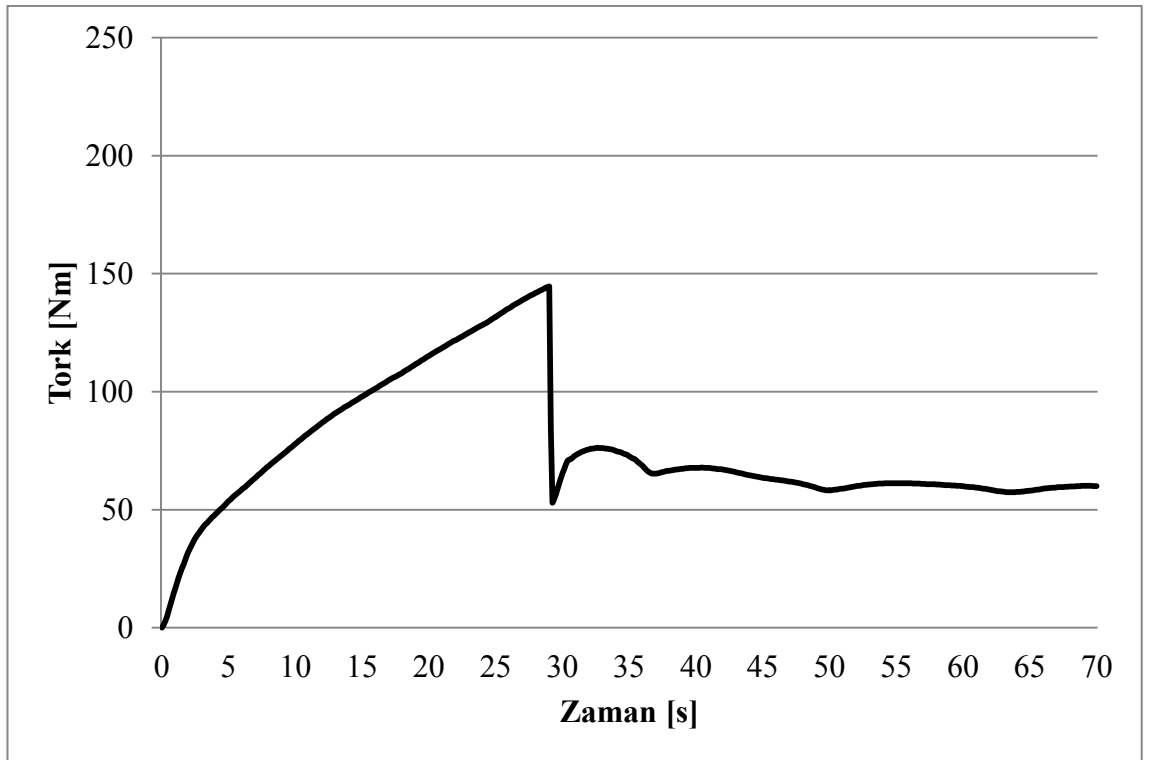
xli. 41 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.42’de 41 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.42. D41 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M41    |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G41    |
| Nominal çap          | 16 mm         |
| Göbek dış çapı       | 24 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.41de 41 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.41. D41 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

xlii. 42 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.43’de 42 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.43. D42 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M42    |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G43    |
| Nominal çap          | 16 mm         |
| Göbek dış çapı       | 24 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.42’de 42 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.42. D42 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

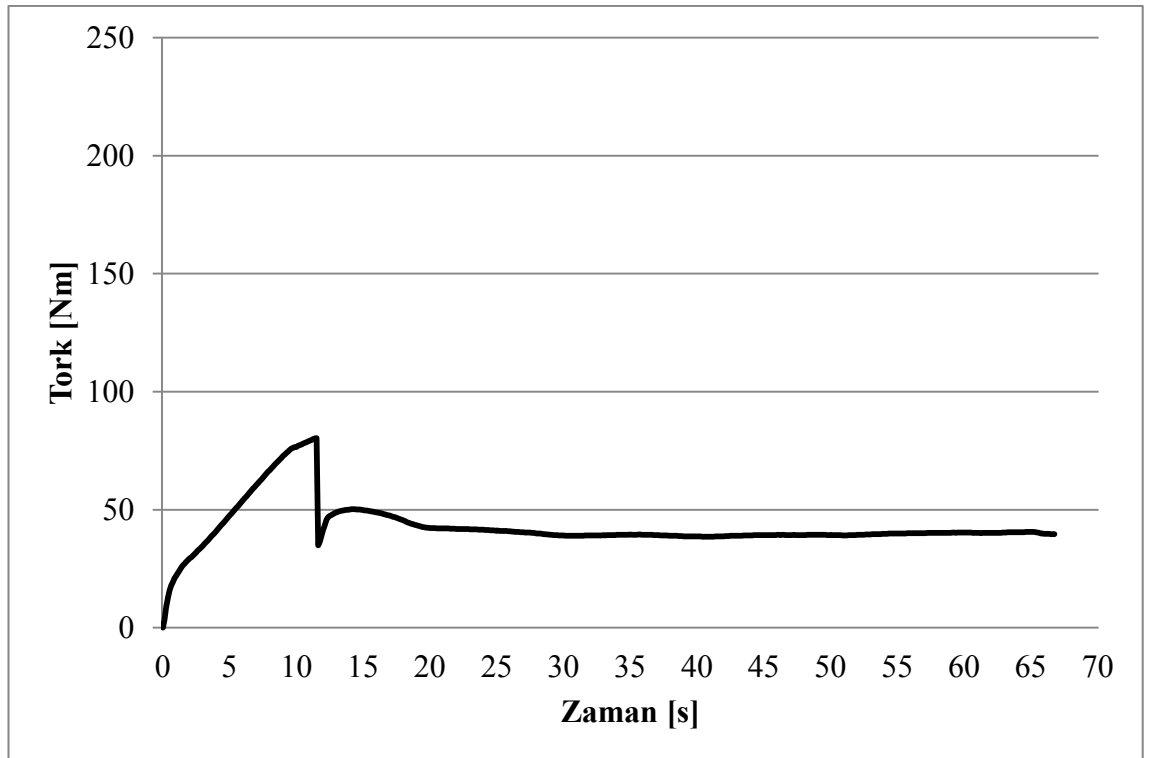
xliii. 43 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.44’de 43 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.44. D43 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M43    |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G45    |
| Nominal çap          | 16 mm         |
| Göbek dış çapı       | 24 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.43’de 43 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.43. D43 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

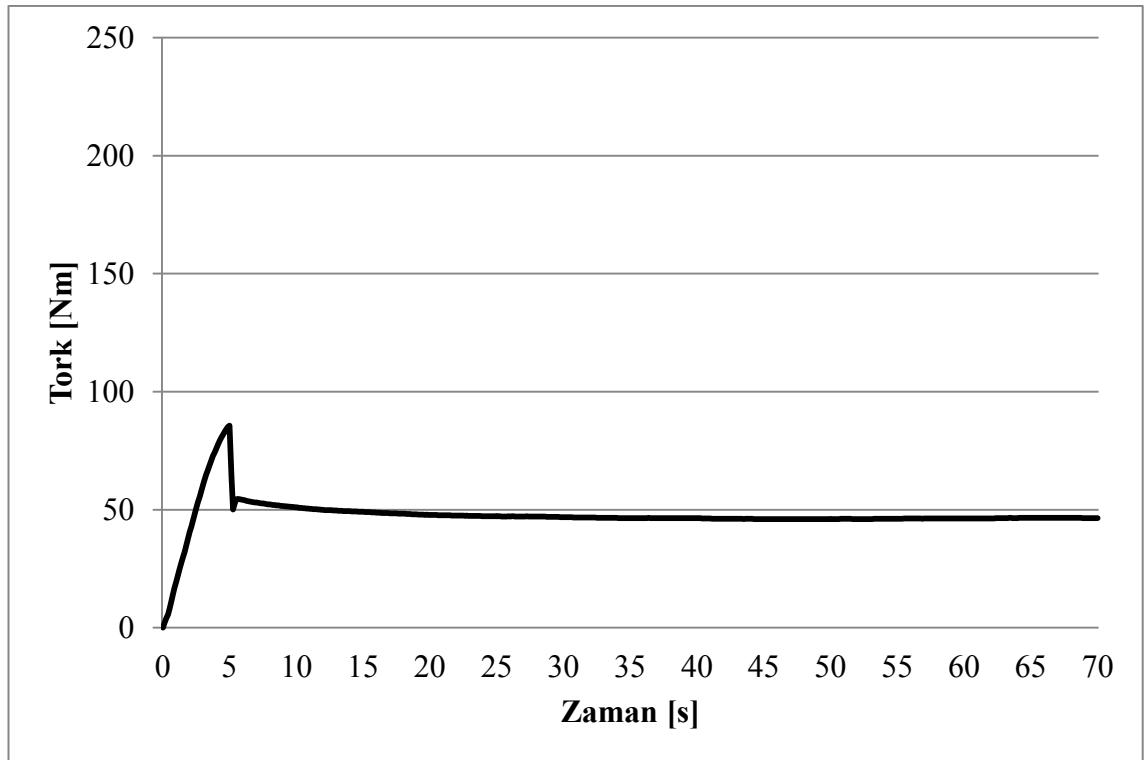
**xliv. 44 numaralı deneye ilişkin veriler**

Çizelge 4.45’de 44 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.45. D44 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M37    |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G44    |
| Nominal çap          | 16 mm         |
| Göbek dış çapı       | 24 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.44’de 44 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.44. D44 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

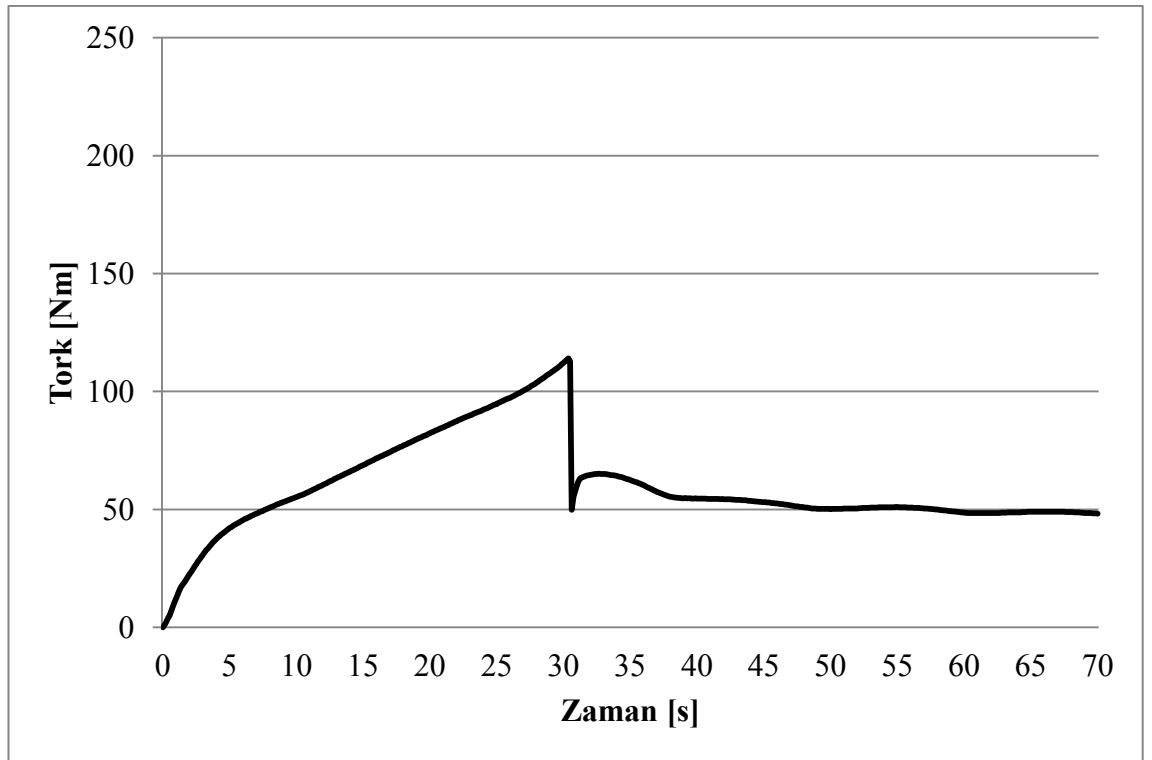
xlv. 45 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.46’da 45 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.46. D45 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer         |
|----------------------|---------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M45    |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G42    |
| Nominal çap          | 16 mm         |
| Göbek dış çapı       | 24 mm         |
| Sıcaklık             | Oda sıcaklığı |

Şekil 4.45’de 45 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.45. D45 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

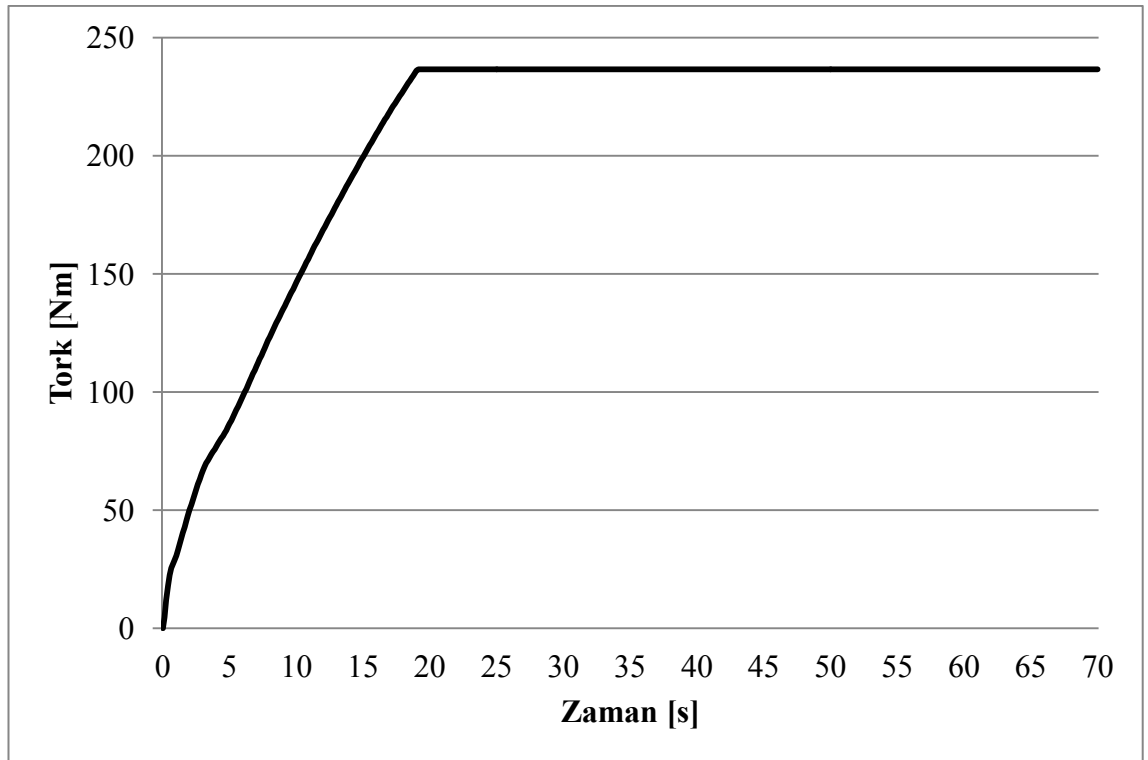
**xlvi. 46 numaralı deneye ilişkin veriler**

Çizelge 4.47’de 46 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.47. D46 no.lu deney parametreleri

| <b>Parametre</b>     | <b>Değer</b>      |
|----------------------|-------------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M46        |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G49        |
| Nominal çap          | 20 mm             |
| Göbek dış çapı       | 30 mm             |
| Sıcaklık             | Çalışma sıcaklığı |

Şekil 4.46’da 46 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.46. D46 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

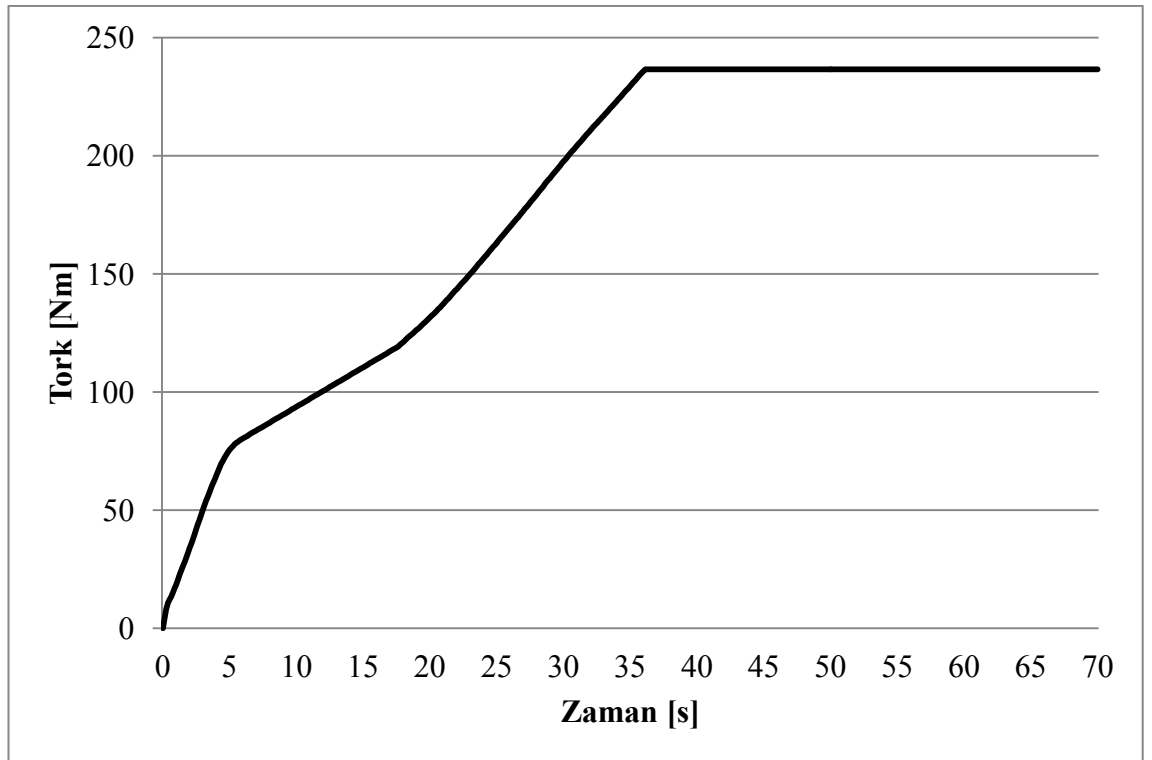
xlvi. 47 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.48’de 47 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.48. D47 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer             |
|----------------------|-------------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M47        |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G53        |
| Nominal çap          | 20 mm             |
| Göbek dış çapı       | 30 mm             |
| Sıcaklık             | Çalışma sıcaklığı |

Şekil 4.47’de 47 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.47. D47 no.lu deneyin tork-zaman grafiği



xlvi. 48 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.49’da 48 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.49. D48 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer             |
|----------------------|-------------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M48        |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G55        |
| Nominal çap          | 20 mm             |
| Göbek dış çapı       | 30 mm             |
| Sıcaklık             | Çalışma sıcaklığı |

Şekil 4.48’de 48 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.48. D48 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

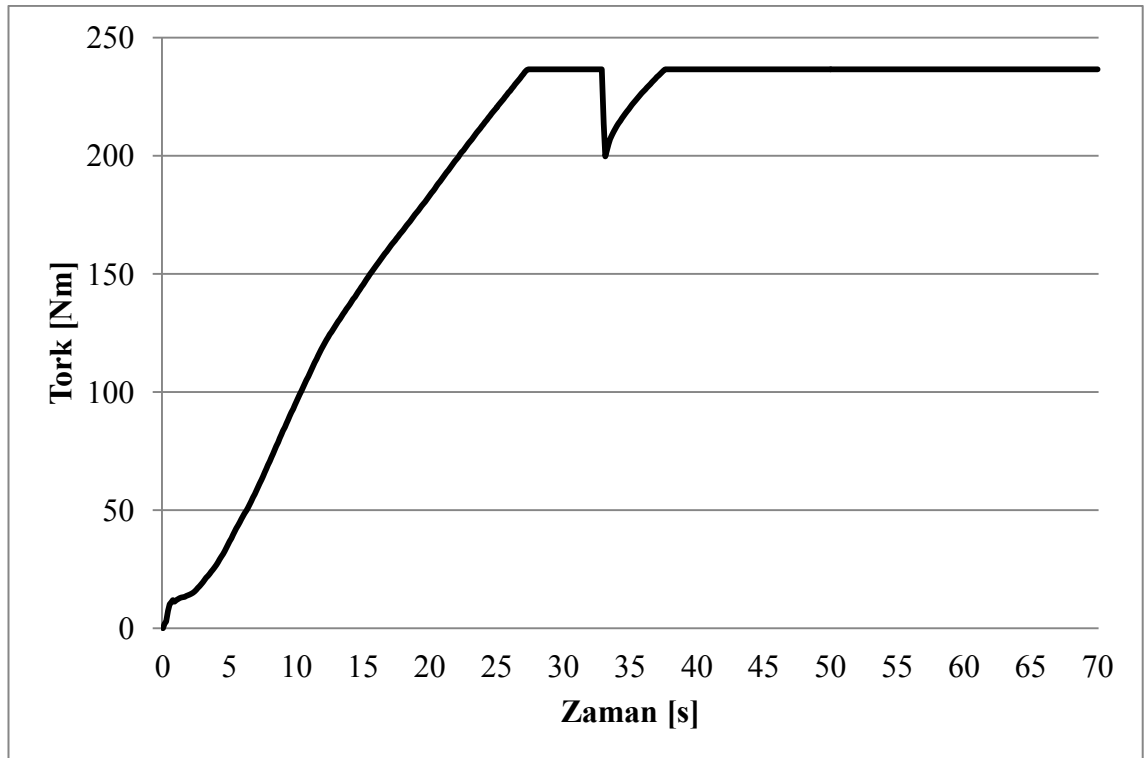
**xlix. 49 numaralı deneye ilişkin veriler**

Çizelge 4.50’de 49 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.50. D49 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer             |
|----------------------|-------------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M49        |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G54        |
| Nominal çap          | 20 mm             |
| Göbek dış çapı       | 30 mm             |
| Sıcaklık             | Çalışma sıcaklığı |

Şekil 4.49’da 49 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.49. D49 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

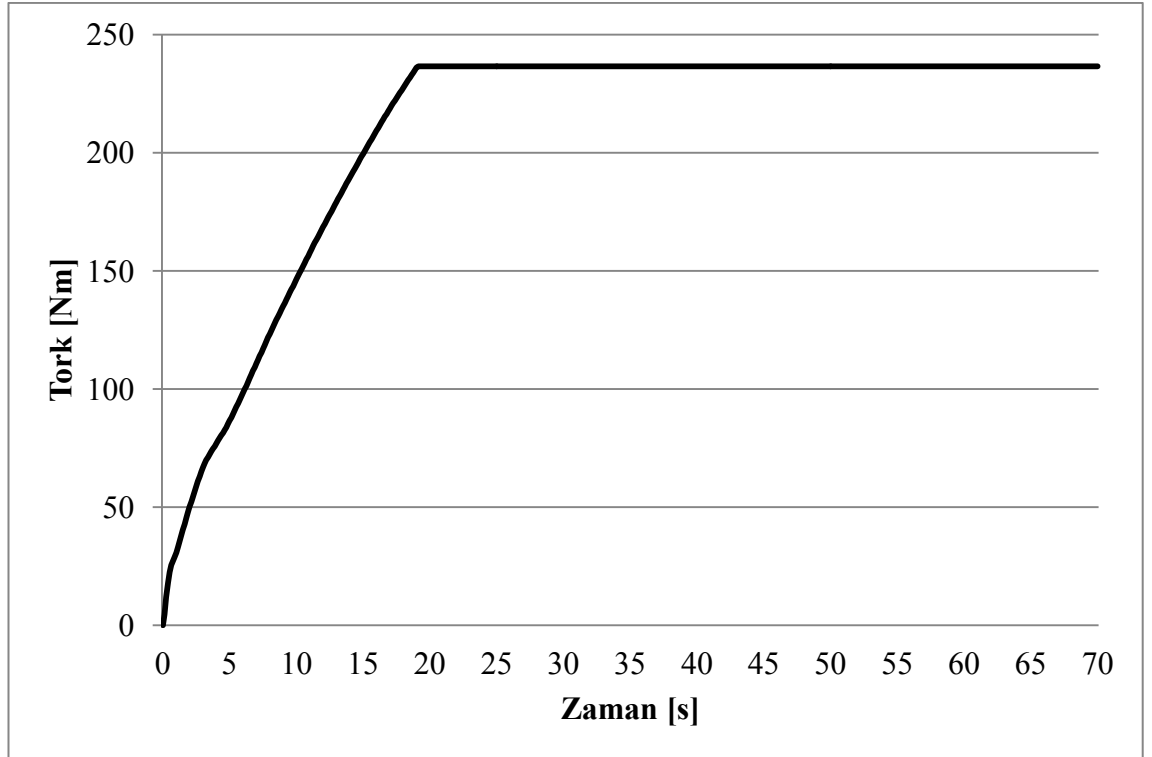
## I. 50 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.51’de 50 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.51. D50 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer             |
|----------------------|-------------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M50        |
| Göbek Malzemesi /No. | Ç1040 /G50        |
| Nominal çap          | 20 mm             |
| Göbek dış çapı       | 30 mm             |
| Sıcaklık             | Çalışma sıcaklığı |

Şekil 50’de 50 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.50. D50 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

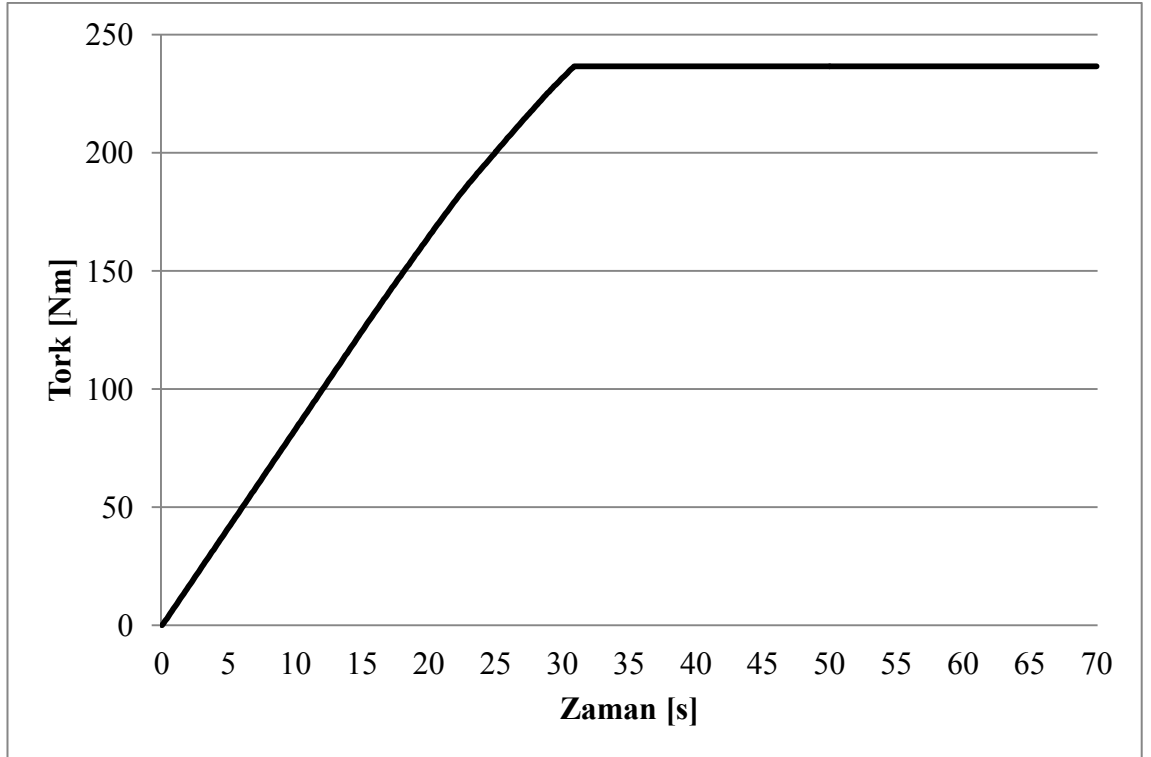
## ii. 51 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.52’de 51 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.52. D51 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer             |
|----------------------|-------------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M51        |
| Göbek Malzemesi /No. | SAE 304 /G48      |
| Nominal çap          | 20 mm             |
| Göbek dış çapı       | 30 mm             |
| Sıcaklık             | Çalışma sıcaklığı |

Şekil 4.51’de 51 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.51. D51 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

lii. 52 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.53’de 52 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.53. D52 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer             |
|----------------------|-------------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M52        |
| Göbek Malzemesi /No. | SAE 304 /G47      |
| Nominal çap          | 20 mm             |
| Göbek dış çapı       | 30 mm             |
| Sıcaklık             | Çalışma sıcaklığı |

Şekil 4.52’de 52 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.52. D52 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

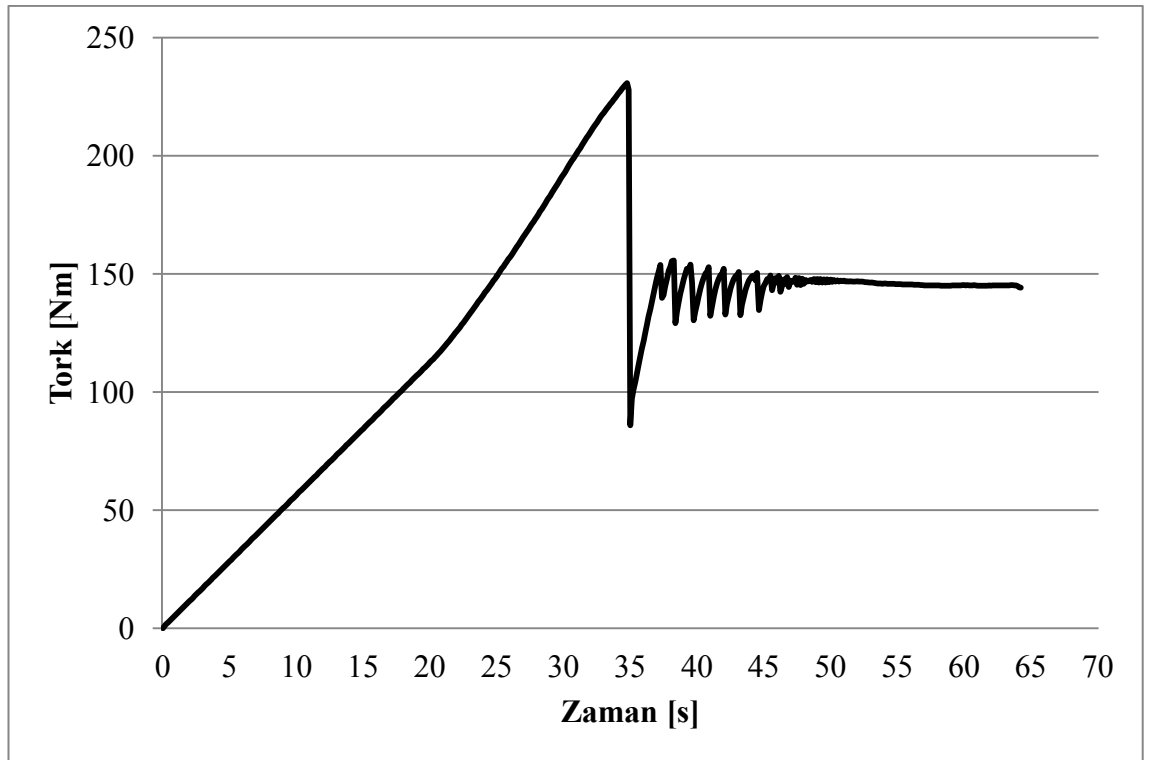
liii. 53 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.54’de 53 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.54. D53 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer             |
|----------------------|-------------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M53        |
| Göbek Malzemesi /No. | SAE304 /G51       |
| Nominal çap          | 20 mm             |
| Göbek dış çapı       | 30 mm             |
| Sıcaklık             | Çalışma sıcaklığı |

Şekil 4.53’de 53 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.53. D53 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

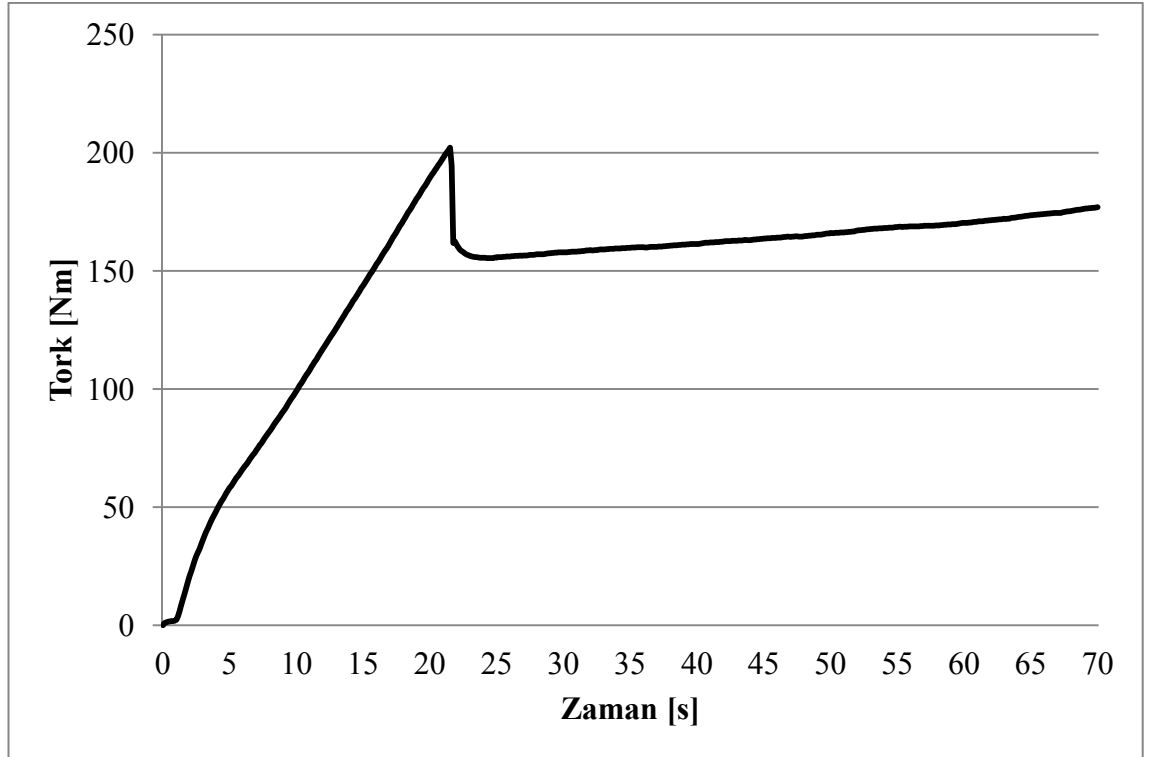
**liv. 54 numaralı deneye ilişkin veriler**

Çizelge 4.55’de 54 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.55. D54 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer             |
|----------------------|-------------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M54        |
| Göbek Malzemesi /No. | SAE 304 /G46      |
| Nominal çap          | 20 mm             |
| Göbek dış çapı       | 30 mm             |
| Sıcaklık             | Çalışma sıcaklığı |

Şekil 4.54’de 54 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.54. D54 no.lu deneyin tork-zaman grafiği

#### iv. 55 numaralı deneye ilişkin veriler

Çizelge 4.56'da 55 no.lu deneyde ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 4.56. D55 no.lu deney parametreleri

| Parametre            | Değer             |
|----------------------|-------------------|
| Mil Malzemesi/ No.   | Ç1040 /M55        |
| Göbek Malzemesi /No. | SAE 304 /G52      |
| Nominal çap          | 20 mm             |
| Göbek dış çapı       | 30 mm             |
| Sıcaklık             | Çalışma sıcaklığı |

Şekil 4.55'de 55 no.lu deneyde elde edilen grafik verilmiştir.



Şekil 4.55. D55 no.lu deneyin tork-zaman grafiği



### 4.3. Deney Sonuçlarının Doğrusallaştırılması

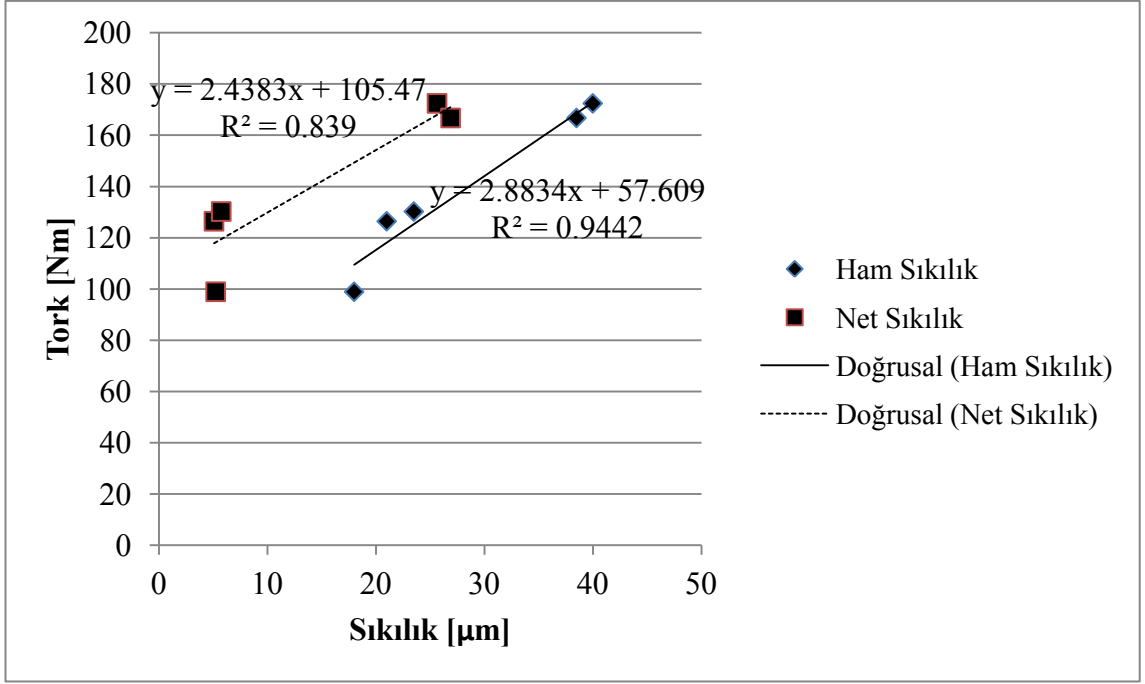
Tork taşıma kapasitesi, deneylerden elde edilen grafiklerde sıkı geçme bağlantının mil-göbek çifti arasında ilk izafi hareketin başladığı andaki değerler olarak belirlenmiştir.

Bu değerlerin mil-göbek çifti arasındaki sıklığa bağlı olarak regresyon analizi yapılmıştır. Doğrusallaştırılmış sonuçlar sayesinde daha fazla tahmin yapılabilecektir.

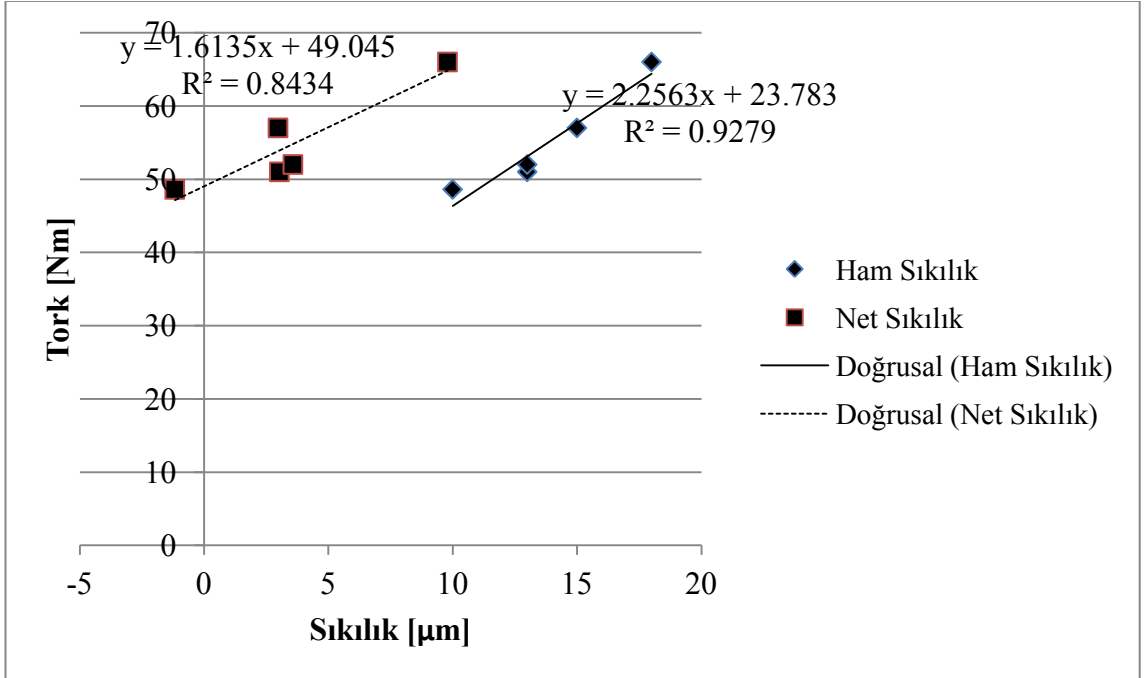
Çizelge 4.57’de deney serilerine (DS) ilişkin parametreler ve Şekil 4.46’dan Şekil 4.65’e kadar olan grafiklerde deney serilerine ait doğrusallaştırılmış grafikler verilmiştir.

Çizelge 4.57. Deney serilerine ilişkin parametreler

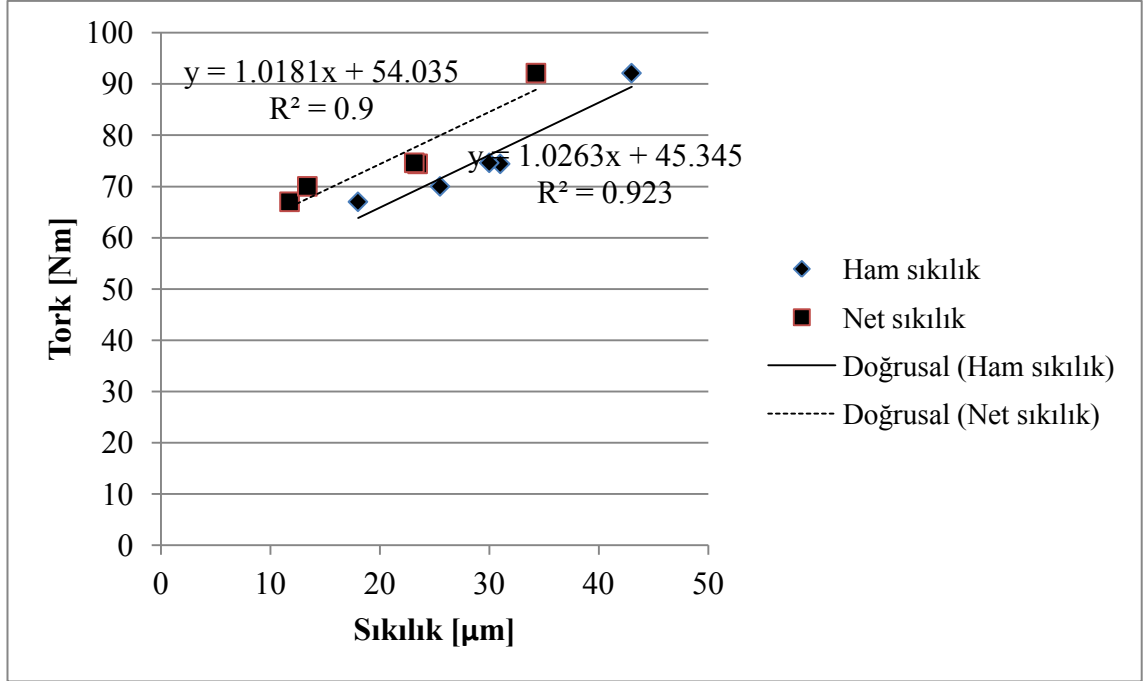
|             | <b>Mil<br/>Malzemesi</b> | <b>Göbek<br/>Malzemesi</b> | <b>Nominal Çap<br/>[mm]</b> | <b>Göbek Dış Çapı<br/>[mm]</b> | <b>Sıcaklık</b> |
|-------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------|
| <b>DS1</b>  | Ç1040                    | Ç1040                      | 20                          | 30                             | Oda             |
| <b>DS2</b>  | Ç1040                    | Al-6063                    | 20                          | 30                             | Oda             |
| <b>DS3</b>  | Ç1040                    | Pirinç                     | 20                          | 30                             | Oda             |
| <b>DS4</b>  | SAE 304                  | Ç1040                      | 20                          | 30                             | Oda             |
| <b>DS5</b>  | SAE 304                  | Al-6063                    | 20                          | 30                             | Oda             |
| <b>DS6</b>  | SAE 304                  | Pirinç                     | 20                          | 30                             | Oda             |
| <b>DS7</b>  | SAE 304                  | SAE 304                    | 20                          | 30                             | Oda             |
| <b>DS8</b>  | Ç1040                    | Ç1040                      | 16                          | 30                             | Oda             |
| <b>DS9</b>  | Ç1040                    | Ç1040                      | 16                          | 20                             | Oda             |
| <b>DS10</b> | Ç1040                    | Ç1040                      | 20                          | 30                             | Çalışma         |
| <b>DS11</b> | SAE 304                  | Ç1040                      | 20                          | 30                             | Çalışma         |



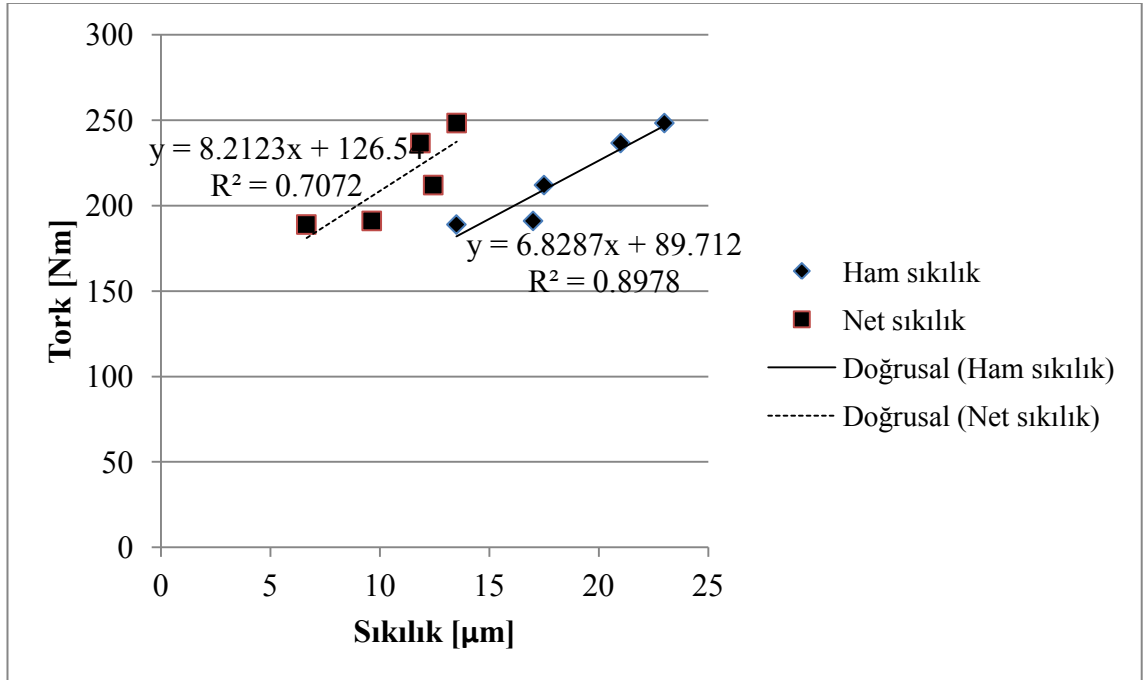
Şekil 4.56. DS1 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik



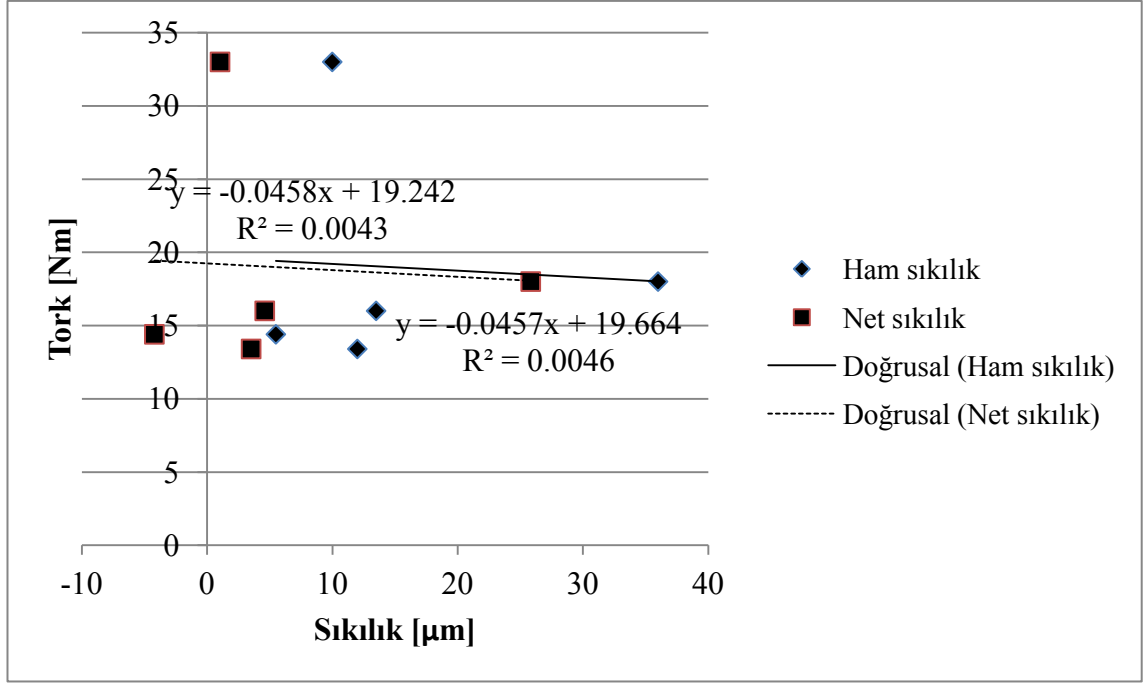
Şekil 4.57. DS2 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik



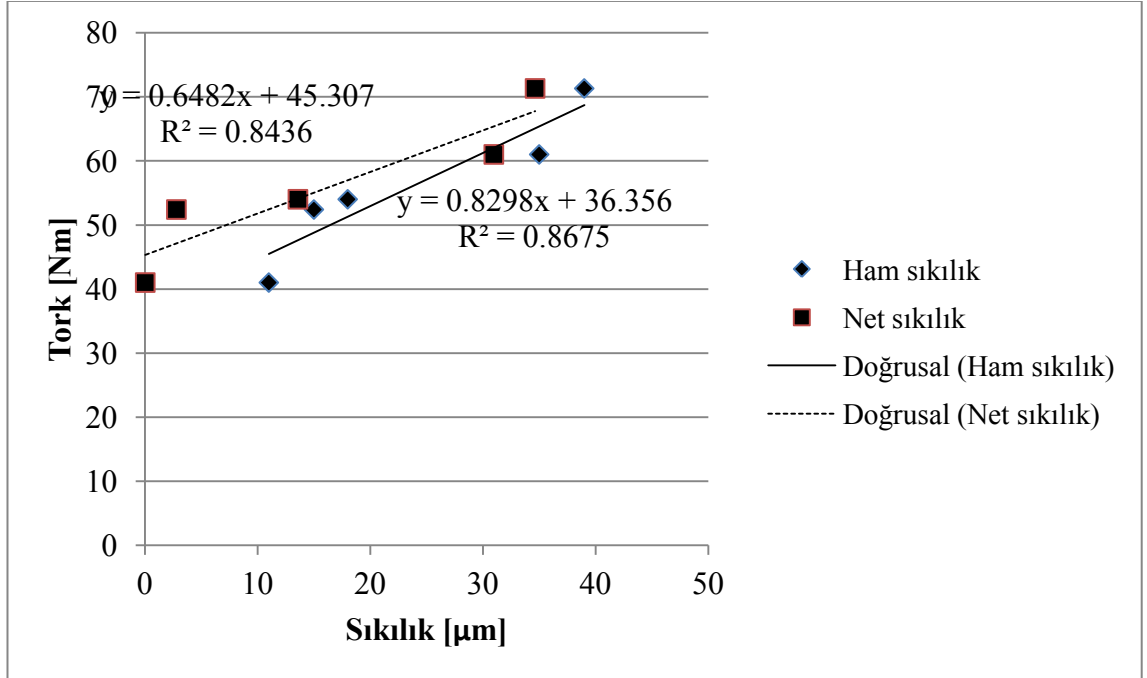
Şekil 4.58. DS3 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik



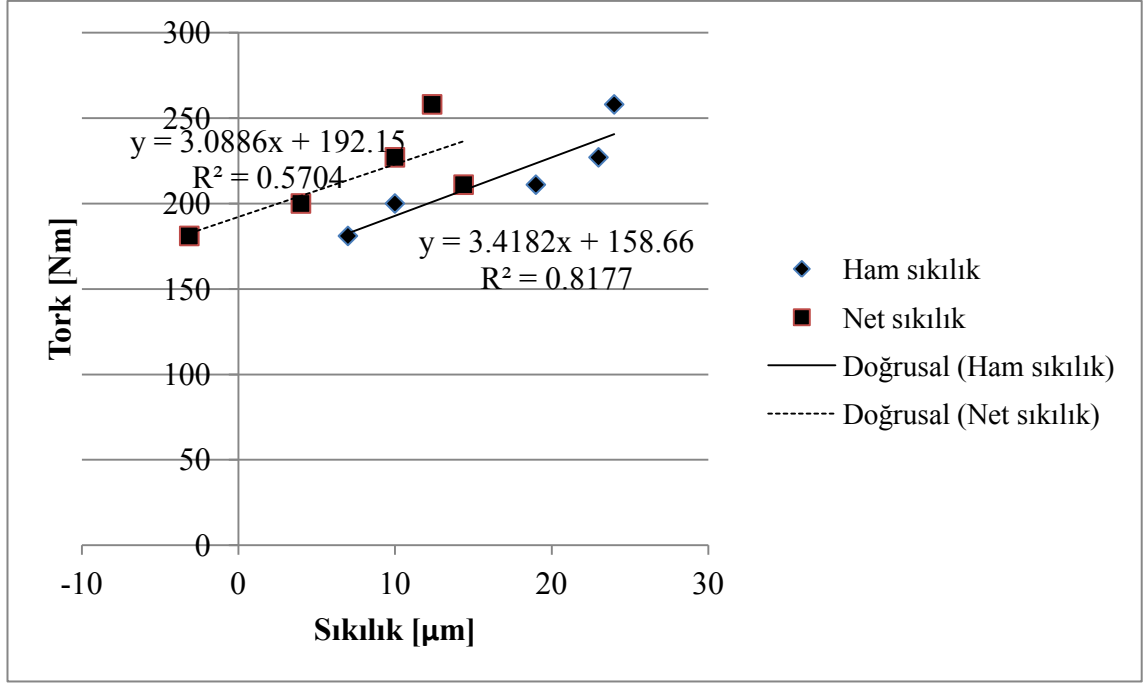
Şekil 4.59. DS4 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik



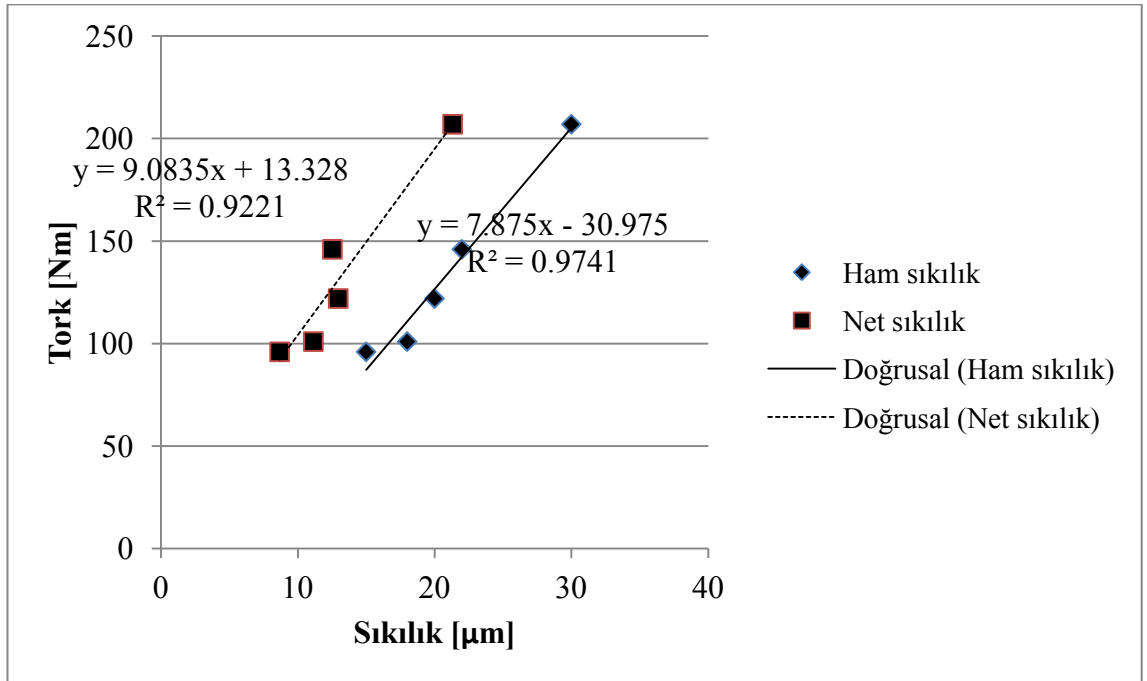
Şekil 4.60. DS5 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik



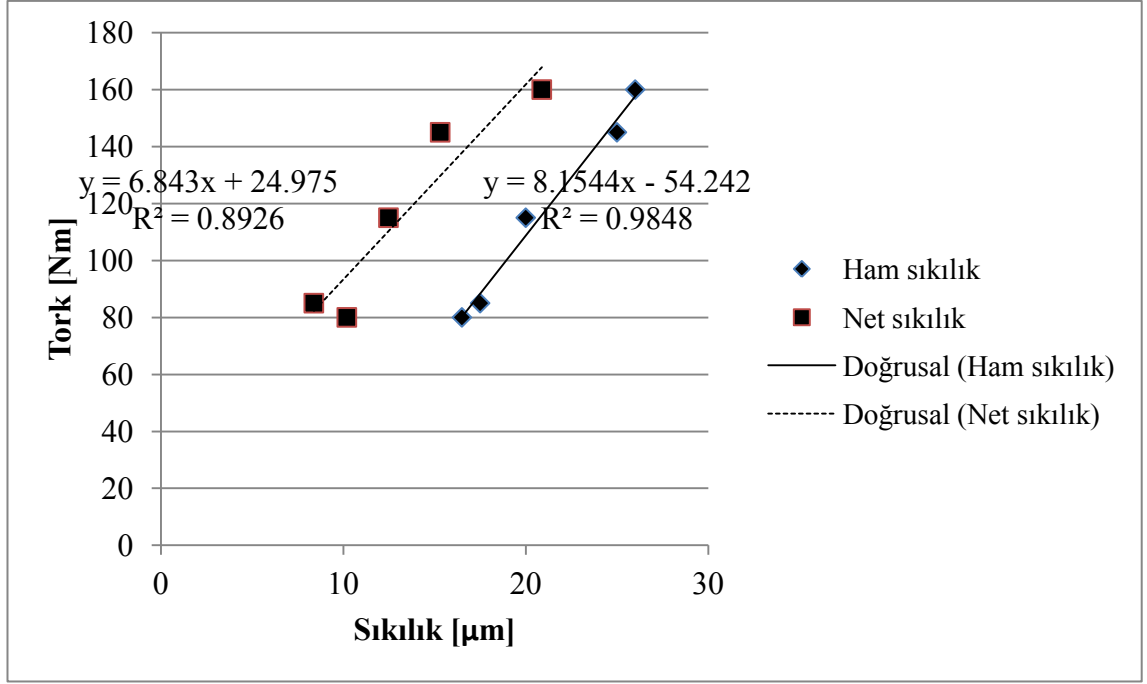
Şekil 4.61. DS6 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik



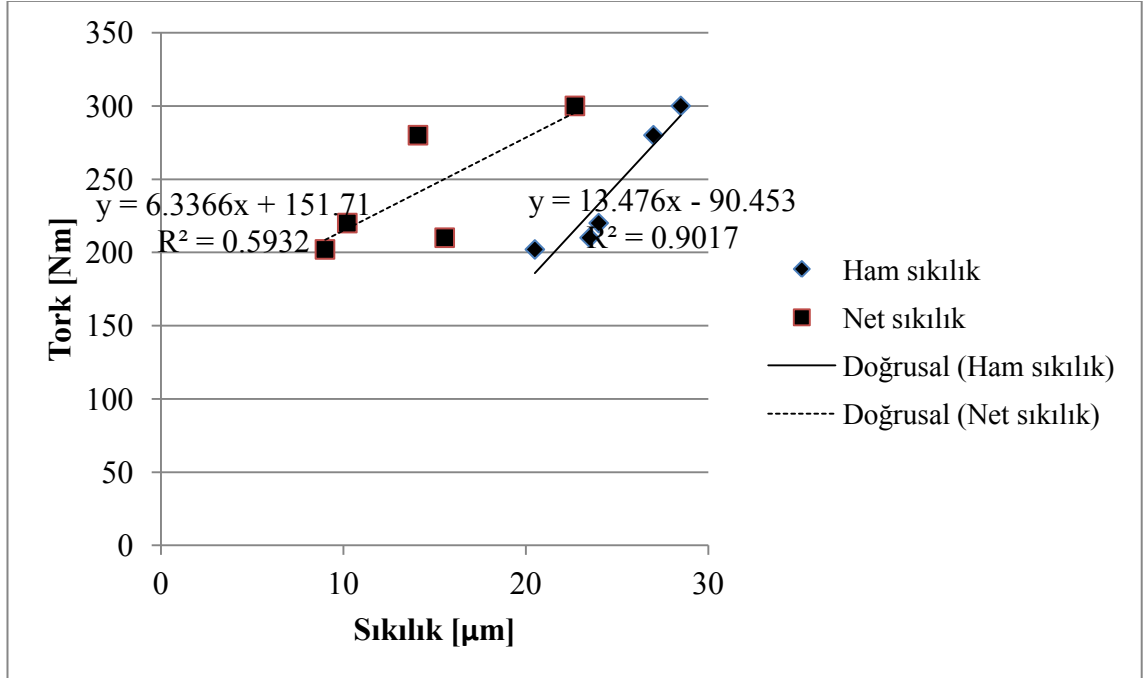
Şekil 4.62. DS7 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik



Şekil 4.63. DS8 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik



Şekil 4.64. DS9 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik



Şekil 4.65. DS11 serisi deneylere ilişkin doğrusallaştırılmış grafik

Bu grafiklerden elde edilen doğrular yardımı ile 20 H7/r6 toleransındaki

geçmelerin taşıyabileceği torklar maksimum ve minimum olarak Çizelge 4.58 ve Çizelge 4.59'da verilmiştir.

Çizelge 4.58. Geçmelerin ham sıklıklarına göre tork değer aralıkları

|             | <b>Mil/Göbek Malzemesi</b> | <b>Minimum Sıklık [µm]</b> | <b>Minimum Tork [Nm]</b> | <b>Maksimum Sıklık [µm]</b> | <b>Maksimum Tork [Nm]</b> |
|-------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| <b>DS1</b>  | Ç1040/ Ç1040               | 7                          | 77.8                     | 41                          | 175.8                     |
| <b>DS2</b>  | Ç1040/ Alüminyum           | 7                          | 39.6                     | 41                          | 116.3                     |
| <b>DS3</b>  | Ç1040/ Pirinç              | 7                          | 52.5                     | 41                          | 87.4                      |
| <b>DS4</b>  | SAE 304/ Ç1040             | 7                          | 137.5                    | 41                          | 369.7                     |
| <b>DS5</b>  | SAE 304/Alüminyum          | 7                          | -                        | 41                          | -                         |
| <b>DS6</b>  | SAE 304/ Pirinç            | 7                          | 42.2                     | 41                          | 70.4                      |
| <b>DS7</b>  | SAE 304/ SAE 304           | 7                          | 182.8                    | 41                          | 298.4                     |
| <b>DS8</b>  | Ç1040/ Ç1040               | 5                          | 9                        | 34                          | 237                       |
| <b>DS9</b>  | Ç1040/ Ç1040               | 5                          | 0                        | 34                          | 223                       |
| <b>DS10</b> | Ç1040/ Ç1040               | 7                          | -                        | 41                          | -                         |
| <b>DS11</b> | SAE 304/ Ç1040             | 7                          | 196.1                    | 41                          | 366.2                     |

Çizelge 4.59. Geçmelerin net sıklıklarına göre tork değer aralıkları

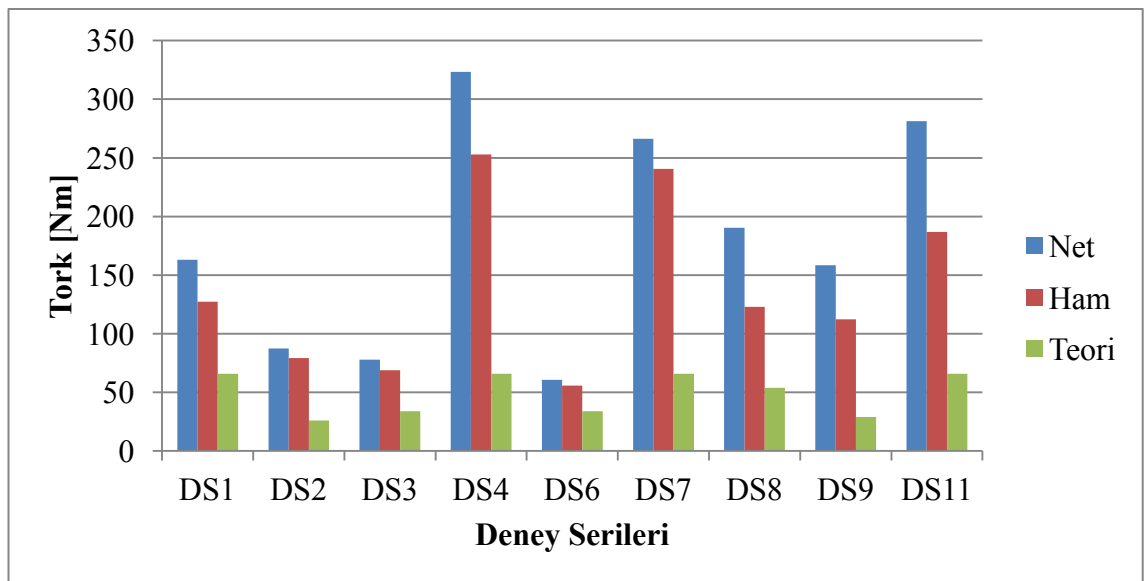
|             | <b>Mil/Göbek Malzemesi</b> | <b>Minimum Sıklık [µm]</b> | <b>Minimum Tork [Nm]</b> | <b>Maksimum Sıklık [µm]</b> | <b>Maksimum Tork [Nm]</b> |
|-------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| <b>DS1</b>  | Ç1040/ Ç1040               | 7                          | 122.3                    | 41                          | 203.9                     |
| <b>DS2</b>  | Ç1040/ Alüminyum           | 7                          | 60.2                     | 41                          | 114.6                     |
| <b>DS3</b>  | Ç1040/ Pirinç              | 7                          | 61.0                     | 41                          | 95.0                      |
| <b>DS4</b>  | SAE 304/ Ç1040             | 7                          | 183.9                    | 41                          | 462.7                     |
| <b>DS5</b>  | SAE 304/Alüminyum          | 7                          | -                        | 41                          | -                         |
| <b>DS6</b>  | SAE 304/ Pirinç            | 7                          | 49.6                     | 41                          | 71.7                      |
| <b>DS7</b>  | SAE 304/ SAE 304           | 7                          | 213.6                    | 41                          | 318.7                     |
| <b>DS8</b>  | Ç1040/ Ç1040               | 5                          | 58.5                     | 34                          | 322.4                     |
| <b>DS9</b>  | Ç1040/ Ç1040               | 5                          | 59.2                     | 34                          | 257.6                     |
| <b>DS10</b> | Ç1040/ Ç1040               | 7                          | -                        | 41                          | -                         |
| <b>DS11</b> | SAE 304/ Ç1040             | 7                          | 196.1                    | 41                          | 366.2                     |

Çizelge 4.60'da ise literatürdeki kabullerle yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 4.60. Geçmelerin teorik olarak taşıyabilecekleri tork değer aralıkları

|      | Mil/Göbek Malzemesi | Minimum Sıklık [ $\mu\text{m}$ ] | Minimum Tork [Nm] | Maksimum Sıklık [ $\mu\text{m}$ ] | Maksimum Tork [Nm] |
|------|---------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------|
| DS1  | Ç1040/ Ç1040        | 7                                | 20                | 41                                | 112                |
| DS2  | Ç1040/ Alüminyum    | 7                                | 8                 | 41                                | 44                 |
| DS3  | Ç1040/ Pirinç       | 7                                | 10                | 41                                | 58                 |
| DS4  | SAE 304/ Ç1040      | 7                                | 20                | 41                                | 112                |
| DS5  | SAE 304/Alüminyum   | 7                                | 8                 | 41                                | 44                 |
| DS6  | SAE 304/ Pirinç     | 7                                | 10                | 41                                | 58                 |
| DS7  | SAE 304/ SAE 304    | 7                                | 20                | 41                                | 112                |
| DS8  | Ç1040/ Ç1040        | 5                                | 15                | 34                                | 93                 |
| DS9  | Ç1040/ Ç1040        | 5                                | 7                 | 34                                | 51                 |
| DS10 | Ç1040/ Ç1040        | 7                                | 20                | 41                                | 112                |
| DS11 | SAE 304/ Ç1040      | 7                                | 20                | 41                                | 112                |

Şekil 4.66'da elde edilen ortalama tork taşıma kabiliyetlerine göre sıkı geçme bağlantılarının durumu görülmektedir.



Şekil 4.66. Tork taşıma kabiliyetlerinin kıyaslanması



## 5. TARTIŞMA

Yapılan çalışmalarda sıkı geçme bağlantılarında emniyet durumu malzeme, nominal çap, göbek dış çapı, kuvvetin durumu ve farklı sıcaklık koşulları için incelenmiştir.

Mil imalatında sıkça kullanılan SAE304 paslanmaz çeliği ve Ç1040 çeliği mil malzemesi olarak; bu malzemelerin yanı sıra sanayide pirinç tabiriyle kullanılan Cu-Zn alaşımı ile alüminyum alaşımı göbek malzemesi olarak kullanılmıştır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, SAE 304 mil ve Alüminyum alaşımı göbek çifti için elde edilen bulguların kıyaslanabilecek nitelikte olmadığı anlaşılmıştır.

Mil ve göbek çiftinin malzemesi literatürde, hesaplamalara elastiklik modülü ve Poisson oranı ile katılmaktadır. Yardımcı büyüklük olarak tanımladığımız “K” değerinin içerisinde sonuca etki eden bu değerler malzeme açısından tork taşıma kabiliyetleri irdelendiğine deneysel bulgular ile paralellik göstermektedir.

Ancak çelik başlığı altında yakın elastiklik modülüne ve Poisson oranına sahip olan SAE 304 ve Ç1040 çelikleri, diğer etkenlerin sabit kalması koşulu ile incelendiğinde SAE 304 paslanmaz çeliğin mil olarak kullanıldığı deneylerde, sıkı geçme bağlantı, Ç1040 çeliğinin mil olarak kullanımına nazaran daha fazla moment taşımaktadır.

Nominal çapın etkisi literatürde bağlantıya etkiyen çevresel kuvvetle birlikte hesaplamalara dâhil olmaktadır. Oluşan basınç formülünde (Bkz. Denklem 2.2) paydada bulunan nominal çapın artması ile iletilebilecek moment artmaktadır. Deneylerde mil ve göbek çiftinin her ikisinin de Ç1040 çeliğinden imal edildiği durum için nominal çap 16 mm ve nominal çap 20 mm için deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu iki deney serisi için göbek dış çapı 30 mm'dir. Bu durum için de literatür ile deneyler arasında bir paralellik bulunmaktadır.

Hesaplamalarda göbeğin çaplar oranı hesaplanarak, göbek dış çapı dikkate alınmaktadır. Deneylerde mil ve göbek çiftinin her ikisinin de nominal çap 16 mm ve

Ç1040 çeliğinden imal edildiği durum için, göbek dış çapları 24 mm ve 30 mm olacak şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda göbek dış çapının artması ile oluşan basıncın dolayısıyla iletilebilecek torkun arttığı görülmüştür.

Pratikte makineler çalışması esnasında, makine elemanlarının sürtünmesinden dolayı enerji kaybederler. Bu kayıp ısıya dönüşür ve makinelerin, ortam etkisinin saklı kalması koşulu ile 80 ila 100 °C gibi sıcaklıklarda çalıştığı söylenebilir. Ancak Bölüm 2.3'te verilen hesaplamalarda sıcaklığın hangi yönde ne kadar etki edeceği hususunda bir görüş bulunmamaktadır.

Malzemelerin akma dayanımı ve elastiklik modülü gibi sıkı geçme bağlantıları açısından önemli olan parametreleri sıcaklıkla değişmektedir. 100 °C için bu etki emniyet sınırları içerisinde kabul edilebilir. Ancak sıcaklığın bir diğer etkisi ise genişlemedir. Burada mil ve göbek malzemelerinin genişleme katsayıları oranında sıklığın değişeceği düşünülmektedir.

Çalışma sıcaklığı denemelerinde ulaşılan momentin deney düzeneği kapasitesini aşması neticesinde değerlendirmeye tabi tutulacak bir sonuç elde edilememiştir. Yine de burada sınırın aşılması durumu sıcaklığın etkisi açısından önemlidir.

Sıcaklığın etkisinin incelendiği deney serilerinde mil SAE 304 ve Ç1040 çeliklerinden, göbek ise her iki mil gurubu için Ç1040 çeliğinden imal edilmiştir. Deneyler yaklaşık olarak 90 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Bu sıcaklık için Ç1040-Ç1040 çiftinde 350 Nm torka ulaşılmıştır. Oysaki oda sıcaklığında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen maksimum tork değeri 180 Nm'dir. Gerçek bir yaklaşım ile daha net sonuçlar elde edilebilir. Tam olarak nasıl bir etki yaratacağının detaylı olarak değerlendirilmesi gerekir.

Kuvvetin darbeli gelmesi durumunda işletme faktörü, iletilebilmek istenen tork değerine eklenmelidir. Bilindiği gibi sıkı geçme bağlantılar sürtünme esasına dayanan bir bağlantı şeklindedir. Yüzeyde oluşan basıncı sürtünme katsayısı nispetinde sürtünme momenti oluşturmaktadır.

Buraya kadar olan kısımda sıkı geçme bağlantılarında tork taşıma kabiliyetinin etkileyen faktörler irdelenmiştir.

Sıkı geçme bağlantılarda emniyet katsayısı, bağlantının iletebileceği momentin iletilmek istenen momente olan oranıdır. Burada iletebilecek ifadesinin sınırı sürtünme momentidir. Yapılan çalışmanın kıyaslanmasının kolaylaştırmak için deneysel ve teorik bulgularda emniyet katsayısı 1 olarak alınmıştır.

Bir sıkı geçme bağlantısında 100 Nm tork iletmek için sürtünme momenti 200 Nm olan bir montaj tasarlanırsa burada emniyet katsayısı 2 alınmış demektir.

Oysaki deneysel çalışmalardan elde edilen bulgulara göre DS1 serisi için ortalama 2.55'dir. Daha çarpıcı olan ise DS4 serisi için yaklaşık olarak 5, DS5 serisi için 4, DS8 için 5.3 gibi sonuçlardır. Literatür ile deneyler arasında bu fark yüzey pürüzlülüğünden dolayı oluşan sıklık kaybının hesaplamalara dâhil edilmesinde kullanılan kabullerden kaynaklanmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü kaybının çalışmada hesaplamalara dâhil edilmesinde aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğünü dikkate alan kabul kullanılmıştır. Bu kabule göre yüzey pürüzleri yaklaşık olarak %30 oranında ezilmektedir. Bu kaybın %60 olarak hesaplamalara dâhil edilmesi durumunda, emniyet katsayısı 5 olarak bulunan sistemin, 8 ve daha fazla emniyete sahip olması söz konusudur.

Sistemin emniyetli olması arzu edilen bir durumdur. Emniyet katsayısının gereğinden fazla olması durumunda maliyetler artacaktır. Sistemin 5 emniyet katsayısında sahip olması aynı zamanda 5 kat daha fazla malzeme ve maliyet demektir.

Ayrıca daha az sıklıkla aynı miktarda tork taşınabileceği durumlarda, sıklığın azalması ile montaj sıcaklığının düşmesi, dolayısıyla enerji, maliyet ve zamandan tasarruf edileceği görülmektedir.

Yüzey pürüzlülüğünün çok az olduğu durumlarda, yapılan deneyler için özellikle SAE 304 eliklerinin mil olarak kullanımında hiçbir farklı işlem görmemesine rağmen yüzey kalitesinden dolayı ham ve net tork taşıma değerleri çok yakındır.

Tablolarda net sıklığın negatif ve sıfır olduğu durumlar vardır. Bu durum yüzey pürüzlerinin ezilmesinin ardından kalan sıklık teorik olarak hesaplandığı için değerler negatif çıkmaktadır. Örnek verecek olursak elimizde 7 µm ölçü farkı ile ham sıklık olarak verdiğimiz geçme yapılmıştır. Bu geçmede teorik olarak 10 µm sıklık kaybı olacağı hesaplanmaktadır. Ancak bu geçme gayette moment taşımaktadır. Bu durum literatürdeki sıklık kaybı kabullerinin geçerliliğini sorgulamaktadır.

Çizelge 5.1’de mil malzemesinin tork taşıma kabiliyetine etkisi görülmektedir. DS1 ve DS4 kendi aralarında kıyaslandığında SAE 304 mil daha çok moment taşıyabilmektedir. Ancak göbeğin Pirinç olduğu durum için (DS3 ve DS6) aynı etki söz konusu değildir. Ç1040 milin tork taşımaya katkısı SAE 304 mile göre daha fazladır. Burada yüzey pürüzlülüğü kaybı, sonucu önemli ölçüde etkilemektedir. SAE 304 mil, Pirinç göbekte Ç1040 mile göre yüzey pürüzlerinin daha fazla ezilmesine sebep olmuştur. Dolayısıyla sıklık kaybı daha fazladır. Her iki durum içinde emniyet katsayıları oldukça yüksektir.

Çizelge 5.1. Mil malzemesinin tork taşıma kabiliyetine etkisi

|            | <b>Mil/Göbek Malzemesi</b> | <b>Minimum Sıklık [µm]</b> | <b>Net [Nm]</b> | <b>Teorik [Nm]</b> | <b>S</b> |
|------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|----------|
| <b>DS1</b> | Ç1040/ Ç1040               | 7                          | 122.3           | 20                 | <b>6</b> |
| <b>DS3</b> | Ç1040/ Pirinç              | 7                          | 61.0            | 10                 | <b>6</b> |
| <b>DS4</b> | SAE 304/ Ç1040             | 7                          | 183.9           | 20                 | <b>9</b> |
| <b>DS6</b> | SAE 304/ Pirinç            | 7                          | 49.6            | 10                 | <b>5</b> |

Çizelge 5.2’de göbeğin tork taşıma kabiliyetine etkisi görülmektedir. DS1, DS2 ve DS3 ile DS4,DS6 ve DS7 kendi aralarında kıyaslandığında, göbek malzemesinin akma dayanımı artıkça iletilebilen tork miktarı arttığı gözlenmektedir. Emniyet katsayıları ise oldukça büyüktür.

Çizelge 5.2. Göbek malzemesinin tork taşıma kabiliyetine etkisi

|            | <b>Mil/Göbek Malzemesi</b> | <b>Minimum Sıklık [µm]</b> | <b>Net [Nm]</b> | <b>Teorik [Nm]</b> | <b>S</b>    |
|------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|-------------|
| <b>DS1</b> | Ç1040/ Ç1040               | 7                          | 122.3           | 20                 | <b>6</b>    |
| <b>DS2</b> | Ç1040/ Alüminyum           | 7                          | 60.2            | 8                  | <b>7.5</b>  |
| <b>DS3</b> | Ç1040/ Pirinç              | 7                          | 61.0            | 10                 | <b>6</b>    |
| <b>DS4</b> | SAE 304/ Ç1040             | 7                          | 183.9           | 20                 | <b>9</b>    |
| <b>DS6</b> | SAE 304/ Pirinç            | 7                          | 49.6            | 10                 | <b>5</b>    |
| <b>DS7</b> | SAE 304/ SAE 304           | 7                          | 213.6           | 20                 | <b>10.5</b> |

Nominal çapın ve göbek dış çapının tork taşıma kabiliyetine etkisi Çizelge 5.3 incelendiğinde görülmektedir. Mil ve göbek malzemeleri Ç1040 ve yüzey pürüzlülük değerleri çok yakındır. Nominal çapın artması ile iletilebilecek moment artarken, göbek dış çapı için aynı durum söylenemez. Göbek dış çapının artması sıklığa etki sağlayacağı düşünülse de aynı oranda sıklık kaybına neden olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 5.3. Nominal çapın ve göbek dış çapının tork taşıma kabiliyetine etkisi

|            | <b>Nominal /Göbek Dış Çapı [mm]</b> | <b>Minimum Sıklık [µm]</b> | <b>Net [Nm]</b> | <b>Teorik [Nm]</b> | <b>S</b>   |
|------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|------------|
| <b>DS1</b> | 20/30                               | 7                          | 122.3           | 20                 | <b>6</b>   |
| <b>DS8</b> | 16/30                               | 5                          | 58.5            | 15                 | <b>4</b>   |
| <b>DS9</b> | 16/24                               | 5                          | 59.2            | 7                  | <b>8.5</b> |

Tüm bu koşullar göz önünde bulundurularak sıklığı ve malzemeyi dikkate alan bir pürüzlülük katsayısı kullanılmalıdır.

Sıkı geçme bağlantılarında yüzey pürüzlülüğü kaybı malzemeye ve sıklığa bağlı olarak hesaplanmalıdır. Denklem 2.10 ve 2.11’de verilen yüzey pürüzlülüğü kaybına ilişkin bağıntı düzenlenerek Denklem 5.1 ve 5.2 elde edilir.

$$G_M = k_{m,M} \cdot k_s \cdot R_{z,M} \quad (5.1)$$

$$G_G = k_{m,G} \cdot k_s \cdot R_{z,G} \quad (5.2)$$

$k_m$ : malzemeye bağlı katsayı ve  $k_s$ : sıklığa bağlı katsayı

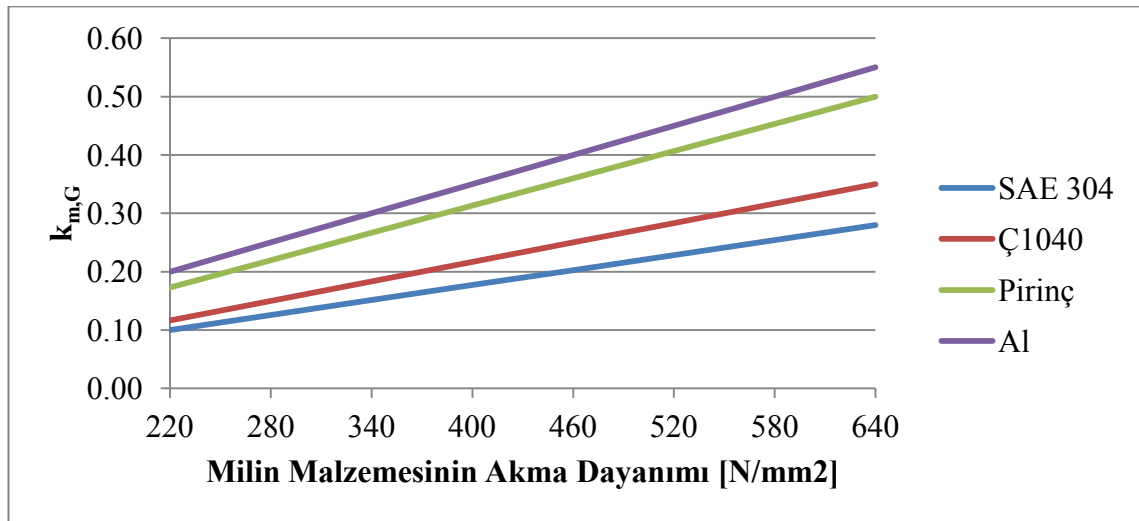
Çizelge 5.4'te geçme türüne göre  $k_s$  faktörünün değişimi görülmektedir. Sıkı geçme bağlantısının geçme türüne göre sıklık artıkça yüzey pürüzlülüğü kaybı artacaktır.

Çizelge 5.4. Geçmelere göre sıklık katsayısı  $k_s$

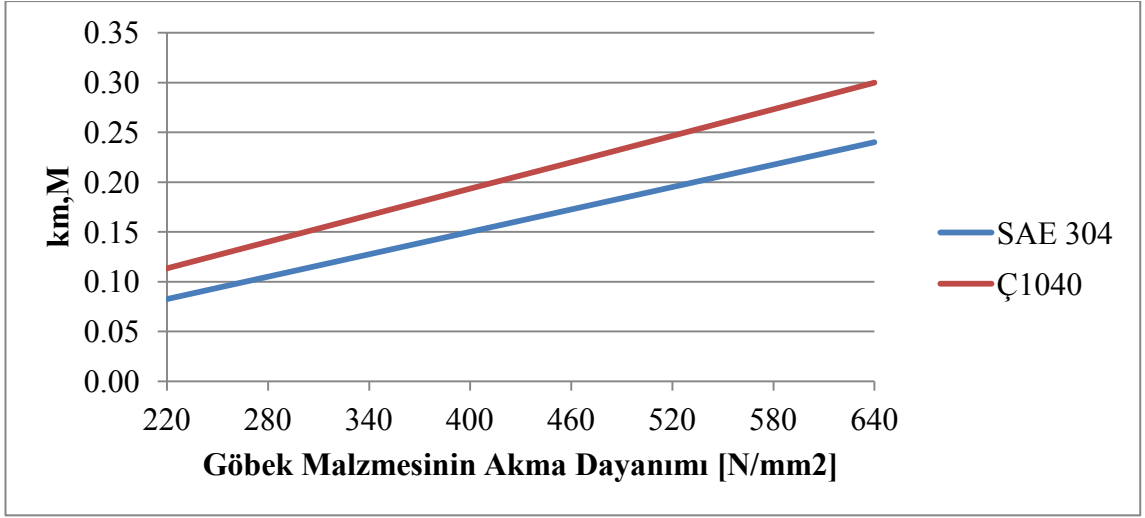
| Tolerans | H7/p6 | H7/r6 | H7/s6 | H7/t6 | H7/u6 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $k_s$    | 1     | 1.1   | 1.2   | 1.3   | 1.4   |

$k_{m,G}$  değerlerinin Şekil 5.1'den ve  $k_{m,M}$  değerlerinin Şekil 5.2'den malzemelerin akma sınırına göre okunarak hesaplamalara dahil edilmesi doğru olacaktır. Göbeğin yüzey pürüzlülüğü kaybı, göbek malzemesine ve mil malzemesinin akma dayanımına bağlı olarak ve yine milin yüzey pürüzlülüğü kaybı, mil malzemesine ve göbek malzemesinin akma dayanımına bağlı olarak diyagramlardan okunması önerilmektedir.

Örnek olarak akma dayanımı  $450 \text{ N/mm}^2$  olan Ç1040 için göbeğin Pirinç olması durumunda göbeğin yüzey pürüzlülüğü kaybı  $k_{m,G}$  değeri 0.36 olarak okunmaktadır. Bu durumda akma dayanımı  $260 \text{ N/mm}^2$  olan pirinç göbek için Ç1040 milin  $k_{m,M}$  değeri 0.14 olacaktır.



Şekil 5.1. Milin akma dayanımına göre göbeğin  $k_m$  değerleri



Şekil 5.2 Göbeğin akma dayanımına göre milin  $k_m$  değerleri

## 6. SONUÇ

Sıkı geçme bağlantılarında belirsizliğini en çok koruyan kısım yüzey pürüzlerinin hangi nispette ezildiği ve bağlantıda ne kadar sıklık kaybı olduğudur. Bu durum, deneyler sonucunda literatüre göre daha emniyetli olmasındaki en önemli etkiye sahiptir. Yüzey pürüzleri tahmin edilenden daha az ezilmektedir. Hatta belirli bir pürüzlülük değerinin altında sıklık kaybının ihmal edilebileceği söz konusudur.

Çalışmada farklı malzemelerden imal edilmiş olan mil-göbek çiftine moment uygulanmış ve geçmelerin tork taşıma kabiliyetleri sınanmıştır. Bağlantıların yüzey pürüzlülüğü ve emniyet durumlarına yönelik irdelemeler yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü kaybının netleştirilmesi ve ekonomik bağlantılar gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü kaybı literatürde, malzeme ve sıklık gibi parametreleri dikkate almadan tek bir değer üzerinden hesaplamalara dâhil olmaktadır. Ancak çalışmada bu kaybın malzemeye bağlı olarak hesaplaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Üstelik bu kayıp mil ve göbek çiftinin malzemelerinin birbirlerine olan etkisi dikkate alınarak yapılmalıdır. Söz konusu durumlar için Bölüm 5'teki bağıntı ve diyagramların kullanılması önerilmektedir.

Mevcut literatür çalışmalarında hesaplanan bağlantılar, ihtiyaç duyulandan çok daha fazla emniyete sahiptir. Yapılan bu çalışma ile aynı büyüklükteki torku iletmek için daha az sıklık yeterli olacaktır.

Yapılacak bir çalışmayla sıcaklığın etkisi netleştirilmelidir. Göbeğin mile göre daha fazla genişmesi durumunda parçaların birbirlerine uyguladıkları basınç azalacaktır ve iletmek istenen moment transferi konusunda sorunlar ortaya çıkacaktır. Milin göbeğe göre daha fazla genişmesi durumunda ise parçaların birbirlerine uyguladıkları basınç artacaktır ve müsaade edilen basınç sınırının aşılması sonucu bağlantı deforme olacaktır. Sıcaklık etkisi malzemeye bağlı olarak bir katsayısı ile hesaplamalara dâhil edilmelidir.

Makineler tasarlanırken dikkate alınan çalışma faktörü sıkı geçme bağlantıları da



etkilemektedir. Sıkı geçme bağlantılarda kuvvetin darbeli gelmesi durumunu dikkate alan mevcut bir bağıntı bulunmamaktadır. Malzeme çiftine göre darbeli gelen kuvvetler için belirlenecek bir katsayı ile sıkı geçme bağlantılar darbe açısından emniyete alınmalıdır.

Literatürdeki hesaplamalar, kuvvetin durumunu dikkate almamaktadır. Hali hazırda hesaplamalarda kullanılan sürtünme katsayısı statik kuvvet durumu için geçerlidir. Oysaki sürtünme katsayısı darbeli kuvvetler için farklılık gösterebilir. Yapılacak bir çalışma ile darbeli kuvvet durumu için bir katsayı geliştirilebilir.

## 7. KAYNAKLAR

- AKKURT, M. 2000. Makine Elemanları CiltI-II. Birsen Yayınevi, İstanbul. ss.720.
- ANONİM-I. SJV-5K Electric vertical test stand operation manuel. Zhejiang.
- ANONİM-II. Algol HF-Series Digital Dinamometers .
- ANONİM-III. LTB-NA series torque transducers datasheet. Tokyo.
- ASM INTERNATIONAL. 1998. Metals Handbook Desk Edition. pp. 2571.
- TEKNİK DESTEK GRUBU. 2009. TestBox 1001 kullanım kılavuzu. Ankara.
- BUDYNAS, R. G, and NISBETT, K.J. 2006. Shigley's Mechanical Engineering Design. McGraw-Hill. USA pp.1056.
- CHILDS, T. H. C. 1977. The persistence of roughness between surfaces in static contact. *Proceedings of Royal Society London A*, s. 35-53.
- IKE, H., and MAKINOUCI, A. 1990 Effect of lateral tension and compression on plane strain flattening processes of surface asperity lying over a plastically deformable bulk. *Wear*, Ekim: 17-38.
- LINGAIAH, K. 2003. Machine Design Databook, 2nd Edition. McGrawHill pp.1282.
- RENDE, HİKMET. 2010. Makine Elemanları Cilt I. Makine Mühendisleri Odası Yayınları, Antalya. ss. 453.
- STEINHILPER, W. und RÖPER, R. 1986. Maschinen- und Konstruktions- elemente, Band II. Berlin Heidelberg New York Tokyo. Springer-Verlag. s 459.
- ÜNSAN, Y., ve BAYRAKTARKATAL E. 1999. Strain-Gage Yöntemi ve Gemi İnşaatında Kullanımı. *Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Kongresi*. İstanbul: 50-64.
- YANG G. M., COQILLE, J. C., FONTAINE, J. F. and LAMBERTIN M., 2002. Contact Pressure Between Two Rough Surfaces of a Cylindrical Fit. *Journal of Materials Processing Technology*. 123: 490-497.

## ÖZGEÇMİŞ

Fatih GÜVEN, 1986 yılında Gaziantep'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Gaziantep'te tamamladı. 2004 yılında Gaziantep Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra aynı yıl içerisinde girdiği Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2008 yılında bölüm birinciliği ile Makine Mühendisi unvanını alarak mezun oldu. 2008 yılı Eylül ayında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2009 yılı Şubat ayında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen bu görevine devam etmektedir.