

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

**CİVATA BAĞLANTILARINDA ÖNGERİLME KAYBININ İNCELENMESİ**

**Burak MEŞHUR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2011**

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

**CİVATA BAĞLANTILARINDA ÖNGERİLME KAYBININ İNCELENMESİ**

**Burak MEŞHUR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 2009.02.0121.027 numarası ile Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında desteklenmektedir.

**2011**

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

**CİVATA BAĞLANTILARINDA ÖNGERİLME KAYBININ İNCELENMESİ**

**Burak MEŞHUR**

**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. Osman YALDIZ .....

Yrd. Doç. Dr. Cem HANYALOĞLU.....

## ÖZET

### CİVATA BAĞLANTILARINDA ÖNGERİLME KAYBININ İNCELENMESİ

**Burak MEŞHUR**

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

**Danışman: Prof. Dr. Hikmet RENDE**

**Mayıs 2011, 154 Sayfa**

Bu çalışma kapsamında M8, M10 ve M12 8.8 kalite civatalar, C1050 İmalat çeliği, ss304 Paslanmaz çelik ve Alüminyum flanşlar kullanılarak çeşitli yüzey pürüzlülüğü değerlerine sahip yüzeylerde sıkılarak öngerilme kayıpları ölçülmüştür. Ölçümlerde ultrasonik civata ölçer kullanılmıştır. Deneyler sırasında flanş yüzeylerinin ilk ve son haldeki pürüzlülük değerleri de ölçülerek pürüz ezilmesine bağlı plastik deformasyon miktarları da saptanılmaya çalışılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda literatürde verilen sürtünme katsayıları, öngerilme kayıpları, plastik deformasyon miktarlarının aslında daha az olduğu saptanmıştır. Bu durum civataların aşırı sıkılmasına sebep olarak akma sınırının dahi aşılmasına sebep olabilmektedir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Öngerilme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, sürtünme katsayısı, ultrasonik ölçüm, sıkma momenti, plastik deformasyon

**JÜRİ:** Prof. Dr. Hikmet RENDE

Prof. Dr. Osman YALDIZ

Yrd. Doç. Dr. Cem HANYALOĞLU

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF PRELOAD LOSSES OF TORQUED BOLTS**

**Burak MEŞHUR**

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

**Adviser: Prof. Dr. Hikmet RENDE**

**May 2011, 154 Pages**

In this work different surface finished C1050 steel, 304 Stainless and Aluminium flanges has had been tightened by 8.8 grade M8, M10 ve M12 bolts in order to measure preload losses. During the experiments ultrasonic bolt monitor has been used. During the experiments first and last surface roughness of the flanges has been measured to calculate the amount of plastic deformation due to the surface roughness lost.

In the end of experiments, amount of friction coefficient values, preload losses and plastic deformation values using to calculate bolt preloading is greater than the exact values. This causes overtighten and plastically deformed bolts.

**KEY WORDS:** Preload, surface roughness, friction coefficient, ultrasonic measurement, tightening torque, plastic deformation

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

Prof. Dr. Osman YALDIZ

Asst. Prof.. Dr. Cem HANYALOĞLU

## ÖNSÖZ

Günümüzde sökülebilen bağlama elemanlarında en çok kullanılanlarından birisi de öngerilmeli civata bağlantılarıdır. Ancak öngerilmeli civata bağlantılarının hesabı oldukça karmaşıktır. Başta yüzey kalitesi, flanş malzemesi , yağlama durumu olmak üzere çok sayıda parametrenin göz önüne alınarak uygulanacak moment değerinin hesaplanması ve bu momentin hassas bir aletle uygulanması gerekmektedir. Literatürde hesaplamalar için önerilen pek çok tablolar ve formüller bulunmaktadır. Ancak uygulamada karşılaştığımız her durum için bu değerler uygun olmayabilmektedir. Bu durumda yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen moment değerini civataya uyguladığımızda olması gerekende az yada çok sıkılmış bir civatayla karşılaşmak her zaman olasıdır. Bu durum ya çözülme yada kopmayla sonuçlanabilecek hasarlara sebep olmaktadır. Bu çalışmada sanayide en sık karşılaşılan yüzey koşullarına sahip çeşitli malzemeler için öngerilme deneyleri yapılmış ve literatürdeki verilerin yetersiz kaldığı yada yanlış yönlendirdiği durumlar göz önüne serilmiştir.

Bana bu konuda çalışma olanağı veren danışmanım sayın Prof. Dr. Hikmet RENDE'ye teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|   |      |
|---|------|
| ÖZET.....   | i    |
| ABSTRACT.....   | ii   |
| ÖNSÖZ.....  | iii  |
| İÇİNDEKİLER.....  | iv   |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....                                       | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....  | xi   |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....  | xv   |
| 1. GİRİŞ.....   | 1    |
| 2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI.....                            | 2    |
| 2.1. Civata Bağlantıları.....   | 2    |
| 2.1.1. Civataların sınıflandırılması.....                                 | 4    |
| 2.1.2. Civatalarda tolerans.....  | 5    |
| 2.1.3. Civata malzemeleri .....   | 6    |
| 2.2. Civata Hesapları.....  | 7    |
| 2.2.1. Kuvvet iletimi.....  | 7    |
| 2.2.2. Toplam sıkma momenti.....  | 13   |
| 2.3. Öngerilme Teorisi.....   | 14   |
| 2.3.1. Efektif Boy.....   | 18   |
| 2.4. Civata Bağlantılarında Gerilmeler.....                               | 19   |
| 2.4.1. Çekme altında gerilme dağılımı.....                                | 19   |
| 2.5. Bağlantıdaki Gerilmeler.....   | 21   |
| 2.5.1. Civata-Bağlantı arasındaki temas gerilmeleri.....                  | 21   |
| 2.5.2. Bağlantı parçaları arasındaki gerilmeler.....                      | 23   |
| 2.6. Kombine Yükler Altında Civata Dayanımı.....                          | 24   |
| 2.7. Civatalarda Öngerilme Kuvveti Kaybı ve Sebepleri.....                | 27   |
| 2.7.1. Civatalarda montaj sonrası öngerilme kayıpları.....                | 29   |
| 2.7.1.1. Civatalarda montaj sonrası öngerilme kayıplarının sebepleri..... | 29   |
| 2.7.1.2. Kısa zaman öngerilme kayıplarını etkileyen faktörler.....        | 34   |
| 2.7.1.3. Beklenen öngerilme kuvveti kaybı miktarı.....                    | 35   |
| 2.7.2. Somun faktörleri.....  | 36   |
| 2.7.3. Civata sıkma yöntemleri ve sıkma faktörü.....                      | 38   |

|   |    |
|---|----|
| 2.8. Yüzey Pürüzlülüğü.....   | 41 |
| 3. MATERYAL ve METOT.....   | 47 |
| 3.1. Materyal.....  | 47 |
| 3.1.1. Numunelerin hazırlanması.....  | 47 |
| 3.1.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.....  | 48 |
| 3.1.2.1. Pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi.....   | 49 |
| 3.1.2.2. Cihazda bulunan ölçüm parametreleri.....   | 50 |
| 3.1.3. Tork değerinin ölçülmesi.....  | 51 |
| 3.1.4. Civatanın ilk boyunun ve uzama değerlerinin ölçülmesi.....                             | 51 |
| 3.1.4.1. Ultrasonik dalgalar.....   | 53 |
| 3.1.4.2 Algılayıcı-civata yüzeyi temas şartları.....  | 55 |
| 3.1.4.3. Yankı yüzeyi.....  | 56 |
| 3.1.4.4. Algılayıcı Seçimi.....   | 56 |
| 3.1.4.5. Cihazın sıfırlanması.....  | 57 |
| 3.1.4.6. Cihaz Parametreleri.....   | 57 |
| 3.2. Metot.....   | 58 |
| 3.2.1. Uygulanan momentin oluşturacağı öngerilme kuvveti değerinin hesaplanması.....          | 62 |
| 3.2.2. Teorik olarak sürtünmesiz halde civatada oluşacak öngerilme kuvveti hesabı.....        | 64 |
| 3.2.3. Yüzey pürüzlerinin ezilmesine bağlı plastik deformasyonun miktarının hesaplanması..... | 64 |
| 4. BULGULAR.....  | 66 |
| 4.1 C1050 İmalat Çeliği Flanşlarla Yapılan Öngerilme Kuvveti Kaybı Deneyleri.....             | 66 |
| 4.1.1 M8x1,25 Civata deneyleri.....   | 66 |
| 4.1.1.1. Taşlanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler .....                                   | 66 |
| 4.1.1.2. Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler .....                          | 68 |
| 4.1.1.3. Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler .....                         | 69 |
| 4.1.2 M10x1,5 Civata deneyleri.....   | 71 |
| 4.1.2.1. Taşlanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                                    | 71 |
| 4.1.2.2. Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                           | 73 |



|   |     |
|---|-----|
| 4.1.2.3. Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                | 76  |
| 4.1.3 M12x1,75 Civata deneyleri.....  | 77  |
| 4.1.3.1. Taşlanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                          | 77  |
| 4.1.3.2. Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                 | 79  |
| 4.1.3.3. Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                | 81  |
| 4.2 SS304 Paslanmaz Çelik Flanşlarla Yapılan Öngerilme Kuvveti Kaybı Deneyleri..... | 83  |
| 4.2.1 M8x1,25 Civata deneyleri.....   | 83  |
| 4.2.1.1. Tornalanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                        | 83  |
| 4.2.1.2. Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                 | 85  |
| 4.2.1.3. Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                | 87  |
| 4.2.2 M10x1,5 Civata deneyleri.....   | 89  |
| 4.2.2.1. Tornalanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                        | 89  |
| 4.2.2.2. Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                 | 91  |
| 4.2.2.3. Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                | 93  |
| 4.2.3 M12x1,75 Civata deneyleri.....  | 95  |
| 4.2.3.1. Tornalanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                        | 95  |
| 4.2.3.2. Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                 | 97  |
| 4.2.3.3. Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                | 99  |
| 4.3 Alüminyum Flanşlarla Yapılan Öngerilme Kuvveti Kaybı Deneyleri.....             | 101 |
| 4.3.1. M8x1,25 Civata deneyleri.....  | 101 |
| 4.3.1.1. Polisajlanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                      | 101 |
| 4.3.1.2. Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                 | 103 |
| 4.3.1.3. Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                | 105 |
| 4.3.2 M10x1,5 Civata deneyleri.....   | 107 |
| 4.3.2.1. Polisajlanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                      | 107 |
| 4.3.2.2. Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                 | 109 |
| 4.3.2.3. Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                | 111 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.3.3 M12x1,75 Civata deneyleri.....  | 113 |
| 4.3.3.1. Polisajlanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                          | 113 |
| 4.3.3.2. Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                     | 115 |
| 4.3.3.3. Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler.....                    | 117 |
| 4.4 Ortalama Öngerilme Kuvveti Kayıpları.....   | 119 |
| 4.5 Yüzey Pürüzlülüğü Kaybı Deneyleri.....  | 121 |
| 4.5.1. C1050 İmalat çeliği flanşlarla yapılan yüzey pürüzlülüğü kaybı deneyleri.....    | 122 |
| 4.5.2. SS 304 Paslanmaz çelik flanşlarla yapılan yüzey pürüzlülüğü kaybı deneyleri..... | 129 |
| 4.5.3. Alüminyum flanşlarla yapılan yüzey pürüzlülüğü kaybı deneyleri.....              | 136 |
| 5. SONUÇ.....   | 148 |
| 6. KAYNAKLAR.....   | 152 |
| ÖZGEÇMİŞ  |     |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

|                |  |
|----------------|--|
| $d$            | Dış çap  |
| $d_2$          | Ortalama çap   |
| $d_3$          | Diş dibi çapı  |
| $P$            | Hatve  |
| $\beta$        | Tepe Açısı   |
| $z_0$          | Vida ağız sayısı   |
| $M_{CS}$       | Civata sıkma momenti   |
| $M_{CG}$       | Civata gevşetme momenti                                      |
| $M_1$          | Civata dişlerindeki sürtünmeyi yenmeye harcanan moment       |
| $M_2$          | Civata oturma yüzeyindeki sürtünmeyi yenmeye harcanan moment |
| $F_C$          | Teğetsel kuvvet  |
| $F_{ON}$       | Öngerilme kuvveti  |
| $F_N$          | Normal kuvvet  |
| $\rho$         | Sürtünme açısı   |
| $\mu$          | Somun ile civata dişleri arasındaki yüzey pürüzlülüğü        |
| $\mu_S$        | Somun ile parça yüzeyi arasındaki yüzey pürüzlülüğü          |
| $r_S$          | Somun oturma yarıçapı  |
| $\Delta_{lc}$  | Civatadaki uzama   |
| $\Delta_{lp}$  | Parçadaki kısalma  |
| $F_{i\dot{s}}$ | İşletme kuvveti  |
| $\sigma_{Ak}$  | Akma gerilmesi   |
| $\sigma_C$     | Civatada meydana gelen çekme gerilmesi                       |
| $\sigma_P$     | Parçada meydana gelen çekme gerilmesi                        |
| $\sigma_{muk}$ | Civatada meydana gelen mukayese gerilmesi                    |

|             |   |
|-------------|---|
| $C_C$       | Civata rijitliği  |
| $C_P$       | Parça rijitliği   |
| $F_Z$       | Değişken/Titreşimli işletme kuvveti genliği                               |
| $E$         | Elastisite modülü   |
| $\epsilon$  | Birim Uzama   |
| $A_C$       | Civata kesit alanı  |
| $A_P$       | Parça kesit alanı   |
| $d_k$       | Yaklaşık anahtar açıklığı   |
| $D_A$       | Basıya zorlandığı varsayılan silindirin dış çapı                          |
| $D_B$       | Delik çapı  |
| $l_P$       | Flanş kalınlığı   |
| $f_z$       | Yüzey pürüzü ezilme miktarı   |
| $A_S$       | Gerilme kesiti alanı  |
| $d_{min}$   | Uzar civatalarda şaftın en küçük kesiti                                   |
| $\tau$      | Burulma gerilmesi   |
| $W_P$       | Polar atalet momenti  |
| $F_{Mmaks}$ | Maksimum montaj kuvveti   |
| $\alpha_A$  | Sıkma faktörü   |
| $R$         | Ortalama pürüz motifi derinliği   |
| $R_a$       | Pürüzlülük profilinden sapmanın aritmetik ortası                          |
| $R_q$       | Pürüzlülük profilinden sapmanın aritmetik ortasının karekökü              |
| $R_z$       | Ortalama pürüz çukur mesafesi   |
| $R_p$       | Pürüzlülük profilindeki en yüksek nokta                                   |
| $R_v$       | Pürüzlülük profilindeki en alçak nokta                                    |
| $R_t$       | Pürüzlülük profilindeki en alçak nokta ve en yüksek nokta arasındaki fark |
| $P_c$       | 1 cm'deki tepe sayısı   |

|                  |  |
|------------------|--|
| $S_m$            | Ortalama profil bozukluğu aralığı                            |
| $R_{sk}$         | Pürüzlülük parametresi                                       |
| $R_{ku}$         | Kurtosis eğrisi  |
| $L_t$            | Pürüzlülük ölçüm boyu  |
| $t_p$            | Profil yatak uzunluğu  |
| $M_r$            | Malzeme oranı  |
| $\lambda_C$      | Sınır dalga boyu değeri                                      |
| $X_E$            | Civatadaki ölçülen uzama miktarı                             |
| $S_F$            | Sonik gerilme faktörü  |
| $V_0$            | Malzeme hızı   |
| $\Delta T$       | Zamandaki değişim  |
| $L_f$            | Yük faktörü  |
| $C_L$            | Civata montaj boyu   |
| $P_{OL}$         | Civatadaki ölçülen öngerilme kuvveti miktarı                 |
| $\Delta L$       | Civatada ölçülen uzama miktarı                               |
| $L_E$            | Gerilme altındaki ortalama boy                               |
| $R_{ZC}$         | Civata oturma yüzeyi pürüzlülüğü                             |
| $R_{ZS}$         | Somun oturma yüzeyi pürüzlülüğü                              |
| $R_{Zfu}$        | Üst flanş alt yüzey pürüzlülüğü                              |
| $R_{Zfa}$        | Alt flanş üst yüzey pürüzlülüğü                              |
| $\Delta R_{ZS}$  | Somun oturma yüzeyinde ölçülen pürüzlülüğü kaybı             |
| $\Delta R_{Zfu}$ | Üst flanş alt yüzeyde ölçülen yüzey pürüzlülüğü kaybı        |
| $\Delta R_{Zfa}$ | Alt flanş üst yüzeyde ölçülen yüzey pürüzlülüğü kaybı        |
| $\Delta R_Z$     | Montaj sonrası ölçülen yüzey pürüzlülüğü kaybı               |
| $\%R_Z$          | İlk yüzey pürüzlülüğüne göre gerçekleşen yüzde bazında kayıp |
| $\Sigma R_Z$     | Tüm temas yüzeylerinde meydana gelen toplam pürüz kaybı      |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.1. Civata-somun bağlanlatıları.....                                   | 3  |
| Şekil 2.2. Helis açınımı ve temel civata büyüklükleri.....                    | 4  |
| Şekil 2.3 Çeşitli vida profilleri.....  | 5  |
| Şekil 2.4. Civatada öngerilme kuvveti.....                                    | 8  |
| Şekil 2.5. Kare profilli civatada kuvvetler.....                              | 9  |
| Şekil 2.6. Trapez ve üçgen vida profilinde açılar.....                        | 10 |
| Şekil 2.7. Vida profilinde $F_N$ kuvvet bileşenleri.....                      | 11 |
| Şekil 2.8. Somun altındaki sürtünme yüzeyi.....                               | 12 |
| Şekil 2.9. İşletme kuvveti altında civata davranışı .....                     | 14 |
| Şekil 2.10. Civata ve parça için kuvvet-şekil değiştirme grafiği.....         | 15 |
| Şekil 2.11. Civata rijitliği ile $F_Z$ ilişkisi.....                          | 16 |
| Şekil 2.12. Civata bağlantılarında basıya zorlanan kısımda kesitler.....      | 17 |
| Şekil 2.13. Civatalarda efektif boy.....                                      | 18 |
| Şekil 2.14. Çekme kuvveti altında gerilmeler.....                             | 19 |
| Şekil 2.15. Civata-Flanş bağlantısında gerilme dağılımı.....                  | 20 |
| Şekil 2.16. Civatada bazı eksenler doğrultusunda çeki-bası gerilmeleri.....   | 20 |
| Şekil 2.17. Kısa-kalın civatalarda çeki-bası gerilmeleri.....                 | 21 |
| Şekil 2.18. Civata-Flanş arasındaki temas basıncı dağılımı.....               | 22 |
| Şekil 2.19. Bağlanan flanş parçalarında gerilme dağılımı.....                 | 23 |
| Şekil 2.20. Delikten uzaklaştıkça basınç değişimi.....                        | 24 |
| Şekil 2.21. Çekme ve Torklama durumunda civatadaki gerilmeler.....            | 24 |
| Şekil 2.22. Civatada Tork-Enerji ilişkisi.....                                | 27 |
| Şekil 2.23. Civata-Delik etkileşimi.....                                      | 29 |
| Şekil 2.24. Montaj elemanlarının etkisi.....                                  | 29 |
| Şekil 2.25. Civatada temas yüzeylerinde pürüzlülük.....                       | 30 |
| Şekil 2.26. Plastik deformasyondan dolayı öngerilme kuvvetindeki azalma.....  | 30 |
| Şekil 2.27. Uygun olmayan diş geçişi.....                                     | 33 |
| Şekil 2.28. Civata-Delik çakışması.....                                       | 34 |
| Şekil 2.29. Montaj kuvveti-Zaman grafiği.....                                 | 35 |
| Şekil 2.30. Civataların tekrar kullanılmasıyla Tork-Öngerilme.....            | 37 |
| Şekil 2.31. Yağlı ve Kuru durumda, öngerilme kuvvetinden sapma olasılığı..... | 37 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2.32. Molibden disülfid yağlanmış ve kuru durumlarda Tork - Uzama Grafiği.....             | 38 |
| Şekil 2.33. Yüzey karakteristikleri.....   | 42 |
| Şekil 2.34. Yüzey profili.....   | 43 |
| Şekil 2.35. Profil eğrisindeki yumuşama.....   | 43 |
| Şekil 2.36. Profil ölçüm uzunlukları.....  | 44 |
| Şekil 2.37. $R_a$ ve $R_q$ değerleri.....  | 45 |
| Şekil 2.38. $R_p$ ve $R_v$ .....   | 45 |
| Şekil 2.39. $R_z$ parametresinin hesaplanması.....   | 46 |
| Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan flanşların ölçüleri.....  | 48 |
| Şekil 3.2 Deneylerde kullanılan flanşlar.....  | 48 |
| Şekil 3.3. Mahr yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....   | 49 |
| Şekil 3.4. Tronic AT-1003-LDIN analog göstergeli torkmetre.....                                  | 51 |
| Şekil 3.5. Mini-Max ultrasonik civata ölçüm cihazı.....  | 52 |
| Şekil 3.6. Ses dalgası ve yankı.....   | 54 |
| Şekil 3.7. Pürüzlü yüzey ve sapmış dalga.....  | 55 |
| Şekil 3.8. Eğik Temas.....   | 55 |
| Şekil 3.9. Civata başındaki kazıntı.....   | 55 |
| Şekil 3.10. Civata başındaki kabartı.....  | 55 |
| Şekil 3.11. Yankı yüzeyindeki pürüzlülük sorunu.....   | 56 |
| Şekil 3.12. Eğik yankı yüzeyi sorunu.....  | 56 |
| Şekil 3.13. Eğik civata sorunu.....  | 56 |
| Şekil 3.14. Flanşların yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi.....                                       | 59 |
| Şekil 3.15. Civata boyunun ölçülmesi.....  | 60 |
| Şekil 3.16. Civatanın sıkılması.....   | 60 |
| Şekil 3.17 Deneylerde kullanılan bazı semboller ve büyüklükler.....                              | 65 |
| Şekil 4.1. M8 civata ve taşlanmış imalat çeliği yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....          | 67 |
| Şekil 4.2. M8 civata ve frezelenmiş imalat çeliği yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....        | 69 |
| Şekil 4.3. M8 civata ve frezelenmiş imalat çeliği yağlı yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....  | 71 |
| Şekil 4.4. M10 civata ve taşlanmış imalat çeliği yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....         | 73 |
| Şekil 4.5. M10 civata ve frezelenmiş imalat çeliği yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....       | 75 |
| Şekil 4.6. M10 civata ve frezelenmiş imalat çeliği yağlı yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği..... | 77 |
| Şekil 4.7. M12 civata ve taşlanmış imalat çeliği yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....         | 79 |

|  |     |
|--|-----|
| Şeki 4.8. M12 civata ve frezelenmiş imalat çeliği yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....              | 81  |
| Şekil 4.9. M12 civata ve frezelenmiş imalat çeliği yağlı yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği..          | 83  |
| Şekil 4.10. M8 civata ve tornalanmış paslanmaz çelik yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....           | 85  |
| Şekil 4.11. M8 civata ve frezelenmiş paslanmaz çelik yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....           | 87  |
| Şekil 4.12. M8 civata ve frezelenmiş paslanmaz çelik yağlı yüzey için Tork - $F_{on}$<br>grafiği.....  | 89  |
| Şekil 4.13. M10 civata ve tornalanmış paslanmaz çelik yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği...            | 91  |
| Şekil 4.14. M10 civata ve frezelenmiş paslanmaz çelik yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği....           | 93  |
| Şekil 4.15. M10 civata ve frezelenmiş paslanmaz çelik yağlı yüzey Tork- $F_{on}$ grafiği....           | 95  |
| Şekil 4.16. M12 civata ve tornalanmış paslanmaz çelik yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği...            | 97  |
| Şekil 4.17. M12 civata ve frezelenmiş paslanmaz çelik yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği....           | 99  |
| Şekil 4.18. M12 civata ve frezelenmiş paslanmaz çelik yağlı yüzey için Tork - $F_{on}$<br>grafiği..... | 101 |
| Şekil 4.19. M8 civata ve polisajlı alüminyum yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....                   | 102 |
| Şekil 4.20. M8 civata ve frezelenmiş alüminyum yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....                 | 105 |
| Şekil 4.21. M8 civata ve frezelenmiş alüminyum yağlı yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği..              | 107 |
| Şekil 4.22. M10 civata ve polisajlı alüminyum yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....                  | 109 |
| Şekil 4.23. M10 civata ve frezelenmiş alüminyum yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....                | 111 |
| Şekil 4.24. M10 civata ve frezelenmiş alüminyum yağlı yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği               | 113 |
| Şekil 4.25. M12 civata ve polisajlanmış alüminyum yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....              | 115 |
| Şekil 4.26. M12 civata ve frezelenmiş alüminyum yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği.....                | 117 |
| Şekil 4.27. M12 civata ve frezelenmiş alüminyum yağlı yüzey için Tork - $F_{on}$ grafiği               | 119 |
| Şekil 4.28. Frezelenmiş imalat çeliği flanşlar için Moment - $\Delta R_Z$ grafiği.....                 | 128 |
| Şekil 4.29 Frezelenmiş imalat çeliği flanşlar için Moment - $\% \Delta R_Z$ grafiği.....               | 128 |
| Şekil 4.30 Frezelenmiş paslanmaz çelik flanşlar için Moment - $\Delta R_Z$ grafiği.....                | 135 |
| Şekil 4.31 Frezelenmiş paslanmaz çelik flanşlar için Moment - $\% \Delta R_Z$ grafiği.....             | 135 |
| Şekil 4.32 Frezelenmiş alüminyum flanşlar için Moment - $\Delta R_Z$ grafiği.....                      | 142 |
| Şekil 4.33 Frezelenmiş alüminyum flanşlar için Moment - $\% \Delta R_Z$ grafiği.....                   | 142 |
| Şekil 4.34 M8 civata için flanş malzemelerine göre Moment - $\Delta R_Z$ grafiği.....                  | 143 |
| Şekil 4.35 M10 civata için flanş malzemelerine göre Moment - $\Delta R_Z$ grafiği.....                 | 143 |
| Şekil 4.36 M12 civata için flanş malzemelerine göre Moment - $\Delta R_Z$ grafiği.....                 | 143 |
| Şekil 4.37 M8 civata için flanş malzemelerine göre Moment - $\% \Delta R_Z$ grafiği.....               | 144 |



|  |     |
|--|-----|
| Şekil 4.38 M10 civata için flanş malzemelerine göre Moment - $\% \Delta RZ$ grafiği..... | 144 |
| Şekil 4.39 M12 civata için flanş malzemelerine göre Moment - $\% \Delta RZ$ grafiği..... | 145 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 2.1. Kullanım amacına göre civatalar.....  | 2  |
| Çizelge 2.2. Civatalarda açılacak delik standardı.....   | 6  |
| Çizelge 2.3. Civata ve somun mukavemet sınıfları.....  | 7  |
| Çizelge 2.4. Somun-Flanş yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısı.....   | 13 |
| Çizelge 2.5. Bazı civata ebatları için temas basıncı değerleri.....  | 22 |
| Çizelge 2.6. Tecrübeye bağlı olarak $f_z$ 'nin yaklaşık değerleri.....   | 32 |
| Çizelge 2.7. Montaj boyu ile nominal çap oranına bağlı $f_z$ değerleri.....  | 32 |
| Çizelge 2.8. Sıkma yöntemine bağlı olarak $\alpha_A$ değerleri.....  | 40 |
| Çizelge 3.1. Deneilerde kullanılan civataların ölçüleri.....   | 47 |
| Çizelge 3.2. Pürüzlülük ölçüm cihazı parametreleri.....  | 50 |
| Çizelge 3.3. 10 mm kalınlıklı ikili flanş montajı için civata $L_E$ değerleri.....                                       | 58 |
| Çizelge 3.4. Deneilerde kullanılan flanşlara uygulanan yüzey işlemleri.....  | 59 |
| Çizelge 3.5. Çeşitli civata ebatlarına karşılık tavsiye edilen öngerilme ve moment değerleri.....                        | 61 |
| Çizelge 3.6. Deneiler kapsamında civatalara uygulanan moment değerleri.....  | 61 |
| Çizelge 3.7. Çeşitli civata ebatlarına karşılık gelen çap ve alan büyüklükleri.....                                      | 63 |
| Çizelge 3.8. Flanş yüzeyleri ve vida dişleri için seçilen sürtünme katsayıları.....                                      | 63 |
| Çizelge 4.1 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ON}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....  | 66 |
| Çizelge 4.2. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{OL}$ değerleri.....                          | 66 |
| Çizelge 4.3. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{OL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....             | 67 |
| Çizelge 4.4. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ON}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri..... | 68 |
| Çizelge 4.5. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{OL}$ değerleri.....                          | 68 |
| Çizelge 4.6. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{OL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....             | 69 |
| Çizelge 4.7. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ON}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri..... | 69 |
| Çizelge 4.8. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{OL}$ değerleri.....                          | 70 |

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 4.9. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....              | 70 |
| Çizelge 4.10. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri..... | 71 |
| Çizelge 4.11. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                          | 72 |
| Çizelge 4.12. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....             | 72 |
| Çizelge 4.13. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri..... | 73 |
| Çizelge 4.14. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                          | 74 |
| Çizelge 4.15. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....             | 74 |
| Çizelge 4.16. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri..... | 75 |
| Çizelge 4.17. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                          | 76 |
| Çizelge 4.18. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....             | 76 |
| Çizelge 4.19. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri..... | 77 |
| Çizelge 4.20. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                          | 78 |
| Çizelge 4.21. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....             | 78 |
| Çizelge 4.22. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri..... | 79 |
| Çizelge 4.23. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                          | 80 |
| Çizelge 4.24. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....             | 80 |
| Çizelge 4.25. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri..... | 81 |
| Çizelge 4.26. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                          | 82 |
| Çizelge 4.27. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....             | 82 |

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 4.28. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{\text{ÖN}}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{\text{SSZ}}$ değerleri..... | 83 |
| Çizelge 4.29. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{\text{ÖL}}$ değerleri.....                                 | 84 |
| Çizelge 4.30. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{\text{ÖL}}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{\text{SSZ}}$ değerleri.....             | 84 |
| Çizelge 4.31. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{\text{ÖN}}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{\text{SSZ}}$ değerleri..... | 85 |
| Çizelge 4.32. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{\text{ÖL}}$ değerleri.....                                 | 86 |
| Çizelge 4.33. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{\text{ÖL}}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{\text{SSZ}}$ değerleri.....             | 86 |
| Çizelge 4.34. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{\text{ÖN}}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{\text{SSZ}}$ değerleri..... | 87 |
| Çizelge 4.35. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{\text{ÖL}}$ değerleri.....                                 | 88 |
| Çizelge 4.36. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{\text{ÖL}}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{\text{SSZ}}$ değerleri.....             | 88 |
| Çizelge 4.37. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{\text{ÖN}}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{\text{SSZ}}$ değerleri..... | 89 |
| Çizelge 4.38. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{\text{ÖL}}$ değerleri.....                                 | 90 |
| Çizelge 4.39. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{\text{ÖL}}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{\text{SSZ}}$ değerleri.....             | 90 |
| Çizelge 4.40. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{\text{ÖN}}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{\text{SSZ}}$ değerleri..... | 91 |
| Çizelge 4.41. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{\text{ÖL}}$ değerleri.....                                 | 92 |
| Çizelge 4.42. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{\text{ÖL}}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{\text{SSZ}}$ değerleri.....             | 92 |
| Çizelge 4.43. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{\text{ÖN}}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{\text{SSZ}}$ değerleri..... | 93 |
| Çizelge 4.44. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{\text{ÖL}}$ değerleri.....                                 | 94 |
| Çizelge 4.45. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{\text{ÖL}}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{\text{SSZ}}$ değerleri.....             | 94 |
| Çizelge 4.46. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{\text{ÖN}}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{\text{SSZ}}$ değerleri..... | 95 |

|  |     |
|--|-----|
| Çizelge 4.47. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                           | 96  |
| Çizelge 4.48. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....              | 96  |
| Çizelge 4.49. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....  | 97  |
| Çizelge 4.50. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                           | 98  |
| Çizelge 4.51. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....              | 98  |
| Çizelge 4.52. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri ..... | 99  |
| Çizelge 4.53. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                           | 100 |
| Çizelge 4.54. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....              | 100 |
| Çizelge 4.55. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....  | 101 |
| Çizelge 4.56. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                           | 102 |
| Çizelge 4.57. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....              | 102 |
| Çizelge 4.58. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....  | 103 |
| Çizelge 4.59. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                           | 104 |
| Çizelge 4.60. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....              | 104 |
| Çizelge 4.61. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....  | 105 |
| Çizelge 4.62. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                           | 106 |
| Çizelge 4.63. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....              | 106 |
| Çizelge 4.64. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....  | 107 |
| Çizelge 4.65. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                           | 108 |

|   |     |
|---|-----|
| Çizelge 4.66. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....             | 108 |
| Çizelge 4.67. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri..... | 109 |
| Çizelge 4.68. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                          | 110 |
| Çizelge 4.69. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....             | 110 |
| Çizelge 4.70. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri..... | 111 |
| Çizelge 4.71. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                          | 112 |
| Çizelge 4.72. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....             | 112 |
| Çizelge 4.73. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri..... | 113 |
| Çizelge 4.74. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                          | 114 |
| Çizelge 4.75. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....             | 114 |
| Çizelge 4.76. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri..... | 115 |
| Çizelge 4.77. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                          | 116 |
| Çizelge 4.78. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....             | 116 |
| Çizelge 4.79. Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan $F_{ÖN}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri..... | 117 |
| Çizelge 4.80. Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve $F_{ÖL}$ değerleri.....                          | 118 |
| Çizelge 4.81. Uygulanan momente karşılık ölçülen $F_{ÖL}$ ve İdeal sürtünmesiz halde $F_{SSZ}$ değerleri.....             | 118 |
| Çizelge 4.82. Deneylerde ölçülen öngerilme kuvveti kaybı ortalamaları.....  | 119 |
| Çizelge 4.83. Önerilen sürtünme katsayısı değerleri.....  | 120 |
| Çizelge 4.84. Deney numunelerinin HB sertlik değerleri.....   | 121 |
| Çizelge 4.85. İmalat çeliği flanş ve M8 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları.....                      | 122 |

|   |     |
|---|-----|
| Çizelge 4.86. İmalat çeliği flanş ve M10 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları.....                                       | 123 |
| Çizelge 4.87. İmalat çeliği flanş ve M12 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları.....                                       | 124 |
| Çizelge 4.88. İmalat çeliği flanş ve M8 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları.....                         | 125 |
| Çizelge 4.89. İmalat çeliği flanş ve M10 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları.....                        | 125 |
| Çizelge 4.90. İmalat çeliği flanş ve M12 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları.....                        | 126 |
| Çizelge 4.91. İmalat çeliği flanş ve M8 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı.....                               | 126 |
| Çizelge 4.92. İmalat çeliği flanş ve M10 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı.....                              | 127 |
| Çizelge 4.93. İmalat çeliği flanş ve M12 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı.....                              | 127 |
| Çizelge 4.94. Frezelenmiş imalat çeliği yüzeyler için Literatürdeki formül ve tablolardan hesaplanan yüzey pürüzlülüğü kaybı değerleri..... | 127 |
| Çizelge 4.95. Paslanmaz çelik flanş ve M8 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları.....                                      | 129 |
| Çizelge 4.96. Paslanmaz çelik flanş ve M10 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları.....                                     | 130 |
| Çizelge 4.97. Paslanmaz çelik flanş ve M12 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları.....                                     | 131 |
| Çizelge 4.98. Paslanmaz çelik flanş ve M8 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları.....                       | 132 |
| Çizelge 4.99. Paslanmaz çelik flanş ve M10 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları.....                      | 132 |
| Çizelge 4.100. Paslanmaz çelik flanş ve M12 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları.....                     | 133 |
| Çizelge 4.101. Paslanmaz çelik flanş ve M8 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı.....                            | 133 |

|  |     |
|--|-----|
| Çizelge 4.102. Paslanmaz çelik flanş ve M10 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı.....                              | 134 |
| Çizelge 4.103. Paslanmaz çelik flanş ve M12 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı.....                              | 134 |
| Çizelge 4.104. Frezelenmiş paslanmaz çelik yüzeyler için Literatürdeki formül ve tablolardan hesaplanan yüzey pürüzlülüğü kaybı değerleri..... | 134 |
| Çizelge 4.105. Alüminyum flanş ve M8 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları.....  | 136 |
| Çizelge 4.106. Alüminyum flanş ve M10 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları.....   | 137 |
| Çizelge 4.107. Alüminyum flanş ve M12 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları.....   | 138 |
| Çizelge 4.108. Alüminyum flanş ve M8 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları.....                               | 139 |
| Çizelge 4.109. Alüminyum flanş ve M10 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları.....                              | 139 |
| Çizelge 4.110. M12 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları.....   | 140 |
| Çizelge 4.111. Alüminyum flanş ve M8 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı.....                                     | 140 |
| Çizelge 4.112. Alüminyum flanş ve M10 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı.....                                    | 141 |
| Çizelge 4.113. Alüminyum flanş ve M12 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı.....                                    | 141 |
| Çizelge 4.114. Frezelenmiş alüminyum yüzeyler için Literatürdeki formül ve tablolardan hesaplanan yüzey pürüzlülüğü kaybı değerleri.....       | 141 |
| Çizelge 4.115 Flanş malzemesine bağlı olarak pürüz ezilmesinden kaynaklanan öngerilme kuvveti kaybı.....                                       | 146 |



## 1. GİRİŞ

Bir civata bağlantısının bağlama görevini kusursuz bir şekilde yerine getirebilmesi için mutlaka belirli bir ön gerilme kuvveti ile yüklenmesi gerekmektedir. Bu öngerilme kuvveti civatanın malzemesi, bağlanan parçaların malzemesi, bağlanan parçalar ve somun-civata dişleri arasındaki sürtünme kuvveti dolayısıyla yüzey pürüzlülük değeri vb. pek çok etmen tarafından belirlenmektedir. Ayrıca operatorün ve kullanılan tork aletinin hassasiyeti de büyük önem taşımaktadır. Bu faktörlerden en önemlisi yüzey pürüzlülüğüne bağlı sürtünme kuvvetidir. Yetersiz bir öngerilme kuvveti zayıf bir bağlantı oluşturarak zamanla parçaların birbirinden ayrılmasına sebep olabileceği gibi, aşırı bir öngerilme kuvveti üzerine eklenecek bir işletme kuvveti sonucu civata bağının kopmasına sebep olabilecektir.

Civataya uygulanan sıkma momentini büyük bir kısmı civataya öngerilme kuvveti olarak aktarılamamakta, sürtünme kuvvetlerini yenmeye harcanmaktadır. Ayrıca bağlanan parçalar ve somun - parça arasındaki yüzey pürüzleri sıkma işlemi sırasında bir miktar ezilerek yine öngerilme kuvvetinde azalmaya sebep olmaktadır.

Yukarıda verilen veriler ışığında aslında civata bağlantısının öngerilme kuvvetinin doğru bir şekilde hesaplanmasının önemli olduğu kadar bir o kadar da zor olduğu görülmektedir. Pratikte civata bağlantılarının ön gerilme kuvveti ve montaj torku hesaplanırken çeşitli formüller ve kabullerden faydalanılmaktadır. Bu formüller ve tablolar genellikle yüzey pürüzlülük değerine göre belirlenmektedir. Ancak yüzey pürüzlerindeki ezilmeye bağlı olarak gerçekleşen öngerilme kaybı ile ilgili literatürde fazla bir çalışma yapılmamıştır. Bu konuda veriler yetersiz olmakla beraber genelde öngerilme kuvveti ve gerekli moment hesaplarında bu durum ihmal edilmektedir.

Bu çalışmada amaç olarak civata-flanş bağlantılarındaki yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak gerçekleşen öngerilme kuvveti kaybı incelenerek literatürdeki bu eksiklik giderilecek , halihazırda kullanılan kabullerdeki, tablolardaki ve ampirik formüllerdeki yanlış payları göz önüne serilecektir.

## 2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI

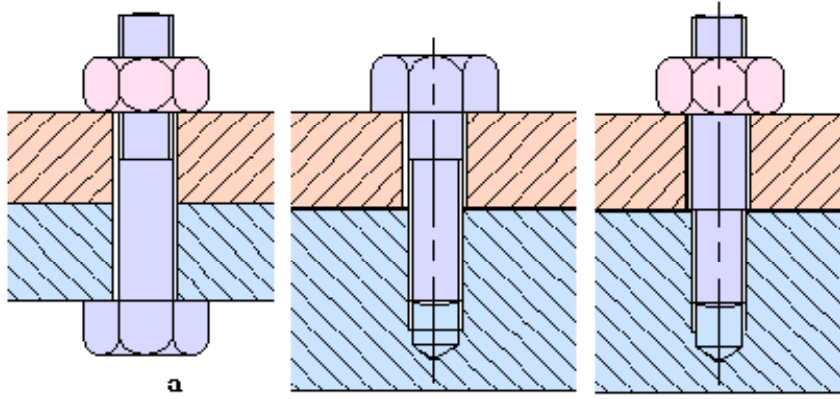
### 2.1. Civata Bağlantıları

Çözülebilir bağlama konstruksiyonlarında en sık kullanılan bağlantı elemanlarında birisi de civata bağlantılarıdır. Bağlanacak elemanlarda sadece delik delme işlemine yada bir kısmına delik delinip diğerlerine vida açma gibi kolay ön hazırlık gerektirmesi, standart boyutlarda olmaları, seri ve ucuza üretilmeleri montajlarının bir anahtar ile kolaylıkla yapılabilmesi gibi sebeplerle tercih edilmektedirler. Kullanım amaçlarına göre civataların sınıflandırılması Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kullanım amacına göre civatalar (BABALIK 1997)

| Civata Türü      | Kullanım Amacı  |
|------------------|---|
| Bağlama Civatası | Makine parçalarının çözülebilir bağlanmasında   |
| Ayar Civatası    | Aşınma veya boşluk ayarı gereken yerlerde   |
| Hareket Civatası | Vidalı pres, mengene ve kriko gibi mekanizmalarda küçük çevre kuvvetleri ile büyük aksenal kuvvetler elde etmekte |
| Ölçü Civatası    | Mikrometre gibi çok yüksek hassasiyet istenen mekanizmalarda  |
| Gergi Civatası   | Ön gerilme kuvveti gereken gergi mekanizmalarında   |
| Kapama Civatası  | Yağ deliklerinin kapatılması ve sızdırmazlık elemanı olarak   |

Civata bağlantıları dolu bir silindir üzerine bir profilin helisel bir hareketle sarılması ile meydana gelen civata ve içi boş bir silindirin iç çevre yüzeyine, aynı profilin aynı helisel hareketle sarılmasından meydana gelen somun olmak üzere iki elemandan meydana gelmektedir. Yüzeye sarılan profillere ise vida profili denilir. Civata ve somun çiftlerinin sorunsuz çalışabilmesi için vida profillerinin ve adımlarının (hatvelerinin) aynı olması gerekmektedir.



Şekil 2.1. Civata-somun bağlantıları

Civataların bağlama elemanı olarak kullanılması durumunda Şekil 2.1’de görüldüğü gibi somun ayrı bir parça olabilir veya bağlanacak parçalardan birisine iç vida açılarak somun haline getirilebilir. Bir tarafı doğrudan doğruya bağlanacak parçaya vidalanan ve somunla birlikte kullanılan elemanlar kullanılabilir. Bu tür civatalara saplama adı verilir.

Civatalarda teorik olarak sarılan helisi çap (d), hatve (P) ve helis açısı ( $\alpha$ ) olmak üzere üç faktör tayin eder. Bir helis eğrisi açıldığı zaman bir dik üçgen elde edilir. Şekil 2.2. Dik üçgenin P yüksekliğine helis adımı (vida hatvesi) denir.

Üçgenin tabanı silindirin çevre uzunluğu;

$$L = \pi.d \quad (2.1)$$

Buna göre dik üçgenden helis açısı veya eğimi;

$$\alpha = \arctg \frac{P}{\pi.d} \quad (2.2)$$

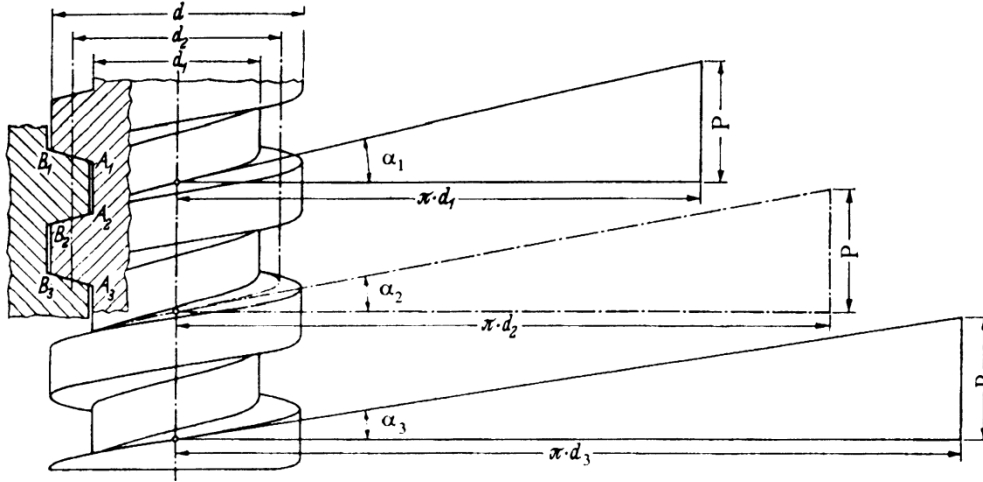
olarak tanımlanır.

Anılan işlem borunun iç yüzeyi için yapılıyorsa somun elde edilir. Vida profilinin her noktası eğim açısı farklı olan helislerle çizilmektedir. Dış çap  $d$ , ortalama çap  $d_2$  ve diş dibi çapı  $d_3$  ile gösterilirse

$$\alpha_2 = \arctg \frac{P}{\pi.d_2} \quad (2.3)$$

$$\alpha_3 = \arctg \frac{P}{\pi.d_3} \quad (2.4)$$

şeklinde belirlenir. Hesaplamalarda vidanın helis açısı olarak vida ortalama capına  $d_2$ 'ye karşılık gelen helis açısı alınır. Hatve, civatanın tam bir dönüşüne karşılık gelen eksenel yöndeki ilerlemedir.



Şekil 2.2. Helis açınımlı ve temel civata büyüklükleri (BABALIK 1997)

Somunda da nominal çap  $D$ , ortalama çap  $D_2$ , diş başı çapı  $D_1$  ile gösterilir. ( $D=d$  ve  $D_2=d_2$  dir). Civata şaftının dış çapı, aynı zamanda civatanın nominal çapıdır ve  $d$  ile gösterilir. Civatanın diş dibi çapı  $d_3$ 'tür. Mukavemet hesaplarında civata kesit alanı belirlenirken en zayıf kesit burası olduğu için bu çap kullanılır.

$$A_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \quad (2.5)$$

Metrik ISO vidalarında diş dibi çapı ile nominal çap arasında:

$$d_3 = d - 1,22687 \cdot P$$

ortalama çap ile nominal çap arasında ise

$$d_2 = d - 0,64953 \cdot P$$

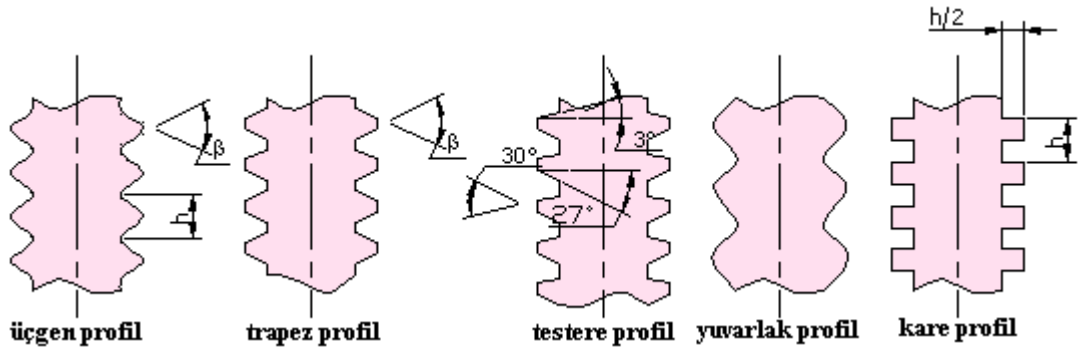
bağıntısı vardır.

### 2.1.1. Civataların sınıflandırılması

Civata veya somunun elde edilmesinde helisel hareketle silindir üzerine veya delik yüzeyine sarılan profillerin şekline uygun olarak Şekil 2.3.'de gösterildiği gibi vidalara; üçgen vida, trapez vida, yuvarlak vida, testere vida ve kare vida isimleri verilir. Vida profillerinin birbirinden ayırt edilmesini sağlayan  $\beta$  tepe açısı vardır. Profili

üçgen şeklinde olan vidalar metrik ve Whitworth olmak üzere ikiye ayrılır. Metrik vida profili eşkenar üçgen olup tepe acısı  $\beta = 60^\circ$ , whitworth vida profili ikizkenar üçgen olup tepe acısı  $\beta = 55^\circ$  'dir

Hareket vidalarında kare, testere ve yuvarlak profil kullanılır. En sık kullanılan tepe açısı  $30^\circ$  olan simetrik trapezdir. Standart gösterimi Tr 'den sonra çap ve adım yazılarak yapılır. Testere vida ise asimetrik tarpez kesite sahiptir. Yük tarafı  $3^\circ$ , arka tarafı  $30^\circ$  eğimli ve yük tarafı  $0^\circ$ , arka tarafı  $45^\circ$  eğimli iki türü vardır.



Şekil 2.3 Çeşitli vida profilleri

Metrik ve Whitworth vidaların diş başları ile diş dipleri çentik etkisini azaltmak için yuvarlatılmıştır. Metrik vidalar normal ve ince diş olmak üzere iki çeşittir. Aynı dış çap için ince vidanın hatvesi normal vidaya göre daha küçüktür. Bunun sonucu olarak ince vidanın diş dibi çapı normal vidanınkinden daha büyüktür. Metrik civatalar M harfinden sonra nominal çap yazılarak gösterilir.

Diş profillerinin silindir üzerine sarılma yönüne göre vida sağ veya sol vida olabilir. Civata sıkılırken saat ibresi yönünde döndürülüyorsa vida sağ helis, saat ibresinin tersi yönünde döndürülüyorsa sol helistir.

### 2.1.2. Civatalarda tolerans

Civatalar; vidaların uyumu, ekonomik üretilebilmesi, bağlantılarının yeterli kalitede ve mukavemette olabilmesi için belirli bir toleransa uymak zorundadır. Civata için a, b, c, d, e, f ve g toleransları, somun için ise H ve G toleransları tespit edilmiştir.

ISO sistemine göre civata toleransları ince, orta ve kaba olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır.

TS 528 EN 20273 Nisan 2002 kapsamında ‘Bağlama Elemanları/Civatalar için boşluklu delikler’ standardına göre civatalara göre açılacak delik standartları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Civatalarda açılacak delik standardı (TS 528 EN 20273 Nisan 2002)

| Vida Çapı<br>D (mm) | Boşluklu Delik $d_h$ |           |           |
|---------------------|----------------------|-----------|-----------|
|                     | İnce (mm)            | Orta (mm) | Kaba (mm) |
| 1                   | 1,1                  | 1,2       | 1,3       |
| 1,2                 | 1,3                  | 1,4       | 1,5       |
| 1,4                 | 1,5                  | 1,6       | 1,8       |
| 1,6                 | 1,7                  | 1,8       | 2         |
| 1,8                 | 2                    | 2,1       | 2,2       |
| 2                   | 2,2                  | 2,4       | 2,6       |
| 2,5                 | 2,7                  | 2,9       | 3,1       |
| 3                   | 3,2                  | 3,4       | 3,6       |
| 3,5                 | 3,7                  | 3,9       | 4,2       |
| 4                   | 4,3                  | 4,5       | 4,8       |
| 4,5                 | 4,8                  | 5         | 5,3       |
| 5                   | 5,3                  | 5,5       | 5,8       |
| 6                   | 6,4                  | 6,6       | 7         |
| 7                   | 7,4                  | 7,6       | 8         |
| 8                   | 8,4                  | 9         | 10        |
| 10                  | 10,5                 | 11        | 12        |
| 12                  | 13                   | 13,5      | 14,5      |
| 14                  | 14                   | 15,5      | 16,5      |
| 16                  | 17                   | 17,5      | 18,5      |
| 18                  | 19                   | 20        | 21        |
| 20                  | 21                   | 22        | 24        |
| 22                  | 23                   | 24        | 26        |
| 24                  | 25                   | 26        | 28        |
| 27                  | 28                   | 30        | 32        |

### 2.1.3. Civata malzemeleri

Civata ve somunlar imalat metoduna ve civatalarının kullanılacağı ortamın özelliklerine bağlı olarak farklı malzemelerden imal edilmektedir. Bağlama civataları için genellikle sünek çelikler kullanılır. Bu çelikler ısıtılarak geçirilerek çok geniş

bir mukavemet aralığında çeşitlendirilmiştir. Çeliğin yanısıra civata ve somun malzemesi olarak alüminyum alaşımları, pirinç ve elektrik izolasyonu gerektiren alanlarda poliamid, teflon gibi plastikler de kullanılmaktadır.

Mukavemet açısından civatalar kalite gruplarına ayrılmıştır. Civata ve somun mukavemet gurupları Çizelge 2.3'de verilmiştir. Her grup iki sayıdan oluşan sembollerle belirtilir. Birinci sayının 100 ile çarpımı, malzemenin  $N/mm^2$  cinsinden minimum kopma mukavemetini ( $R_m$ ), ikinci sayının birinci sayı ile çarpımı ise malzemenin yine  $daN/mm^2$  cinsinden akma sınırını ( $R_z$ ) gösterir.

Çizelge 2.3. Civata ve somun mukavemet sınıfları (RENDE 2000)

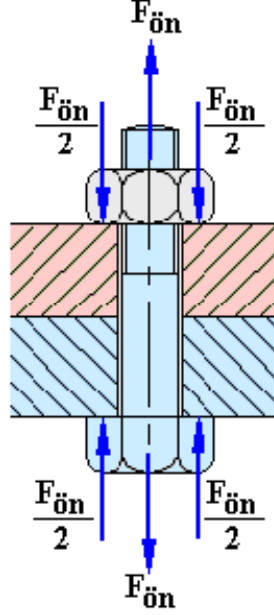
|                        | Kalite Katsayıları |     |     |     |     |     |       |      |      |      |
|------------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|------|------|
|                        | 3.6                | 4.6 | 4.8 | 5.6 | 5.8 | 6.8 | <M8.8 | >M16 | 10.9 | 12.9 |
| $R_m$<br>( $N/mm^2$ )  | 300                | 400 | 400 | 500 | 500 | 600 | 800   | 800  | 1000 | 1200 |
| $R_z$<br>( $N/mm^2$ )  | 180                | 240 | 320 | 300 | 400 | 480 | 640   | 640  | 900  | 1080 |
| Kopma<br>Uzaması<br>%A | 25                 | 22  | 14  | 20  | 10  | 8   | 12    | 12   | 9    | 8    |
| Vickers<br>Sert. HV    | 95                 | 120 | 130 | 155 | 160 | 190 | 230   | 255  | 310  | 372  |
| Brinel<br>Sert. HB     | 90                 | 114 | 124 | 147 | 152 | 181 | 219   | 242  | 295  | 353  |

## 2.2. Civata Hesapları

### 2.2.1.Kuvvet iletimi

Bir civata somun bağlantısında uygulanan dönme momentinin sonucunda civata eksenî yönünde  $F_{\text{ÖN}}$  kuvveti meydana gelir (Şekil 2.4). Civatayı uzamaya zorlayan bu kuvvet civata dişlerinden somuna, oradan da somun oturma yüzeyinden bağlanan parçalara iletilerek bu parçaların birbirlerine doğru sıkıştırılması sağlanır. Eksenel sıkma kuvvetini meydana getirmek için civata başı veya somuna bir anahtar yardımı ile

uygulanan sıkma momenti  $M_{CS}$  iki direnç momentinin toplamı olarak;  $M_{cs} = M_1 + M_2$  şeklinde ifade edilir. Burada  $M_1$  asıl sıkma momenti,  $M_2$  somun veya civata başı ile bağlanan parçalar arasındaki sürtünme momentidir.



Şekil 2.4. Civatada öngerilme kuvveti

Bir kare profil vidanın üzerinde bir somun elemanı düşünelim (Şekil 2.5). Vida etrafına helisel olarak sarılan profili açtığımızda bir dik üçgen meydana gelir. Bu yüzden somunun sıkılmasını işlemi eğik düzlemde bir yükün yukarıya doğru hareket ettirilmesi gibi kabul edebiliriz. Somunun sıkılması için uygulanan  $F_C$  teğetsel kuvveti aynı zamanda yükü eğik düzlemde yukarıya doğru hareket ettiren kuvvettir. Dişler arasında sürtünme kuvveti yokmuş gibi düşünersek, bağlantıyı zorlayan  $F_{ÖN}$  kuvveti ile bu yüke karşı somunu döndürmek için uyguladığımız  $F_C$  kuvveti denge halindedir. Kuvvet vektörlerinin dengede olabilmesi için

$$F_C = F_{ÖN} \cdot \tan \alpha \quad (2.6)$$

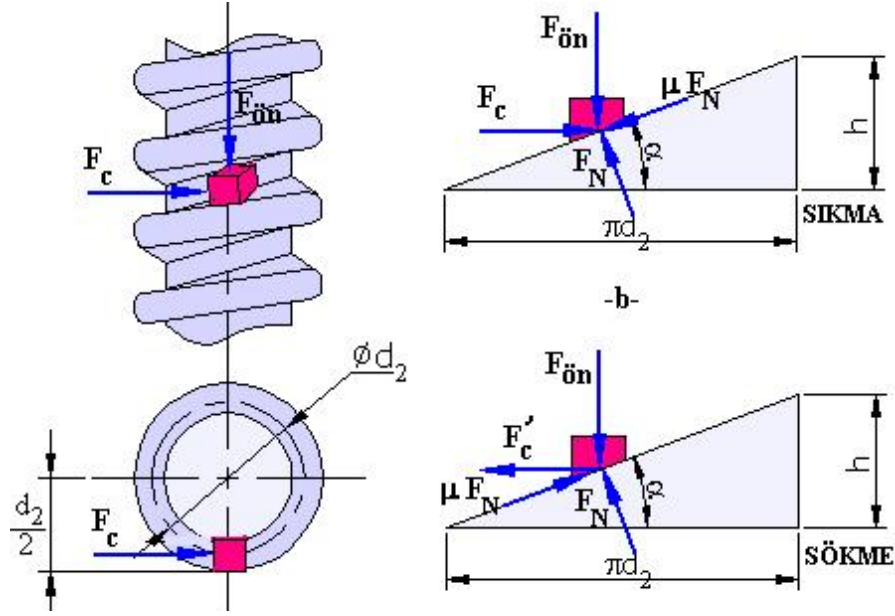
olmalıdır.

Somunu döndürmek için gerekli moment ise

$$M_{cs} = F_{ÖN} \cdot \tan \alpha \cdot d_2/2 \quad (2.7)$$

dir.





Şekil 2.5. Kare profilli civatada kuvvetler (GEMALMAYAN 2009)

Sürtünmeyi de hesaba katarsak somunun dönmesi esnasında bu hareketi önlemeye çalışan dişler arasındaki sürtünme de, eğik düzlemdeki yük ile eğik düzlem arasındaki sürtünmeyle aynıdır. Bir somunun sıkılması halinde somuna etkiyen kuvvetler Şekil 2.5’de verildiği gibi olup eleman bu kuvvetler altında dengededir. Buna göre düşey kuvvetlerin denge denklemi yazılırsa;

$$F_{ÖN} = F_N \cdot \cos\alpha - \mu \cdot F_N \cdot \sin\alpha = F_N (\cos\alpha - \mu \cdot \sin\alpha) \quad (2.8)$$

Yatay kuvvetlerin denge denklemi yazılırsa;

$$F_{Ç} = F_N \cdot \sin\alpha + \mu \cdot F_N \cdot \cos\alpha = F_N \cdot (\sin\alpha + \mu \cdot \cos\alpha) \quad (2.9)$$

ifadesi elde edilir.

Bu iki denklemden

$$F_{Ç} = F_{ÖN} \frac{\sin\alpha + \mu \cdot \cos\alpha}{\cos\alpha - \mu \cdot \sin\alpha} \quad (2.10)$$

bulunur.

Bu bağıntıyı pay ve paydası  $1/\cos\alpha$  ile çarpılırsa

$$F_{Ç} = F_{ÖN} \frac{\tan\alpha + \mu}{1 - \mu \cdot \tan\alpha} \quad (2.11)$$

Burada sürtünme açısı ( $\rho$ ) olmak üzere  $\mu = \tan\rho$  değeri kullanılırsa

$$F_{\zeta} = F_{\dot{O}N} \frac{\tan\alpha + \tan\rho}{1 - \tan\alpha \cdot \tan\rho} \quad (2.12)$$

Bu formülde  $\tan\alpha \cdot \tan\rho$  değeri çok küçük olduğu için ihmal edilebilir;

$$F_{\zeta} = F_{\dot{O}N} \cdot \tan(\alpha + \rho) \quad (2.13)$$

Somun gevşetilirken sürtünme kuvveti yön değiştirecektir, yine denge denklemlerinden

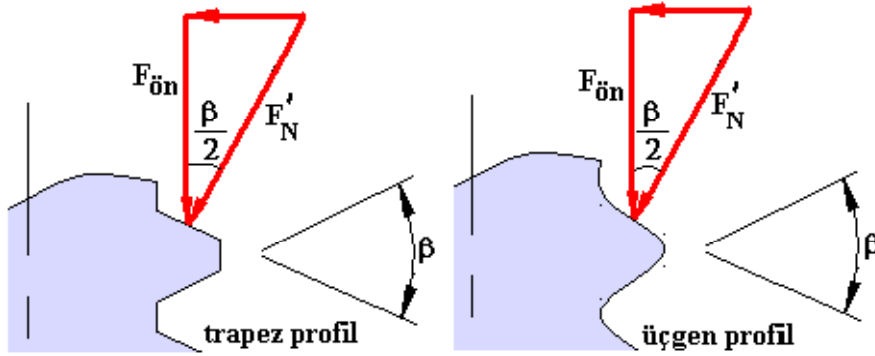
$$F_{\zeta} = F_{\dot{O}N} \cdot \tan(\alpha - \rho) \quad (2.14)$$

olacaktır. Çevresel kuvvetin ortalama çapa ( $d_2$ ) etkidiğinden hareketle;

$$M_{CS1} = F_{\dot{O}N} \cdot \frac{d_2}{2} \tan(\alpha + \rho) \quad (2.15)$$

$$M_{CG1} = F_{\dot{O}N} \cdot \frac{d_2}{2} \tan(\alpha - \rho) \quad (2.16)$$

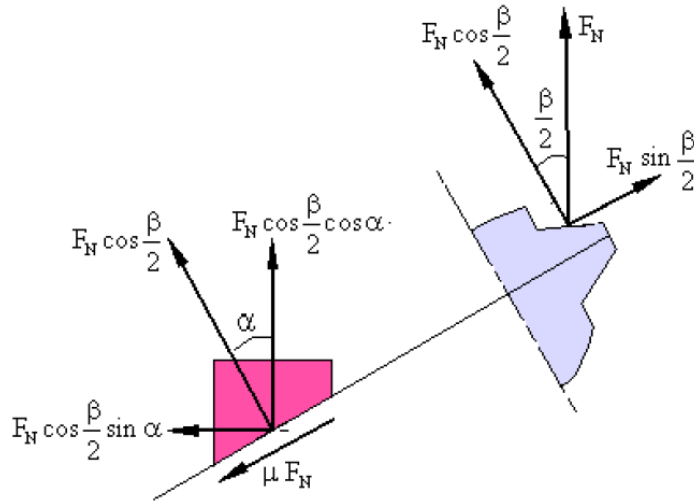
bağıntıları elde edilir.



Şekil 2.6. Trapez ve üçgen vida profilinde açılar (GEMALMAYAN 2009)

Kare profilli civatalarda  $F_{\dot{O}N}$  kuvveti profil düzlemine dik ve civata eksenine paraleldir.  $F_{\dot{O}N}$  kuvveti doğrudan doğruya  $F_{\zeta}$  kuvvetinin etkisiyle oluşur. Üçgen ve trapez profilli civatalarda ise  $F_{\dot{O}N}$  kuvveti profil yüzeyine dik değil fakat civata eksenine paraleldir (Şekil 2.6).  $F_{\dot{O}N}$  kuvvetinin profil düzlemine dik bileşenin hesaplanması gerekmektedir. Bu bileşen profil tepe açısından faydalanılarak hesaplanabilir. Vida profil tepe açısı  $\beta$  olduğuna göre, profil düzlemine dik olan kuvvet;

$$F'_N = \frac{F_{\dot{O}N}}{\cos\frac{\beta}{2}} \quad (2.17)$$



Şekil 2.7. Vida profilinde  $F_N$  kuvvet bileşenleri (GEMALMAYAN 2009)

Üçgen ve trapez vidalarda normal kuvvet  $F_N$ , ayrıca tepe açısının yönüne göre bir eğim gösterir (Şekil 2.7). Buna göre düşey yöndeki denge denklemleri;

$$F_N \cdot \cos \frac{\beta}{2} \cdot \cos \alpha - \mu \cdot F_N \cdot \sin \alpha = F_{\text{ÖN}} \quad (2.18)$$

$$F_N = F_{\text{ÖN}} \cdot \frac{1}{\cos \frac{\beta}{2} \cdot \cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha} \quad (2.19)$$

yatay düzlemdeki denge denklemleri

$$F_N \cdot \cos \frac{\beta}{2} \cdot \sin \alpha + \mu \cdot F_N \cdot \cos \alpha = F_{\text{Ç}} \quad (2.20)$$

$$F_{\text{Ç}} = F_N \left( \cos \frac{\beta}{2} \cdot \sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha \right) \quad (2.21)$$

Bu ifadeye  $F_N$  yerine yazılırsa

$$F_{\text{Ç}} = F_{\text{ÖN}} \cdot \frac{\left( \cos \frac{\beta}{2} \cdot \sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha \right)}{\left( \cos \frac{\beta}{2} \cdot \cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha \right)} \quad (2.22)$$

pay ve payda  $\cos \frac{\beta}{2}$  'ye bölünürse

$$F_{\text{Ç}} = F_{\text{ÖN}} \cdot \frac{\left( \sin \alpha + \frac{\mu}{\cos \frac{\beta}{2}} \cdot \cos \alpha \right)}{\left( \cos \alpha - \frac{\mu}{\cos \frac{\beta}{2}} \cdot \sin \alpha \right)} \quad (2.23)$$

Denklemleri basitleştirmek için  $\mu' = \frac{\mu}{\cos \frac{\beta}{2}}$  yazılırsa

$$F_{\text{Ç}} = F_{\text{ÖN}} \cdot \frac{\left( \sin \alpha + \mu' \cdot \cos \alpha \right)}{\left( \cos \alpha - \mu' \cdot \sin \alpha \right)} \quad (2.24)$$

olarak elde edilir. Pay ve payda  $\frac{1}{\cos\alpha}$  ile çarpılıp  $\mu' = \tan\rho'$  yazılırsa

$$F_C = F_{\ddot{O}N} \cdot \frac{(\tan\alpha + \tan\rho)}{(1 - \tan\alpha \cdot \tan\rho)} \quad (2.25)$$

$\tan\alpha \cdot \tan\rho'$  ifadesi çok küçük olduğu için ihmal edilirse

$$F_C = F_{\ddot{O}N} \cdot \tan(\alpha + \rho') \quad (2.26)$$

elde edilir.

$\mu' = \tan\rho'$  ifadesi vidanın tepe açısına bağlı sürtünme açısı değeridir. Sürtünme kuvveti tepe açısına bağlı olarak değişmektedir. Kare vidadaki  $\rho = \arctg\mu$  ile üçgen profilli vidadaki  $\rho' = \arctg\mu'$  birbirinden farklıdır. Daha önceki denklemlerdeki  $\mu' = \frac{\mu}{\cos\frac{\beta}{2}}$  ifadesindeki  $\beta$  değeri yerine metrik civatalarda  $60^\circ$  alınabilir. Böylece

$$\mu' = \frac{\mu}{0,866} = 1,15\mu \quad (2.27)$$

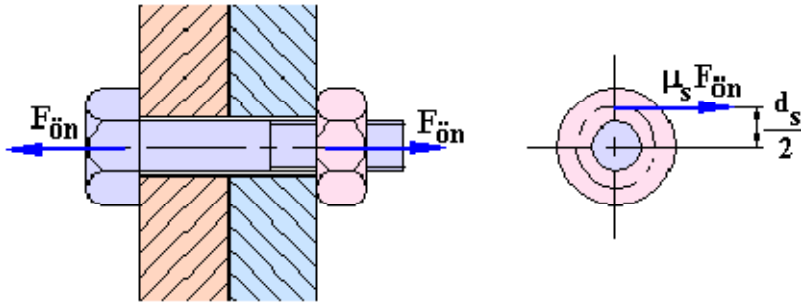
elde edilir. Civatayı sıkmak için gereken moment

$$M_{CS1} = F_{\ddot{O}N} \cdot \frac{d_2}{2} \tan(\alpha + \rho') \quad (2.28)$$

Civatayı gevşetmek için gereken moment

$$M_{CG1} = F_{\ddot{O}N} \cdot \frac{d_2}{2} \tan(\alpha - \rho') \quad (2.29)$$

Civatayı sıkmak için gerekli momenti sadece yukarıdaki formül ile hesaplamak doğru değildir. Civata veya somun tabanındaki sürtünmelerin de hesaba katılması gerekir. Civata somun bağlantılarında somun altındaki sürtünme bilezik şeklinde olan bir yüzeyde meydana gelir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Somun altındaki sürtünme yüzeyi

Öngerilme kuvvetinin somun oturma yüzeyinin ortalama çapına etki ettiği kabul edilirse  $r_s = \frac{d_a + d_i}{4}$  alınır. Standart civatalarda  $d_d$  anahtar ağzına eşittir. Somun altındaki sürtünme momenti;

$$M_{CS2} = \mu_s \cdot F_{\text{ÖN}} \cdot r_s \quad (2.30)$$

olarak hesaplanır. Sürtünme katsayıları için yaklaşık değerler Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Somun ile bağlanan parçalar arasında sürtünme katsayıları (RENDE 2000)

|                 | 1. Yüzey Civata başı veya somun oturma yüzeyi            |                            |                            | 2. Yüzey sıkıştırılan parçalar ve somun vidası   |
|-----------------|--|----------------------------|----------------------------|--|
|                 | Çelik siyahlaş. Fosfatlanmış                             | Çelik kadmiyum kap. 6 µm   | Çelik çinko kap. 6 µm      |  |
| Hafif Yağlanmış | 0,13...0,19<br>0,10...0,18                               | 0,08...0,16<br>0,08...0,16 | 0,10...0,18<br>0,10...0,18 | Çelik Haddelenmiş<br>Çelik GG, Tornalanmış,<br>Frezelenmiş<br>Çelik GTS, taşlanmış                           |
|                 | 0,16...0,22  | 0,08...0,16                | 0,10...0,18                |  |
|                 | 0,08...0,16<br>0,10...0,18                               | 0,12...0,20<br>0,12...0,16 | 0,16...0,2<br>0,10...0,18  |  |
|                 | 0,12...0,20<br>0,10...0,18                               |                            |                            | Çelik soğuk şek. Fosfatlanmış<br>Çelik talaşlı işlenmiş<br>Fosfatlanmış                                      |
|                 | 0,08...0,20  |                            |                            | Al alaşımları  |
| Kuru            | 0,08...0,16<br>0,08...0,14<br>0,10...0,18<br>0,08...0,16 | 0,16...0,24<br>0,12...0,16 | 0,20...0,30<br>0,12...0,20 | Çelik kadmiyum kap. 6 µm<br>Çelik kadmiyum kap. iç vida<br>Çelik çinko kap. 6 µm<br>Çelik çinko kap. iç vida |
| Yapıştırıcı ile | 0,18...0,30  |                            |                            | Çelik GG. GTS, talaş kald. işlenmiş  |

## 2.2.2. Toplam sıkma momenti

Sürtünme kuvvetleri de hesaba katılarak  $F_{\text{ÖN}}$  öngerilme kuvvetini elde etmek için somuna uygulanması gereken toplam sıkma momenti

$$M_{CST} = M_{CS1} + M_{CS2} = F_{\text{ÖN}} \left[ \frac{d_2}{2} \tan(\alpha + \rho') + \mu_s \cdot \frac{d_s}{2} \right] \quad (2.31)$$

Toplam gevşetme momenti ise

$$M_{CGT} = F_{\text{ÖN}} \left[ \frac{d_2}{2} \tan(\alpha - \rho') + \mu_s \cdot \frac{d_s}{2} \right] \quad (2.32)$$

Bu ifadede sağ taraf d ile çarpılıp bölünürse

$$M_{CGT} = F_{\dot{O}N} \cdot d \left[ \frac{d_2}{2d} \tan(\alpha - \rho') + \mu_s \cdot \frac{d_s}{2d} \right] \quad (2.33)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadede parantez içinde yer alan sayısal değer boyutsuz bir değerdir. Bu kısma boyutsuz  $k_0$  değerini atarsak, moment ifadesi;

$$M_{CST} = F_{\dot{O}N} \cdot d \cdot k_0 \quad (2.34)$$

şeklini alır. Standart metrik civatalar için  $\frac{d_2}{d} \cong 0,9$ ,  $\frac{d_s}{d} \cong 1,4$  ve  $\mu \cong 0,12 \dots 0,2$

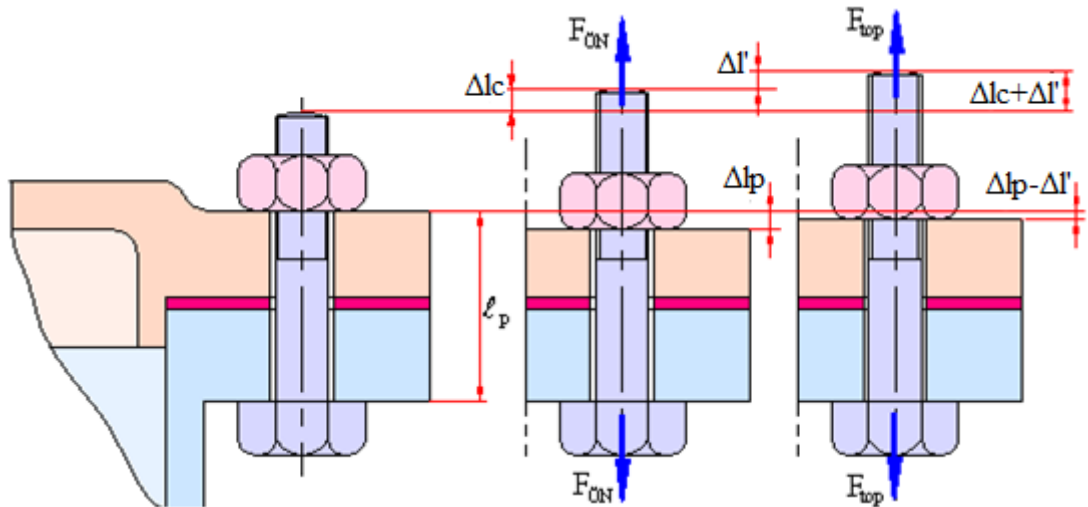
alınabilir. Bu değerlere bağlı olarak  $k_0 \cong 0,18 \dots 0,22$  arasında değişir. Ortalama olarak  $k_0 = 0,2$  alınır;

$$M_{CST} = 0,2 \cdot F_{\dot{O}N} \cdot d \quad (35)$$

olarak hesaplamak çoğu zaman yeterli olacaktır. (GEMALMAYAN 2009)

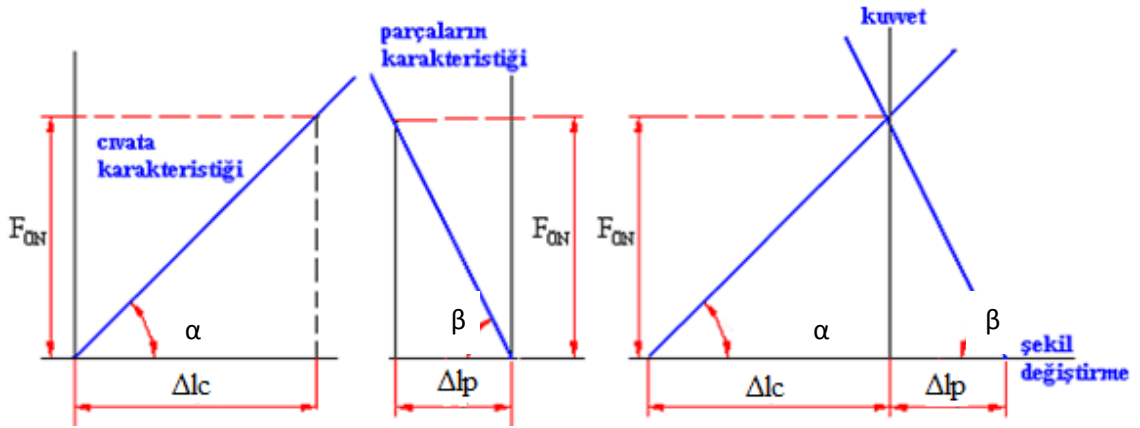
### 2.3 Öngerilme Teorisi

İşletme ortamında karşılaşılan kuvvetlerin civataların birleştirdiği parçaları arayüzünden birbirinden ayırmaması için civata bağlantıları belli bir öngerilme kuvveti oluşturacak şekilde sıkılırlar. Civataya uygulanan montaj öngerilme kuvvetine  $F_{\dot{O}N}$  dersek, bu kuvvet nedeniyle civatada  $\sigma_c$  kadar bir gerilme kuvveti oluşacaktır. Civata bu gerilme altında  $\Delta l_c$  kadar uzayacak, bağlanan parçalar ise  $\Delta l_p$  kadar kısalmaktadır. İşletme sırasında bağlantıya ek bir kuvvet uygulandığı zaman ( $F_{i\dot{s}}$ ), bağlantı tekrar uzamaya zorlanacak olursa, civata üzerinde  $\sigma'_c$  gerilmesi meydana gelecek ve civata  $\Delta l'_c$  kadar daha uzayacaktır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. İşletme kuvveti altında civata davranışı

Bunun tersi ise bağlantıda zorlanan parçalar için geçerlidir. Bu parçalar üzerindeki yük azalacak yani eski boylarına yaklaşacaklar ve  $\Delta'_{lp}$  kadar uzayacaklardır. İki parçayı birleştiren öngerilme kuvveti ise  $F'_{\text{ÖN}}$  kadar gerileyecektir. Bu deformasyon durumu tıpkı bir yay karakteristiği göstermektedir. Elastik bölgede kalmak şartı ile Hooke kanununa göre öngerilme kuvveti ile bağlantıdaki bu şekil değiştirmelerini bir gerilme şekil değiştirme diyagramında göstermek mümkündür (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Civata ve parça için kuvvet-şekil değiştirme grafiği

Civataların rijitliğine  $C_c$  parçanınkine  $C_p$  dersek  $F_{\text{ÖN}} = C_c \cdot \Delta_{lc} = C_p \cdot \Delta_{lp}$  olduğu görülür. Daha önce belirttiğimiz gibi işletme kuvveti altında civatalar  $\Delta'_{lc}$  kadar daha uzarken parçalar  $\Delta'_{lp}$  kadar uzayacaktır ancak bu uzama eski boylarına yaklaşma şeklinde olacaktır. Yani civata ve somun arasındaki mesafede herhangi bir değişiklik söz konusu değildir. Bu durumda  $\Delta'_{lc} = \Delta'_{lp}$  denilebilir.

Civata ve parçalara ait kuvvet-şekil değiştirme grafiğini tek bir grafik altında birleştirecek; civatayı zorlayacak en büyük kuvvetin öngerilme kuvveti  $F_{\text{ÖN}}$  ile işletme kuvvetinin bir parçası olan  $F_z$ 'den oluştuğunu, parçaya etki eden geri kalan kuvvetin ise  $F_{\text{ÖN}}$  öngerilme kuvvetinden işletme kuvvetinden civataya gelen  $F_b$ 'nin çıkarılmasıyla hesaplanabileceği görülür.

İşletme kuvveti sabit bir kuvvet olmayıp titreşimli yada değişken bir kuvvet olabilir. Bu durumda  $F_z$  kuvveti sıfır ile  $F_z$  arasında değişecek ve civata da  $F_{\text{ÖN}} + F_z/2$

ortalama kuvveti ile eklenen  $F_z/2$  kuvvetleri arasında zorlanacaktır (Şekil 2.11). Grafiklerdeki üçgen benzerliğinden yola çıkarsak civata ve parçanın rijitliği için;

$$C_c = tg \alpha = \frac{F_{\dot{O}N}}{\Delta l_c} = \frac{F_z}{\Delta l'_c} = \frac{1}{\delta_c} \quad (2.36)$$

$$C_p = tg \beta = \frac{F_{\dot{O}N}}{\Delta l_p} = \frac{F_b}{\Delta l'_p} = \frac{1}{\delta_p} \quad (2.37)$$

yazılabilir.  $\Delta l'_c = \Delta l'_p$  olduğundan işletme kuvveti;

$$F_{i\dot{s}} = F_z + F_b = C_c \cdot \Delta l'_c + C_p \cdot \Delta l'_p = \Delta l' \cdot (C_c + C_p) \quad (2.38)$$

işletme kuvvetinin ne kadarının civatayı ne kadarının da parçayı zorlayacağı ise aşağıdaki formül ile bulunabilir.

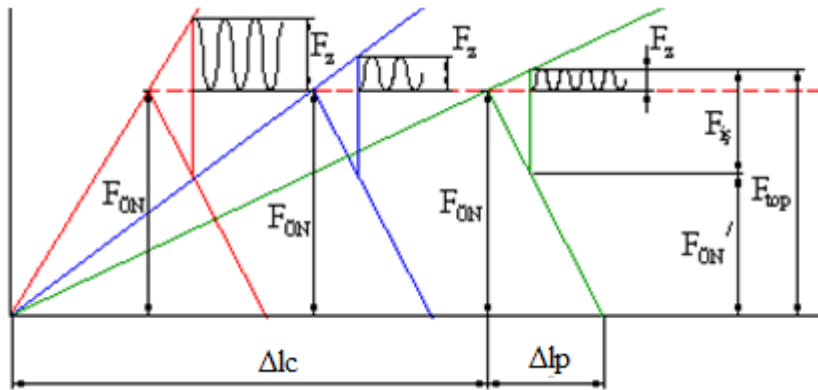
$$\varphi = \frac{F_z}{F_{i\dot{s}}} = \frac{C_c \cdot \Delta l'_c}{\Delta l' \cdot (C_c + C_p)} = \frac{C_c}{C_c + C_p} \quad (2.39)$$

Bu formülde görüldüğü gibi civatanın daha az rijit parçanın ise daha çok rijit olması bağlantının emniyetini arttırmaktadır. Civataya gelecek maksimum kuvvet

$$F_{mak} = F_{\dot{O}N} + F_z \quad (2.40)$$

Geri kalan öngerilme kuvveti ise

$$F'_{\dot{O}N} = F_{\dot{O}N} + F_b \quad (2.41)$$



Şekil 2.11. Civata rijitliği ile  $F_z$  ilişkisi



Civataların rijitliğinin hesaplarırken  $\sigma = E \cdot \epsilon$ ,  $\sigma = \frac{F}{A}$ ,  $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$  ifadelerinden faydalanarak

$$C_c = \frac{F}{\Delta l_c} = \frac{\sigma \cdot A_c}{\epsilon \cdot l_c} = \frac{E \cdot \epsilon \cdot A_c}{\epsilon \cdot l_c} = \frac{E \cdot A_c}{l_c} = \frac{1}{\delta_c} \quad (2.42)$$

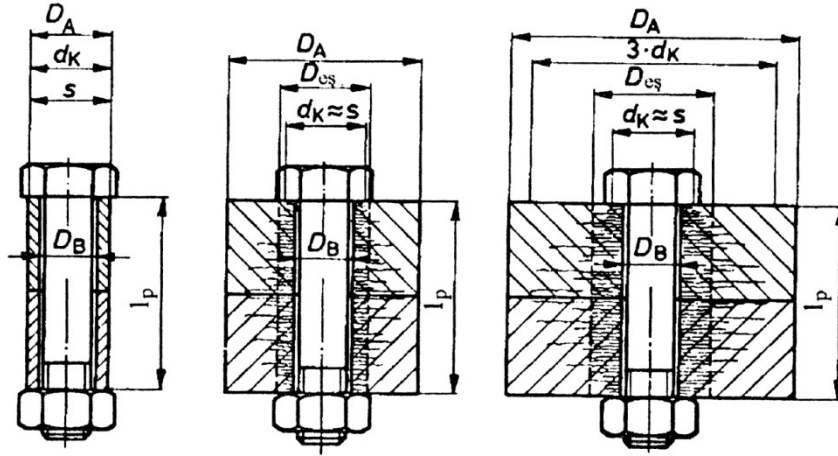
olarak hesaplanabilir.

Sıkılan parçaların rijitliklerinin hesabı oldukça karışıktır. Sıkılan parçalarda, öngerilme etkisinde elastik deformasyona uğrayan malzeme bölgesini ve gerilme dağılımını tam olarak tesbit etmek oldukça zordur. Sıkıştırılan parça ince cidarlı bir kovan şeklinde kabul edilirse ise rijitlik;

$$C_p = \frac{E \cdot A_p}{l_p}, \quad A_p = \frac{\pi}{4} (D_A^2 - D_B^2) \quad (2.43)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

Fakat her zaman birbirine bağlanan parçalar bir kovan şeklinde değildir. Çeşitli çalışmalarla deformasyona uğrayan kesit alanının koni yada parabol oluşturduğu tespit edilmiştir. (Şekil 2.12). Bu durumlar için aşağıdaki formüller kullanılabilir.



Şekil 2.12. Civata bağlantılarında basıya zorlanan kısımda kesitler (BABALIK 1997)

$d_k$ : Yaklaşık anahtar açıklığı

$D_A$ : Basıya zorlandığı varsayılan silindirin dış çapı

$D_B$ : Delik çapı olmak üzere

a) İnce cidarlı silindir

b) Basıya zorlanan kısımlar bölgesi içinde

$$\frac{L_T}{L} = \frac{L_T}{L} \quad (2.44)$$

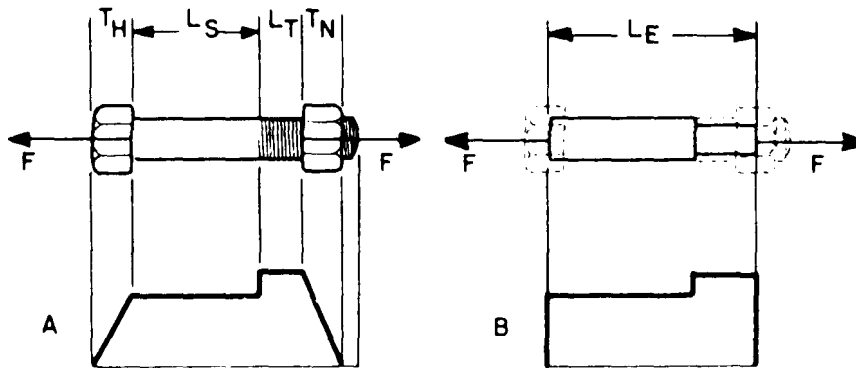
c) Basıya zorlanan kısımlar bölgesi içinde

$$\frac{L_T}{L} = \frac{L_T}{L} \quad (2.45)$$

k faktörü çeliklerde 10 , dökme demirlerde 8, alüminyumda 6 alınabilir.

### 2.3.1. Efektif Boy

Çekme kuvvetleri civataya boydan boya uygulanamaz. Somunun alt yüzü ile civata başının alt yüzeyi arasında uygulanır. Serbest uçlarda 0 gerilme görülür. Kafa ve diş kısımlarında bazı gerilme dilimleri görülür. Civatanın montaj boyu boyunca saf bir silindir gibi düşünmek mümkün değildir. Bu gerilme dilimlerini göz önünde bulundurarak , tam civata boyu ile montaj boyu arasındaki bir değeri verimli bir boy değeri verecek şekilde seçmemiz gerekmektedir.(Şekil 2.13)



Şekil 2.13. Civatalarda efektif boy (BICKFORD 1995)

Bilindiği üzere civatadaki gerilme civata başının gövdeye birleştiği ve ilk dişlerin somuna temas ettiği noktalarda maksimum, civatanın her iki serbest ucunda da 0'dır. Bu bölgeler arasındaki gerilim düşüşünün doğrusal olduğu kabul edilirse civata kafasının yarıya kadarının gövde ile aynı gerilmeye sahip olduğunu, geri kalan kısmının da 0 gerilmeye sahip olduğunu söyleyebiliriz. Benzer şekilde somunun diş kısmındaki

dişlerin yarısının gerilmesinin gövde ile aynı miktarda , kalan kısmının ki ise 0'mış gibi kabul edebiliriz.

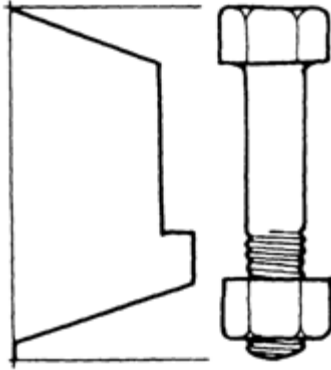
$$L_{ef} = L_{Somun} / 2 + L_{Civata\ Baş\} / 2 \quad (2.46)$$

denilebilir.

## 2.4. Civata Bağlantılarında Gerilmeler

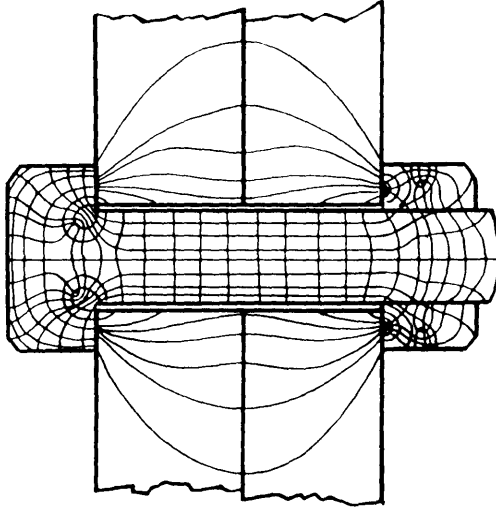
### 2.4.1. Çekme altında gerilme dağılımı

Civata bağlantısını saf çekme kuvvetine maruz bırakırsak , eğer civatamız mükemmel şekilde simetrikse, kafa ve somun kısmı parça-vida eksenlerine tamamen dikse, bağlantı yüzeyleri düzgün ve paralelse Şekil 2.14'deki gerilme dağılımı elde edilir.



Şekil 2.14 Çekme kuvveti altında gerilmeler (BICKFORD 1995)

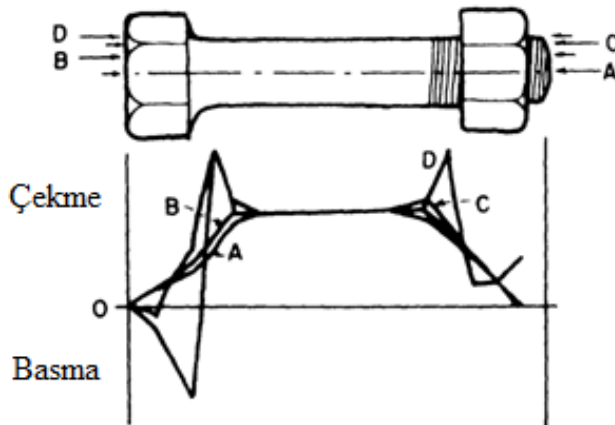
Şekil 2.15 yüklenmiş bir civata ve bağlantıda, gerilimin yönelmesi konusunda bir fikir vermektedir. Bu şekildeki gerilmeler dikkatle incelendiğinde, gerilim odaklanmasının civatadaki ortalama gerilmenin çok ötesine kadar aştığı üç adet tehlike bölgesine işaret ettiği görülür. Bu noktalar civata başının gövdeye bağlandığı yuvarlatma kısmı, dişlerin gövdeye katıldığı bölge ve ilk diş temas noktasıdır. Genellikle civata ilk olarak bu noktalardan hasar görmektedir.



Şekil 2.15 Civata-Flanş bağlantısında gerilme dağılımı (BICKFORD 1995)

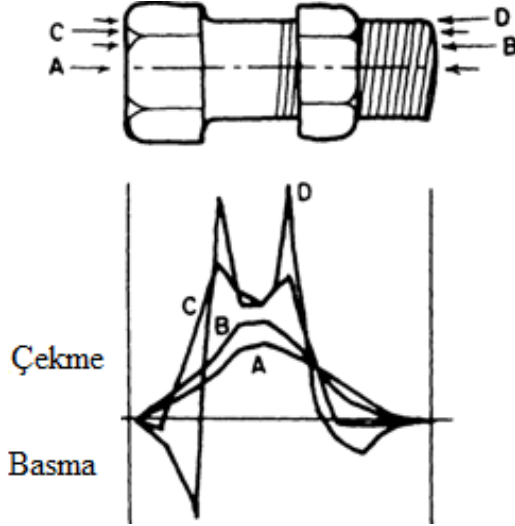
Standart hesaplamalarda genellikle gerilmenin civatanın serbest uçlarında sıfır olduğu ve daha sonra civata başından uniform olarak civatanın gövdesi boyunca arttığını varsayabiliriz. (Şekil 2.15). Benzer bir dağılım dişli kısımda da görülür. Ancak burada diş dibi kesit alanı daha küçük olduğu için gerilmeler nispeten daha büyüktür.

General Dynamics Forth Worth da yapılan sonlu eleman analizleri ise aslında daha karmaşık bir dağılımın varlığını ortaya koymuştur. Civata eksenini boyunca ölçülen çekme gerilmesinin aslında şekil 2.16'dakine benzer bir dağılım gösterdiğini hesaplamışlardır. Yine civata eksenini boyunca birbirine paralel bazı eksenlerde alınan ölçümlerin sonuçlarında diş dibi ve civata başı-gövde birleşimi gibi kısımlardaki gerilmenin ortalamanın 2-4 katına kadar çıktığı saptanmıştır. (BICKFORD 1995)



Şekil 2.16 Civatada bazı eksenler doğrultusunda çeki-bası gerilmeleri

İşleri daha da karmaşıklaştırmak gerekirse aslında yukarıda saptanan değerler montaj boyu-civata çapı oranı 4:1 olan civatalarda geçerlidir. Kısa ve kalın civatalardaki dağılım ise daha çok şekil 2.17'dekine benzerdir. Her iki şekilden de anlaşılacağı gibi ortada uniform bir dağılım söz konusu değildir.

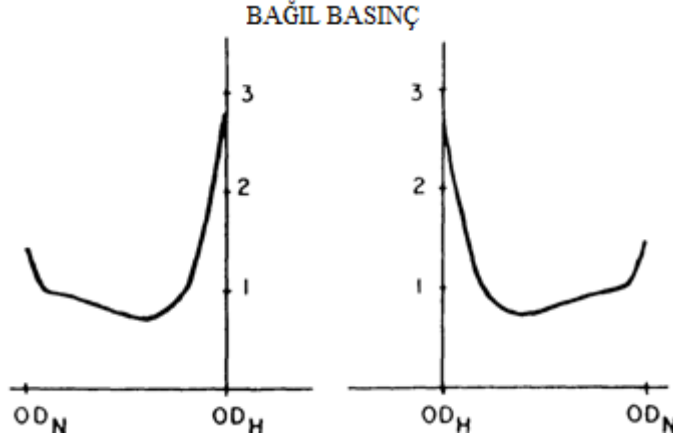


Şekil 2.17 Kısa-kalın civatalarda çeki-bası gerilmeleri (BICKFORD 1995)

## 2.5. Bağlantıdaki Gerilmeler

### 2.5.1. Civata-Bağlantı arasındaki temas gerilmeleri

Civata kafası ve bağlantı arasındaki temas basıncı üniform değildir. Aynı şekilde somun ve bağlantı arasındaki de üniform değildir. Şekil 2.18'de temas basıncı dağılımının, yükleme başlangıcında somun ve civata kafasının temas yüzeylerinin mükemmel şekilde bağlantı parçalarına paralel olduğu kabul edilmiş olsa da yine de üniform olmadığı görülüyor. Gerçek hayattaki uygulamalarda bu paralellik kolaylıkla sağlanamayacağı için dağılımın şekildekinden daha düzensiz olacağı söylenebilir.

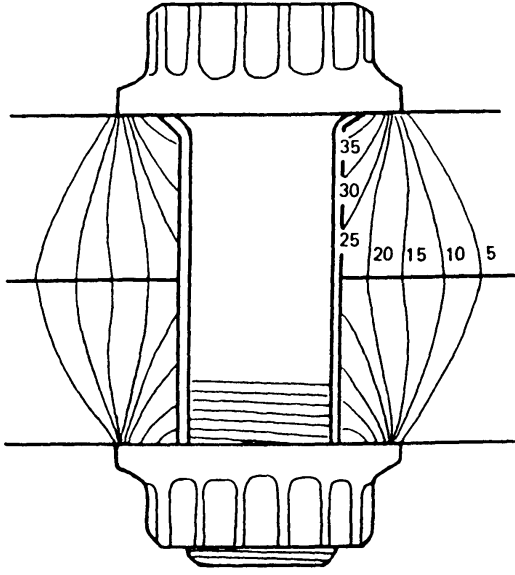


Şekil 2.18. Civata-Flanş arasındaki temas basıncı dağılımı (BICKFORD 1995)

Civata kafası yada somunun, bağlantı parçaları ile oluşturduğu temas basıncı dağılımı, montaj boyunca yüklenen bir civatanın potansiyel enerjisini tutmasıyla yakın ilişkilidir. Basıncın aşırı olması civata yada somunun kendisini bağlantıya gömmesine ve enerjisinin bir kısmını yaymasına sebep olacaktır. Çizelge 2.5’de akma sınırının %75’ine kadar sıkılan bir gurup civatada tespit edilen temas basınçları görülüyor. Verilerden görüleceği üzere pul yada flanşlı civata kullanmak temas basıncını belirgin şekilde düşürmektedir.

Çizelge 2.5. Bazı civata ebatları için temas basıncı değerleri (BICKFORD 1995)

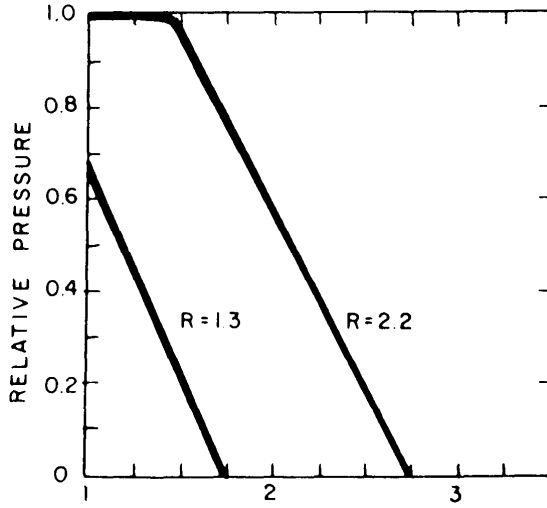
| <b>Civata Kalitesi</b> | <b>Civata Ebadı</b> | <b>Civata Başı</b>   | <b>Temas Basıncı (N/mm<sup>2</sup>)</b> |
|------------------------|---------------------|----------------------|---|
| 10-9                   | M10                 | Flanşlı              | 250                                     |
|                        | M16                 |                      | 275                                     |
| 10-9                   | M10                 | Düz Altıgen          | 360                                     |
|                        | M16                 |                      | 650                                     |
| 10-9                   | M10                 | Düz Altıgen<br>+ Pul | 190                                     |
|                        | M16                 |                      | 230                                     |
| 12-9                   | M10                 | Düz Altıgen          | 440                                     |
|                        | M22                 |                      | 900                                     |
| 12-9                   | M10                 | Düz Altıgen<br>+ Pul | 200                                     |
|                        | M22                 |                      | 350                                     |



Şekil 2.19 Bağlanan flanş parçalarında gerilme dağılımı (BICKFORD 1995)

### 2.5.2. Bağlantı parçaları arasındaki gerilmeler

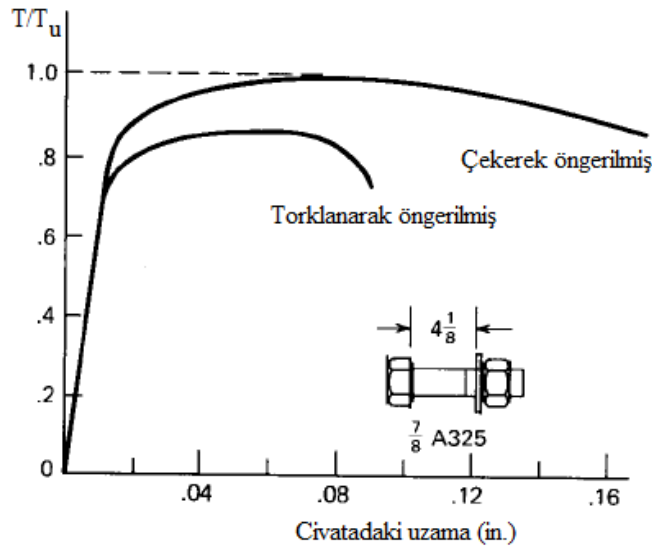
Civata elemanlarında görülen düzensiz gerilme seviyeleri sonuç olarak bağlantı parçalarına da yansır. Şekil 2.19’da fiçi şeklinde yayılan eşdeğer basınç eğrileri görülüyor. Dikkat edilirse en içteki değer ile en dıştaki değer arasında 7 kat kadar fark görülmektedir. Bu durum özellikle contalı bağlantılarda sorun oluşturabilmektedir. Yapılan bir dizi deney sonucunda Şekil 2.20’deki grafik elde edilmiştir. 2 yada 3 civata çapı mesafede temas basıncının 0’a indiği görülüyor. R değeri delik çapı-somun temas çapı oranıdır. Ancak tamamen düzgün basınç dağılımı elde etmek pratik olarak mümkün değildir. Daha büyük civata kullanmak yada civataları birbirine daha yakın konumlamak en yaygın çözümdür. Ancak fazla civata kullanımı flanşı zayıflatabileceği gibi civataları sıkışık konumlamakta sıkılma işlemini güçleştirecektir. (BICKFORD 1995)



Şekil 2.20 Delikten uzaklaştıkça basınç değişimi (Delik yarıçapı = 1.0) (BICKFORD 1995)

## 2.6. Kombine Yükler Altında Civata Dayanımı

Genellikle civatanın kesme dayanımından çok akma dayanımıyla ilgilenilir. Ancak dikkat edilmesi gereken diğer bir hususta akma dayanımı değerinin civatanın burulma yada kesme kuvvetiyle karşılaştığı zaman azalacağı gerçektir. Bir civatayı sıktıktan hemen sonra çekme gerilmesiyle yüklersek civatanın akma sınırının çok altında bir değerde kırıldığını görürüz. Burulma momenti civatanın mukavemetinin bir kısmını alıp götürmüştür.



Şekil 2.21. Çekme ve Torklama durumunda civatadaki gerilmeler (FISHER 1987)



Eğer bir civatayı sıkarsak o civatanın belli bir değerde akmaya başlayacağını görürüz. Sıkma işlemi bittikten sonra takım civatadan ayrılınca rahatlama devreye girerek burulma gerilmesini yavaşça ortadan kaldırır. Eğer bu durumda çekme gerilmesi uygularsak ilk seferde saptadığımız akma gerilmesi değerinden daha üst değere kadar dayandığını görürüz. (Şekil 2.21)

Civata bağlantılarındaki gerilmeleri hesaplamak için mukayese gerilmesi hesabına ihtiyaç duyulmaktadır. Mukayese gerilmesi hesabı da şekil değiştirme hipotezi yardımıyla yapılır. Bunun sebebi civata somun bağlantılarındaki karışık geometriler, dişlerin sebep olduğu çentik etkisi faktörüdür. Öngerilmeli civatalar, çeki kuvvetinin yanısıra burulmaya da zorlanmaktadır. Eğer bağlantı dinamik yük altında çalışıyorsa o zaman mukayese gerilmesi değerleri çok düşük seçilmelidir. Ayrıca ön gerilme kuvveti değeri dinamik işletme kuvvetinden çok büyük seçilerek, gerilme genliği azaltılabilir. Bu sayede emniyetli bağlantılar gerçekleştirilebilir.

Civata bağlantılarında civata şaftı montaj öngerilme kuvveti  $F_{\text{ÖN}}$  tarafından çekme kuvveti ile zorlanırken döndürme momentinin dişler arasındaki sürtünmeyi yenmeyi sağlayan bölümü  $M_{CS} = F_{\text{ÖN}} \cdot \frac{d_2}{2} \tan(\alpha + \rho')$  tarafından da burulma kuvveti ile zorlanmaktadır. Montajda uygulanacak öngerilme kuvveti değeri mutlaka civatanın çalışma şartlarında karşılaçağı işletme kuvveti  $F_{\text{iş}}$ 'den büyük olmalıdır. Çünkü civata bağlantısında zamanla meydana gelecek oturma olayından dolayı öngerilme kuvvetimizde bir miktar azalma meydana gelecektir.

Civatalardaki çeki gerilmesi hesabı  $\sigma_C = \frac{F_{\text{ÖN}}}{A}$  formülüyle hesaplanabilir. Burada çekme gerilmesine zorlanan kesit alanı hesaplanırken diş dibi kesitini almak en emniyetli yöntem olarak görülebilir. Ancak dişlerin kendisinin de bir miktar yük taşımaya katkı sağladığı göz önüne alınarak gerilme kesiti denilen değer kullanılabilir. Bu değer

$$A_S = \frac{\pi}{4} \left[ \frac{(d_3 + d_2)}{2} \right]^2 \quad (2.47)$$

formülüyle hesaplanabilir. Buradan

$$\sigma_{\zeta} = \frac{F_{\dot{O}N}}{A_s} \quad (2.48)$$

olarak hesaplanır. Civataya uygulanan sıkma momentinin oluşturacağı burulma gerilmesi ise

$$\tau = \frac{M_{12}}{W_p} = \frac{F_{\dot{O}N} \left( \frac{d}{2} \cdot \text{tg}(\alpha + \rho') \right)}{\pi \cdot \frac{d_s^3}{16}} \quad (2.49)$$

$F_{\dot{O}N}$ 'nün oluşturduğu çekme gerilmesi.  $\sigma_{\zeta} = \frac{F_{\dot{O}N}}{A}$  buradan  $F_{\dot{O}N} = \sigma_{\zeta} \cdot A = \sigma_{\zeta} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2$  yazılırsa

$$\tau = \frac{\sigma_{\zeta} \cdot \pi \cdot d_s^2 \cdot d_2 \cdot \text{tg}(\alpha + \rho')}{\pi \cdot \frac{d_s^3}{16}} \quad (2.50)$$

$$\tau = 2 \cdot \sigma_{\zeta} \cdot \text{tg}(\alpha + \rho') \cdot \frac{d_2}{d_s} \quad (2.51)$$

Şekil değiştirme hipotezi yardımıyla Civata şaftında meydana gelecek eşdeğer mukayese gerilmesi

$$\sigma_{muk} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (2.52)$$

$$\sigma_{muk} = \sigma_{\zeta} \cdot \sqrt{1 + 3[2 \cdot \text{tg}(\alpha + \rho') \cdot d_2/d_s]^2} \quad (2.53)$$

olarak hesaplanabilir.

Civata hesabı yapılırken malzemeden en iyi şekilde yararlanılmaya çalışılmalıdır. Malzemeden azami ölçüde faydalanabilmek için civatalara uygulanacak öngerilme kuvvetinin oluşturacağı mukayese gerilmesinin civata malzemesinin akma sınırının %90'ına denk gelecek şekilde uygulanması gerekmektedir. Akma sınırına ulaşmaya kadar kalan %10'luk gerilme değeri de işletme altında karşılaşılan kuvvetleri hasar görmeden karşılamaya yetecektir. Bu öneriye göre şekil değiştirme hipotezine göre mukayese gerilmesi  $\sigma_{muk} = \sqrt{\sigma_{\zeta}^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq 0,9 \cdot \sigma_{ak}$  olmalıdır. Bu eşitliğin her iki tarafı çeki gerilmesine bölünürse

$$\frac{\sigma_{muk}}{\sigma_{\zeta}} = \sqrt{\left( \frac{\sigma_{\zeta}}{\sigma_{\zeta}} \right)^2 + 3 \cdot \left( \frac{\tau}{\sigma_{\zeta}} \right)^2} \quad (2.54)$$

$$\sigma_{\zeta} = \frac{\sigma_{muk}}{\sqrt{1+3.\left(\frac{\tau}{\sigma_{\zeta}}\right)^2}} = \frac{\sigma_{muk}}{\sqrt{1+3.\left[\frac{4.tg(\alpha+\rho)}{1+d_2}\right]^2}} \quad (2.55)$$

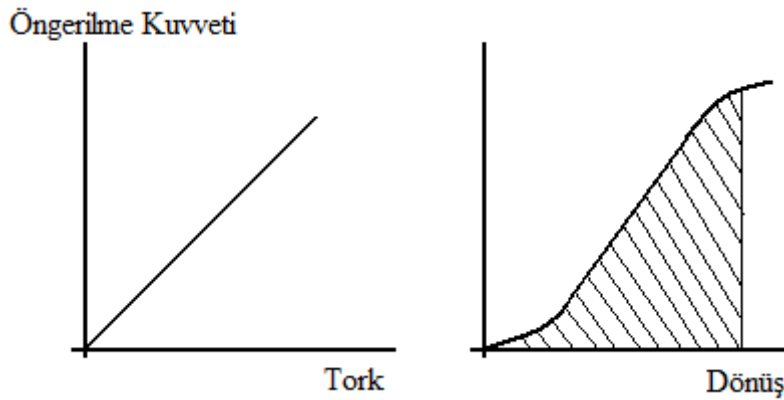
sonucu elde edilir.  $\sigma_{muk} \leq 0,9.\sigma_{ak}$  olması istendiğinden gerekli montaj kuvveti

$$F_{M maks} = \sigma_{\zeta}.A_s = \frac{0,9.\sigma_{ak}.A_s}{\sqrt{1+3.\left[\frac{4.tg(\alpha+\rho)}{1+d_3/d_2}\right]^2}} \quad (2.56)$$

değerini aşmamalıdır.

## 2.7. Civatalarda Öngerilme Kuvveti Kaybı ve Sebepleri

Montajlamayı gerçekleştiren civataya öngerilmiş civata adı verilir. Sıkılan civatada meydana gelen kuvvete de  $F_{\text{ÖN}}$ , öngerilme kuvveti denir. Aslında bu tanım literatürde civatadaki herhangi bir zamandaki gerilmeyi tanımlamak için kullanılsada tam olarak doğru değildir. Bu sebeple bir civata ilk sıkıldıktan hemen sonraki gerilmesine başlangıç öngerilmesi demek daha uygun olacaktır. Civata sıkıldıktan sonra rahatlayarak yada yakınındaki diğer civataların sıkılmasından etkilenerek bir kısım öngerilmesini yitirecektir. Bu sebeple en son öngerilmesine kalıcı öngerilme demek daha doğrudur.

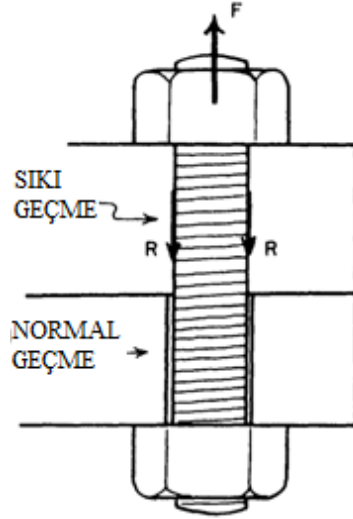


Şekil 2.22 Civatada Tork-Enerji ilişkisi

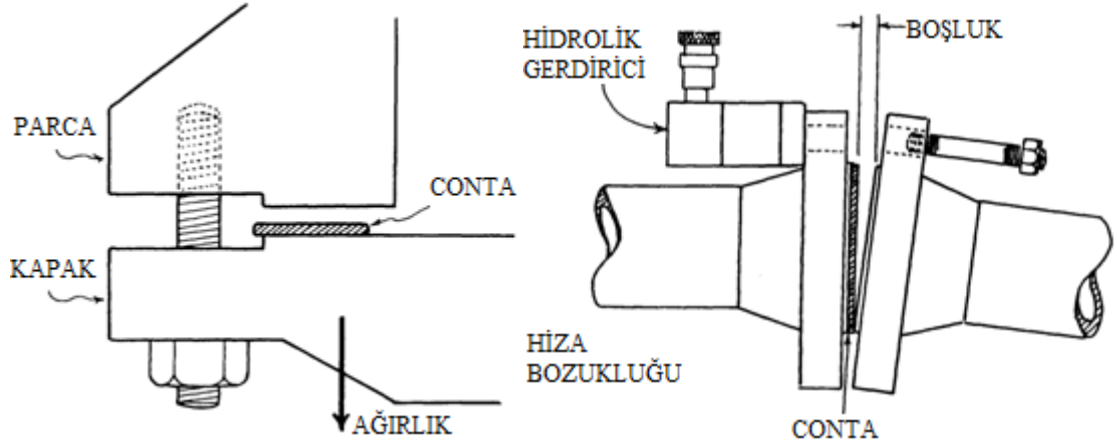
Herhangi bir civata bağlantısı sıkılırken belli bir moment değerine karşılık gelen civatadaki uzama, parçalardaki kısılma ve somunun dönme açısı değerleri ölçüldüğünde Şekil 2.22'deki diagrama benzer bir diagram elde edilecektir. Civatayı sıkıtkça iş yapmış oluruz ve yapılan iş Tork-Somun Dönüş grafiğinin altındaki alana eşittir. Teorik olarak civatayı sıkarken verdiğimiz işin hepsinin civatada potansiyel enerjiye dönmesini bekleriz. Ancak bu mümkün değildir.

Tipik olarak yapılan işin %90'ı somun dişleri, somun alt yüzeyi-bağlantı parçası arasındaki sürtünme kuvvetleri sebebiyle ısıya dönüşür. Bu değer yaklaşık %50 kadarı somun dişlerinde, % 40 kadarı da somun alt yüzeyi-bağlantı parçası arasındaki sürtünmelere harcanmıştır. Sonuç olarak sadece %10'luk bir kısım potansiyel enerji olarak civatada saklanmaktadır.

Bir civata bağlantısındaki civatalardaki öngerilme ile montaj elemanların arasındaki montaj kuvveti arasında eş ve ters yönlü etki-tepki bulunmaktadır. Ancak bazı faktörler bu etkinin farkı şekillerde tepki olarak dönmesine sebep olabilmektedir. Örneğin bağlantımızda bulunan üst bağlantı elemanına açılan delik küçük açılmış olsun. Böylece civata gövdesi deliğe pres geçmiş olacaktır. Şekil 2.23. Bu durumda civatakaki öngerilme kuvveti ile montaj kuvveti birbirine eşit olamayacaktır. Zira öngerilme kuvvetinin bir kısmı civatanın dar delik boyunca kendine yol açması sırasında harcanmıştır. Görüldüğü üzere moment değeri istenildiği kadar mükemmel hesaplanсын ve hassas aletlerle uygulansın, sonuçta delik çapının küçük olması arzu edilen montaj kuvvetinden daha az bir kuvvet elde etmemize sebep olacaktır. Şekil 2.24'de görüldüğü gibi ağır bir kapağın gövdeye montajlandığını düşünelim. Ancak her iki parça birbirine henüz temas etmemişse ve biz civatayı sıkmaya başlamışsak bu durumda civatadaki ön yüklemenin bir kısmı kapağın ağırlığını yukarıya doğru kaldırmaya harcanacaktır. Veya bir boru bağlantısında boruların birbirini tam karşılamadığını varsayalım. Bu durumda da benzer şekilde ön gerilmenin bir kısmı deliklerin birbirini karşılaması için montaj parçalarını hareket ettirmeye harcanacaktır.



Şekil 2.23. Civata-Delik etkileşimi



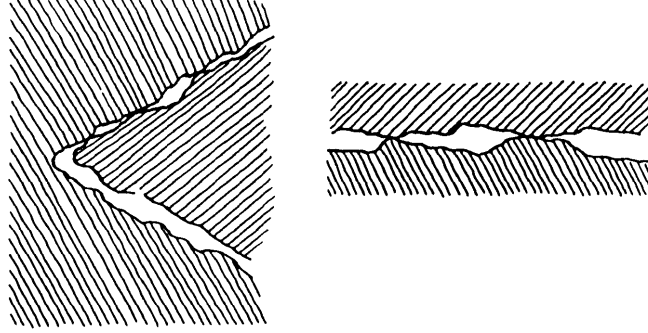
Şekil 2.24 Montaj elemanlarının etkisi (BICKFORD 1995)

### 2.7.1. Civatalarda montaj sonrası öngerilme kayıpları

Sıkılma esnasında oluşan öngerilme kayıplarının yanısıra sıkıldıktan sonra da civatalarda bir miktar öngerilme kaybı görülebilmektedir. Genel olarak kısa zaman öngerilme kaybı denilen bu olaya bazen aşırı yük altında akma sınırını aşan bir eleman sebep olabileceği gibi (conta), vidanın yükü taşıyan ilk dişleri de sebep olabilir.

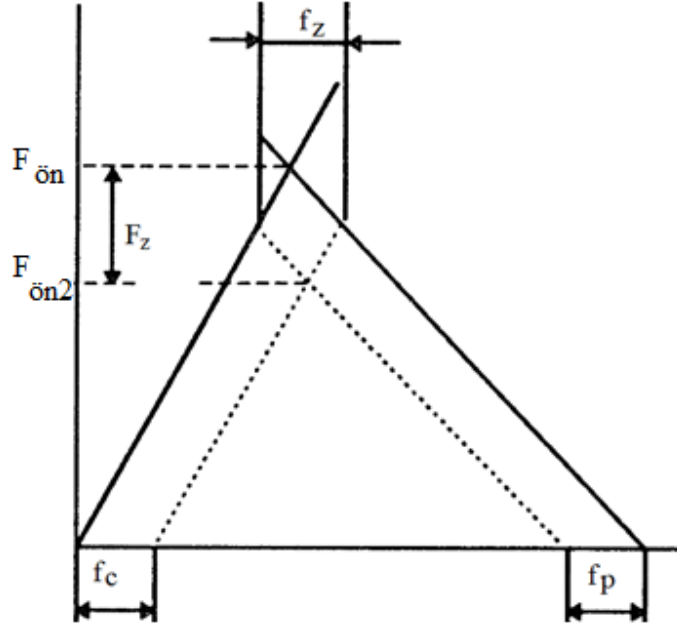
#### 2.7.1.1. Civatalarda montaj sonrası öngerilme kayıpları sebepleri

Civata dişlerinin temas yüzeyleri, montaj elemanlarının temas yüzeyleri, aradaki contalar, parlatılmış olsa da hiçbir zaman kusursuz düzlükte olamazlar. Mikroskopla bakıldığında bir dizi tepe ve çukur görülür. (Şekil 2.25)



Şekil 2.25. Civatada temas yüzeylerinde pürüzlülük

Bağlantı elemanları ilk yüklendiğinde birbirlerine metal yüzeylerdeki yüksek noktalarla temas ederler. Gerçekte belli bir oranda diş temas alanını sağladığı sürece çok küçük bir civata bile muazzam yüzey basınçlarına dayanabilmektedir. Ancak noktasal temasların oluştuğu kısımlarda temas alanı görece küçük olduğu için buradaki pürüzler yeterli temas alanına ulaşacak seviyeye kadar plastik deformasyona uğrayarak ezilirler.



Şekil 2.26 Plastik deformasyondan dolayı öngerilme kuvvetindeki azalma

Benzer şeyler bağlantı elemanlarının temas yüzeylerinde de gözlenir. Ancak buralarda temas alanı daha büyük olduğu için plastik deformasyon dişlerdekine göre küçük kalır. Vida dişleri arasındaki oturma , civatanın mukavemet sınıfına bakılmaksızın 5 µm alınabilir. Pürüz ezilmesi yeni parçalarda kullanılmış parçalara göre daha fazla görülür. Önlemek için civatalar sıkılıp gevşetilir, sonra tekrar sıkılır.

Temas yüzeylerinde gerçekleşen plastik deformasyon sonucu oluşacak öngerilme kuvveti kaybı miktarı, %2 ila %10 arasında değişebilmektedir. Bu miktarı hesaplanmanın kesin bir yolu olmamakla birlikte özellikle titreşimli ortamlarda çalışacak bağlantılar için mutlaka hesaplamalarda göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Metal-Metal olmayan öngerilmeli civata bağlantılarında veya arada conta gibi farklı malzemeler bulduran bağlantılarda plastik deformasyonun miktarının saptayabilmek için mutlaka deneyler yapılması önerilmektedir. Metal-Metal temaslı öngerilmeli civata bağlantılarında ise yaklaşık olarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir. (NASA 1998)

$$\Delta F_{\text{Ön}} = 0,05x F_{\text{Ön}} \quad (2.57)$$

Pürüzlerin ezilmesiyle oluşan plastik deformasyonlara bağlı olarak gerçekleşen öngerilme kuvveti kaybına  $\Delta F_{\text{Ön}}$  ( $F_z$ ) dersek; Şekil 2.26'dan anlaşılacağı şekilde,

$$\frac{\Delta F_{\text{Ön}}}{f_z} = \frac{F_{\text{Ön}}}{f_c + f_p} \quad (2.58)$$

$$f_c = F_{\text{Ön}} \cdot \delta_c \quad (2.59)$$

$$f_p = F_{\text{Ön}} \cdot \delta_p \quad (2.60)$$

$$\frac{\Delta F_{\text{Ön}}}{f_z} = \left( \frac{1}{\delta_c + \delta_p} \right) \quad (2.61)$$

$$\Delta F_{\text{Ön}} = f_z \cdot \left( \frac{1}{\delta_c + \delta_p} \right) \delta_p \quad (2.62)$$

$$\varphi_k = \frac{\delta_p}{\delta_c + \delta_p} \quad (2.63)$$

$$\Delta F_{\text{Ön}} = f_z \cdot \varphi \cdot \frac{1}{\delta_p} \quad (2.64)$$

formülüyle hesaplanabilir. Tecrübeye dayalı olarak montajda gerçekleştirilecek öngerilme kuvveti kayıpları Çizelge 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Tecrübeye bağlı olarak  $f_z$ ’nin yaklaşık değerleri (RENDE 2000)

| Sıkılan parça sayısı (vida dahil) | $f_z$ $\mu\text{m}$ olarak   |                  |   |                  |
|-----------------------------------|--|------------------|---|------------------|
|                                   | İşletme kuvveti $F_A$ civata eksenî yönünde ve sıkıştırılan parçaların yüzey pürüzlülüğü |                  | İşletme kuvveti $F_Q$ civata enine yönünde ve sıkıştırılan parçaların yüzey pürüzlülüğü |                  |
|                                   | $\sqrt{R_z 25}$  | $\sqrt{R_z 6,3}$ | $\sqrt{R_z 25}$   | $\sqrt{R_z 6,3}$ |
| 2                                 | 13   | 10               | 20  | 13               |
| 3                                 | 16   | 12               | 28  | 16               |
| 4                                 | 20   | 14               | 35  | 20               |
| 5                                 | 25   | 16               | 42  | 25               |
| 6                                 | 30   | 18               | 50  | 30               |

Flanş kalınlığına ve civata çapına bağlı olarak  $f_z$  değerini hesaplamamıza yarayan başka bir formül ise aşağıda verilmiştir. (STEINHILPER 1986)

$$f_z = 3,29 \left(\frac{l_p}{d}\right)^{0,34} 10^{-3} \text{ mm} \quad (2.65)$$

Civata bağlantısında kullanılan montaj boyu ve civatanın nominal çapına bağlı olarak oluşacak  $f_z$ ’nin yaklaşık değeri Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Montaj boyu ile nominal çap oranına bağlı  $f_z$  değerleri (DECKER)

| $L_X/d$                  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6 | 7   | 8   | 9 | 10  | 11  | 12  |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|---|-----|-----|-----|
| $F_z 10^{-3} \text{ mm}$ | 3,3 | 4,2 | 4,8 | 5,3 | 5,7 | 6 | 6,4 | 6,7 | 7 | 7,2 | 7,5 | 7,7 |

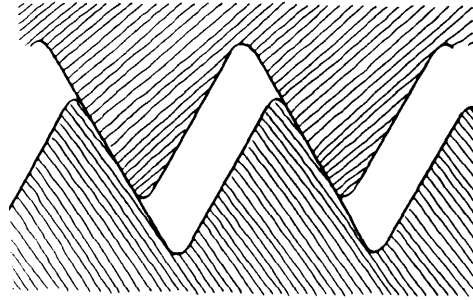
Yukarıdaki çizelgelere ve formüle dikkat edilirse flanş malzemesinin göz ardı edildiği görülmektedir. Yani kullanılan malzemenin sert yada yumuşak olması sanki bizim  $f_z$  değerimizi değiştirmiyormuş gibi kabul edilmiştir. Kullanılan civata çapı da ihmal edilmiştir. Benzer şekilde STEINHILPER formülünde de civata çapı dahil edilirken yüzey pürüzlülüğü ihmal edilmiştir. Bu durumda kaba ve ince yüzeylerde sanki aynı miktarda pürüz ezilmesi görülüyormuş gibi bir sonuç çıkmaktadır.



Civatanın küçük yada somunun büyük olması durumunda temas alanı hesaplanandan daha küçük olacağı için plastik deformasyonlar görülebilir (Şekil 2.27) . Çelik civata bağlantıların dişli geçiş boyu civata nominal çapının en az 0,8 katı olmalıdır. Eğer bundan daha kısa olursa (sadece 1-2 diş yükü taşırsa) bu durumda diş temas alanı civata imalatçısının öngördüğünden daha küçük olacak ve montaj sonrası aşırı kayıplar görülebilecektir.

Yanlış malzeme kullanımı yada ısı işlem sonucunda montaj elemanları olması gerekenden daha yumuşak olursa normal yüklerde ve doğru ebatlarda olmalarına rağmen öngerilme kaybı ve sürünme görülebilir.

Eğer civata sıkılırken bir yöne doğru eğilirse bir tarafı diğer tarafına göre daha fazla gerilmeye maruz kalacaktır. Bu durumda da normalde olması gerekenden daha fazla pürüz ezilmesi ve öngerilme kaybı görülecektir.

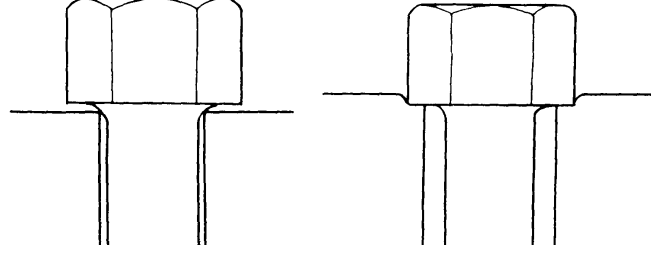


Şekil 2.27 Uygun olmayan diş geçişi

Hiçbir zaman civata yada somun kafasının temas yüzeyleri diş eksenine yada delik eksenine dik değildir. Yani civata ilk sıkıldığında temas yüzeylerinin bir kısmı yüklenir. Bu anormal yüklenmiş yüzeyler yeni katılan temas yüzeyleri yüzey basıncını azaltana ve bağlantıyı sabit hale getirene kadar sürünecektir.

Eğer civata baş-gövde yuvarlatması delik kenarına temas ederse delik kenarı temas basıncı altında kırılacaktır. Bu durum öngerilmenin tamamının kaybına dahi sebep olabilir. Somun ve montaj yüzeyinin arasında yada civata başı, montaj yüzeyi

arasında çok az temasın olması durumunda temas basıncını dağıtacak yada gerilmeyi sınırlayacak pul kullanılmazsa civata kendini montaj elemanına gömecektir.(Şekil 2.28)



Şekil 2.28. Civata-Delik çakışması

### 2.7.1.2. Kısa zaman öngerilme kayıplarını etkileyen faktörler

Uzun ve ince civatalar , kısa ve kalın civatalara göre daha az oranda kayıp gösterirler. Toplam oturma öngerilme kuvveti kaybı aynı olmakla birlikte bu oturma civata boyunun farklı bir oranında gerçekleşeceği için toplam boy kaybı farklı olacaktır. Öngerilme kuvveti kaybı miktarı boydaki değişim ile orantılı olarak gerçekleşir

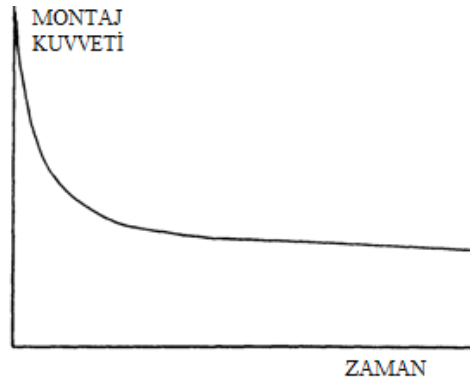
Montajı oluşturan bağlantı elemanı sayısının artması da oturmaya ve yerleşmeye sebep olacak sivri noktaların sayısını arttıracığı için kayıp etkisini arttıracaktır. Temas eden yüzey sayısını iki katına çıkarmak kayıp miktarını da neredeyse iki katına çıkaracaktır.

Sürünme ve oturma hareketleri belli bir zaman alır. Eğer civata çok hızlı sıkılırsa montaj elemanları oturmaya fırsat bulamazlar. Bu durumda elemanlar montaj işlemi tamamlandıktan bir süre sonra öngerilme kuvvetini kaybederler. Bunun önüne geçmek için bir civata bir anda tam sıkılmak yerine azar azar ve beklenerek sıkılmalıdır. Ya da bir grup civata sıkılıyorsa dönüşümlü olarak sıkılmalıdır.

Aynı anda birden fazla civatanın sıkılması durumunda , tek tek sıkılan civatalarda görülen kuvvet kayıplarından daha az kayıp görülmüştür. Bunun sebebi büyük olasılıkla aynı anda sıkılan civataların yükü paylaşarak daha az pürüz ezilmesi ve sürünmeye maruz kalmasıdır.

### 2.7.1.2. Beklenen öngerilme kuvveti kaybı miktarı

Öngerilme kuvveti kayıplarını ortaya çıkaran etmenleri oldukça fazla ve tahmin etmek güçtür. Kuvvet kaybının miktarının hesaplanması için çeşitli formüller çıkarılmasına rağmen, en kesin sonucu her bir uygulama için deney yapmak verecektir. Söz konusu olan civata bağlantısı olduğu için sonucun bir değer değil de değerler dağılımı olması da çok şaşırtıcı olmayacaktır. Genellikle civatalar sıkıldıktan hemen sonra rahatlarlar ve bu rahatlama git gide azalarak uzun bir süre devam eder.(Şekil 2.29)



Şekil 2.29. Montaj kuvveti-Zaman grafiği

Bu konuda yapılan çalışmalardan örnek vermek gerekirse; Fisher ve Struik A325 ve A354 kalite civatalar ve A7 yapısal çelik flanşlar ile yaptıkları deneyler sonucunda sıkmanın hemen sonrasında %2-11, takip eden 21 günde %3.6 , sonraki 11 yılda %2 öngerilme kaybı saptamışlardır.(FISHER 1987). Betlehem Steel yaptığı çalışmalarda sıkılmanın hemen sonrası %5 , yapının geri kalan ömrü boyunca da yine %5 kayıp gözlemlenmiştir. Chesson ve Munse çeşitli ebatlarda ve tipte civatalarla deneyler yapmışlardır. Örneğin A325 kalite civata , flanşlı somun ile pulsuz deneyler yapmışlar sıkılmayı takip eden ilk dakika içinde %2,6 öngerilme kaybı gerçekleşmiştir. (Pek çoğu ilk 15-20 sn içerisinde).5 gün sonra da %6,5 kayıp gözlemlenmiştir. Hardiman öngerilme kaybının büyük bir kısmının ilk birkaç sn içinde gerçekleştiğini belirtirken, asla durmadığını da eklemiştir.(BICKFORD 1995)

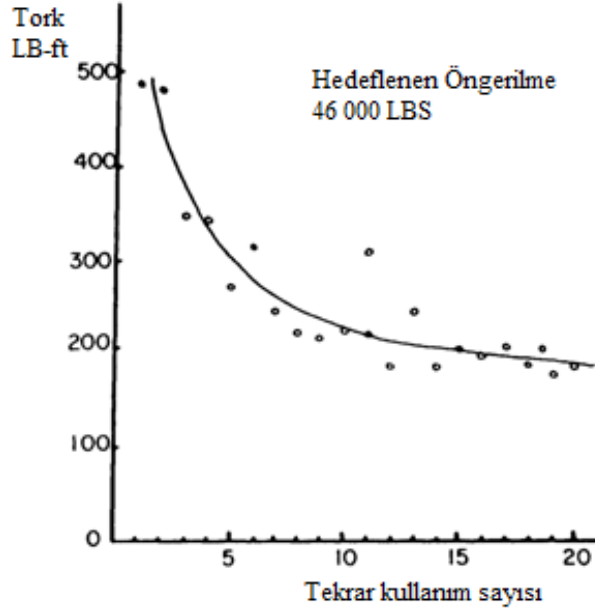
## 2.7.2 Somun faktörleri

Yapılan araştırmalar sonucunda labaratuvar ortamında örnek veya prototip bir bağlantıda hesaplanan somun faktörü ile sahada işletme ortamında karşılaşılan somun faktörleri arasında kayda değer farklılıklar görölmüştür. Bu durum takım doğruluğu, operatör ustalığı sıkma prosedürü gibi farklılıklarının , en az civataların yağlanma ve vida durumu kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Brookheaven Ulusal Labaratuvarları ağır yüklenmiş ve civata yağıyla kaplanmış metal yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısını ölçmüştür. Bunun için 3 farklı imalatçıdan molydisülfid yağlayıcı tedarik etmişlerdir. Deneyler kuru ve yağlı halde yapılmıştır. Deneylerin sonucunda sürtünme katsayıları 0,026 ile 0,273 arasında değişken değerlerde hesaplanmıştır. 10:1 sapma söz konusudur. NRC tarafından yapılan diğer bir testte grafit bazlı yağlayıcılarda 3:1 , bakırgrafit , nikel grafit yağlayıcılarda ise 2:1 sapma görölmüştür. Her ne kadar deneylerde civata kullanılmamış olsa da benzer sonuçların civatalar için de alınacağı aşıkardır.(BICKFORD 1995)

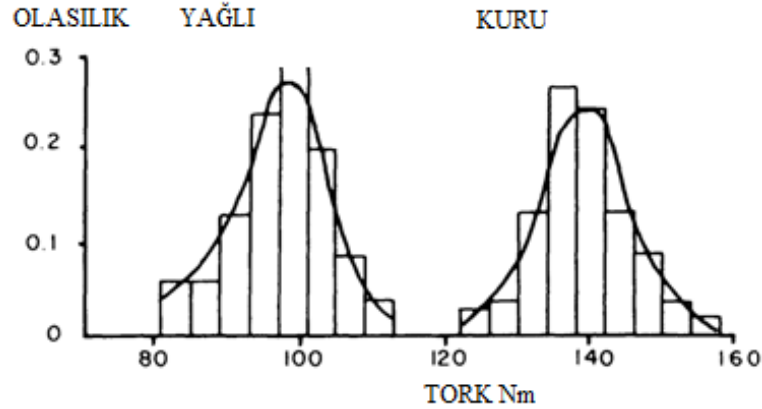
Dizel motor imalatçısının yaptığı bir deneyde ise aynı parçaları kullanarak (her seferinde tekrar yağlıyarak) belirlenen öngerilme değerine ulaşmak için gereken momentin %50 arttığını hesaplamışlardır. Bu durumda somun faktörü civataların tekrar kullanılmasıyla %50 artmıştır. Bir nükleer santralde kullanılan 3'' lik civataların tekrar tekrar kullanılmasıyla yapılan deneylerde de aynı öngerilmeyi elde etmek için uygulanan momentin arttırılması gerektiği saptanmıştır.(BICKFORD 1995)

Bir havacılık frması ise  $\frac{7}{8}$  inç MP35N civataları kullanarak yaptığı deneylerde civatalar 46000 Lb. yüke sıkılmış, gevşetilmış sonra tekrar sıkılmıştır. 20 kere bu işlem tekrarlanınca gereken moment miktarı Şekil 2.30'da göröldüğü gibi 500lb-ft momentten 200 lb-ft momentin altına kadar azalmıştır.



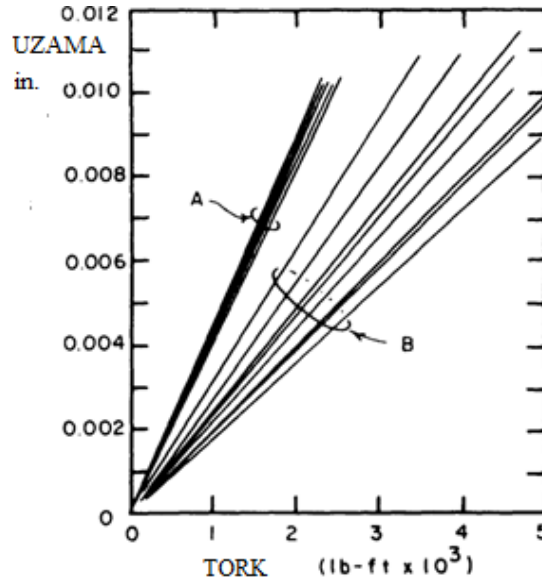
Şekil 2.30 Civataların tekrar kullanılmasıyla Tork-Öngerilme (BICKFORD 1995)

Yağlamanın diğer bir faydası da aynı ebatta ve aynı moment uygulanan bir grup civatada elde edilecek nihai öngerilme kuvvetinin birbirine yakın değerlerde olmasını sağlamaktadır. Yani düşük sürtünme katsayısı hata payını azaltmaktadır. Şekil 2.31'de 140 adet makine yağı ve 140 adet kuru M12 çelik civatada akma sınırına kadar moment uygulandığı zaman, civatalarda oluşan öngerilme kuvveti dağılım histogramı görülüyor. Elde edilen nihai öngerilme kuvvetleri aynı ve makine yağı iyi bir yağlayıcı olmadığı için aralarında doğruluk açısından çok az bir fark var. (BICKFORD 1995)



Şekil 2.31 Yağlı ve Kuru durumda, hedeflenen öngerilme kuvvetinden şaşma olasılığı (BICKFORD 1995)

Raymond Mühendislik tarafından yapılan deneylerde ise daha dramatik sonuçlar alınmıştır. Bir buhar tirbününe ait  $2^{1/4}$ -8x12 B16 civatalar molibden disülfid ile yağlanmıştır. Kuru halde iken yapılan deneylerde alınan sonuç kümeleri görülüyor. Yağlayıcının çok uygun bir diş yağlayıcısı olması sebebiyle Tork – Öngerilme grafiğinde belirgin farklılık ve saçılma görülmüştür. (Şekil 2.32) (BICKFORD 1995)



Şekil 2.32. Molibden disülfid ile yağlanmış ve kuru durumlarda Tork - Uzama Grafiği (BICKFORD 1995)

### 2.7.3. Civata sıkma yöntemleri ve sıkma faktörü

Önemsiz civata bağlantılarında sıkma işlemi anahtar vasıtasıyla el kuvveti ile yapılır. Bu işlemde doğruluk büyük oranda ustanın tecrübesine ve el alışkanlığına bağlıdır. Sonuçta civatalar fazla veya az sıkılır. Genelde endüstriyel kullanımda M12-M16 arasındaki 5.6 ve 6.8 kalitesindeki civatalar ile daha küçük boyutlu ama daha kaliteli M8-M12 aralığındaki 8.8 ve 10.9 civatalar el ile anahtar kullanılarak oldukça doğru bir şekilde sıkılabilmektedir.

Bu sebeple civatalar sıkılıken çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Burulma açısına dayalı ölçme yönteminde özel ekipmanlarla burulma açısı ölçülerek sıkma momenti ile burulma açısındaki linnerlik gözlenilir. Lineerliğin bittiği yerde sıkma işlemi bitirilir. Dönme açısına göre sıkma yönteminde ise dönme açısı ölçerler yardımıyla civatanın

sıkma esnasında yaptığı tur açısı ölçülür. Moment artış oranına göre civatanın dönme miktarının azaldığı yerde sıkmanın tamamlandığı anlaşılır.

Büyük civataların kullanıldığı bağlantılarda insan gücü civatayı sıkmaya yetmemektedir. Bunun için ya çok uzun sıkma kolları gerekmektedir yada hidrolik, pnömatik tork arttırıcılar kullanılmaktadır.

Momente dayalı sıkma işleminde üzerinde analog yada dijital gösterge bulunan anahtarlar yardımıyla uygulanan moment anlık olarak gözlenebilmektedir. Uygulanan moment istenilen momente erişince sıkma işlemi bitirilir.

Bir civatanın sıkılması için gereken toplam moment

$$M_{cs} = F_{\dot{O}N} \left( \frac{d_2}{2} \cdot tg(\alpha + \rho') + \mu_k \cdot \frac{d_0}{2} \right) \quad (2.66)$$

şeklinde belirlenmiştir. Sıkma momentinin 3 parçaya ayrıldığı kabul edersek. Bunlar

$$M_2 = F_{\dot{O}N} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot tg\rho', \text{ dişler arasındaki sürtünmeyi yenen kısım}$$

$$M_3 = F_{\dot{O}N} \cdot \mu_k \cdot \frac{d_0}{2}, \text{ parçalar arasındaki sürtünmeye harcanan kısım}$$

Ortalama bir sürtünme katsayısından hareket edersek ( $\mu = \mu_k = 0,12$ ) standart civatalar için bu parçalardan vidanın öteleme hareketini sağlayan faydalı moment bölümü

$$M_1 = F_{\dot{O}N} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot tg\alpha = F_{\dot{O}N} \frac{P}{2\pi} \quad (2.67)$$

Bu durumda toplam momentin %12'sinin faydalı momenti oluşturduğu, geriye kalan %42'sinin dişler arası sürtünmeyi yenmeye harcadığını, %46 lık son kısmının ise parçalar arasındaki sürtünmeye harcadığı görülür. Toplam momentin %88 gibi çok büyük bir kısmı sürtünmeye harcanmaktadır. Yani sürtünme katsayısı ve yüzey pürüzlülüğüyle doğrudan ilişkilidir. Ancak aynı imalat yöntemi kullanılarak aynı malzemedен üretilmiş civatalarda bile farklı sürtünme katsayıları ölçülmüştür. Bu

yüzden belli bir öngerilme kuvveti elde etmek için uygulanması gereken moment değeri civatadan civataya değişmektedir.

Gerçekte sürtünme katsayısı tek bir değer olarak değil en küçük ve en büyük iki değer arasındaki değerler aralığı olarak ölçülmektedir. Bu durumda eğer büyük sürtünme katsayısı değeri göz önüne alınarak sıkma momenti hesaplanırsa ve gerçek sürtünme katsayısı varsaydığımızdan düşükse, elde edeceğimiz öngerilme kuvveti çok büyük değerlere ulaşarak akma sınırını aşabilir. Bunun önüne geçmek için sürtünme katsayısı hesabında küçük değeri almak daha emniyetli olacaktır. Sıkma momenti uygulaması sırasında, yöntemine bağlı olarak bazı sapmalar gerçekleşmektedir. Yani tüm şartlar aynı olsa bile civataya uygulanan moment  $M_{s\ min}$  ve  $M_{s\ maks}$  arasında değişebilmektedir. Bunun sonucunda elde edilen öngerilme kuvveti  $F_{\text{ÖN}\ min}$  ve  $F_{\text{ÖN}\ maks}$  arasında değişir. Bu farklılık sıkma faktörü  $\alpha_A$  ile ifade edilir (Çizelge 2.8).

$$\alpha_A = \frac{F_{M\ maks}}{F_{M\ min}} \quad (2.68)$$

Çizelge 2.8. Sıkma yöntemine bağlı olarak  $\alpha_A$  değerleri

| $\alpha_A$ | Sıkma Yöntemi   | Sapma Miktarı (%) |
|------------|---|-------------------|
| 1          | El ile kontrolsüz sıkma, akma sınırıyla ayarlı motorla sıkma                              | ±5 ±12            |
| 1          | Dönme açısına göre ayarlı motor veya elle sıkma   | ±5 ±12            |
| 1,2...1,6  | Civatanın uzamasını ölçü esaslı alan yöntemler, hidrolik sıkma                            | ±9 ±23            |
| 1,4...1,6  | Moment ayarlı anahtarla sıkma (gerekli moment hesabını sürtünme katsayısı tahmini alınır) | ±17 ±23           |
| 1,7...2,5  | Moment ayarlı özel takımlarla sıkma   | ±26 ±43           |
| 2,5...4    | İmpuls ayarlı darbeli çalışan özel anahtarla sıkma  | ±43 ±60           |

İşletme şartlarında civataya gelen kuvvet  $F_{\text{ÖN}\ maks}$  mı yoksa  $F_{\text{ÖN}\ min}$  midir bilinmediğine göre ikisinin arasında bir değer olacaktır. Civatanın işlevini yerine



getirebilmesi için gereken kuvvet  $F_{\dot{O}N}$  belirlendi ise buna oturma olayında zaman içinde kaybolacak kuvvet  $\Delta F_V$  eklenerek minimum montaj kuvveti  $F_{\dot{O}N \min}$  elde edilir.  $F_{\dot{O}N \min}$  uygulanan sıkma yöntemine ait sıkma faktörü  $\alpha_A$  ile çarpılarak en büyük montaj kuvveti  $F_{\dot{O}N \max}$  bulunur. Civataya gelen en büyük zorlama montaj aşamasında gerçekleşir. Bu yüzden çekme gerilmesi değeri ve eşdeğer gerilme hesaplanırken  $F_{\dot{O}N \max}$  dikkate alınır.

$$\sigma_{\dot{C}} = \frac{F_{\dot{O}N \max}}{A_s} \quad (2.69)$$

$$\tau = \frac{F_{\dot{O}N \max} \left( \frac{d}{2} \cdot \text{tg}(\alpha + \rho') \right)}{\pi \cdot \frac{d_s^3}{16}} \quad (2.70)$$

$$F_{\dot{O}N \max} = \frac{0,9 \cdot \sigma_{ak} \cdot A_s}{\sqrt{1 + 3 \cdot \left[ \frac{\text{tg}(\alpha + \rho') \cdot d_2 \cdot A_s}{2 \cdot W_p} \right]^2}} \quad (2.71)$$

elde edilir.

## 2.8. Yüzey Pürüzlülüğü

İşleyici takımların parça üzerinde bıraktığı çizikler ve kısa dalga boylu uzunluklara yüzey pürüzü denilmektedir. Takımın ilerleme yönünde bu izlerin dalga boyu düşüken çapraz yönde dalga boyu daha büyüktür. Yüzey pürüzlülüğü terimi ise fiziksel yüzey üzerindeki küçük ölçekli yükselti değişikliklerinin ölçülmesi için kullanılır. Yüzey pürüzlülüğü sürtünme, aşınma, yorulma gibi sonuçlar doğurduğu için genelde istenmeyen bir özellik iken, söz konusu yüzey üzerinde yağlayıcıların tutulması olduğu zaman malzeme için avantaj sağlamaktadır.

Yüzey yapısını tanımlamakta kullanılan başlıca terimler aşağıdaki gibidir.

**Pürüzlülük:** Çeşitli yüzey işlemlerinin yüzeyde oluşturduğu düzensizliklerin birleşimidir. Bu düzensizlikler yüzey dokusunu meydana getirir.

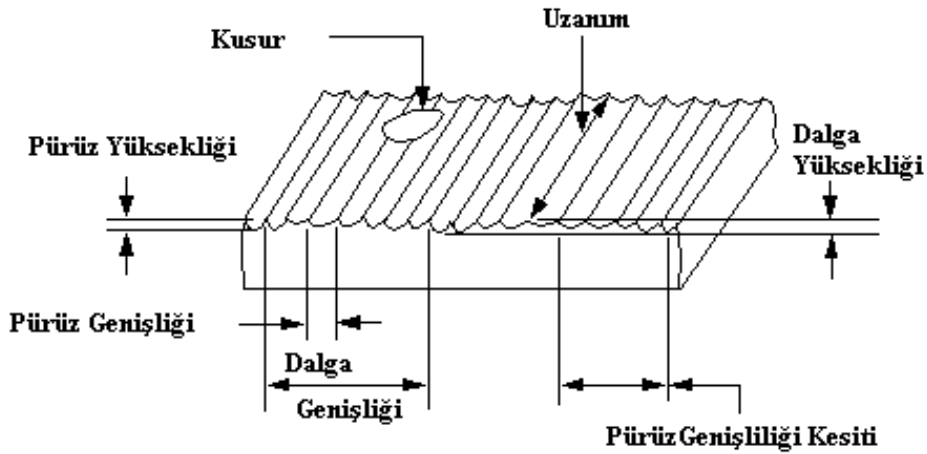
**Pürüz yüksekliği:** Bir referans çizgisine göre yüzeydeki pürüzlerin yüksekliğidir. Birimi milimetre, mikron ya da mikro inç olarak ölçülebilir. Pürüz yüksekliği için ortalama yükseklik, yüzey yapısında başrolü oynar. Fakat yüzey pürüzlülüğünü kontrol etmeye yetmez.

**Pürüz genişliği:** Baskın yüzey patternine uyumlu yükseltmeler yada çukurlar arasındaki nominal yüzey üzerindeki paralel mesafedir.

**Pürüz genişliği kesiti:** Ortalama yüzey yüksekliğinin ölçümünde yer alacak pürüzlerin ölçümlerinin alınacağı mesafedir.

**Uzanım:** Oluşturulan baskın yüzey patterninin uzanımını gösteren ifadedir ve aynı zamanda yüzey işleme operasyonunun bir aynasıdır.

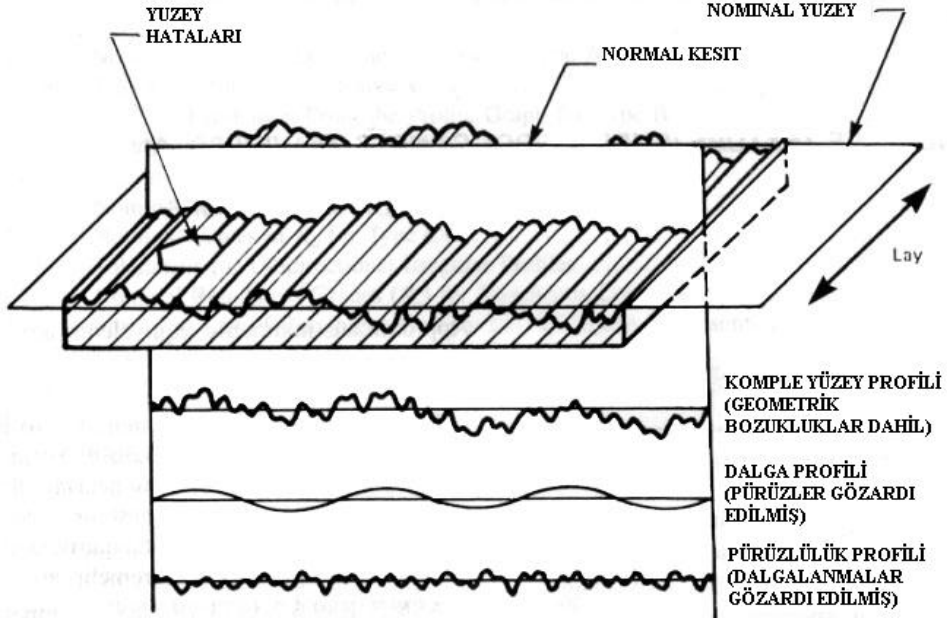
**Dalgalanma:** Pürüzlülük tanımı dışında kalan ve parçanın genelinde görülen yüzey düzensizlikleridir. Genelde düzensiz dalga boyu uzunlukları halinde görülür. Bu tür oluşumların sebebi taşlama esnasında taş yüzeyindeki eksikliklerden, işleme takımının bağlantı tertibatındaki titreşimlerden ya da ısıl işlemlerden meydana gelebilir.



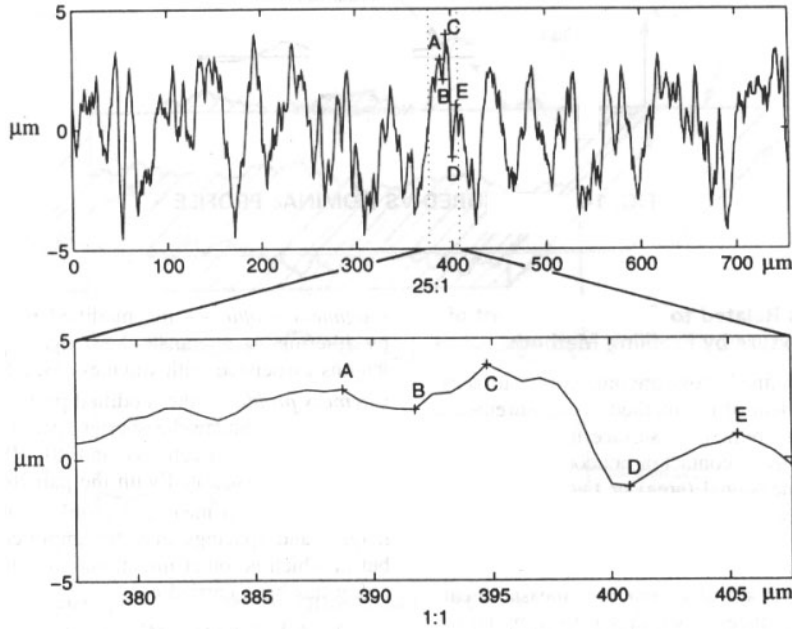
Şekil 2.33. Yüzey karakteristikleri

1930'lu yıllarda metal yüzeylerinin pürüzlülük değerlendirilmesi, o yüzeye bakarak veya dokunarak yapılırdı. Yüzeyde yüksek yansımaya varsa yüzey pürüzsüz

olarak düşünülürdü. Ancak bu tip değerlendirmenin ömrü pek uzun olmadı. Metal yüzeyinin değerlendirmesi şahıstan bağımsız olarak düşünölmeye başladı. Böylece düşünceler Şekil 2.33'deki parametreler üzerinde yoğunlaştı.



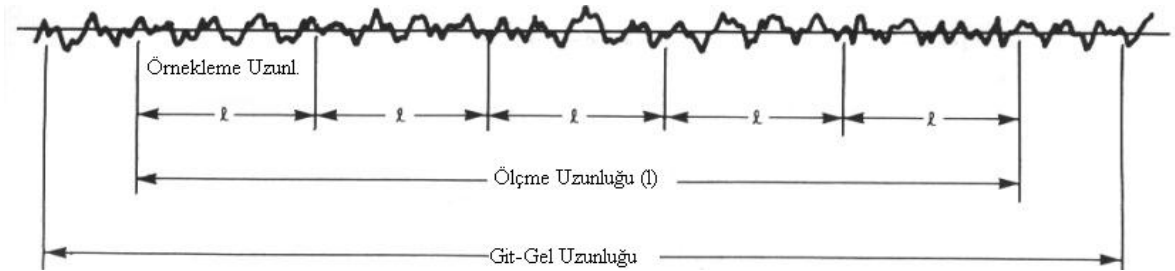
Şekil 2.34. Yüzey profili



Şekil 2.35. Profil eğrisindeki yumuşama

Şekil 2.34’de bazı yüzey profilleri görülüyor. Bir yüzey profili incelenirken yatay ve düşey eksenlerin birimlerine dikkat etmek gerekmektedir. Örneğin yatay eksenin birimi milimetre iken düşey eksen mikrometre olabilir. Bu durumda profil eğrisine yaklaşıncaya sivri pik noktalarını yumuşadığı görülür. Şekil 2.35’de bu yumuşama görülüyor.

Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde üç adet uzunluk söz konusudur. Bunlar Git-Gel uzunluğu, Ölçme Uzunluğu ve Örnekleme uzunluğudur. Git-Gel uzunluğu ölçme aletinin hareket ettiği ve veri değerlendirme sisteminin hareketleri kaydettiği uzunluktur. Bu Git- Gel mesafesinin profesyonel komiteler tarafından belirlenmiş bir ölçme uzunluğu değeri kadar olan kısmı değerlendirmeye alınır. Ve bu ölçme uzunluğu boyunca elde edilen veriler parametrelerin hesaplanmasında kullanılır. Şekil 2.36’da bu uzunluklar görülüyor. Bazı durumlarda bu parametreler daha küçük ve eş boyutlu (genelde 5 adet) örnekleme uzunluklarında hesaplanırlar. (SOUTHERN 2005)



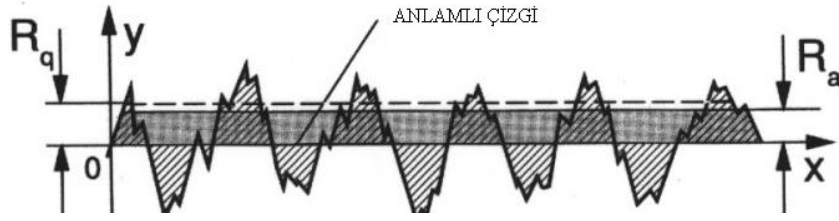
Şekil 2.36. Profil ölçüm uzunlukları

Profilometre verisinden pek çok sayısal değerler hesaplanabilir. Bu değerlerden en çok kullanılanları  $R_a$  ve  $R_q$  değerleridir. Bu değerler Şekil 2.37’de görülmektedir.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (2.72)$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx} \quad (2.73)$$

$y(x)$  = pürüzlülük profilindeki profil değerleri.

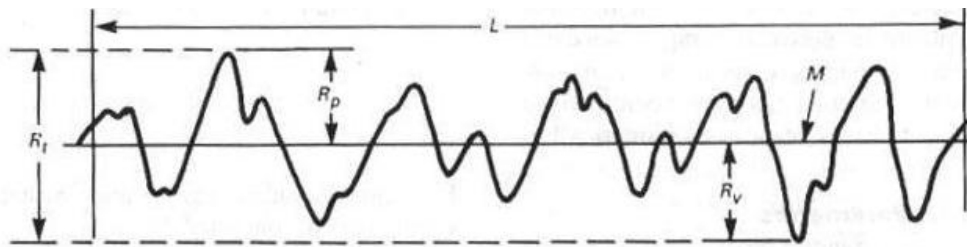


Şekil 2.37.  $R_a$  ve  $R_q$  değerleri.

$R_a$  (Aritmetik Ortalama Sapması): Pürüzlülük profilinde anlamlı çizginin üstünde ve altında kalan alanların aritmetik olarak değeridir.

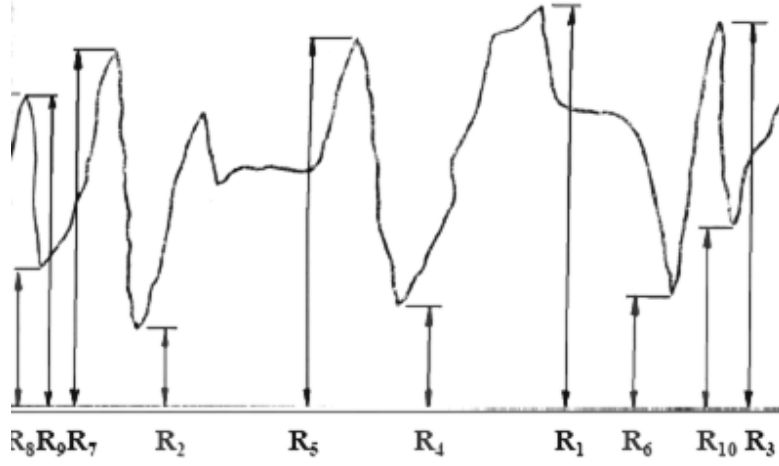
$R_q$  (Aritmetik Ortalama Sapmanın Karekökü):  $R_a$  değerinin karekökü anlamında kullanılan bir ifadedir.

Burada dikkat edilmesi gereken husus, birbirinden çok farklı özellikteki yüzeylerin dahi aynı  $R_a$  değerlerini üretebileceğidir. Bu yüzden değerler tek başlarına yüzeyler hakkında hüküm vermek için kullanılmamalıdır. Mümkünse diğer tekniklerle karşılaştırılmalıdır. Genelde profilometri verileri elde edilirken x yönündeki süresiz adımlar kullanılır. Mahr Yüzey ölçüm sistemlerinde ölçme uzunluğu 8064 eşit noktaya bölünür. Bu yatay çözünürlüğü belirler. Örneğin eğer ölçme uzunluğu 10 mm ise yatay çözünürlük  $1,24 \times 10^{-3}$  olarak belirlenir. Dikey eksenin çözünürlüğü ise ölçme ucunun çarpılma mesafesine bağlıdır. Mutlak eksene göre +/- 250 mm çarpılabilen bir ucu ele alırsak, düşey eksen  $2^{16} = 65536$  adıma bölünür. Bu durumda maksimum 7 nm çözünürlük sağlar. Şekil 2.38'de ölçüm uzunluğu boyunca ölçülen en yüksek  $R_p$  ve en alçak  $R_v$  mesafelerini gösteriyor. En alçak ve en yüksek nokta arasındaki mesafe ise  $R_t$  değerini verir.



Şekil 2.38.  $R_p$  ve  $R_v$

Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde en sık kullanılan bir diğer parametre  $R_z$  'dir. Ortalama pürüz yüksekliği olarak tanımlanan bu parametre hesaplanırken önce profile paralel bir eksen çizilir. Bu profilden en dip 5 noktaya olan uzaklıklar ölçülüp ortalaması alınır. (Şekil 2.39)



Şekil 2.39.  $R_z$  parametresinin hesaplanması

-

(2.74)

olarak bulunur.

### 3. MATERYAL ve METOD

#### 3.1. Materyal

Deneyleerde C1050 imalat çeliği, ss 304 paslanmaz çelik ve Al5075 Alüminyum malzemelerden yapılmış flanş parçaları kullanılmıştır.

##### 3.1.1. Numunelerin hazırlanması

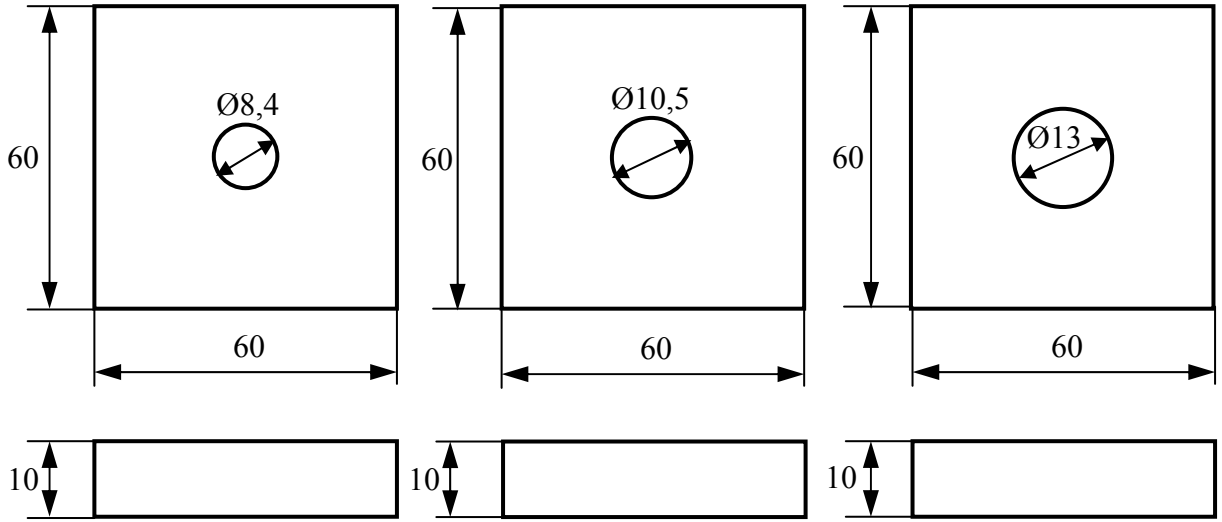
Sırasıyla M8, M10, M12 civatalarla birbirine bağlanacak flanş parçaları c1050 imalat çeliği, ss304 Paslanmaz Çelik ve Alüminyum Al5075 malzemenen 10 mm kalınlıklarla imal edilmiştir. Numunelere ait teknik resimler Şekil 3.1’de verilmiştir. Numunelerin imalatı Antalya Serbest Bölgesinde su jeti tezgahında kesilerek yapılmıştır. Sanayide en sık rastlanılan yüzey pürüzlülüklerini elde etmek için numuneler çeşitli işlemlerden geçirilmiştir (Şekil 3.2)

Bu deneyde civatanın içinden geçeceği delik için TS 528 EN 20273 standardı doğrultusunda ince toleransla geçiş sağlanmıştır. Numunelere hiçbir şekilde ısıl işlem uygulanmamıştır. Deneyleer 25 C° oda sıcaklığında yapılmıştır.

Deneyleerde M8, M10, M12 ebatta 8.8 kalitede NORM marka çelik civatalar ve bunlara uygun standart somunlar kullanılmıştır. Ultrasonik ölçüm işleminin hassasiyeti açısından civatanın baş kısmındaki marka yazıları ve uç kısmı tornada hassas bir şekilde işlenerek pürüzsüz hale getirilmiştir. Kullanılan civataların ebatları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneyleerde kullanılan civataların ölçüleri

| Kullanılan Civata | Adım(mm) | Boy (mm) |
|-------------------|----------|----------|
| M 8               | 1,25     | 45       |
| M 10              | 1,5      | 45       |
| M 12              | 1,75     | 45       |



Şekil 3.1. Deneyleerde kullanılan flanşların ölçüleri



Şekil 3.2 Deneyleerde kullanılan flanşlar

### 3.1.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Flanş parçalarının yüzey pürüzlülüğü ölçümü için Mahr marka Perthometer V2 cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.3). Cihazın ölçebildiği maksimum pürüzlülük değeri 150  $\mu\text{m}$  dir. Cihazın üzerinde bulunan LCD ekran sayesinde ölçüm parametreleri ve ölçülen pürüzlülük değeri anında okunabilmektedir. Ayrıca cihaz üzerinde bulunan dahili yazıcıdan pürüzlülük profili çıktı olarak alınabilmektedir. Cihazın hatasız bir ölçüm yapabilmesi için pürüzlülüğü ölçülecek yüzeye paralel olarak konumlandırılmasına



yardımcı olacak vida ile sıkıştırılarak ayarlanabilen destek ayakları mevcuttur. Bunun yanı sıra silindirik yüzeylerden de ölçüm yapılabilmesine olanak sağlayan sökülüp takılabilen burun aparatı da mevcuttur. Cihazın kalibrasyonunun yapılabilmesi için yüzey pürüzlülüğü 10 µm ( $R_a$ ,  $R_y$  değerleri) olan hassas kalibrasyon numunesi bulunmaktadır.



Şekil 3.3. Mahr yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

### 3.1.2.1. Pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi

Cihaz çalıştırılır. Daha sonra arzu edilen parametre değerleri (Ölçüm boyu, ölçüm sayısı, birimler) belirlenir. Cihaz ayarlı ayakları yardımıyla düz bir zemin üzerinde ölçümü yapılacak numuneye paralel bir konuma getirilir. Ölçüm ucunun yüzeye noktasal teması sağlanır. Çalıştırma tuşuna basılır. Ölçüm ucu ayarlanan mesafe boyunca ilerleyerek daha önce belirlenen sayıda ölçüm alır. Daha sonra başlangıç konumuna döner.  $R_a$  ve  $R_z$  değerleri ekranda görülür. Yazılı çıktısı alınır.

### 3.1.2.2. Cihazda bulunan ölçüm parametreleri

Ölçüm mesafesi ( $L_t$ ) DIN EN ISO 4288/ASME B461 standartına göre 1.75 mm, 5.6 mm, 17.5 mm (.07 in, .22 in, .7 in) veya EN ISO 12085 standartına göre 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 12 mm, 16 mm değerlerinden birisi seçilebilmektedir. Ölçüm sayısı ise 1 ile 5 arasında bir değer olabilir. Ancak 5'den büyük olamaz. Cihazın kaç  $\mu\text{m}$  ilerledikçe ölçüm alacağını veren sınır dalga boyu değeri ( $\lambda_c$ ) 0.25 mm/0.80 mm/2.50 mm (.010 in/.032 in/.100 in) değerlerinden seçilebilmektedir (Çizelge 3.2).

$$L_t = \lambda_c \times n \quad (3.1)$$

Çizelge 3.2. Pürüzlülük ölçüm cihazı parametreleri (Mahr 04/99, TS 971/Aralık 1998)

| Parametre        | Tanımı  | Standart   |
|------------------|---|--|
| $R_a$            | Pürüzlülük profil sapmalarının aritmetik ortalaması | DIN EN ISO 4287 : 1998, ISO 4287 : 1997, JIS B 0601 : 1994 |
| $R_q$            | Pürüzlülük profilinin RMS sapması                   | DIN EN ISO 4287 : 1998, ISO 4287 : 1997, JIS B 0601 : 1994 |
| $R_z$            | Ortalama tepe – çukur aralığı mesafesi              | DIN EN ISO 4287 : 1998, ISO 4287 : 1997, JIS B 0601 : 1994 |
| $R_{\text{max}}$ | Maksimum pürüz derinliği                            | DIN 4768 : 1990  |
| $R_{p(y)}$       | Maksimum profil tepesi yüksekliği                   | DIN EN ISO 4287 : 1998, ISO 4287 : 1997                    |
| $R_{pk}$         | İndirgenmiş tepe yüksekliği                         | DIN EN ISO : 13565-2 : 1997                                |
| $R_k$            | Merkezdeki pürüz derinliği                          | DIN EN ISO : 13565-2 : 1997                                |
| $R_{vk}$         | İndirgenmiş çukur derinliği                         | DIN EN ISO : 13565-2 : 1997                                |
| $M_{r1}$         | Malzeme oranı 1 (%).                                | DIN EN ISO : 13565-2 : 1997                                |
| $M_{r2}$         | Malzeme oranı 2 (%).                                | DIN EN ISO : 13565-2 : 1997                                |
| $R_t$            | Pürüz derinliği                                     | DIN EN ISO 4287 : 1998, ISO 4287 : 1997                    |
| $P_c$            | 1 cm'deki tepe sayısı                               | SEP 1940 : 1992, ANSI/ASME                                 |

|                |                                   |  |
|----------------|-----------------------------------|--|
|                | Çizelge 3.2'in Devamı             | B46.1 : 1985   |
| S <sub>m</sub> | Ortalama profil bozukluğu aralığı | DIN EN ISO 4287 : 1998, ISO 4287 : 1997, JIS B 0601 : 1994 |
| R              | Ortalama pürüz motifi derinliği   | ISO 12085 : 1996   |

### 3.1.3. Tork değerinin ölçülmesi

Civataya uygulanan anlık tork değerinin ölçülebilmesi için Tronic AT-1003-LDIN analog göstergeli torkmetre kullanılmıştır (Şekil 3.4). Torkmetrenin ölçüm aralığı 0-140 Nm olup çözünürlüğü 2,5 Nm dir. Torkmetre ölçüm toleransı  $\pm\%4$ 'tür. Cihaza sıkılacak civataya uygun lokma takıldıktan sonra el ile arzu edilen moment değeri analog göstergeden okunana kadar sıkılır. Daha sonra torkmetre civatadan ayrılır.



Şekil 3.4. Tronic AT-1003-LDIN analog göstergeli torkmetre

### 3.1.4. Civatanın ilk boyunun ve uzama değerlerinin ölçülmesi

Flanş bağlantısının yapılmasından önceki ilk boyun, sıkıldıktan sonra civatada meydana gelen uzama miktarının ve buna bağlı olarak oluşan öngerilme kuvvetinin ölçülebilmesi için DAKOTA ULTRASONIC firmasının ürettiği MİNİ-MAX ultrasonik ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.5). Ölçüm için önce cihaz açılır. DATA menüsünden yeni bir ölçüm gurubu oluşturularak kaç tane civatanın ölçüleceği ve her

bir civatanın kaç kere ölçüleceği girilir. Böylece ölçüm tablosu hazırlanır. MATL menüsünden civata malzemesi seçilir. GEOM menüsünden efektif boy, uzama değerini gerilmeye çevirecek olan yük faktörü değeri ve yük değerini gerilmeye çevirecek olan kesit alanı değeri girilir. MEAS tuşuna basılarak cihaz ölçüme hazır hale getirilir. Bu ekranda ALEN menüsü seçilerek ölçülecek civatanın yaklaşık boyu girilir. Civata başına az miktar ultrasonik sıvı damlatılır, daha sonra cihazın probu civatanın başına oturtulur. AUTOSSET tuşuna basılarak ölçüm yapılır. İlk ölçüm civatanın sıkılmadan önceki referans ölçüsü olup LOC menüsüne girilerek tablodaki ilk sütuna bu değer yapıştırılır. Daha sonra prob civatadan ayrılır. Civata sıkıldıktan sonra tekrar prob civataya oturtulur. MEAS tuşuna basılır. LOC menüsüne girilerek ilk ölçülen değeri yazdığımız satırın sağ tarafındaki boş satıra ok tuşuna basarak geçilir. Cihaz otomatik olarak uzamayı ölçer ve ekranda gösterir.



Şekil 3.5. Mini-Max ultrasonik civata ölçüm cihazı

Aşağıda sayılan şartlar altında , ultrasonik ölçümün en doğru ve verimli çözüm olduğu kanıtlanmıştır.

-Sürtünme kuvvetindeki değişkenliklerin veya montaj geometrisinin, uygulanan moment ile civata tarafından üretilen gerçek montaj kuvvetinin doğru bir şekilde kontrolünü engellediği durumlar.

-Montaj kuvvetinin bir civatanın hizmet süresince gözlenmesinin gerektiği durumlar.

Montaj kuvvetinin ultrasonik olarak ölçülmesi, civatada çekme gerilmesi arttıkça civata gövdesinden geçen ses dalgalarının hızında meydana gelen hız düşüşünün tespit edilmesiyle gerçekleşir. Civatanın bir ucundan gönderilen ses dalgasının diğer ucuna çarpıp geri dönmesi boyunca gereken sürenin ölçülmesiyle ultrasonik boy ölçülür. Civata sıkıldıkça bu ultrasonik boydaki değişiklik mevcut montaj kuvvetinin hesaplanmasında ve gösterilmesinde kullanılır.

Bu işlemin temelini oluşturan kurallar uzun yıllardır bilinmekte ve aktif sonar ve radar sistemlerinde kullanılmaktadır. Konsept kolay ve çok doğru sonuçlar veriyormuş gibi görünmekle beraber, optimum civata-algılayıcı çifti seçilmesi zor olabilmektedir.

Mini-Max sıkılan bir civatanın oluşturduğu montaj kuvvetini, zamana ve uzamaya bağlı olarak ölçebilmektedir. Bunun yanı sıra herhangi bir malzemedan yapılmış 2,5 cm den 2,4 m boya kadar olan civatalarda gerilmeyi veya uzamayı ölçebilmektedir.

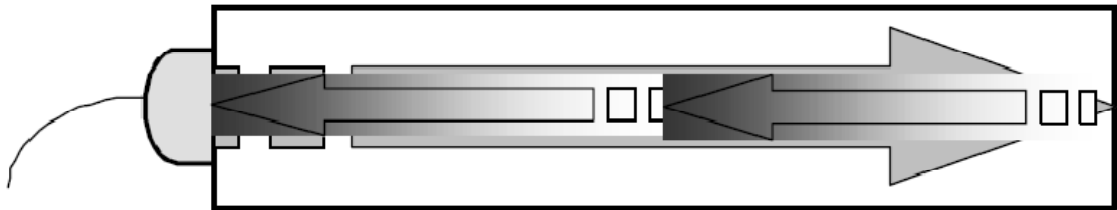
#### **3.1.4.1. Ultrasonik dalgalar**

Ultrasonik ölçüm uygun bir miktar ultrasonik enerjinin civata boyunca aktarılmasını gerektirir. Enerji aktarımında enerji darbe frekansı ile hedefi arasındaki ilişki oldukça önemlidir. Düşük frekanslar daha uzun dalga boyları yaratırken malzemedde daha uzağa gidebilirler. Yüksek frekanslar ise daha kısa dalga boyları yaratırlar. Örnek vermek gerekirse AM radyo sinyalleri düşük frekanslı olup ufkun yüzlerce kilometre ötesine ulaşabilirken yüksek frekanslı FM sinyalleri kısa bir görüş mesafesinden algılabılır. Aynı durum ultrases için de geçerlidir. Düşük frekanslı 1 Mhz

darbe 5 Mhz'lik darbeden metal boyunca daha uzağa gidecektir. Böylece düşük frekanslı bir algılayıcı uzun bir civatadan yada ses dalgası iletimine direçli bir malzemedan yapılmış civatadan gelen yankıyı daha iyi algılayabilir. Düşük frekansın daha fazla nüfuz etme yeteneğine karşılık yüksek miktarda gürültü de oluşturur. Düşük frekanslı enerji tıpkı odaksız ışık gibi saçılma eğilimi göstermektedir. Civatanın diğer ucuna ulaşan dalgaların bir kısmı civatanın silindirik gövdesi boyunca kenardan kenara sekerek bozulmuş bir yankı yaratır . Yüksek frekanslı enerjide ise daha az bozulma ve yankı yaparak direk olarak bir uçtan diğerine giderek geri döner. (Operation Manual MINI-MAX 2008)

Maksimum frekans ile gürültü bastırımı dengesi uygun algılayıcının seçilmesini gerektirir. Algılayıcının çapı (genellikle mevcut piezoelektrik kristalinin çapıyla belirlenir) direkt olarak enerji iletimini etkiler. Büyük çaplı kristaller daha iyi enerji gönderip alma yeteneğine sahiptir ve daha az enerji saçılıma uğrar.

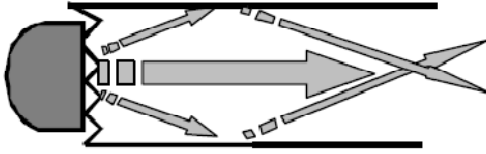
Ses dalgaları katı maddelerin ve pek çok sıvının içinden geçebilir. Ama havada seyahat edemez. Bu yüzden hava geçişinin oluşturacağı dirence sonik empedans denir. Bu durum ses dalgaları civatanın diğer ucundaki civata sonu-hava sınırına ulaştığında meydana gelir ve enerjinin büyük çoğunluğu yankı olarak geri döner (Şekil 3.6). Algılayıcı ile civata sonu arasındaki herhangi bir hava boşluğu sonik enerjinin geçişini engelleyecektir. Bu yüzden bu boşluk uygun bir sıvı ile doldurulmalıdır. Bu sıvının sonik empedansı civata malzemesine yakın oldukça , giden ve dönen ses dalgaları için kesintisiz bir geçit oluşturacaktır. Bu durum için gliserin bazlı maddeler iyi sonuç vermektedir. Sıvının akışkanlığı bulunduğu yerde kalmasına yetecek kadar az ama içinde hava kabarcıkları hapsedirmeyecek kadar çok olmalıdır.



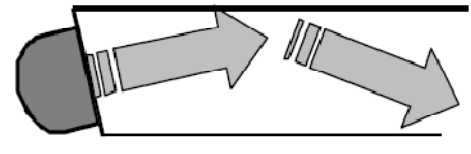
Şekil 3.6. Ses dalgası ve yankı

### 3.1.4.2 Algılayıcı-civata yüzeyi temas şartları

Hedef olabildiğince çok sonik enerjiyi transducerden civataya aktarmak ve bu enerjiyi olabildiğince ileriye ve geriye iletmektir. Algılayıcıyı işlenmiş ve parlak bir yüzeye boşluksuz bir şekilde oturtmak doğru bir sinyal iletimi için gereklidir. Civata uçları temiz ve düzgün olmalıdır. Kaba ve pürüzlü yüzeyler trans ile uygun teması sağlayamayacağı ve enerjinin bir kısmını yan duvarlara doğru saptırarak ölçüm yanlışlığına sebep olacağı için dikkat edilmelidir (Şekil 3.7). Civata eksenine dik olmayan civata uçları enerjini kenarlara yönelmesine sebep olarak zayıf sinyal kalitesi ve ölçüm hatalarına sebep olabilir. 2°den büyük hiza hatalarına dikkat edilmelidir (Şekil 3.8). Paslı, kirli veya boyalı civata uçları trans ile civata arasındaki enerji iletimini engelleyebilir. (Operation Manual MINI-MAX 2008)

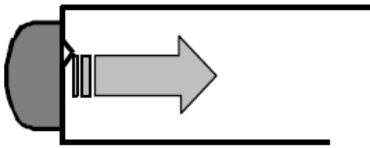


Şekil 3.7. Pürüzlü yüzey ve sapmış dalga

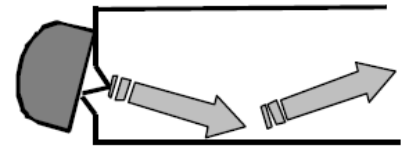


Şekil 3.8. Eğik Temas

Civata başlarındaki kazıntı şeklinde yazılmış marka, model, kalite yazıları da sıvı ile doldurulabilir ancak az miktarda da olsa sinyal gücünde düşüğe sebep olabilmektedir (Şekil 3.9). Civata başlarındaki kabartma şeklinde yazılmış marka, model, kalite yazıları transın düz bir şekilde oturmasını engelleyerek açılı oturmasına sebep olmakta ve sinyal yönünde saptmaya sebep olabilmektedir (Şekil 3.10).



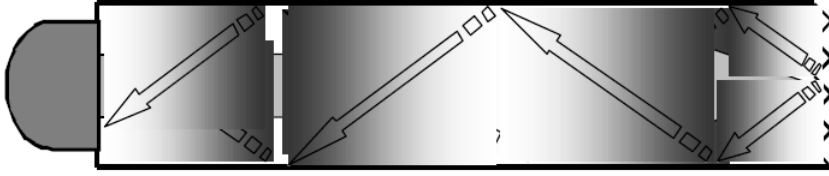
Şekil 3.9. Civata başındaki kazıntı



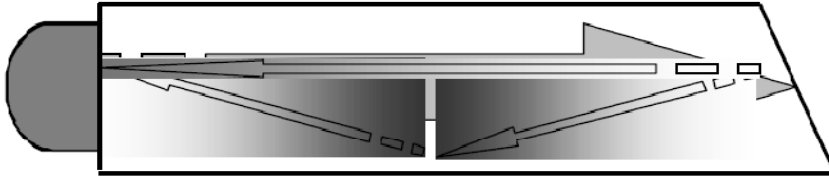
Şekil 3.10. Civata başındaki kabartı

### 3.1.4.3. Yankı yüzeyi

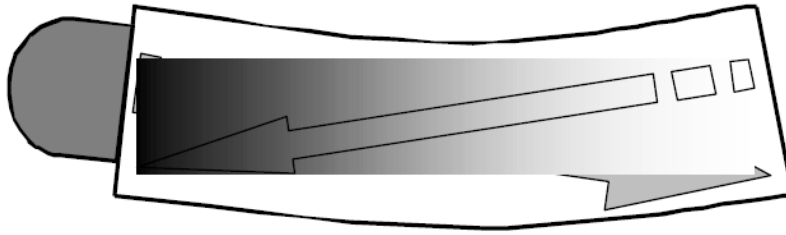
Düzgün, civata eksenine dik, pürüzsüz bir yankı yüzeyi doğru bir yankı oluşturacaktır. Civatanın her iki ucu da temizlenmiş ve sıfırlanmış olmalıdır. 2 dereceden fazla hiza bozuklukları kayda değer hata oluşturmaktadır. Yankı yüzeyinin kaba yada eğik olması enerjinin saçılmasına ve zayıf yada bozulmuş bir yankı oluşumuna sebep olacaktır (Şekil 3.11). Yankı yüzeyinin eğik olması enerjinin saparak yan duvarlardan yansımaya sebep olabilir (Şekil 3.12). Civatanın eğilmesi de dik olmayan yansımalara sebep olacaktır (Şekil 3.13).



Şekil 3.11. Yankı yüzeyindeki pürüzlülük sorunu



Şekil 3.12. Eğik yankı yüzeyi sorunu



Şekil 3.13. Eğik civata sorunu

### 3.1.4.4. Algılayıcı Seçimi

En iyi sonuçların alınması için doğru tran seçimi çok önemlidir. Civataya tamamen oturacak çapta büyük trans seçilmelidir. Uygun frekans belirlenirken aşağıdaki şartlar gözden geçirilmelidir.



Düşük çaplı civatalar ölçülürken yüksek frekanslar daha iyi bir seçimdir. Ses daha iyi odaklanır ve daha az saçılır. Eğilme veya potansiyeli olan malzemelerde düşük frekanslar seçilir. Bunun sebebi düşük frekansın dalga formunda bozulmaya dirençli olmasıdır. Düşük frekanslar bozulma oluşmadan önce daha çok faz yükselmesini gerektirir. Düşük frekans daha az odaklanma ve daha çok çarpılma vaad eder. Bu sayede eğilmiş civatalarda kullanılmaya en uygun seçim olarak görülmektedir. Deneylede imalatçı firmaya danışılarak onların tavsiyeleri doğrultusunda çelik civatalarla uyumlu olan ¼’’ 5 Mhz ölçüm probu kullanılmıştır.

#### **3.1.4.5. Cihazın sıfırlanması**

Yankının mini-max cihazı ve algılayıcı ikilisi tarafında doğru ölçülebilmesi için sistemin sıfırlanması gerekmektedir. Bunun sebebi yankının civatadan algılayıcı yüzeyine aktarılması ve oradan da cihaz tarafından algılanmasına kadar elektronik gecikmenin meydana gelmesidir. Buna gecikme faktörü yada sıfır zamanı ötelemesi denir. Elektronik parçalardaki , algılayıcıdaki ve kablodaki farklılıklar buna sebep olur. Bu sebeple aynı cihaz ile farklı algılayıcılar kullanılıyorsa her söküp takma işleminden sonra sıfırlanma yapılmalıdır.

Mini-Max'ta sıfırlama işlemi ultrasonik hızı ve boyu bilinen kalibrasyon çubukları ile yapılmaktadır. Cihazla birlikte 3’’ uzunluğunda paslanmaz çelik kalibrasyon bloğu alınmıştır. Bloğun bilinen fiziksel boyu ve ölçülen ultrasonik boyu sayesinde gecikme faktörü hesaplanmaktadır. Bu değer hesaplandıktan sonra cihaz ,ölçümle elde edilen zaman değerinden bu gecikme süresini çıkararak gerçek zamanı hesaplar. Daha sonrada bu zamandan yola çıkarak boyu doğru bir şekilde ölçer. Eğer sürekli tek bir cihaz ve algılayıcı ikilisi kullanılıyorsa ve hiç birbirinden ayrılmıyorsa sıfırlamayı bir kere yapmak yeterlidir.

#### **3.1.4.6. Cihaz Parametreleri**

Ultrasonik ölçüm cihazı civatadaki uzama miktarını aşağıdaki formül ile hesaplamaktadır.

$$X_E = S_F x V_0 x \Delta T \quad (3.2)$$

$X_E$  = Uzama miktarı (mm)

$S_F$  = Sonik gerilme faktörü

$V_0$  = Ses dalgasının malzemede ilerleme hızı (mm/sn)

$\Delta T$  = Zamandaki değişim (sn)

Ultrasonik ölçüm cihazı civatadaki öngerilme kuvveti değerini Hook kanunundan hareketle aşağıdaki formül ile hesaplamaktadır.

$$F_{\text{Ö}} = \frac{\Delta L x A_S x E}{L_E} \quad (3.3)$$

$F_{\text{Ön}}$  = Öngerilme kuvveti (N)

$\Delta L$  = Uzama miktarı (mm)

$A_S$  = Civata kesit alanı (mm<sup>2</sup>)

$E$  = Civata malzemesinin elastisite modülü (N/mm<sup>2</sup>)

$E_{\text{Çelik}}$  : 2,1.10<sup>5</sup> N/mm<sup>2</sup> olarak alınmıştır.

$L_E$  = Gerilme altındaki efektif boy (mm) (Şekil 2.11)

Çizelge 3.3 10 mm kalınlıklı ikili flanş montajı için civata  $L_E$  değerleri

| Civata Ebadı | Civata / Somun baş yüksekliği (mm) | $L_E$ (mm) |
|--------------|------------------------------------|------------|
| M8           | 6,5                                | 26,5       |
| M10          | 8                                  | 28         |
| M12          | 10                                 | 30         |

### 3.2. Metod

Bu çalışmada M8 , M10, M12 ebatlarındaki 8.8 kalitede çelik civatalarda 2 flanşlı bağlantı durumunda uygulanan momente bağlı olarak elde edilen öngerilme kuvveti değerleri ölçülmüştür. .Sıkıştırma sırasında yüzey pürüzlülüğünden kaynaklanan sürtünmeyle kaybolan öngerilme kuvvet miktarı saptanmaya çalışılmıştır. Bunun yanısıra pürüzlerin ezilmesiyle oluşan plastik deformasyon sonucu kaybedilen öngerilme kuvveti miktarı saptanmaya çalışılmıştır . Deneyler kuru ve kırmızı gres yağı ile yağlanmış yüzey koşullarında tekrar edileceği için yağlamanın öngerilme kuvvetine

etkisi konusunda da veriler elde edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra elde edilen verilerin teorideki verilerle uyuşup uyuşmadığı incelenecektir. Deneylede yağlayıcı olarak kullanılan kırmızı gresin viskozitesi 40 C°'de 140-180 CST aralığındadır.

Su Jeti tezgahında işlenen flanş parçaları yüzeyleri çeşitli işlemlerden geçirilerek sanayide en çok kullanılan bazı yüzey koşulları elde edilmeye çalışılmıştır. Numunelere yapılan yüzey işlemleri Çizelge 3.4'de verilmiştir. Daha sonra montaj öncesindeki yüzey pürüzlülüğü (Rz) değerleri, "Perthometer M2 V3.03-00" yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazında ölçülmüştür (Şekil 3.14).

Çizelge 3.4 Deneylede kullanılan flanşlara uygulanan yüzey işlemleri

|                        |                          |                    |
|------------------------|--------------------------|--------------------|
| C1050 İmalat Çeliği    | Satış Taşlama            | Hassas Frezeleneme |
| SS 304 Paslanmaz Çelik | Hassas Tornalama         | Hassas Frezeleneme |
| Al 5075                | Su zımparası ile polisaj | Hassas Frezeleneme |



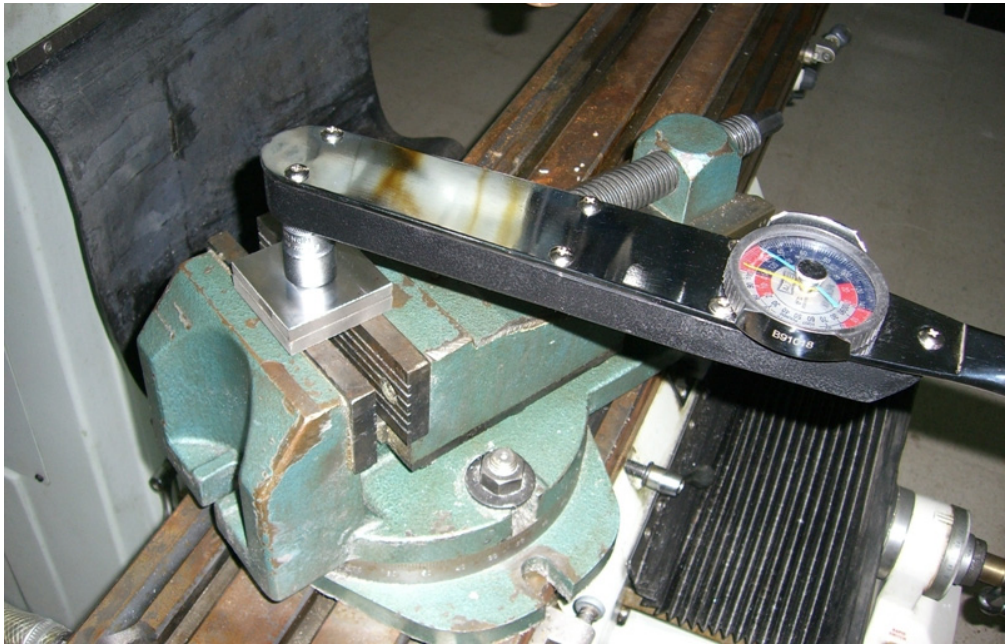
Şekil 3.14. Flanşların yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

Daha sonra flanş parçaları civata yardımıyla birleştirilmiş ve somun tarafından parçalar oynamiyacak kadar az bir miktarda el ile sıkılmıştır. Bu durumda ne civatada ne de flaş parçalarında herhangi bir deformasyon ve öngerilme mevcut olmayıp montaja hazır hale getirilmiştir. Bu konumda iken "MINI-MAX" ultrasonik ölçüm cihazı ile civatanın ilk boyu ölçülmüştür (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Civata boyunun ölçülmesi

Ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerine bağlı olarak ve 3 farklı değerinde montaj torku belirlenerek “TRONIC AT-1003 analog göstergeli torkmetre yardımıyla parçalar sıkılmıştır(Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Civatanın sıkılması

Sıkılma işleminin tamamlanmasının ardından tekrar MİNİ-MAX” ultrasonik ölçüm cihazı ile civatanın son boyu ölçülmüştür. Civatada meydana gelen uzama miktarı cihaz üzerinden okunmuştur. Daha sonra Hook kanunundan hareketle (76) uzama miktarından ( $\Delta L$ ), Öngerilme kuvveti ( $F_{\text{ÖN}}$ ) hesaplanmıştır.

Hali hazırda civata bağlantıları hesaplanırken kullanılmakta olan montaj öngerilme kuvveti ve sıkma momenti değerleri Çizelge 3.5’de görülmektedir. Burada dişler arasındaki sürtünme  $\mu= 0,12$  alınmıştır.

Çizelge 3.5. Çeşitli civata ebatlarına karşılık tavsiye edilen öngerilme ve moment değerleri

| Boyut | Kalite | $\mu=$                                       | 0,08  | 0,10  | 0,12  | 0,14  | 0,16  | 0,20  | 0,24  |
|-------|--------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| M 8   | 8.8    | Montaj Öngerilme Kuvveti $F_{\text{ÖN}}$ (N) | 18500 | 17900 | 17200 | 16500 | 15800 | 14500 | 13300 |
|       |        | Sıkma Momenti $M_{\text{CST}}$ (Nm)          | 18    | 20,5  | 23    | 25    | 27    | 31    | 33    |
| M 10  | 8.8    | Montaj Öngerilme Kuvveti $F_{\text{ÖN}}$ (N) | 29500 | 28500 | 27500 | 26000 | 25000 | 23100 | 21200 |
|       |        | Sıkma Momenti $M_{\text{CST}}$ (Nm)          | 36    | 41    | 46    | 51    | 55    | 62    | 67    |
| M 12  | 8.8    | Montaj Öngerilme Kuvveti $F_{\text{ÖN}}$ (N) | 43000 | 41500 | 40000 | 38500 | 36500 | 33500 | 31000 |
|       |        | Sıkma Momenti $M_{\text{CST}}$ (Nm)          | 61    | 71    | 79    | 87    | 94    | 106   | 115   |

Çizelge 3.6 Deneyler kapsamında civatalara uygulanan moment değerleri

| Flanş Malzemesi                          | Yüzey durumu      | Civata Ebadı | Uygulanan moment değerleri (Nm) |
|--|-------------------|--------------|---------------------------------|
| C1050 İmalat Çeliği (Kuru)               | Taşlanmış         | M8           | 20 , 25 , 30                    |
|  | Taşlanmış         | M10          | 40 , 50 , 60                    |
|  | Taşlanmış         | M12          | 80 , 90 , 100                   |
|  | Hassas Freelenmiş | M8           | 5, 10 , 15                      |
|  | Hassas Freelenmiş | M10          | 25 , 30 , 35                    |
|  | Hassas Freelenmiş | M12          | 30 , 40 , 50                    |
| C1050 İmalat Çeliği (Gres ile yağlanmış) | Hassas Freelenmiş | M8           | 5, 10 , 15                      |
|  | Hassas Freelenmiş | M10          | 25 , 30 , 35                    |

|   |                       |     |               |
|---|-----------------------|-----|---------------|
| Çizelge 3.6 Devamı                          | Hassas Freelenmiş     | M12 | 30 , 40 , 50  |
| SS 304 Paslanmaz Çelik (Kuru)               | Hassas Tornalanmış    | M8  | 20 , 25 , 30  |
|   | Hassas Tornalanmış    | M10 | 40 , 50 , 60  |
|   | Hassas Tornalanmış    | M12 | 80 , 90 , 100 |
|   | Hassas Freelenmiş     | M8  | 5, 10 , 15    |
|   | Hassas Freelenmiş     | M10 | 25 , 30 , 35  |
|   | Hassas Freelenmiş     | M12 | 30 , 40 , 50  |
| SS 304 Paslanmaz Çelik (Gres ile yağlanmış) | Hassas Freelenmiş     | M8  | 5, 10 , 15    |
|   | Hassas Freelenmiş     | M10 | 25 , 30 , 35  |
|   | Hassas Freelenmiş     | M12 | 30 , 40 , 50  |
| Al5075 Alüminyum (Kuru)                     | Zımpara ile polisajlı | M8  | 20 , 25 , 30  |
|   | Zımpara ile polisajlı | M10 | 40 , 50 , 60  |
|   | Zımpara ile polisajlı | M12 | 80 , 90 , 100 |
|   | Hassas Freelenmiş     | M8  | 5, 10 , 15    |
|   | Hassas Freelenmiş     | M10 | 25 , 30 , 35  |
|   | Hassas Freelenmiş     | M12 | 30 , 40 , 50  |
| Al5075 (Gres ile yağlanmış)                 | Hassas Freelenmiş     | M8  | 5, 10 , 15    |
|   | Hassas Freelenmiş     | M10 | 25 , 30 , 35  |
|   | Hassas Freelenmiş     | M12 | 30 , 40 , 50  |

### 3.2.1. Uygulanan momentin oluşturacağı öngerilme kuvveti değerinin hesaplanması

Civatalara uygulanacak moment değerleri belirlendikten sonra teorik olarak bu momentlerin uygulanması sonucu elde edilecek öngerilme kuvveti ve öngerilme kuvveti kaybı değeri hesaplanmıştır. Bunun için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$M_{CST} = F_{\dot{O}N} \left[ \frac{d_2}{2} \tan(\alpha + \rho') + \mu_s \cdot \frac{d_s}{2} \right]$$

$$F_{\dot{O}N} = M_{CS} / \left[ \frac{d_2}{2} \tan(\alpha + \rho') + \mu_s \cdot \frac{d_s}{2} \right]$$

$A_s$ : Gerilme kesit alanı değeri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

$\alpha = \arctg\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right)$  formülüyle hesaplanmış ve değerler Çizelge 3.7’de verilmiştir.

$\rho' = \arctan(\mu')$  olarak hesaplanmıştır. Gerekli  $\mu'$  değeri ise

$$\mu' = \mu \cdot \sqrt{1 + \left( \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\beta}{2} \right) \right) \cdot \cos^2 \alpha}$$
 formülü ile hesaplanmıştır.

$\beta$ : Metrik civatalar için  $60^\circ$  dir.

$d_2$  : Ortalama çap değeri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

$d_3$ : Diş dibi çapı değeri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

$d_s$  : Ortalama somun dayanma yüzeyi çapı olup Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Çeşitli civata ebatlarına karşılık gelen çap ve alan büyüklükleri

| Nominal Çap (d) mm | Adım (P) mm | Dişdibi Çapı ( $d_3$ ) mm | Ortalama Çap ( $d_2$ ) mm | Ortalama Somun Çapı ( $d_s$ ) | Helis Açısı ( $\alpha$ ) | Gerilme Kesit Alanı $A_s$ (mm <sup>2</sup> ) |
|--------------------|-------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|--|
| 8                  | 1,25        | 6,466                     | 7,188                     | 10,76                         | 3,17                     | 36,6   |
| 10                 | 1,5         | 8,160                     | 9,026                     | 13,76                         | 3                        | 58,0   |
| 12                 | 1,75        | 9,853                     | 10,863                    | 16                            | 2,93                     | 84,3   |

$\mu_s$  : Civata başı oturma yüzeyi sürtünme katsayısı olup Çizelge 2.4’den okunarak seçilmiş ve Çizelge 3.7’de verilmiştir.

$\mu$ : Vida dişleri arasındaki sürtünme katsayısı olup Çizelge 2.4’den okunarak seçilmiş ve Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Flanş yüzeyleri ve vida dişleri için seçilen sürtünme katsayıları

| Flanş Malzemesi                     | Somun Malzemesi        | $\mu_s$ | $\mu$ |
|-------------------------------------|------------------------|---------|-------|
| Taşlanmış İmalat Çeliği (kuru)      | Siyahlaştırılmış Çelik | 0,16    | 0,15  |
| Frezelenmiş İmalat Çeliği (kuru)    | Siyahlaştırılmış Çelik | 0,18    | 0,15  |
| Frezelenmiş İmalat Çeliği (yağlı)   | Siyahlaştırılmış Çelik | 0,1     | 0,1   |
| Tornalanmış Paslanmaz Çelik (kuru)  | Siyahlaştırılmış Çelik | 0,18    | 0,15  |
| Frezelenmiş Paslanmaz Çelik (kuru)  | Siyahlaştırılmış Çelik | 0,18    | 0,15  |
| Frezelenmiş Paslanmaz Çelik (yağlı) | Siyahlaştırılmış Çelik | 0,1     | 0,1   |
| Polisajlanmış Alüminyum (kuru)      | Siyahlaştırılmış Çelik | 0,1     | 0,15  |
| Frezelenmiş Alüminyum (kuru)        | Siyahlaştırılmış Çelik | 0,15    | 0,15  |
| Frezelenmiş Alüminyum (yağlı)       | Siyahlaştırılmış Çelik | 0,08    | 0,1   |

### 3.2.2. Teorik olarak sürtünmesiz halde civatada oluşacak öngerilme kuvveti hesabı

Teorik öngerilme kuvveti ile , deneylerde elde ettiğimiz öngerilme kuvvetini karşılaştırarak uygulanan momentin ne kadarlık bir kısmının sürtünmeye harcandığını hesaplayabilmek için gerekli olan bu değer aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$F_{ssz} = \frac{M}{tg(\alpha)x(d_2/2)}$$

### 3.2.3. Yüzey pürüzlerinin ezilmesine bağlı plastik deformasyonun miktarının hesaplanması

Civata başının oturduğu yüzeyin pürüzlülüğü, somunun oturduğu yüzeyin pürüzlülüğü, flanşların birbirine temas eden yüzeylerinin pürüzlülüğü montaj öncesinde ve montaj sonrasında ayrı ayrı ölçülmüştür. Burada;

$R_{ZC}$  : Civata oturma yüzeyi pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )

$R_{ZS}$  : Somun oturma yüzeyi pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )

$R_{Zfu}$  : Üst flanş alt yüzey pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )

$R_{Zfa}$  : Alt flanş üst yüzey pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )

$\Delta R_{ZS}$  : Somun oturma yüzeyinde ölçülen pürüzlülüğü kaybı ( $\mu\text{m}$ )

$\Delta R_{Zfu}$  : Üst flanş alt yüzeyde ölçülen yüzey pürüzlülüğü kaybı ( $\mu\text{m}$ )

$\Delta R_{Zfa}$  : Alt flanş üst yüzeyde ölçülen yüzey pürüzlülüğü kaybı ( $\mu\text{m}$ )

$\Delta R_Z$  : Montaj sonrası ölçülen yüzey pürüzlülüğü kaybı ( $\mu\text{m}$ )

$\%R_Z$  : İlk yüzey pürüzlülüğüne göre gerçekleşen yüzde bazında kayıp ( $\mu\text{m}$ )

$\square R_Z$  : Tüm temas yüzeylerinde meydana gelen toplam pürüz kaybı ( $\mu\text{m}$ )

olarak sembolize edilmiştir.(Şekil 3.17). Bütün numuneler için ayrı ayrı,

$\square R_Z = \text{Montaj öncesi } (R_{ZC} + R_{ZS} + R_{Zfu} + R_{Zfa}) - \text{Montaj sonrası } (R_{ZC} + R_{ZS} + R_{Zfu} + R_{Zfa})$

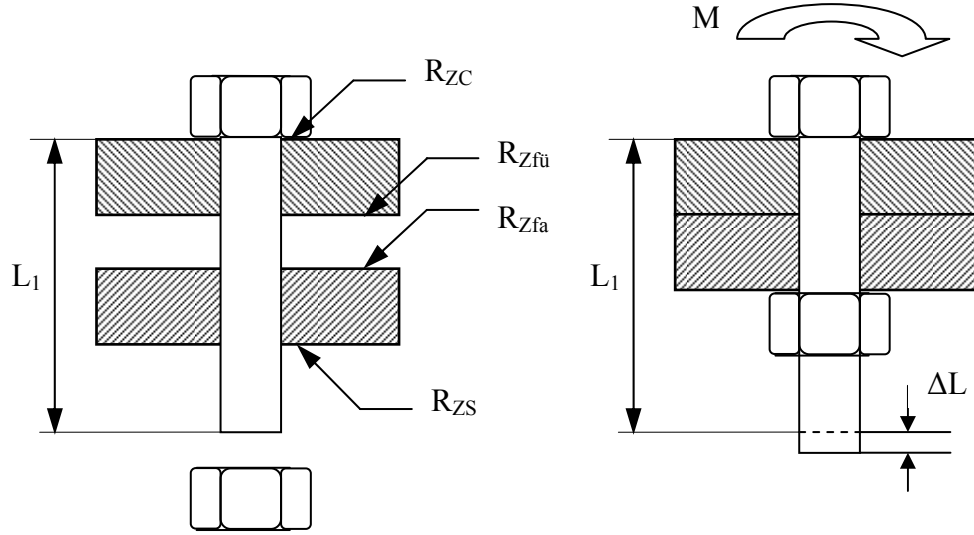
değerleri hesaplanmıştır.

Daha sonra bu ezilme miktarlarının sebep olacağı öngerilme kuvveti miktarı 2.42 formülünden hareketle aşağıdaki formülle hesaplanmıştır. Elde edilen yüzey pürüzlülüğü kaybını literatürdeki verilerle karşılaştırmak için Bkz. Çizelge 2.7 (RENDE



2000), 2.65 numaralı formül (STEINHILPER 1986) ve Bkz. Çizelge 2.8 (KARL) kullanılarak pürüz ezilmesi miktarı hesaplanmış ve çizelgelerde verilmiştir.

$$\Delta F_Z = \square R_Z \times C_C$$



Şekil 3.17 Deneylerde kullanılan bazı semboller ve büyüklükler

## 4. BULGULAR

İki flanşlı öngerilmeli civata bağlantısı için yapılan öngerilme kuvveti kaybı aşağıdaki şekilde teorik değerler hesaplanıp, gerçek değerler ise Ultrasonik ölçüm sonuçlarından uzama miktarı okunarak hesaplanıp özetle tablo ve grafiklerle verilmiştir.

### 4.1 C1050 İmalat Çeliği Flanşlarla Yapılan Öngerilme Kuvveti Kaybı Deneyleri

#### 4.1.1 M8x1,25 Civata deneyleri

##### 4.1.1.1 Taşlanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler

Taşlanmış yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,16$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 20                    | 11859        | 100787        | 88928               | 88                  |
| 25                    | 14823        | 125983        | 111160              | 88                  |
| 30                    | 17788        | 151180        | 133392              | 88                  |

Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

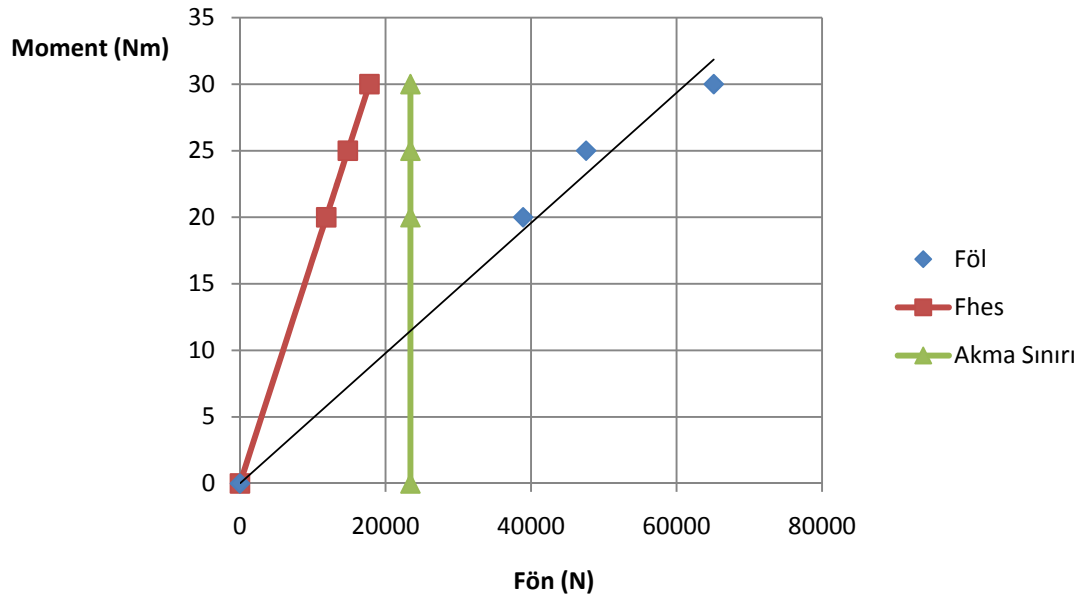
Çizelge 4.2 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 20                    | 0,1518          | 44028        |
|                       | 0,1635          | 47421        |
|                       | 0,1509          | 43767        |

|                       |         |       |
|-----------------------|---------|-------|
| Çizelge 4.2'in Devamı | 0,1139  | 33035 |
|                       | 0,0907  | 26306 |
| Ortalama              | 0,13416 | 38911 |
| 25                    | 0,1766  | 51221 |
|                       | 0,1554  | 45072 |
|                       | 0,1649  | 47827 |
|                       | 0,1602  | 46464 |
|                       | 0,1629  | 47247 |
| Ortalama              | 0,164   | 47566 |
| 30                    | 0,2201  | 63837 |
|                       | 0,2218  | 64330 |
|                       | 0,2452  | 71117 |
|                       | 0,2181  | 63257 |
|                       | 0,2172  | 62996 |
| Ortalama              | 0,22448 | 65108 |

Çizelge 4.3 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 20                    | 38911        | 100787        | 61875               | 61                  |
| 25                    | 47566        | 125983        | 78417               | 62                  |
| 30                    | 65108        | 151180        | 86072               | 57                  |



Şekil 4.1 M8 civata ve taşlanmış imalat çeliği yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.1.1.2 Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,18$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 5                     | 2787         | 25197         | 22410               | 89                  |
| 10                    | 5574         | 50393         | 44819               | 89                  |
| 15                    | 8361         | 75590         | 67229               | 89                  |

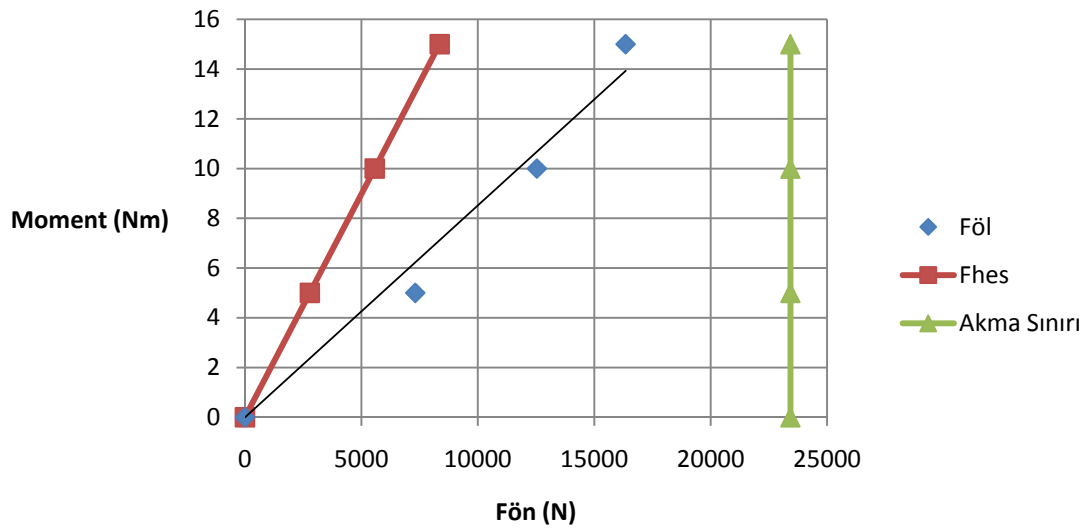
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 5                     | 0,0249          | 7222         |
|                       | 0,0293          | 8498         |
|                       | 0,0241          | 6990         |
|                       | 0,023           | 6671         |
|                       | 0,0248          | 7193         |
| Ortalama              | 0,02522         | 7315         |
| 10                    | 0,0431          | 12501        |
|                       | 0,0439          | 12733        |
|                       | 0,0441          | 12791        |
|                       | 0,0438          | 12704        |
|                       | 0,0412          | 11950        |
| Ortalama              | 0,04322         | 12535        |
| 15                    | 0,0507          | 14705        |
|                       | 0,0588          | 17054        |
|                       | 0,0534          | 15488        |
|                       | 0,0582          | 16880        |
|                       | 0,0607          | 17605        |
| Ortalama              | 0,0563          | 16347        |

Çizelge 4.6 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 5                     | 7315         | 25197         | 17882               | 71                  |
| 10                    | 12535        | 50393         | 37858               | 75                  |
| 15                    | 16347        | 75590         | 59243               | 78                  |



Şekil 4.2 M8 civata ve frezelenmiş imalat çeliği yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.1.1.3 Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yağlı yüzey şartları ve yağlı civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,1$  ve  $\mu = 0,1$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 5                     | 4335         | 25197         | 20861               | 83                  |
| 10                    | 8670         | 50393         | 41723               | 83                  |
| 15                    | 13006        | 75590         | 62584               | 83                  |

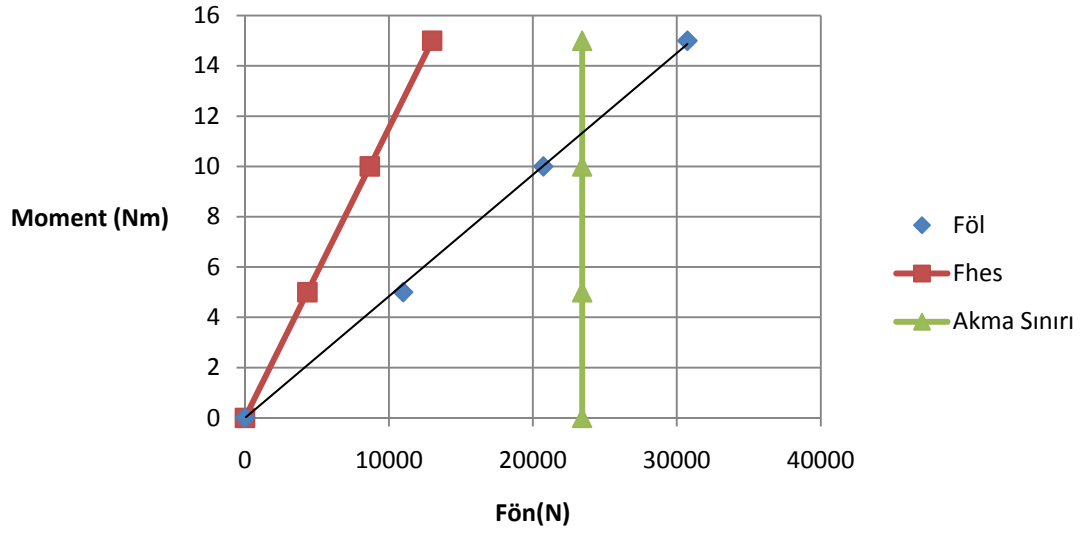
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 5                     | 0,0366          | 10615        |
|                       | 0,0349          | 10122        |
|                       | 0,0364          | 10557        |
|                       | 0,0402          | 11660        |
|                       | 0,0414          | 12008        |
| Ortalama              | 0,0379          | 10992        |
| 10                    | 0,0724          | 20999        |
|                       | 0,07            | 20303        |
|                       | 0,0675          | 19578        |
|                       | 0,0741          | 21492        |
|                       | 0,0734          | 21289        |
| Ortalama              | 0,0714          | 20732        |
| 15                    | 0,1082          | 31382        |
|                       | 0,1023          | 29671        |
|                       | 0,104           | 30164        |
|                       | 0,1069          | 31005        |
|                       | 0,1085          | 31469        |
| Ortalama              | 0,1059          | 30738        |

Çizelge 4.9 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 5                     | 10992        | 25197         | 14204               | 56                  |
| 10                    | 20732        | 50393         | 29661               | 59                  |
| 15                    | 30738        | 75590         | 44852               | 59                  |



Şekil 4.3 M8 civata ve frezelenmiş imalat çeliği yağlı yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.1.2 M10x1,5 Civata deneyleri

##### 4.1.2.1 Taşlanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler

Taşlanmış yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,16$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 40                    | 18833        | 169640        | 150807              | 89                  |
| 50                    | 23542        | 212051        | 188509              | 89                  |
| 60                    | 28250        | 254461        | 226211              | 89                  |

Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

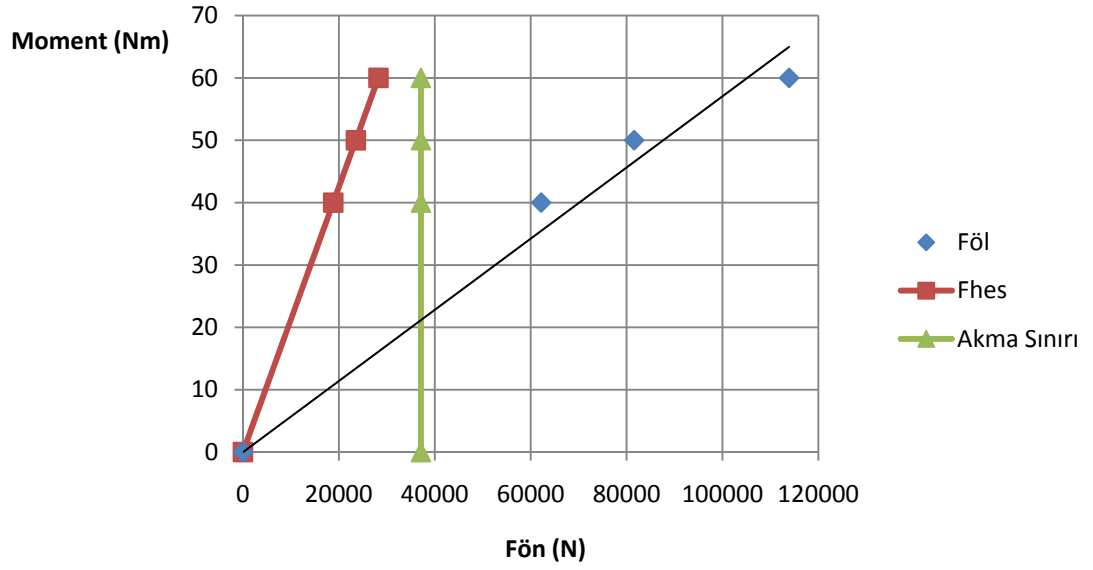
Çizelge 4.11 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 40                    | 0,1314          | 57159        |
|                       | 0,1384          | 60204        |
|                       | 0,1489          | 64772        |
|                       | 0,1548          | 67338        |
|                       | 0,1413          | 61466        |
| Ortalama              | 0,1429          | 62188        |
| 50                    | 0,1814          | 78909        |
|                       | 0,1962          | 85347        |
|                       | 0,2062          | 89697        |
|                       | 0,1832          | 79692        |
|                       | 0,1707          | 74255        |
| Ortalama              | 0,18754         | 81580        |
| 60                    | 0,2471          | 107489       |
|                       | 0,2616          | 113796       |
|                       | 0,2705          | 117668       |
|                       | 0,2682          | 116667       |
|                       | 0,2618          | 113883       |
| Ortalama              | 0,26184         | 113900       |

Çizelge 4.12 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 40                    | 62188        | 169640        | 107.453             | 63                  |
| 50                    | 81580        | 212051        | 130.471             | 62                  |
| 60                    | 113900       | 254461        | 140.560             | 55                  |





Şekil 4.4 M10 civata ve taşlanmış imalat çeliği yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.1.2.2 Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,18$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 25                    | 11.055       | 106025        | 94970               | 90                  |
| 30                    | 13.266       | 127230        | 113964              | 90                  |
| 35                    | 15.477       | 148435        | 132958              | 90                  |

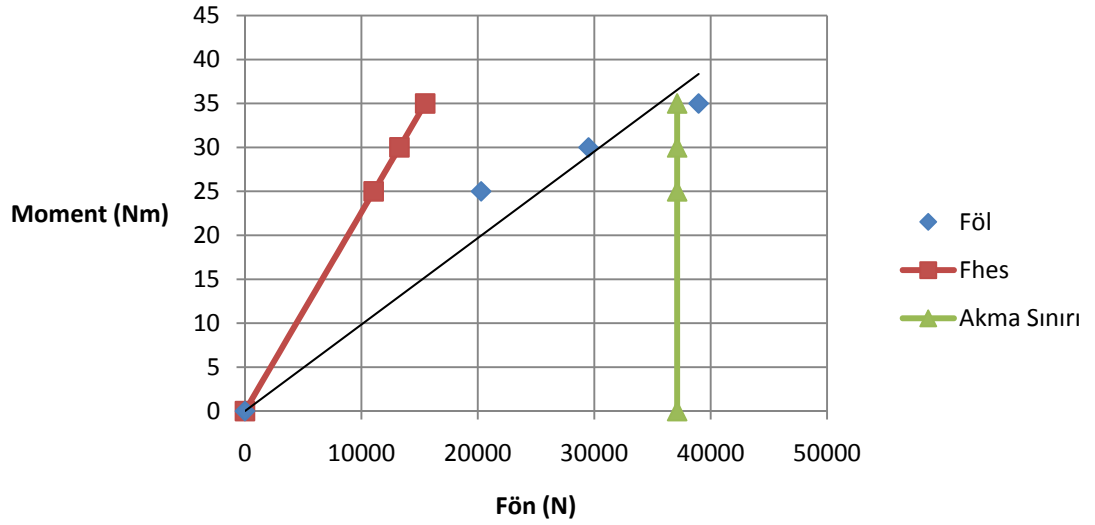
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.14 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 25                    | 0,0457          | 19880        |
|                       | 0,0496          | 21576        |
|                       | 0,0462          | 20097        |
|                       | 0,0489          | 21272        |
|                       | 0,0428          | 18618        |
| Ortalama              | 0,04664         | 20288        |
| 30                    | 0,0703          | 30581        |
|                       | 0,0693          | 30146        |
|                       | 0,0657          | 28580        |
|                       | 0,0666          | 28971        |
|                       | 0,0673          | 29276        |
| Ortalama              | 0,06784         | 29510        |
| 35                    | 0,0926          | 40281        |
|                       | 0,089           | 38715        |
|                       | 0,0895          | 38933        |
|                       | 0,0882          | 38367        |
|                       | 0,0886          | 38541        |
| Ortalama              | 0,08958         | 38967        |

Çizelge 4.15 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 25                    | 20288        | 106025        | 85.737              | 81                  |
| 30                    | 29510        | 127230        | 97.720              | 77                  |
| 35                    | 38967        | 148435        | 109.468             | 74                  |



Şekil 4.5 M10 civata ve frezelenmiş imalat çeliği yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.1.2.3 Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yağlı yüzey şartları ve yağlı civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,1$  ve  $\mu = 0,1$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.16 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 25                    | 17.276       | 106025        | 88750               | 84                  |
| 30                    | 20.731       | 127230        | 106499              | 84                  |
| 35                    | 24.186       | 148435        | 124249              | 84                  |

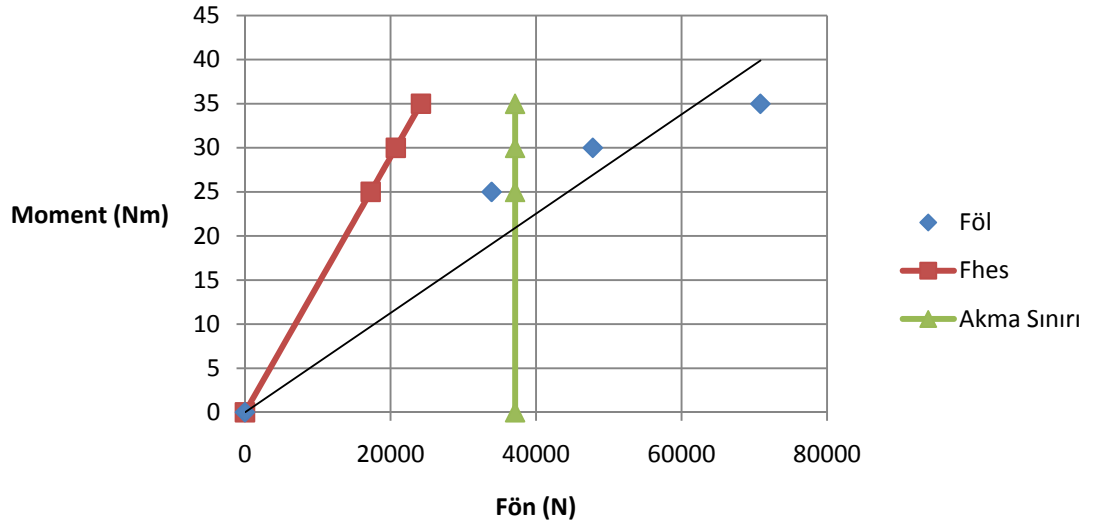
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 25                    | 0,073           | 31755        |
|                       | 0,0815          | 35453        |
|                       | 0,0785          | 34148        |
|                       | 0,0842          | 36627        |
|                       | 0,0725          | 31538        |
| Ortalama              | 0,07794         | 33904        |
| 30                    | 0,1133          | 49286        |
|                       | 0,106           | 46110        |
|                       | 0,1079          | 46937        |
|                       | 0,1165          | 50678        |
|                       | 0,1057          | 45980        |
| Ortalama              | 0,10988         | 47798        |
| 35                    | 0,1604          | 69774        |
|                       | 0,1578          | 68643        |
|                       | 0,1624          | 70644        |
|                       | 0,1655          | 71993        |
|                       | 0,1681          | 73124        |
| Ortalama              | 0,16284         | 70835        |

Çizelge 4.18 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 25                    | 33904        | 106025        | 72.121              | 68                  |
| 30                    | 47798        | 127230        | 79.433              | 62                  |
| 35                    | 70835        | 148435        | 77.600              | 52                  |



Şekil 4.6 M10 civata ve frezelenmiş imalat çeliği yağlı yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

### 4.1.3 M12x1,75 Civata deneyleri

#### 4.1.3.1 Taşlanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler

Taşlanmış yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,16$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 80                    | 31.932       | 288654        | 256722              | 89                  |
| 90                    | 35.923       | 324735        | 288812              | 89                  |
| 100                   | 39.915       | 360817        | 320902              | 89                  |

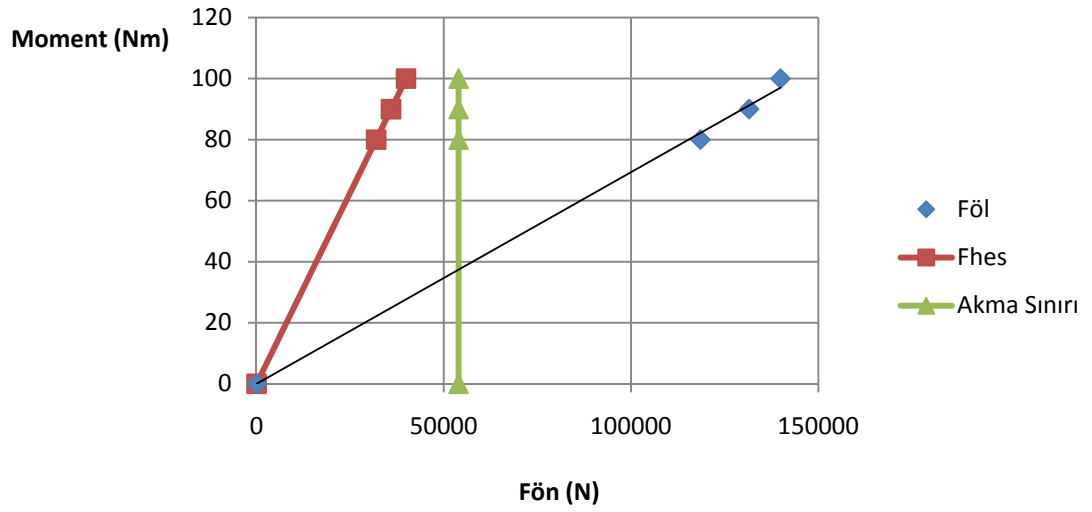
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 80                    | 0,1684          | 99373        |
|                       | 0,1995          | 117725       |
|                       | 0,2191          | 129291       |
|                       | 0,2079          | 122682       |
|                       | 0,2094          | 123567       |
| Ortalama              | 0,20086         | 118527       |
| 90                    | 0,2267          | 133776       |
|                       | 0,2383          | 140621       |
|                       | 0,2211          | 130471       |
|                       | 0,2129          | 125632       |
|                       | 0,2154          | 127108       |
| Ortalama              | 0,22288         | 131521       |
| 100                   | 0,2065          | 121856       |
|                       | 0,2477          | 146168       |
|                       | 0,2506          | 147879       |
|                       | 0,2431          | 143453       |
|                       | 0,2375          | 140149       |
| Ortalama              | 0,23708         | 139901       |

Çizelge 4.21 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 80                    | 118527       | 288654        | 170126              | 59                  |
| 90                    | 131521       | 324735        | 193214              | 59                  |
| 100                   | 139901       | 360817        | 220916              | 61                  |



Şekil 4.7 M12 civata ve taşlanmış imalat çeliği yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.1.3.2 Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,18$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 30                    | 11.256       | 108245        | 96989               | 90                  |
| 40                    | 15.008       | 144327        | 129319              | 90                  |
| 50                    | 18.759       | 180408        | 161649              | 90                  |

Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.23’de verilmiştir.

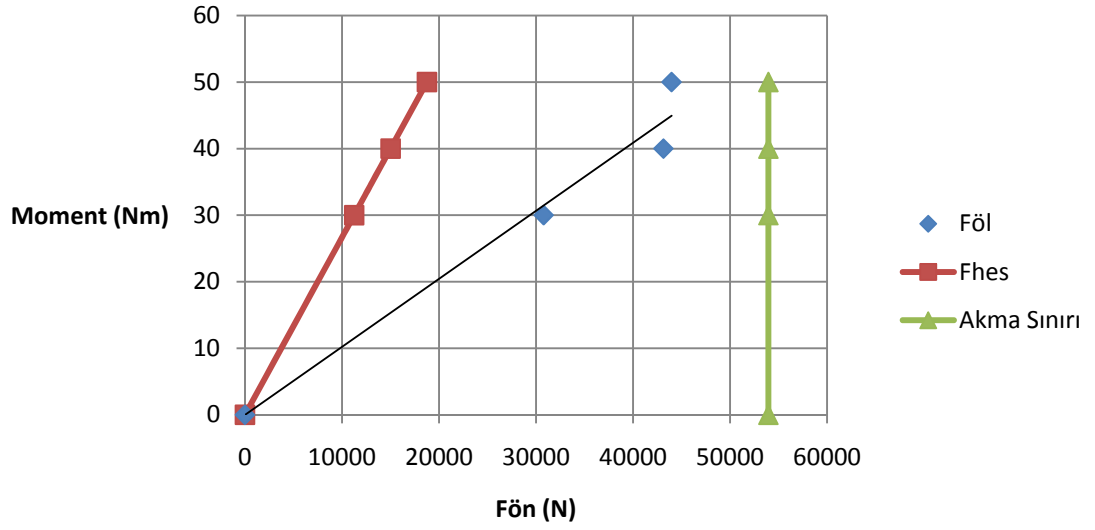
Çizelge 4.23 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 30                    | 0,0543          | 32042        |
|                       | 0,0536          | 31629        |
|                       | 0,0488          | 28797        |
|                       | 0,0532          | 31393        |
|                       | 0,051           | 30095        |
| Ortalama              | 0,05218         | 30791        |
| 40                    | 0,0685          | 40422        |
|                       | 0,0728          | 42959        |
|                       | 0,0736          | 43431        |
|                       | 0,076           | 44848        |
|                       | 0,0746          | 44021        |
| Ortalama              | 0,0731          | 43136        |
| 50                    | 0,0734          | 43313        |
|                       | 0,0724          | 42723        |
|                       | 0,0743          | 43844        |
|                       | 0,0796          | 46972        |
|                       | 0,0729          | 43018        |
| Ortalama              | 0,07452         | 43974        |

Çizelge 4.24 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 30                    | 30791        | 108245        | 77.454              | 72                  |
| 40                    | 43136        | 144327        | 101.190             | 70                  |
| 50                    | 43974        | 180408        | 136.434             | 76                  |





Şeki 4.8 M12 civata ve frezelenmiş imalat çeliği yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.1.3.3 Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yağlı yüzey şartları ve yağlı civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,1$  ve  $\mu = 0,1$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.25 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri..

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 30                    | 17.570       | 108245        | 90675               | 84                  |
| 40                    | 23.427       | 144327        | 120900              | 84                  |
| 50                    | 29.284       | 180408        | 151125              | 84                  |

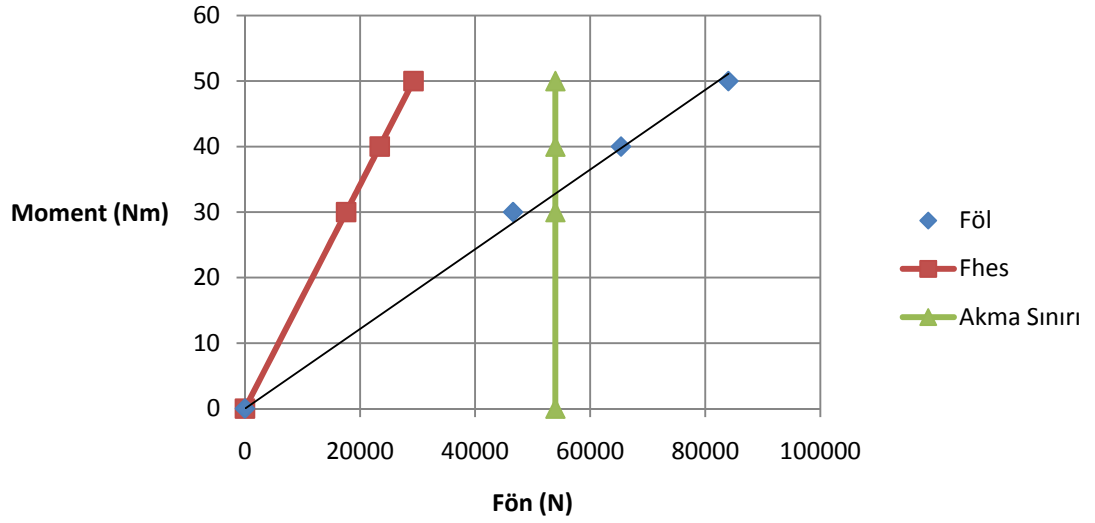
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.26’da verilmiştir.

Çizelge 4.26 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 30                    | 0,0744          | 43903        |
|                       | 0,0799          | 47149        |
|                       | 0,0812          | 47916        |
|                       | 0,0822          | 48506        |
|                       | 0,0771          | 45497        |
| Ortalama              | 0,07896         | 46594        |
| 40                    | 0,1061          | 62610        |
|                       | 0,1074          | 63377        |
|                       | 0,1166          | 68806        |
|                       | 0,1056          | 62315        |
|                       | 0,1181          | 69691        |
| Ortalama              | 0,11076         | 65359        |
| 50                    | 0,1376          | 81198        |
|                       | 0,1445          | 85269        |
|                       | 0,1401          | 82673        |
|                       | 0,1445          | 85269        |
|                       | 0,1452          | 85683        |
| Ortalama              | 0,14238         | 84018        |

Çizelge 4.27 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 30                    | 46594        | 108245        | 61.651              | 57                  |
| 40                    | 65359        | 144327        | 78.967              | 55                  |
| 50                    | 84018        | 180408        | 96.390              | 53                  |



Şekil 4.9 M12 civata ve frezelenmiş imalat çeliği yağlı yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

## 4.2 SS304 Paslanmaz Çelik Flanşlarla Yapılan Öngerilme Kuvveti Kaybı Deneyleri

### 4.2.1 M8x1,25 Civata deneyleri

#### 4.2.1.1 Tornalanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler

Tornalanmış yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,18$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.28'de verilmiştir.

Çizelge 4.28 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri..

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 20                    | 11,148       | 100787        | 89639               | 89                  |
| 25                    | 13,935       | 125983        | 112048              | 89                  |
| 30                    | 16,722       | 151180        | 134458              | 89                  |

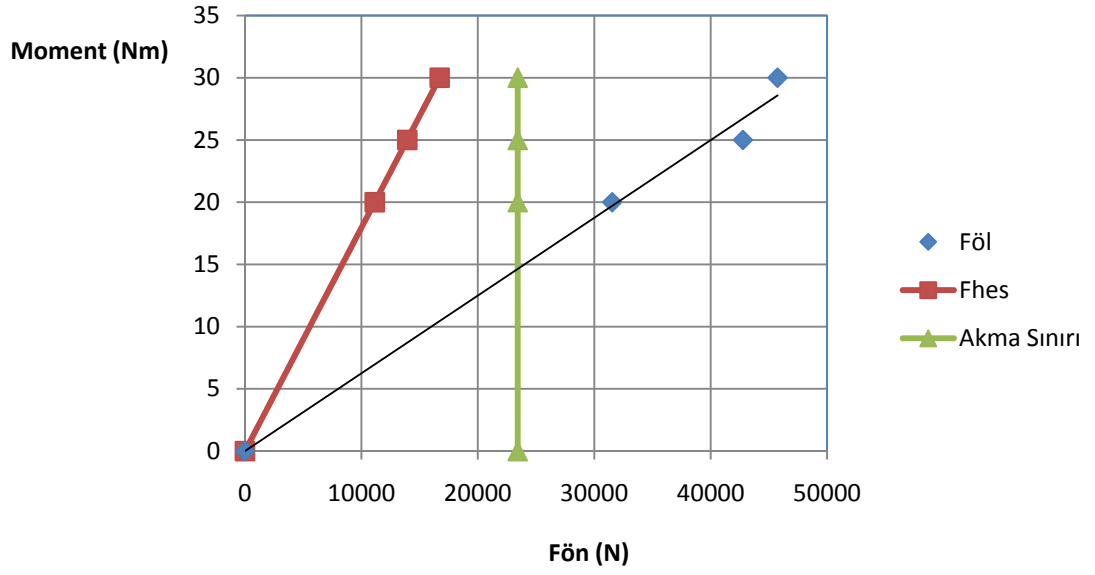
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.29'da verilmiştir.

Çizelge 4.29 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 20                    | 0.1027          | 29787        |
|                       | 0.1045          | 30309        |
|                       | 0.111           | 32194        |
|                       | 0.1083          | 31411        |
|                       | 0.1173          | 34021        |
| Ortalama              | 0.10876         | 31545        |
| 25                    | 0.1497          | 43419        |
|                       | 0.1546          | 44840        |
|                       | 0.1427          | 41388        |
|                       | 0.141           | 40895        |
|                       | 0.1493          | 43303        |
| Ortalama              | 0.14746         | 42769        |
| 30                    | 0.1536          | 44550        |
|                       | 0.154           | 44666        |
|                       | 0.1524          | 44202        |
|                       | 0.1651          | 47885        |
|                       | 0.1635          | 47421        |
| Ortalama              | 0.15772         | 45745        |

Çizelge 4.30 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 20                    | 31545        | 100787        | 69,242              | 69                  |
| 25                    | 42769        | 125983        | 83,214              | 66                  |
| 30                    | 45745        | 151180        | 105,435             | 70                  |



Şekil 4.10 M8 civata ve tornalanmış paslanmaz çelik yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.2.1.2 Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,18$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.28'de verilmiştir.

Çizelge 4.31 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 5                     | 2,787        | 25197         | 22410               | 89                  |
| 10                    | 5,574        | 50393         | 44819               | 89                  |
| 15                    | 8,361        | 75590         | 67229               | 89                  |

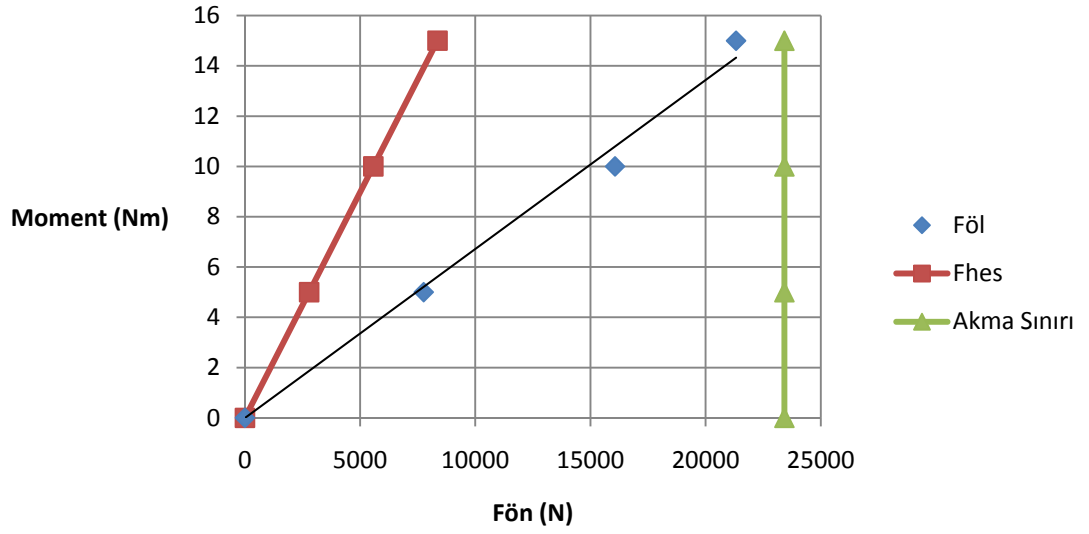
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.32'de verilmiştir.

Çizelge 4.32 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 5                     | 0.0305          | 8846         |
|                       | 0.0235          | 6816         |
|                       | 0.0281          | 8150         |
|                       | 0.024           | 6961         |
|                       | 0.0277          | 8034         |
| Ortalama              | 0.02676         | 7761         |
| 10                    | 0.0614          | 17808        |
|                       | 0.0578          | 16764        |
|                       | 0.0561          | 16271        |
|                       | 0.0505          | 14647        |
|                       | 0.0512          | 14850        |
| Ortalama              | 0.0554          | 16068        |
| 15                    | 0.0713          | 20680        |
|                       | 0.0757          | 21956        |
|                       | 0.0774          | 22449        |
|                       | 0.0727          | 21086        |
|                       | 0.0705          | 20448        |
| Ortalama              | 0.07352         | 21324        |

Çizelge 4.33 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 5                     | 7761         | 25197         | 17,435              | 69                  |
| 10                    | 16068        | 50393         | 34,325              | 68                  |
| 15                    | 21324        | 75590         | 54,266              | 72                  |



Şekil 4.11 M8 civata ve frezelenmiş paslanmaz çelik yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.2.1.3 Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yağlı yüzey şartları ve yağlı civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,1$  ve  $\mu = 0,1$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.34'de verilmiştir.

Çizelge 4.34 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 5                     | 4,335        | 25197         | 20861               | 83                  |
| 10                    | 8,670        | 50393         | 41723               | 83                  |
| 15                    | 13,006       | 75590         | 62584               | 83                  |

Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.35'de verilmiştir.

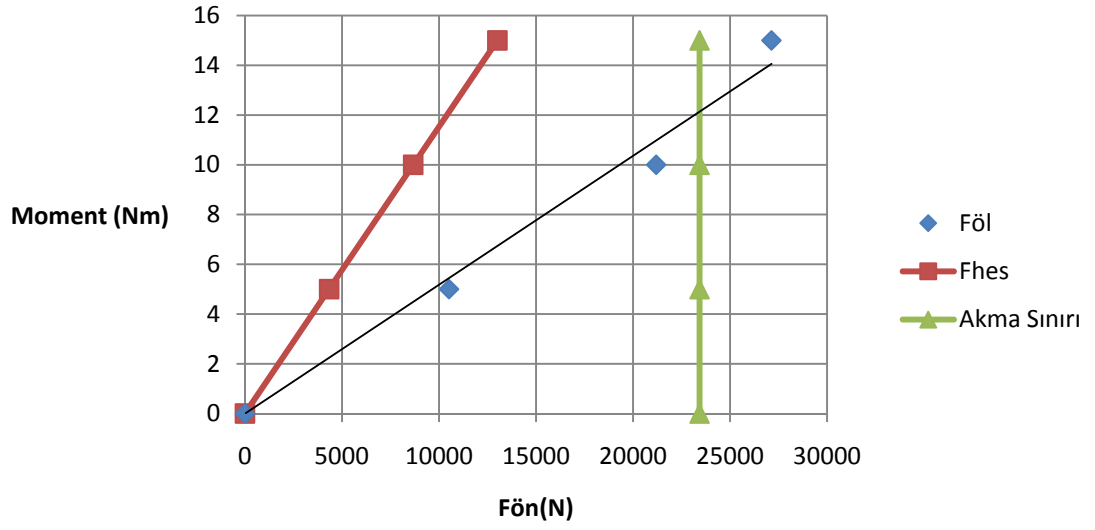
Çizelge 4.35 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 5                     | 0.0356          | 10325        |
|                       | 0.0373          | 10818        |
|                       | 0.0376          | 10905        |
|                       | 0.0369          | 10702        |
|                       | 0.0339          | 9832         |
| Ortalama              | 0.03626         | 10517        |
| 10                    | 0.0732          | 21231        |
|                       | 0.0788          | 22855        |
|                       | 0.0774          | 22449        |
|                       | 0.0645          | 18707        |
|                       | 0.0715          | 20738        |
| Ortalama              | 0.07308         | 21196        |
| 15                    | 0.0923          | 26770        |
|                       | 0.1063          | 30831        |
|                       | 0.0877          | 25436        |
|                       | 0.0914          | 26509        |
|                       | 0.0901          | 26132        |
| Ortalama              | 0.09356         | 27136        |

Çizelge 4.36 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 5                     | 10517        | 25197         | 14,680              | 58                  |
| 10                    | 21196        | 50393         | 29,197              | 58                  |
| 15                    | 27136        | 75590         | 48,454              | 64                  |





Şekil 4.12 M8 civata ve frezelenmiş paslanmaz çelik yağlı yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.2.2 M10x1,5 Civata deneyleri

##### 4.2.2.1 Tornalanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler

Tornalanmış yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,18$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.37’de verilmiştir.

Çizelge 4.37 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 40                    | 17,688       | 169640        | 151952              | 90                  |
| 50                    | 22,110       | 212051        | 189940              | 90                  |
| 60                    | 26,532       | 254461        | 227928              | 90                  |

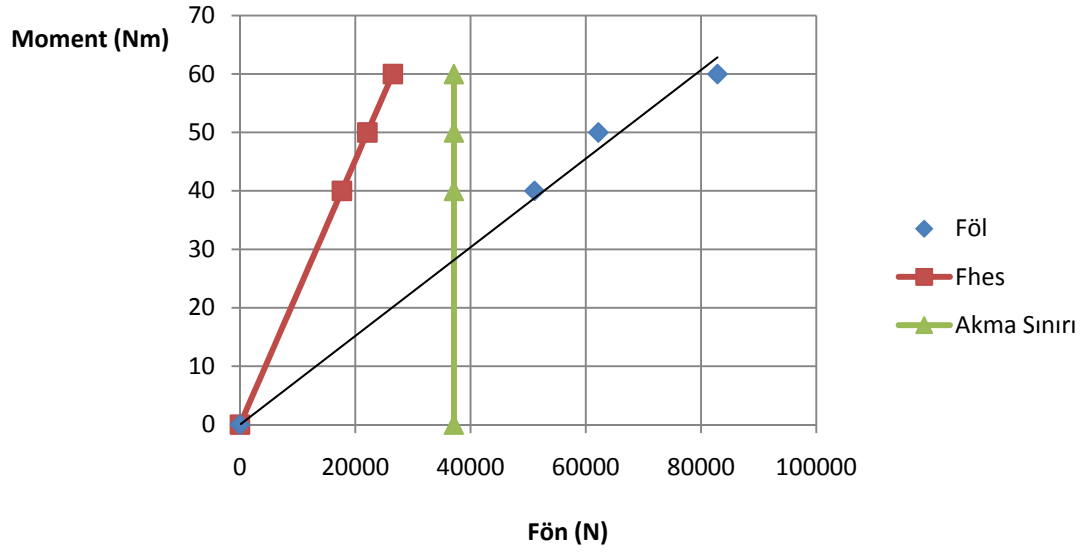
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.38’de verilmiştir.

Çizelge 4.38 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 40                    | 0.1083          | 47111        |
|                       | 0.1164          | 50634        |
|                       | 0.1171          | 50939        |
|                       | 0.1228          | 53418        |
|                       | 0.123           | 53505        |
| Ortalama              | 0.11752         | 51121        |
| 50                    | 0.1153          | 50156        |
|                       | 0.1316          | 57246        |
|                       | 0.1588          | 69078        |
|                       | 0.1519          | 66077        |
|                       | 0.1573          | 68426        |
| Ortalama              | 0.14298         | 62196        |
| 60                    | 0.1817          | 79040        |
|                       | 0.1921          | 83564        |
|                       | 0.1856          | 80736        |
|                       | 0.1981          | 86174        |
|                       | 0.195           | 84825        |
| Ortalama              | 0.1905          | 82868        |

Çizelge 4.39 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 40                    | 51121        | 169640        | 118,519             | 70                  |
| 50                    | 62196        | 212051        | 149,854             | 71                  |
| 60                    | 82868        | 254461        | 171,593             | 67                  |



Şekil 4.13 M10 civata ve tornalanmış paslanmaz çelik yüzey için Tork -  $F_{\text{ön}}$  grafiği

#### 4.2.2.2 Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,18$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.40'da verilmiştir.

Çizelge 4.40 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{\text{ÖN}}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{\text{SSZ}}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{\text{ÖN}}$ (N) | $F_{\text{SSZ}}$ (N) | $\Delta F_{\text{ÖN}}$ (N) | $\Delta F_{\text{ÖN}}$ (%) |
|-----------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 25                    | 11,055              | 106025               | 94970                      | 90                         |
| 30                    | 13,266              | 127230               | 113964                     | 90                         |
| 35                    | 15,477              | 148435               | 132958                     | 90                         |

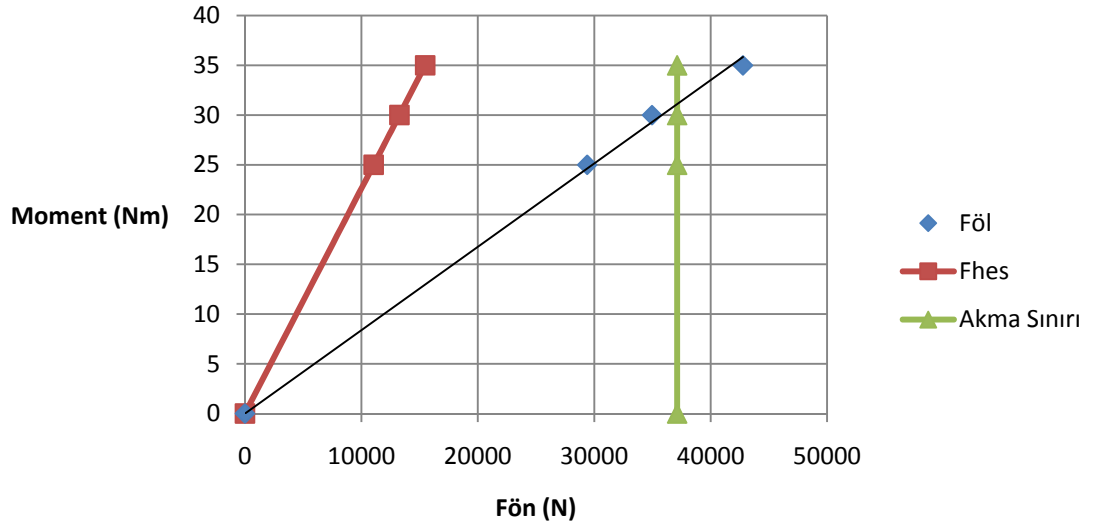
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.41'de verilmiştir.

Çizelge 4.41 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 25                    | 0.0688          | 29928        |
|                       | 0.0672          | 29232        |
|                       | 0.0669          | 29102        |
|                       | 0.0684          | 29754        |
|                       | 0.0666          | 28971        |
| Ortalama              | 0.06758         | 29397        |
| 30                    | 0.0796          | 34626        |
|                       | 0.0804          | 34974        |
|                       | 0.0823          | 35801        |
|                       | 0.0799          | 34757        |
|                       | 0.0797          | 34670        |
| Ortalama              | 0.08038         | 34965        |
| 35                    | 0.0946          | 41151        |
|                       | 0.0957          | 41630        |
|                       | 0.1056          | 45936        |
|                       | 0.0977          | 42500        |
|                       | 0.0981          | 42674        |
| Ortalama              | 0.09834         | 42778        |

Çizelge 4.42 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 25                    | 29397        | 106025        | 76,628              | 72                  |
| 30                    | 34965        | 127230        | 92,265              | 73                  |
| 35                    | 42778        | 148435        | 105,658             | 71                  |



Şekil 4.14 M10 civata ve frezelenmiş paslanmaz çelik yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.2.2.3 Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yağlı yüzey şartları ve yağlı civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,1$  ve  $\mu = 0,1$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.43’de verilmiştir.

Çizelge 4.43 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 25                    | 17,276       | 106025        | 88750               | 84                  |
| 30                    | 20,731       | 127230        | 106499              | 84                  |
| 35                    | 24,186       | 148435        | 124249              | 84                  |

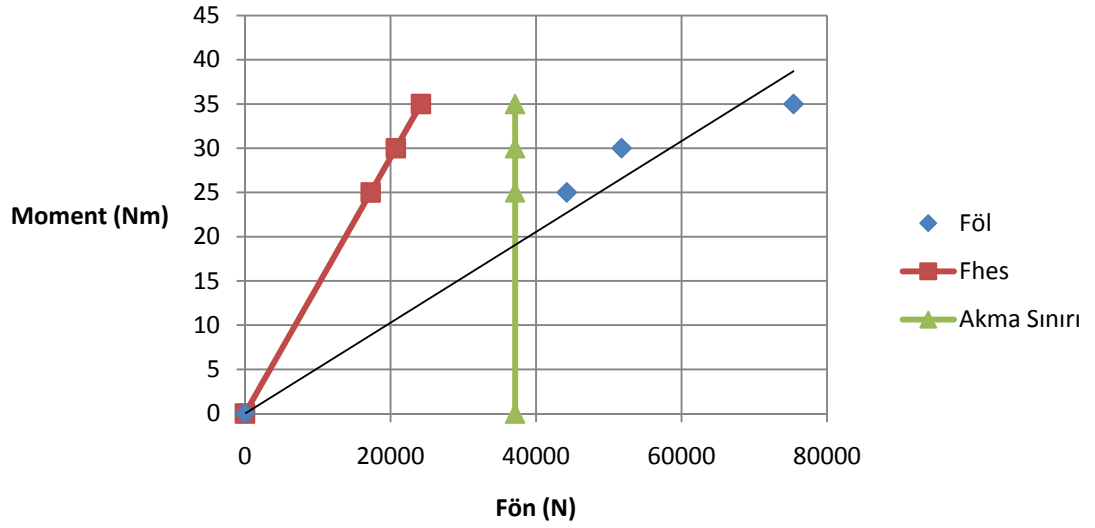
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.44’de verilmiştir.

Çizelge 4.44 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 25                    | 0,1005          | 43718        |
|                       | 0,0976          | 42456        |
|                       | 0,1059          | 46067        |
|                       | 0,1011          | 43979        |
|                       | 0,1032          | 44892        |
| Ortalama              | 0,10166         | 44222        |
| 30                    | 0,1157          | 50330        |
|                       | 0,1181          | 51374        |
|                       | 0,1221          | 53114        |
|                       | 0,1215          | 52853        |
|                       | 0,1174          | 51069        |
| Ortalama              | 0,11896         | 51748        |
| 35                    | 0,1642          | 71427        |
|                       | 0,1761          | 76604        |
|                       | 0,1763          | 76691        |
|                       | 0,172           | 74820        |
|                       | 0,1778          | 77343        |
| Ortalama              | 0,17328         | 75377        |

Çizelge 4.45 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 25                    | 44222        | 106025        | 61.803              | 58                  |
| 30                    | 51748        | 127230        | 75.483              | 59                  |
| 35                    | 75377        | 148435        | 73.059              | 49                  |



Şekil 4.15 M10 civata ve frezelenmiş paslanmaz çelik yağlı yüzey için Tork - F<sub>on</sub> grafiği

#### 4.2.3 M12x1,75 Civata deneyleri

##### 4.2.3.1 Tornalanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler

Tornalanmış yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,18$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.46'da verilmiştir.

Çizelge 4.46 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan F<sub>ÖN</sub> ve ideal sürtünmesiz halde F<sub>SSZ</sub> değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | F <sub>ÖN</sub> (N) | F <sub>SSZ</sub> (N) | $\Delta F_{\text{ÖN}}$ (N) | $\Delta F_{\text{ÖN}}$ (%) |
|-----------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 80                    | 30,015              | 288654               | 258638                     | 90                         |
| 90                    | 33,767              | 324735               | 290968                     | 90                         |
| 100                   | 37,519              | 360817               | 323298                     | 90                         |

Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.47'de verilmiştir.

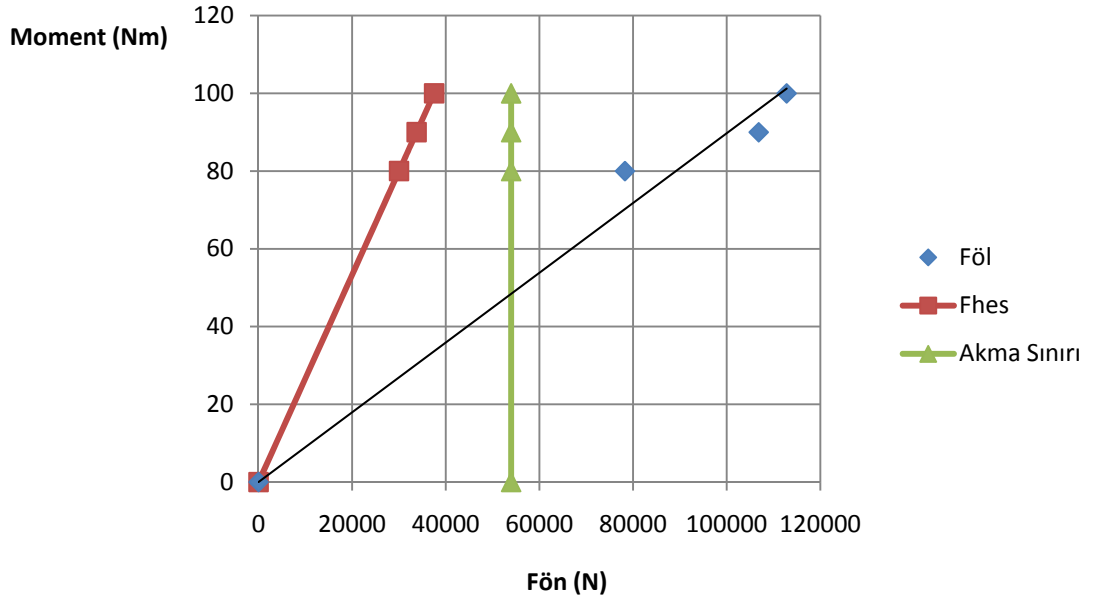
Çizelge 4.47 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 80                    | 0.1266          | 74707        |
|                       | 0.1266          | 74707        |
|                       | 0.1278          | 75415        |
|                       | 0.1409          | 83145        |
|                       | 0.1413          | 83381        |
| Ortalama              | 0.13264         | 78271        |
| 90                    | 0,1877          | 110762       |
|                       | 0,2014          | 118846       |
|                       | 0,1794          | 105864       |
|                       | 0,1715          | 101202       |
|                       | 0,1653          | 97544        |
| Ortalama              | 0,18106         | 106844       |
| 100                   | 0,1611          | 95065        |
|                       | 0,1844          | 108814       |
|                       | 0,1943          | 114656       |
|                       | 0,2063          | 121738       |
|                       | 0,2098          | 123803       |
| Ortalama              | 0,19118         | 112815       |

Çizelge 4.48 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 80                    | 78271        | 288654        | 210,383             | 73                  |
| 90                    | 106844       | 324735        | 217.892             | 67                  |
| 100                   | 112815       | 360817        | 248.002             | 69                  |





Şekil 4.16 M12 civata ve tornalanmış paslanmaz çelik yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.2.3.2 Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,18$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.49'da verilmiştir.

Çizelge 4.49 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 30                    | 11,256       | 108245        | 96989               | 90                  |
| 40                    | 15,008       | 144327        | 129319              | 90                  |
| 50                    | 18,759       | 180408        | 161649              | 90                  |

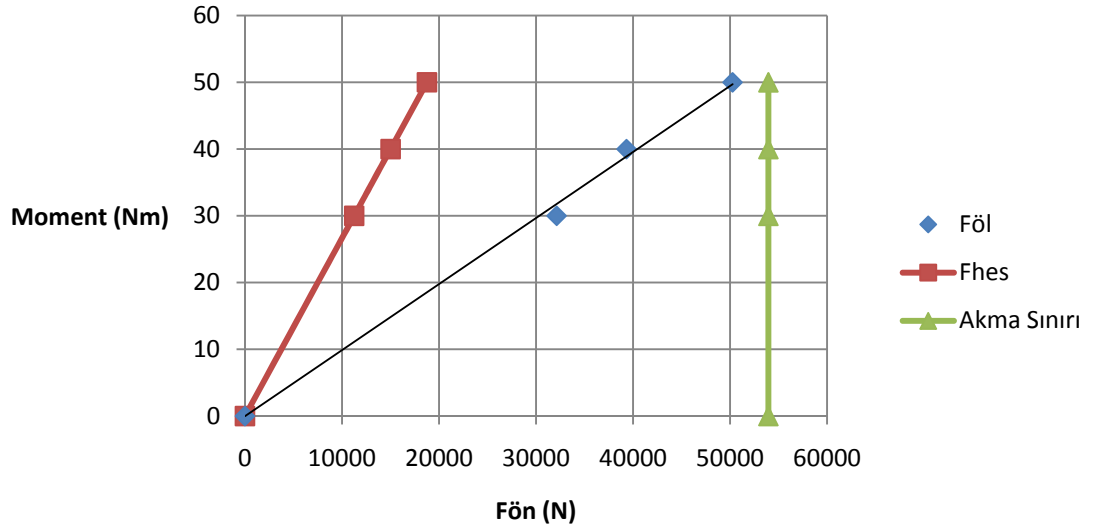
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.50'de verilmiştir.

Çizelge 4.50 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 30                    | 0.0541          | 31924        |
|                       | 0.0579          | 34167        |
|                       | 0.0534          | 31511        |
|                       | 0.0528          | 31157        |
|                       | 0.054           | 31865        |
| Ortalama              | 0.05444         | 32125        |
| 40                    | 0.0648          | 38238        |
|                       | 0.0663          | 39124        |
|                       | 0.0673          | 39714        |
|                       | 0.0666          | 39301        |
|                       | 0.0682          | 40245        |
| Ortalama              | 0.06664         | 39324        |
| 50                    | 0.0827          | 48801        |
|                       | 0.0842          | 49686        |
|                       | 0.0853          | 50336        |
|                       | 0.0861          | 50808        |
|                       | 0.0875          | 51634        |
| Ortalama              | 0.08516         | 50253        |

Çizelge 4.51 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 30                    | 32125        | 108245        | 76,120              | 70                  |
| 40                    | 39324        | 144327        | 105,002             | 73                  |
| 50                    | 50253        | 180408        | 130,156             | 72                  |



Şekil 4.17 M12 civata ve frezelenmiş paslanmaz çelik yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.2.3.3 Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yağlı yüzey şartları ve yağlı civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,1$  ve  $\mu = 0,1$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.52’de verilmiştir.

Çizelge 4.52 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 30                    | 17,570       | 108245        | 90675               | 84                  |
| 40                    | 23,427       | 144327        | 120900              | 84                  |
| 50                    | 29,284       | 180408        | 151125              | 84                  |

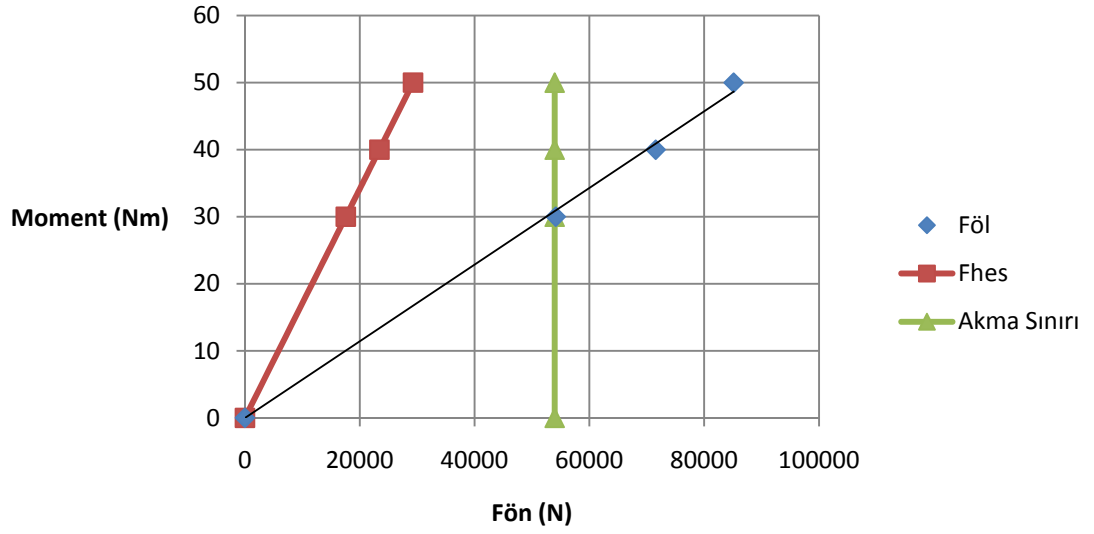
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.53’de verilmiştir.

Çizelge 4.53 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{\text{ÖN}}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{\text{ÖN}}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|---------------------|
| 30                    | 0,0836          | 49332               |
|                       | 0,0961          | 56709               |
|                       | 0,0971          | 57299               |
|                       | 0,0893          | 52696               |
|                       | 0,0927          | 54702               |
| Ortalama              | 0,09176         | 54148               |
| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{\text{ÖN}}$ (N) |
| 40                    | 0,1226          | 72346               |
|                       | 0,1149          | 67802               |
|                       | 0,1277          | 75356               |
|                       | 0,1242          | 73290               |
|                       | 0,1169          | 68983               |
| Ortalama              | 0,12126         | 71556               |
| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{\text{ÖN}}$ (N) |
| 50                    | 0,1438          | 84856               |
|                       | 0,1376          | 81198               |
|                       | 0,1479          | 87276               |
|                       | 0,1432          | 84502               |
|                       | 0,1489          | 87866               |
| Ortalama              | 0,14428         | 85140               |

Çizelge 4.54 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{\text{ÖN}}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{\text{SSZ}}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{\text{ÖN}}$ (N) | $F_{\text{SSZ}}$ (N) | $\Delta F_{\text{ÖN}}$ (N) | $\Delta F_{\text{ÖN}}$ (%) |
|-----------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 30                    | 54148               | 108245               | 54.097                     | 50                         |
| 40                    | 71556               | 144327               | 72.771                     | 50                         |
| 50                    | 85140               | 180408               | 95.269                     | 53                         |



Şekil 4.18 M12 civata ve frezelenmiş paslanmaz çelik yağlı yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

### 4.3 Alüminyum Flanşlarla Yapılan Öngerilme Kuvveti Kaybı Deneyleri

#### 4.3.1 M8x1,25 Civata deneyleri

##### 4.3.1.1 Polisajlanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler

Polisajlanmış yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,1$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.55’de verilmiştir.

Çizelge 4.55 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 20                    | 14.662       | 100787        | 86124               | 85                  |
| 25                    | 18.328       | 125983        | 107655              | 85                  |
| 30                    | 14.662       | 100787        | 86124               | 85                  |

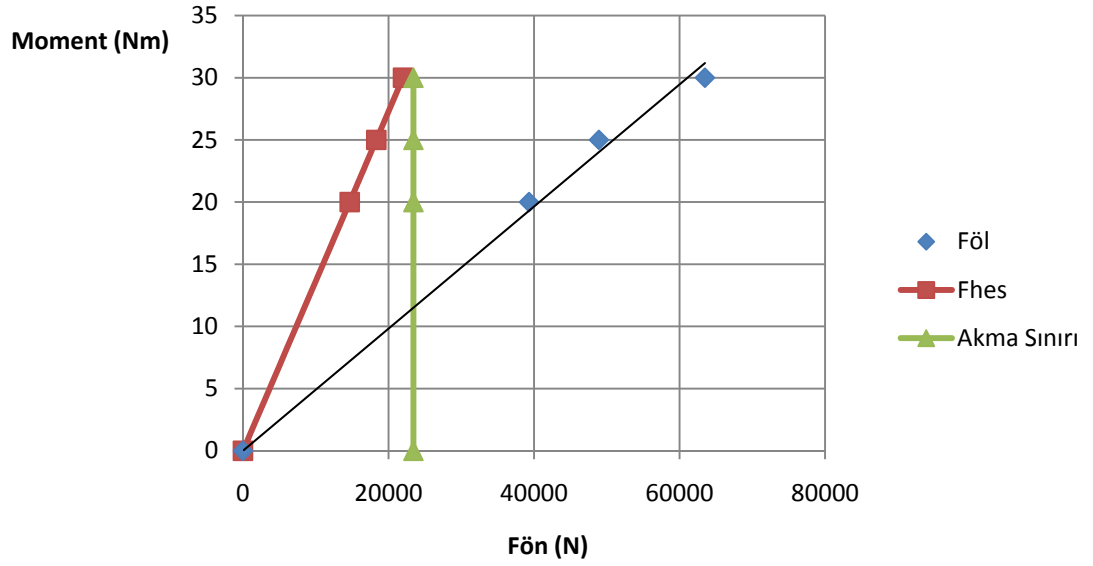
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.56’da verilmiştir.

Çizelge 4.56 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 20                    | 0,1261          | 36574        |
|                       | 0,1412          | 40953        |
|                       | 0,1446          | 41939        |
|                       | 0,1303          | 37792        |
|                       | 0,1355          | 39300        |
| Ortalama              | 0,13554         | 39312        |
| 25                    | 0,1311          | 38024        |
|                       | 0,1472          | 42694        |
|                       | 0,1821          | 52816        |
|                       | 0,1921          | 55716        |
|                       | 0,1907          | 55310        |
| Ortalama              | 0,16864         | 48912        |
| 30                    | 0,2261          | 65578        |
|                       | 0,2209          | 64069        |
|                       | 0,2144          | 62184        |
|                       | 0,2212          | 64156        |
|                       | 0,2118          | 61430        |
| Ortalama              | 0,21888         | 63483        |

Çizelge 4.57 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 20                    | 39312        | 100787        | 61.475              | 61                  |
| 25                    | 48912        | 125983        | 77.071              | 61                  |
| 30                    | 63483        | 151180        | 87.696              | 58                  |



Şekil 4.19 M8 civata ve polisajlı alüminyum yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.3.1.2 Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,15$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.58'de verilmiştir.

Çizelge 4.58 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 5                     | 3.062        | 25197         | 22134               | 88                  |
| 10                    | 6.124        | 50393         | 44269               | 88                  |
| 15                    | 9.187        | 75590         | 66403               | 88                  |

Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.59'da verilmiştir.

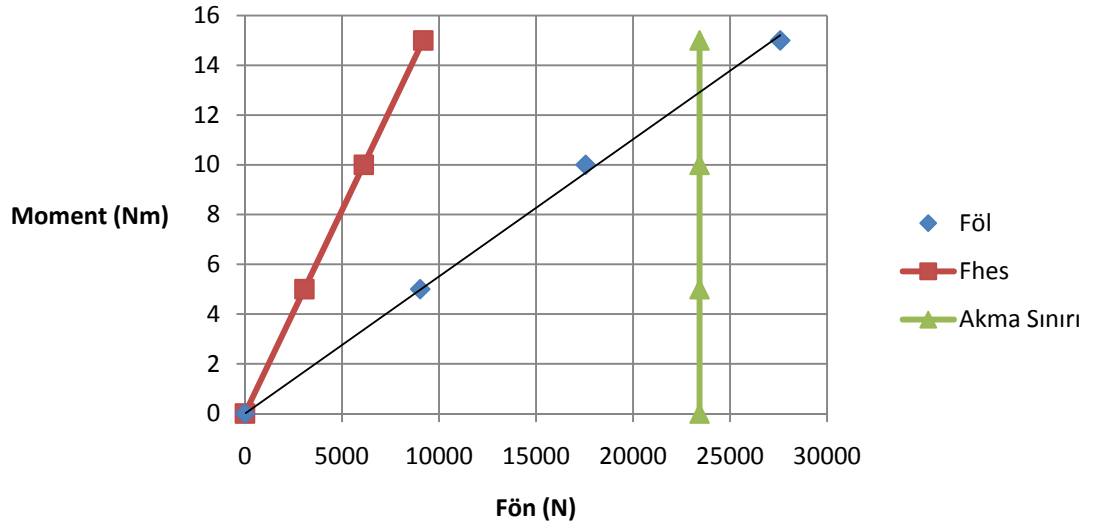
Çizelge 4.59 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 5                     | 0,0369          | 10702        |
|                       | 0,0325          | 9426         |
|                       | 0,0304          | 8817         |
|                       | 0,0272          | 7889         |
|                       | 0,0287          | 8324         |
| Ortalama              | 0,03114         | 9032         |
| 10                    | 0,0622          | 18040        |
|                       | 0,0566          | 16416        |
|                       | 0,0626          | 18156        |
|                       | 0,0613          | 17779        |
|                       | 0,06            | 17402        |
| Ortalama              | 0,06054         | 17559        |
| 15                    | 0,0918          | 26625        |
|                       | 0,0908          | 26335        |
|                       | 0,0962          | 27902        |
|                       | 0,097           | 28134        |
|                       | 0,0998          | 28946        |
| Ortalama              | 0,09512         | 27588        |

Çizelge 4.60 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 5                     | 9032         | 25197         | 16.165              | 64                  |
| 10                    | 17559        | 50393         | 32.834              | 65                  |
| 15                    | 27588        | 75590         | 48.002              | 64                  |





Şekil 4.20 M8 civata ve frezelenmiş alüminyum yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.3.1.3 Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yağlı yüzey şartları ve yağlı civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,15$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.61’de verilmiştir.

Çizelge 4.61 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 5                     | 4.781        | 25197         | 20416               | 81                  |
| 10                    | 9.562        | 50393         | 40832               | 81                  |
| 15                    | 14.342       | 75590         | 61248               | 81                  |

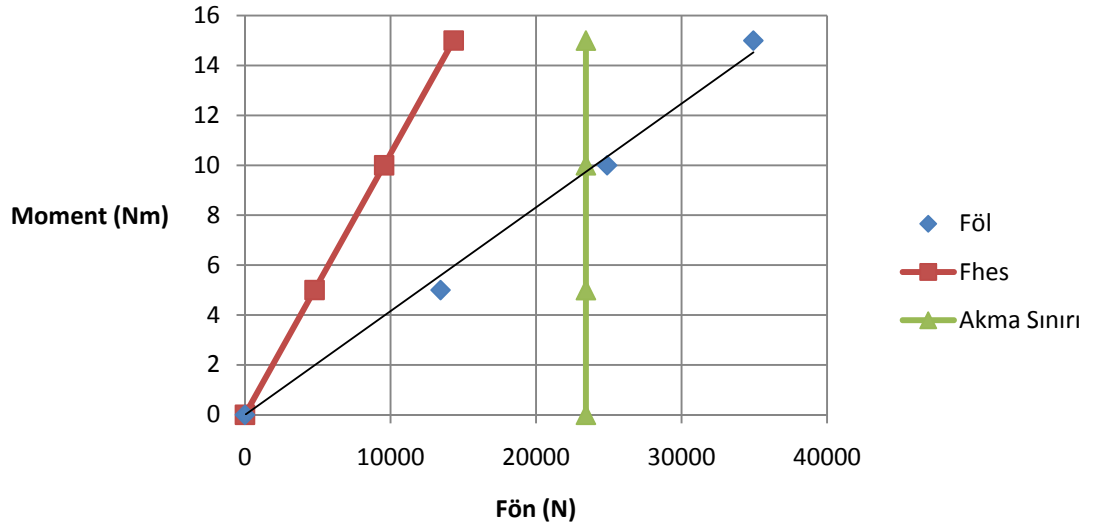
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.62’de verilmiştir.

Çizelge 4.62 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 5                     | 0,0492          | 14270        |
|                       | 0,044           | 12762        |
|                       | 0,0479          | 13893        |
|                       | 0,0444          | 12878        |
|                       | 0,0462          | 13400        |
| Ortalama              | 0,04634         | 13440        |
| 10                    | 0,0862          | 25001        |
|                       | 0,0892          | 25871        |
|                       | 0,0856          | 24827        |
|                       | 0,0873          | 25320        |
|                       | 0,0807          | 23406        |
| Ortalama              | 0,0858          | 24885        |
| 15                    | 0,1137          | 32977        |
|                       | 0,1274          | 36951        |
|                       | 0,128           | 37125        |
|                       | 0,1155          | 33499        |
|                       | 0,1176          | 34108        |
| Ortalama              | 0,12044         | 34932        |

Çizelge 4.63 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 5                     | 13440        | 25197         | 11.756              | 47                  |
| 10                    | 24885        | 50393         | 25.508              | 51                  |
| 15                    | 34932        | 75590         | 40.658              | 54                  |



Şekil 4.21 M8 civata ve frezelenmiş alüminyum yağlı yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.3.2 M10x1,5 Civata deneyleri

##### 4.3.2.1 Polisajlanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler

Polisajlanmış yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,1$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.64'de verilmiştir.

Çizelge 4.64 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 40                    | 23.373       | 169640        | 146268              | 86                  |
| 50                    | 29.216       | 212051        | 182834              | 86                  |
| 60                    | 35.059       | 254461        | 219401              | 86                  |

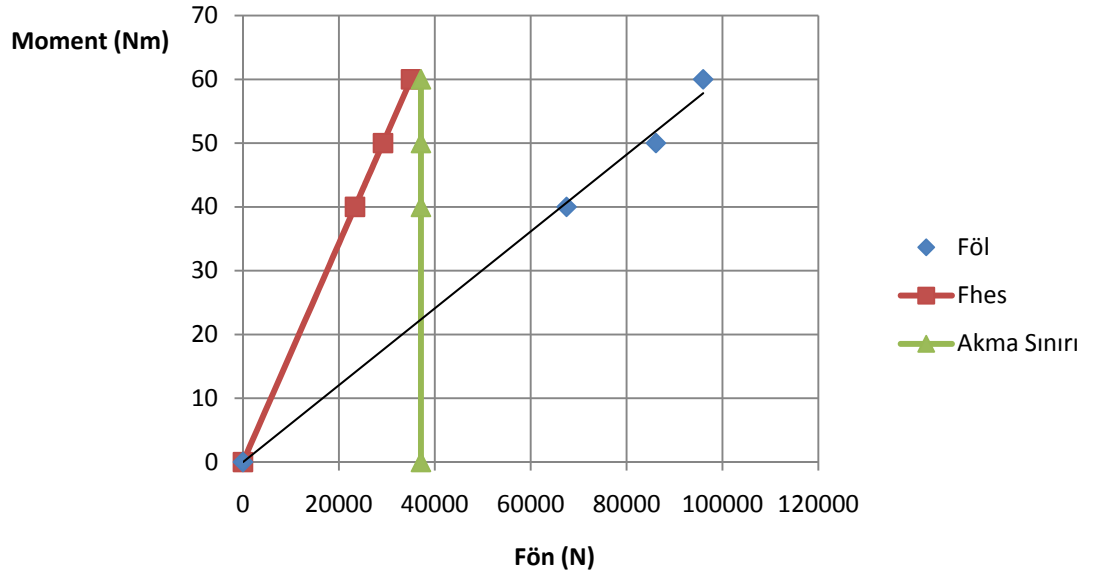
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.65'de verilmiştir.

Çizelge 4.65 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖN}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 40                    | 0,1637          | 71210        |
|                       | 0,1596          | 69426        |
|                       | 0,1541          | 67034        |
|                       | 0,1487          | 64685        |
|                       | 0,1498          | 65163        |
| Ortalama              | 0,15518         | 67503        |
| 50                    | 0,1762          | 76647        |
|                       | 0,1761          | 76604        |
|                       | 0,1933          | 84086        |
|                       | 0,2153          | 93656        |
|                       | 0,2293          | 99746        |
| Ortalama              | 0,19804         | 86147        |
| 60                    | 0,1613          | 70166        |
|                       | 0,1987          | 86435        |
|                       | 0,2281          | 99224        |
|                       | 0,2277          | 99050        |
|                       | 0,2876          | 125106       |
| Ortalama              | 0,22068         | 95996        |

Çizelge 4.66 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 40                    | 67503        | 169640        | 102.137             | 60                  |
| 50                    | 86147        | 212051        | 125.903             | 59                  |
| 60                    | 95996        | 254461        | 158.465             | 62                  |



Şekil 4.22 M10 civata ve polisajlı alüminyum yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.3.2.2 Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,15$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.67’de verilmiştir.

Çizelge 4.67 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 25                    | 12.165       | 106025        | 93861               | 89                  |
| 30                    | 14.598       | 127230        | 112633              | 89                  |
| 35                    | 17.031       | 148435        | 131405              | 89                  |

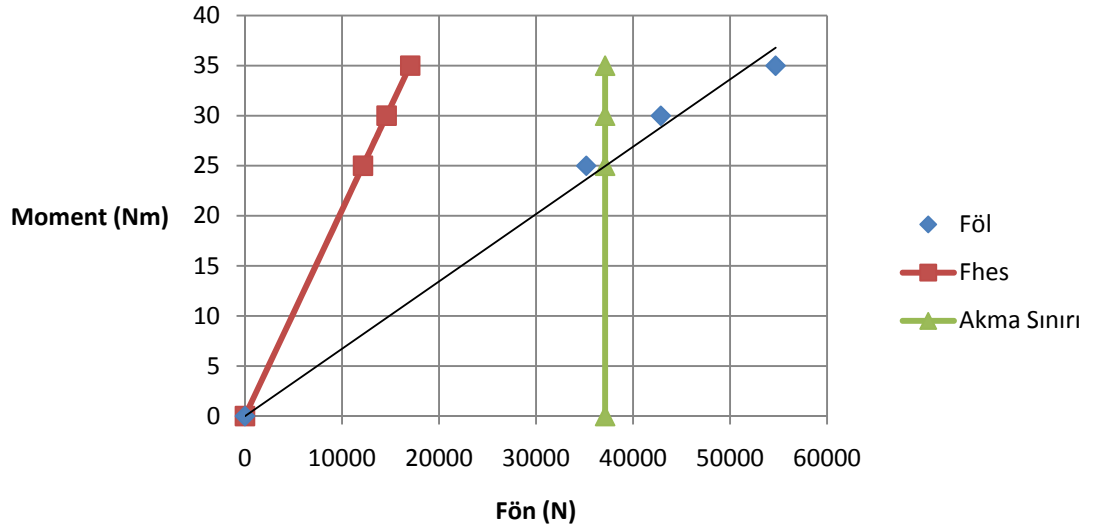
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.68’de verilmiştir.

Çizelge 4.68 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 25                    | 0,0788          | 34278        |
|                       | 0,0779          | 33887        |
|                       | 0,0801          | 34844        |
|                       | 0,0841          | 36584        |
|                       | 0,0835          | 36323        |
| Ortalama              | 0,08088         | 35183        |
| 30                    | 0,0944          | 41064        |
|                       | 0,1063          | 46241        |
|                       | 0,0977          | 42500        |
|                       | 0,0963          | 41891        |
|                       | 0,098           | 42630        |
| Ortalama              | 0,09854         | 42865        |
| 35                    | 0,1309          | 56942        |
|                       | 0,1264          | 54984        |
|                       | 0,1293          | 56246        |
|                       | 0,1223          | 53201        |
|                       | 0,1198          | 52113        |
| Ortalama              | 0,12574         | 54697        |

Çizelge 4.69 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 25                    | 35183        | 106025        | 70.842              | 67                  |
| 30                    | 42865        | 127230        | 84.365              | 66                  |
| 35                    | 54697        | 148435        | 93.739              | 63                  |



Şekil 4.23 M10 civata ve frezelenmiş alüminyum yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.3.2.3 Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yağlı yüzey şartları ve yağlı civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,15$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.70'de verilmiştir.

Çizelge 4.70 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 25                    | 19.090       | 106025        | 86936               | 82                  |
| 30                    | 22.908       | 127230        | 104323              | 82                  |
| 35                    | 26.725       | 148435        | 121710              | 82                  |

Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.71'de verilmiştir.

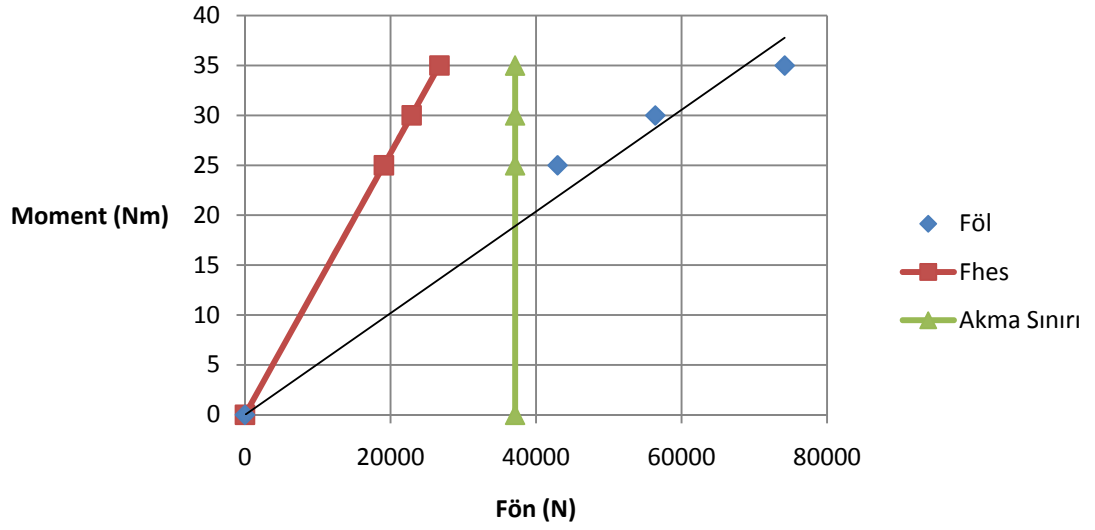
Çizelge 4.71 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 25                    | 0,0991          | 43109        |
|                       | 0,0929          | 40412        |
|                       | 0,1001          | 43544        |
|                       | 0,1054          | 45849        |
|                       | 0,0962          | 41847        |
| Ortalama              | 0,09874         | 42952        |
| 30                    | 0,1345          | 58508        |
|                       | 0,1265          | 55028        |
|                       | 0,1244          | 54114        |
|                       | 0,1275          | 55463        |
|                       | 0,1352          | 58812        |
| Ortalama              | 0,12962         | 56385        |
| 35                    | 0,1761          | 76604        |
|                       | 0,1735          | 75473        |
|                       | 0,1633          | 71036        |
|                       | 0,1705          | 74168        |
|                       | 0,1691          | 73559        |
| Ortalama              | 0,1705          | 74168        |

Çizelge 4.72 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 25                    | 42952        | 106025        | 63.073              | 59                  |
| 30                    | 56385        | 127230        | 70.846              | 56                  |
| 35                    | 74168        | 148435        | 74.268              | 50                  |





Şekil 4.24 M10 civata ve frezelenmiş alüminyum yağlı yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

### 4.3.3 M12x1,75 Civata deneyleri

#### 4.3.3.1 Polisajlanmış yüzey şartlarında yapılan deneyler

Polisajlanmış yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,1$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.73’de verilmiştir.

Çizelge 4.73 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 80                    | 39.500       | 288654        | 249154              | 86                  |
| 90                    | 44.437       | 324735        | 280298              | 86                  |
| 100                   | 49.375       | 360817        | 311442              | 86                  |

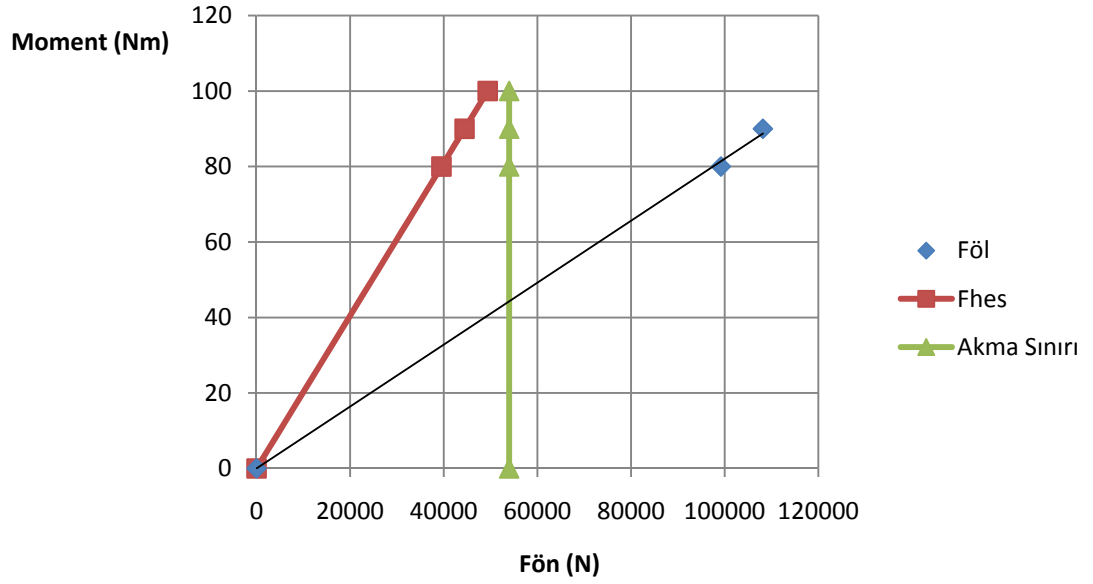
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.74’de verilmiştir.

Çizelge 4.74 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 80                    | 0,1531          | 90344        |
|                       | 0,174           | 102677       |
|                       | 0,1615          | 95301        |
|                       | 0,1759          | 103799       |
|                       | 0,176           | 103858       |
| Ortalama              | 0,1681          | 99196        |
| 90                    | 0,1746          | 103031       |
|                       | 0,1851          | 109228       |
|                       | 0,1864          | 109995       |
|                       | 0,1855          | 109464       |
|                       | 0,1848          | 109050       |
| Ortalama              | 0,18328         | 108154       |
| 100                   |                 |              |
|                       |                 |              |
|                       |                 |              |
|                       |                 |              |
|                       |                 |              |
| Ortalama              |                 |              |

Çizelge 4.75 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 80                    | 99196        | 288654        | 189.458             | 66                  |
| 90                    | 108154       | 324735        | 216.582             | 67                  |
| 100                   | 0            | 360817        | 360.817             | 100                 |



Şekil 4.25 M12 civata ve polisajlanmış alüminyum yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.3.3.2 Frezelenmiş (Kuru) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yüzey şartları ve kuru civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,15$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.76'da verilmiştir.

Çizelge 4.76 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 30                    | 12.369       | 108245        | 95876               | 89                  |
| 40                    | 16.493       | 144327        | 127834              | 89                  |
| 50                    | 20.616       | 180408        | 159793              | 89                  |

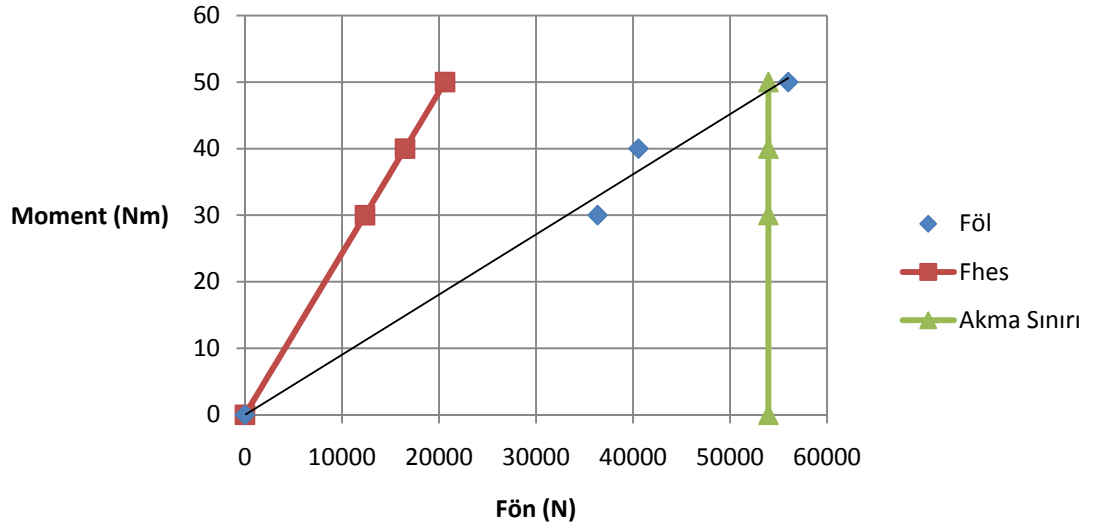
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.77'de verilmiştir.

Çizelge 4.77 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 30                    | 0,0667          | 39360        |
|                       | 0,0618          | 36468        |
|                       | 0,0586          | 34580        |
|                       | 0,0597          | 35229        |
|                       | 0,0611          | 36055        |
| Ortalama              | 0,06158         | 36338        |
| 40                    | 0,0597          | 35229        |
|                       | 0,0725          | 42782        |
|                       | 0,0654          | 38593        |
|                       | 0,0775          | 45733        |
|                       | 0,0685          | 40422        |
| Ortalama              | 0,06872         | 40552        |
| 50                    | 0,0927          | 54702        |
|                       | 0,0921          | 54348        |
|                       | 0,0904          | 53345        |
|                       | 0,101           | 59600        |
|                       | 0,0982          | 57948        |
| Ortalama              | 0,09488         | 55989        |

Çizelge 4.78 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 30                    | 36338        | 108245        | 71.907              | 66                  |
| 40                    | 40552        | 144327        | 103.775             | 72                  |
| 50                    | 55989        | 180408        | 124.420             | 69                  |



Şekil 4.26 M12 civata ve frezelenmiş alüminyum yüzey için Tork -  $F_{on}$  grafiği

#### 4.3.3.3 Frezelenmiş (Yağlı) yüzey şartlarında yapılan deneyler

Frezelenmiş yağlı yüzey şartları ve yağlı civata ile yapılan öngerilmeli civata bağlantısı için  $\mu_s = 0,15$  ve  $\mu = 0,15$  alınarak hesaplanan öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.79'da verilmiştir.

Çizelge 4.79 Uygulanan momente karşılık formülle hesaplanan  $F_{ÖN}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖN}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 30                    | 19.387       | 108245        | 88858               | 82                  |
| 40                    | 25.849       | 144327        | 118477              | 82                  |
| 50                    | 32.312       | 180408        | 148097              | 82                  |

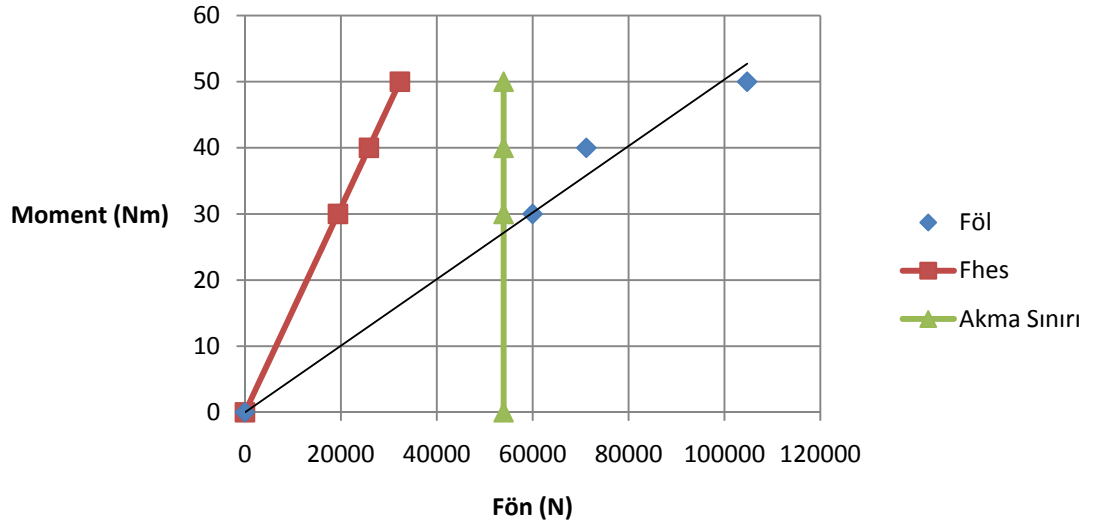
Ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçülen civatadaki uzama değerleri ve öngerilme kuvveti değerleri Çizelge 4.80'de verilmiştir.

Çizelge 4.80 Uygulanan momente karşılık ölçülen uzama ( $\Delta L$ ) ve  $F_{ÖL}$  değerleri.

| Uygulanan Moment (Nm) | $\Delta L$ (mm) | $F_{ÖL}$ (N) |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 30                    | 0,1106          | 65265        |
|                       | 0,1002          | 59128        |
|                       | 0,0931          | 54938        |
|                       | 0,1034          | 61016        |
|                       | 0,1011          | 59659        |
| Ortalama              | 0,10168         | 60001        |
| 40                    | 0,125           | 73763        |
|                       | 0,124           | 73172        |
|                       | 0,1262          | 74471        |
|                       | 0,1152          | 67980        |
|                       | 0,1129          | 66622        |
| Ortalama              | 0,12066         | 71201        |
| 50                    | 0,1805          | 106513       |
|                       | 0,1785          | 105333       |
|                       | 0,1717          | 101320       |
|                       | 0,1766          | 104212       |
|                       | 0,1801          | 106277       |
| Ortalama              | 0,17748         | 104731       |

Çizelge 4.81 Uygulanan momente karşılık ölçülen  $F_{ÖL}$  ve ideal sürtünmesiz halde  $F_{SSZ}$  değerleri

| Uygulanan Moment (Nm) | $F_{ÖL}$ (N) | $F_{SSZ}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (N) | $\Delta F_{ÖN}$ (%) |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 30                    | 60001        | 108245        | 48.244              | 45                  |
| 40                    | 71201        | 144327        | 73.125              | 51                  |
| 50                    | 104731       | 180408        | 75.677              | 42                  |



Şekil 4.27 M12 civata ve frezelenmiş alüminyum yağlı yüzey için Tork - F<sub>on</sub> grafiği

#### 4.4 Ortalama Öngerilme Kuvveti Kayıpları

Deneylerden elde edilen veriler ışığında her bir koşul için yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak, flanş malzemesi , yüzey işleme kalitesi , yağlama durumu ve civata ebadına bağlı olarak Çizelge 4.82 oluşturulmuştur. Benzer şekilde deneylerde elde edilen veriler ışığında formülle yapılacak hesaplamalarda kullanılmak üzere Çizelge 4.83'deki sürtünme katsayısı değerleri önerilmektedir.

Çizelge 4.82 Deneylerde ölçülen öngerilme kuvveti kaybı ortalamaları

| Flanş Malz.     | Civata | Frezelenmiş |       | Taşlanmış | Tornalanmış | Polisajlanmış |
|-----------------|--------|-------------|-------|-----------|-------------|---------------|
|                 |        | Kuru        | Yağlı | Kuru      |             |               |
| İmalat Çeliği   | M8     | 75%         | 58%   | 60%       |             |               |
|                 | M10    | 77%         | 61%   | 60%       |             |               |
|                 | M12    | 72%         | 55%   | 60%       |             |               |
| Paslanmaz Çelik | M8     | 70%         | 60%   |           | 68%         |               |
|                 | M10    | 72%         | 56%   |           | 69%         |               |
|                 | M12    | 72%         | 51%   |           | 70%         |               |
|                 | M8     | 64%         | 50%   |           |             | 60%           |

|           |     |     |     |  |  |     |
|-----------|-----|-----|-----|--|--|-----|
| Aluminyum | M10 | 65% | 55% |  |  | 61% |
|           | M12 | 69% | 46% |  |  | 0%  |

Çizelge 4.83 Önerilen sürtünme katsayısı değerleri

| Flanş Malz.        | µm             | Frezelenmiş |       | Taşlanmış | Tornalanmış | Polisajlanmış |
|--------------------|----------------|-------------|-------|-----------|-------------|---------------|
|                    |                | Kuru        | Yağlı | Kuru      |             |               |
| İmalat<br>Çeliği   | µ <sub>s</sub> | 0,05        | 0,02  | 0,05      |             |               |
|                    | µ              | 0,07        | 0,04  | 0,01      |             |               |
| Paslanmaz<br>Çelik | µ <sub>s</sub> | 0,05        | 0,02  |           | 0,05        |               |
|                    | µ              | 0,05        | 0,03  |           | 0,05        |               |
| Aluminyum          | µ <sub>s</sub> | 0,05        | 0,02  |           |             | 0,05          |
|                    | µ              | 0,025       | 0,03  |           |             | 0,01          |



#### 4.5 Yüzey Pürüzlülüğü Kaybı Deneyleri

Civatalarda sıkma esnasında meydana gelen pürüz ezilme miktarlarını ölçmeden önce flanş malzemelerinin HB10 Brinell yüzey sertlikleri, sertlik ölçme cihazında ölçülmüştür. Ölçüm esnasında 62,5 kg önyük uygulanmış ve 2,5 mm çaplı bilye kullanılmıştır. Ölçülen değerler Çizelge 4.84’de verilmiştir. Daha sonra çift flanşlı bağlantı durumu için flanşlar temas yüzeylerinin, civata oturma yüzeylerinin başlangıç pürüzlülükleri ölçüldükten sonra civata ile sıkılmıştır. Bunun ardından bağlantı, civata gevşetilerek ayrılmış ve temas yüzeylerinin pürüzlülükleri tekrar ölçülerek yüzey pürüzlülüğündeki azalma hesaplanmıştır. Aynı flanşlar civata ile ikinci kez tekrar sıkılmıştır. Flanşların tekrar kullanılması durumunda pürüzlerdeki ezilmenin devam edip etmediği gözlenmeye çalışılmıştır. Civata başının oturma yüzeyi civata sıkılırken sürtünmeden dolayı çizildiği için sağlıklı ölçüm alınamamıştır. Bu sebeple civata başı altında meydana gelen yüzey pürüzlülüğü kaybı miktarı somun altındakiyle eşdeğerde olduğu kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçlar çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 4.84 Deney numunelerinin HB sertlik değerleri

| Numune Malzemesi | Ölçülen sertlik (HB) |       |       | Ölçüm ortalaması (HB) |
|------------------|----------------------|-------|-------|-----------------------|
| Alüminyum        | 76,6                 | 77,4  | 77    | 77                    |
| Paslanmaz Çelik  | 131,6                | 135,5 | 136,5 | 134,5                 |
| İmalat Çeliği    | 119,8                | 123   | 119   | 120,6                 |

#### 4.5.1 C1050 İmalat çeliği flanşlarla yapılan yüzey pürüzlülüğü kaybı deneyleri

Çizelge 4.85 İmalat çeliği flanş ve M8 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları

| Frezelenmiş İmalat Çeliği M8 Civata Tork = 15 Nm |                       |      |      |                       |      |      |                      |      |      |
|--|-----------------------|------|------|-----------------------|------|------|----------------------|------|------|
| R <sub>ZC</sub><br>(μm)                          | R <sub>Zfū</sub> (μm) |      |      | R <sub>Zfa</sub> (μm) |      |      | R <sub>ZS</sub> (μm) |      |      |
| Önce   | Önce                  | Önce | Önce | Önce                  | Önce | Önce | Önce                 | Önce | Önce |
| 4,56   | 4,56                  | 4,56 | 4,56 | 4,56                  | 4,56 | 4,56 | 4,56                 | 4,56 | 4,56 |
| 4,42   | 4,42                  | 4,42 | 4,42 | 4,42                  | 4,42 | 4,42 | 4,42                 | 4,42 | 4,42 |
| 4,18   | 4,18                  | 4,18 | 4,18 | 4,18                  | 4,18 | 4,18 | 4,18                 | 4,18 | 4,18 |
| 4,14   | 4,14                  | 4,14 | 4,14 | 4,14                  | 4,14 | 4,14 | 4,14                 | 4,14 | 4,14 |
| Frezelenmiş İmalat Çeliği M8 Civata Tork = 25 Nm |                       |      |      |                       |      |      |                      |      |      |
| R <sub>ZC</sub><br>(μm)                          | R <sub>Zfū</sub> (μm) |      |      | R <sub>Zfa</sub> (μm) |      |      | R <sub>ZS</sub> (μm) |      |      |
| Önce   | Önce                  | Önce | Önce | Önce                  | Önce | Önce | Önce                 | Önce | Önce |
| 4,12   | 4,12                  | 4,12 | 4,12 | 4,12                  | 4,12 | 4,12 | 4,12                 | 4,12 | 4,12 |
| 4,65   | 4,65                  | 4,65 | 4,65 | 4,65                  | 4,65 | 4,65 | 4,65                 | 4,65 | 4,65 |
| 4,52   | 4,52                  | 4,52 | 4,52 | 4,52                  | 4,52 | 4,52 | 4,52                 | 4,52 | 4,52 |
| 4,33   | 4,33                  | 4,33 | 4,33 | 4,33                  | 4,33 | 4,33 | 4,33                 | 4,33 | 4,33 |
| Frezelenmiş İmalat Çeliği M8 Civata Tork = 35 Nm |                       |      |      |                       |      |      |                      |      |      |
| R <sub>ZC</sub><br>(μm)                          | R <sub>Zfū</sub> (μm) |      |      | R <sub>Zfa</sub> (μm) |      |      | R <sub>ZS</sub> (μm) |      |      |
| Önce   | Önce                  | Önce | Önce | Önce                  | Önce | Önce | Önce                 | Önce | Önce |
| 4,21   | 4,21                  | 4,21 | 4,21 | 4,21                  | 4,21 | 4,21 | 4,21                 | 4,21 | 4,21 |
| 4,23   | 4,23                  | 4,23 | 4,23 | 4,23                  | 4,23 | 4,23 | 4,23                 | 4,23 | 4,23 |
| 4,31   | 4,31                  | 4,31 | 4,31 | 4,31                  | 4,31 | 4,31 | 4,31                 | 4,31 | 4,31 |
| 4,15   | 4,15                  | 4,15 | 4,15 | 4,15                  | 4,15 | 4,15 | 4,15                 | 4,15 | 4,15 |

Çizelge 4.86 İmalat çeliği flanş ve M10 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları

| Frezelenmiş İmalat Çeliği M10 Civata Tork = 15 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
|---|-----------------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                           | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 4,32  | 4,48                  | 4,03        | 4,03        | 4,31                  | 4,05        | 4,05        | 4,48                 | 4,32        | 4,32        |
| 4,24  | 4,42                  | 4,1         | 4,1         | 4,36                  | 4,18        | 4,18        | 4,29                 | 4           | 4           |
| 4,36  | 4,34                  | 4,05        | 4,05        | 4,28                  | 3,96        | 3,95        | 4,42                 | 4,11        | 4,11        |
| 4,18  | 4,14                  | 3,94        | 3,94        | 4,18                  | 3,75        | 3,75        | 4,31                 | 4,18        | 4,18        |
| Frezelenmiş İmalat Çeliği M10 Civata Tork = 25 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                           | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 4,99  | 5,11                  | 4,63        | 4,63        | 4,48                  | 4,05        | 4,05        | 4,34                 | 4           | 4           |
| 4,62  | 4,54                  | 4,25        | 4,25        | 4,29                  | 4,01        | 4,01        | 4,11                 | 3,81        | 3,81        |
| 4,61  | 4,65                  | 4,32        | 4,32        | 4,2                   | 4,14        | 4,14        | 4,29                 | 3,88        | 3,88        |
| 4,74  | 4,48                  | 4,05        | 4,05        | 4,38                  | 3,95        | 3,95        | 4,18                 | 3,95        | 3,95        |
| Frezelenmiş İmalat Çeliği M10 Civata Tork = 35 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                           | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 5,82  | 5,98                  | 5,29        | 5,29        | 4,48                  | 4,08        | 4,08        | 4,65                 | 4,29        | 4,28        |
| 5,11  | 5,21                  | 4,87        | 4,87        | 4,29                  | 3,98        | 3,98        | 4,62                 | 4,51        | 4,5         |
| 5,02  | 5,05                  | 4,75        | 4,75        | 4,39                  | 4,05        | 4,02        | 4,23                 | 4,11        | 4,11        |
| 4,91  | 4,95                  | 4,61        | 4,61        | 4,29                  | 3,71        | 3,71        | 4,41                 | 4,05        | 4,05        |

Çizelge 4.87 İmalat çeliği flanş ve M12 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları

| Frezelenmiş İmalat Çeliği M12 Civata Tork = 15 Nm |                       |      |      |                       |      |      |                      |      |      |
|---|-----------------------|------|------|-----------------------|------|------|----------------------|------|------|
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                           | R <sub>Zfı</sub> (µm) |      |      | R <sub>Zfa</sub> (µm) |      |      | R <sub>ZS</sub> (µm) |      |      |
| Önce  | Önce                  | Önce | Önce | Önce                  | Önce | Önce | Önce                 | Önce | Önce |
| 4,52  | 4,52                  | 4,52 | 4,52 | 4,52                  | 4,52 | 4,52 | 4,52                 | 4,52 | 4,52 |
| 4,36  | 4,36                  | 4,36 | 4,36 | 4,36                  | 4,36 | 4,36 | 4,36                 | 4,36 | 4,36 |
| 4,38  | 4,38                  | 4,38 | 4,38 | 4,38                  | 4,38 | 4,38 | 4,38                 | 4,38 | 4,38 |
| 4,15  | 4,15                  | 4,15 | 4,15 | 4,15                  | 4,15 | 4,15 | 4,15                 | 4,15 | 4,15 |
| Frezelenmiş İmalat Çeliği M12 Civata Tork = 25 Nm |                       |      |      |                       |      |      |                      |      |      |
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                           | R <sub>Zfı</sub> (µm) |      |      | R <sub>Zfa</sub> (µm) |      |      | R <sub>ZS</sub> (µm) |      |      |
| Önce  | Önce                  | Önce | Önce | Önce                  | Önce | Önce | Önce                 | Önce | Önce |
| 4,41  | 4,41                  | 4,41 | 4,41 | 4,41                  | 4,41 | 4,41 | 4,41                 | 4,41 | 4,41 |
| 4,38  | 4,38                  | 4,38 | 4,38 | 4,38                  | 4,38 | 4,38 | 4,38                 | 4,38 | 4,38 |
| 4,26  | 4,26                  | 4,26 | 4,26 | 4,26                  | 4,26 | 4,26 | 4,26                 | 4,26 | 4,26 |
| 4,4   | 4,4                   | 4,4  | 4,4  | 4,4                   | 4,4  | 4,4  | 4,4                  | 4,4  | 4,4  |
| Frezelenmiş İmalat Çeliği M12 Civata Tork = 35 Nm |                       |      |      |                       |      |      |                      |      |      |
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                           | R <sub>Zfı</sub> (µm) |      |      | R <sub>Zfa</sub> (µm) |      |      | R <sub>ZS</sub> (µm) |      |      |
| Önce  | Önce                  | Önce | Önce | Önce                  | Önce | Önce | Önce                 | Önce | Önce |
| 4,15  | 4,15                  | 4,15 | 4,15 | 4,15                  | 4,15 | 4,15 | 4,15                 | 4,15 | 4,15 |
| 4,29  | 4,29                  | 4,29 | 4,29 | 4,29                  | 4,29 | 4,29 | 4,29                 | 4,29 | 4,29 |
| 4,27  | 4,27                  | 4,27 | 4,27 | 4,27                  | 4,27 | 4,27 | 4,27                 | 4,27 | 4,27 |
| 4,12  | 4,12                  | 4,12 | 4,12 | 4,12                  | 4,12 | 4,12 | 4,12                 | 4,12 | 4,12 |

Çizelge 4.88 İmalat çeliği flanş ve M8 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları

| M8        | 1. Deney                           |   |     | 2. Deney                           |   |     |
|-----------|------------------------------------|---|-----|------------------------------------|---|-----|
| Tork (Nm) | $R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   | $R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   |
| 15        | 4,41                               | 0,45                                      | 10  | 3,97                               | 0,02                                      | 0,4 |
| 25        | 4,37                               | 0,58                                      | 13  | 3,79                               | 0   | 0   |
| 35        | 4,21                               | 0,49                                      | 11  | 3,73                               | 0   | 0   |
| Tork (Nm) | $R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | $\Delta R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | %   | $R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | $\Delta R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | %   |
| 15        | 4,26                               | 0,39                                      | 9   | 3,86                               | 0   | 0   |
| 25        | 4,25                               | 0,41                                      | 9,7 | 3,84                               | 0   | 0   |
| 35        | 4,26                               | 0,5                                       | 11  | 3,76                               | 0,1                                       | 0,1 |
| Tork (Nm) | $R_{ZS}$ ( $\mu\text{m}$ )         | $\Delta R_{ZS}$ ( $\mu\text{m}$ )         | %   | $R_{ZS}$ ( $\mu\text{m}$ )         | $\Delta R_{ZS}$ ( $\mu\text{m}$ )         | %   |
| 15        | 4,42                               | 0,37                                      | 8,3 | 4,05                               | 0   | 0   |
| 25        | 4,33                               | 0,42                                      | 9,6 | 3,91                               | 0   | 0   |
| 35        | 4,25                               | 0,48                                      | 11  | 3,77                               | 0,01                                      | 0,2 |

Çizelge 4.89 İmalat çeliği flanş ve M10 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları

| M10       | 1. Deney                           |   |     | 2. Deney                           |   |     |
|-----------|------------------------------------|---|-----|------------------------------------|---|-----|
| Tork (Nm) | $R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   | $R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   |
| 15        | 4,35                               | 0,32                                      | 7,2 | 4,03                               | 0   | 0   |
| 25        | 4,7                                | 0,38                                      | 8,1 | 4,31                               | 0   | 0   |
| 35        | 5,3                                | 0,42                                      | 7,8 | 4,8                                | 0   | 0   |
| Tork (Nm) | $R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | $\Delta R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | %   | $R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | $\Delta R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | %   |
| 15        | 4,28                               | 0,3                                       | 6,9 | 3,99                               | 0   | 0   |
| 25        | 4,34                               | 0,3                                       | 6,9 | 4,04                               | 0   | 0   |
| 35        | 4,36                               | 0,41                                      | 9,3 | 3,96                               | 0   | 0,1 |

| Tork (Nm) | R <sub>ZS</sub> (μm) | ΔR <sub>ZS</sub> (μm) | %   | R <sub>ZS</sub> (μm) | ΔR <sub>ZS</sub> (μm) | % |
|-----------|----------------------|-----------------------|-----|----------------------|-----------------------|---|
| 15        | 4,38                 | 0,22                  | 5   | 4,15                 | 0                     | 0 |
| 25        | 4,23                 | 0,32                  | 7,5 | 3,91                 | 0                     | 0 |
| 35        | 4,48                 | 0,24                  | 5,3 | 4,24                 | 0                     | 0 |

Çizelge 4.90 İmalat çeliği flanş ve M12 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları

| M12       | 1. Deney              |                        |     | 2. Deney              |                        |     |
|-----------|-----------------------|------------------------|-----|-----------------------|------------------------|-----|
| Tork (Nm) | R <sub>Zfı</sub> (μm) | ΔR <sub>Zfı</sub> (μm) | %   | R <sub>Zfı</sub> (μm) | ΔR <sub>Zfı</sub> (μm) | %   |
| 15        | 4,32                  | 0,25                   | 5,9 | 4,06                  | 0                      | 0   |
| 25        | 4,28                  | 0,28                   | 6,6 | 4,0                   | 0,04                   | 1   |
| 35        | 4,33                  | 0,35                   | 8,2 | 3,98                  | 0                      | 0   |
| Tork (Nm) | R <sub>Zfa</sub> (μm) | ΔR <sub>Zfa</sub> (μm) | %   | R <sub>Zfa</sub> (μm) | ΔR <sub>Zfa</sub> (μm) | %   |
| 15        | 4,31                  | 0,25                   | 5,7 | 4,07                  | 0                      | 0   |
| 25        | 4,35                  | 0,23                   | 5,2 | 4,12                  | 0                      | 0   |
| 35        | 4,35                  | 0,23                   | 5,2 | 4,12                  | 0                      | 0   |
| Tork (Nm) | R <sub>ZS</sub> (μm)  | ΔR <sub>ZS</sub> (μm)  | %   | R <sub>ZS</sub> (μm)  | ΔR <sub>ZS</sub> (μm)  | %   |
| 15        | 4,35                  | 0,13                   | 2,8 | 4,22                  | 0,02                   | 0,3 |
| 25        | 4,22                  | 0,16                   | 3,7 | 4,07                  | 0,05                   | -1  |
| 35        | 4,31                  | 0,2                    | 4,9 | 4,09                  | 0                      | 0   |

Çizelge 4.91 İmalat çeliği flanş ve M8 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı

| M8        | 1. Deney             |                      |      | 2. Deney             |                      |     |
|-----------|----------------------|----------------------|------|----------------------|----------------------|-----|
| Tork (Nm) | □R <sub>Z</sub> (μm) | ΔR <sub>Z</sub> (μm) | %    | □R <sub>Z</sub> (μm) | ΔR <sub>Z</sub> (μm) | %   |
| 15        | 17,51                | 1,58                 | 9    | 15,93                | 0,02                 | 0,1 |
| 25        | 17,28                | 1,83                 | 10   | 15,45                | 0,00                 | 0,0 |
| 35        | 16,97                | 1,95                 | 11,5 | 15                   | 0,01                 | 0,1 |

Çizelge 4.92 İmalat çeliği flanş ve M10 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı

| M10 | 1. Deney  |                                 |                                | 2. Deney |                                 |                                |
|-----|-----------|---------------------------------|--------------------------------|----------|---------------------------------|--------------------------------|
|     | Tork (Nm) | $\square R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | %        | $\square R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) |
| 15  | 17,39     | 1,06                            | 6                              | 16,33    | 0,00                            | 0,0                            |
| 25  | 17,5      | 1,32                            | 7,5                            | 16,18    | 0,00                            | 0,0                            |
| 35  | 18,62     | 1,31                            | 7                              | 17,31    | 0,01                            | 0,1                            |

Çizelge 4.93 İmalat çeliği flanş ve M12 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı

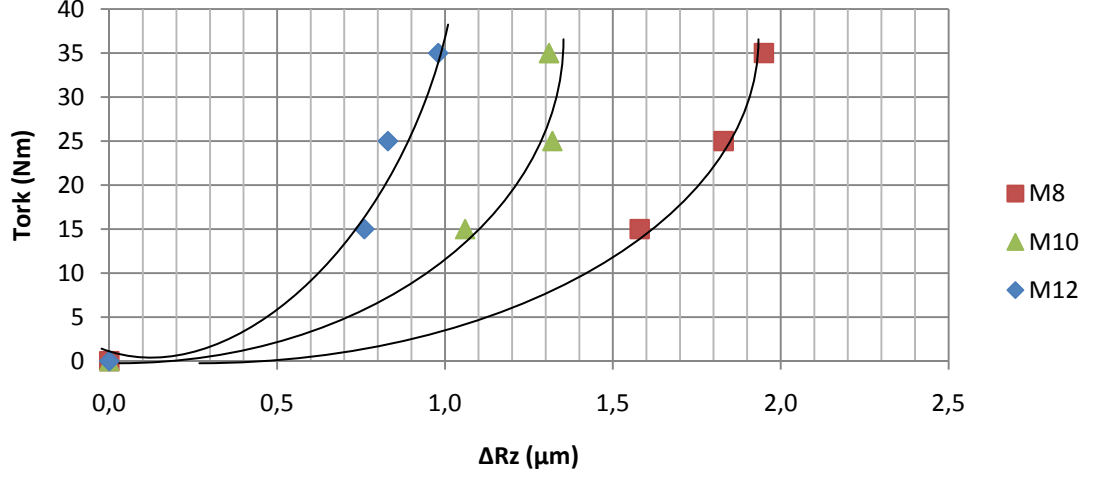
| M12 | 1. Deney  |                                 |                                | 2. Deney |                                 |                                |
|-----|-----------|---------------------------------|--------------------------------|----------|---------------------------------|--------------------------------|
|     | Tork (Nm) | $\square R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | %        | $\square R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) |
| 15  | 17,33     | 0,76                            | 4,4                            | 16,57    | 0,00                            | 0,0                            |
| 25  | 17,07     | 0,83                            | 4,8                            | 16,24    | 0,00                            | 0,0                            |
| 35  | 17,3      | 0,98                            | 5,6                            | 16,32    | 0,01                            | 0,1                            |

Çizelge 4.94 Frezelenmiş imalat çeliği yüzeyler için Literatürdeki formül ve tablolardan hesaplanan yüzey pürüzlülüğü kaybı değerleri

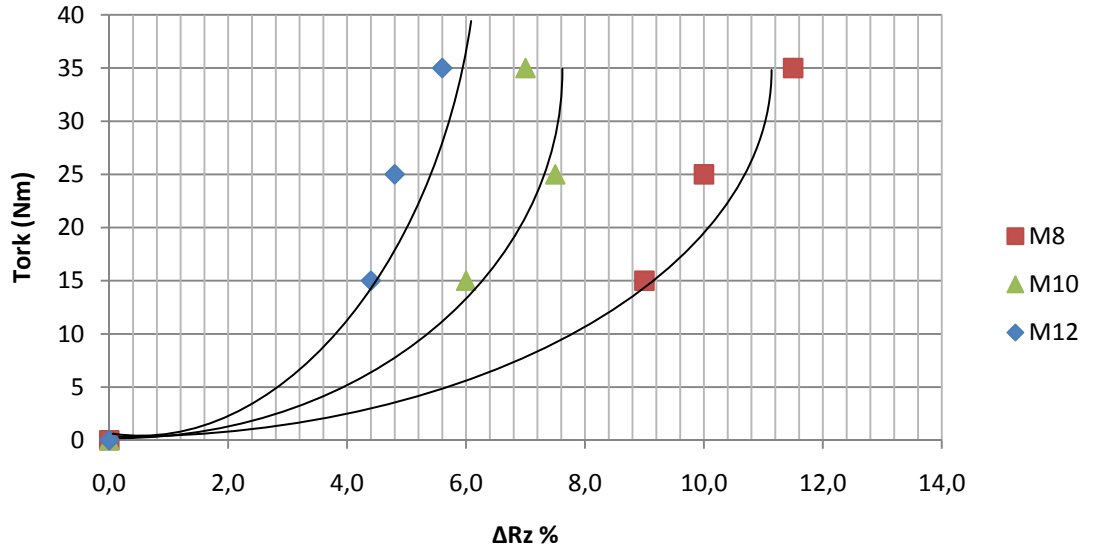
| Civata | STEINHILPER                    |                | RENDE 2000                     |                | DECKER                         |                | Deney Sonucu                   |                |
|--------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|
|        | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ % | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ % | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ % | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ % |
| M8     | 2                              | 8,8            | 2,25                           | 10             | 4,5                            | 20             | 1,95                           | 11,5           |
| M10    | 1,86                           | 8,2            | 2,25                           | 10             | 4                              | 17             | 1,32                           | 7,5            |
| M12    | 1,73                           | 7,7            | 2,25                           | 10             | 3,5                            | 15             | 0,98                           | 5,6            |

Çizelge 4.94'de deneyler sonucu elde edilen yüzey pürüz kaybı değerlerinden en büyük olan değer alınmıştır. Bu değer uygulamada bize oluşabilecek maksimum yüzey pürüzlülüğü kaybını göz önünde bulundurarak civata balantısını hesaplamamızı

sağlayacaktır. Bu sayede beklenenden daha az pürüz kaybı oluşsada biz en kötü ihtimale göre hesaplarımızı yapacağımız için bir miktar emniyet payı da bırakılmış olacaktır.



Şekil 4.28 Frezelenmiş imalat çeliği flanşlar için Moment -  $\Delta R_z$  grafiği



Şekil 4.29 Frezelenmiş imalat çeliği flanşlar için Moment -  $\% \Delta R_z$  grafiği



#### 4.5.2 SS 304 Paslanmaz çelik flanşlarla yapılan yüzey pürüzlülüğü kaybı deneyleri

Çizelge 4.95 Paslanmaz çelik flanş ve M8 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları

| Frezelenmiş Paslanmaz Çelik M8 Civata Tork =15 Nm  |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
|--|-----------------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                            | R <sub>Zfū</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce   | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 2,35   | 2,42                  | 2,22        | 2,2         | 2,15                  | 2,05        | 2,06        | 2,35                 | 2,15        | 2,14        |
| 2,47   | 2,4                   | 2,31        | 2,31        | 2,23                  | 2,12        | 2,12        | 2,38                 | 2,21        | 2,21        |
| 2,34   | 2,51                  | 2,32        | 2,32        | 2,47                  | 2,15        | 2,11        | 2,46                 | 2,31        | 2,29        |
| 2,15   | 2,37                  | 2,15        | 2,15        | 2,18                  | 1,96        | 1,95        | 2,42                 | 2,21        | 2,18        |
| Frezelenmiş Paslanmaz Çelik M8 Civata Tork = 25 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                            | R <sub>Zfū</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce   | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 2,35   | 2,21                  | 1,96        | 1,96        | 2,21                  | 1,98        | 2           | 2,35                 | 2,15        | 2,15        |
| 2,48   | 2,45                  | 2,18        | 2,18        | 2,33                  | 2,03        | 2,01        | 2,37                 | 2,12        | 2,12        |
| 2,45   | 2,37                  | 2,21        | 2,2         | 2,41                  | 2,31        | 2,3         | 2,14                 | 2           | 2           |
| 2,18   | 2,32                  | 2,05        | 2,05        | 2,27                  | 2,12        | 2,13        | 2,23                 | 2,05        | 2,05        |
| Frezelenmiş Paslanmaz Çelik M8 Civata Tork = 35 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                            | R <sub>Zfū</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce   | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 2,4  | 2,29                  | 2,01        | 2           | 2,31                  | 2           | 2           | 2,27                 | 1,98        | 1,98        |
| 2,51   | 2,35                  | 2,07        | 2,05        | 2,23                  | 2,11        | 2,1         | 2,32                 | 2,1         | 2,1         |
| 2,47   | 2,47                  | 2,18        | 2,18        | 2,45                  | 2,23        | 2,22        | 2,37                 | 2,09        | 2,09        |
| 2,18   | 2,23                  | 1,95        | 1,95        | 2,47                  | 2,31        | 2,31        | 2,14                 | 1,82        | 1,8         |

Çizelge 4.96 Paslanmaz çelik flanş ve M10 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları

| Frezelenmiş Paslanmaz Çelik M10 Civata Tork = 15 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
|---|-----------------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                             | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 2,21  | 2,14                  | 2,05        | 2,05        | 2,35                  | 2,22        | 2,2         | 2,21                 | 2,12        | 2,12        |
| 2,35  | 2,23                  | 2,13        | 2,11        | 2,45                  | 2,38        | 2,38        | 2,35                 | 2,26        | 2,26        |
| 2,37  | 2,18                  | 2,07        | 2,07        | 2,19                  | 2,04        | 2,04        | 2,37                 | 2,24        | 2,23        |
| 2,21  | 2,37                  | 2,25        | 2,25        | 2,24                  | 2,15        | 2,15        | 2,21                 | 2,14        | 2,15        |
| Frezelenmiş Paslanmaz Çelik M10 Civata Tork = 25 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                             | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 2,35  | 2,35                  | 2,35        | 2,35        | 2,35                  | 2,35        | 2,35        | 2,35                 | 2,35        | 2,35        |
| 2,48  | 2,48                  | 2,48        | 2,48        | 2,48                  | 2,48        | 2,48        | 2,48                 | 2,48        | 2,48        |
| 2,45  | 2,45                  | 2,45        | 2,45        | 2,45                  | 2,45        | 2,45        | 2,45                 | 2,45        | 2,45        |
| 2,18  | 2,18                  | 2,18        | 2,18        | 2,18                  | 2,18        | 2,18        | 2,18                 | 2,18        | 2,18        |
| Frezelenmiş Paslanmaz Çelik M10 Civata Tork = 35 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                             | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 2,58  | 2,3                   | 1,9         | 1,9         | 2,37                  | 2,05        | 1,99        | 2,58                 | 2,32        | 2,3         |
| 2,21  | 2,41                  | 2,32        | 2,3         | 2,21                  | 2,18        | 2,18        | 2,21                 | 2,11        | 2,11        |
| 2,33  | 2,27                  | 2,15        | 2,14        | 2,35                  | 2,31        | 2,3         | 2,33                 | 2,21        | 2,2         |
| 2,28  | 2,32                  | 2,21        | 2,2         | 2,48                  | 2,12        | 2,1         | 2,28                 | 2,15        | 2,15        |

Çizelge 4.97 Paslanmaz çelik flanş ve M12 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları

| Frezelenmiş Paslanmaz Çelik M12 Civata Tork = 15 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
|---|-----------------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                             | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zs</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 2,35  | 2,27                  | 2,2         | 2,2         | 2,25                  | 2,19        | 2,19        | 2,35                 | 2,28        | 2,28        |
| 2,38  | 2,41                  | 2,35        | 2,35        | 2,23                  | 2,15        | 2,15        | 2,47                 | 2,35        | 2,33        |
| 2,46  | 2,18                  | 2,1         | 2,1         | 2,36                  | 2,31        | 2,3         | 2,34                 | 2,27        | 2,26        |
| 2,42  | 2,16                  | 2,08        | 2,03        | 2,14                  | 2,09        | 2,08        | 2,15                 | 2,1         | 2,1         |
| Frezelenmiş Paslanmaz Çelik M12 Civata Tork = 25 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                             | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zs</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 2,35  | 2,28                  | 2,22        | 2,22        | 2,31                  | 2,23        | 2,23        | 2,25                 | 2,19        | 2,19        |
| 2,37  | 2,35                  | 2,18        | 2,17        | 2,42                  | 2,28        | 2,28        | 2,37                 | 2,23        | 2,22        |
| 2,14  | 2,42                  | 2,31        | 2,31        | 2,12                  | 2,06        | 2,06        | 2,26                 | 2,18        | 2,19        |
| 2,23  | 2,45                  | 2,36        | 2,35        | 2,36                  | 2,28        | 2,27        | 2,27                 | 2,2         | 2,2         |
| Frezelenmiş Paslanmaz Çelik M12 Civata Tork = 35 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                             | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zs</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 2,27  | 2,02                  | 1,73        | 1,73        | 2,48                  | 2,24        | 2,2         | 2,4                  | 2,14        | 2,14        |
| 2,32  | 2,25                  | 2,18        | 2,17        | 2,45                  | 2,32        | 2,32        | 2,51                 | 2,41        | 2,4         |
| 2,37  | 2,41                  | 2,32        | 2,32        | 2,37                  | 2,24        | 2,25        | 2,47                 | 2,38        | 2,39        |
| 2,14  | 2,38                  | 2,25        | 2,22        | 2,21                  | 2,1         | 2,1         | 2,18                 | 1,95        | 1,95        |

Çizelge 4.98 Paslanmaz çelik flanş ve M8 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları

| M8        | 1. Deney                           |   |     | 2. Deney                           |   |     |
|-----------|------------------------------------|---|-----|------------------------------------|---|-----|
| Tork (Nm) | $R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   | $R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   |
| 15        | 2,43                               | 0,18                                      | 7,2 | 2,25                               | 0   | 0   |
| 25        | 2,34                               | 0,24                                      | 10  | 2,1                                | 0   | 0,1 |
| 35        | 2,34                               | 0,25                                      | 10  | 2,08                               | 0   | 0,6 |
| Tork (Nm) | $R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | $\Delta R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | %   | $R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | $\Delta R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | %   |
| 15        | 2,26                               | 0,19                                      | 8,3 | 2,07                               | 0   | 0,4 |
| 25        | 2,31                               | 0,2                                       | 8,4 | 2,11                               | 0   | 0   |
| 35        | 2,37                               | 0,2                                       | 8,5 | 2,16                               | 0   | 0,2 |
| Tork (Nm) | $R_{ZS}$ ( $\mu\text{m}$ )         | $\Delta R_{ZS}$ ( $\mu\text{m}$ )         | %   | $R_{ZS}$ ( $\mu\text{m}$ )         | $\Delta R_{ZS}$ ( $\mu\text{m}$ )         | %   |
| 15        | 2,4                                | 0,18                                      | 7,6 | 2,22                               | 0   | 0   |
| 25        | 2,27                               | 0,19                                      | 8,5 | 2,08                               | 0   | 0   |
| 35        | 2,28                               | 0,28                                      | 12  | 2                                  | 0   | 0,2 |

Çizelge 4.99 Paslanmaz çelik flanş ve M10 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları

| M10       | 1. Deney                           |   |     | 2. Deney                           |   |     |
|-----------|------------------------------------|---|-----|------------------------------------|---|-----|
| Tork (Nm) | $R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   | $R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   |
| 15        | 2,23                               | 0,11                                      | 4,7 | 2,12                               | 0   | 0,2 |
| 25        | 2,49                               | 0,19                                      | 7,4 | 2,3                                | 0   | 0,4 |
| 35        | 2,33                               | 0,18                                      | 7,7 | 2,15                               | 0,01                                      | 0,4 |
| Tork (Nm) | $R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | $\Delta R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | %   | $R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | $\Delta R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | %   |
| 15        | 2,31                               | 0,11                                      | 4,7 | 2,2                                | 0   | 0,2 |
| 25        | 2,35                               | 0,15                                      | 6,5 | 2,2                                | 0,06                                      | 2,7 |
| 35        | 2,35                               | 0,19                                      | 7,9 | 2,17                               | 0,02                                      | 1   |

| Tork (Nm) | R <sub>ZS</sub> (μm) | ΔR <sub>ZS</sub> (μm) | %   | R <sub>ZS</sub> (μm) | ΔR <sub>ZS</sub> (μm) | %    |
|-----------|----------------------|-----------------------|-----|----------------------|-----------------------|------|
| 15        | 2,29                 | 0,1                   | 4,1 | 2,19                 | 0                     | 0    |
| 25        | 2,37                 | 0,16                  | 6,8 | 2,21                 | 0,06                  | 2,95 |
| 35        | 2,35                 | 0,15                  | 6,5 | 2,2                  | 0,01                  | 0,3  |

Çizelge 4.100 Paslanmaz çelik flanş ve M12 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları

| M12       | 1. Deney              |                        |     | 2. Deney              |                        |     |
|-----------|-----------------------|------------------------|-----|-----------------------|------------------------|-----|
| Tork (Nm) | R <sub>Zfū</sub> (μm) | ΔR <sub>Zfū</sub> (μm) | %   | R <sub>Zfū</sub> (μm) | ΔR <sub>Zfū</sub> (μm) | %   |
| 15        | 2,26                  | 0,07                   | 3,2 | 2,19                  | 0,01                   | 0,5 |
| 25        | 2,38                  | 0,11                   | 4,5 | 2,27                  | 0,01                   | 0,2 |
| 35        | 2,27                  | 0,15                   | 6,4 | 2,12                  | 0,01                   | 0,5 |
| Tork (Nm) | R <sub>Zfa</sub> (μm) | ΔR <sub>Zfa</sub> (μm) | %   | R <sub>Zfa</sub> (μm) | ΔR <sub>Zfa</sub> (μm) | %   |
| 15        | 2,25                  | 0,06                   | 2,6 | 2,19                  | 0,01                   | 0,2 |
| 25        | 2,3                   | 0,09                   | 3,9 | 2,21                  | 0,01                   | 0,1 |
| 35        | 2,38                  | 0,15                   | 6,4 | 2,23                  | 0,01                   | 0,3 |
| Tork (Nm) | R <sub>ZS</sub> (μm)  | ΔR <sub>ZS</sub> (μm)  | %   | R <sub>ZS</sub> (μm)  | ΔR <sub>ZS</sub> (μm)  | %   |
| 15        | 2,33                  | 0,08                   | 3,3 | 2,25                  | 0,01                   | 0,3 |
| 25        | 2,29                  | 0,09                   | 3,8 | 2,2                   | 0                      | 0   |
| 35        | 2,39                  | 0,17                   | 7,1 | 2,22                  | 0                      | 0   |

Çizelge 4.101 Paslanmaz çelik flanş ve M8 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı

| M8        | 1. Deney             |                      |      | 2. Deney             |                      |     |
|-----------|----------------------|----------------------|------|----------------------|----------------------|-----|
| Tork (Nm) | □R <sub>Z</sub> (μm) | ΔR <sub>Z</sub> (μm) | %    | □R <sub>Z</sub> (μm) | ΔR <sub>Z</sub> (μm) | %   |
| 15        | 9,49                 | 0,73                 | 7,7  | 8,76                 | 0,03                 | 0,3 |
| 25        | 9,19                 | 0,82                 | 8,9  | 8,37                 | 0,00                 | 0   |
| 35        | 9,27                 | 1,01                 | 10,8 | 8,26                 | 0,03                 | 0,3 |

Çizelge 4.102 Paslanmaz çelik flanş ve M10 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı

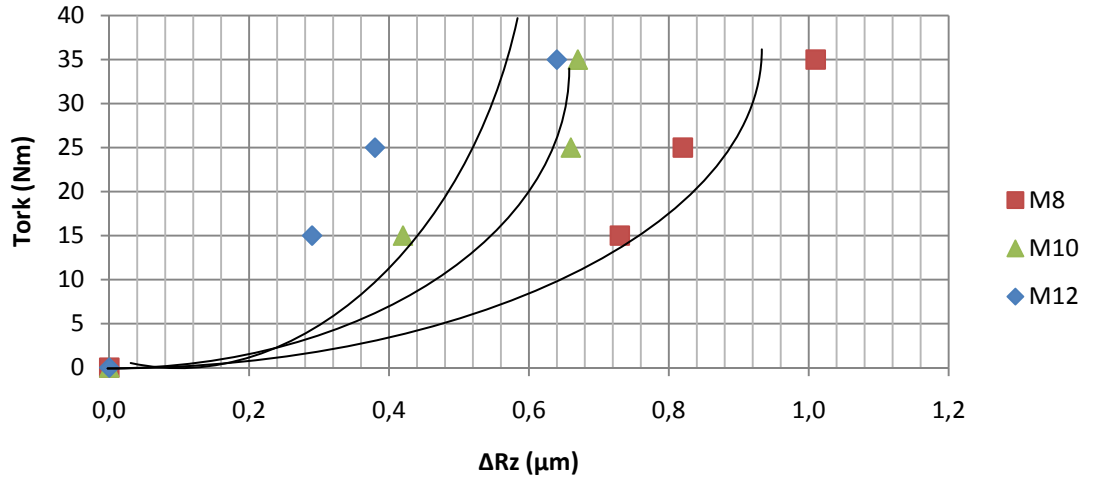
| M10       | 1. Deney                        |                                |     | 2. Deney                        |                                |     |
|-----------|---------------------------------|--------------------------------|-----|---------------------------------|--------------------------------|-----|
| Tork (Nm) | $\square R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   | $\square R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   |
| 15        | 9,12                            | 0,42                           | 4,6 | 8,7                             | 0,01                           | 0,1 |
| 25        | 9,58                            | 0,66                           | 6,8 | 8,92                            | 0,07                           | 1,1 |
| 35        | 9,38                            | 0,67                           | 7,1 | 8,71                            | 0,02                           | 0,2 |

Çizelge 4.103 Paslanmaz çelik flanş ve M12 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı

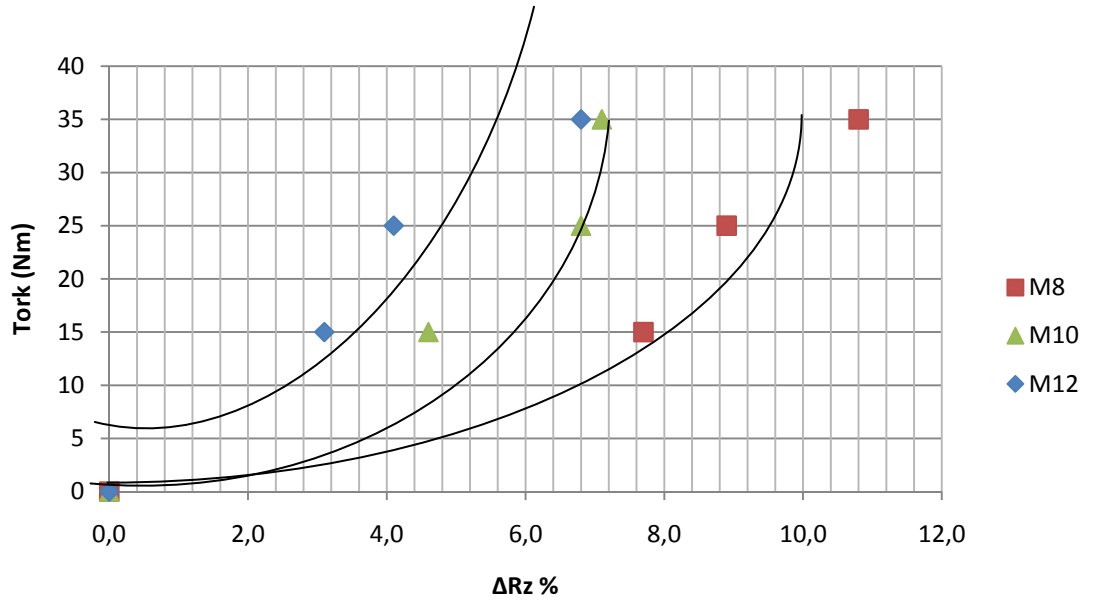
| M12       | 1. Deney                        |                                |     | 2. Deney                        |                                |     |
|-----------|---------------------------------|--------------------------------|-----|---------------------------------|--------------------------------|-----|
| Tork (Nm) | $\square R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   | $\square R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   |
| 15        | 9,17                            | 0,29                           | 3,1 | 8,88                            | 0,03                           | 0,3 |
| 25        | 9,26                            | 0,38                           | 4,1 | 8,88                            | 0,01                           | 0,1 |
| 35        | 9,43                            | 0,64                           | 6,8 | 8,79                            | 0,02                           | 0,2 |

Çizelge 4.104 Frezelenmiş paslanmaz çelik yüzeyler için Literatürdeki formül ve tablolardan hesaplanan yüzey pürüzlülüğü kaybı değerleri

| Civata | STEINHILPER                    |                | RENDE 2000                     |                | DECKER                         |                | Deney Sonucu                   |                |
|--------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|
|        | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ % | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ % | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ % | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ % |
| M8     | 2                              | 16             | 1,25                           | 10             | 4,5                            | 20             | 1,01                           | 10,8           |
| M10    | 1,86                           | 14             | 1,25                           | 10             | 4                              | 17             | 0,67                           | 7,1            |
| M12    | 1,73                           | 13             | 1,25                           | 10             | 3,5                            | 15             | 0,64                           | 6,8            |



Şekil 4.30 Frezelenmiş paslanmaz çelik flanşlar için Moment -  $\Delta R_z$  grafiği



Şekil 4.31 Frezelenmiş paslanmaz çelik flanşlar için Moment -  $\% \Delta R_z$  grafiği

#### 4.5.3 Alüminyum flanşlarla yapılan yüzey pürüzlülüğü kaybı deneyleri

Çizelge 4.105 Alüminyum flanş ve M8 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları

| Frezelenmiş Alüminyum M8 Civata Tork = 15 Nm |   |         |         |   |         |         |                                   |         |         |
|--|---|---------|---------|---|---------|---------|-----------------------------------|---------|---------|
| R <sub>ZC</sub><br>( $\mu\text{m}$ )         | R <sub>Zf<sub>i</sub></sub> ( $\mu\text{m}$ ) |         |         | R <sub>Zf<sub>a</sub></sub> ( $\mu\text{m}$ ) |         |         | R <sub>ZS</sub> ( $\mu\text{m}$ ) |         |         |
|  | Önce  | 1. Dene | 2. Dene | Önce  | 1. Dene | 2. Dene | Önce                              | 1. Dene | 2. Dene |
| 3,85   | 3,84  | 3,12    | 3,1     | 3,96  | 3,32    | 3,3     | 3,95                              | 3,51    | 3,65    |
| 3,74   | 3,8   | 3,21    | 3,2     | 3,97  | 3,38    | 3,35    | 3,81                              | 3,45    | 3,41    |
| 3,78   | 3,61  | 3,18    | 3,16    | 3,8   | 3,51    | 3,5     | 3,86                              | 3,34    | 3,31    |
| 3,81   | 3,81  | 3,36    | 3,37    | 3,79  | 3,48    | 3,41    | 3,69                              | 3,41    | 3,4     |
| Frezelenmiş Alüminyum M8 Civata Tork = 25 Nm |   |         |         |   |         |         |                                   |         |         |
| R <sub>ZC</sub><br>( $\mu\text{m}$ )         | R <sub>Zf<sub>i</sub></sub> ( $\mu\text{m}$ ) |         |         | R <sub>Zf<sub>a</sub></sub> ( $\mu\text{m}$ ) |         |         | R <sub>ZS</sub> ( $\mu\text{m}$ ) |         |         |
|  | Önce  | 1. Dene | 2. Dene | Önce  | 1. Dene | 2. Dene | Önce                              | 1. Dene | 2. Dene |
| 3,65   | 3,85  | 3,28    | 3,25    | 3,98  | 3,47    | 3,47    | 3,95                              | 3,31    | 3,28    |
| 3,52   | 3,82  | 3,21    | 3,2     | 3,96  | 3,28    | 3,28    | 3,84                              | 3,47    | 3,45    |
| 3,66   | 3,64  | 3,05    | 3,02    | 3,81  | 3,31    | 3,3     | 3,74                              | 3,32    | 3,34    |
| 3,81   | 3,61  | 3,16    | 3,15    | 3,74  | 3,41    | 3,4     | 3,69                              | 3,28    | 3,3     |
| Frezelenmiş Alüminyum M8 Civata Tork = 35 Nm |   |         |         |   |         |         |                                   |         |         |
| R <sub>ZC</sub><br>( $\mu\text{m}$ )         | R <sub>Zf<sub>i</sub></sub> ( $\mu\text{m}$ ) |         |         | R <sub>Zf<sub>a</sub></sub> ( $\mu\text{m}$ ) |         |         | R <sub>ZS</sub> ( $\mu\text{m}$ ) |         |         |
|  | Önce  | 1. Dene | 2. Dene | Önce  | 1. Dene | 2. Dene | Önce                              | 1. Dene | 2. Dene |
| 3,95   | 3,58  | 3,02    | 3       | 3,89  | 3,22    | 3,2     | 3,59                              | 3,02    | 3       |
| 3,56   | 3,76  | 3,16    | 3,03    | 3,64  | 3,14    | 3,1     | 3,42                              | 3,03    | 3,03    |
| 3,41   | 3,46  | 3,01    | 3       | 3,76  | 3,18    | 3,18    | 3,41                              | 3,01    | 3,04    |
| 3,55   | 3,59  | 3,05    | 3,05    | 3,74  | 3,14    | 3,14    | 3,78                              | 3,23    | 3,21    |



Çizelge 4.106 Alüminyum flanş ve M10 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları

| Frezelenmiş Alüminyum M10 Civata Tork = 15 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
|---|-----------------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                       | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 3,82  | 3,91                  | 3,42        | 3,4         | 3,85                  | 3,62        | 3,6         | 3,74                 | 3,41        | 3,4         |
| 3,86  | 3,96                  | 3,63        | 3,58        | 3,67                  | 3,28        | 3,31        | 3,81                 | 3,56        | 3,52        |
| 3,74  | 3,7                   | 3,45        | 3,44        | 3,63                  | 3,31        | 3,32        | 3,62                 | 3,39        | 3,35        |
| 3,82  | 3,61                  | 3,42        | 3,41        | 3,76                  | 3,38        | 3,34        | 3,44                 | 3,21        | 3,18        |
| Frezelenmiş Alüminyum M10 Civata Tork = 25 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                       | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 3,82  | 3,68                  | 3,24        | 3,21        | 3,95                  | 3,42        | 3,4         | 3,82                 | 3,45        | 3,45        |
| 3,85  | 3,74                  | 3,35        | 3,32        | 3,52                  | 3,15        | 3,12        | 3,31                 | 3,28        | 3,28        |
| 3,86  | 3,7                   | 3,34        | 3,34        | 3,53                  | 3,18        | 3,15        | 3,55                 | 3,23        | 3,2         |
| 3,84  | 3,92                  | 3,68        | 3,62        | 3,84                  | 3,52        | 3,51        | 3,64                 | 3,31        | 3,31        |
| Frezelenmiş Alüminyum M10 Civata Tork = 35 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                       | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 3,75  | 3,75                  | 3,37        | 3,35        | 3,47                  | 3,02        | 3           | 3,82                 | 3,42        | 3,4         |
| 3,81  | 3,76                  | 3,38        | 3,34        | 3,74                  | 3,21        | 3,18        | 3,95                 | 3,62        | 3,61        |
| 3,83  | 3,53                  | 3,05        | 3,02        | 3,65                  | 3,28        | 3,24        | 3,71                 | 3,32        | 3,32        |
| 3,85  | 3,67                  | 3,31        | 3,28        | 3,41                  | 3,06        | 3,02        | 3,75                 | 3,47        | 3,4         |

Çizelge 4.107 Alüminyum flanş ve M12 civata kullanılarak ölçülen yüzey pürüzlülüğü kayıpları

| Frezelenmiş Alüminyum M12 Civata Tork = 15 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
|---|-----------------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                       | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 3,45  | 3,91                  | 3,71        | 3,7         | 3,6                   | 3,41        | 3,4         | 3,32                 | 3,15        | 3,12        |
| 3,65  | 3,96                  | 3,65        | 3,62        | 3,71                  | 3,51        | 3,5         | 3,41                 | 3,22        | 3,21        |
| 3,42  | 3,7                   | 3,52        | 3,5         | 3,55                  | 3,32        | 3,31        | 3,84                 | 3,61        | 3,55        |
| 3,48  | 3,61                  | 3,45        | 3,4         | 3,54                  | 3,34        | 3,32        | 3,45                 | 3,23        | 3,2         |
| Frezelenmiş Alüminyum M12 Civata Tork = 25 Nm |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                       | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 3,74  | 3,44                  | 3,12        | 3,1         | 3,73                  | 3,52        | 3,5         | 3,42                 | 3,18        | 3,12        |
| 3,72  | 3,65                  | 3,32        | 3,28        | 3,82                  | 3,64        | 3,6         | 3,53                 | 3,23        | 3,21        |
| 3,63  | 3,38                  | 3,09        | 3,05        | 3,45                  | 3,18        | 3,15        | 3,45                 | 3,15        | 3,15        |
| 3,42  | 3,42                  | 3,21        | 3,2         | 3,36                  | 3,12        | 3,11        | 3,81                 | 3,61        | 3,62        |
| Frezelenmiş Alüminyum M12 Civata Tork= 35 Nm  |                       |             |             |                       |             |             |                      |             |             |
| R <sub>ZC</sub><br>(µm)                       | R <sub>Zfı</sub> (µm) |             |             | R <sub>Zfa</sub> (µm) |             |             | R <sub>ZS</sub> (µm) |             |             |
| Önce  | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                  | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney | Önce                 | 1.<br>Deney | 2.<br>Deney |
| 3,81  | 3,77                  | 3,42        | 3,42        | 3,72                  | 3,41        | 3,38        | 3,96                 | 3,71        | 3,7         |
| 3,85  | 3,75                  | 3,35        | 3,41        | 3,85                  | 3,52        | 3,5         | 3,56                 | 3,25        | 3,25        |
| 3,74  | 3,65                  | 3,4         | 3,4         | 3,68                  | 3,45        | 3,45        | 3,78                 | 3,42        | 3,42        |
| 3,42  | 3,82                  | 3,56        | 3,5         | 3,46                  | 3,15        | 3,12        | 3,88                 | 3,62        | 3,6         |

Çizelge 4.108 Alüminyum flanş ve M8 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları

| M8        | 1. Deney                           |   |    | 2. Deney                           |   |     |
|-----------|------------------------------------|---|----|------------------------------------|---|-----|
| Tork (Nm) | $R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | %  | $R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   |
| 15        | 3,77                               | 0,53                                      | 14 | 3,22                               | 0,01                                      | 0,3 |
| 25        | 3,73                               | 0,56                                      | 15 | 3,18                               | 0,02                                      | 0,6 |
| 35        | 3,6                                | 0,54                                      | 15 | 3,06                               | 0,04                                      | 1,3 |
| Tork (Nm) | $R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | $\Delta R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | %  | $R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | $\Delta R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | %   |
| 15        | 3,88                               | 0,46                                      | 12 | 3,42                               | 0,03                                      | 0,9 |
| 25        | 3,87                               | 0,51                                      | 13 | 3,37                               | 0,01                                      | 0,1 |
| 35        | 3,76                               | 0,59                                      | 15 | 3,17                               | 0,02                                      | 0,4 |
| Tork (Nm) | $R_{ZS}$ ( $\mu\text{m}$ )         | $\Delta R_{ZS}$ ( $\mu\text{m}$ )         | %  | $R_{ZS}$ ( $\mu\text{m}$ )         | $\Delta R_{ZS}$ ( $\mu\text{m}$ )         | %   |
| 15        | 3,83                               | 0,4                                       | 10 | 3,43                               | 0,02                                      | 0,4 |
| 25        | 3,81                               | 0,46                                      | 12 | 3,35                               | 0,01                                      | 0,7 |
| 35        | 3,55                               | 0,48                                      | 15 | 3,07                               | 0,01                                      | 0,8 |

Çizelge 4.109 Alüminyum flanş ve M10 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları

| M10       | 1. Deney                           |   |     | 2. Deney                           |   |     |
|-----------|------------------------------------|---|-----|------------------------------------|---|-----|
| Tork (Nm) | $R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   | $R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_{Zf\ddot{u}}$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   |
| 15        | 3,8                                | 0,32                                      | 8,3 | 3,48                               | 0,02                                      | 0,6 |
| 25        | 3,76                               | 0,36                                      | 9,5 | 3,4                                | 0,03                                      | 0,8 |
| 35        | 3,68                               | 0,4                                       | 10  | 3,28                               | 0,03                                      | 0,9 |
| Tork (Nm) | $R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | $\Delta R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | %   | $R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | $\Delta R_{Zfa}$ ( $\mu\text{m}$ )        | %   |
| 15        | 3,73                               | 0,33                                      | 8,8 | 3,4                                | 0,01                                      | 0,1 |
| 25        | 3,71                               | 0,39                                      | 10  | 3,32                               | 0,02                                      | 0,6 |
| 35        | 3,57                               | 0,43                                      | 12  | 3,14                               | 0,03                                      | 1   |

| Tork (Nm) | R <sub>ZS</sub> (μm) | ΔR <sub>ZS</sub> (μm) | %   | R <sub>ZS</sub> (μm) | ΔR <sub>ZS</sub> (μm) | %   |
|-----------|----------------------|-----------------------|-----|----------------------|-----------------------|-----|
| 15        | 3,65                 | 0,26                  | 7,1 | 3,39                 | 0,03                  | 0,8 |
| 25        | 3,58                 | 0,26                  | 7,3 | 3,32                 | 0,01                  | 0,2 |
| 35        | 3,81                 | 0,35                  | 9,2 | 3,46                 | 0,02                  | 0,7 |

Çizelge 4.110 M12 civata için sıkma momentine bağlı yüzey pürüzlülüğü kaybı ortalamaları

| M12       | 1. Deney              |                        |      | 2. Deney              |                        |      |
|-----------|-----------------------|------------------------|------|-----------------------|------------------------|------|
| Tork (Nm) | R <sub>Zfū</sub> (μm) | ΔR <sub>Zfū</sub> (μm) | %    | R <sub>Zfū</sub> (μm) | ΔR <sub>Zfū</sub> (μm) | %    |
| 15        | 3,8                   | 0,21                   | 5,6  | 3,59                  | 0,03                   | 0,7  |
| 25        | 3,47                  | 0,28                   | 8,3  | 3,19                  | 0,02                   | 0,8  |
| 35        | 3,75                  | 0,31                   | 8,4  | 3,44                  | 0                      | 0    |
| Tork (Nm) | R <sub>Zfa</sub> (μm) | ΔR <sub>Zfa</sub> (μm) | %    | R <sub>Zfa</sub> (μm) | ΔR <sub>Zfa</sub> (μm) | %    |
| 15        | 3,6                   | 0,21                   | 5,6  | 3,39                  | 0,01                   | 0,3  |
| 25        | 3,59                  | 0,23                   | 6,2  | 3,37                  | 0,03                   | 0,7  |
| 35        | 3,68                  | 0,3                    | 8,2  | 3,38                  | 0,02                   | 0,6  |
| Tork (Nm) | R <sub>ZS</sub> (μm)  | ΔR <sub>ZS</sub> (μm)  | %    | R <sub>ZS</sub> (μm)  | ΔR <sub>ZS</sub> (μm)  | %    |
| 15        | 3,51                  | 0,2                    | 5,78 | 3,31                  | 0,03                   | 1    |
| 25        | 3,55                  | 0,26                   | 7,3  | 3,29                  | 0,02                   | 0,5  |
| 35        | 3,8                   | 0,3                    | 7,7  | 3,5                   | 0,01                   | 0,21 |

Çizelge 4.111 Alüminyum flanş ve M8 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı

| M8        | 1. Deney             |                      |      | 2. Deney             |                      |     |
|-----------|----------------------|----------------------|------|----------------------|----------------------|-----|
| Tork (Nm) | □R <sub>Z</sub> (μm) | ΔR <sub>Z</sub> (μm) | %    | □R <sub>Z</sub> (μm) | ΔR <sub>Z</sub> (μm) | %   |
| 15        | 15,31                | 1,79                 | 11,7 | 13,52                | 0,08                 | 0,6 |
| 25        | 15,22                | 1,99                 | 13   | 13,23                | 0,05                 | 0,3 |
| 35        | 14,46                | 2,09                 | 14,4 | 12,37                | 0,08                 | 0,6 |

Çizelge 4.112 Alüminyum flanş ve M10 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı

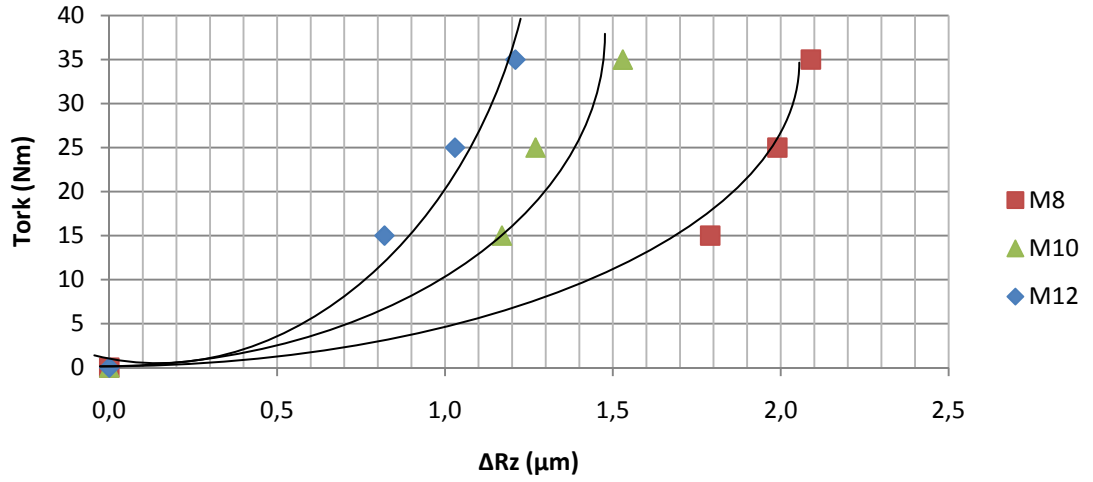
| M10       | 1. Deney                        |                                |      | 2. Deney                        |                                |     |
|-----------|---------------------------------|--------------------------------|------|---------------------------------|--------------------------------|-----|
| Tork (Nm) | $\square R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | %    | $\square R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   |
| 15        | 14,83                           | 1,17                           | 7,8  | 13,66                           | 0,09                           | 0,6 |
| 25        | 14,63                           | 1,27                           | 8,6  | 13,36                           | 0,06                           | 0,4 |
| 35        | 14,87                           | 1,53                           | 10,2 | 13,34                           | 0,08                           | 0,6 |

Çizelge 4.113 Alüminyum flanş ve M12 Civata için sıkma momentine bağlı toplam yüzey pürüzlülüğü kaybı

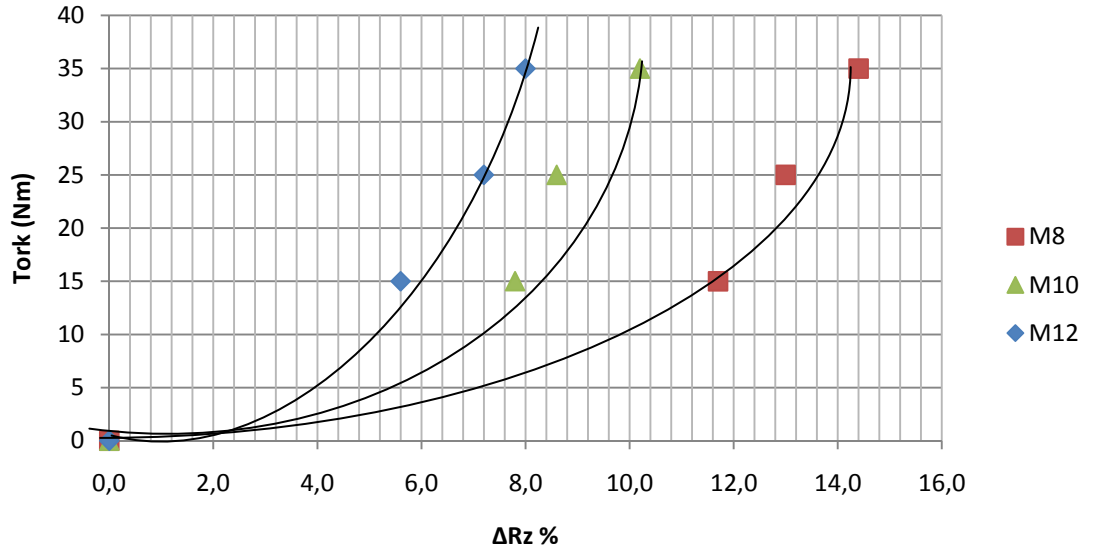
| M12       | 1. Deney                        |                                |     | 2. Deney                        |                                |     |
|-----------|---------------------------------|--------------------------------|-----|---------------------------------|--------------------------------|-----|
| Tork (Nm) | $\square R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   | $\square R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | %   |
| 15        | 14,42                           | 0,82                           | 5,6 | 13,6                            | 0,1                            | 0,7 |
| 25        | 14,16                           | 1,03                           | 7,2 | 13,13                           | 0,09                           | 0,7 |
| 35        | 15,03                           | 1,21                           | 8   | 13,82                           | 0,04                           | 0,3 |

Çizelge 4.114 Frezelenmiş alüminyum yüzeyler için Literatürdeki formül ve tablolardan hesaplanan yüzey pürüzlülüğü kaybı değerleri

| Civata | STEINHILPER                    |                | RENDE 2000                     |                | DECKER                         |                | Deney Sonucu                   |                |
|--------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|
|        | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ % | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ % | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ % | $\Delta R_Z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\Delta R_Z$ % |
| M8     | 2                              | 10,8           | 1,85                           | 10             | 4,5                            | 20             | 2,09                           | 14,4           |
| M10    | 1,86                           | 10             | 1,85                           | 10             | 4                              | 17             | 1,53                           | 10,2           |
| M12    | 1,73                           | 9,3            | 1,85                           | 10             | 3,5                            | 15             | 1,21                           | 8              |

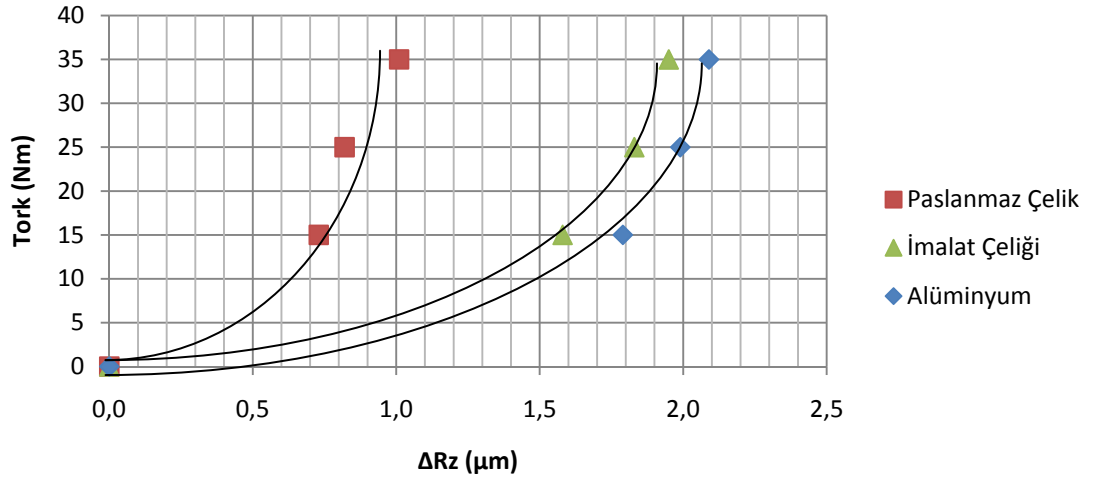


Şekil 4.32 Frezelenmiş alüminyum flanşlar için Moment -  $\Delta R_z$  grafiği

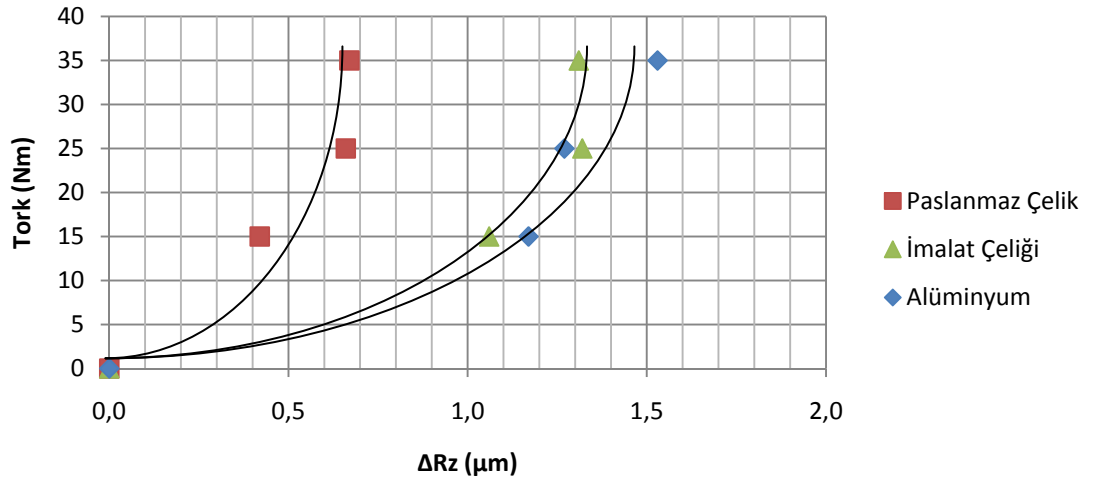


Şekil 4.33 Frezelenmiş alüminyum flanşlar için Moment -  $\% \Delta R_z$  grafiği

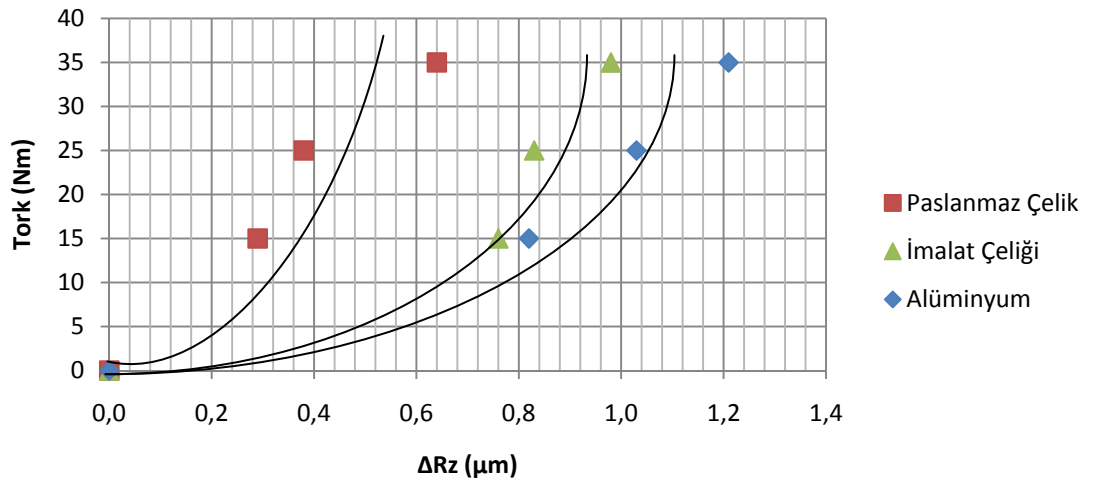
Grafiklerdeki ezilme miktarlarına bakılınca beklenildiği gibi Alüminyum malzemedeki pürüzlerin kendinden daha sert olan paslanmaz çelik ve imalat çeliğine göre olarak daha çok ezildiği görülmektedir. Malzeme sertleştikçe pürüz ezilme miktarları azalmaktadır. Benzer şekilde sıkma momenti arttıkça da pürüz ezilmesi artmaktadır. Ancak aynı moment değeri için civata ebadı küçüldükçe öngerilme kuvveti miktarı arttığı için küçük civatalarda büyük civatalara göre bir miktar fazla pürüz ezilmesi gözlenmiştir.



Şekil 4.34 M8 civata için flanş malzemelerine göre Moment -  $\Delta R_z$  grafiği

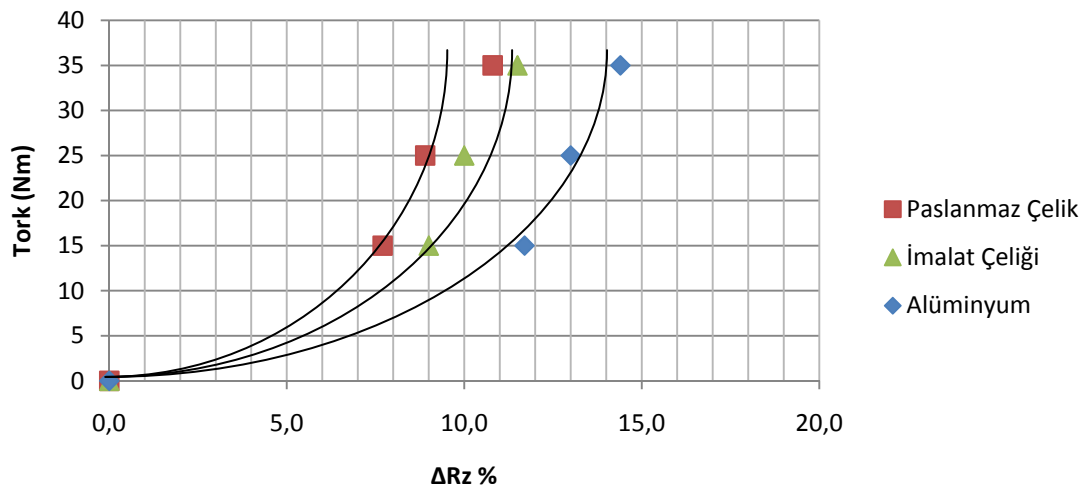


Şekil 4.35 M10 civata için flanş malzemelerine göre Moment -  $\Delta R_z$  grafiği

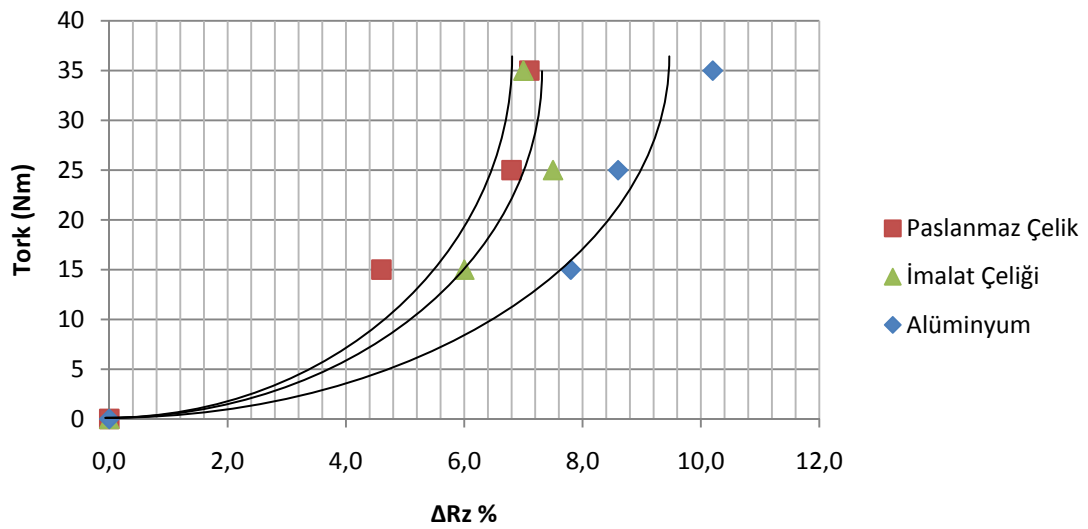


Şekil 4.36 M12 civata için flanş malzemelerine göre Moment -  $\Delta R_z$  grafiği

Burada dikkat edilmesi gereken nokta Şekil 4.35 ve 4.36'da aynı moment uygulanınca sanki imalat çeliği flanşlardaki pürüzlerin kendisinden daha yumuşak olan Alüminyum flanşla aynı miktarda eziliyor gibi görünmesidir. Ancak başlangıçtaki yüzey pürüzlülüğü değerlerini hatırlarsak aynı talaş kaldırma işlemi uygulanmış olmasına rağmen İmalat çeliği flanşların Alüminyuma göre yaklaşık %20 daha pürüzlü olduğudur. Bu durumda daha fazla pürüzün ezilmesi doğaldır. Ancak Şekil 4.37, 4.38 ve 4.39'daki ezilme yüzdelerine bakılınca beklenildiği gibi Alüminyum malzemedeki pürüzlerin yüzde olarak daha çok ezildiği görülmektedir.

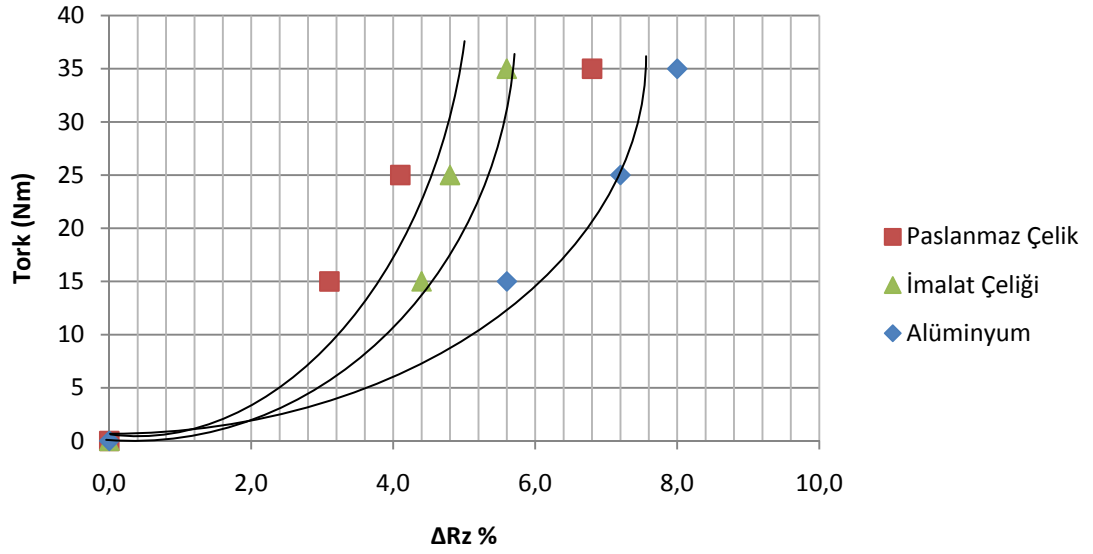


Şekil 4.37 M8 civata için flanş malzemelerine göre Moment - %ΔR<sub>Z</sub> grafiği



Şekil 4.38 M10 civata için flanş malzemelerine göre Moment - %ΔR<sub>Z</sub> grafiği





Şekil 4.39 M12 civata için flanş malzemelerine göre Moment - %ΔR<sub>Z</sub> grafiği

Flanş malzemelerinin sertliklerini hatırlarsak paslanmaz çelik ile imalat çeliği malzemelerimizin birbirine oldukça yakın değerler olduğunu tespit etmiştik. Bu durumun etkisi pürüz ezilme yüzdeleri grafiklerinde kendini göstermektedir. Yüzey kaliteleri birbirinden farklı olmasına rağmen sertlikleri birbirine yakın olan her iki tip malzememizde de yaklaşık aynı yüzde değerlerde pürüz ezilmesi ölçülmüştür.

Deneylerde elde edilen veriler ışığında önerilmeli civata bağlantısında statik durumda meydana gelecek pürüz ezilme miktarının yaklaşık hesabı için aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$\Delta R_Z = k \cdot \sum R_Z$$

$\sum R_Z$  : Temas yüzeylerinin toplam pürüzlülüğü

k değeri maksimum değer olarak aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

İmalat çeliği için k=11,5

Paslanmaz çelik için k=11

Alüminyum için k=14 alınabilir.

Sıkılmış olan bir civata bağlantısında pürüz ezilmesi sonucu bir miktar öngerilme kuvveti kaybının oluşacağı literatürde değinilen bir başka husustur. Sıkıştırılma esnasında boyu uzayan civata, yüzey pürüzlerinin ezilmesi sonucu kısalarak sıkıştırılmadan önceki boyuna dönmeye çalışmaktadır. Yapılan ölçümler sonucunda elde ettiğimiz ortalama yüzey pürüzlülüğü kaybı değerlerinden yola çıkarak pürüzlerde meydana gelen bu ezilmenin öngerilmeli civata bağlantısında ne kadarlık bir öngerilme kuvveti kaybı oluşturacağına ait hesaplanan değerler Çizelge 4.114’de verilmiştir.

Yüzey pürüzlerinin ezilmesine bağlı olarak meydana gelen öngerilme kuvveti kaybının en fazla imalat çeliği flanşlarda olduğu hesaplanmıştır. Uygulanan torka bağlı olarak %5 ile %10 arasında kayıp hesaplanmıştır. Paslanmaz çelik flanşlarda %2,5 ile %3 , Alüminyumda ise bu değerler %2 ile % 3 arasındadır. İmalat çeliğinin yüzeyinin diğer malzemelerinkine göre kaba olması sebebiyle hem daha fazla pürüz ezilmesi oluşmuş hem de sürtünme kuvvetinin büyük olması sebebiyle aynı tork değeri için diğer malzemelerdekine göre daha az öngerilme kuvveti elde edilmiştir. Bu durumda küçük öngerilme kuvveti büyük pürüz ezilmesi kombinasyonu %10 gibi yüksek kayıp yüzdesine sebep olmuştur. Çizelge 4.115.

Çizelge 4.115 Flanş malzemesine bağlı olarak pürüz ezilmesinden kaynaklanan öngerilme kuvveti kaybı

| İmalat Çeliği   | Tork (Nm) | $\Delta R_z(\mu m)$ | $\Delta F_z(N)$ | $F_{ÖN}(N)$ | % Fz |
|-----------------|-----------|---------------------|-----------------|-------------|------|
| M8              | 15        | 1,58                | 833             | 18.897      | 4,2  |
|                 | 25        | 1,83                | 965             | 31.496      | 3    |
|                 | 35        | 1,95                | 1028            | 44.094      | 2,3  |
| M10             | 15        | 1,06                | 873             | 15.904      | 5,2  |
|                 | 25        | 1,32                | 1088            | 21.576      | 4,8  |
|                 | 35        | 1,31                | 1079            | 40.281      | 2,6  |
| M12             | 15        | 0,76                | 902             | 13.531      | 6,2  |
|                 | 25        | 0,83                | 985             | 22.551      | 4,2  |
|                 | 35        | 0,98                | 1163            | 31.571      | 3,6  |
| Paslanmaz Çelik | Tork (Nm) | $\Delta R_z(\mu m)$ | $\Delta F_z(N)$ | $F_{ÖN}(N)$ | % Fz |
| M8              | 15        | 0,73                | 385             | 22.677      | 1,7  |
|                 | 25        | 0,82                | 432             | 37.795      | 1,1  |

| Çizelge 4.115 Devamı |           |                    |                 |             |      |
|----------------------|-----------|--------------------|-----------------|-------------|------|
|                      | 35        | 1,01               | 532             | 52.913      | 1    |
| M10                  | 15        | 0,42               | 346             | 19.085      | 1,8  |
|                      | 25        | 0,66               | 544             | 29.928      | 1,8  |
|                      | 35        | 0,67               | 552             | 41.151      | 1,3  |
| M12                  | 15        | 0,29               | 344             | 16.237      | 2,1  |
|                      | 25        | 0,38               | 451             | 27.061      | 1,6  |
|                      | 35        | 0,64               | 759             | 37.886      | 2    |
| Alüminyum            | Tork (Nm) | $\Delta RZ(\mu m)$ | $\Delta F_Z(N)$ | $F_{ÖN}(N)$ | % Fz |
| M8                   | 15        | 1,79               | 944             | 26.456      | 3,4  |
|                      | 25        | 1,99               | 1049            | 44.094      | 2,3  |
|                      | 35        | 2,09               | 1102            | 61.732      | 1,8  |
| M10                  | 15        | 1,17               | 964             | 22.265      | 4,1  |
|                      | 25        | 1,27               | 1046            | 37.109      | 2,7  |
|                      | 35        | 1,53               | 1261            | 51.952      | 2,4  |
| M12                  | 15        | 0,82               | 973             | 18.943      | 4,9  |
|                      | 25        | 1,03               | 1222            | 35.183      | 3,4  |
|                      | 35        | 1,21               | 1436            | 54.697      | 2,6  |

## 5. SONUÇ

Yapılan deneyler sonucunda , sürtünme kayıpları, yüzey sürtünme katsayıları ve öngerilme kuvveti kaybı açısından literatürde bulunan tablolardaki, formüllerin kullanımıyla yapılan hesaplamalardaki sonuçlarla, deneylerde elde edilen veriler arasında kayda değer farklılıklar göze çarpmaktadır.

Taşlanmış C1050 imalat çeliğinden yapılmış flanşların sıkılması durumunda literatürdeki formüllerle yapılan hesaplamalar sonucunda, uygulanan momentin %88'inin sürtünme kuvvetlerini yenmeye harcadığı hesaplanmıştır. Ancak yapılan deneylerdeki ölçümler sonucunda uygulanan momentin %60'ının sürtünme kuvvetlerini yenmeye harcadığı tespit edilmiştir.

Polisajlanmış 5075 alüminyum flanşların sıkılması durumunda literatürdeki formüllerle yapılan hesaplamalar sonucunda, uygulanan momentin %86'ının sürtünme kuvvetlerini yenmeye harcadığı hesaplanmıştır. Ancak yapılan ölçümler sonucunda uygulanan momentin %60-%65'inin sürtünme kuvvetlerini yenmeye harcadığı tespit edilmiştir. M12 civataya 100 Nm tork uygulanması esnasında alüminyum malzeme için emniyet yüzey basıncı değeri aşıldığı için flanş yüzeyi ezilmiştir. Bu sebeple bu moment değeri için ölçüm alınamamıştır.

Hassas tornalanmış 304 paslanmaz çelik flanşların sıkılması durumunda literatürdeki formüllerle yapılan hesaplamalar sonucunda, uygulanan momentin %90'ının kuvvetlerini yenmeye harcadığı hesaplanmıştır. Ancak yapılan ölçümler sonucunda uygulanan momentin %65-%70'inin sürtünme kuvvetlerini yenmeye harcadığı tespit edilmiştir.

Benzer sonuçlar frezelenmiş flanşlarla yapılan deneylerde de gözlemlenmiştir. Ancak burada teorik hesaplarla ölçümler arasında daha az farklılık göze çarpmaktadır. Diğer bir husus ise sürtünme katsayısının artışına paralel olarak (flanş yüzeyi kabaştıkça) ölçüm değerlerinde de geniş bir alana saçılma oluşmasıdır.

Frezelenmiş C1050 imalat çeliğinden yapılmış flanşların sıkılması durumunda literatürdeki formüllerle yapılan hesaplamalar sonucunda, uygulanan momentin %90'ının sürtünme kuvvetlerini yenmeye harcanması gerektiği hesaplanmıştır. Ancak yapılan ölçümler sonucunda %70-%80'inin sürtünme kuvvetlerini yenmeye harcandığı tespit edilmiştir.

Frezelenmiş 304 paslanmaz çelikten yapılmış flanşların sıkılması durumunda literatürdeki formüllerle yapılan hesaplamalar sonucunda uygulanan momentin %90'ının sürtünmeye harcanması gerektiği hesaplanmıştır. Ancak yapılan ölçümler sonucunda %68-%73'ünün sürtünme kuvvetlerini yenmeye harcandığı tespit edilmiştir. Burada frezelenmiş ve hassas tornalanmış paslanmaz çelik yüzeyler için yaklaşık aynı değerler ölçülmüştür.

Frezelenmiş 5075 alüminyumdan yapılmış flanşların sıkılması durumunda literatürdeki formüllerle yapılan hesaplamalar sonucunda uygulanan momentin %89'unun sürtünme kuvvetlerini yenmeye harcanması gerektiği hesaplanmıştır. Ancak yapılan ölçümler sonucunda %63-%72'sinin sürtünme kuvvetlerini yenmeye harcandığı tespit edilmiştir.

Deneyler esnasında yağlamanın da etkisi incelenmiştir. Yağlayıcı olarak kırmızı gres yağı kullanılmıştır. Frezelenmiş flanş yüzeyleri yağlanarak ölçümler alınmıştır. Deneyler sonucunda imalat çeliği ve paslanmaz çelik yüzeylerde sürtünme kayıpları %70-%80'lerden %55-%60'lara, alüminyum yüzeylerde ise sürtünme kayıpları %65-%70'lerden %45-%55'lere kadar düşmüştür.

Literatürde civata sıkılırken uygulanan momentin yaklaşık %90'ının sürtünmeyi yenmeye harcandığına dair genel bir kanı olduğuna biliyoruz. Bu görüşten yola çıkılarak pek çok tork tablosu hazırlanmış ve önerilmiştir. Ancak yaptığımız deneyler sonucunda, civatalar torklanırken literatürde bulunan tablolardaki tavsiye edilen moment değerlerinin kullanılması durumunda elde edilecek önerilme kuvvetinin eğer yüzeyler ince işlenmiş ise (taşlama , polisajlama, hassas tornalama...) civatanın akma sınırını dahi aşabilecek değerlere çıkabileceğidir. Bu durumda civata bağlantısına

gelecek herhangi bir işletme kuvveti sonucunda ya civata kalıcı şekil değişikliğine uğrayacak, kuvvet kalktıktan sonra aynı şeklini koruyacak böylece bağlantı gevşeyerek çözülecek, ya da eğer gelen kuvvet çok daha büyük ise civata bağlantısı koparak hasar görecektir. Bu sebeple hassas işlenmiş yüzeylerde öngerilmeli civata bağlantısı yapılmak istenildiği durumlarda mutlaka bu durum göz önünde bulundurularak moment değerleri daha küçük seçilmelidir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda yağlayıcı olarak molibden yağlayıcıların kullanılması ve civata oturma yüzeylerine pul konularak bu durumdaki öngerilme kuvvetlerinin gözlemlenmesi bu tez kapsamında değinilemeyen kısımların da aydınlanması açısından faydalı olacaktır. Ayrıca civata malzemesi olarak siyahlaştırılmış civatalar dışında kalan örneğin paslanmaz çelik yada daha yüksek kalite çelik civataların kullanılması da uygun olacaktır.

Yapılan deneyler kapsamında literatürde pek değinilmeyen ya da hesaplamalarda genellikle göz ardı edilen flanş temas yüzeylerindeki pürüzlerin ezilmesiyle meydana gelen plastik deformasyonların oluşturduğu öngerilme kuvveti kaybı miktarı da ölçülmeye çalışılmıştır.

İncelenen kaynaklarda pürüz ezilmesinin tecrübi olarak yaklaşık %5 ile %10 arasında bir öngerilme kuvveti kaybına sebep olabileceği belirtilmektedir. Formül ve tablolardan ise yaklaşık 2 µm pürüz ezilmesi olabileceği hesaplanmaktadır. Deneyler sonucunda frezelenmiş 304 paslanmaz çelik flanşlarda ( $R_z \approx 2,5 \mu\text{m}$ ) maksimum 1 µm yaklaşık % 10,8 yüzey pürüzlülüğü kaybı gözlemlenmiştir. Pürüz ezilmesi en çok % 2 öngerilme kuvveti kaybı oluşturmuştur. Frezelenmiş C1050 İmalat çeliği flanşlarda ( $R_z \approx 4,5 \mu\text{m}$ ) en çok 1,95 µm yaklaşık % 11,5 yüzey pürüzlülüğü kaybı gözlemlenmiştir. Pürüz ezilmesi en çok % 6,2 öngerilme kuvveti kaybı oluşturmuştur. Frezelenmiş 5075 Alüminyum flanşlarda ( $R_z \approx 3,5 \mu\text{m}$ ) en çok 2 µm yaklaşık % 14,4 yüzey pürüzlülüğü kaybı gözlemlenmiştir. Pürüz ezilmesi en çok % 4,9 öngerilme kuvveti kaybı oluşturmuştur. Alüminyum ve imalat çeliğinde ölçülen değerler literatürdeki değerlerle yaklaşık olarak aynı değerlerdedir. Paslanmaz çelik için ölçülen değerler µm olarak %50 kadar az ölçülmekle beraber yüzey pürüzlülüğünün imalat çeliğine göre % 45 az olmasının bu sapmayı oluşturduğunu tahmin ediyoruz. Öngerilmeli bir civata bağlantısının hesabını yaparken ortalama olarak %5 kadar pürüz ezilmesinden dolayı

oluşabilecek öngerilme kaybı değeri göz önünde bulundurulursa daha doğru olacağını söyleyebiliriz

Yüzde olarak öngerilme kuvveti kaybının daha detaylı incelenebilmesi için flanş yüzeylerinin , flanş malzemesi ne olursa olsun aynı kalitede işlenerek birbirine yakın yüzey pürüzlülüğü için deneylerin yapılması daha uygun olacaktır. Aksi takdirde sürtünme kuvveti değişken olup aynı tork için farklı flanş malzemelerinde çok farklı öngerilme kuvveti değerleri elde edilmektedir. Bu durumda kıyas yapmak yanıltıcı olabilmektedir.

Flanşların ikinci kez sıkılması durumunda kayda değer bir pürüz ezilmesi görülmemiştir. Bu durum uygulamada çok yaygın olan ‘civatayı sıkıp-çözmek , sonra tekrar sıkılmak’ uygulamasının plastik deformasyona bağlı öngerilme kuvveti kaybını engellemek için faydalı olduğunun göstermektedir.

Esasında pürüz ezilmesine bağlı oluşan plastik deformasyon olayı montaj esnasından ziyade işletme kuvvetleri etkisi altında özellikle titreşimli yükleme durumlarında artmaktadır. Bu sebeple ileride yapılacak benzer çalışmalarda bir titreşim düzeneği kurularak belli zaman periyotlarında pürüzlerin ezilmesinin gözlemlenmesi daha doğru sonuçlar verecek ve daha faydalı olacaktır.

Yapılan deneyler kapsamında yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının ölçüm ucunun vida dişlerinin arasına giremeyecek kadar büyük olması sebebiyle civata ve somun dişlerinde meydana gelen pürüz ezilmesi miktarı ölçülememiştir. Benzer şekilde flanş yüzeyleri ölçümü yapılırken montaj öncesi ve montaj sonrası aynı noktadan ölçüm almak gerekmiş ve cihaz elle konumlandırıldığı için bu konuda güçlük çekilmiştir. Bu konuda daha hassas otomatik konumlamalı, yüzeylerden hem ölçüm hem görüntüleme yapabilecek cihazların kullanılarak deneylerin yapılması uygun olacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

- ANONİM-I.2001.Operating Instructions Perthometer M2 and M3 with PJM Drive Unit,
- ANONİM-II. 2002. Bağlantı Elemanları – Civatalar İçin Boşluklu Delikler, Türk Standartları Enstitüsü – TS 528 EN 20273/Nisan 2002, Ankara
- ANONİM-III.2001.Operation Manual MINI-MAX Bolt Tension Monitor, Dakota Ultrasonics, August 2008, USA
- ANONİM-IV GEMALMAYAN N. 2009. <http://websitem.gazi.edu.tr/nihatgem>
- ANONİM-V SOUTHERN ILLINOIS UNIVERSITY, 2005. Surfaces and Contact Mechanics, <http://frictioncenter.engr.siu.edu/course/file10.html>
- BABALIK, F. C. 1997. Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, Cilt 1, ss:362, Bursa
- BICKFORD J. H. 1995. An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints. CRC Press, USA
- DECKER K. H. Machinelemente Gestaltung un Berenchnung 10. Auflage Tabellen anhang. Carl Hanser Verlag München Wien DEUTSCHLAND
- FISHER J. W. and STRUIK J. H. A. Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints. American Institute of Steel Construction, 1987, Chicago
- HART V. G. and Jones J. F. 1971. Torque-Tension Relationship and Static Preload Loss of High Strenght, Heat Resistant, and Corrosion Resistant Aircraft Alloy Fasteners. LR 25049 (yayınlanmamış). California. USA.
- MAHR GMBH-Germany, Mahr Federal Inc.-USA, pp. 93
- MUNSE W. H. High-Strenght Bolting. AISC Engineering Journal, Illionis 1966
- NASA. 1998. Criteria for Preloaded Bolts. NSTS 08307 Revision A (Yayınlanmamış). Houston, Texas.
- NASSAR S. A. and MATIN P. H. Clamp Load Lose Due to Fastener Elongation Beyond its Elastic Limit. Journal of Pressure Vessel Technology. Vol. 128. 2006
- RENDE, H. 2000. Makine Elemanları. Seç Yayın Dağıtım, Cilt 1, Antalya
- SLEINHIPER W. und ROPER R. Maschinen und Konstruktions Elemente, Springer Verlag, Band II, 1986, Berlin, Heidelberg, Newyork, Tokyo.
- SONG S. and YAMAGUCHI T. and KITADA T. Analytical Study on Mechanical Behaviour of High Strenght Bolted Tensile Joints with High Strenght and High



Ductility Bolts. Mem. Fac. Eng. , Osaka City Univ. , Vol. 46, pp. 45-50, 2005 ,  
Japan

## ÖZGEÇMİŞ

Burak MEŞHUR 1981 yılında Antalya’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya’da tamamladı. 1999 yılında girdiği Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2003 yılında mezun oldu. Bursa İlinde çeşitli otomotiv yan sanayi kuruluşlarında Arge mühendisliği yaptı. 2005 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitime başladı. Eğitimini sürdürürken serbest mühendis olarak çalışmaya devam etti. 2009 yılında Antalya Serbest Bölgesinde tasarım mühendisi olarak işe başladı. Halen tasarım mühendisliği görevini sürdürmektedir. Evli ve 1 çocuk babasıdır.