

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPIŞTIRILMIŞ CIVATA BAĞLANTILARININ DİNAMİK YÜKLER
ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Murat ERTÜRK**

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Programı : Yüksek Lisans

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU

HAZİRAN 2012

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 091111023 nolu öğrencisi Murat ERTÜRK tarafından hazırlanan “YAPIŞTIRILMIŞ CIVATA BAĞLANTILARININ DİNAMİK YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

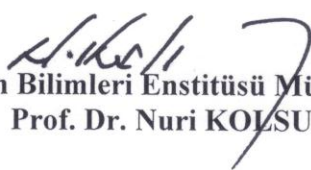
Jüri Başkanı : Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU (PAÜ)

Jüri Üyesi: Doç. Dr. Emin ERGUN (PAÜ)

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Gökmen ATLIHAN (PAÜ)



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .19.07.2012 tarih ve .18.11.7..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza

:



Öğrenci Adı Soyadı

:

Murat ERTÜRK

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın başlangıcından bitimine kadar her aşamada çalışmayı yönlendiren, tezin şekillenmesinde önerileriyle yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU'na, deneysel çalışmalarımı yapmamı sağlayan Sayın Adnan BAKIRSOY'a ve Fatih Kalem A.Ş'ye, test makinesinde yapılan düzeltme çalışmalarındaki desteklerinden ötürü babam Sayın Kemal ERTÜRK'e, Sayın Ömer DEMİR'e ve Sayın İbrahim DARICI'ya teşekkürü bir borç bilir, şükranlarımı sunarım. Bu tez Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2010FBE095 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Pamukkale Üniversitesi Rektörlüğü'ne bu desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2012

Murat ERTÜRK
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Özeti	2
2. CIVATA BAĞLANTILARI	7
2.1 Cıvata Bağlantılarının Sınıflandırılması.....	7
2.1.1 Eksenel yük bağlantıları.....	8
2.1.1.1 Konsantrik eksenel yük bağlantıları.....	8
2.1.1.2 Eksantrik eksenel yük bağlantıları	8
2.1.2 Kesme yükü bağlantıları	9
2.1.2.1 Sürtünme tipi bağlantı	10
2.1.2.2 Yatak tipi bağlantı	10
2.1.3 Bileşik yük bağlantıları	11
2.2 Sıkıştırma Kuvveti ve Ön Yük	11
2.2.1 Tork-Ön yük ilişkisi	12
2.2.2 Tork-Ön yük ilişkisini etkileyen faktörler	13
2.2.2.1 Sürtünmeyi etkileyen değişkenler	13
2.2.2.2 Geometrik değişkenler	13
2.2.2.3 Gerilme enerjisi kaybı	14
2.2.2.4 Baskın tork	14
2.2.2.5 Ağırlık etkisi.....	14
2.2.2.6 Delik engeli	14
2.2.2.7 Dişlerin uyum sorunu	14
2.2.2.8 Mekanik.....	14
2.2.2.9 Takım hassasiyeti	15
2.2.2.10 Çeşitli faktörler.....	15
2.3 Kısa Dönem Gevşeme	15
2.3.1 Kısa dönem gevşemenin kaynakları	15
2.3.1.1 Zayıf diş teması	16
2.3.1.2 Diş temasının çok kısa olması	16
2.3.1.3 Yumuşak parçalar.....	16
2.3.1.4 Eğilme	16
2.3.1.5 Dik olmayan somunlar ve cıvata başları	16
2.3.1.6 Köşeler ve küçük delikler.....	17
2.3.1.7 Büyük delikler	17
2.3.1.8 Konik yapı	17
2.3.2 Kısa dönem gevşemeye etki eden faktörler	18
2.3.2.1 Cıvata uzunluğu.....	18
2.3.2.2 Konik rondelalar.....	18
2.3.2.3 Bağlantı parçalarının sayısı	19

2.3.2.4 Sıkma hızı.....	19
2.3.2.5 Eğik bağlantı parçaları	19
2.4 Cıvata Bağlantılarında Uygulanan Kontrol Yöntemleri.....	19
2.4.1 Tork-Açı kontrolü	20
2.4.2 Uzama ölçme teknikleri	20
2.4.2.1 Çeneli mikrometre.....	20
2.4.2.2 Derinlik mikrometreleri.....	21
2.4.2.3 Ultrasonik ölçüm	21
2.4.3 Direkt ön yük kontrolü.....	23
2.4.3.1 Uzama ölçerli (strain gage) cıvatalar.....	23
2.4.3.2 Ölçü cıvatası	23
2.4.3.3 Uzama ölçerli (strain gage) kuvvet rondelaları	24
2.4.3.4 Direkt gerilme göstergeleri (DTI)	24
3. CIVATA BAĞLANTILARINDA EMNİYET	26
3.1 Cıvata Bağlantılarında Hasar	26
3.2 Hasar Oluşumunda Temel Şartlar	28
3.3 Hasar Açısından Ön Yükün Önemi.....	29
3.4 Kendiliğinden Gevşeme	29
3.4.1 Junker'in kendiliğinden gevşeme teorisi.....	30
3.4.2 Titreşime direnme, ön yük ve sürtünmeyi koruma	31
3.4.2.1 Özel diş kilitlemesi (Spiralock).....	32
3.4.2.2 Nord-Lock rondelalar	33
3.4.2.3 Eksantrik somun (Hard-Lock).....	34
3.4.2.4 Çift somun	35
3.4.2.5 Kilitleme telleri ve pimleri	36
3.4.2.6 Plastik dolgulu somun	36
3.4.2.7 Tek-Lok ve Omni-Lok cıvatalar	37
3.4.2.8 Çeşitli rondelalar	37
3.4.2.9 Anaerobik yapıştırıcılar	38
3.4.3 Test yöntemleri	39
3.4.3.1 NAS test yöntemi	39
3.4.3.2 Junker test yöntemi.....	40
4. MATERYAL VE METOT	42
4.1 Deney Düzeneği	42
4.2 Ultrasonik Ölçme Cihazı.....	43
4.3 Tork Anahtarı	44
4.4 Yapıştırıcının Teknik Özellikleri.....	44
4.5 Test Cıvataları ve Bağlantı Parçaları.....	45
4.6 Cıvataların Test Makinesine Bağlanması ve Ölçme İşlemi	46
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	49
5.1 Boyut Etkisi.....	52
5.2 Kaplama Etkisi	55
5.3 Diş Tipi Etkisi	58
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR	66
EKLER.....	68

KISALTMALAR

DTI	: Direkt Gerilme Göstergesi (Direct Tension Indicator)
SCC	: Gerilme Korozyon Çatlağı (Stress Corrosion Cracking)
NAS	: Ulusal Havacılık ve Uzay Standartı (National Aerospace Standarts)
mm	: Milimetre
N	: Newton
Nm	: Newtonmetre
Hz	: Hertz
kg	: Kilogram
s	: Saniye
mPa.s	: Mili Pascal Saniye
kN	: Kilonewton

TABLO LİSTESİ

Tablolar

4.1 : Saatli tork anahtarının teknik özellikleri.....	44
4.2 : Yapıştırıcının özellikleri	45
4.3 : Uygulanan tork değerleri	48
5.1 : Deney şartları.....	49
5.2 : Normal diş cıvata ortalama değerleri.....	50
5.3 : İnce diş cıvata ortalama değerleri	51
A.1 : M10 kaplanmamış normal diş cıvata deney sonuçları.....	68
A.2 : M12 kaplanmamış normal diş cıvata deney sonuçları.....	69
A.3 : M16 kaplanmamış normal diş cıvata deney sonuçları.....	70
A.4 : M10 çinko kaplı normal diş cıvata deney sonuçları	71
A.5 : M12 çinko kaplı normal diş cıvata deney sonuçları	72
A.6 : M16 çinko kaplı normal diş cıvata deney sonuçları	73
A.7 : M10 çinko fosfat kaplı normal diş cıvata deney sonuçları	74
A.8 : M12 çinko fosfat kaplı normal diş cıvata deney sonuçları	75
A.9 : M16 çinko fosfat kaplı normal diş cıvata deney sonuçları	76
A.10 : M10 kaplanmamış ince diş cıvata deney sonuçları	77
A.11 : M12 kaplanmamış ince diş cıvata deney sonuçları	78
A.12 : M16 kaplanmamış ince diş cıvata deney sonuçları	79
A.13 : M10 çinko kaplı ince diş cıvata deney sonuçları.....	80
A.14 : M12 çinko kaplı ince diş cıvata deney sonuçları.....	81
A.15 : M16 çinko kaplı ince diş cıvata deney sonuçları.....	82
A.16 : M10 çinko fosfat kaplı ince diş cıvata deney sonuçları.....	83
A.17 : M12 çinko fosfat kaplı ince diş cıvata deney sonuçları.....	84
A.18 : M16 çinko fosfat kaplı ince diş cıvata deney sonuçları.....	85

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

2.1 : Konsantrik aksenal yük bağlantıları	8
2.2 : Eksantrik aksenal yük bağlantıları.....	9
2.3 : Kesme yükü bağlantıları	9
2.4 : Kesme yükü bağlantılarının enine kuvvet ile oluşan deformasyonu	10
2.5 : Bileşik yük bağlantıları.....	11
2.6 : Uygulanan torkun reaksiyon torkları üzerindeki dağılımı.....	12
2.7 : Cıvata deliğinin küçük olması durumunda delik ile gövde teması.....	17
2.8 : Büyük delik olması durumunda oluşan gömülme	17
2.9 : Konik yapı bağlantısı.....	18
2.10 : Konik rondela ile yapılmış cıvata bağlantısı	19
2.11 : Çeneli mikrometre ile cıvata ölçümü.....	20
2.12 : Derinlik mikrometresi.....	21
2.13 : Ultrasonik ölçüm cihazı.....	22
2.14 : Uzama ölçerli (strain gage) cıvata	23
2.15 : Ölçü cıvatası	24
2.16 : Uzama ölçerli (strain gage) kuvvet rondelası	24
2.17 : Direkt gerilme gösteren rondela	25
3.1 : Titreşim etkisinde kayma oluşumu	31
3.2 : Kaymayı önleyen tasarım şekilleri	32
3.3 : Spiralock diş yapısı ve yük dağılımı.....	33
3.4 : Tel diş eklenmiş bağlantı	33
3.5 : Nord-Lock rondela	34
3.6 : Eksantrik somun	35
3.7 : Çift somun	35
3.8 : Kilitleme telleri ve pimler.....	36
3.9 : Plastik dolgulu somun	36
3.10 : Tek-Lok cıvatalar.....	37
3.11 : Omni-Lok cıvatalar.....	37
3.12 : Çeşitli rondelalar.....	38
3.13 : Anaerobik yapıştırıcı uygulanmış cıvata	38
3.14 : NAS test makinesi	39
3.15 : Junker test makinesinin ana bölümleri	40
3.16 : Junker test makinesi.....	41
3.17 : Erichsen (Junker) test makinesi	41
4.1 : Pnömatik test makinesi	42
4.2 : Ultrasonik ölçme cihazı ve temas jeli.....	43
4.3 : Saatli tork anahtarı	44
4.4 : Test cıvataları	45
4.5 : Alt burçlar ve üst başlıklar.....	46
4.6 : Cıvata bağlantı şekli	46
4.7 : Test makinesine bağlanmış cıvata	47

4.8 : Boyutlara göre bağlantı şekli ve sıkıştırma uzunlukları	47
5.1 : Kaplanmamış normal diş cıvatanın boyuta göre uzama değişimi	52
5.2 : Çinko kaplı normal diş cıvatanın boyuta göre uzama değişimi.....	52
5.3 : Çinko fosfat kaplı normal diş cıvatanın boyuta göre uzama değişimi.....	53
5.4 : Kaplanmamış ince diş cıvatanın boyuta göre uzama değişimi	53
5.5 : Çinko kaplı ince diş cıvatanın boyuta göre uzama değişimi	54
5.6 : Çinko fosfat kaplı ince diş cıvatanın boyuta göre uzama değişimi	54
5.7 : M10 Normal diş cıvatanın kaplama türüne göre uzama değişimi	55
5.8 : M12 Normal diş cıvatanın kaplama türüne göre uzama değişimi	55
5.9 : M16 Normal diş cıvatanın kaplama türüne göre uzama değişimi	56
5.10 : M10 İnce diş cıvatanın kaplama türüne göre uzama değişimi	56
5.11 : M12 İnce diş cıvatanın kaplama türüne göre uzama değişimi	57
5.12 : M16 İnce diş cıvatanın kaplama türüne göre uzama değişimi	57
5.13 : M10 Kaplanmamış cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi.....	58
5.14 : M10 Çinko kaplı cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi	58
5.15 : M10 Çinko fosfat kaplı cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi	59
5.16 : M12 Kaplanmamış cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi.....	59
5.17 : M12 Çinko kaplı cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi	60
5.18 : M12 Çinko fosfat kaplı cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi	60
5.19 : M16 Kaplanmamış cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi.....	61
5.20 : M16 Çinko kaplı cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi	61
5.21 : M16 Çinko fosfat kaplı cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi	62
6.1 : Normal diş cıvataların deney sonunda uzamadaki değişim değerleri	63
6.2 : İnce diş cıvataların deney sonunda uzamadaki değişim değerleri.....	64

SEMBOL LİSTESİ

°F	Fahrenheit
°C	Santigrat derece
%	Yüzde
F	Kuvvet
α	Tırtıl yüzeyler arasındaki açı
β	Cıvata diş açısı
d	Cıvata çapı
h	Vida adımı
L	Sıkıştırma uzunluğu
E	Uzamadaki değişim
L_1	Cıvatanın deney süresince ölçülen uzunluğu
L_2	Cıvatanın sıkıldıktan sonraki uzunluğu
N	Çevrim sayısı

ÖZET

YAPIŞTIRILMIŞ CIVATA BAĞLANTILARININ DİNAMİK YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Cıvata bağlantılarında dinamik yüklerin etkisiyle meydana gelen kendiliğinden gevşemeyi önlemek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada bu yöntemlerden biri olan anaerobik yapıştırıcı kullanılarak cıvata bağlantısının cıvata boyutuna, kaplama türüne ve diş tipine göre kendiliğinden gevşemeye karşı dayanımı incelenmiştir. Deneylerde üç farklı kaplanmamış, çinko ve çinko fosfat kaplı 8.8 kalite M10, M12 ve M16 normal ve ince diş cıvata kullanılmıştır. Deneyler pnömatik sistem ile çalışan test makinesinde yapılmıştır. Deneyler sırasında belirli zamanlarda makine durdurularak ultrasonik ölçüm cihazı ile cıvatadaki uzama değişimleri ölçülmüş ve ölçülen değerlerin çevrim sayısına göre değişimleri incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda boyut etkisine göre en iyi dayanım M10 cıvatalarda, en kötü dayanım M16 cıvatalarda elde edilmiştir. Kaplama türüne göre en iyi dayanım çinko fosfat kaplı cıvatalarda, en kötü dayanım çinko kaplı cıvatalarda elde edilmiştir. Diş tipine göre ince diş cıvatalar normal diş cıvatalardan daha iyi dayanım göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Gevşeme, Cıvata Bağlantıları, Yapıştırma

SUMMARY

AN INVESTIGATION OF BOLTED JOINTS WITH LOCKED ADHESIVE UNDER DYNAMIC LOADS

In bolted joints many methods used to prevent self-loosening which caused by dynamic loads. In this study, strength of bolted joints were investigated against to self-loosening according to the bolt size, the type of coating and pitch using an anaerobic adhesive which is one of these methods. In experiments three different uncoated, zinc and zinc phosphate coated 8.8 grade M10, M12 and M16 coarse and fine pitch steel bolts were used. Experiments were made on test machine which works as pneumatic. Test machine was stopped at certain times during experiments and elongation changes measured by ultrasonic bolt meter and measured values were investigated by the number of cycles.

As a result of experimental studies, for bolt size effect the best strength was obtained M10 bolts, the worst strength was obtained M16 bolts. For coating type, the best strength was obtained zinc phosphated bolts, the worst strength was obtained zinc coated bolts. According to pitch type, fine pitch bolts showed good resistant than coarse pitch bolts.

Key Words: Self-Loosening, Bolted Joints, Adhesively Bonded Joints

1. GİRİŞ

Birçok alanda kullanılan cıvata bağlantılarında yapılan iş ve çevre etkisinde çeşitli hasarlar ortaya çıkar. Bağlantıya etki eden titreşim ve dinamik yükler bağlantılarda kendiliğinden gevşeme meydana getirir. Özellikle emniyetin çok önemli olduğu otomotiv, uzay ve havacılık endüstrisinde bu durum oldukça önemlidir. Kendiliğinden gevşemeye sürtünme, cıvata kalitesi, dış yapısı, kaplama, cıvata boyu gibi birçok faktör etki etmektedir. Bu nedenle bu konuyla ilgili farklı çalışmalar yapılmaktadır. Cıvata bağlantılarında oluşan kendiliğinden gevşemeyi veya bağlantının dağılmasını önlemek için plastik dolgulu somunlar, tırtırlı rondelalar, kilitleme telleri, yapıştırıcılar kullanılması, farklı tasarım şekillerinin uygulanması gibi birçok yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin dayanımları etki eden titreşim ve dinamik yüklerin büyüklüğüne ve yük periyotlarına göre farklılık göstermektedir. Buna göre uygulanan bu yöntemlerin dayanımları, kullanım kolaylığı, maliyeti göz önünde bulundurularak çalışma şartlarına uygun yöntemin seçilmesi bağlantının ömrü açısından büyük önem taşımaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Değişken yüklere veya titreşime maruz kalan cıvata bağlantılarında kendiliğinden gevşeme meydana gelmektedir. Bunu önlemek için birçok yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin bağlantıların gevşemeye karşı etkisinin ne derecede olduğunun bilinmesi için birçok çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada cıvata bağlantısında gevşemeyi önleyici bir yöntem olan yapıştırıcı kullanılarak farklı boyutlarda ve dış yapısındaki kaplanmamış, çinko kaplı ve çinko fosfat kaplı cıvataların değişken yükler altında yükleme periyotlarına göre uzamadaki değişimleri incelenerek dayanımının tespit edilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Kinloch tarafından hazırlanan ‘‘Adhezyon ve Yapıştırıcılar’’ adlı yayında, adhezyon olayının açıklanmasında kullanılan teoriler incelenerek, adhezyon olayını tek bir teori ile açıklamanın yeterli olmadığı sonucuna varılmış, teorilerden birkaçının bir araya gelmesi ile oluştuğu belirtilmiştir. Yapıştırıcıların sertleşme mekanizmaları ve yapıştırma yüzeylerinin hazırlanması hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca yapıştırma bağlantılarının mekanik davranışları ve kırılma mekaniği hakkında açıklamalar yapılmıştır. Yapıştırma bağlantılarının statik ve dinamik yükleme durumları hakkında bilgiler verilerek servis ömürleri açıklanmaya çalışılmıştır [1].

‘‘Mühendislikte Yapıştırıcılar’’ adlı yayında, yapıştırıcıların kullanımlarındaki gelişmeler, otomotiv sanayisindeki ve uçak sanayisindeki kompozit malzeme yapımında kullanılmaları üzerinde durulmuştur. Yapıştırıcıların kullanılma nedenleri ve kullanımını kısıtlayan faktörler vurgulanmış, konstrüktif olarak dikkat edilmesi gereken kurallar üzerinde durulmuştur. Adhezyon, kohezyon, ve curing (sertleşme) olayları açıklanmaya çalışılmıştır. Soyulma kuvvetlerine maruz birleştirmelerdeki geometrinin etkisi teorik olarak incelenmiştir. Çevre şartlarının yapıştırma bağlantısının nihai ömrü üzerindeki etkilerinin önemi açıklanmıştır [2].

Yapıştırma boşluğu ile ilgili olarak Loctite El Kitabı’nda verilen bir grafiğe göre, silindirik yapıştırma bağlantılarında, çaptaki boşluğun 0,05 mm’ye kadar uygun olduğu belirtilmiş ayrıca 0,0–0,15 mm aralığı tavsiye edilmiştir. Bağlantının 0,3 mm boşluktaki mukavemet değerleri, 0,05 mm boşluğa göre % 50 oranında azalmaktadır [3].

Yapıştırıcı olarak epoksi reçinesi kullanılan diğer bir çalışmada maksimum moment taşıma kapasitesi, yapıştırma boşluğu 0,05–0,15 mm olan bağlantılarda elde edilmiştir. Yapıştırma boşluğu dolayısı ile yapıştırıcı kalınlığı yükseldikçe moment taşıma kapasitesi azalmıştır [4].

Yapıştırma alanının, bağlantı mukavemeti üzerine etkisini araştırmak için yapılan deneysel bir çalışmada, yapıştırma alanı artırıldığında bağlantının kesme mukavemetinin önemli oranda azaldığı belirtilmiştir. Buna neden olarak da, küçük alanlarda olan deformasyon direncinin, büyük alanlarda olan deformasyon direncinden daha fazla olduğu ileri sürülmüştür [5].

Vidalı bağlantılarda gevşeme değişken yükler ve titreşim altında daha çabuk gerçekleşmektedir. Bağlantıya etki eden yatay yüklerden kaynaklanan enine titreşimlerin gevşemeyi daha da hızlandırdığı görülmektedir. Cıvata bağlantılarında sıkma esnasında uygulanan sıkma torku cıvata başının altındaki sürtünme, dişler arasındaki sürtünme ve gerilmeden doğan dolaylı tork olarak dağılmaktadır. En fazla kuvvet sürtünme kuvvetlerini (% 85–90) karşılamak için uygulanır. Dolayısıyla titreşim altında sürtünme kuvvetlerinin etkisi ortadan kalkar ve sıkıştırma kuvvetinin kaybolmasıyla daha düşük kuvvette ve daha sık aralıkla gelen yükler kaymaya neden olur [3].

Loctite firması, bağlantıların gevşeme durumunu ölçmek için pnömatik test makinasında emniyete alınmamış standart cıvata bağlantısına ve gevşemeyi önleyen farklı yöntemlerin uygulandığı cıvata bağlantılarına dinamik yükler altında testler yapmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında DIN 127 A yaylı pullu cıvata, DIN 6797 A diş kilitlemeli pullu cıvata, polyamid pullu somun kullanıldığı durumlarda düşük yük periyotlarında gevşemenin meydana geldiği, başı testere dişli cıvata, yivli başlı cıvata ve yapıştırıcı uygulanmış standart cıvata kullanılması durumunda bağlantının yüksek yük periyotlarına daha fazla dayandığı ve yapıştırıcı uygulanmış cıvata ise ön gerilmedeki düşüşün çok az olduğu ve daha sonrasında sabit kaldığı tespit edilmiştir [3].

Junker enine titreşim makinesinde kendiliğinden gevşemeye karşı farklı kalınlıkta iki adet M10 somunun birlikte kullanıldığı bağlantı test edilmiştir. İnce somunun üstte olduğu durumda iki somunun beraber dönerek gevşediği, kalın somunun üstte olduğu bağlantıda ise bir miktar gevşemenin meydana geldiği fakat sökülme sağlayacak kadar önemli değerde olmadığı görülmüştür [6].

Junker test makinesinde yapılan diğer bir çalışmada, M8 cıvata ve helisel yaylı rondela kullanılarak bazı sonuçlar elde edilmiştir. Yaylı rondela kullanılmış bağlantı ile standart bir cıvata somun bağlantısı karşılaştırılmış, iki durum için zamana göre ön gerilme değişimleri incelendiğinde yaylı rondela kullanılan bağlantının daha çabuk gevşediği görülmüştür [6].

Cıvata bağlantılarında kendiliğinden gevşeme iki aşamada oluşur. Gevşemenin ilk aşaması malzemelerde görülen çevrimsel plastik deformasyon, ikinci aşama ise somunun dönerek gevşemesi olarak nitelendirilir. 100'den fazla M12x1,75 cıvata ve

somunla özel tasarlanmış test cihazlarıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bağlantı enine kesme yüklerine maruz kalmış ve sıkıştırılmış plakalar arasındaki yer değiştirme miktarı ölçülmüştür. Cıvataya verilen ön yük, plakalar arasındaki yer değiştirme, gevşemeye etki eden yük çevrim sayısı ilişkilendirildiğinde yorulma eğrilerine benzer bir durum ortaya çıktığı görülmüştür [7].

Cıvatalardaki gerçek gerilme alanında ultrasonik hız değişimi çok küçüktür, bu yüzden ultrasonik hızın ölçülmesine ihtiyaç vardır. Gerilme ölçümlerinde ultrasonik yöntemin kullanılabilirliğini doğrulamak için iki deney yapılmıştır. Birinci deneyde cıvata çekme deneyi makinesinde gerdirildiğinde ultrasonik hız ölçülmüş ve cıvataya etki eden gerçek eksenel kuvvet belirlenmiş, sonuçlara göre ultrasonik hız ile eksenel gerilme arasındaki ilişki beklenen değerlerle iyi bir uyum göstermiştir. İkinci deneyde ise cıvata tork anahtarı kullanılarak gerdirilip hız ölçümü yapılmıştır. Bu deneydeki sonuçlar torkun artmasıyla ultrasonik hızın azaldığını göstermiştir ki bu da teorik olarak düşünülen eğilim ile aynıdır. Bu sonuçlara göre yüksek gerilmiş cıvatalarda sıkıştırma kuvvetinin değerlendirilmesinde ultrasonik metodun yeterli olduğu görülmüştür [8].

Başka bir çalışmada direkt gerilme gösteren rondela (DTI) kullanılan bağlantı ile kullanılmayan bağlantı Junker makinesinde test edilmiştir. Çevrim sayısının 1000 olduğu durumdaki sıkıştırma kuvvetleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre DTI kullanılmayan bağlantının sıkıştırma kuvveti kaybının ortalama % 63, DTI kullanılan bağlantının sıkıştırma kuvveti kaybının ise % 8 olduğu tespit edilmiştir [9].

Başka bir çalışmada, temas rijitliğini bulmak için Hertz temas gerilme teorisi kullanılmıştır. Cıvata bağlantısı dinamik uyarıya maruz kaldığında bu rijitlik ile kullanılan iki serbestlik derecesine sahip dinamik model cıvataya etki eden enine kuvveti göstermektedir. Enine kuvvetlerin kendiliğinden gevşemede önemli rol oynadığı, statik ve dinamik modellerden alınan sonuçlara göre gevşemeye sıkışan parçalar ile cıvata arasındaki etkinin neden olduğu görülmüştür. Yapılan simülasyonda elde edilen değerler deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında sonuçlar benzerlik göstermiştir [10].

Dinamik kesme kuvvetlerine maruz kalan cıvata bağlantılarında, gevşeme üzerinde yapılan bir çalışmada, gevşemenin temel analizinde, temas yüzeylerindeki kayma yerlerinin saptanmasına göre önceden beklenenden daha düşük yüklerde gevşeme

olabileceği ile açıklanmıştır. Vidaların farklı kayma durumlarında baş ve vida diş bölgelerinde 4 farklı gevşeme aşaması tanımlanmıştır. Deneysel sonuçlar bu gevşeme aşamalarının mevcut olduğunu göstermiştir [11].

Yapıştırıcı kullanılmış cıvata bağlantılarının dayanımı kaplama malzemesi, cıvata çapı, diş tipi, vida boyu, yüzey pürüzlülüğü gibi etkenlere bağlıdır. Yapılan çalışmada yapıştırılmış üç farklı çapta kaplanmamış, çinko, çinko fosfat kaplı normal ve ince diş cıvatalar incelenerek tork mukavemetleri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel, ön yüklemeli ve ön yüklemesiz durumlar için sökölme tork değerleri elde edilmiştir. Çinko fosfat kaplanmış cıvatalarda kurtulma ve ayrılma tork değerlerinin yüksek, kaplanmamış cıvatalarda ise tork değerlerinin düşük olduğu görülmüştür [12].

Temas yüzeyleri, vida dişleri ve cıvata başı altında sık sık kaymaya neden olan harmonik enine uyarılara maruz kalan vidalı bağlantıların gevşemesine neden olan titreşimler üzerinde çalışmak için matematiksel model kullanılmıştır. Çevresel kesme kuvvetleri, temas yüzeyindeki ve dişlerdeki sürtünme torku bileşenleri için integral eşitlikleri elde edilmiştir. Bu eşitlikler bağıl dönme hızının öteleme hızlarına oranına bağlıdır. Dinamik vida diş kesme kuvveti ile eğilme momenti arasındaki ilişki geliştirilmiştir. Sayısal sonuçlar cıvata başının altındaki temas yüzeyindeki ve vida dişlerinin temas eden yüzeylerindeki kesme kuvvetlerinin temas yüzeyindeki sürtünmeyi ve vida diş tork bileşenlerini azalttığını göstermiştir. Bu çalışmada cıvata ön yükünün, temas yüzeyi ve vida dişlerindeki sürtünme katsayılarının, harmonik enine uyarıların büyüklüğü ve cıvata başının altındaki eğilmenin cıvata gevşemesine etkisi araştırılmıştır. Analitik modelin cıvata burulma torku sonuçlarına göre deneysel doğrulaması sağlanmıştır [13].

Yapılan çalışmada cıvata bağlantısında aksel titreşime göre sıkıştırma kuvveti değişimi incelenmiştir. Titreşim seviyesinin ve başlangıç ön yükünün sıkıştırma kuvvetine etkisi üzerinde çalışılmıştır. Birinci çalışmada cıvataya 12 N ile 100 N arasında değerlerde ön yük uygulanarak sabit titreşimde (750 m/s^2) sıkıştırma kuvvetindeki değişim gözlenmiş, sıkıştırma kuvvetinin 12-30 N arasındaki değerlerde arttığı, 30-100 N arasındaki değerlerde azaldığı görülmüştür. İkinci çalışmada 20 N'luk ön yük uygulanan bağlantı titreşim seviyeleri değiştirilerek ($10-2000 \text{ m/s}^2$) sıkıştırma kuvvetindeki değişim gözlenmiş, $10-250 \text{ m/s}^2$ arasındaki

titreşim değerlerinde sıkıştırma kuvvetinin azaldığı, 500-2000 m/s² arasındaki değerlerde ise arttığı görülmüştür [14].

Çevrimsel enine yüklere maruz kalan vidalı bağlantıların gevşemesi üzerindeki cıvata başı altındaki sürtünme ve temas eden dişlerdeki sürtünme katsayılarının etkisi deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. Farklı tipte kaplama ve yağlama durumlarında çeşitli sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Cıvata testlerinde fosfat ve yağ kaplama, olefin ve molidisülfür katı film yağ kullanılmıştır. Vidalı bağlantıların enine yüklere maruz kaldığı gevşeme durumundaki davranışlarını değerlendirmek için matematiksel model geliştirilmiştir. Aşamalı gevşeme süresince hem gevşeme oranının (her çevrimdeki sıkıştırma yükü kaybı oranı) hem de cıvata başının dönme açısının gerçek zaman verilerini toplamak için deneysel yöntem ve test düzeneği kullanılmıştır. Sürtünme katsayılarının deneysel değerlerinin gevşeme oranlarında teorik sonuçlara etkisini gözlemek için matematiksel model kullanılmıştır. Sürtünme katsayıları cıvatada kullanılan kaplama ya da yağın değiştirilmesiyle deneysel olarak modifiye edilmiştir. Teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır [15].

Yapılan diğer bir çalışmada sıkıştırma uzunluğunun kendiliğinden gevşeme üzerindeki etkisi incelenmiştir. Testlerde 10.9 kalite M20 cıvata kullanılmıştır. İki plaka sıkıştırma uzunlukları 20, 40, 60, 80, 100 ve 120 mm olacak şekilde bağlanmıştır. Bağlantıya 2 mm yer değiştirme ve frekansı 0,2–1 Hz arasında olacak şekilde cıvata eksenine dik doğrultuda yük uygulanmaktadır. 1000 çevrim sonrasındaki değerler karşılaştırıldığında 400 çevrimde sıkıştırma uzunluğunun 90 mm'nin altındaki değerler için ön yükün tamamen kaybolduğu görülmüştür. 1000 çevrim sayısında sıkıştırma uzunluğu 90 mm olan bağlantıda ön yük % 30'a, 120 mm olan bağlantıda ise % 52'ye düştüğü görülmüştür. Ayrıca sıkıştırma uzunluğu 60 mm olan bağlantının 20 mm olan bağlantıdan daha kısa sürede çözüldüğü, sıkıştırma uzunluğunun 90 mm olduğu ve üzerindeki bağlantılarda ön yükteki kaybın daha az olduğu saptanmıştır [16].

2. CIVATA BAĞLANTILARI

Cıvatalar talaşlı ya da talaşsız olarak imal edilirler. Talaş kaldırılarak yapılan imalatta torna, freze, otomatik pafta, taşlama tezgahı ve cıvata tezgahları kullanılır. Talaş kaldırmadan yapılan imalatta ise haddeleme (ovalama) metodu ile dişler elde edilir ve cıvata başı ise baş şişirme yöntemiyle yapılır. Somunlar presle şekillendirildikten sonra iç vida dişleri ancak talaş kaldırılarak açılabilir. Cıvata ve somunlar imalattan sonra mukavemetlerinin artırılması için ısıl işleme (ıslah etme, sementasyon, nitritasyon, ikinci haddeleme gibi) tabi tutulur.

Cıvatalar teknikte bağlama ve hareket elemanları olarak en çok kullanılan, geniş kapsamlı olarak standartlaştırılmış makine elemanlarıdır. Bağlama ve hareket cıvataları fonksiyon bakımından farklı olmakla beraber konstrüksiyon ve teori bakımından aynı esasları paylaşırlar.

Cıvatalar bağlama ve hareket elemanı olarak kullanılmalarının yanı sıra;

- Ön gerilme temini gereken gergi mekanizmalarında gergi cıvatası,
- Yağ deliklerinde kapatma elemanı (kör tapa),
- Aşınma ve boşluk ayarı gereken yerlerde ayar cıvatası,
- Mikrometre gibi ölçü aletlerinde çok küçük uzunlukların ölçülmesinde ölçme elemanı,
- Vidalı pres, mengene ve kriko gibi mekanizmalarda küçük çevre kuvvetleri ile büyük aksenal kuvvetler elde etmede,
- Farklı eğimdeki vidalar ile en küçük uzunluktaki sıkıştırmanın elde edilmesi için sıkıştırma cıvatası olarak da kullanılabilir [16].

2.1 Cıvata Bağlantılarının Sınıflandırılması

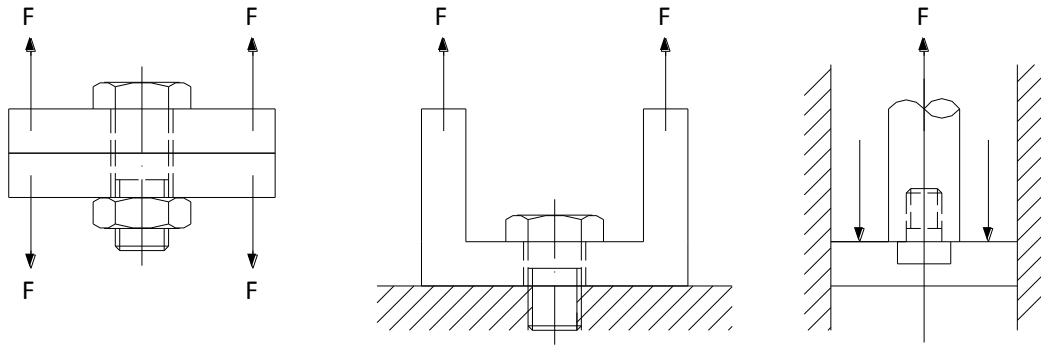
Cıvata bağlantıları etki altındaki kuvvet yönüne göre sınıflandırılır. Bu kuvvetler cıvata eksenine doğrultusunda ise çekme yükü, cıvata eksenine dik yönde ise kesme yükü bağlantıları olarak adlandırılır. Bazı durumlarda bağlantı hem kesme yükü hem de aksenal yük altında zorlanır. Bu tipteki bağlantılara ise bileşik yük bağlantıları

denir. Etki eden kuvvetlerin konsantrik ya da eksantrik olması durumunda cıvatayı zorlayan gerilmeler değişir ve cıvata çekme, kesme, eğilme, burulma zorlamalarına maruz kalır. Bu nedenle mühendislik uygulamalarında yapılacak olan bağlantı tasarımlarının amaca uygun şekilde yapılabilmesi için bağlantı şeklinin iyi analiz edilmesi gerekir.

2.1.1 Eksenel yük bağlantıları

2.1.1.1 Konsantrik eksenel yük bağlantıları

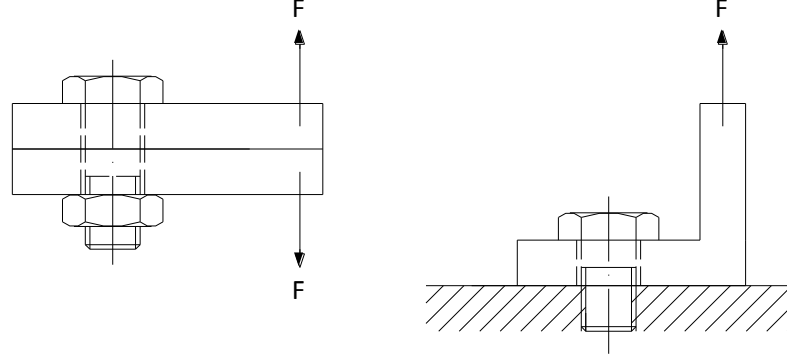
Bu tip bağlantıda cıvataya etki eden yükün doğrultusu cıvata boylam eksenine paraleldir ve eksen ile çakışır. Bu yüzden bu tanıma uyan bağlantı geometrisi ve uygulanan yük sistemi bileşiminin herhangi biri bu kategori ile belirlenen yöntem ve metotlar ile analiz edilebilir. Bu tip bağlantının örnekleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Konsantrik eksenel yük bağlantıları.

2.1.1.2 Eksantrik eksenel yük bağlantıları

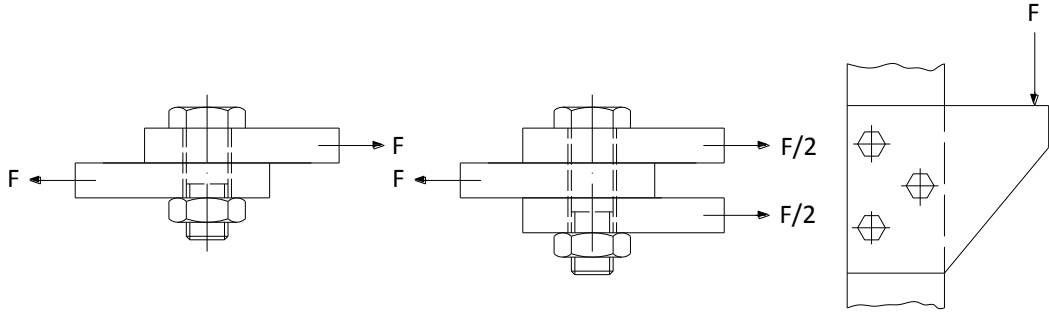
Bağlantıya etki eden yük doğrultusu Şekil 2.2’de görüldüğü gibi cıvata boylam eksenine paraleldir ama cıvata eksenine ile çakışmaz. Bunun sonucu olarak bağlantıda sıkıştırılan parçalar arasında açılma etkisi meydana gelir. Cıvata başının altında ve gövdesinde eğilme yükü oluşur.



Şekil 2.2 : Eksantrik aksenal yük bağlantıları.

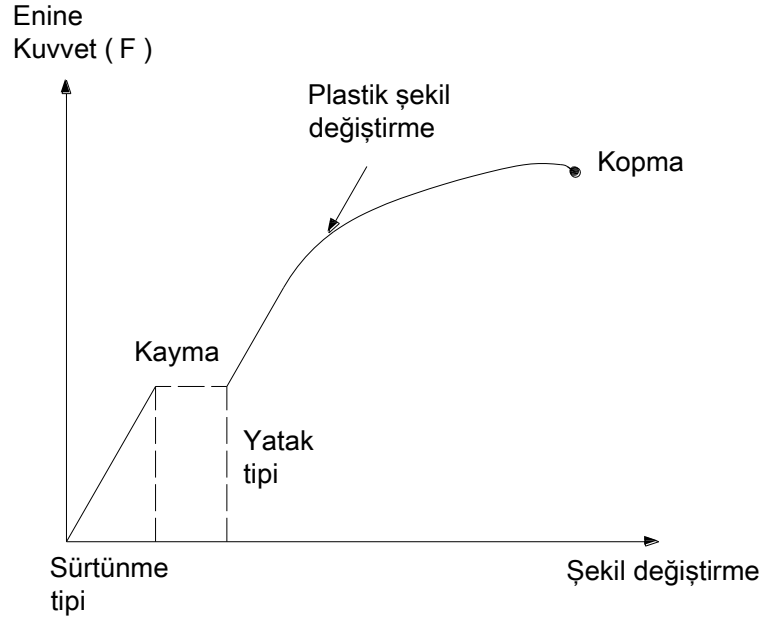
2.1.2 Kesme yükü bağlantıları

Bağlantıya etki eden yükün hareket doğrultusu sıkıştırılan parçaların düzleminde çivata boylam eksenine diktir. Bu bağlantı tipinde yük bağlantı parçalarını Şekil 2.3'te görüldüğü gibi kaymaya ya da çivatayı kesmeye zorlar.



Şekil 2.3 : Kesme yükü bağlantıları.

Bağlantının dayanımı bağlantı parçalarının yüzeylerindeki sürtünmeye, plakaların ve çivataların kesme dayanımlarına bağlıdır. Bu bağlantı sürtünme tipi ve yatak tipi olarak sınıflandırılır. Bu iki bağlantı tipi birbirini takip eden bir süreci kapsar. Uygulamada bağlantılar genellikle plakaların kaymaya başlamasına kadar olan süreçte sürtünme bağlantısı olarak davranır. Kayma başladıktan sonra çivata kesme yükünü çivata gövdesi ile plaka deliği arasında taşır. Bu süreçte ise yatak tipi bağlantı olarak davranır. Sürtünme tipi bağlantı ile yatak tipi bağlantıların enine kuvvetin değişimi ile oluşan deformasyonunu gösteren ilişkisi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Kesme yükü bağlantılarının enine kuvvet ile oluşan deformasyonu [17].

2.1.2.1 Sürtünme tipi bağlantı

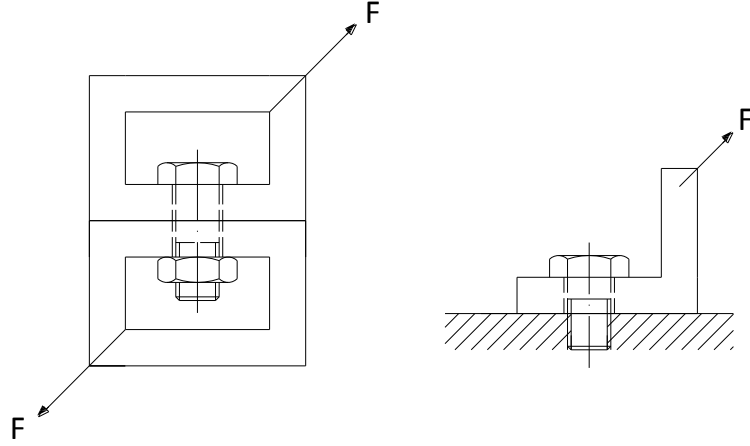
Enine yüke maruz kalan cıvata bağlantıları sıkıştırılmış plakaların kaymaya başlamasına kadar geçen sürede sürtünme tipi bağlantı olarak adlandırılır. Plakaların temas yüzeylerinin kayma direnci, sıkıştırma kuvveti ve sürtünme yüzeylerinin sürtünme katsayısı ile orantılıdır. Sürtünme yüksek değişkenliğe maruz kalır. Bu yüzden tasarım hesaplamalarında güvenliği sağlamak için sürtünme katsayısı minimum varsayılmalı ve temas yüzeylerindeki yüzey pürüzlülüğü göz önünde bulundurulmalıdır. Yüzey pürüzlülüğünün artması sürtünme katsayısını artırır, dolayısıyla önemli bir etki olan gömülmeye bağlı ön yük kaybının artmasına neden olur.

2.1.2.2 Yatak tipi bağlantı

Bu tip bağlantılar kaymayı önlemek için gerekli olan sıkıştırma yükünün sıkıştırılan plakaların cıvata ile temas yüzeylerindeki ezilme dayanımını aştığı yerlerde ortaya çıkar. Bağlantılara bu yüzden plakaların ezilme dayanımının altındaki bir değerde ön yük uygulanır ama enine titreşim altındaki cıvatayı kilitlemek için yeterli yükseklikte olmalıdır. Bağlantının kayması için dış yükler yeteri kadar yükseldiğinde bağlantı plakaları birbiri üzerinde hareket eder. Bu durumda plakalar yatağa doğru kayar. Kesme yükü cıvatalar üzerinden plakalara etki ederek yatakta gerilme meydana getirir [17, 18].

2.1.3 Bileşik yük bağlantıları

Bağlantıya birden fazla yük sistemi etki eder. Diğer bağlantıların özelliklerini taşır. Bağlantıya etki eden aksenal yükler ve kesme yükleri eğilme, kesme, burulma gibi zorlamalar meydana getirir. Aksenal yüklerin ve kesme yüklerinin büyüklükleri ve bağlantının biçimi dikkate alınarak uygun analiz yöntemi tespit edilmelidir. Bileşik yük bağlantıları Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Bileşik yük bağlantıları [17].

2.2 Sıkıştırma Kuvveti ve Ön Yük

Özellikle çekme bağlantılarında sızıntı ve dağılmayı önlemek için bağlantı parçaları yeterli kuvvet ile sıkılmalıdır. Eğer bağlantı kesme yüküne maruz kalırsa, cıvata bağlantı parçalarını kaymaya karşı engellemelidir. Titreşim, şok ya da termal döngülere maruz kalan bir bağlantının kendiliğinden gevşemesini önlemek için cıvata gerginliği yeterince büyük olmalıdır. Cıvataadaki bu yüksek gerilme cıvatanın yorulmaya karşı daha az etkilenmesini sağlar. Genel olarak bağlantı parçalarının mevcut durumunun korunması için bağlantı cıvatasında olabildiğince fazla gerilmenin elde edilmesi istenir. Cıvata bağlantısının ömrü ve davranışı sıkıştırma kuvvetinin istikrarına ve büyüklüğüne bağlıdır. Cıvata sıkıldığında bağlantıda ilk sıkıştırma kuvveti oluşur. Bu hareket aynı zamanda cıvata gerilme oluşturur. Bu gerilme genellikle bu aşamada ön yük olarak adlandırılır. Cıvata normal olarak sıkıldığında bazı dişlerde plastik deformasyonlar olmasına rağmen birçok cıvata ve bağlantı parçaları cıvata sıkılırken elastik olarak davranır. Bağlantı parçaları az miktarda sıkıştırılmış ve cıvata büyük miktarda gerilmiştir. Aslında hem bağlantı parçaları hem de cıvatalar sert bir yay gibi davranır ve bağlantıda potansiyel enerji

depolanır. Bu enerji bağlantı parçaları arasındaki sıkıştırma kuvvetinin korunmasını sağlar.

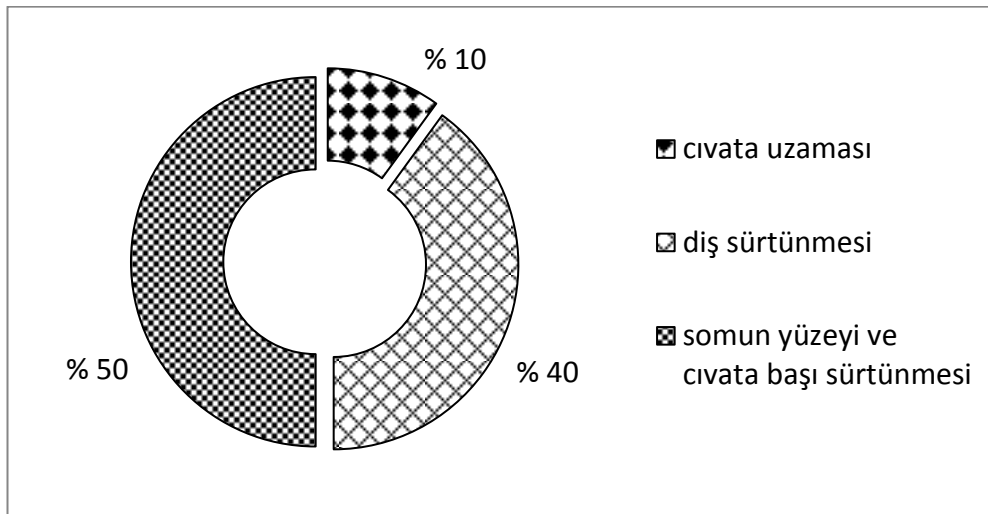
Cıvata bağlantısının bütünlüğü cıvataadaki ön yük tarafından korunur. Bu nedenle bağlantı mümkün olduğunca yüksek ön yüke sahip olmalıdır. Birçok durumda cıvata bağlantılarının hasar nedeni yanlış ön yük, gevşemeye bağlı ön yük kaybı ya da çeşitli mekanizmalar sebebiyle ön yükün azalmasıdır. Bu nedenle ön yükü doğru uygulamak gerekmektedir [18].

2.2.1 Tork-Ön yük ilişkisi

Cıvata sıkılırken somuna tork uygulanır, somun döner, cıvata uzar ve ön yük oluşur. Deneyle ve teorik analizlere bakıldığında cıvata ön yükü ile uygulanan tork arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülür. Cıvata sıkılırken uygulanan torka üç reaksiyon torku karşı koyar. Bu reaksiyon torkları;

- Cıvata dişleri üzerinde somun dişlerinin hareketiyle oluşan cıvata uzama bileşeni olarak adlandırılan reaksiyon torkudur. Somun ve bağlantıyı sıkıştırarak kuvvet meydana getirir. Cıvata gövdesini buran torkun bir parçasıdır.
- Somun ve cıvata dişleri arasındaki sürtünme ile oluşan reaksiyon torkudur. Cıvatayı buran torkun geri kalan kısmını oluşturur.
- Somun yüzeyi ve cıvata başı altındaki sürtünme ile oluşan reaksiyon torkudur.

Uygulanan torkun reaksiyon torkları üzerindeki dağılımı Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Uygulanan torkun reaksiyon torkları üzerindeki dağılımı.

Enerji ve tork arasında doğrusal bir ilişki vardır. Uygulanan torkun dağılımına bakıldığında enerjinin büyük kısmının sürtünmelere harcadığı görülmektedir. Tork ya da enerji eşitliğini kullandığımızda girdinin ne kadarının ön yüke harcadığı bilinmese de ön yük kontrolü ile bu sağlanabilir.

2.2.2 Tork-Ön yük ilişkisini etkileyen faktörler

2.2.2.1 Sürtünmeyi etkileyen değişkenler

Sürtünme katsayısını kontrol etmek çok zordur ve tahmin etmek neredeyse imkansızdır. Dişli bağlantılarda görülen sürtünmeye etki eden birçok faktör vardır. Bu faktörler şunlardır;

- Tüm parçaların sertliği,
- Yüzey kalitesi,
- Malzemelerin türü,
- Varsa kaplamanın kalınlığı, durumu ve türü,
- Herhangi bir yağlayıcının türü, miktarı, uygulama metodu, kirliliği ve sıcaklığı,
- Somunun hangi hız ile sıkıldığı,
- Dişler arası uyum,
- Delik boşluğu yüzey basınçları,
- Pulların olup olmaması,
- Haddelenmiş dişlere karşı kesme dişler (talaş kaldırma).

Haddelenmiş dişli cıvatalarda kesme dişlere göre daha yüksek ön yük elde edilir. Diş sürtünmesinin fazla olduğu durumda uygulanan tork sürtünmelere harcanacağından daha düşük ön yük sağlanır. Sürtünmeye etki eden faktörlerden bazıları bir miktar kontrol edilebilir fakat tam bir kontrol sağlamak mümkün değildir.

2.2.2.2 Geometrik değişkenler

Diş adımının, parçalar arası etki temas yarıçapının bilinmesine rağmen uygulamada bu şeylerin tümü farklılık gösterir. Somun yüzeyinin diş eksenine tam dik olması, deliklerin bağlantı yüzeyine tam dik olarak delinmesi nadiren görülür. Bu yüzden temas yarıçapı genellikle bilinmez. Bazı deneyler bu faktörlerin sürtünmeden daha fazla belirsizlik içine girdiğini göstermektedir.

2.2.2.3 Gerilme enerjisi kaybı

Giriş torkunun bir kısmı cıvata uzamasında ya da sürtünmede, kalan kısmı ise cıvatanın burulmasında, gövdenin eğilmesinde, somun ve bağlantı deformasyonunda harcanır. Giriş torku ile ön yük arasındaki ilişki bu yüzden bu durumu dikkate alınmalıdır.

2.2.2.4 Baskın tork

Kilitlemeli somunlarda somunu kavramak için gerekli olan torktur. Örneğin plastik dolgulu kilitleme somununda plastik dolgu somun ve cıvata arasında engel meydana getirir ve cıvatanın titreşime karşı direnmesini sağlar. Cıvata uzamasına katkıda bulunmayan bu engelin üstesinden gelmek için gerek duyulan torktur. Torkun dış sürtünme bileşenine ilave olarak dikkate alınır, fakat bu kilitleme somun tasarımının bir fonksiyonudur. Baskın torkun ön yükün bir fonksiyonu olmadığı, sabit olmayabileceği, kilitleme somununun cıvatanın işlevini ilaveten azaltması ya da tekrar kullanılması durumunda değişebileceği unutulmamalıdır.

2.2.2.5 Ağırlık etkisi

Ağır ya da hizalanmamış bağlantı parçaları beraber çekilmeye karşı koyar. Bu durum tork-ön yük ilişkisine etki etmez, fakat bağlantı parçaları arasında sıkıştırma kuvveti meydana getiren giriş torkunun miktarını azaltır.

2.2.2.6 Delik engeli

Eğer delik normalden küçük ya da hizalanmamış ise cıvata deliğe doğru çekmeye çalışacaktır. Bu durum cıvata ön yükünü oluşturmak için torkun işe yarayan miktarını da azaltır.

2.2.2.7 Dişlerin uyum sorunu

Eğer dişler zarar görmüşse ya da boşluksuz bir şekilde tasarlanmışsa uygulanan tork ile somunun hareketi cıvata üzerinde engellenebilir.

2.2.2.8 Mekanik

Doğru bir tork uygulaması tork anahtarını kullanan kişinin ne yaptığını bilmesi, iyi eğitilmiş olup olmadığı, işi doğru yapmayı önemsemesi, cıvataya kolayca

ulaşabilmesi, tork anahtarı üzerindeki göstereyi görebilmesi gibi şeylere bağlıdır. Operatör tüm diğer faktörlerden daha önemli bir faktör olabilir.

2.2.2.9 Takım hassasiyeti

Kullanılan takımların hassasiyeti doğru bir ölçüm için çok önemlidir. Gerekli torkun doğru şekilde uygulanabilmesi için belirli aralıklarla kalibre edilmelidir. Aksi takdirde yapılan ölçüm hatalı olacaktır.

2.2.2.10 Çeşitli faktörler

Bu faktörlerden başka kaplamanın türü, kalınlığı, yoğunluğu, cıvata başının tipi, deliğin davranışı, delik konsantrikliği, delik ölçüsü, boşluklar, çapaklar, tork anahtarı tipi, somun veya cıvata ucundan tork uygulanıp uygulanmadığı gibi durumlar söz konusudur. Ayrıca cıvata ve somunun kullanılma sayısı, varsa kullanılan rondelanın sayısı, tipi ve büyüklüğü, yağlayıcı madde, cıvata kalitesi, cıvatanın paslı olup olmadığı, kaplamanın olup olmadığı, kaç kez sıkıldığı, kısmi diş ilişkisine karşı tam diş ilişkisi, bağlantının sertliği, korozyon gibi daha birçok etken bulunmaktadır.

2.3 Kısa Dönem Gevşeme

Cıvata gerilmesi ile sıkıştırma kuvveti arasında bire bir ilişki olsun ya da olmasın ilk gerilmeden sonra cıvatalarda sık sık ilk gerilme kaybı olur. Uzun sürede daha fazla gerilme kaybına neden olacak olan diğer etkilerden ayırmak için kısa dönem gevşeme olarak adlandırılmıştır. Genel olarak cıvata bağlantılarında akma noktasının üzerinde yük uygulandığında bağlantı parçaları aşırı yük altından kurtulmak için akar ve sürünür. Bundan dolayı kısa dönem gevşeme meydana gelir.

2.3.1 Kısa dönem gevşemenin kaynakları

Cıvataların, somunların ve bağlantı parçalarının sürtünen yüzeylerindeki pürüzlülükler ne kadar azaltılsa da asla mükemmel düzlükte olmazlar. Mikroskop altında bir seri tepecik ve çukurcuklar görünür. Bağlantıya etki eden ilk kuvvette bağlantı parçaları arasında sadece yüzeylerdeki yüksek noktalar ile temas sağlanır. İlk temas alanları nispeten küçük olduğundan metalin temas noktaları basınçlara dayanamaz ve dengeye gelinceye kadar plastik deformasyon oluşur. Yüzeylerdeki yüksek noktaların çoğu sıkma işlemi sırasında düzleşir.

Cıvata bağlantılarında etkili bir ön yük elde etmek için kullanılan hidrolik gerdiriciler somun sıkılmadan önce cıvatayı gerdirerek bağlantıda temas yüzeylerini düzleştirir. Çoğu zaman gerdirmeden sonra oluşan gömülme gevşemesi cıvataya tork uygulanmasından sonra oluşandan daha fazladır. Yeni parçalarda oluşan gömülme tekrar kullanılan parçalardaki gömülmeden daha fazladır. Kritik uygulamalarda farklı zamanlarda cıvatanın sıkılması, gevşetilmesi ve tekrar sıkılması ile gömülme azaltılabilir.

2.3.1.1 Zayıf dış teması

Eğer cıvata normalden küçük ya da somun normalden büyük ise dış temas alanı daha küçük olur ve önemli plastik deformasyon meydana gelir.

2.3.1.2 Dış temasının çok kısa olması

Çelik cıvatalar için dış temas uzunluğu cıvata nominal çapının en az 0,8 katı olmalıdır. Eğer bu uzunluk çok kısa olursa dış temas alanı daha küçük olur ve aşırı gevşeme ile sonuçlanır.

2.3.1.3 Yumuşak parçalar

Bağlantı parçalarının yumuşak olması durumunda geometri doğru ve yükleme normal olsa bile yanlış ısıl işlem ya da yanlış malzeme nedeniyle sürünme olabilir ve gevşeme meydana gelebilir.

2.3.1.4 Eğilme

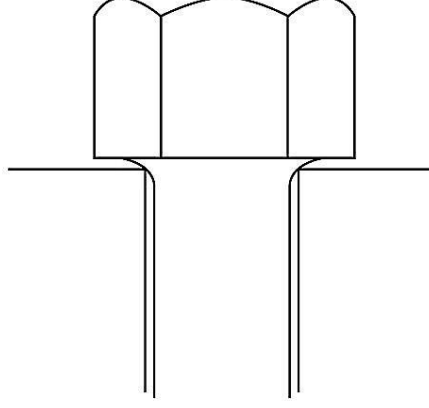
Eğer cıvata sıkılırken eğik ise eşit bir gerilme dağılımı oluşmaz. Gerilmenin yüksek olduğu yerde daha fazla plastik akma meydana gelir ve bu nedenle oluşan plastik şekil değiştirme normal gömülme ya da dış gevşemesinden daha büyüktür.

2.3.1.5 Dik olmayan somunlar ve cıvata başları

Somun ve cıvata başlarının temas yüzeyleri hiçbir zaman cıvata deliği eksenine ya da dişlerin eksenine dik değildir. Bu nedenle cıvata ilk sıkıldığında oluşan yük somunun veya cıvata başının temas yüzeyinin sadece bir kısmına etki eder. Bu anormal yüklenen yüzeyler temas basınçlarını azaltmak için yeterli temas alanını sağlayana kadar akar ve bağlantı denge durumuna gelir.

2.3.1.6 Köşeler ve küçük delikler

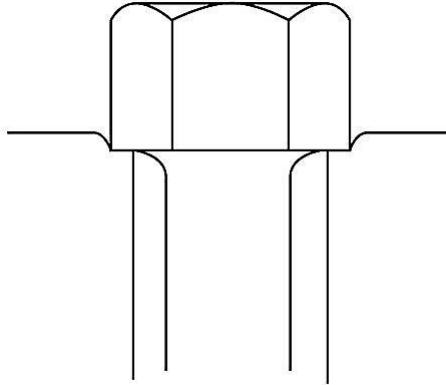
Cıvata gövdesi ile cıvata deliği kenarı Şekil 2.7’de görüldüğü gibi temas ederse delik kenarı ilk temas basıncı altında bozulur. Başlangıçta cıvata sıkılırken bu tür etkiler tam bir ön yük kaybı ile sonuçlanabilir.



Şekil 2.7 : Cıvata deliğinin küçük olması durumunda delik ile gövde teması.

2.3.1.7 Büyük delikler

Bağlantı parçalarında normalden büyük delikler problem olabilir. Somun veya cıvata başının bağlantı parçaları ile temas ettiği alan Şekil 2.8’de görüldüğü gibi çok küçüktür. Bağlantıda temas basınçlarını ve sınır temas gerilmelerini dağıtmak için rondela veya başka bir şey kullanılmazsa cıvata başı, somun ya da her ikisi de bağlantı yüzeyine gömülür. Gevşemenin miktarı somun ya da rondelanın yüzey dayanımına bağlıdır.

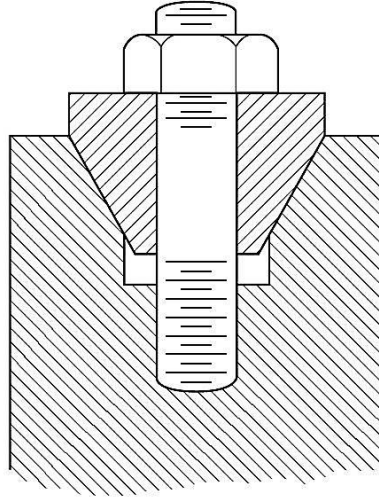


Şekil 2.8 : Büyük delik olması durumunda oluşan gömülme.

2.3.1.8 Konik yapı

Yüzey düzensizlikleri düz yüzeylerde olduğu kadar konik bağlantı yüzeylerinde de bulunur. Eğer konik yüzeylerde gömülme meydana gelirse yüzeye dik olan belirli bir

miktar gevşeme aksenal yönde çok daha büyük gevşeme anlamına gelebilir. Konik yapı bağlantısı Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 : Konik yapı bağlantısı.

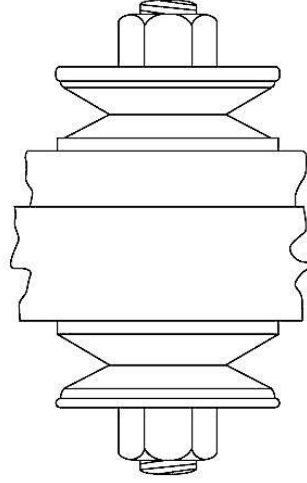
2.3.2 Kısa dönem gevşemeye etki eden faktörler

2.3.2.1 Cıvata uzunluğu

Uzun, ince cıvatalar kısa ve kalın olanlardan daha küçük oranda gevşer. Belirli bir ön yük için toplam gömülme gevşemesi aynı olduğunda bu gömülme cıvata toplam uzunluğuna bakıldığında farklı oranda olur. Bu nedenle uzunluğa göre farklı oranda kayıp anlamına gelir fakat ön yük kaybı uzunluktaki değişim ile doğru orantılıdır.

2.3.2.2 Konik rondelalar

Belirli bir miktar gömülme ile meydana gelen sıkıştırma kuvvetindeki değişimi azaltmanın diğer yolu konik rondelalar kullanmaktır. Bu rondelalar cıvata ya da bağlantı parçalarının rijitliği ile karşılaştırıldığında oldukça sabit bir değere sahiptir. Sabit değer nedeniyle cıvata ya da bağlantıdaki küçük bir deformasyon kuvvet seviyelerinde kayda değer bir değişiklik yapmaz. Ayrıca sıcaklık farkından oluşan genleşme etkilerini karşılamak için kullanılır. Üreticilerin rondelaların rijitliğini kontrol etmesinde bazı sıkıntılar vardır. Buna rağmen konik rondelalar kullanılarak sıcaklık ve gevşeme problemine karşı ön yükün temel dağılımı artırılabilir. Konik rondela ile yapılmış bir bağlantı Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 : Konik rondela ile yapılmış cıvata bağlantısı.

2.3.2.3 Bağlantı parçalarının sayısı

Çok sayıda bağlantı parçası kullanılması durumunda temas yüzeylerinin sayısı artar bu nedenle daha fazla gömülme meydana gelir. Örnek olarak temas yüzeyinin iki kat olması hemen hemen birçok durumda gevşemeyi iki katına çıkaracaktır.

2.3.2.4 Sıkma hızı

Cıvatalar çok hızlı sıkılacak olursa sıkma işlemi sırasında bağlantı parçalarında sürünme ve akmanın meydana gelmesi için yeterli zaman olmaz. Sıkma işleminden sonra daha fazla gevşeme görülür. Cıvataları tek seferde tam bir tork uygulayarak sıkmak yerine bir kez durarak ya da tekrarlayarak sıkmak bağlantıya gevşeme için zaman sağlar. Bu işlem aynı zamanda bağlantıyı düzgün olarak çeker ve daha fazla ön yük elde edilmesini sağlar. Bu nedenle sıkmayı kademeli olarak yapmak büyük önemli bağlantılar üzerinde gerçekte etkili olan bir zorunluluktur.

2.3.2.5 Eğik bağlantı parçaları

Bağlantı parçalarının yumuşak, çarpık ya da eğri olması durumunda bir bağlantı elemanının sıkılması diğer bağlantı elemanları üzerinde gevşemeye neden olabilir.

2.4 Cıvata Bağlantılarında Uygulanan Kontrol Yöntemleri

Birçok faktörün etkisi altındaki cıvata bağlantılarında kontrol uygulanan tork ile somunun dönme açısı ölçülerek, cıvatanın boy değişimi ve direkt ön yük değişimi ölçülerek sağlanır. Kritik uygulamalarda kontrol, cıvata boy değişiminin izlendiği uzama kontrolü ve direkt ön yük kontrolü ile gerçekleştirilir. Uzama ve direkt ön yük

değişiminin ölçülmesi tork-açı ölçümüne göre daha hassastır ve maliyeti daha fazladır.

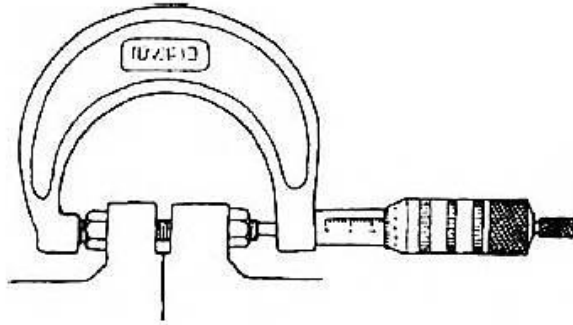
2.4.1 Tork-Açı kontrolü

Elektronik olarak kontrol edilen takımla önceden belirlenen tork uygulanırken dönen somunun açısı ölçülür. Tork uygulanırken dönme açısını bir takım faktörler etkiler. Örneğin, önceden belirlenen tork ile kör delik bağlantısında veya dış yüzeylerinde sıyrılma olduğunda daha az dönme, cıvatanın çok yumuşak ya da deliğin normalden oldukça büyük olması durumunda ise daha fazla dönme elde edilir. Ayrıca yüzey kalitesinin, kaplamanın her cıvatada sürtünme etkisi farklıdır ve sürtünmenin yüksek olması torkun daha hızlı artmasına neden olur ve dönme açısı küçüktür. Bu faktörler göz önünde bulundurulursa önceden belirlenen tork uygulandığında farklı ön yük değerleri elde edilir. Bu nedenle torku kontrol etmek ve açiyı ölçmek ön yük üzerinde yeterli kontrol sağlamaz.

2.4.2 Uzama ölçme teknikleri

2.4.2.1 Çeneli mikrometre

Cıvata uzaması ölçümü mikrometreler ile yapılabilir. Eğer cıvatanın her iki ucuna erişilebilirse Şekil 2.11’de görülen çeneli mikrometre kullanılabilir, fakat mikrometre ölçümleriyle ilgili bir takım sorunlar vardır.

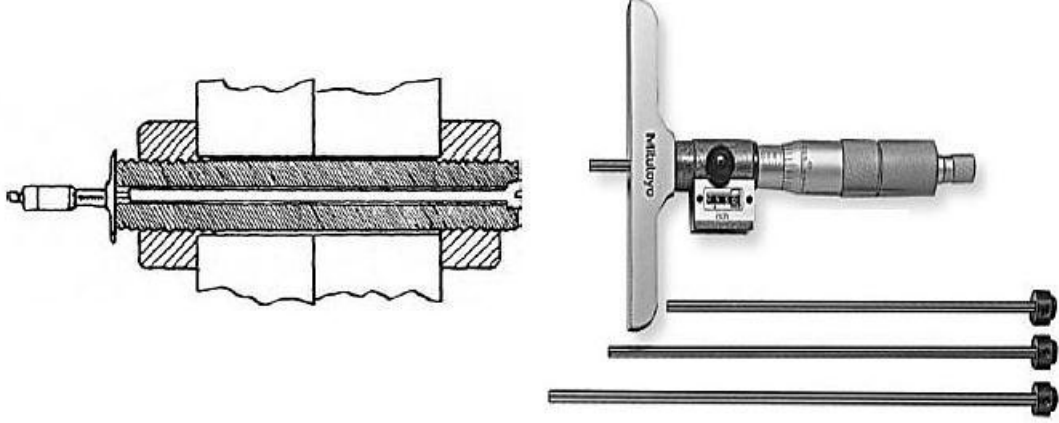


Şekil 2.11 : Çeneli mikrometre ile cıvata ölçümü.

Cıvata sıkılırken cıvata uçları birbirine düz ve paralel değilse hafif eğilir. Eğilme operatöre her zaman görünmez ancak bu durum merkezden hassas ölçümü zor ya da imkansız hale getirir. Ölçüm belirsizliklerini azaltmanın bir yolu cıvatanın uçlarına küçük çelik bilyeler gömmektir ve böylelikle cıvata boyu bilyeden bilyeye ölçülebilir. Ancak hassas bir ölçüm gerçekleştirilemez.

2.4.2.2 Derinlik mikrometreleri

Ön yük ölçmek için mikrometrelerin kullanımı yaygın olmasa da özellikle ısı çubukları veya hidrolik gerdiricilerle sıkılan büyük saplamalarda ön yük kontrolü Şekil 2.12’de görülen derinlik mikrometreleriyle sağlanabilir.

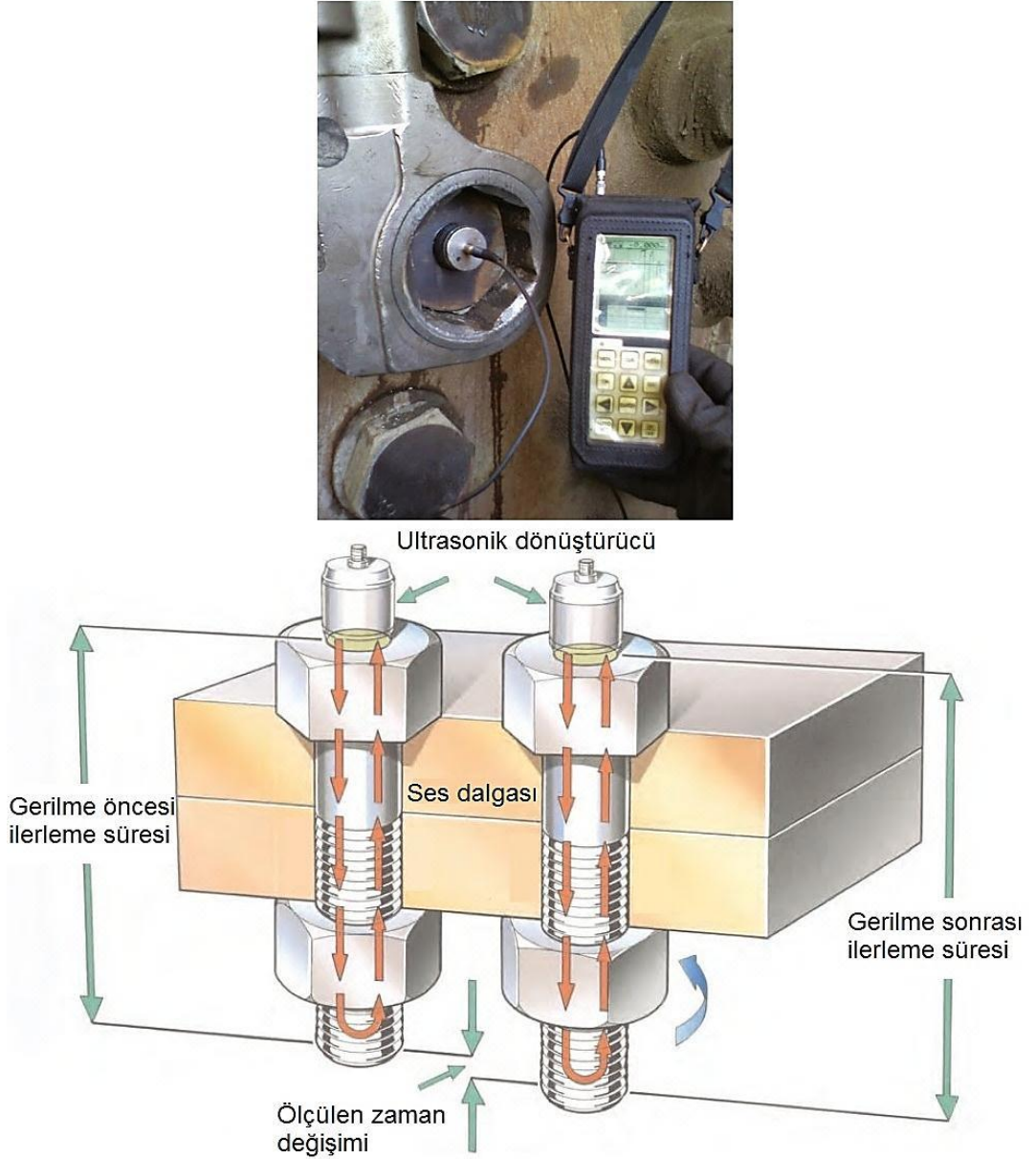


Şekil 2.12 : Derinlik mikrometresi [18, 19].

Boşta duran zemini ve paralel uçları olan bir çubuk saplamanın merkezinden geçen bir delik içine yerleştirilir. Deliğin alt ucu dişli bir tıkaçla kapatılır ya da çubuğun dış açılmış, genişletilmiş bir ucu vardır. Bu mikrometre ile merkezdeki çubuk ile saplama ucu arasındaki mesafe ölçülür. Saplama uzarken mesafe artar çünkü çubuk gevşektir ve uzamaz. Ölçüm hassasiyeti oldukça iyidir.

2.4.2.3 Ultrasonik ölçüm

Ölçme cihazına bağlı bir ultrasonik dönüştürücü civatanın bir ucuna temas jeli sürülerek Şekil 2.13’te görüldüğü gibi yerleştirilir.



Şekil 2.13 : Ultrasonik ölçüm cihazı [20, 22].

Elektronik cihaz dönüştürücüye akım gönderir ve dönüştürücünün yaydığı ses dalgaları civatanın bir ucundan diğer ucuna doğru ilerler. Ses dalgası ani yoğunluk değişimiyle karşılaştığında (hava ile) geri döner. Dolayısıyla ses dalgasının havaya iletimi söz konusu değildir. Gerilmemiş durumda ses dalgasının ilerleme süresi cihaz tarafından kaydedilir ve referans olarak alınır. Cihaz civata sıkıldıktan sonra yeni bir dalga gönderir. Gerilme etkisiyle civata boyu uzadığından ses dalgasının ilerleme süresi artar. Cihaz ölçülen iki değeri karşılaştırarak civatadaki uzama değerini gösterir. Civataya ses dalgasının iletimi için genellikle temas jeli kullanılır [21].

Eşit yük dağılımının kritik olduğu bağlantı uygulamalarında ultrasonik teknikler zorunludur. Bu uygulamalar optimum performans için contaların eşit şekilde sıkıştırılması gereken boru flanşları, değirmenler, ısı değıştircileri, basınçlı kaplar, türbinler gibi alanları kapsar. Bu yöntem tahmine dayanan sonuçları, potansiyel güvenlik tehlikelerini, masraflı arıza süresi, sızıntıları ve kritik cıvata bağlantı hasarlarını gidermek için uygulanır [22].

2.4.3 Direkt ön yük kontrolü

2.4.3.1 Uzama ölçerli (strain gage) cıvatalar

Cıvata yüzeyindeki belirli bir noktadan gerilme ölçülebilir ancak ön yük ile ilgili olarak uzama ölçer yerleştirilmesinde dikkatli olunmalıdır. Eğilme ve burulma gerilmesi uzama ölçerlerin doğru yerleştirilmesiyle belirlenebilir. Doğru kullanıldığında uzama ölçerler muhtemelen cıvata gerilmesini ölçmek için en doğru yoldur. Ön yük ölçüm hassasiyeti % $\pm 1-2$ 'dir. Uzama ölçerli cıvata Şekil 2.14'te gösterilmiştir [18].

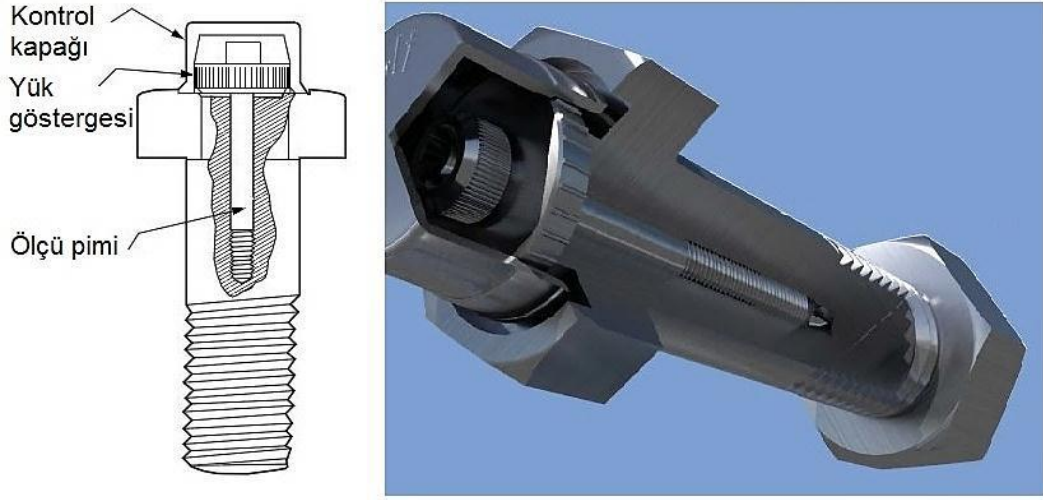


Şekil 2.14 : Uzama ölçerli cıvata [23].

2.4.3.2 Ölçü cıvatası

Cıvata başının üzerinde ölçü pimine bağlı dönen yük göstergesi bulunmaktadır. Sıkma işleminden önce uygulanacak yük göstergeden ayarlanarak yük göstergesi ile cıvata başı arasında hava boşluğu oluşturulur. Cıvata sıkma sırasında uzarken ölçü pimini de uzatır. Bu sırada yük göstergesi cıvata başına doğru hareket eder ve hava boşluğu yok olduğunda yük göstergesi dönerek kontrol kapağı ile kilitlenir. Herhangi bir gerilme kaybında ise kontrol kapağı hemen gevşer. Bu nedenle kontrol başlığı montajdan sonra herhangi bir zamanda kalan gerilmeyi kontrol etmek için kullanılır. Bu cıvatalar bağlantının yorulmaya, titreşime, yapısal kaymaya maruz kaldığı ve basıncın korunması gereken yerlerde kullanılır. Bakım, montaj ve işletme

maliyetlerini azaltır, tasarım performansını ve emniyetini artırır. Ölçü civatası Şekil 2.15'te gösterilmiştir [18, 23].



Şekil 2.15 : Ölçü civatası [18, 24].

2.4.3.3 Uzama ölçerli (strain gage) kuvvet rondelası

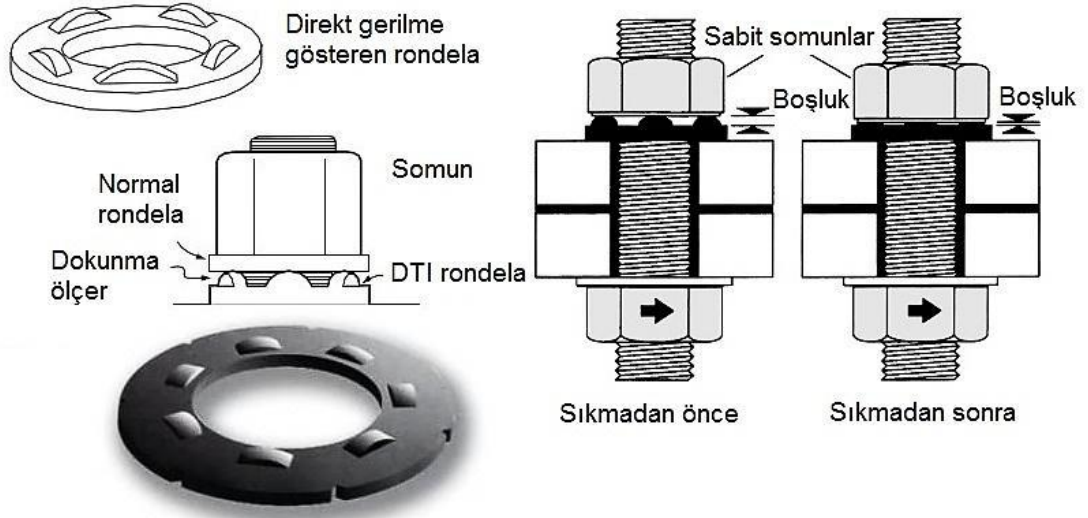
Bağlantıda uzama ölçerinin bulunduğu sıkıştırılabilir halka şeklindeki kuvvet rondelası kullanarak ön yük ölçülür. Yük hücreleri civata sıkılırken ön yükü sürekli ölçmek için kullanılır ancak dezavantajı maliyetinin yüksek olmasıdır. Sonuç olarak kuvvet rondelası sadece deneysel ölçümler ve özel uygulamalar için kullanışlıdır. Uzama ölçerli kuvvet rondelası Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16 : Uzama ölçerli kuvvet rondelası [25].

2.4.3.4 Direkt gerilme göstergeleri (DTI)

En yaygın direkt gerilme göstergeleri üst yüzeyinde tümsek olan rondelalardır. Bu rondelalar somun ile bağlantı parçası arasında Şekil 2.17'de görüldüğü gibi yerleştirilir.



Şekil 2.17 : Direkt gerilme gösteren rondela [18, 26, 27].

Somun sıkılırken rondela üzerindeki tümsekler plastik olarak akar, cıvata başı ve rondela arasındaki boşluk azalır. Bu boşluğu ölçmek için dokunma ölçer kullanılır. Boşluk önceden belirlenen maximum değer altına düştüğünde sıkma işlemi durdurulur. Bu rondelaların doğruluğu birbirine paralel yüzeyler için % +4, % -6 ile % +12, % -10 arasındadır. Paralel olmayan yüzeylerde kullanıldığında en iyi durum % +15, % -11, en kötü durum % +23, % -15'tir [18].

3. CIVATA BAĞLANTILARINDA EMNİYET

Cıvata bağlantıları yapılan işe, cıvatanın çalıştığı çevreye ve endüstriye bağlı olarak farklı etkilere maruz kalır. Bu nedenle bağlantılarda oluşabilecek hasarlar her ortam için farklılık gösterir. Endüstriyel alanda ortaya çıkan hasarlara bakıldığında her sektör için farklı bir hasar önem taşımaktadır. Örneğin, petrokimya sanayisinde ilk olarak korozyon problemleri ve contalı bağlantılardaki sızıntı ön plandadır. Yorulma ve titreşim gevşemeleri daha az görülen bir durumdur. Otomotiv endüstrisinde ise kendiliğinden gevşeme ve korozyon ana problem olmasına rağmen bazen contalarda sızıntı görülebilir. Yapısal çelik endüstrisi için bağlantı kayması ve korozyon büyük önem taşımaktadır. Kendiliğinden gevşeme ve sızıntı ile asla karşılaşılmaz. Yorulma yapısal çelik endüstrisinde bazen sorun olabilir ama havacılık ve uzay endüstrisinde oluşabilecek hasarlar arasında ilk sıradadır. Cıvata bağlantılarının bulunduğu ortam ve çalışma koşulları dikkate alınarak hasar oluşumu önlenir. Bunun için hasarı meydana getiren şartların neler olduğunu iyi analiz edilmesi gerekir.

3.1 Cıvata Bağlantılarında Hasar

Cıvatalarda montaj esnasındaki mekanik hasar (tork anahtarının çok sert çekilmesi ya da cıvatanın iyi olmaması), yüksek sıcaklıklardaki mekanik hasar (cıvata dayanımının sıcaklık artışıyla düşmesi), korozyon, gerilme korozyon çatlakları, yorulma hasarları nedeniyle kırılmalar meydana gelir. Örneğin, düşük maliyetli cıvata üreticileri 8. kalite orta karbon çeliği yerine bor çeliği kullanırlar. Sıcaklığın artmasıyla bor çeliği dayanımını karbon çeliğinden daha hızlı kaybettiğinden mekanik hasar meydana gelir.

Cıvatalar sıkıldığında uygun olmayan ısıl işlem, küçük köşe yarıçapları ya da kötü malzeme gibi nedenlerle düşük maliyetli cıvataların başının koptuğu son yapılan araştırmalarda görülmüştür. Uygun malzeme kullanımı, cıvata kalitesinin korunması ve cıvata boyutunun istenilen yükü taşıması durumunda cıvatalarda mekanik hasardan dolayı kırılma görülmez ancak cıvatalar korozyon, gerilme korozyonu ya da yorulma nedenleriyle kırılabilir.

Cıvataların eksik olması durumunda ise sıkma işlemi düzgün bir şekilde gerçekleştirilemez. Belki de eksik cıvatalar için en sık görülen neden kendiliğinden gevşemedir. Kendiliğinden gevşemeye en sık titreşim neden olur fakat aynı zamanda sıcaklık ya da basınç değişimleri de neden olabilir. Eksik cıvataların tek nedeni kendiliğinden gevşeme değildir. Teknisyenin cıvatayı bağlamaması nedeniyle bağlantıda cıvatalar eksik olabilir. Bazı durumlarda büyük, ağır teçhizat gerektiren bazı cıvatalar deliğin hizada olmaması ya da benzeri bir nedenden dolayı bağlanmamıştır. Emniyet açısından cıvatalı bağlantılarda gereğinden fazla sayıda cıvata kullanılmasına rağmen birkaç eksik cıvata olması bağlantı dayanımını belirli bir süre koruyabilir fakat kritik durumlarda bu durum ciddi tehlikeler oluşturur.

Cıvataların yeterince gergin olmaması, cıvataya yanlış ön yük uygulanması bağlantı hasarının şu anda belki de en sık görülen nedenidir. Kırılmış ve eksik cıvatalar gevşemenin aşırı şekli olarak da düşünülebilir. Bu üç problemin herhangi biri şu hasar şekillerine yol açabilir;

- Bağlantı sızıntısı,
- Bağlantının kayması,
- Makine elemanlarının kasılması,
- Yorulma hasarı,
- Kendiliğinden gevşeme.

Gevşek cıvata ile kendiliğinden gevşeme arasındaki ilişki tavuk-yumurta ilişkisine benzer. Eğer cıvata başlangıçta çok gevşekse (ör: montaj sırasında yanlış sıkıldıysa), bu kendiliğinden gevşemeyi teşvik edecektir. Diğer yandan kendiliğinden gevşeme giderek cıvataların daha da gevşemesine neden olacaktır. Bu yüzden bir bağlantı hasarını analiz ederken bu durumun etkisini ve neden olduğu şeyi anlatmak çoğu kez zordur. Örneğin contalı bağlantılarda cıvatalar düzgün bir şekilde sıkılmamışsa sızıntı meydana gelebilir.

Cıvataların çok gergin olması da bağlantı hasarına katkıda bulunabilir. Aşırı cıvata yükleri contaları ezebilir veya bağlantı yüzeyine zarar verebilir. Ayrıca gerilme korozyon çatlağını (SCC) teşvik edebilir ya da yorulma ömrünü azaltabilir. Yorulma bazı uzmanlara göre en azından cıvatadaki gerilmenin doğru miktarda olması ile önlenir [18].

3.2 Hasar Oluşumunda Temel Şartlar

Cıvata bağlantılarında hasarların hangi şartlarda oluşabileceğini bilmek hasarı önlemek için son derece önemlidir. Hasar şekillerine bakılacak olursa;

- Korozyon problemi anot, katot, elektrolit ve anot ile katot arasında metalik bağlantı olması ile ortaya çıkar. Bu temel şartlardan birinin ortadan kaldırılması ile korozyon problemi tamamen önlenir.
- Gerilme korozyonu çatlağı (SCC) duyarlı malzeme, eşik değer üzerinde gerilme, elektrolit ve başlangıç kusuru olması durumunda ortaya çıkar.
- Hidrojen kırılabilirliği SCC ile aynı koşulları gerektirir ama elektrolit yerine hidrojen vardır.
- Yorulma hasarı çevrimsel çekme gerilmesi, duyarlı malzeme, dayanım sınırı üzerindeki gerilme seviyesi ve başlangıç kusuru ile ortaya çıkar.
- Mekanik hasarlar cıvataların ya da dişlerin statik dayanımını aşan gerilme seviyelerinin olması durumunda görülür.
- Kendiliğinden gevşeme cıvata eksenine dik açıdaki çevrimsel yükler ve cıvata, somun ve bağlantı elemanları arasındaki kayma ile oluşur.

Aslında bağlantı hasarını önlemek için temel şartlar sınırlı kalır. Sorun hasarın belirli türü için gerekli temel koşulları saptayabilen ikincil koşulların çok daha fazla olmasıdır. Hasara neden olan olası ikincil koşullar şöyledir;

- Belirtilmemiş cıvata malzemesi,
- Tasarımcının kötü malzeme seçimi,
- Yanlış ısı işlem (su verme çatlağı dahil),
- Aşırı ön yük,
- Kesme, eğilme ve burulma gerilmesi,
- Sürünme zararı,
- Anormal yükler (koç darbesi, sismik şok),
- Yanlış cıvata ölçüleri (ör: kötü diş uyumu),
- Yüksek sıcaklıklar,
- Konstrüksiyon yöntemleri.

Tek amaç tanımlanan makine hasarının temel şartını sorunların arkasındaki büyük sayıdaki sorunlarla açıklayabilmektir. Aslında problemin tekrarını önlemek için ne

yapılabileceği ya da bağlantı hasarına hangi şartların neden olduğu pek çok durumda tamamen açık değildir. Bu nedenle birçok durumda hasarın neden ve nasıl olduğunu bilmek için metalürjik, kimyasal ya da analitik çalışmaya gerek duyulur [18].

3.3 Hasar Açısından Ön Yükün Önemi

Çeşitli hasar şekillerinin temel şartlarıyla ilgili bir çalışma yanlış ön yükün hemen hemen her durumda hasara katkıda bulunan bir etken olduğunu gösterir. Ön yükün hasar şekilleriyle olan ilişkisi şöyledir;

- *Korozyon*: Ön yükün yüksek olması malzemeyi korozif çevrede daha anodik ve daha aktif yapabilir. Yetersiz ön yük elektrolitlerin basınçlı kaplar ve boru sistemlerinden sızmasına izin verebilir ve bu durumda civata korozyona maruz kalır.
- *Gerilme korozyon çatlakları*: Ön yükün çok yüksek olması gerilme seviyesini SCC eşik değeri üzerine çıkarabilir. Yetersiz ön yük ise korozif malzemelerin sızmasına izin verebilir.
- *Yorulma hasarı*: Aşırı ön yük gerilme seviyesini dayanım değerinin üzerine çıkarabilir. Yetersiz ön yük parçalarda görülen gerilme sapmalarını artırabilir.
- *Mekanik hasar*: Aşırı ön yük işletmede civatanın dayanımını aşması dolayısıyla sonraki işletme yüklerine ilave edilebilir. Yetersiz ön yük civatayı tamamen dış yüke maruz bırakabilir.
- *Kendiliğinden gevşeme*: Yetersiz ön yük civataların ve bağlantı elemanlarının enine kaymasına izin verebilir. Bu nedenle bağlantıdaki doğru sıkıştırma kuvveti hasarı önlemek için en iyi yoldur. Bu montaj esnasındaki doğru ön yüke ve sonra sıkıştırma kuvveti ve civata geriliminin istikrarına bağlıdır.
- *Sızıntı*: Yetersiz ön yük bazen tehlikeli ya da masraflı gazların ve sıvıların sızmasına yol açabilir.

3.4 Kendiliğinden Gevşeme

Civata sıkıldığında civatada gerilme, burulma ve eğilme enerjisi depolanır. Bu enerji somun ve bağlantının temas yüzeyleri arasında ya da dişlerde sürtünme tarafından tutulur. Eğer bir şekilde sürtünme kuvvetleri yenilirse civatada depolanan enerji serbest kalır. Sonuç olarak belirli koşullar altında titreşime maruz kalan civatada ön yük kaybolur. Titreşim sonucunda ön yük önemli ölçüde azalabilir ya da tamamen

kaybolabilir. Titreşim altında cıvata ilk olarak yavaş bir ön yük kaybı meydana gelir ve sonraki yük çevrimleri ile ön yük daha da azalır. Ön yükün azalmasıyla diş yüzeyleri arasında yeterince azalan sürtünme kuvvetleri aşılar ve somun hızlı bir şekilde dönmeye başlar ve ön yük tamamen kaybolur. Ön yükün tamamen ortadan kalkması veya cıvata kaybı diğer hasarlara yol açabilir. Ayrıca enine kayma, bağlantı elemanlarının esnekliği, termal döngüler ve diğer şeyler de bağlantının gevşemesine neden olabilir.

Titreşim bağlantıya farklı yönlerde etki edebilir. Titreşim cıvata eksenine paralel veya diktir. Cıvata eksenine dik olan titreşim paralel olan titreşimden çok daha büyük bir problemdir. Cıvata eksenine paralel şiddetli titreşim uzun bir süre içinde ön yükü % 30 ya da % 40 azaltmayı başarabilir, fakat genellikle ön yükü tamamen ortadan kaldıramaz. Cıvata eksenine dik şiddetli enine titreşim çoğu kez ön yükün tamamen kaybolmasına neden olur. Temelde yüzeylerdeki sürtünmeleri sadece enine titreşim yok eder.

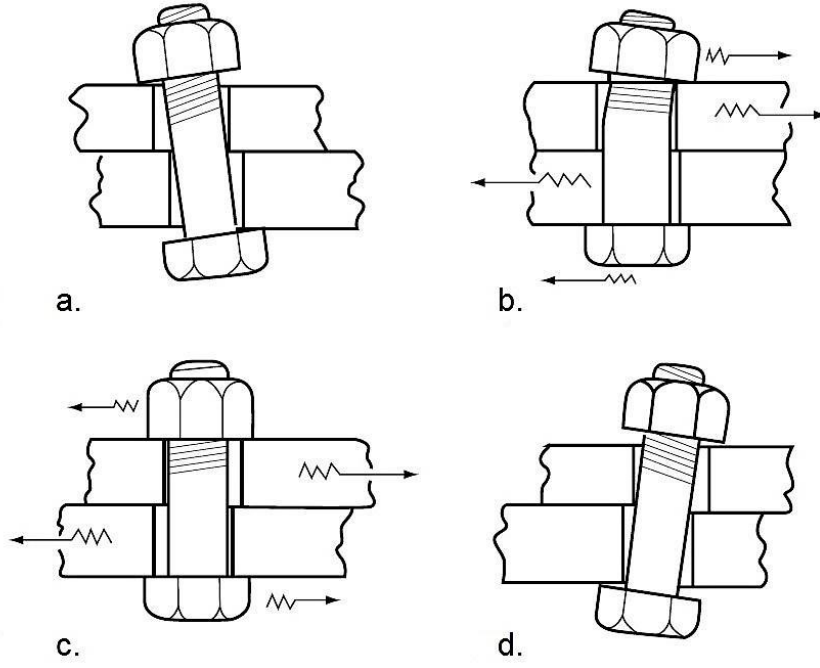
Eksenel titreşim aslında her çevrimde parçalar arasındaki temas kuvvetlerini ve parçalar arasındaki zorlanmaları artırır. Cıvatalarda bazen sıkışma da görülebilir. Bazı cıvatalar sadece enine titreşime veya sadece eksenel titreşime maruz kalmaz. Eksenel ve enine titreşimin beraber görüldüğü bağlantılarda titreşim hareketi düz bir hareketten ziyade dairesel bir yol boyunca gerçekleşir. Deneyler bu şekildeki titreşimin cıvatayı bazen sıkıştıracağını, bazen gevşeteceğini ve bazen de sıkıştırma ve gevşemenin olmayacağını göstermiştir.

3.4.1 Junker'in kendiliğinden gevşeme teorisi

Junker'in teorisine dayanarak tasarlanan Junker makinesi üzerinde titreşime dayanıklı özel cıvatalarla deneyler yapılmış, elde edilen sonuçlara göre teorisini doğrulanmıştır. Bu nedenle teorisini uygun bir başlangıç noktası olmuştur.

Junker teorisinin önemli bir parçası enine titreşimin dış, somun ve bağlantı kaymasına niçin neden olduğunu açıklamasıdır. Bu olayın oluşum süreci şöyledir;

İlk çevrim sonucunda somun ve cıvatanın göreceli konumları Şekil 3.1a'da gösterilmiştir. İlk olarak somun ve cıvata dış sürtünmeleriyle bağlantılı olarak kilitletir. Bağlantı kayması devam ederken cıvata bağlantı parçalarının bağlı hareketinden dolayı sağa doğru Şekil 3.1b'de görüldüğü gibi eğilir.



Şekil 3.1 : Titreşim etkisinde kayma oluşumu [18].

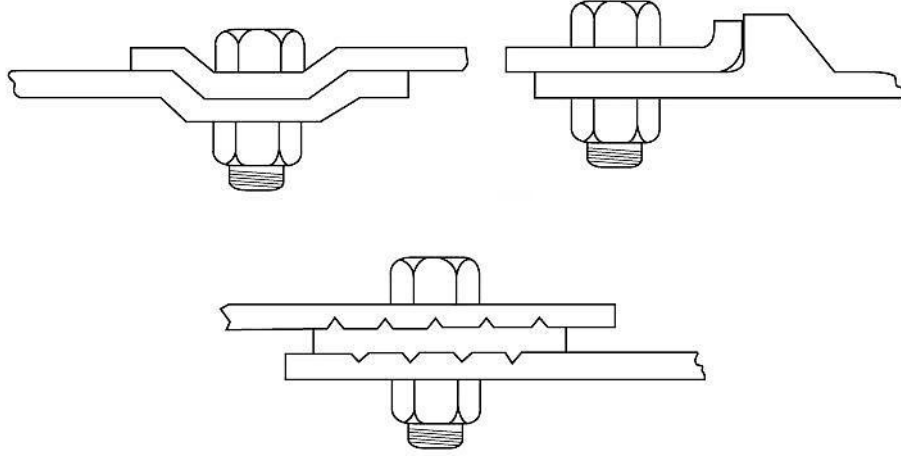
Bir süre sonra eğilme kuvvetleri dişler arasındaki sürtünme kuvvetlerini yener. Cıvata Şekil 3.1c'deki gibi doğrulur ve somunun ters tarafına doğru hareket eder. Cıvatanın diğer ucu hala sürtünme kuvvetleri tarafından tutulduğundan bu hareket tek başına gevşemeye neden olmak için yeterli değildir. Eğer koşullar yeterli şiddette ise ancak cıvata başı bağlantı yüzeyine karşı kayar, sonra cıvata dişleri somun dişleri üzerinde kaymaya başlar. Bu şartlar altında cıvatanın her iki ucu bir an için serbesttir ve bir miktar döner. Depolanan potansiyel enerjinin bir miktarı kaybolur ve bağlantı kaymaya devam ederken cıvata Şekil 3.1d'deki gibi sağa doğru tekrar eğilir. Hareket yönünde başka diş boşluğu olmadığından bu sırada başka ön yük kaybı oluşmaz. Bu süreç periyodik olarak devam eder.

3.4.2 Titreşime direnme, ön yük ve sürtünmeyi koruma

Kendiliğinden gevşeme çevrimsel enine yüklerin, dişler ve bağlantı yüzeyleri arasındaki kaymanın yok edilmesi ile önlenir. Bunun için mekanik veya kimyasal yollarla somunun kilitlenmesi sağlanır. Bu sayede diş ve bağlantı yüzeylerinde sürtünme kuvvetleri tutularak ön yük korunmaya çalışılır. Titreşim sürtünme kuvvetlerini yense bile bağlantının dağılması engellenebilir.

Bağlantıda yüksek ön yük sağlayarak yüksek sürtünme kuvvetleri oluşturulur. Eğer maksimum titreşim direnci elde etmek istenirse cıvatayı akma değerine kadar sıkmak gerekir ancak dış yükler ya da emniyet faktörleri göz önünde bulundurulursa bu

durum gerçekleştirilemez. Bu nedenle montaj sırasında ön yükü doğru kontrol etmek gerekir. Ayrıca gömülme, elastik etkileşimler ve benzeri şeylerin neden olduğu gevşemeyi azaltmak veya ortadan kaldırmak da son derece önemlidir. Diş ya da diğer yüzeylerin sürtünme katsayısı değiştirilerek, yağlayıcılardan kaçınılması ve Şekil 3.2'deki gibi bağlantıların yapılmasıyla bağlantıda kayma oluşumu önlenerek sürtünme kuvvetleri korunabilir.



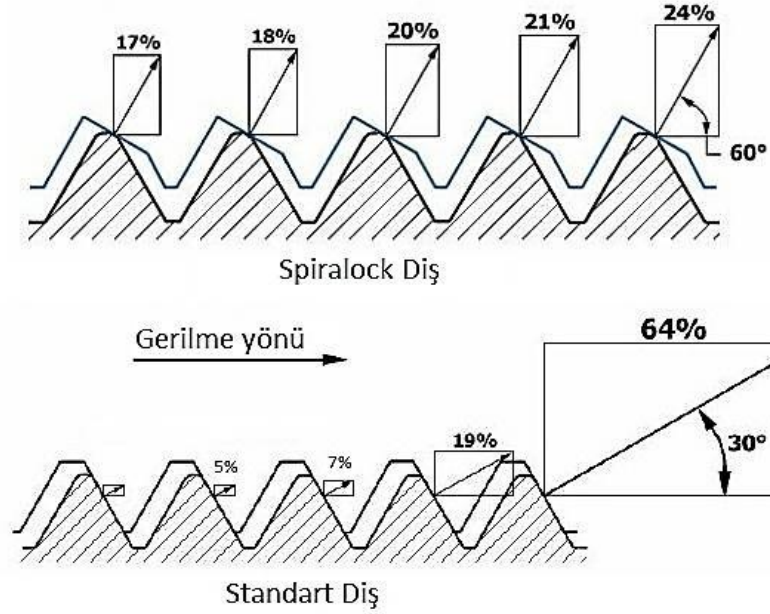
Şekil 3.2 : Kaymayı önleyen tasarım şekilleri.

Bağlantıda düşük bir sertlik oranı sağlayarak ön yük kaybı azaltılabilir. Sert bağlantı ve yumuşak cıvata bir miktar cıvata boyu değişimi için ön yük kaybı miktarını azaltır. Cıvata uzunluğunun çapına oranının 6:1 veya 8:1'den büyük olması durumunda cıvata elastik olarak davrandığı için gevşeme meydana gelmez. Enine titreşim altında bu oranlara göre uzun, ince cıvataların kullanılması bağlantı yüzeyinde kaymayı önler fakat bu durumda cıvatalarda eğilme meydana gelir. Naylon dolgulu cıvatalar ya da somunların kullanılması, bağlantı parçalarının birbirine kaynak edilmesi, ya da yapıştırıcıların kullanılması ile kayma önlenir. Ayrıca normal diş yerine düşük helis açılı ince diş kullanılması titreşime karşı iki kat direnç gösterir. Bunların dışında bağlantılarda farklı kilitleme yöntemleri uygulanmaktadır.

3.4.2.1 Özel diş kilitlemesi (Spiralock)

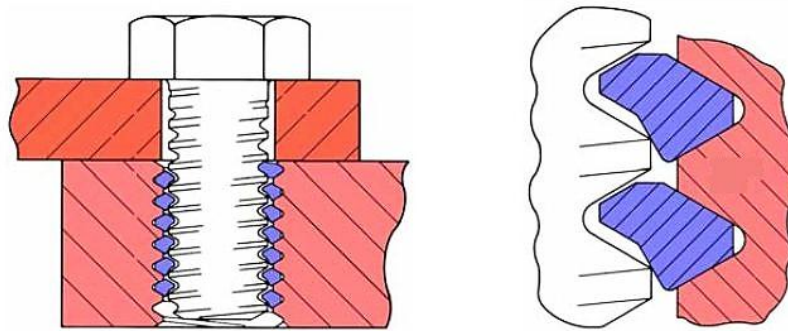
Spiralock diş yapısı cıvata dişlerinin uçları ve 30° kama eğimi arasında helisel temas hattı oluşturur. 60°'lik bir diş ile benzer bir bağlantı gerilmesi oluşturmak için spiralock dişler % 10-20 daha fazla tork gerektirir. Spiralock diş yapısı normal bir dişe göre çok daha düzgün yük taşır. İlk beş dişteki yük dağılımı Şekil 3.3'te

gösterilmiştir. İlk dişe gelen yük oranı Spirallock dişte % 24, normal bir dişte ise % 64'tür.



Şekil 3.3 : Spirallock diş yapısı ve yük dağılımı [28].

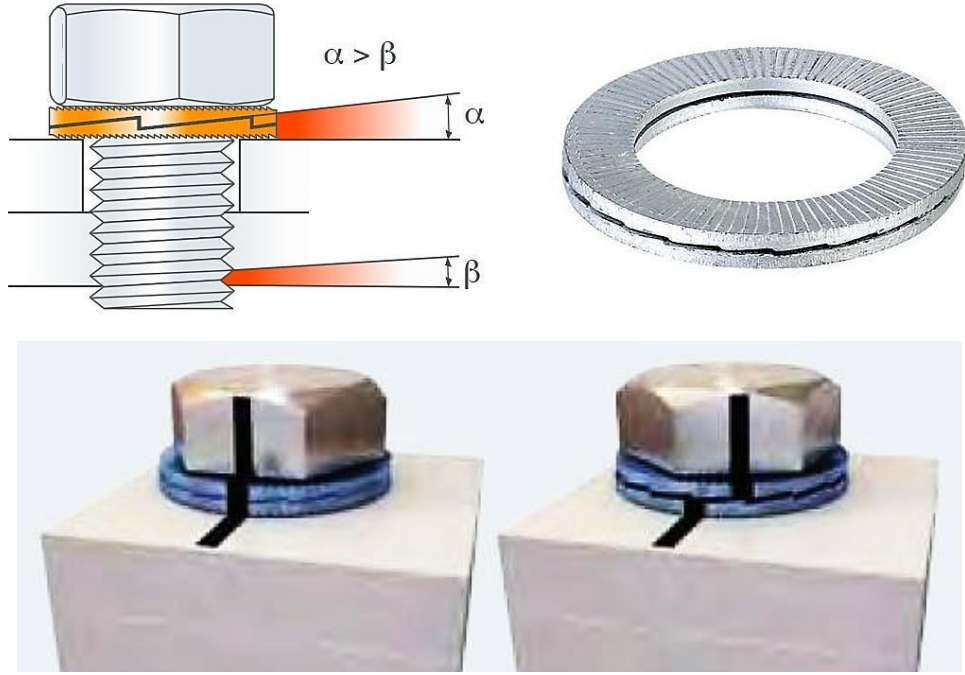
Spirallock dişler radyal boşluğu önler, sıkma kuvvetini tüm temas noktalarına yayarak yorulma ömrünü artırır ve bağlantı hasarlarını azaltır. Titreşime neden olan enine hareketleri önler ve cıvata bağlantılarının toplam maliyetini azaltır. Ayrıca Şekil 3.4'te görülen tel diş eklenmiş bağlantılar yapılarak cıvataların uçlarının özel dolgulu diş yapısına oturmasını sağlar ve cıvatanın dolguya göre enine kaymasını önler [28].



Şekil 3.4 : Tel diş eklenmiş bağlantı [28].

3.4.2.2 Nord-Lock rondelalar

Çok sayıda tırtırları olan iki eş rondela Şekil 3.5'te görüldüğü gibi tırtırlı yüzeyleri birbirine oturacak şekilde kullanılır.

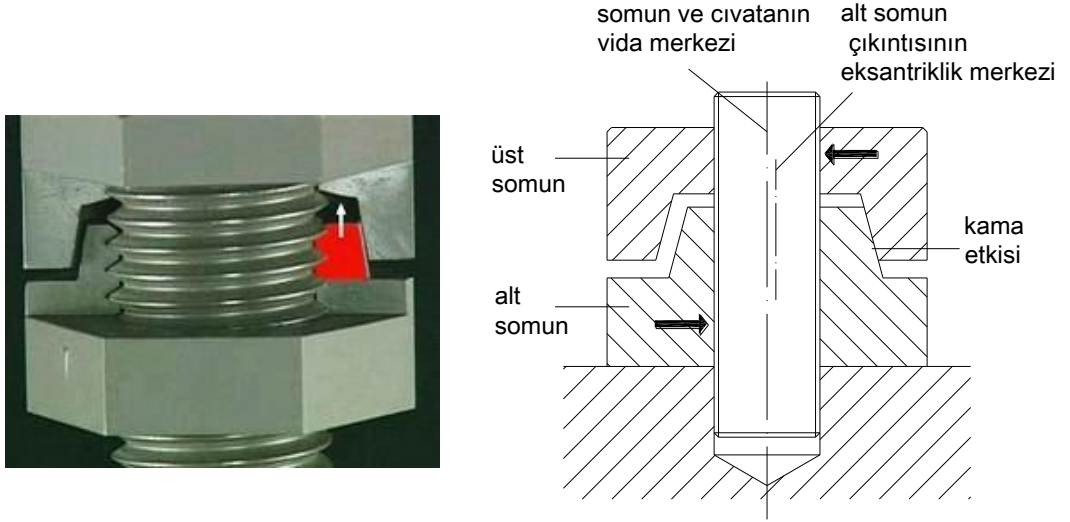


Şekil 3.5 : Nord-Lock rondela [29].

Rondelanın diğer kenarındaki sırtlar somun ve bağlantı yüzeylerine saplanır. Eğer somun dönmeye başlarsa o anda kendisiyle beraber temas ettiği rondelayı sürükler. Somuna temas eden rondelanın tırtırlı yüzeyleri bağlantıyı kavrayan rondelanın tırtırlı yüzeyinde tırmanmaya zorlanır. Tırtırlı yüzeyler arasındaki açının (α) civata diş açısını (β) aşmasından itibaren iki rondela arasındaki bağıl hareket gevşemeye karşı direnç gösterir. Somun gevşemeye çalışırken civatadaki gerilme artabilir. Eğer somun saat yönünün tersine dönmeye çalışırsa tırtırlı yüzeylerin karşı koyması somunu sıkmaya zorlar.

3.4.2.3 Eksantrik somun (Hard-Lock)

Cıvata bağlantısında biri dış bükey biri iç bükey olan iki somun Şekil 3.6'da görüldüğü gibi birlikte kullanılır. Altta bulunan iç bükey somunun kayma yüzeyi eksantrik, dış bükey olan üst somun ise dairesel biçimdedir.



Şekil 3.6 : Eksantrik somun [30].

Üst somun sıkılırken kayma yüzeyleri vida dişleriyle birlikte zorlanır. Alt somun çıkıntısı dişler ve kayma yüzeyi arasında kama etkisi oluşturarak kilitleme meydana getirir. Bu şekilde çok şiddetli titreşim ve darbe yüklerine karşı koruma sağlanır. Somun yüzeyleri arasında aşınma olmadığından tekrar tekrar kullanılabilir. Uzun süre civatadaki kuvvet korunur. Civata kırılmalarını önler, ömrünü uzatır ve ekonomiktir [30].

3.4.2.4 Çift somun

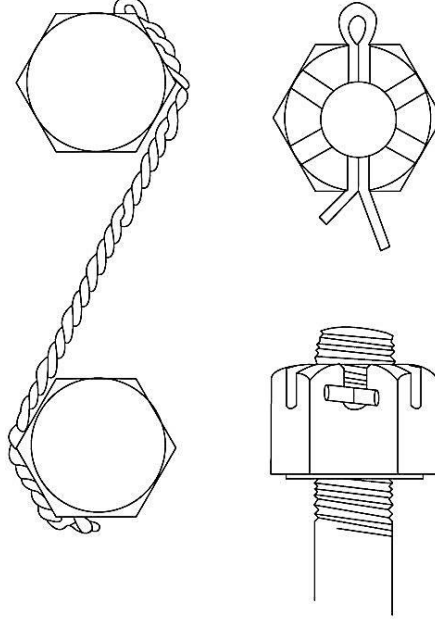
Farklı kalınlıkta iki somun kullanılır. Bağlantı yapılırken Şekil 3.7'deki gibi ince somun altta kalın somun üsttedir. İlk olarak ince somun daha sonra kalın somun sıkılır. Kısmen gevşeyen ince somunun kalın somun ile sert temasını arttırmak için son olarak beraber sıkılır.



Şekil 3.7 : Çift somun [31].

3.4.2.5 Kilitleme telleri ve pimleri

Bu uygulama bağlantının dağılmasını etkili bir şekilde önleyebilir fakat ön yükü önemli ölçüde korumada etkili değildir. Sert bir bağlantıda somunun 2° dönmesi ön yükü % 27, 6° dönmesi % 42 azaltır. Kilitleme telleri veya çatal pimlerin çoğu somun hareketinin sıkı kontrolünü sağlamak için amaçlanmamıştır. Kilitleme telleri ve pimler Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Kilitleme telleri ve pimler.

3.4.2.6 Plastik dolgulu somun

Somunların uç kısımlarında Şekil 3.9’da görülen naylon, fiber gibi malzemeler kullanılarak civataların rezonans frekanslı titreşiminin azaltılması sağlanır. Bağlantıda istenen ön yükü elde etmek için gerekli olan torka somunu kavramak için gerekli olan baskın tork ilave edilir.



Şekil 3.9 : Plastik dolgulu somun [32].

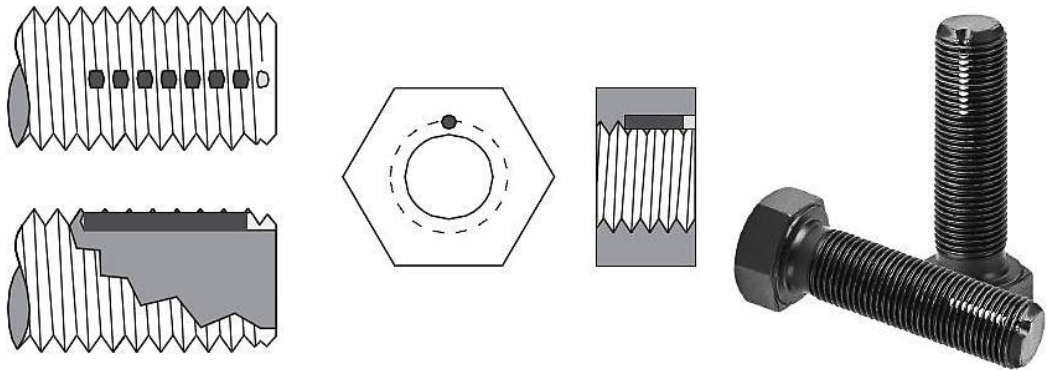
3.4.2.7 Tek-Lok ve Omni-Lok cıvatalar

Cıvatanın dış bölgesine delinen bir delik içerisine dış dibinin biraz daha altındaki bir derinliğe plastik malzeme sıkıştırılır. Plastik malzemenin boyutu ve yeri standarttır ve özel gereksinimleri karşılamak için değiştirilebilir. Plastik malzeme kama gibi davranır ve karşı itme kuvveti oluşturarak dişler arasında kilitleme sağlar. Tek-Lok cıvatalar Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Tek-Lok cıvatalar [33].

Omni-Lok cıvatalar Şekil 3.11’de görüldüğü gibi cıvata eksenine paralel yer alan tamamen dış içindeki bir delik içerisinde bulunan tek veya çoklu pimleri içerir. Pimler montaj sırasında dişler arasında etkili bir sıkıştırma oluşturur. Kısa diş teması parçaların kendiliğinden kilitleme özelliğinden faydalanmasını sağlar. Yüksek baskın tork gerektirir. Ağır korozyon şartları için uygundur. Yüksek sıcaklığa dayanıklı (1200 °F), yumuşak dökme malzemelerden kontrol edilebilir bir tork sağlamak için imal edilmiştir [33].



Şekil 3.11 : Omni-Lok cıvatalar [33].

3.4.2.8 Çeşitli rondelalar

Cıvata bağlantılarında titreşime karşı Şekil 3.12’de görülen dalga rondela, helis yaylı rondela, tırtırlı rondela gibi farklı ürünler de kullanılabilir. Örneğin tırtırlı rondela

kendiliğinden gevşemenin az tehlikeli olduğu bazı uygulamalarda ve araçlarda sadece düşük mukavemetli bağlantı elemanlarında kullanılabilir.



Şekil 3.12 : Çeşitli rondelalar.

3.4.2.9 Anaerobik yapıştırıcılar

Bu tip yapıştırıcılar karşılıklı dişler arasındaki mikroskobik boşlukları tamamen dolduran tek bileşenli sıvı yapıştırıcılardır. Hava-sız ortamda metal ile temas ettiklerinde sert, dayanıklı bir termoset plastik haline gelirler. Yapıştırıcı karşılıklı yüzeyler arasında bağ kurar ve yüzey pürüzlülüklerinin şeklini alarak dişlerin hareketini engeller. Cıvata diş boyununun tamamen yapıştırıcı tarafından ıslatılması ve yapıştırıcının kürleşmesini engelleyecek bir neden olmaması önemlidir. Bazı yağlar ve temizleme ürünleri yapıştırıcının anaerobik reaksiyon ile kürleşmesine engel olabilir. Dişlerin doğru şekilde ıslatılması diş büyüklüğüne, yapıştırıcının viskozitesine ve parçanın şekline bağlıdır. Anaerobik reaksiyon ile kürleşen bazı yapıştırıcılar sıvı halde iken dişlerdeki sürtünmeyi azaltmaya yardımcı olur. Şekil 3.13'te anaerobik yapıştırıcı uygulanmış cıvata görülmektedir [3].



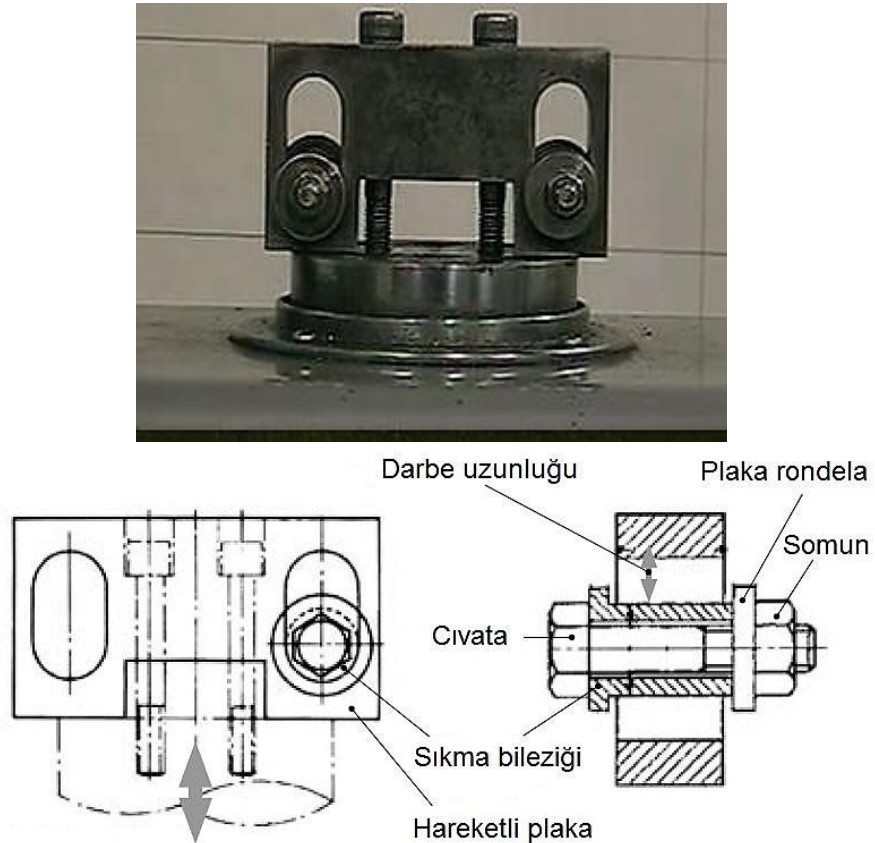
Şekil 3.13 : Anaerobik yapıştırıcı uygulanmış cıvata [34].

3.4.3 Test yöntemleri

Titreşim gevşemesi matematiksel olarak tahmin edilemediği için deneysel çalışmalarla tespit edilmeye çalışılmaktadır. Uzmanlara göre simüle edilmiş bir bağlantı üzerinde test yapmak yeterli değildir. Testlerin mümkünse gerçek bir bağlantı üzerinde sürekli tekrarlanması gerekmektedir. Titreşim gevşemesi hakkındaki bilgiler tamamen deneyseldir ve fark yaratabilecek birçok faktör vardır. Bazı deneyler aslında şüpheli faktörler arasında karmaşık etkileşimleri öne sürer, belki de gevşemeye neden olan daha fazla faktörü belirler. Henüz saptanamayan, fark edilmeyen diğer faktörler de olabilir. Eğer sadece simüle test bağlantısı değerlendirilirse bu bilinmeyen etkileşimler ve faktörler analiz edilemeyebilir. Bu nedenle bu faktörleri belirlemek için veya gevşemeyi önleyici yöntemlerin dayanımlarını test etmek için farklı test yöntemleri kullanılmaktadır.

3.4.3.1 NAS test yöntemi

Küçük bir silindir üzerine somun ve cıvata Şekil 3.14'te görüldüğü gibi bir ucunda sıkma bileziği diğer ucunda rondela kullanılarak hareketli plaka üzerindeki kanal içinde sıkılır.

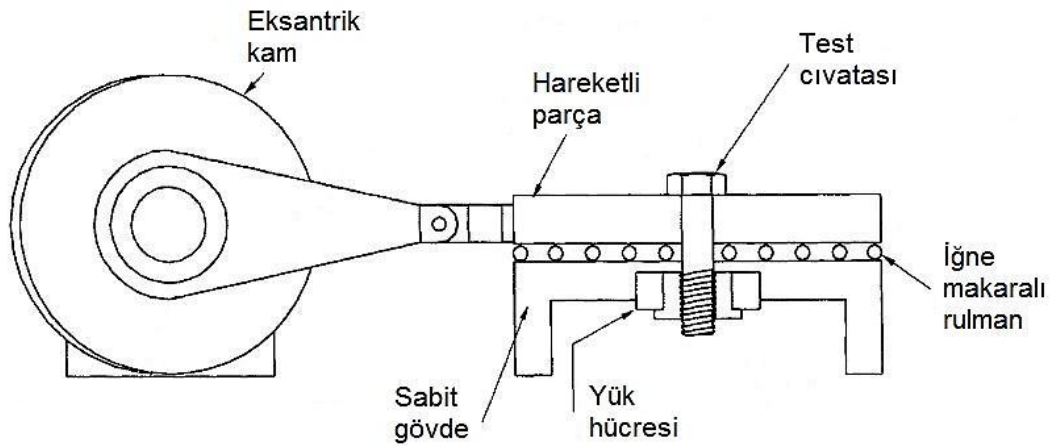


Şekil 3.14 : NAS test makinesi [30, 35].

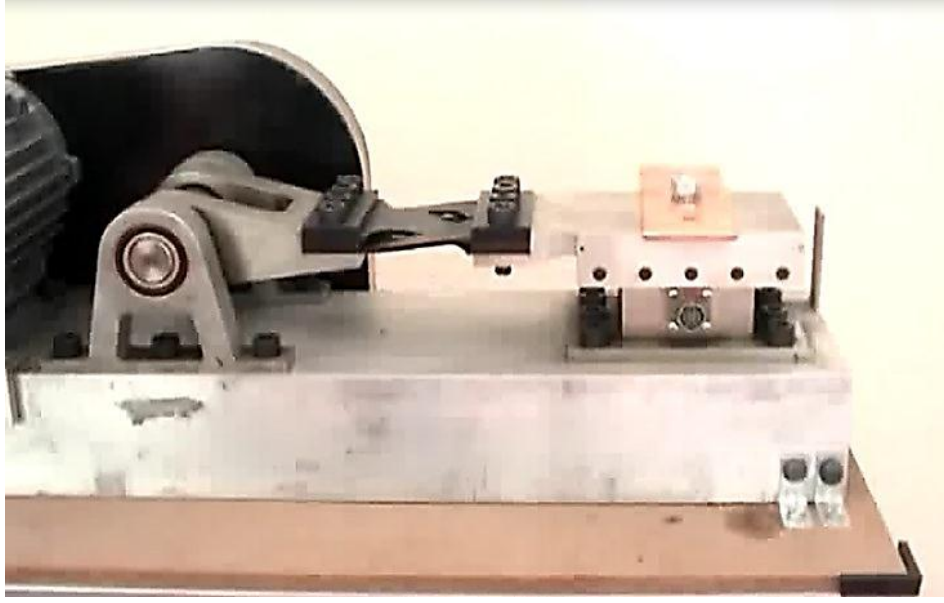
Cıvata bağlantısı kanaldan dışarı çıkmadan kenarlara çarpmak için serbest bırakılır. Dikey yöndeki hareket ile cıvata bağlantısının kanalın kenarlarına çarpması sağlanarak darbe ile somun ve cıvatanın birbirinden ayrılması sağlanır. Test altında cıvata sisteminin titreşim direncini belirlemek için titreşim frekansı, genliği ve zaman ölçülür. Bu test yöntemi NAS 3350 (Ulusal Havacılık ve Uzay Standartı) olarak açıklanmıştır. Bu çok ciddi bir test yöntemidir. Junker test kontrollü titreşime dayanıklı birçok cıvata NAS testi sırasında hızla gevşemiştir. Sawa ve diğerleri titreşime dayanıklı 12 çeşit rondela ve somunu test etmek için hem Junker hem de NAS düzeneğini kullanmıştır. Sadece eksantrik dişli somun NAS testinde başarılı olmuştur. Naylon dolgululu somun birkaç dakika içinde dağılmış, diğerlerinin dağılması ise saniyeler sürmüştür.

3.4.3.2 Junker test yöntemi

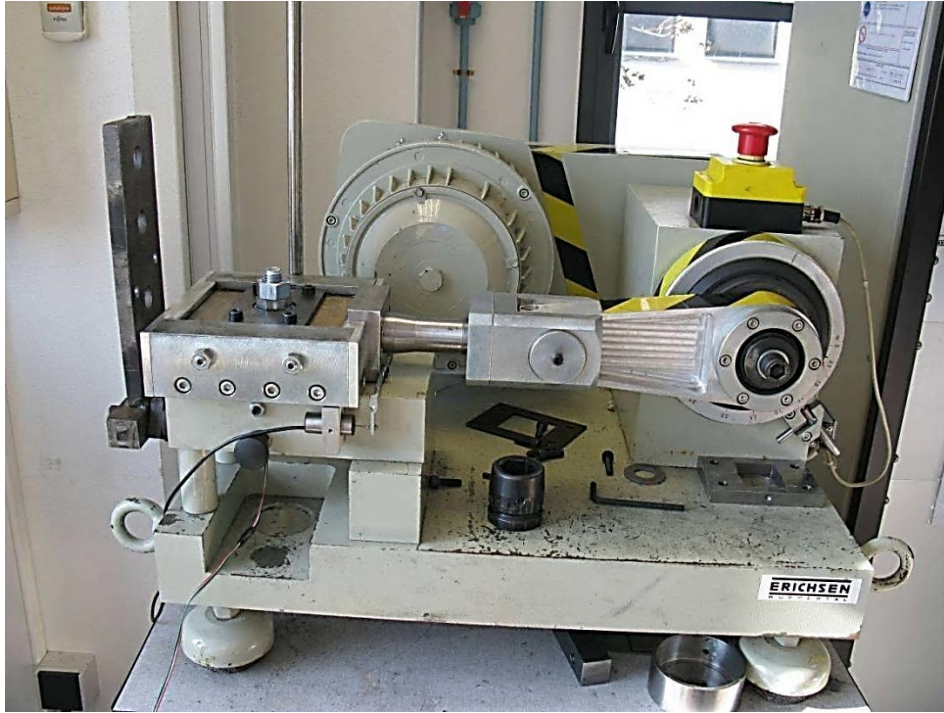
Eksantrik bir kam test altındaki cıvata üzerinde kontrol edilebilir miktarda enine yer değiştirme hareketi sağlar. Sabit gövde ile hareketli parça arasında kullanılan iğne makaralı rulman ile minimum sürtünme elde edilir ve hareketli parçanın kayması sağlanır. Yük hücresi ile çevrim sayısına göre bağlantının ön yük değişimi ölçülür. Junker test makinesinin ana bölümleri Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de verilen test düzenekleri üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.15 : Junker test makinesinin ana bölümleri [11].



Şekil 3.16 : Junker test makinesi [36].

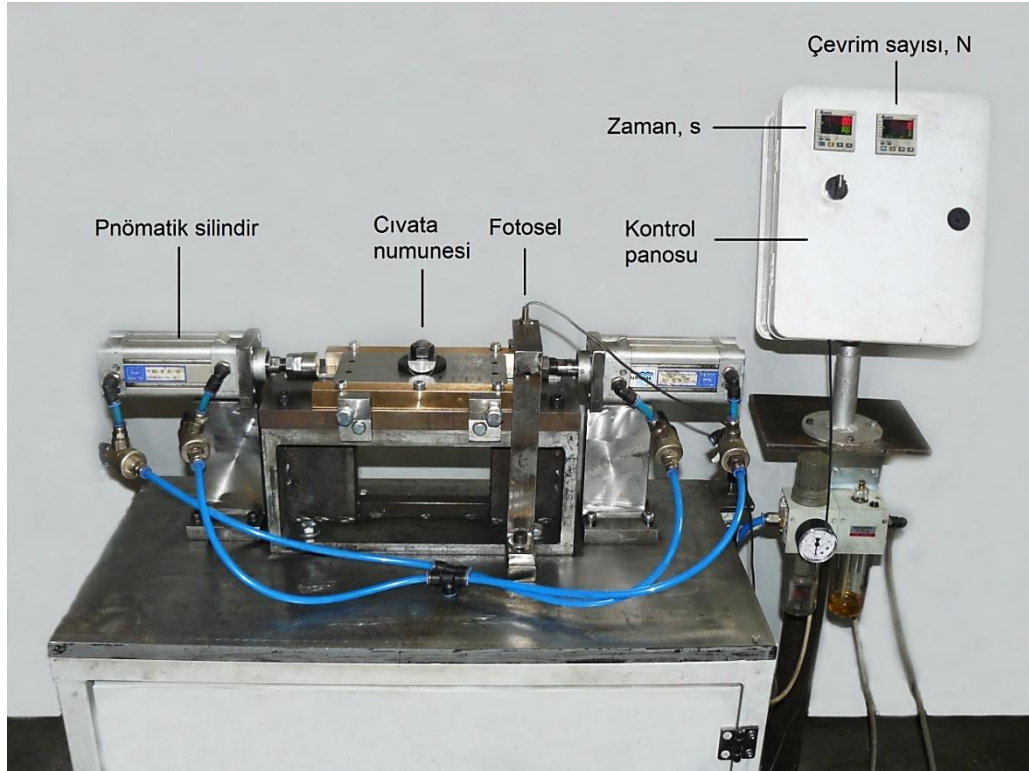


Şekil 3.17 : Erichsen (Junker) test makinesi [37].

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Deney Düzeneği

Deneyley için hareketin pnömatik sistem ile sağlandığı Junker makinesine benzer şekilde çalışan test makinesi imal edilmiştir (şekil 4.1).



şekil 4.1 : Pnömatik test makinesi.

Pnömatik ekiler test makinesi üzerine bağlanan cıvataya periyodik olarak kuvvet uygular ve bağlantıyı gevşetmeye çalışır. Test makinesinden ayrı bir kontrol panosu bulunmaktadır. Bu panodan çalışma süresi ayarlanabilmekte ve bu süre içinde ekilerin vuruş sayısı görülebilmektedir. Vuruş sayısı pnömatik eki üzerinde bulunan bir fotosel ile ölçülür. Pnömatik şartlandırıcıdan basıncın azaltılması veya arttırılması ile vuruş sayısı değiştirilebilir. Yapılan deneme testleri sonucunda test makinesinin 5 barda ideal şekilde çalıştığı ve bu basınçta vuruş sayısının dakikada 1400 olduğu belirlenmiştir. Test sırasında cıvatadaki boy değişimleri ultrasonik cihaz ile ölçülmektedir.

4.2 Ultrasonik Ölçme Cihazı

Deneyleerde Şekil 4.2’de görülen MINI-MAX ultrasonik ölçme cihazı ve temas jeli kullanılmıştır.



Şekil 4.2 : Ultrasonik ölçme cihazı ve temas jeli.

Cihaza bağlı bir güç çevirici üzerine bir miktar temas jeli sürülür ve cıvata ucuna temas ettirilerek ölçüm yapılır. Ölçme işleminin sağlıklı yapılabilmesi için güç çeviricinin yüzeyle temasına ve yer değiştirmemesine dikkat etmek gerekir. Ses dalgasının doğru iletimi için güç çevirici ile temas eden yüzey düzgün ve cıvatanın uç kısmı da bu yüzeye paralel ve cıvata eksenine dik olmalıdır. Yüzeyde bulunan küçük çentikler küçük sinyal kayıplarına neden olur. Bu nedenle kullanılan jel çentikleri doldurarak ölçüm yapılmasını sağlar. Fakat büyük çentiklerde sinyal çok zayıf olduğundan ya da çentikten dolayı güç çeviricinin yüzeyle teması tam sağlanamadığından güvenli bir ölçüm yapılamaz. Pürüzlü yüzeyler ses dalgalarının dağılmasına ve sinyal kalitesinin zayıflamasına neden olur. Eğilmiş cıvatada ise gönderilen ses dalgası cıvatanın gerçek uzunluğunu kat edemediğinden dolayı yapılan ölçüm gerçek değeri vermez. Bu faktörlere ölçme işleminde mutlaka dikkat edilmelidir. Cihaz uzunlukları 25,4 mm ile 1220 mm arasında olan farklı malzemelerdeki cıvatalarda uzama, yük ve gerilme ölçebilir. Cihazın çözünürlüğü

0,0001 mm'dir. Ölçülen değerler dijital göstergeden okunur, istenildiğinde cihazdan bilgisayara aktarılabilir. Cihazın çalışma sıcaklığı -10°C ile +60°C arasındadır [21].

4.3 Tork Anahtarı

Deneyleerde cıvataı sıkımak ve kontrol etmek için Şekil 4.3'te görülen TOHNICHI DB100N-S marka saatli tork anahtarı kullanılmıştır.



Şekil 4.3 : Saatli tork anahtarı.

Standart olarak hafıza ibresi ile donatılmıştır. Skalası hem saat yönünde hem de tersi yönündedir. Bu sayede gevşetme tork değeri kontrol edilebilir. Tork anahtarının teknik özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 : Saatli tork anahtarının teknik özellikleri.

Kapasite (Nm)	10-100
Çözünürlük	1
Toplam boy (mm)	400
Kare uç (mm)	12,7
Ağırlık (kg)	0,7
Hassasiyet	% ±3

4.4 Yapıştırıcının Teknik Özellikleri

Deneyleerde Loctite 243 anaerobik yapıştırıcı kullanılmıştır. Dişli bağlantıların sabitlenmesi ve sızdırmazlıklarının sağlanması için tasarlanmıştır. Standart el aletleri ile sökülebilir mukavemettedir. Ürün iki metal yüzey arasında ve havasız ortamda kurur, şok ve titreşim altında gevşemeyi önler ve sızdırmazlık sağlar. Sadece aktif metallerde değil (ör: pirinç, bakır) aynı zamanda paslanmaz çelik ve kaplama yüzeyler gibi pasif yüzeylerde de çalışır. Ürün yüksek sıcaklık performansına sahiptir. Korozyon önleyici sıvılara, yağlama ve kesme amaçlı çeşitli yağ kirliliklerine rağmen yüzeyde çalışır. Yapıştırıcının firma tarafından belirtilen özellikleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 : Yapıştırıcının özellikleri.

Kimyasal Türü	Dimetakrilat ester
Görünüm (kurumamış halde)	Mavi sıvı
Floresan ışımaya	UV ışık altında pozitif
Bileşenler	Tek bileşenli - karıştırma gerekmez
Özgül ağırlık (25 °C)	1,08 g/cm ³
Vizkozite (25 °C)	1300-3000 mPa.s (Orta, tiksotropik)
Parlama noktası (TCC), °C	>93
Kürlenme	Anaerobik
İkincil kürlenme	Aktivator
Uygulama	Vida sabitleme
Sıkıştırma Kesme Mukavemeti (ISO 10123)	≥7,6 N/mm ²

4.5 Test Cıvataları ve Bağlantı Parçaları

Deneyleerde 8.8 kalite M10, M12 ve M16 kaplanmamış, çinko ve çinko fosfat kaplı ince ve normal diş cıvatalar kullanılmıştır. Test öncesinde ultrasonik cihaz ile doğru bir ölçüm yapabilmek için test cıvatalarının baş ve uç kısımlarından talaş alınarak Şekil 4.4'teki gibi ölçüme hazır hale getirilmiştir. Her ölçüdeki cıvata için Şekil 4.5'teki alt burçlar ve üst başlıklar imal edilmiştir.



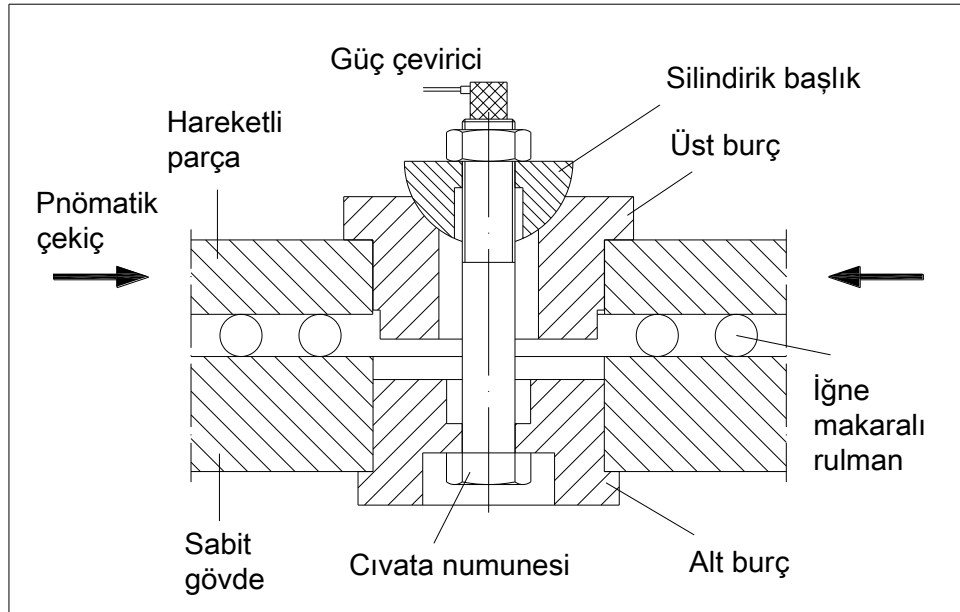
Şekil 4.4 : Test cıvataları.



Şekil 4.5 : Alt burçlar ve üst başlıklar.

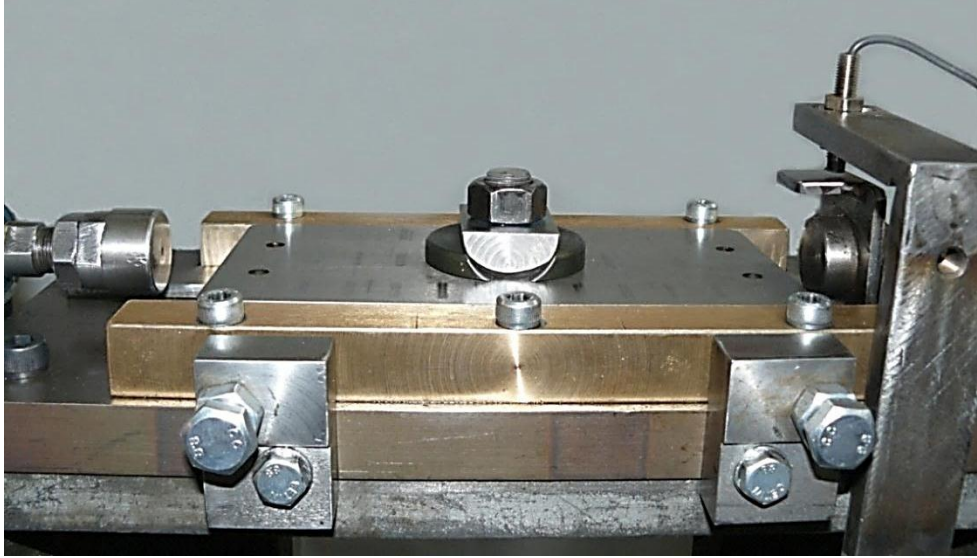
4.6 Cıvataların Test Makinesine Bağlanması ve Ölçme İşlemi

Test cıvataları makineye bağlanmadan önce cıvata ve somunların temas yüzeyleri Loctite 7063 solvent tabanlı bir temizleyici kullanılarak temizlenmiştir. Çok düşük viskoziteye sahip olan temizleyici yüzeye uygulandığında oda sıcaklığında kısa bir sürede buharlaşmakta ve yapıştırıcının kürleşme hızına ve gerilme değerlerine herhangi bir etki etmemektedir. Temizleme işleminden sonra test cıvatası alt burçtan geçirilerek sabit gövdeye oturması sağlanmıştır. Daha sonra silindirik başlık hareketli parça üzerinde bulunan üst burca Şekil 4.6’da görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



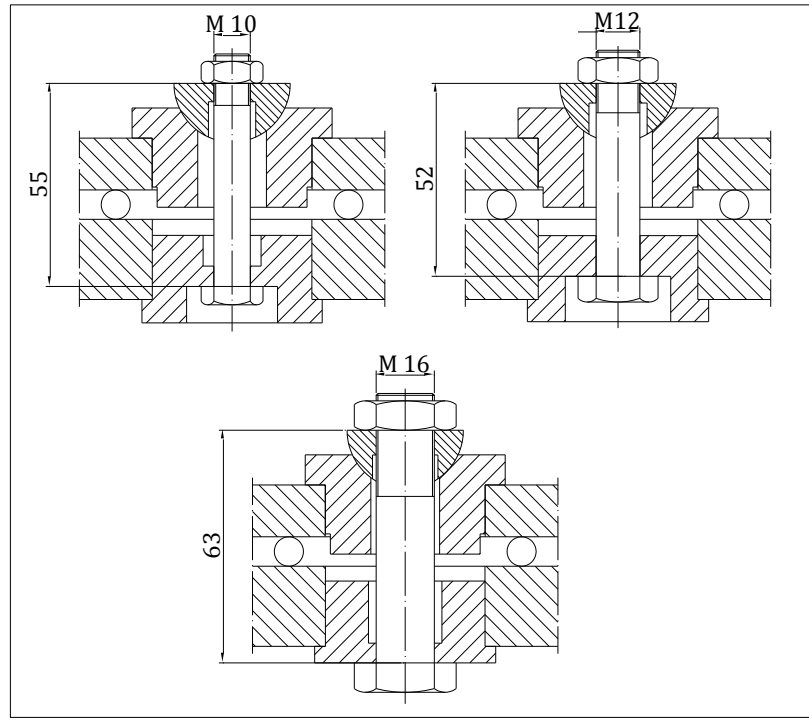
Şekil 4.6 : Cıvata bağlantı şekli.

Cıvata dişlerine Loctite 243 anaerobik yapıştırıcı sürülmüş ve somun elle sıkılarak test makinesine bağlanmıştır. Cıvatalara ön yük uygulanmadan önce cıvataların ilk boyları ultrasonik ölçme cihazı ile ölçülmüştür. Test makinesine bağlanmış cıvata Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : Test makinesine bağlanmış cıvata.

Oluşturulan cıvata bağlantılarının boyutlara göre bağlantı şekilleri ve sıkıştırma uzunlukları (L) Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Boyutlara göre bağlantı şekli ve sıkıştırma uzunlukları.

İlk boyları ölçülen cıvatalar 18 kN ön yük oluşturmak için Tablo 4.3'teki hesaplanan tork değerleri uygulanarak sıkılmıştır.

Tablo 4.3 : Uygulanan tork değerleri.

8. 8 Kalite Cıvata	Tork (Nm)
M10	37
M12	44
M16	56

Sıkılmış durumdaki cıvataların boyu ultrasonik ölçüm cihazı ile tekrar ölçülmüştür. Yapıştırıcının kurlaşması için 24 saat beklenmiştir. Daha sonra kontrol panosundan çalışma süresi ayarlanıp test makinesi çalıştırılmıştır. Süre bitiminde makine otomatik olarak durduğunda cıvata boyu ölçülüp tekrar çalıştırılmıştır. Bu işlem tekrar edilerek makine her durduğunda yapılan ölçüm ile önceki boy değerleri karşılaştırılarak uzamadaki değişimler gözlenmiştir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada yapıştırıcılar kullanılarak cıvata boyutunun etkisi, kaplama türünün etkisi, diş tipinin etkisi incelenmiş, cıvata bağlantılarının titreşim ve kendiliğinden gevşemeye karşı dayanımı tespit edilmeye çalışılmıştır. Deneylerde her cıvata boyutu, kaplama türü ve diş tipi için 3 farklı numune kullanılmıştır. Tablo 5.1’de gösterilen şartlarda deneyler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.1 : Deney şartları.

Boyut (d x h)	M10 x 1,5	M12 x 1,75	M16 x 2
	M10 x 1,25	M12 x 1,5	M16 x 1,5
Sıkıştırma uzunluğu (L = mm)	55	52	63
L / d	5,5	4,3	3,9
Yapıştırıcı	Loctite 243		
Sıkma torku (Nm)	37	44	56
Ön yük (kN)	18		

Her numune için elde edilen deney verileri Tablo A.1 ile Tablo A.18 arasında gösterilmiştir. Uzamadaki değişimler belirli zamanlarda ölçülen cıvata uzunluk değerleri kullanılarak hesaplanmıştır (5.1).

$$E = \frac{L_i - L_1}{L_2 - L_1} \times 100 \quad (5.1)$$

E: Uzamadaki değişim

L_i : Cıvatanın deney süresince ölçülen uzunluğu (mm)

L_1 : Cıvatanın ilk uzunluğu (mm)

L_2 : Cıvatanın sıkıldıktan sonraki uzunluğu (mm)

Kaplanmamış, çinko kaplı ve çinko fosfat kaplı cıvataların deney sonrası ortalama değerleri Tablo 5.2 ve Tablo 5.3’te gösterilmiştir.

Tablo 5.2 : Normal dış cıvata ortalama değerleri.

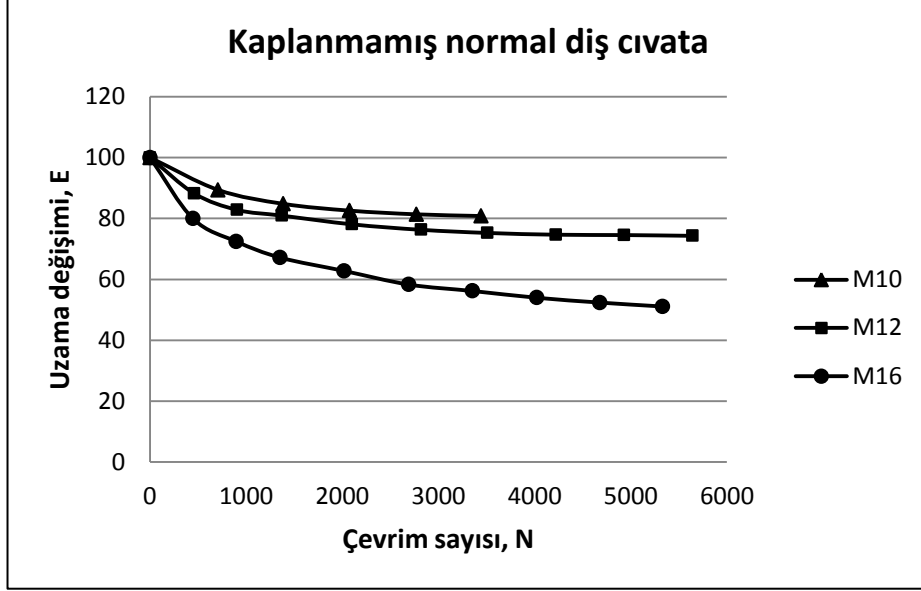
M10 Normal dış cıvata								
Kaplanmamış			Çinko			Çinko fosfat		
L₁, mm		70,8188	L₁, mm		75,1813	L₁, mm		70,9597
L₂, mm		71,0523	L₂, mm		75,4359	L₂, mm		71,2086
Çevrim Sayısı	L_i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L_i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L_i (mm)	E
0	71,0523	100,0	0	75,4359	100,0	0	71,2086	100,0
708	71,0276	89,4	671	75,4174	92,7	712	71,1848	90,4
1387	71,0169	84,8	1354	75,4054	88,0	1421	71,1765	87,1
2076	71,0117	82,6	2008	75,3933	83,3	2131	71,1718	85,2
2770	71,0088	81,4	2669	75,3846	79,9	2833	71,1689	84,0
3444	71,0075	80,8	3327	75,3765	76,7	3545	71,1660	82,9
			4022	75,371	74,6	4256	71,1646	82,3
			4712	75,3676	73,3			
			5379	75,3656	72,5			
M12 Normal dış cıvata								
L₁, mm		67,1782	L₁, mm		76,0566	L₁, mm		67,1057
L₂, mm		67,3273	L₂, mm		76,2080	L₂, mm		67,2634
0	67,3273	100,0	0	76,2080	100,0	0	67,2634	100,0
460	67,3097	88,2	426	76,1743	77,8	464	67,2498	91,4
907	67,3017	82,8	886	76,1517	62,8	929	67,2432	87,2
1374	67,2989	80,9	1301	76,1356	52,2	1390	67,2392	84,6
2103	67,2946	78,1	1993	76,1204	42,1	2087	67,2368	83,1
2820	67,2919	76,3	2686	76,1127	37,0	2784	67,2341	81,4
3511	67,2904	75,3	3361	76,1101	35,3	3481	67,2330	80,7
4221	67,2896	74,7	4068	76,1079	33,8	4177	67,2312	79,6
4933	67,2894	74,6	4744	76,1065	32,9	4873	67,2303	79,0
5644	67,2890	74,3	5413	76,1061	32,6	5570	67,2302	78,9
M16 Normal dış cıvata								
L₁, mm		89,1706	L₁, mm		88,9465	L₁, mm		87,9192
L₂, mm		89,2784	L₂, mm		89,0580	L₂, mm		88,0433
0	89,2784	100,0	0	89,0580	100,0	0	88,0433	100,0
446	89,2571	80,0	359	89,0225	68,2	450	88,0213	82,2
898	89,2491	72,4	723	89,0099	56,9	904	88,0120	74,8
1354	89,2434	67,2	1084	89,0025	50,3	1354	88,0071	70,9
2019	89,2389	62,8	1438	88,9975	45,8	2032	88,0035	67,9
2692	89,2344	58,3	1794	88,9931	41,8	2712	88,0022	66,9
3352	89,2323	56,2	2157	88,9893	38,5	3393	88,0010	66,0
4022	89,2299	54,0	2876	88,9840	33,8	4076	88,0003	65,4
4679	89,2282	52,4	3579	88,9800	30,2	4758	87,9995	64,8
5332	89,2268	51,1	4289	88,9779	28,3	5440	87,9990	64,3
			5005	88,9773	27,8			
			5724	88,9772	27,7			

Tablo 5.3 : İnce diş cıvata ortalama değerleri.

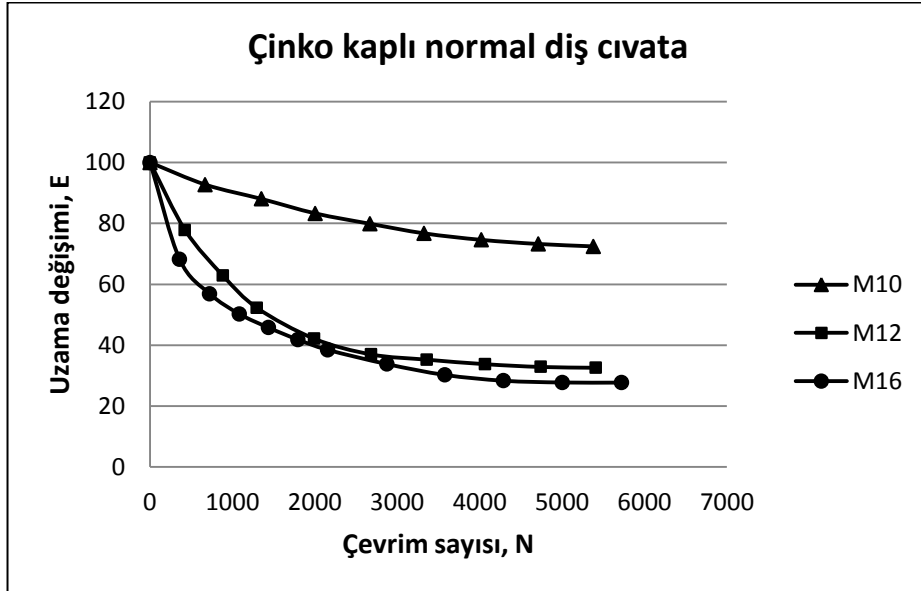
M10 İnce diş cıvata								
Kaplanmamış			Çinko			Çinko fosfat		
L₁, mm		71,1669	L₁, mm		75,7885	L₁, mm		70,9976
L₂, mm		71,4478	L₂, mm		76,0494	L₂, mm		71,3368
Çevrim Sayısı	L_i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L_i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L_i (mm)	E
0	71,4478	100,0	0	76,0494	100,0	0	71,3368	100,0
483	71,4332	94,8	708	76,0262	91,1	703	71,3095	92,0
967	71,4256	92,1	1419	76,0178	87,9	1401	71,2999	89,1
1452	71,4150	88,3	2124	76,0101	84,9	2105	71,2961	88,0
2178	71,4091	86,2	2831	76,0042	82,7	2809	71,2930	87,1
2903	71,4077	85,7	3545	76,0014	81,6	3512	71,2910	86,5
3628	71,4064	85,2	4255	75,9990	80,7	4216	71,2891	85,9
4355	71,4056	85,0	4963	75,9976	80,1	4926	71,2884	85,7
5080	71,4047	84,6	5675	75,9961	79,5			
5806	71,4042	84,4						
M12 İnce diş cıvata								
L₁, mm		67,3393	L₁, mm		76,5893	L₁, mm		67,1747
L₂, mm		67,5042	L₂, mm		76,7648	L₂, mm		67,3740
0	67,5042	100,0	0	76,7648	100,0	0	67,3740	100,0
460	67,4901	91,4	718	76,7363	83,8	697	67,3542	90,1
919	67,4812	86,1	1437	76,7229	76,3	1401	67,3485	87,2
1391	67,4772	83,7	2152	76,7101	69,1	2093	67,3455	85,6
2087	67,4749	82,3	2871	76,6999	63,4	2792	67,3439	84,8
2785	67,4729	81,1	3587	76,6946	60,4	3491	67,3422	84,0
3480	67,4711	80,0	4305	76,6935	59,8	4191	67,3401	82,9
4178	67,4694	79,0	5024	76,6929	59,4	4886	67,3390	82,3
4879	67,4682	78,3	5742	76,6926	59,3	5582	67,3375	81,6
5581	67,4669	77,5						
M16 İnce diş cıvata								
L₁, mm		88,9596	L₁, mm		88,8381	L₁, mm		89,2197
L₂, mm		89,0514	L₂, mm		88,9492	L₂, mm		89,3529
0	89,0514	100,0	0	88,9492	100,0	0	89,3529	100,0
458	89,0420	89,8	472	88,9298	82,4	464	89,3408	90,9
920	89,0389	86,4	946	88,9207	74,2	923	89,3345	86,2
1379	89,0361	83,4	1420	88,9135	67,8	1390	89,3288	81,9
2070	89,0330	80,0	2127	88,9051	60,1	2083	89,3274	80,9
2761	89,0315	78,3	2837	88,9027	57,9	2779	89,3263	80,0
3450	89,0298	76,5	3545	88,8997	55,1	3470	89,3254	79,3
4140	89,0287	75,3	4256	88,8973	52,9	4164	89,3240	78,3
4831	89,0268	73,3	4966	88,8961	52,0	4858	89,3226	77,2
5524	89,0260	72,4	5676	88,8952	51,1	5556	89,3213	76,2
						6258	89,3209	75,9

5. 1 Boyut Etkisi

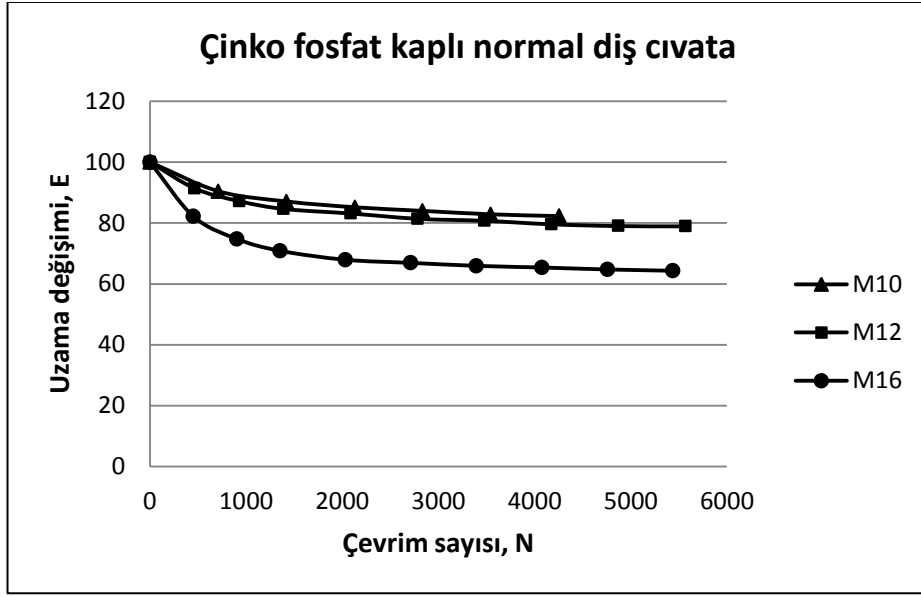
Cıvata boyutunun uzamadaki değişime etkileri Şekil 5.1 ile Şekil 5.6 arasında gösterilmiştir.



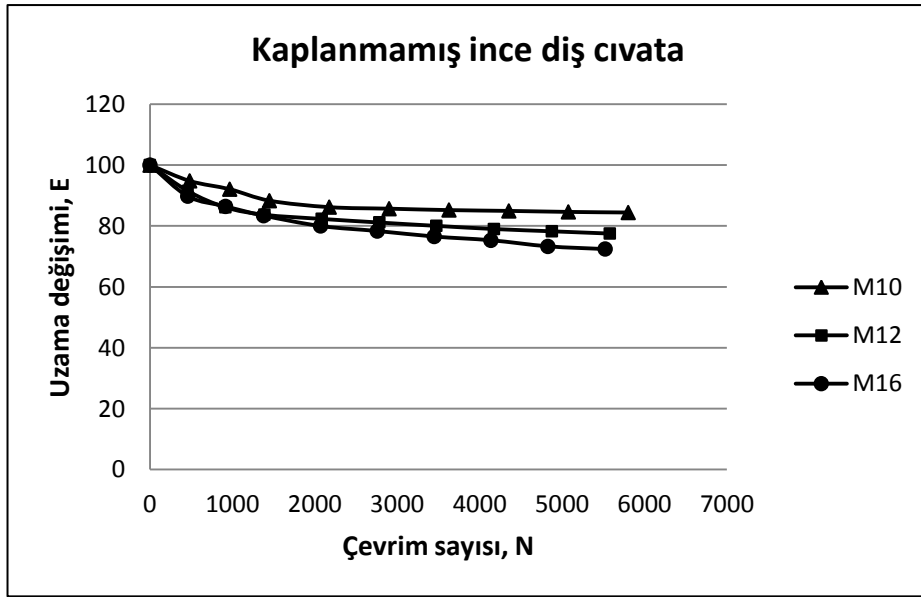
Şekil 5.1 : Kaplanmamış normal dış cıvatanın boyuta göre uzama değişimi.



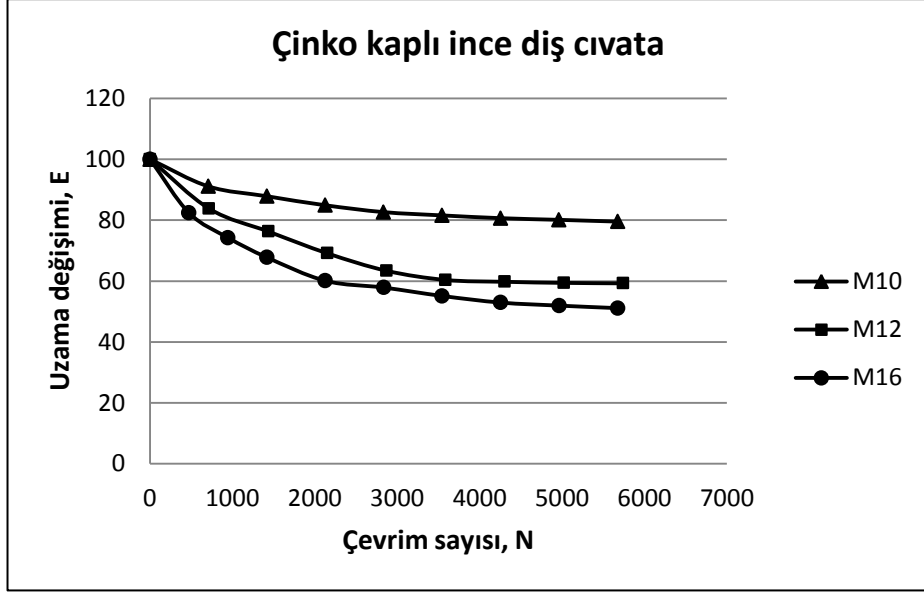
Şekil 5.2 : Çinko kaplı normal dış cıvatanın boyuta göre uzama değişimi.



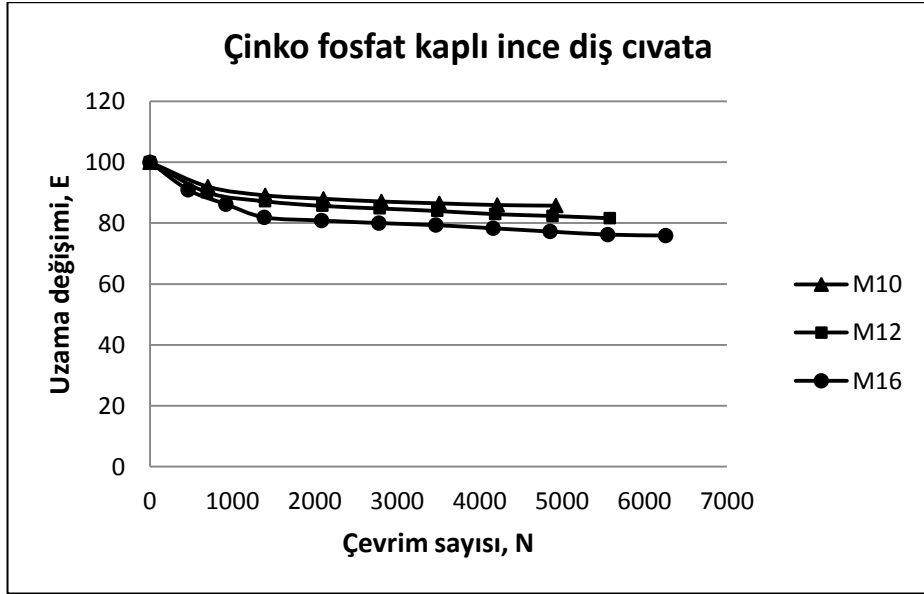
Şekil 5.3 : Çinko fosfat kaplı normal diş cıvatanın boyuta göre uzama değişimi.



Şekil 5.4 : Kaplanmamış ince diş cıvatanın boyuta göre uzama değişimi.



Şekil 5.5 : Çinko kaplı ince diş cıvatanın boyuta göre uzama değişimi.



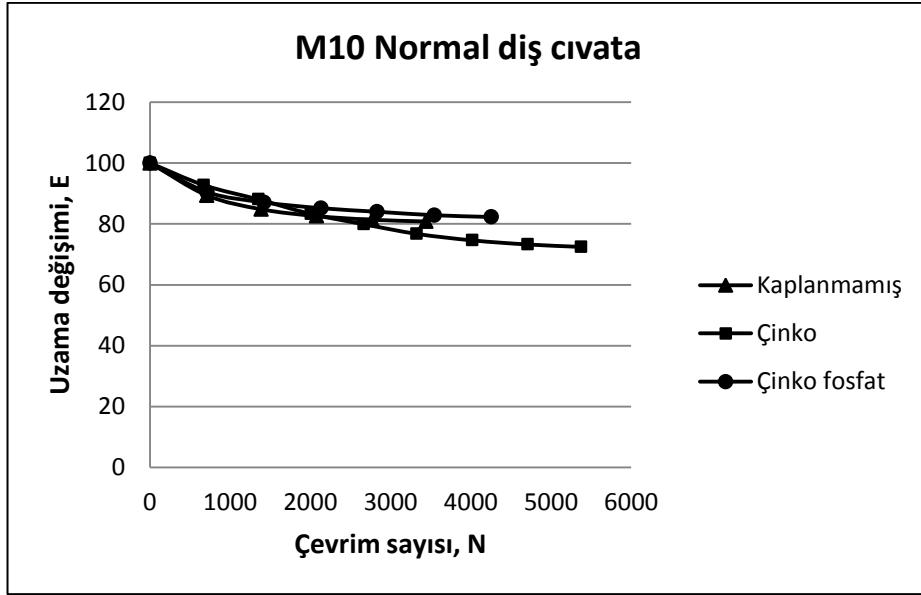
Şekil 5.6 : Çinko fosfat kaplı ince diş cıvatanın boyuta göre uzama değişimi.

Buna göre çevrim sayısının artmasıyla uzamadaki değişimin M10 cıvatalarda daha az, M16 cıvatalarda ise daha fazla olduğu görülmektedir. Cıvata çapı büyüdükçe uzamadaki değişim artmıştır. Sıkıştırma uzunluğu ile cıvata çapı oranlarına bakılacak olursa M10 cıvata bu oranın daha büyük, M16 cıvata ise daha küçük olması nedeniyle M10 cıvatanın elastik cıvata M16 cıvatanın rijit bir cıvata olarak davranması şeklinde açıklanabilir. Titreşim esnasında oluşan etki kuvvetlerinin çap arttıkça daha fazla dönme momenti oluşturması da düşünülebilir. Ayrıca M16 cıvatalarda dişlerin temas yüzey alanının daha büyük olması nedeniyle M10 ve M12

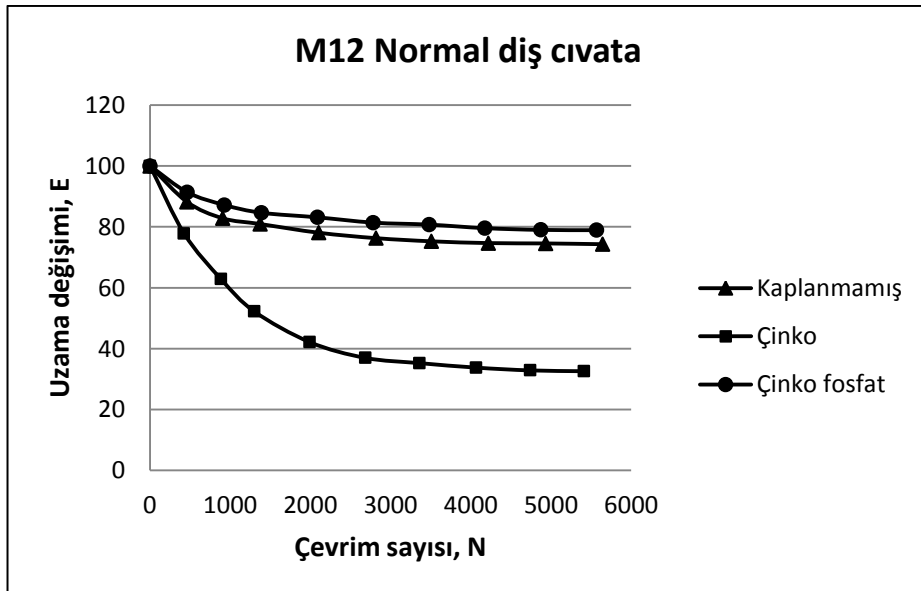
cıvataya göre diş yzeylerindeki gerilmelerin daha kk olması uzamadaki değişimin daha fazla görülmesine neden olduğu söylenbilir.

5.2 Kaplama Etkisi

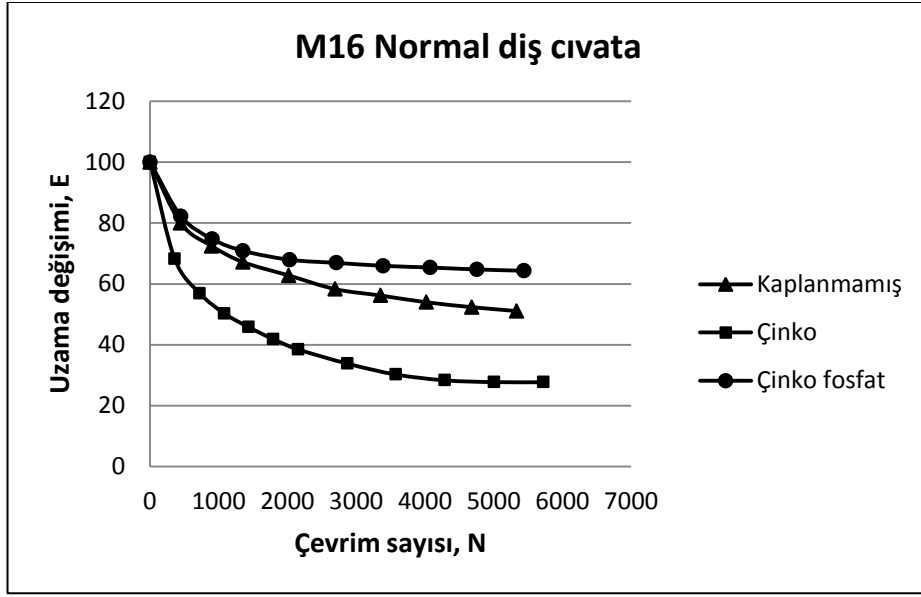
Kaplama türlerinin uzamadaki değişime etkileri Şekil 5.7 ile Şekil 5.12 arasında gösterilmiştir.



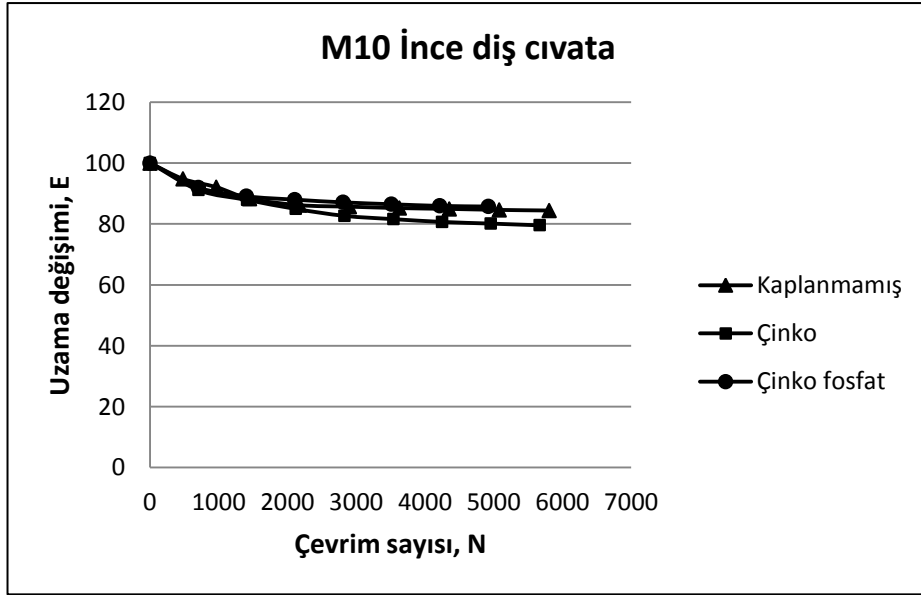
Şekil 5.7 : M10 Normal diş cıvatanın kaplama türüne göre uzama değişimi.



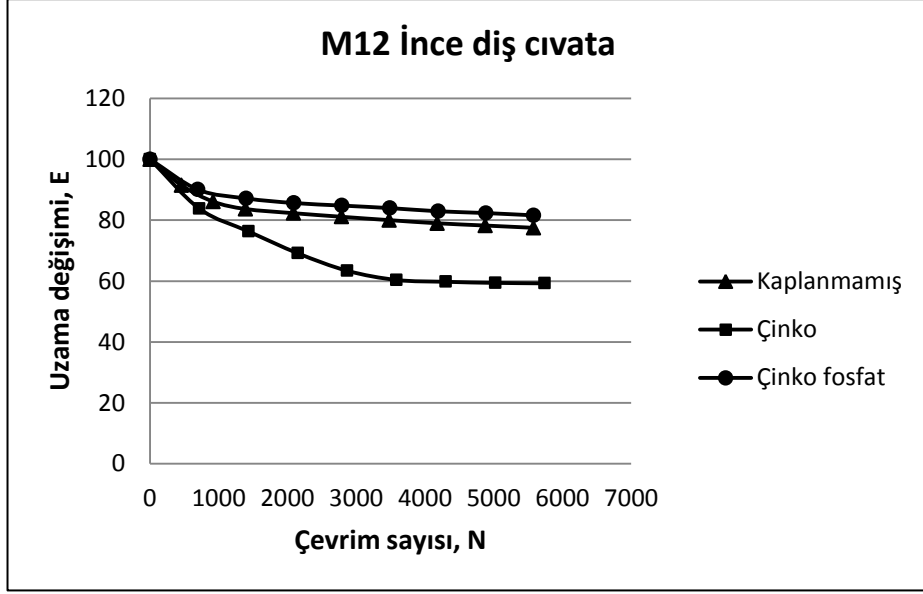
Şekil 5.8 : M12 Normal diş cıvatanın kaplama türüne göre uzama değişimi.



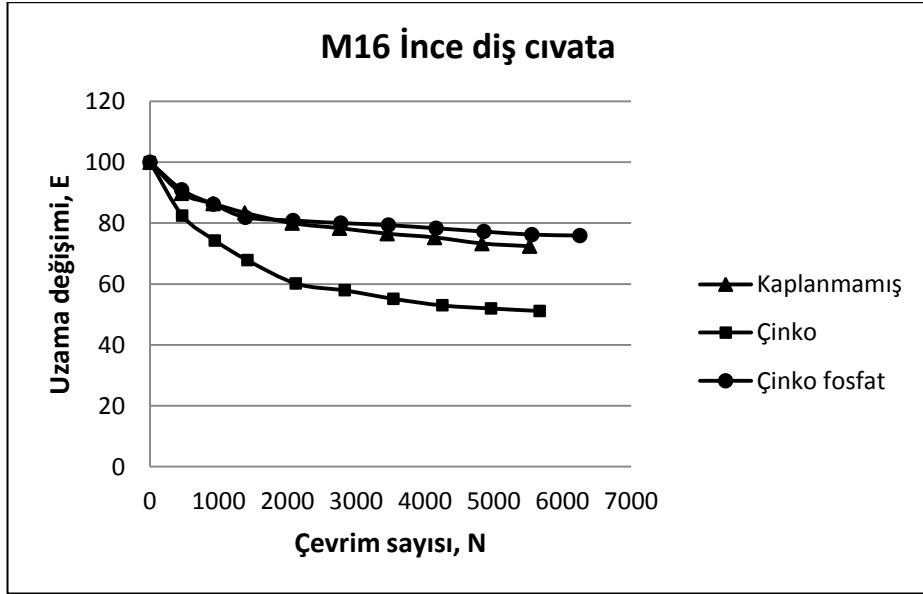
Şekil 5.9 : M16 Normal diş cıvatanın kaplama türüne göre uzama değişimi.



Şekil 5.10 : M10 İnce diş cıvatanın kaplama türüne göre uzama değişimi.



Şekil 5.11 : M12 İnce diş civatanın kaplama türüne göre uzama değişimi.



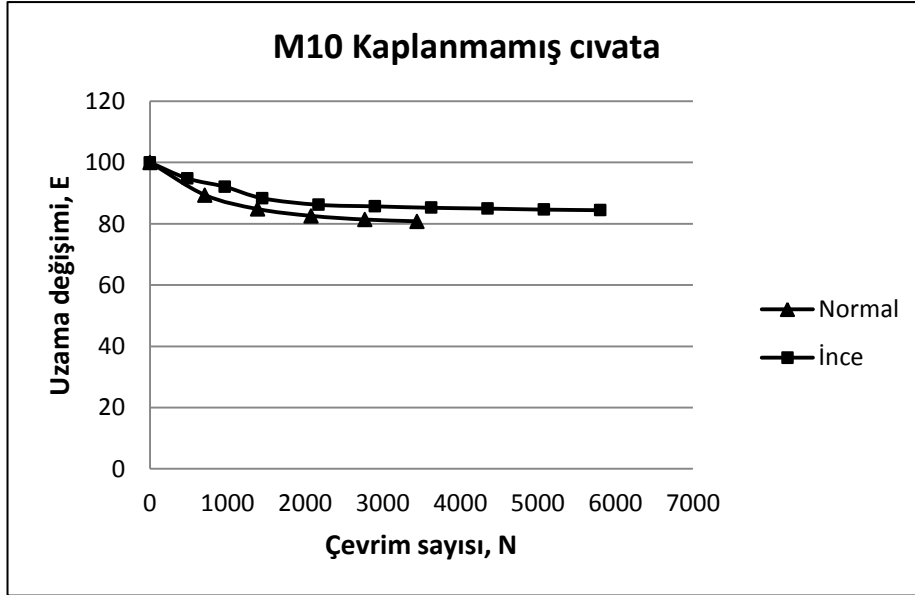
Şekil 5.12 : M16 İnce diş civatanın kaplama türüne göre uzama değişimi.

M10 civatalarda uzamadaki değişim değerleri birbirine yakındır. M12 civatada çinko fosfat kaplı ve kaplanmamış civatalarda uzamadaki değişim değerleri birbirine yakın fakat çinko kaplı civataya göre oldukça azdır. En fazla değişim M16 civatada görülmüştür. M16 çinko fosfat kaplı civata ile kaplanmamış civatanın uzamadaki değişim değerleri arasında biraz daha fazla fark olduğu görülmüştür. Buna göre çevrim sayısının artmasıyla en fazla uzamadaki değişim çinko kaplı civatalarda, en az değişim ise çinko fosfat kaplı civatalarda görülmüştür. Deneyden sonra civataların dış yüzeylerine bakıldığında yüzeylerde kalan yapıştırıcının çinko fosfat kaplı civatalarda daha fazla, çinko kaplı civatalarda ise oldukça az olduğu görülmüştür. Bu

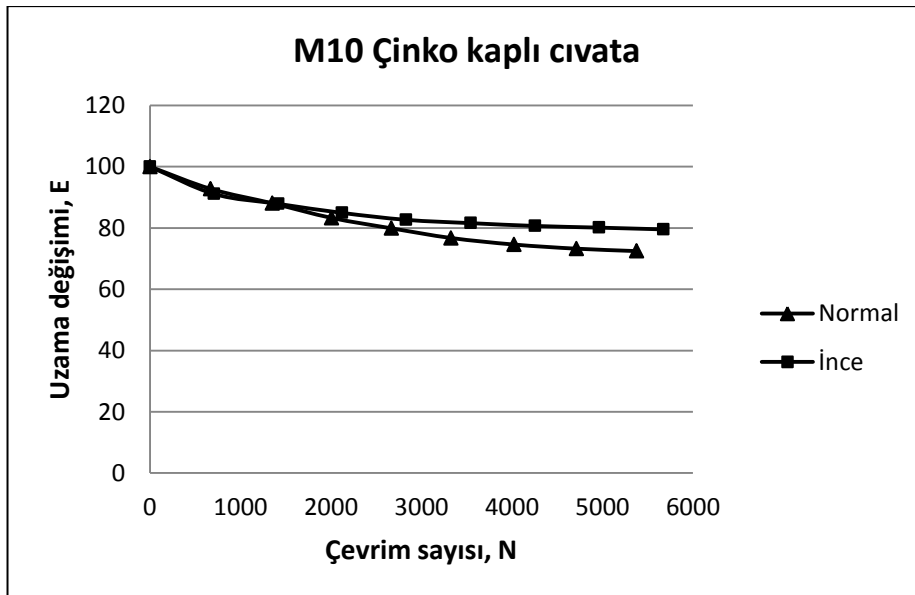
durum yapıştırıcının çinko fosfat kaplı yüzeye daha iyi nüfuz etmesi nedeniyle kuvvetli bir bağ oluşturduğu ve gevşeme hareketine karşı daha fazla direnç gösterdiği şeklinde açıklanabilir.

5.3 Diş Tipi Etkisi

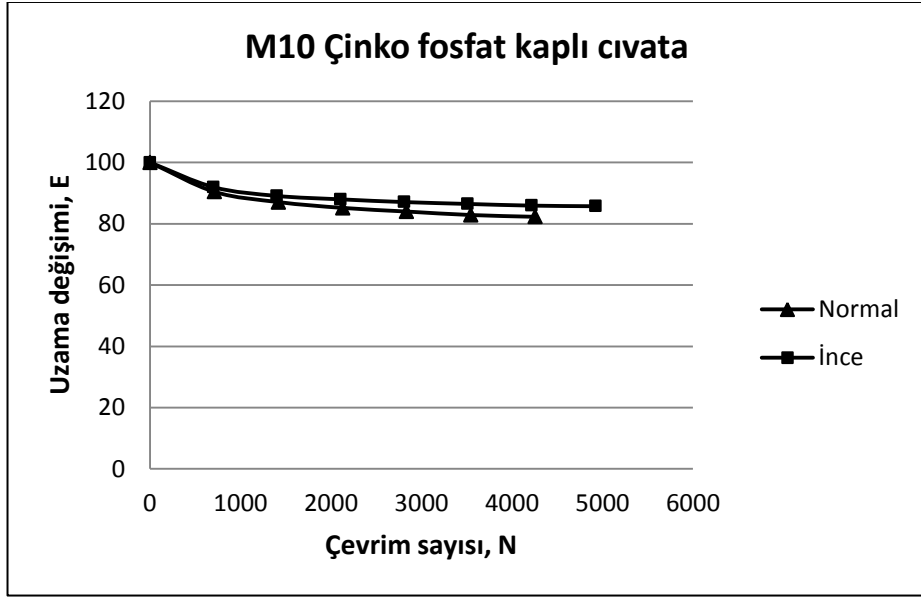
Diş tipinin uzamadaki değişime etkileri Şekil 5.13 ile Şekil 5.21 arasında gösterilmiştir.



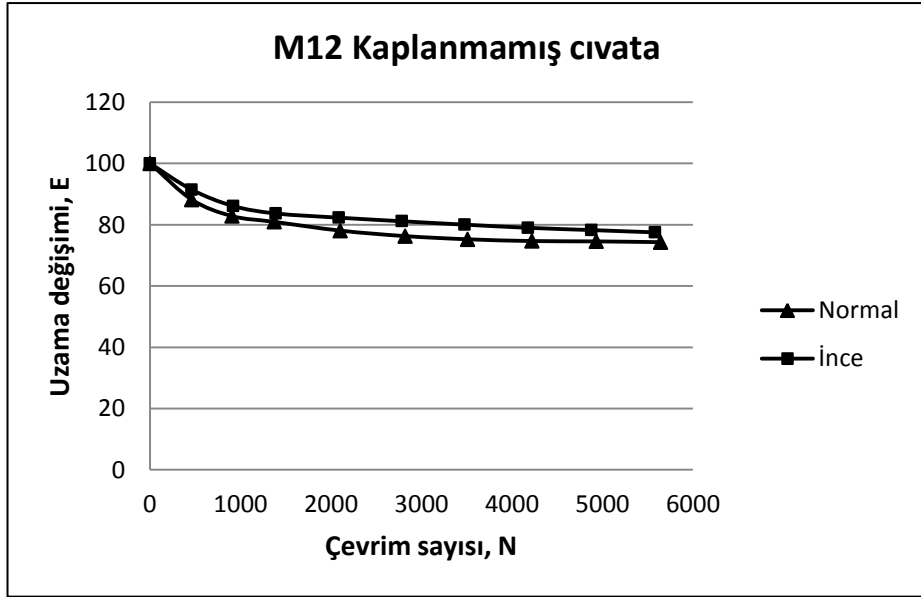
Şekil 5.13 : M10 Kaplanmamış cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi.



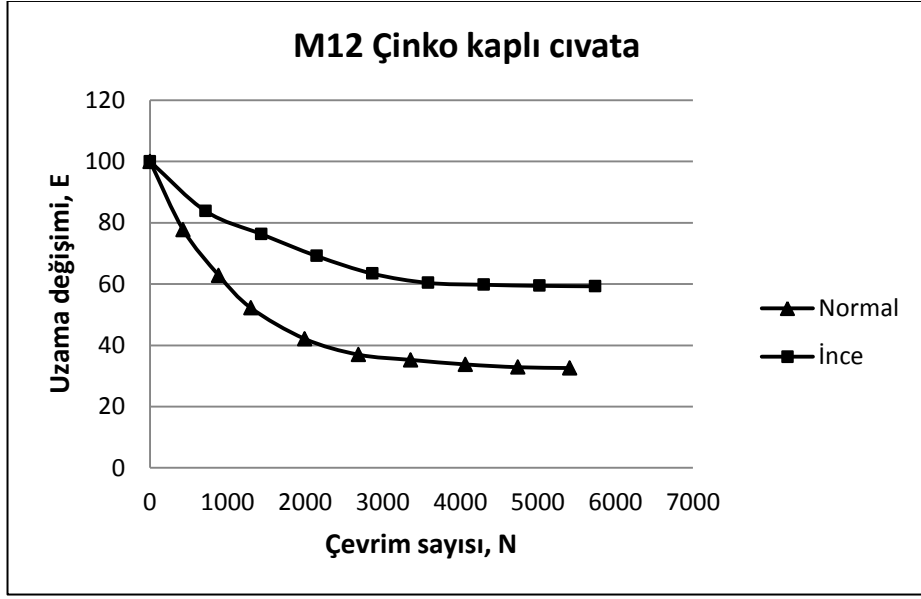
Şekil 5.14 : M10 Çinko kaplı cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi.



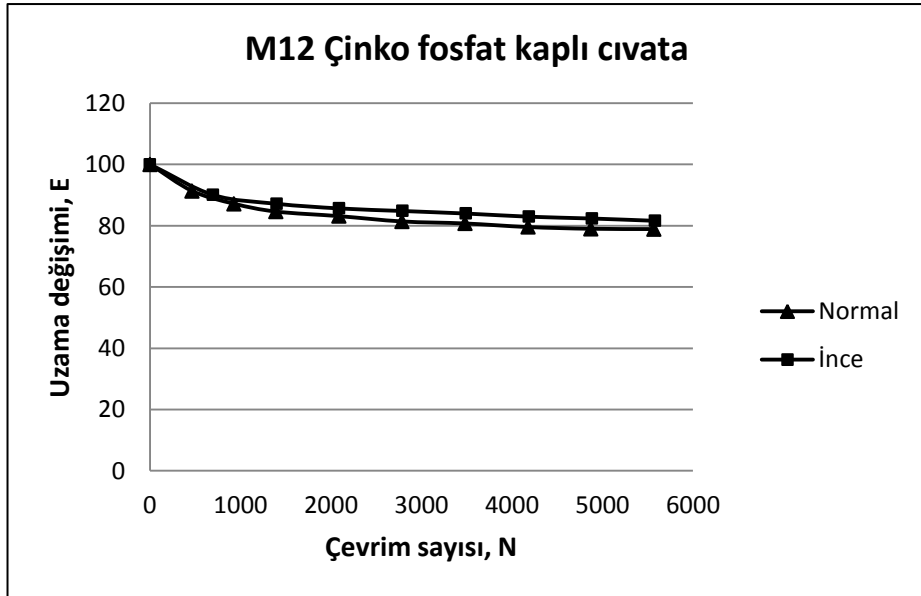
Şekil 5.15 : M10 Çinko fosfat kaplı cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi.



Şekil 5.16 : M12 Kaplanmamış cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi.

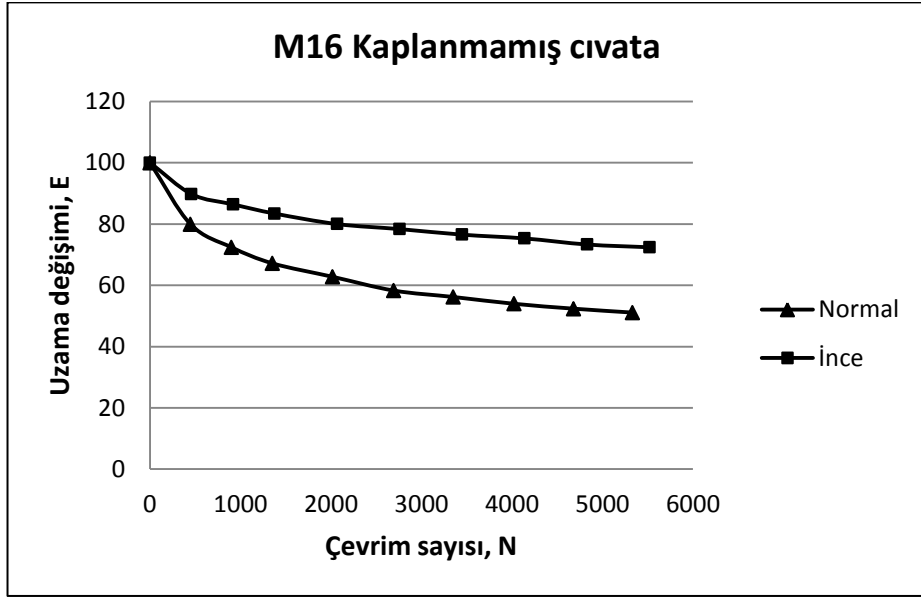


Şekil 5.17 : M12 Çinko kaplı cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi.

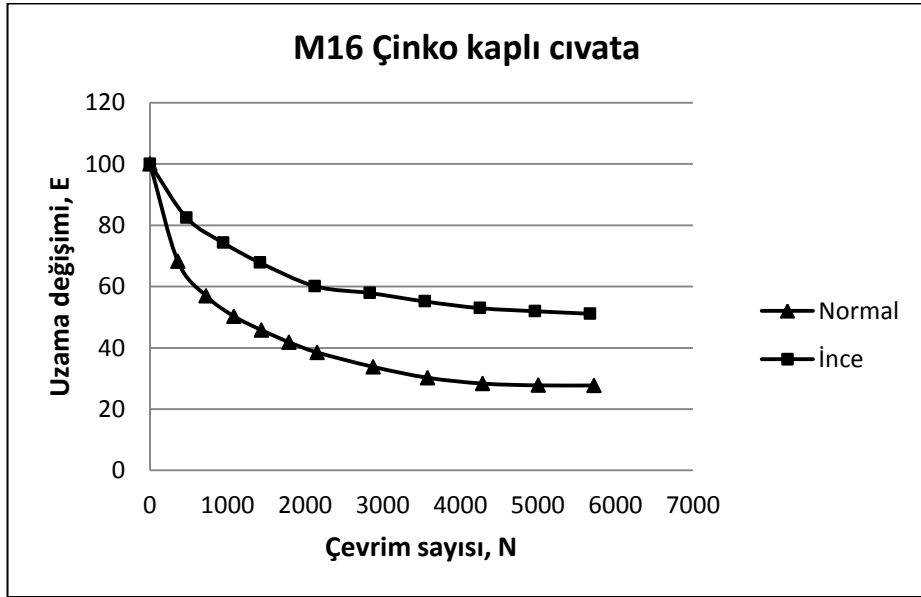


Şekil 5.18 : M12 Çinko fosfat kaplı cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi.

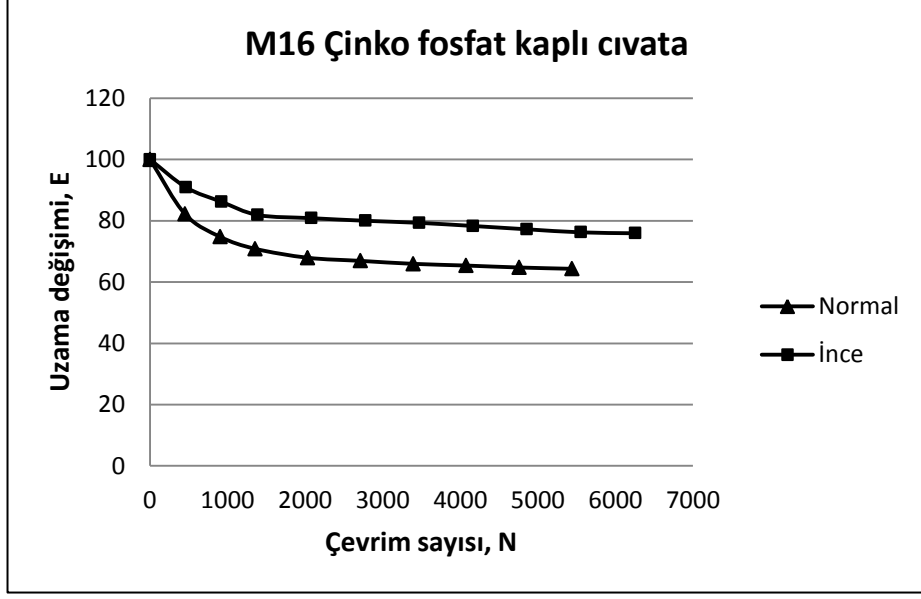
Buna göre çevrim sayısının artmasıyla M10 ve M12 ince diş cıvatalarda uzamadaki değişim normal dişlere göre biraz daha azdır. Ancak M12 çinko kaplı ince diş cıvata uzamadaki değişimin normal dişe göre yaklaşık 2 kat daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 5.19 : M16 Kaplanmamış cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi.



Şekil 5.20 : M16 Çinko kaplı cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi.



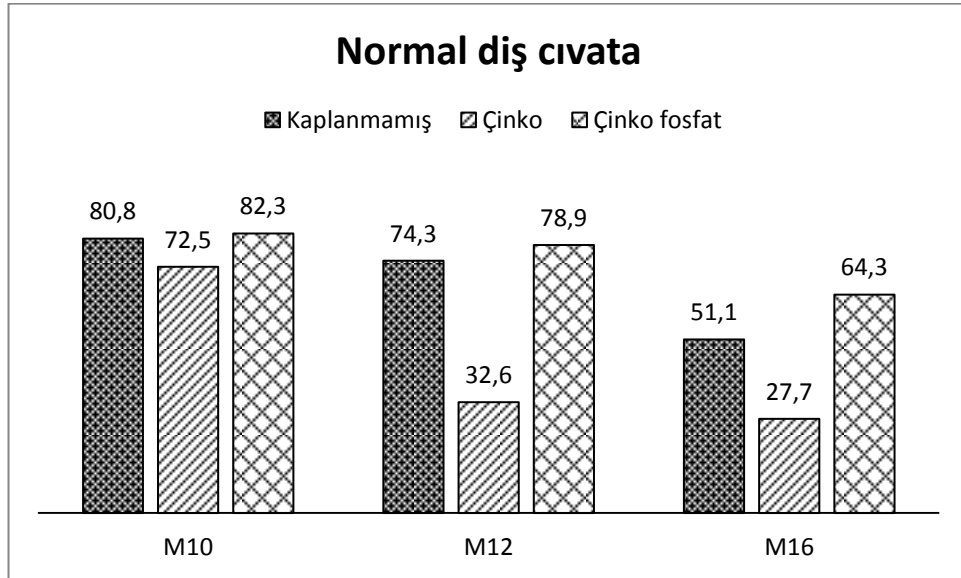
Şekil 5.21 : M16 Çinko fosfat kaplı cıvatanın diş tipine göre uzama değişimi.

M16 normal ve ince diş cıvatalarda ise uzamadaki değişim değerleri arasında daha büyük fark olduğu görülmüştür. Bu durum M16 normal ve ince diş cıvatalarda diş adımı farkının daha büyük olmasından dolayı dinamik yüklerin diş yüzeylerindeki yapıştırıcı tabakanın yüzeyden daha rahat ayrılmasını sağladığı şeklinde açıklanabilir. Ayrıca ince diş cıvatalarda normal dişe göre helis açısının küçük olması titreşim altında diş yüzeylerinin birbiri üzerindeki hareketini zorlaştırdığından normal dişlerde uzamadaki değişimin daha az olduğu söylenebilir.

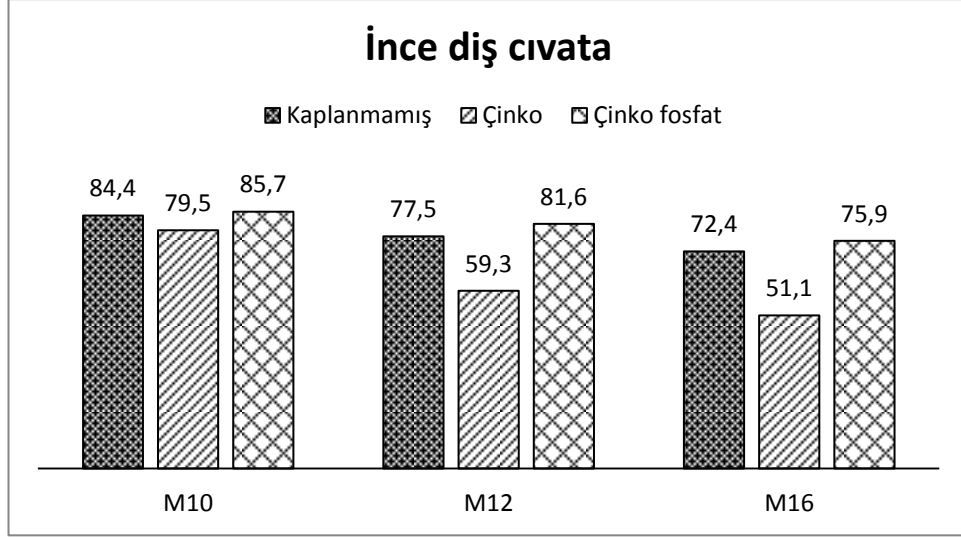
6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dinamik yüklere veya titreşime maruz kalan cıvata bağlantılarında kendiliğinden gevşeme meydana gelebilmesi için sürtünme kuvvetlerinin yenilmesi gerekmektedir. Sürtünmeyi bağlantı parçalarının sertliği, malzeme türü, kaplama kalınlığı ve türü, herhangi bir yağlayıcı bulunup bulunmadığı, dişlerde çapak bulunması, cıvata kalitesi gibi birçok faktör etkilemektedir.

Bu çalışmada kendiliğinden gevşemeye karşı anaerobik yapıştırıcı kullanılmış, dişler arasında yüksek sürtünme kuvvetleri elde edilerek bağlantının gevşeme durumu tespit edilmeye çalışılmıştır. Cıvata boyutunun, kaplama türünün ve diş tipinin bağlantının dayanımına etkisi incelenmiştir. Deneylerin sonunda cıvataların uzamadaki değişimini gösteren değerler Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 : Normal diş cıvataların deney sonunda uzamadaki değişim değerleri.



Şekil 6.2 : İnce diş cıvataların deney sonunda uzamadaki değişim değerleri.

Cıvata boyutunun etkisine bakıldığında çap arttıkça uzamadaki değişimin arttığı yani gevşemenin daha fazla olduğu ve buna göre en iyi bağlantı dayanımının M10 cıvatada olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin M16 cıvatanın L/d oranının daha düşük olması nedeniyle rijit cıvata olarak davranması, M10 cıvatanın L/d oranının daha yüksek olması nedeniyle daha elastik olarak davranması şeklinde açıklanabilir. Ayrıca titreşim ve dinamik yüklerin oluşturduğu momentlerin büyük çaplarda daha fazla gevşeme torku meydana getirdiği düşünülebilir. Çapın artmasıyla temas yüzey alanları artar. M16 cıvatanın diş yüzeylerindeki gerilmeler diğerlerinden daha az olduğundan gevşemenin daha fazla meydana geleceği düşünülebilir.

Kaplama türünün cıvata bağlantılarının dayanımında hayli etkili olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre çevrim sayısının artmasıyla uzamadaki değişim en az çinko fosfat kaplı ve kaplanmamış cıvatada görülmüş, en fazla değişim ise çinko kaplı cıvatada görülmüştür. Bu nedenle kendiliğinden gevşemeye karşı en iyi dayanım çinko fosfat kaplı cıvatada görülmüştür. Deneyden sonra cıvataların diş yüzeylerine bakıldığında dişlerde kalan yapıştırıcının çinko fosfat kaplı ve kaplanmamış cıvatalarda daha fazla, çinko kaplı cıvatalarda ise oldukça az olduğu görülmüştür. Bu durum yapıştırıcının çinko fosfat kaplı yüzeye daha iyi nüfuz etmesi nedeniyle kuvvetli bir bağ oluşturduğu ve gevşeme hareketine karşı daha fazla direnç gösterdiği şeklinde açıklanabilir.

Diş tipinin bağlantı dayanımı üzerindeki etkisi incelendiğinde ince diş cıvataların dayanımının normal dişlere göre daha iyi olduğu görülmüştür. Özellikle M16 cıvatalarda dinamik yükler altında ince diş ile normal dişlerin dayanımları arasında

M10 ve M12 cıvatalara göre daha büyük bir fark olduğu görülmüştür. Bu durum M16 normal ve ince diş cıvatada diş adımı farkının daha büyük olmasından dolayı dinamik yüklerin diş yüzeylerindeki yapıştırıcı tabakanın yüzeyden daha rahat ayrılmasını sağladığı şeklinde açıklanabilir. Ayrıca ince dişlerin normal dişlere göre helis açısının küçük olması titreşim altında diş yüzeylerinin birbiri üzerindeki hareketini zorlaştırdığından ince dişlerin dayanımının daha iyi olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak;

- Küçük çaplı cıvataların titreşim ve dinamik yük altında gevşemeye karşı dayanıklı olduğu görülmüştür, ancak çevrim sayısının artması halinde yorulma problemiyle karşılaşılabilir. Dolayısıyla kırılmalar meydana gelebilir. Bu nedenle şartlara uygun çapta cıvata seçilerek bağlantı yapılmasına dikkat edilmelidir.
- Korozyona karşı dayanımı iyi olan çinko fosfat kaplı cıvatalar dinamik yükler altında gevşemeye karşı da en iyi dayanımı göstermiştir.
- İnce diş cıvataların dayanımının titreşim ve dinamik yükler altında normal diş cıvatalara göre daha iyi olduğu görülmüştür. Özellikle darbe ve sarsıntıların bulunduğu otomotiv ve uçak sanayisinde ince diş cıvataların kullanıldığı görülmektedir.

Buna göre titreşim ve dinamik yükler altında kendiliğinden gevşemeyi önlemek için çinko fosfat kaplı ince diş cıvatalar kullanılabilir. Böylece hem gerilme korozyonu çatlağına hem de gevşemeye karşı dayanıklı birleştirmeler sağlanabilir.

İlerideki çalışmalar açısından, diş geometrisi ve yapıştırma tabakası sayısal modellenerek deneysel çalışmalar ile karşılaştırma yapılabilir. Ayrıca farklı sıkma torku değerlerindeki değişimler de gözlemlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kinloch, A. J.**, 1987. Adhesion and Adhesives Science and Technology, *Chapman and Hall*, ISBN 0-412-27440-X, 441 p., London.
- [2] **Kinloch, A. J.**, 1997. Adhesives in Engineering, *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, Vol. **211**, Part G, pp. 307-335.
- [3] **Loctite Corporation**, 1998. Loctite Worldwide Desing Handbook Second Edition.
- [4] **Lee, S. J., and Lee, D. G.**, 1996: Development of fatigue failure modal for the adhesively bonded tubular single lap joint under dynamic torsional loading, *Journal of Adhesion*, Vol. **56**, pp. 157-169.
- [5] **Pfeiffer, P., and Shakal, M.**, 1998: Effect of bonded metal substrate area and its thickness on the strength and durability of adhesively bonded joints, *J. of Adhesion Sci. Technology*, Vol. **12**, pp. 339-348.
- [6] **Url-1** <<http://www.boltscience.com/pages/vibloose.htm>>, 22.07.2010
- [7] **Jiang, Y., Zhang, M., Park, T.W., and Lee, C.H.**, 2004: An Experimental Study of Self-Loosening of Bolted Joints, *Journal of Mechanical Design*, Vol. **126**, pp. 925-931.
- [8] **Jhang, K. Y., Quan, H. H., Ha, J., and Kim, N. Y.**, 2006: Estimation of clamping force in high-tension bolts through ultrasonic velocity measurement, *Ultrasonics*, Vol. **44**, pp. 1339-1442.
- [9] **Standard Press Steel Co.**, 1998. Transverse Vibration Loosening Characteristics of High-Strength Fastened Joints using Direct Tension Indicators (DTIs), SPS 21, Langhorne, PA.
- [10] **Zadoks, R. I., and Yu, X.**, 1997: An Investigation of The Self-Loosening Behavior of Bolts under Transverse Vibration, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. **208** (2), pp. 189-209.
- [11] **Pai, N. G., and Hess, D. P.**, 2002: Experimental Study of Loosening of Threaded Fasteners Due to Dynamic Shear Loads, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. **253** (3), pp. 585-602.
- [12] **Şekercioğlu, T., and Kovan, V.**, 2008: Torque Strength of Bolted Connections with Locked Anaerobic Adhesive, *J. Materials: Design and Applications*, Vol. **222**, pp. 83-89.
- [13] **Nassar, S. A., and Yang, X.**, 2009: A Mathematical Model for Vibration-Induced Loosening of Preloaded Threaded Fasteners, *Journal of Vibration and Acoustics*, Vol. **131**, pp. 1-13.
- [14] **Basava, S., and Hess, D. P.**, 1998: Bolted Joint Clamping Force Variation Due To Axial Vibration, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. **210** (2), pp. 255-265.

- [15] **Housari, B. A., and Nassar, S. A.,** 2007: Effect of Thread and Bearing Friction Coefficients on The Vibration-Induced Loosening of Threaded Fasteners, *Journal of Vibration and Acoustics*, Vol. **129**, pp. 484-494.
- [16] **Url-2** <<http://www.belgeler.com/blg/ljwg/civata>>, 14.10.2011
- [17] **European Cooperation For Space Standardization (ECSS),** 2010. Space Engineering, *Threaded Fasteners Handbook, ECSS-EHB-32-23A* Noordwijk, The Netherlands.
- [18] **Bickford, J. H.,** 2008. Introduction To The Design and Behavior of Bolted Joints, *Non-Gasketed Joints*.
- [19] **Genç, G.,** Mikrometreler, Endüstriyel Ölçme ve Kontrol.
- [20] **Url-3** <<http://www.ibt-usa.com/pdfs/USM-3-Literature.pdf>>, 09.03.2010
- [21] **NORBAR USA INC.,** 2007. NORBAR USM-3 Ultrasonic Bolt Meter, *Operation and Reference Manuel*.
- [22] **Url-4** <<http://www.offshore-technology.com/contractors/tools-workshop/boltstress-ultrasoni/>>, 10.02.2011
- [23] **Url-5** <http://www.fatigue.org/minutes/Spring-2005/RS_FASTFAIL.pdf>, 11.03.2011
- [24] **Url-6** <http://www.veritasmartime.com/Sayfa/ROTABOLT-CIVATA-SISTEMLERI_35.aspx>, 16.02.2012
- [25] **Url-7** <<http://www.directindustry.com/prod/hbm/load-pin-load-cells-6017-613988.html>>, 07.03.2012
- [26] **Url-8** <<http://practicalmaintenance.wordpress.com/2008/06/15/gaskets-testing-selection-and-installation/>>, 08.03.2012
- [27] **Direct Tension Indicator,** 2004. Instruction Manuel
- [28] **Spiralock,** Fasteners & Wire Thread Inserts Product Specifications
- [29] **Url-9** <http://www.goksanmakina.com/nord-lock_gevsemezlik-sistemleri.php>, 08.03.2012
- [30] **Url-10** <<http://www.hardlock.co.jp/en/hl/>>, 08.04.2012
- [31] **Url-11** <<http://www.boltscience.com/pages/twonuts.htm>>, 18.05.2010
- [32] **Url-12** <<http://utkucivata.com/Imalat.aspx?UrunAdi=Somunlar>>, 22.06.2011
- [33] **Long-Lok Fasteners Corporation,** Custom Solutions to Special Problems in Fastener Engineering, *Self-Locking and Self-Sealing Fasteners Handbook*.
- [34] **Henkel AG & Co. KGaA,** 2008. Loctite Threadlocking Guide.
- [35] **Sawa, T., Ishimura, M., and Yamanaka, H.,** 2007: Experimental Evaluation of Screw Thread Loosening In Bolted Joint With Some Parts For Preventing The Loosening Under Transverse Repeated Loadings, *Hard Lock Technical Reports, PVP2006-ICPVT-11-93292*, Vol. 2, pp. 1-15.
- [36] **Url-13** <<http://www.boltscience.com/pages/junkertestvideo.htm>>, 14.05.2010
- [37] **CETIM,** 2009. Junker tests on NORD-LOCK washers, *Final Report*.

EKLER

EK A Deneysel veriler

Tablo A.1 : M10 Kaplanmamış normal diş cıvata deney sonuçları.

M10 Kaplanmamış normal diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L₁, mm		70,3763			70,9968			71,0834			70,8188	
L₂, mm		70,6080			71,2365			71,3124			71,0523	
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L_i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L_i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L_i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L_i (mm)	E
0	0	70,6080	100	0	71,2365	100	0	71,3124	100	0	71,0523	100,0
30	684	70,5650	81,4	703	71,2198	93,0	738	71,2979	93,7	708	71,0276	89,4
60	1352	70,5556	77,4	1379	71,2068	87,6	1431	71,2882	89,4	1387	71,0169	84,8
90	2046	70,5515	75,6	2053	71,2011	85,2	2128	71,2824	86,9	2076	71,0117	82,6
120	2725	70,5506	75,2	2766	71,1972	83,6	2820	71,2787	85,3	2770	71,0088	81,4
150	3418	70,5506	75,2	3443	71,1958	83,0	3470	71,2762	84,2	3444	71,0075	80,8

Tablo A.2 : M12 Kaplanmamış normal diş cıvata deney sonuçları.

M12 Kaplanmamış normal diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		67,4174			67,2001			66,9170			67,1782	
L ₂ , mm		67,5795			67,3410			67,0615			67,3273	
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	67,5795	100	0	67,3410	100	0	67,0615	100	0	67,3273	100,0
20	442	67,5587	87,2	456	67,3276	90,5	481	67,0427	87,0	460	67,3097	88,2
40	892	67,5511	82,5	894	67,3184	84,0	935	67,0355	82,0	907	67,3017	82,8
60	1346	67,5486	80,9	1356	67,3176	83,4	1420	67,0304	78,5	1374	67,2989	80,9
90	2081	67,5448	78,6	2096	67,3165	82,6	2132	67,0225	73,0	2103	67,2946	78,1
120	2804	67,5416	76,6	2814	67,3164	82,5	2842	67,0177	69,7	2820	67,2919	76,3
150	3496	67,5412	76,4	3512	67,3162	82,4	3525	67,0138	67,0	3511	67,2904	75,3
180	4205	67,5412	76,4	4223	67,3162	82,4	4236	67,0113	65,3	4221	67,2896	74,7
210	4918	67,5410	76,2	4936	67,3158	82,1	4945	67,0114	65,3	4933	67,2894	74,6
240	5632	67,5410	76,2	5645	67,3156	82,0	5656	67,0105	64,7	5644	67,2890	74,3

Tablo A.3 : M16 Kaplanmamış normal diş cıvata deney sonuçları.

M16 Kaplanmamış normal diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm			89,1907			89,2087			89,1125			89,1706
L ₂ , mm			89,3020			89,3226			89,2106			89,2784
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	89,3020	100	0	89,3226	100	0	89,2106	100	0	89,2784	100,0
20	433	89,2756	76,3	440	89,3097	88,7	466	89,1860	74,9	446	89,2571	80,0
40	881	89,2705	71,7	891	89,3013	81,3	922	89,1756	64,3	898	89,2491	72,4
60	1336	89,2656	67,3	1333	89,2942	75,1	1392	89,1705	59,1	1354	89,2434	67,2
90	2004	89,2643	66,1	2003	89,2910	72,3	2050	89,1615	49,9	2019	89,2389	62,8
120	2665	89,2624	64,4	2678	89,2896	71,0	2734	89,1512	39,4	2692	89,2344	58,3
150	3332	89,2618	63,9	3343	89,2885	70,1	3382	89,1465	34,7	3352	89,2323	56,2
180	4008	89,2616	63,7	4020	89,2854	67,3	4038	89,1428	30,9	4022	89,2299	54,0
210	4669	89,2592	61,5	4674	89,2837	65,8	4695	89,1417	29,8	4679	89,2282	52,4
240	5318	89,2576	60,1	5324	89,2820	64,4	5354	89,1408	28,8	5332	89,2268	51,1

Tablo A.4 : M10 Çinko kaplı normal diş cıvata deney sonuçları.

M10 Çinko kaplı normal diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		75,0010		75,0418		75,5011			75,1813			
L ₂ , mm		75,2580		75,2985		75,7512			75,4359			
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	75,2580	100	0	75,2985	100	0	75,7512	100	0	75,4359	100,0
30	656	75,2380	92,2	674	75,2835	94,2	684	75,7308	91,8	671	75,4174	92,7
60	1352	75,2173	84,2	1361	75,2775	91,8	1349	75,7215	88,1	1354	75,4054	88,0
90	1977	75,1946	75,3	2009	75,2738	90,4	2037	75,7115	84,1	2008	75,3933	83,3
120	2596	75,1763	68,2	2667	75,2688	88,4	2745	75,7087	83,0	2669	75,3846	79,9
150	3245	75,1584	61,2	3342	75,2656	87,2	3395	75,7056	81,8	3327	75,3765	76,7
180	3964	75,1472	56,9	4015	75,2632	86,2	4088	75,7028	80,6	4022	75,3711	74,6
210	4684	75,1402	54,2	4696	75,2621	85,8	4757	75,7006	79,8	4712	75,3676	73,3
240	5304	75,1395	53,9	5346	75,2612	85,5	5488	75,6962	78,0	5379	75,3656	72,5

Tablo A.5 : M12 Çinko kaplı normal diş cıvata deney sonuçları.

M12 Çinko kaplı normal diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		76,3968		75,7412		76,0318			76,0566			
L ₂ , mm		76,5426		75,8949		76,1865			76,2080			
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	76,5426	100	0	75,8949	100	0	76,1865	100	0	76,2080	100,0
20	424	76,5105	78,0	435	75,8682	82,6	420	76,1442	72,7	426	76,1743	77,8
40	855	76,4895	63,6	886	75,8543	73,6	916	76,1112	51,3	886	76,1517	62,8
60	1286	76,4725	51,9	1324	75,8436	66,6	1292	76,0907	38,1	1301	76,1356	52,2
90	1993	76,4546	39,6	1993	75,8342	60,5	1993	76,0724	26,2	1993	76,1204	42,1
120	2686	76,4423	31,2	2686	75,8302	57,9	2686	76,0655	21,8	2686	76,1127	37,0
150	3361	76,4379	28,2	3361	75,8286	56,9	3361	76,0638	20,7	3361	76,1101	35,3
180	4068	76,4357	26,7	4068	75,8265	55,5	4068	76,0614	19,1	4068	76,1079	33,8
210	4744	76,4339	25,4	4744	75,8242	54,0	4744	76,0614	19,1	4744	76,1065	32,9
240	5413	76,4339	25,4	5413	75,8230	53,2	5413	76,0614	19,1	5413	76,1061	32,6

Tablo A.6 : M16 Çinko kaplı normal diş cıvata deney sonuçları.

M16 Çinko kaplı normal diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		89,4630		89,3548		88,0216			88,9465			
L ₂ , mm		89,5770		89,4631		88,1338			89,0580			
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	89,5770	100	0	89,4631	100	0	88,1338	100	0	89,0580	100,0
15	358	89,5382	66,0	355	89,4286	68,1	365	88,1006	70,4	359	89,0225	68,2
30	724	89,5246	54,0	715	89,4141	54,8	731	88,0911	61,9	723	89,0099	56,9
45	1082	89,5176	47,9	1070	89,4065	47,7	1099	88,0835	55,2	1084	89,0025	50,3
60	1437	89,5112	42,3	1432	89,4037	45,2	1445	88,0776	49,9	1438	88,9975	45,8
75	1793	89,5055	37,3	1788	89,4015	43,1	1802	88,0722	45,1	1794	88,9931	41,8
90	2151	89,5002	32,6	2144	89,4002	41,9	2175	88,0675	40,9	2157	88,9893	38,5
120	2875	89,4928	26,1	2859	89,3973	39,2	2895	88,0620	36,0	2876	88,9840	33,8
150	3593	89,4868	20,9	3571	89,3958	37,9	3573	88,0575	32,0	3579	88,9800	30,2
180	4313	89,4836	18,1	4276	89,3945	36,7	4279	88,0556	30,3	4289	88,9779	28,3
210	5026	89,4836	18,1	4993	89,3926	34,9	4997	88,0556	30,3	5005	88,9773	27,8
240	5748	89,4836	18,1	5709	89,3925	34,8	5714	88,0556	30,3	5724	88,9772	27,7

Tablo A.7 : M10 Çinko fosfat kaplı normal diş civata deney sonuçları.

M10 Çinko fosfat kaplı normal diş civata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		70,8577			70,8828			71,1386			70,9597	
L ₂ , mm		71,1056			71,1350			71,3851			71,2086	
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	71,1056	100	0	71,1350	100	0	71,3851	100	0	71,2086	100,0
30	708	71,0745	87,5	718	71,1145	91,9	710	71,3654	92,0	712	71,1848	90,4
60	1412	71,0725	86,6	1434	71,1136	91,5	1416	71,3434	83,1	1421	71,1765	87,1
90	2120	71,0704	85,8	2145	71,1125	91,1	2128	71,3325	78,7	2131	71,1718	85,2
120	2828	71,0646	83,5	2829	71,1088	89,6	2842	71,3332	78,9	2833	71,1689	84,0
150	3536	71,0593	81,3	3546	71,1072	89,0	3552	71,3316	78,3	3545	71,1660	82,9
180	4245	71,0554	79,7	4262	71,1068	88,8	4260	71,3316	78,3	4256	71,1646	82,3

Tablo A.8 : M12 Çinko fosfat kaplı normal diş civata deney sonuçları.

M12 Çinko fosfat kaplı normal diş civata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		67,2152			66,8667			67,2353			67,1057	
L ₂ , mm		67,3762			67,0216			67,3924			67,2634	
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	67,3762	100	0	67,0216	100	0	67,3924	100	0	67,2634	100,0
20	458	67,3665	94,0	462	67,0086	91,6	473	67,3743	88,5	464	67,2498	91,4
40	918	67,3605	90,2	924	67,0055	89,6	946	67,3636	81,7	929	67,2432	87,2
60	1368	67,3568	88,0	1386	67,0047	89,1	1416	67,3560	76,8	1390	67,2392	84,6
90	2054	67,3526	85,3	2080	67,0024	87,6	2128	67,3554	76,4	2087	67,2368	83,1
120	2742	67,3504	84,0	2774	66,9992	85,5	2836	67,3526	74,7	2784	67,2341	81,4
150	3430	67,3497	83,5	3468	66,9976	84,5	3544	67,3518	74,2	3481	67,2330	80,7
180	4116	67,3482	82,6	4164	66,9968	84,0	4252	67,3486	72,1	4177	67,2312	79,6
210	4802	67,3478	82,4	4858	66,9966	83,9	4960	67,3465	70,8	4873	67,2303	79,0
240	5486	67,3475	82,2	5556	66,9966	83,9	5668	67,3464	70,7	5570	67,2302	78,9

Tablo A.9 : M16 Çinko fosfat kaplı normal diş cıvata deney sonuçları.

M16 Çinko fosfat kaplı normal diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		87,9020		88,0405		87,8151		87,9192				
L ₂ , mm		88,0250		88,1688		87,9360		88,0433				
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	88,0250	100	0	88,1688	100	0	87,9360	100	0	88,0433	100,0
20	445	87,9972	77,4	448	88,1517	86,7	456	87,9150	82,6	450	88,0213	82,2
40	898	87,9866	68,8	902	88,1385	76,4	912	87,9108	79,2	904	88,0120	74,8
60	1344	87,9814	64,6	1350	88,1324	71,6	1368	87,9075	76,4	1354	88,0071	70,9
90	2018	87,9785	62,2	2025	88,1283	68,4	2053	87,9036	73,2	2032	88,0035	67,9
120	2693	87,9775	61,4	2704	88,1267	67,2	2738	87,9024	72,2	2712	88,0022	66,9
150	3367	87,9767	60,7	3385	88,1258	66,5	3428	87,9005	70,6	3393	88,0010	66,0
180	4047	87,9758	60,0	4065	88,1246	65,5	4116	87,9005	70,6	4076	88,0003	65,4
210	4725	87,9745	58,9	4745	88,1235	64,7	4805	87,9005	70,6	4758	87,9995	64,8
240	5405	87,9736	58,2	5422	88,1228	64,1	5492	87,9005	70,6	5440	87,9990	64,3

Tablo A.10 : M10 Kaplanmamış ince diş cıvata deney sonuçları.

M10 Kaplanmamış ince diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		71,2186			71,0750			71,2072			71,1669	
L ₂ , mm		71,5040			71,3530			71,4865			71,4478	
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	71,5040	100	0	71,3530	100	0	71,4865	100	0	71,4478	100,0
20	476	71,4906	95,3	486	71,3402	95,4	488	71,4687	93,6	483	71,4332	94,8
40	955	71,4851	93,4	972	71,3294	91,5	974	71,4623	91,3	967	71,4256	92,1
60	1432	71,4758	90,1	1458	71,3156	86,5	1466	71,4536	88,2	1452	71,4150	88,3
90	2152	71,4726	89,0	2187	71,3108	84,8	2196	71,4438	84,7	2178	71,4091	86,2
120	2870	71,4713	88,5	2916	71,3108	84,8	2924	71,4409	83,7	2903	71,4077	85,7
150	3586	71,4710	88,4	3645	71,3095	84,4	3652	71,4386	82,8	3628	71,4064	85,2
180	4306	71,4708	88,4	4376	71,3086	84,0	4383	71,4375	82,5	4355	71,4056	85,0
210	5024	71,4706	88,3	5104	71,3072	83,5	5112	71,4363	82,0	5080	71,4047	84,6
240	5746	71,4706	88,3	5833	71,3064	83,2	5840	71,4355	81,7	5806	71,4042	84,4

Tablo A.11 : M12 Kaplanmamış ince diş cıvata deney sonuçları.

M12 Kaplanmamış ince diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		67,4064			67,3055			67,3060			67,3393	
L ₂ , mm		67,5674			67,4685			67,4768			67,5042	
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	67,5674	100	0	67,4685	100	0	67,4768	100	0	67,5042	100,0
20	452	67,5512	89,9	455	67,4566	92,7	473	67,4626	91,7	460	67,4901	91,4
40	908	67,5466	87,1	915	67,4486	87,8	935	67,4485	83,4	919	67,4812	86,1
60	1365	67,5455	86,4	1383	67,4448	85,5	1426	67,4412	79,2	1391	67,4772	83,7
90	2054	67,5446	85,8	2072	67,4435	84,7	2136	67,4365	76,4	2087	67,4749	82,3
120	2739	67,5438	85,3	2767	67,4403	82,7	2848	67,4347	75,4	2785	67,4729	81,1
150	3423	67,5430	84,8	3462	67,4379	81,2	3554	67,4324	74,0	3480	67,4711	80,0
180	4112	67,5428	84,7	4158	67,4342	79,0	4264	67,4312	73,3	4178	67,4694	79,0
210	4810	67,5424	84,5	4850	67,4325	77,9	4976	67,4296	72,4	4879	67,4682	78,3
240	5504	67,5420	84,2	5559	67,4303	76,6	5681	67,4285	71,7	5581	67,4669	77,5

Tablo A.12 : M16 Kaplanmamış ince diş cıvata deney sonuçları.

M16 Kaplanmamış ince diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		88,9310			89,0256			88,9221			88,9596	
L ₂ , mm		89,0235			89,1203			89,0105			89,0514	
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	89,0235	100	0	89,1203	100	0	89,0105	100	0	89,0514	100,0
20	458	89,0172	93,2	455	89,1053	84,2	462	89,0034	92,0	458	89,0420	89,8
40	921	89,0142	89,9	912	89,1030	81,7	926	88,9995	87,6	920	89,0389	86,4
60	1376	89,0105	85,9	1368	89,1005	79,1	1392	88,9974	85,2	1379	89,0361	83,4
90	2066	89,0057	80,8	2057	89,0974	75,8	2088	88,9958	83,4	2070	89,0330	80,0
120	2754	89,0036	78,5	2742	89,0963	74,7	2786	88,9945	81,9	2761	89,0315	78,3
150	3442	89,0010	75,7	3427	89,0952	73,5	3482	88,9932	80,4	3450	89,0298	76,5
180	4130	88,9995	74,1	4112	89,0941	72,3	4178	88,9924	79,5	4140	89,0287	75,3
210	4818	88,9977	72,1	4803	89,0920	70,1	4873	88,9908	77,7	4831	89,0268	73,3
240	5511	88,9965	70,8	5492	89,0912	69,3	5568	88,9903	77,1	5524	89,0260	72,4

Tablo A.13 : M10 Çinko kaplı ince diş cıvata deney sonuçları.

M10 Çinko kaplı ince diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		75,7224			75,8309			75,8122			75,7885	
L ₂ , mm		75,9855			76,0870			76,0757			76,0494	
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	75,9855	100	0	76,0870	100	0	76,0757	100	0	76,0494	100,0
30	695	75,9576	89,4	718	76,0634	90,8	711	76,0576	93,1	708	76,0262	91,1
60	1396	75,9525	87,5	1436	76,0505	85,7	1425	76,0504	90,4	1419	76,0178	87,9
90	2092	75,9448	84,5	2146	76,0427	82,7	2135	76,0428	87,5	2124	76,0101	84,9
120	2788	75,9406	82,9	2860	76,0385	81,1	2846	76,0335	84,0	2831	76,0042	82,7
150	3496	75,9375	81,8	3578	76,0364	80,2	3562	76,0302	82,7	3545	76,0014	81,6
180	4196	75,9350	80,8	4294	76,0335	79,1	4276	76,0285	82,1	4255	75,9990	80,7
210	4891	75,9348	80,7	5010	76,0324	78,7	4987	76,0255	80,9	4963	75,9976	80,1
240	5596	75,9346	80,7	5722	76,0302	77,8	5706	76,0234	80,2	5675	75,9961	79,5

Tablo A.14 : M12 Çinko kaplı ince diş cıvata deney sonuçları.

M12 Çinko kaplı ince diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		76,7925		76,3853		76,5900		76,5893				
L ₂ , mm		76,9739		76,5556		76,7650		76,7648				
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	76,9739	100	0	76,5556	100	0	76,7650	100	0	76,7648	100,0
30	718	76,9405	81,6	712	76,5325	86,4	724	76,7358	83,3	718	76,7363	83,8
60	1438	76,9167	68,5	1424	76,5235	81,2	1450	76,7286	79,2	1437	76,7229	76,3
90	2154	76,8862	51,7	2134	76,5176	77,7	2168	76,7265	78,0	2152	76,7101	69,1
120	2872	76,8654	40,2	2848	76,5087	72,5	2892	76,7256	77,5	2871	76,6999	63,4
150	3588	76,8545	34,2	3560	76,5038	69,6	3614	76,7254	77,4	3587	76,6946	60,4
180	4306	76,8532	33,5	4276	76,5023	68,7	4334	76,7250	77,1	4305	76,6935	59,8
210	5026	76,8516	32,6	4988	76,5020	68,5	5059	76,7250	77,1	5024	76,6929	59,4
240	5742	76,8510	32,2	5700	76,5018	68,4	5783	76,7250	77,1	5742	76,6926	59,3

Tablo A.15 : M16 Çinko kaplı ince diş cıvata deney sonuçları.

M16 Çinko kaplı ince diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		88,6910			88,7715			89,0517			88,8381	
L ₂ , mm		88,7950			88,8865			89,1662			88,9492	
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	88,7950	100	0	88,8865	100	0	89,1662	100	0	88,9492	100,0
20	472	88,7738	79,6	468	88,8672	83,2	476	89,1484	84,5	472	88,9298	82,4
40	945	88,7643	70,5	936	88,8557	73,2	958	89,1422	79,0	946	88,9207	74,2
60	1418	88,7573	63,7	1407	88,8471	65,7	1434	89,1362	73,8	1420	88,9135	67,8
90	2118	88,7460	52,9	2112	88,8382	58,0	2152	89,1312	69,4	2127	88,9051	60,1
120	2826	88,7425	49,5	2820	88,8352	55,4	2864	89,1304	68,7	2837	88,9027	57,9
150	3532	88,7387	45,9	3524	88,8327	53,2	3579	89,1276	66,3	3545	88,8997	55,1
180	4241	88,7358	43,1	4231	88,8295	50,4	4296	89,1265	65,3	4256	88,8973	52,9
210	4949	88,7355	42,8	4936	88,8276	48,8	5012	89,1253	64,3	4966	88,8961	52,0
240	5658	88,7350	42,3	5643	88,8254	46,9	5726	89,1252	64,2	5676	88,8952	51,1

Tablo A.16 : M10 Çinko fosfat kaplı ince diş cıvata deney sonuçları.

M10 Çinko fosfat kaplı ince diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		70,7306			71,0372			71,2250			70,9976	
L ₂ , mm		71,0701			71,3745			71,5657			71,3368	
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	71,0701	100	0	71,3745	100	0	71,5657	100	0	71,3368	100,0
30	698	71,0426	91,9	704	71,3336	87,9	707	71,5524	96,1	703	71,3095	92,0
60	1394	71,0352	89,7	1402	71,3212	84,2	1408	71,5432	93,4	1401	71,2999	89,1
90	2096	71,0345	89,5	2106	71,3195	83,7	2114	71,5342	90,8	2105	71,2961	88,0
120	2794	71,0336	89,2	2812	71,3181	83,3	2820	71,5274	88,8	2809	71,2930	87,1
150	3492	71,0318	88,7	3517	71,3156	82,5	3526	71,5255	88,2	3512	71,2910	86,5
180	4188	71,0304	88,3	4222	71,3135	81,9	4238	71,5234	87,6	4216	71,2891	85,9
210	4886	71,0302	88,2	4927	71,3124	81,6	4965	71,5226	87,3	4926	71,2884	85,7

Tablo A.17 : M12 Çinko fosfat kaplı ince diş cıvata deney sonuçları.

M12 Çinko fosfat kaplı ince diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		67,3738		67,2871		66,8631		67,1747				
L ₂ , mm		67,5760		67,4820		67,0640		67,3740				
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	67,5760	100	0	67,4820	100	0	67,0640	100	0	67,3740	100,0
30	692	67,5625	93,3	702	67,4578	87,6	696	67,0424	89,2	697	67,3542	90,1
60	1384	67,5608	92,5	1406	67,4453	81,2	1412	67,0395	87,8	1401	67,3485	87,2
90	2076	67,5586	91,4	2108	67,4408	78,9	2096	67,0372	86,7	2093	67,3455	85,6
120	2774	67,5575	90,9	2809	67,4396	78,2	2792	67,0345	85,3	2792	67,3439	84,8
150	3478	67,5554	89,8	3514	67,4387	77,8	3482	67,0325	84,3	3491	67,3422	84,0
180	4174	67,5532	88,7	4216	67,4375	77,2	4182	67,0297	82,9	4191	67,3401	82,9
210	4872	67,5528	88,5	4910	67,4355	76,1	4877	67,0286	82,4	4886	67,3390	82,3
240	5564	67,5525	88,4	5608	67,4336	75,2	5575	67,0263	81,2	5582	67,3375	81,6

Tablo A.18 : M16 Çinko fosfat kaplı ince diş cıvata deney sonuçları.

M16 Çinko fosfat kaplı ince diş cıvata												
	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Ortalama		
L ₁ , mm		89,1751		89,2726		89,2115		89,2197				
L ₂ , mm		89,3058		89,4062		89,3467		89,3529				
Süre (s)	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E	Çevrim Sayısı	L _i (mm)	E
0	0	89,3058	100	0	89,4062	100	0	89,3467	100	0	89,3529	100,0
20	458	89,2941	91,0	464	89,3998	95,2	469	89,3284	86,5	464	89,3408	90,9
40	916	89,2875	86,0	925	89,3974	93,4	927	89,3185	79,1	923	89,3345	86,2
60	1374	89,2756	76,9	1392	89,3958	92,2	1403	89,3150	76,6	1390	89,3288	81,9
90	2059	89,2737	75,4	2087	89,3948	91,5	2102	89,3138	75,7	2083	89,3274	80,9
120	2749	89,2728	74,8	2783	89,3935	90,5	2804	89,3126	74,8	2779	89,3263	80,0
150	3437	89,2716	73,8	3478	89,3928	90,0	3496	89,3118	74,2	3470	89,3254	79,3
180	4122	89,2702	72,8	4178	89,3922	89,5	4193	89,3097	72,6	4164	89,3240	78,3
210	4810	89,2682	71,2	4876	89,3918	89,2	4887	89,3078	71,2	4858	89,3226	77,2
240	5504	89,2670	70,3	5578	89,3903	88,1	5586	89,3065	70,3	5556	89,3213	76,2
270	6205	89,2668	70,2	6276	89,3902	88,0	6292	89,3056	69,6	6258	89,3209	75,9

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Murat ERTÜRK

Doğum Yeri ve Tarihi: Denizli, 11.09.1982

Adres: Merkez, Denizli

Lisans Üniversitesi: Pamukkale Üniversitesi